

USKA Sektion Winterthur

A M A T E U R F U N K - T E C H N I K

von

Willi Vollenweider, HB9AMC

3. Auflage 1979
redigiert von Arnold Stingel, HB9BGH

Hansr. Bürki
Chelleracherstr. 2
8308 ILLNAU

V o r w o r t

Das vorliegende Scriptum wurde von OM W. Vollenweider (HB9AMC) für den Vorbereitungskurs der USKA Sektion Winterthur 1975/76 geschrieben. Es beschränkt sich einerseits auf die zum Bestehen der Lizenzprüfung notwendigen Bedürfnisse, versucht jedoch andererseits auch die Grundlagen moderner Techniken zu vermitteln.

Die ersten Kapitel enthalten allgemeine Grundlagen in etwas geraffter Form. Deshalb wird all denjenigen, die keine oder nur wenig Grundkenntnisse besitzen, zusätzlich das im Franzis-Verlag erschienene Buch "Die elektronischen Grundlagen der Radio- und Fernsehtechnik" von Kurt Leucht zum Studium empfohlen.

Im Anhang sind zahlreiche Übungsaufgaben enthalten, die eine aktive Auseinandersetzung mit dem Lehrstoff gewährleisten sollen.

Einige Abschnitte stammen von OM H. Bollhalder (HB9MJ W), während die 2. und 3. Auflage von OM A. Stingel (HB9BGH) redigiert wurde.

Alle Rechte, die das vorliegende Kursmaterial betreffen, bleiben beim Autor.

Vorstand
USKA Sektion Winterthur

INHALTSVERZEICHNIS

Mathematische Hinweise	1
<u>1. Physikalische Grundlagen der HF-Technik</u>	3
1.1 Elektronen und elektrischer Strom	3
1.2 Spannung	4
1.3 Widerstand und ohmsches Gesetz	4
1.4 Zusammenschaltung von Widerständen	5
1.5 Praktische Ausführung von Widerständen	7
1.6 Grundlagen der Wechselstromtheorie	10
1.7 Elektrisches Feld und Kondensator	12
1.8 Kondensatoren in der Praxis	15
1.9 Magnetisches Feld	16
1.10 Induktion	18
1.11 Selbstinduktion	20
1.12 Spulen in der Praxis	21
1.13 Transformatoren	23
1.14 RL- und RC-Schaltungen	24
1.15 Schwingkreis	28
1.16 Wirk-, Schein- und Blindleistung	29
1.17 Leitung in Gasen	31
1.18 Skin-Effekt	31
1.19 RC- und RL-Zeitkonstanten	32
<u>2. Elektromagnetische Wellen</u>	36
2.1 Wellen auf Leitern	36
2.2 Wellen im freien Raum	37
2.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit	38
2.4 Ausbreitungsgesetze	38
2.5 Polarisierung	39
2.6 Einteilung des Spektrums	41
2.7 Ausbreitung der Kurzwellen	41
2.8 Wellenausbreitung über 144 MHz	47
<u>3. Aktive Bauelemente</u>	
3.1 Halbleiter	50
3.2 Halbleiterdioden	52
3.3 Transistoren	55
3.4 Feldeffekttransistoren FET	58
3.5 Elektronenröhren	61
<u>4. Verstärkerschaltungen</u>	65
4.1 Verstärkung	65
4.2 Grundschaltungen der Transistorverstärker	67
4.3 Arbeitspunkt	69
4.4 Kleinsignal-Transistorverstärker	73
4.5 Leistungsverstärker mit Transistoren	77
4.6 Röhrenschaltungen	80
4.7 FET-Verstärker	81
4.8 Operationsverstärker	82
4.9 Aktive Filter	84
4.10 Gegenkopplung und Rückkopplung, Neutralisation	85

5. <u>Antennen und ihre Speiseleitungen</u>	86
5.1 Abstrahlung	86
5.2 Antennenimpedanz	86
5.3 Speiseleitungen	86
5.4 Anpassung und Stehwellenverhältnis	89
5.5 Antennen, Grundtypen	92
5.6 Gewinn und Richtdiagramm	93
5.7 Anpass-Schaltungen	97
5.8 Yagi	99
5.9 Quad	101
5.10 Groundplane	102
5.11 Andere Antennentypen	102
6. <u>Stromversorgung</u>	106
6.1 Trockenbatterie	106
6.2 Akkumulator	107
6.3 Netzgeräte	108
6.4 Stabilisierung	111
7. <u>Modulation und Demodulation</u>	112
7.1 Amplitudenmodulation AM	112
7.2 Einseitenbandmodulation (SSB)	117
7.3 Frequenzmodulation FM	119
7.4 Fernschreiber RTTY	124
7.5 Schmalband-Fernsehen SSTV	124
7.6 Vergleich der Modulationsverfahren	125
8. <u>Empfängertechnik</u>	125
8.1 Forderungen und Probleme	125
8.2 Geradeusempfänger	126
8.3 Superhet (Ueberlagerungsempfänger)	127
8.4 Mischstufen	128
8.5 Schwundregelung	130
8.6 Filter	132
8.7 Rauschen und Empfindlichkeit	135
8.8 UKW-Empfänger	139
8.9 Intermodulation und Kreuzmodulation	144
9. <u>Sendertechnik</u>	146
9.1 Blockschaltbilder	146
9.2 Oszillatoren	149
9.3 Frequenzvervielfacher	157
9.4 Tastung	158
9.5 SSB-Sender	160
9.6 Leistungsangaben bei Sendern	161
9.7 Sprachkompressoren und -Bregrenzer	163
9.8 Intermodulation, Ober- und Nebenwellen	165

10. <u>Digitaltechnik</u>	165
10.1 Logische Grundelemente	166
10.2 Logikfamilien	
10.3 Zähler	170
11. <u>Störungen anderer Funkdienste</u>	172
11.1 Ober- und Nebenwellen-Abstrahlung	172
11.2 Uebersteuerung des HF-Empfangsverstärkers	173
11.3 Einstrahlung in NF-Schaltung	173
11.4 Frequenzuteilungen der wichtigsten Funkdienste	174
12. <u>Test- und Messgeräte</u>	175
12.1 Amperemeter	175
12.2 Voltmeter	177
12.3 Röhren- und Transistor-Voltmeter	178
12.4 Widerstandsmessung	178
12.5 Wattmeter	179
12.6 Stehwellenmessgerät	180
12.7 Oszilloskop	180
12.8 Dipper	182
13. <u>Anhang</u>	
13.1 Uebungsaufgaben und -Lösungen	
13.2 Prüfungsbeispiele	

Mathematische Hinweise1) Auflösen von Gleichungen

Immer gilt:

linke Seite = rechte Seite

Bsp: $4 + 3 = 2 + 5$

In der Algebra werden Buchstaben statt Zahlen geschrieben.

Bsp: $a + b = c$

Auf der rechten und auf der linken Seite müssen stets dieselben Operationen ausgeführt werden.

(Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division, Wurzelziehen, Potenzieren usw.). Danach kann oft gekürzt werden.

Bsp: $R = \frac{1 \cdot \rho}{A}$

Gesucht ist 1 in Abhängigkeit von R, A, ρ

1) Multiplikation beider Seiten mit A

$$R \cdot A = \frac{\cancel{1} \cdot \rho}{\cancel{A}} \cdot A$$

2) Division beider Seiten durch ρ

$$\frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{\cancel{1} \cdot \cancel{\rho}}{\cancel{\rho}} \rightarrow \underline{\underline{1}} = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

2) Rechnen mit Exponenten

$$\underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a \cdot a}_{n \text{ mal}} = a^n$$

Bsp: $a = 10$
 $n = 3$ } $10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3 = 1000$

Dieses System wird vor allem dazu verwendet, grosse Zahlen zu vermeiden.

Bsp $10^6 = 1'000'000$
 $1'240'000 = 1.24 \cdot 10^6$

Auch für Zahlen, die kleiner als 1 sind:

$\frac{1}{a^n} = a^{-n}$

$$0.1 = \frac{1}{10} = 10^{-1}$$

$$0.01 = 10^{-2}$$

$$0.0245 = 2.45 \cdot 10^{-2}$$

Beachte beim Rechnen mit Exponenten:

Exponenten werden bei Multiplikation addiert
und bei Division subtrahiert.

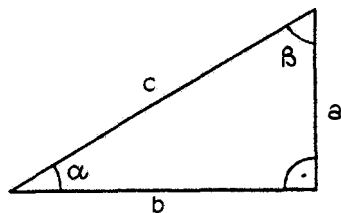
Bsp: $4 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-4}$

$$\frac{2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-1}} = \frac{2}{3} \cdot 10^{-3-(-1)} = \frac{2}{3} \cdot 10^{-2}$$

3) Das rechtwinklige Dreieck und die trigonometrischen Funktionen

Mit folgenden Formeln können die rechtwinkligen Dreiecke berechnet werden.

Die trigonometrischen Funktionswerte entnimmt man Tabellen, Rechenschieber oder elektronischen Rechnern.



$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\sin \beta = \frac{b}{c}$$

$$\cos \beta = \frac{a}{c}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b}{a}$$

$$\operatorname{cot} \alpha = \frac{b}{a}$$

$$\operatorname{cot} \beta = \frac{a}{b}$$

1. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DER HF-TECHNIK

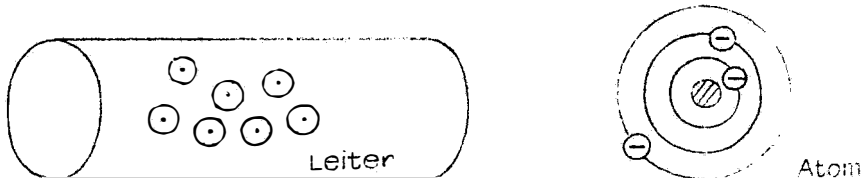
1.1 Elektronen und elektrischer Strom

Die Elektrizität ist leider eine Erscheinung, die sich ausserhalb des unmittelbaren Wahrnehmungsvermögens befindet.

Was ist Elektrizität? Um diese Frage zu beantworten, ist es nötig, den Bau der Materie zu kennen.

Die Materie besteht aus Atomen. Betrachten wir ein Stück Metall. Es besteht aus lauter Metallatomen. Ein Atom besteht aus dem Kern und den um ihn herumkreisenden Elektronen. Die Elektronen bewegen sich auf ganz bestimmten Kreisen. (Dies ist eine einfache Modellvorstellung, in Wirklichkeit sind die Verhältnisse ganz wesentlich komplexer.)

Je weiter ein Elektron von "seinem" Kern entfernt ist, desto weniger ist es an ihn gebunden. Bei Metallen ist die Bindung der äussersten Elektronen besonders schwach, man spricht von "freien Elektronen" oder von "Valenz-Elektronen".



Da die äussersten Elektronen fast frei beweglich sind, spricht man von einem "Elektronengas".

Elektrizitätsmenge Q

Da die Elektronen in sehr grosser Zahl vorkommen, hat man für die Elektronenmenge ein anderes Mass definiert, die Elektrizitätsmenge Q. Sie wird in Coulomb (C) angegeben, oft auch in Amperesekunden (As).

$$1 \text{ C} = 6.24 \cdot 10^{18} \text{ Elektronen}$$

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C (Elektronenladung)}$$

Elektrischer Strom

Strom = Mass für Anzahl Elektronen, die pro Sekunde durch Leiterquerschnitt fliessen.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Achtung: Vorzeichen! Da die Elektronenladung negativ ist, fliesst el. Strom in umgekehrter Richtung als Elektronenstrom

$$\text{Masseinheit: } 1 \text{ A (Ampere)}$$

Analogie: Elektrischer Leiter entspricht Wasserleitung.

1.2 Spannung

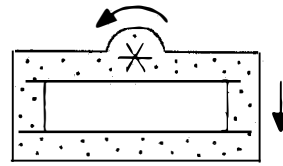
Spannung = die Kraft, welche die Elektronen antreibt.

Analogie: Wasserpumpe:

Druck \rightarrow Spannung

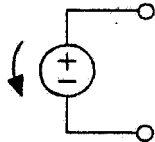
Wasser \rightarrow Q

Geschwindigkeit \rightarrow Stromstärke



Frequenz: Spannung und Stromstärke ändern sich oft mit der Zeit.
Frequenz = Anzahl gleicher Zustände pro Zeiteinheit.

Symbol:



stellt "ideale Spannungsquelle" dar

Masseinheit: 1 V (Volt)

1.3 Widerstand und ohmsches Gesetz

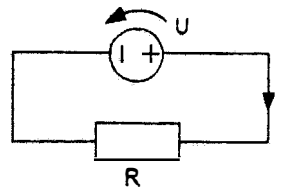
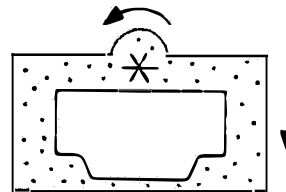
Verengung in der Leitung verkleinert den Wasserstrom. Widerstand.

Elektrisches Schaltbild für gleichen Vorgang.

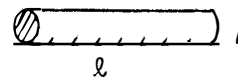
Abhängigkeit eines el. Leiters von:

- Querschnittfläche A
- Länge l
- Material: Leitfähigkeit (oder spez. Widerstand ρ)

Masseinheit: 1 Ω (Ohm)



$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$



Ohmsches Gesetz

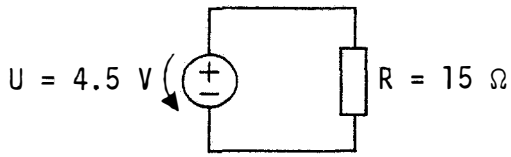
Grössere Spannung \rightarrow grösserer Strom

Grösserer Widerstand \rightarrow kleinerer Strom

Proportionalität:

$$U = R \cdot I$$

OHMSCHES GESETZ

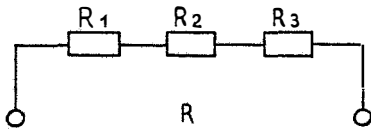
Einfaches Beispiel:

Wie gross ist der Strom
und in welcher Richtung
fliesst er?

A.: $U = R \cdot I \quad I = \frac{U}{R} = \frac{4.5 \text{ V}}{15} = 0.3 \text{ A} = 300 \text{ mA}$
=====

1.4 Zusammenschaltung von WiderständenSerieschaltung

Bei Reihen (Serie)-Schaltung von Widerständen addieren sich die Teilwiderstände:



$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

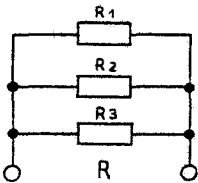
Wenn lauter gleiche Widerstandswerte in Serie geschaltet werden, so lautet die Formel:

$$R_{\text{Total}} = R \cdot n$$

R = Teilwiderstand
 n = Anzahl Widerstände

Parallelschaltung

Bei Parallelschaltung von Widerständen müssen die Leitwerte der Teilwiderstände addiert werden.



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Sind lauter gleiche Widerstände parallel geschaltet, müssen lediglich die Anzahl der Widerstände berücksichtigt werden. Es gilt dann die Formel:

$$\frac{R}{n}$$

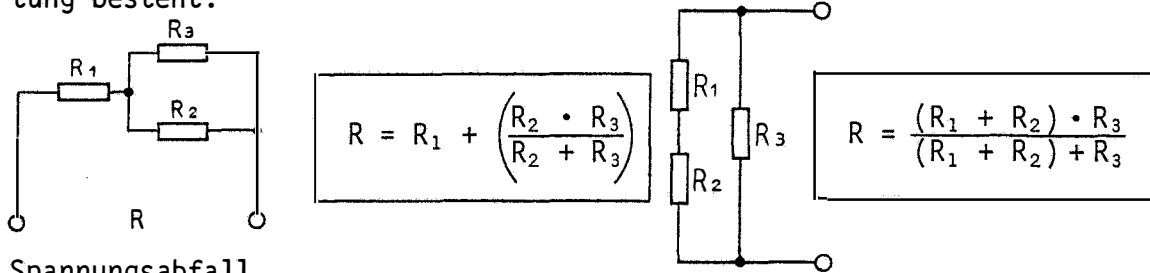
Bei nur zwei parallel geschalteten Widerständen, lässt sich die Formel ebenfalls vereinfachen:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Gemischte Schaltung

Eine Schaltung, bei der die Widerstände sowohl in Reihe als auch parallel geschaltet sind, bezeichnet man als gemischte Schaltung (Gruppenschaltung). Im einfachsten Fall besteht die gemischte Schaltung aus drei Widerständen. Diese kann man auf zwei Arten schalten, (siehe nächste Skizze). Den Ersatzwiderstand einer gemischten Schaltung bestimmt man,

indem man die Reihen- bzw. Parallelschaltung durch entsprechende Ersatzwiderstände ersetzt. Diese Vereinfachung führt man so lange durch, bis die gemischte Schaltung aus einer einfachen Reihen- bzw. Parallelschaltung besteht.



Spannungsabfall

Unter Spannungsabfall verstehen wir die Spannung, die über einem Widerstand abfällt (zu messen ist), wenn dieser von einem Strom durchflossen wird. Wobei der Widerstand z.B. auch eine lange Leitung sein kann.

Spannungsabfall: $U = R \cdot I$

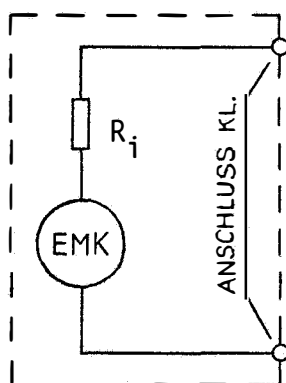
Beispiel: Eine Netz-Freileitung wird mit 220 V eingespiesen. Sie wird von einem Strom von 4 A durchflossen, wobei der Widerstand beider Adern 3 Ohm beträgt. Wieviel Spannung geht unterwegs verloren?

Lösung: $U = R \cdot I = 3 \text{ Ohm} \cdot 4 \text{ A} = \underline{12 \text{ V}}$

Quellen und Innenwiderstand

Als Spannungsquellen gelten: Netz, Batterie, Generator, Piezoelemente, Thermoelemente, Mikrophon etc.

Alle diese Spannungsquellen bestehen elektrisch gesehen aus zwei wichtigen Teilen. Nämlich der elektromotorischen Kraft (EMK) und dem Innenwiderstand (R_i). Das heisst, jede Spannungsquelle hat einen von ihrem Aufbau bedingten, integrierten Widerstand. Im Generator z.B. bildet sich der R_i aus dem Leitungswiderstand der unzähligen Kupferwindungen im Innern des Generators. Dies ist unter anderem auch der Grund, weshalb bei Kurzschluss nicht ein unendlich hoher Strom fliesst.



Ersatzschaltbild

Theoretisch lässt sich der Innenwiderstand bestimmen, indem man die Spannungsquelle kurzschliesst und dabei den nun fließenden Strom misst. Wenn EMK und Kurzschlussstrom bekannt sind, lautet die Rechnung:

$$R_i = \frac{U(\text{EMK})}{I}$$

Leitwert

Wenn man den Querschnitt eines Leiters vergrößert, so verringert sich dessen Widerstand, d.h. er leitet den Elektronenstrom besser. Ein kleiner Widerstand R entspricht einem hohen Leitwert G , der sich als Kehrwert des Widerstandes ergibt. Die Masseinheit für den Leitwert ist das SIEMENS.

$$G = \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{1}{G}$$

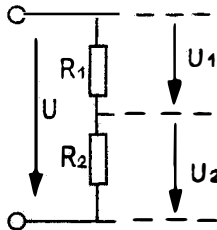
G : Leitwert in S (Siemens)

R : Widerstandswert in Ohm

Merke: Stromkreise mit hohem Leitwert oder kleinem Widerstand leiten den elektrischen Strom gut.

Spannungsteiler

Ein Spannungsteiler besteht aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen R_1 und R_2 . Diese sind an die Gesamtspannung U angeschlossen. Am Widerstand R_2 wird die Teilspannung U_2 abgegriffen.



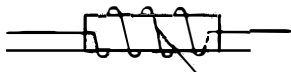
$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Beim unbelasteten Spannungsteiler teilt sich die Gesamtspannung U in die Teilspannungen U_1 und U_2 auf. Die Spannungen verhalten sich wie die dazugehörigen Widerstände.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

1.5 Praktische Ausführung von Widerständen

Drahtwiderstand



WIDERSTANDSDRAHT

- hohe Leistung
- einfache Herstellung
- induktiv (evtl. bifilare Wicklung)
- pos. Temp.Koeff.

Schichtwiderstand



WENDELSCHLIFF

CO

- relativ hohe Genauigkeit
- eher für kleinere Leistungen
- kleines Eigenrauschen
- induktiv (Wendelschliff)
- neg. Temp.Koeff.

Kohlemassenwiderstand



CO

- induktionsfrei
- hohes Eigenrauschen
- neg. Temp.Koeff.

Metallschichtwiderstand



METALLOXYD

- hohe Genauigkeit
- alterungsbeständig
- temperaturstabil
- pos. Temp.Koeff.

Belastbarkeit, Toleranz

Je nach Grösse und Bauart eines Widerstandes bestehen in Bezug auf Belastbarkeit sowie Toleranz grosse Unterschiede. Die Belastbarkeit richtet sich nach dem Querschnitt des Widerstandsmaterials und dem dazu verwendeten Material (zulässige Betriebstemperatur und Drift).

Die Leistung, die über dem Widerstand vernichtet wird, lässt sich ausrechnen: $P = U \text{ mal } I$.

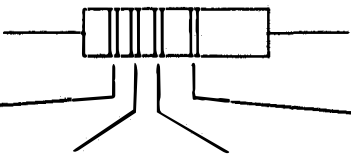
Die Normreihe der handelsüblichen Widerstände lautet:
0,05/0,1/0,25/0,5/1/2/3/6/10/20 Watt.

Da die angegebenen Widerstandswerte nie genau stimmen (Herstellungstoleranz), hat man zusätzlich zum normalen Farbcode noch die Toleranzangabe eingeführt, er gibt in Prozent an, um wieviel der angegebene Wert nach minus oder plus maximal abweichen kann.

HF Eigenschaften

Widerstände, die aus aufgewickeltem Draht bestehen, bilden eine Spule und somit eine Induktivität, was in HF-Schaltungen meist unerwünschte Folgen hat. Dazu gehören auch all die Typen, bei denen der bei der Fabrikation gewünschte Wert durch einschleifen eines Wendels erreicht wird. Mit bifilaren (gegensinnig) Windungen kann man oft befriedigend kompensieren. Von den normal gebräuchlichen Typen gilt eigentlich nur der Kohlemassenwiderstand als induktionsfrei.

Widerstands-Farbcode

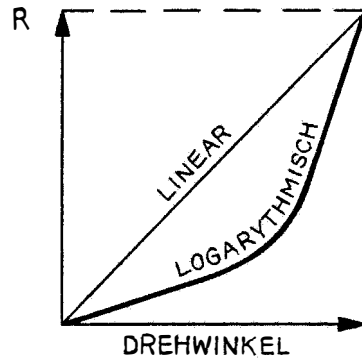


Farbe	1.Ziffer	2.Ziffer	Multipl.	Toleranz
silber	-	-	10^{-2}	10%
gold	-	-	10^{-1}	5%
schwarz	-	0	10^0	
braun	1	1	10^1	1%
rot	2	2	10^2	2%
orange	3	3	10^3	
gelb	4	4	10^4	
grün	5	5	10^5	0,5%
blau	6	6	10^6	
violett	7	7	10^7	
grau	8	8	10^8	
weiss	9	9	10^9	

Beispiel: rot grün braun gold
2 5 mal 10 5% = 250 Ohm 5%

Potentiometer

Ein Potentiometer ist ein Widerstand mit einem einstellbaren Mittelabgriff (Spannungsteiler). Es gibt sie im Handel in den verschiedensten Ausführungen: Kohle oder Draht, einfach oder Tandemausführung, Miniatur- oder Printmodelle, solche mit linearem oder logarithmischem Widerstandsverlauf, oder gar mechanisch bis zu 10fach untersetzt.



Temperatureinfluss

Die vom Hersteller angegebenen Widerstandswerte gelten für 20 Grad C. Bei Widerständen mit positivem temp.Koeff: nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur zu (Kupfer, Konstantan, Chrom, Nickel, Aluminium etc.).

Dagegen sinkt der Wert bei zunehmender Temperatur bei allen Widerständen mit negativem Temperaturkoeffizienten (Kohle, Halbleiter).

Unter Temperaturkoeffizient versteht man den Wert, um den sich ein Widerstand von einem Ohm eines bestimmten Materials bei Erwärmung um 1 Grad C verändert, z.B. Kupfer: 0,0038 Ohm pro Grad pro Ohm.

$$\Delta R = \Delta t \cdot \alpha \cdot R_{20^{\circ}C}$$

$$R_t = \Delta R + R_{20^{\circ}C}$$

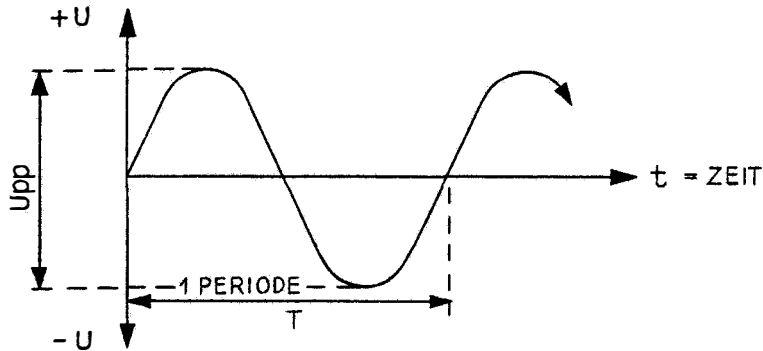
ΔR = Widerstandsänderung
 Δt = Temperaturdifferenz
 α = Temperaturkoeffizient
 R_t = erwärmter Widerstand

Sogenannte NTC und PTC sind Widerstände mit extrem hohem negativem bzw. positivem Temperaturkoeffizienten. Sie finden Verwendung für diverse Stabilisier-Schaltungen und Temperaturkompensationen, z.B. in NF Endstufen.

1.6 Grundlagen der Wechselstromtheorie

Zeitlicher Verlauf

Wir sprechen immer dann von einem Wechselstrom, wenn wir wissen, dass der Strom in einem bestimmten Rhythmus seine Richtung ändert. In untenstehender Skizze sehen wir die zeichnerische Darstellung eines sinusförmigen Wechselstromes.



Eine Periode dauert immer so lange bis sich derselbe Vorgang zu wiederholen beginnt. Wie wir wissen benötigt es für den Ablauf einer Periode eine gewisse Zeit T .

In der Elektrotechnik hat man sich nun geeinigt, dass die Zahl der Perioden je Sekunde mit Frequenz f bezeichnet wird. Sie wird in Hertz gemessen und ist gleich dem Kehrwert der Periodendauer T .

$$f = \frac{1}{T}$$

f in Hz (Hertz)
 T in s (Sekunde)

Effektivwert von Wechselstrom

Wenn wir mit einem Wechselspannungsvolt- oder Ampèremeter sinusförmige Wechselgrößen messen, so zeigt uns das gebräuchliche Instrument nicht den Spitzenwert U_{pp} oder I_{pp} an, sondern den Effektivwert U_{eff} oder I_{eff} .

Merke: Der Effektivwert eines Wechselstromes gibt den Gleichstrom an, der dieselbe Wärmewirkung hervorruft wie Wechselstrom.

$$I_{eff} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

$$U_{eff} = \frac{U_p}{\sqrt{2}}$$

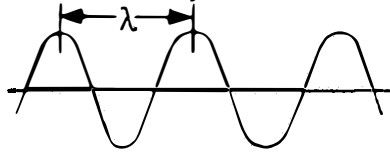
Bei nicht sinusförmigen Größen ergeben sich andere Werte.

$$U_{pp} = \text{Spitzen - Spitzen - Wert} \qquad U_{pp} = 2 \cdot U_p$$

$$I_{pp} = 2 \cdot I_p$$

Wellenlänge

Man weiss, dass sich elektromagnetische Wellen im luftleeren Raum 300'000 km in einer Sekunde ausbreiten. Daraus lässt sich die Wellenlänge λ berechnen, wenn die Frequenz f bekannt ist.



$$\lambda = \frac{300'000 \text{ km}}{f}$$

Beispiel: Ein Radiosender sendet mit einer Frequenz von 540 KHz. Wie gross ist die Wellenlänge seiner abgestrahlten Leistung?

Lösung:
$$\lambda = \frac{300'000 \text{ km}}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m}}{5,4 \cdot 10^5 \text{ Hz}} = 0,55 \cdot 10^3 \text{ m} = \underline{\underline{550 \text{ m}}}$$

Kreisfrequenz

Zeitlich sinusförmig verlaufende Grössen können aus einer Drehbewegung entstehen. Zeichnerisch gewinnt man die Sinus-Kurve mit Hilfe eines gleichförmig rotierenden Zeigers. Der Winkel des Zeigers zur Nulllage bestimmt in jedem Augenblick den Sinuswert. Der Winkelwert des Zeigers nach einer bestimmten Zeit hängt von dessen Winkelgeschwindigkeit ω ab, (sprich omega) die sich aus der Frequenz errechnen lässt. Zu jedem Winkelabschnitt gehört ein bestimmter Weg s auf dem Kreisbogen. Mit dem Kreisradius $r = 1$ (Einheitskreis) erhält man für eine volle Umdrehung (360 Grad):

$$s = 2 \cdot \pi \cdot r = 2\pi \cdot 1 = 2\pi$$

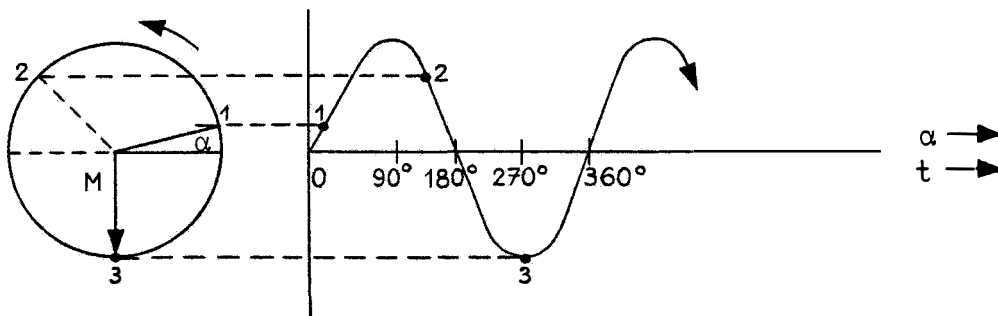
Die zugehörige Zeit t entspricht der Periodendauer T . Damit ergibt sich für die Winkelgeschwindigkeit:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{s}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

Wir ersetzen die Periodendauer T durch die Frequenz f . Da $T = 1$ durch f ist, wird die Winkelgeschwindigkeit:

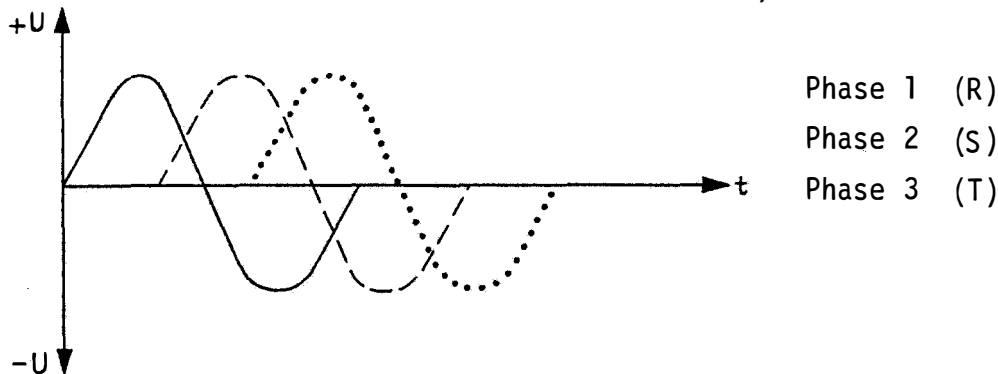
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{oder} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Die Kreisfrequenz entspricht dieser Winkelgeschwindigkeit. Man braucht die Kreisfrequenz, wenn das Verhalten der Bauelemente Spule und Kondensator bei sinusförmigen Wechselspannungen und Strömen zu berechnen ist.



Drehstrom

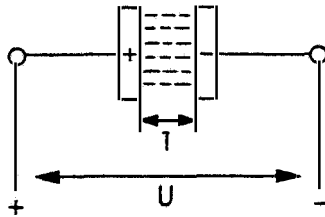
Unter Drehstrom verstehen wir Wechselstrom aus drei verschiedenen Quellen, die zeitlich gegeneinander um je 120 Grad verschoben sind (z.B. Drehstromnetz für den Betrieb von Drehstrommotoren).



1.7 Elektrisches Feld und Kondensator

Elektrisches Feld

Werden zwei Metallplatten, die einander gegenüber liegen an eine Gleichspannung angeschlossen, so entsteht zwischen den beiden Platten ein elektrisches Feld.



Die elektrische Feldstärke ist umso grösser:
je höher die Spannung U ist,
je kleiner der Plattenabstand l ist.

elektrische Feldstärke = Spannung : Plattenabstand

$$E = \frac{U}{l}$$

E in $\frac{V}{m}$
 U in V
 l in m

Kondensator

Legen wir nun an ein Kondensator-Plattenpaar eine Gleichspannung, so fließt kurzzeitig ein Strom, hervorgerufen durch die Elektronenverschiebung von der positiven auf die negative Plattenseite. Das heisst, der Kondensator ist "geladen". Auch nach abschalten der Spannungsquelle bleibt die Spannungsdifferenz an den beiden Platten erhalten, bis sie künstlich entladen werden.

Das Fassungsvermögen C eines Kondensators hat man wie folgt definiert:

$$C = \frac{I_C \cdot t}{U_C}$$

$$1F = 1 \cdot \frac{As}{V}$$

$F = \text{FARAD}$

Die gespeicherte Ladung Q beträgt: $Q = C \cdot U$

Die Kapazität berechnet sich aus:

$$C = \frac{0,0885 \cdot \epsilon_r \cdot A}{l}$$

C = Kapazität in pF
 l = Plattenabstand in cm
 A = Plattenfläche in cm²
 ε_r = Dielektrizitätskonstante

Die Dielektrizitätskonstante gibt an, um wieviel die Kapazität grösser wird, wenn man den Raum zwischen den beiden Platten an Stelle von Luft mit einem anderen Stoff ersetzt.

Beispiel: Ein Plattenkondensator besteht aus zwei Platten mit je 200 cm² Fläche. Der Plattenabstand beträgt 2 mm. Welche Kapazität hat der Kondensator, wenn das Dielektrikum

a) Luft (ε_r = 1) b) Hartpapier (ε_r = 4) ist?

Lösung: a) $C = \frac{0,0885 \cdot \epsilon_r \cdot A}{l} = \frac{0,0885 \cdot 1 \cdot 200}{0,2} = 88,5 \text{ pF}$ =====

b) $C = \frac{0,0885 \cdot 4 \cdot 200}{0,2} = 354 \text{ pF}$ =====

Da die Einheit Farad in der Praxis meist viel zu gross ist, verwendet man meist kleinere Werte.

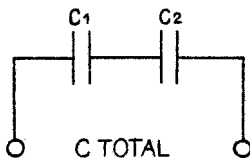
1 mF = 10⁻³F

1 μF = 10⁻⁶F

1 nF = 10⁻⁹F

1 pF = 10⁻¹²F

Serieschaltung von Kondensatoren

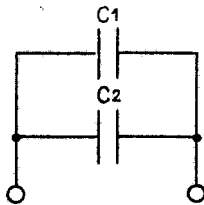


Bei lauter gleichen C:

$$C_{\text{TOT}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{\text{TOT}} = \frac{C}{n}$$

Parallelschaltung von Kondensatoren



Bei lauter gleichen C:

$$C_{\text{TOT}} = C_1 + C_2$$

$$C_{\text{TOT}} = C \cdot n$$

Kapazitiver Blindwiderstand

Wird ein Kondensator mit Wechselspannung betrieben, so entsteht infolge dauernder Umpolarisation ein Leiter mit dem Widerstand X_C , der von der Kapazität des Kondensators und der Frequenz f abhängig ist.

Kapazitiver Blindwiderstand =

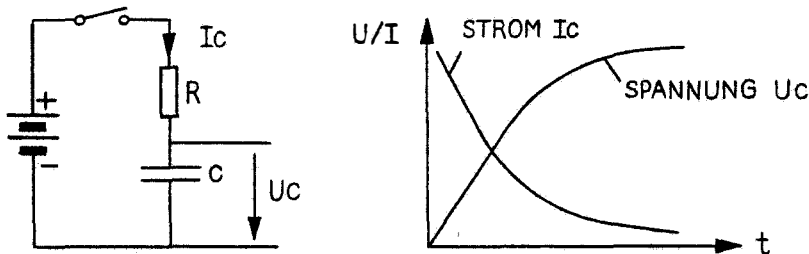
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

C = Kapazität in F

ω = Kreisfrequenz $2 \cdot \pi \cdot f$

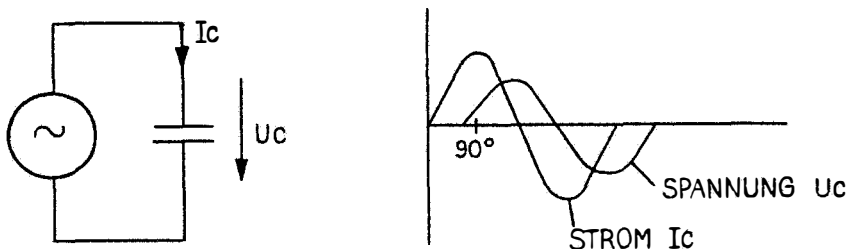
Phasenverschiebung

Beim idealen Kondensator beträgt die Phasenverschiebung 90 Grad.



Der Kondensator muss erst mit dem Strom I_C aufgeladen werden, bis die Spannung U_C anliegt. Deshalb sagt man, die Spannung eilt dem Strom um 90 Grad nach oder der Strom der Spannung um 90 Grad voraus.

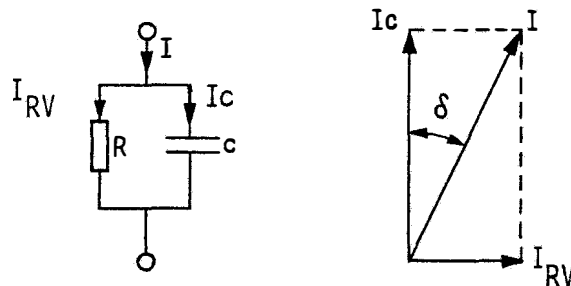
Auch bei Wechselstrom lässt sich dieser Vorgang graphisch gut darstellen:



Kondensator mit Verlusten

Durch dauerndes Umpolen des Dielektrikums bei Wechselstrombetrieb und dem nicht unendlich hohen Isolationswiderstand des Isolationsmaterials entstehen Verluste innerhalb des Kondensators, die in Wärme umgesetzt werden.

Ersatzschaltbild:



In der Praxis kennzeichnet man die Qualität eines Kondensators zweckmässig durch den Tangens des Verlustwinkels DELTA als Verlustfaktor DELTA (δ).

$$\boxed{\tan \delta = \frac{I R_v}{I X_c}} \quad \text{oder} \quad \boxed{\tan \delta = \frac{X_c}{R_v}}$$

Abschirmung

Elektrische Felder werden durch geerdete Metallflächen abgeschirmt. Diese Eigenschaft findet dann auch sehr oft Anklang bei der Konstruktion von Geräten, z.B. abgeschirmte Leitungen, geerdete Chassisteile, Schirmbecher über Elektronenröhren, Metallgehäuse bei Transistoren, abgeschirmte Kammern innerhalb eines Tuners, Aluminiumbecher von Kondensatoren.

1.8 Kondensatoren in der Praxis

Die Kondensatoren werden in feste und verstellbare Kondensatoren unterteilt.

Luftkondensatoren

Bestehen aus Metallplatten, deren Zwischenräume (Dielektrikum) aus Luft bestehen. Man findet sie in der Praxis nur sehr selten in dieser Ausführung.

Glimmerkondensatoren

Haben ein Dielektrikum aus Glimmer. Die Glimmerplatten sind mit fest haftenden, leitenden Belägen beschichtet. Die Kondensatoren werden aus einzelnen Plättchen gebildet oder die Plättchen sind zu Paketen zusammengefasst. Glimmerkondensatoren werden hauptsächlich in der Sende- und Messtechnik verwendet.

Keramik-Kondensatoren

Haben als Dielektrikum eine keramische Masse. Diese wird im Trockenpressverfahren geformt und anschliessend bei Temperaturen zwischen 1200 Grad und 1400 Grad gesintert. Dadurch erreicht man ein sehr dichtes Gefüge, so dass sich die Feuchtigkeit nicht in den Poren des Keramikkörpers festsetzen kann. Die Metallbeläge werden auf die keramische Masse aufgebracht und bestehen aus fest haftenden Edelmetallschichten.

Kunststoffkondensatoren

Haben ein Dielektrikum aus Kunststofffolien wie Polystrol, Polyester, Polykarbonat. Die Metallbeläge sind Aluminiumfolien. Bei den metallisierten Kunststofffolienkondensatoren (MK) werden die Metallbeläge im Vakuum auf die Folien aufgedampft. Dadurch erreicht man bei gleichen Abmessungen höhere Kapazität.

Elektrolytkondensator (Elko)

Elektrolytkondensatoren haben als Dielektrikum eine dünne Oxydschicht. Dadurch ist es möglich, kleine Kondensatoren mit grossen Kapazitäten zu bauen.

Aluminium Elko bestehen aus einem Wickel von zwei Aluminiumbändern mit Papierzwischenlage. Das eine Aluminiumband, der Pluspol (Anode) ist oft aufgeraut. Dadurch erreicht man eine grössere Kapazität. Das andere Alu-Band dient als Zuführung zum Elektrolyt. Das Papier ist mit dem Elektrolyt getränkt. Der Elektrolyt ist der Minuspol (Kathode).

Zur Formierung wird an die beiden Elektroden eine Gleichspannung angelegt. Dabei bildet sich an der Anode eine dünne Aluminiumoxydhaut, die als Dielektrikum dient.

Tantal-Elko

Tantal Sinterkondensatoren haben eine Anode aus gesintertem Tantalpulver. Bei der Formierung entsteht durch Oxydation an der Oberfläche eine Tantal-pentoxyschicht, die als Dielektrikum dient.

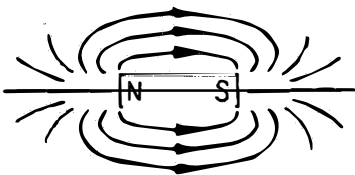
1.9 Magnetisches Feld

Der ursprünglichste Erzeuger eines Magnetfeldes ist der Permanentmagnet. Das Verhalten eines solchen ist bekannt: Ungleichnamige Pole ziehen sich an, gleichnamige stossen sich ab.

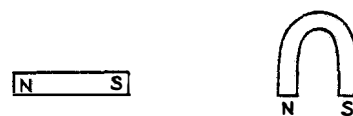


Die Kraftwirkung, die ein Magnet auf seine Umgebung (d.h. andere Magnete) ausübt, wird durch ein Feld erklärt. Die Feldlinien sind die Orte, auf denen sich ein kleiner Magnet unendlich langsam bewegen würde. Die Feldlinien werden auch Kraftlinien genannt.

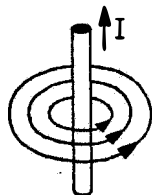
Feldlinien eines Permanentmagneten:



Verschiedene Bauarten von Permanentmagneten:



Wie durch einen Versuch gezeigt werden kann, wird nicht nur von einem Permanentmagneten, sondern auch von einem elektrischen Strom ein Magnetfeld erzeugt. Eine Kompassnadel, die in die Nähe eines (gleich-) stromführenden Leiters gebracht wird, schlägt aus.



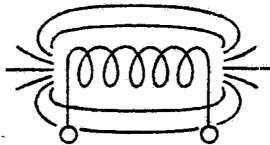
Feldlinien eines stromdurchflossenen Leiters

Es leuchtet ein, dass je nach Stromstärke I andere Felder entstehen. Als Mass eines Feldes wird die magnetische Feldstärke H definiert:

$$\text{Magn. Feldstärke } H \quad (\text{A/m})$$

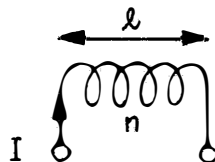
Sie ist ein Mass für die Dichte der Feldlinien oder die Kraftwirkung eines Feldes im freien Raum.

Mittels des elektrischen Stromes kann auch das Feld eines Stabmagneten erzeugt werden, indem man den Leiter in Form einer Spule anordnet.



Die Feldstärke im Innern der Spule berechnet sich dann aus:

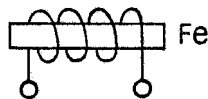
$$H = \frac{I \cdot n}{\ell}$$



- I = el. Strom
- ℓ = mittlere Länge der Feldlinien
- n = Anzahl Spulenwindungen

Vielfach werden nun in Spulen Materialien angebracht, welche die Kraftwirkung verändern. Wird in einem solchen Fall die Kraftwirkung gesteigert, so spricht man von einem "ferromagnetischen" Material. Dies, weil Eisen der bekannteste magnetisierbare Stoff ist.

Was ist Magnetisierung? Jeden Stoff muss man sich aus unzählig vielen kleinen Magnetchen, sogenannten Elementar-Magnetchen, zusammengesetzt vorstellen. Bringt man nun einen solchen Stoff in ein Magnetfeld, dann werden sich die Elementarmagnetchen mehr oder weniger leicht in die Richtung der Kraftlinien drehen. Dadurch wird der ganze Körper selbst magnetisch, d.h. das ursprünglich vorhandene Feld ist in seiner Wirkung verstärkt worden. Bei ferromagnetischen Stoffen ist nun dieser Effekt in besonders starkem Ausmass vorhanden.



Durch das Einführen eines Eisenstückes ist die Feldstärke gleich geblieben, da sie nur etwas über die Geometrie und die Stromstärke I aussagt. Es wird eine neue Grösse definiert:

$$\text{Magnetische Induktion } B \quad (\text{Vs/m}^2)$$

Die magnetische Induktion B hängt also von H und den magnetischen Eigenschaften des eingebrachten Materials ab. Es gilt:

$$B = \mu \cdot H$$

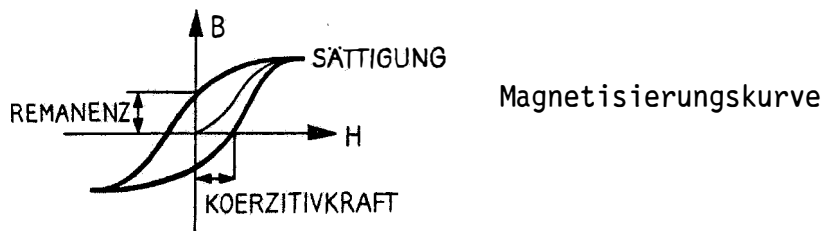
wobei

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

$$\mu_0 = 1,256 \mu\text{H/m} = \text{absolute Permeabilität}$$

$$\mu_r = \text{relative Permeabilität (Materialkonstante)}$$

Es ist nun so, dass der Zusammenhang zwischen B und H bei grossen Feldstärken nicht mehr linear ist. Nimmt die Feldstärke weiter zu, spricht man von magnetischer Sättigung. Aufschluss über den Verlauf der Induktion in Abhängigkeit der Feldstärke gibt die Magnetisierungskurve.



Bei Speisung einer Spule mit Wechselstrom wird die Magnetisierungskurve dauernd durchlaufen. Es kann gezeigt werden, dass die Fläche, die durch die Magnetisierungskurve umschlossen wird, ein Mass für die Leistung darstellt, welche im Eisen verloren geht (Eisenverluste, Magnetisierungsverluste).

Oft wird auch noch der Begriff "Magnetischer Fluss \emptyset " verwendet. Er ist definiert als:

$$\text{Magn. Fluss } \emptyset = B \cdot A$$

B = Induktion
A = Querschnittsfläche

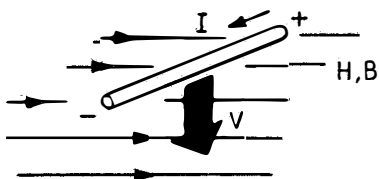
Der magnetische Fluss ist ein Mass für die Gesamtzahl der magnetischen Kraftlinien, die senkrecht durch eine Fläche gehen.

1.10 Induktion

So wie ein Strom ein magnetisches Feld hervorruft, kann umgekehrt ein magnetisches Feld auch einen elektrischen Strom erzeugen. Allgemein gilt:

Ein sich (zeitlich oder örtlich) änderndes Magnetfeld erzeugt in einem elektrischen Leiter eine induzierte Spannung U.

Dies ist das Induktionsgesetz von Faraday.



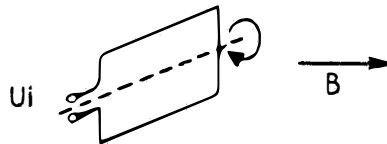
Elektrischer Leiter, welcher sich im Magnetfeld bewegt.

Formelmässig:

$$U_i = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

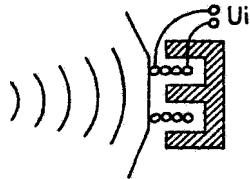
Beispiele der Induktion sind der el. Generator und das dynamische Mikrofon.

Der Generator: Da die in obiger Skizze gezeigte lineare Bewegung mechanisch schwer realisiert werden kann, wird in einer elektrischen Maschine der Leiter auf einer Kreisbahn bewegt.



Da nun die Änderung des Flusses pro Zeiteinheit nicht mehr gleichbleibend ist, sondern der sin-Funktion entspricht, folgt auch die induzierte Spannung dem sin-Gesetz.

Dynamisches Mikrofon: Beim dynamischen Mikrofon wird eine bewegliche Spule im Takte der Sprache gegenüber einem feststehenden Permanentmagneten verschoben. Dadurch wird in der Spule eine Spannung erzeugt (induziert).



Wirbelströme und Spulenkerne

Durchdringt ein sich änderndes Magnetfeld Metallteile, so werden in diesen durch Induktion Spannungen erzeugt. Dadurch fließen Ströme, es wird Energie in Wärme umgesetzt, was in den meisten Fällen nicht erwünscht ist.

Um solche "Wirbelströme" zu vermindern, müssen besondere Massnahmen ergriffen werden: Die Kerne werden in voneinander isolierte Abschnitte unterteilt, was zur Folge hat, dass die Wirbelströme nur noch einzeln in kleinen Kammern fließen können.

Aus diesem Grunde werden Trafos aus Blechpaketen zusammengefügt. Bei höheren Frequenzen verschärft sich das Problem noch: Ab Frequenzen von einigen 100 kHz aufwärts dürfen nur noch Ferritkerne verwendet werden.

Ferrite sind Verbindungen von Eisenoxyd und werden bei hohen Temperaturen aus Pulver in entsprechenden Formen gepresst.

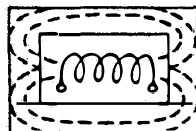
Abschirmung

Da magnetische Felder unter Umständen elektronische Schaltungen durch Induktion von Störspannungen in der Funktion beeinträchtigen (z.B. Brummspannungen), muss eine Abschirmung verwendet werden.

Bei NF ist die hohe Permeabilität des Eisens brauchbar, um fast alle Kraftlinien eines Magneten in sich zu konzentrieren.

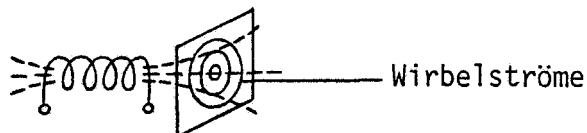
Es sind nur wenige Kraftlinien ausserhalb des Eisens feststellbar (Weg des geringsten Widerstandes).

Abschirmung bei NF

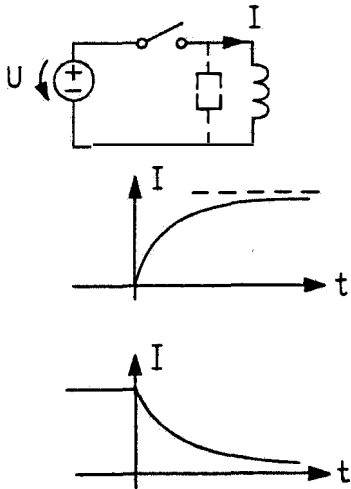


Bei HF darf Eisen wegen der Verluste nicht mehr verwendet werden. Der Abschirmungs-Effekt basiert hier auf der Wirkung der Wirbelströme, welche ein Gegenfeld hervorrufen, welches wiederum das ursprüngliche Feld aufhebt.

Abschirmung bei HF



1.11 Selbstinduktion



Fließt durch eine Spule Gleichstrom, so ändert sich das magnetische Feld nur beim Ein- und Ausschalten. Beim Einschalten schneiden die Feldlinien die Leiter der Spule, wodurch eine Spannung induziert wird: Selbstinduktions-Spannung.

Diese Spannung wirkt der extern angelegten Spannung entgegen, der Stromanstieg erfolgt deswegen nicht sprunghaft.

Beim Ausschalten bewirkt dieser Effekt, dass der Strom nicht sofort Null wird, sondern kontinuierlich abnimmt.

(Wäre in obiger Figur kein Widerstand vorhanden, dann würde sich ein Funkenüberschlag am Schalter ereignen.)

Induktivität L

Ändert der Strom in einer Spule, so ändert sich das magnetische Feld. Dadurch wird eine Selbstinduktionsspannung erzeugt.

Die Größe dieser Selbstinduktionsspannung hängt ab von der Größe der zeitlichen Änderung des Stromes sowie von den Abmessungen der Spule. Diese Spuleneigenschaften werden zusammengefasst in der Induktivität L:

Induktivität L (H) (Henry)

Damit lässt sich für die induzierte Spannung schreiben:

$$U_i = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Reihen- und Parallelschaltung von Spulen

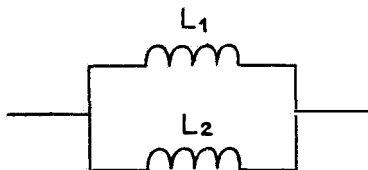
Zu beachten ist, dass sich Spulen gegenseitig durch ihre magnetischen Felder beeinflussen können.

Ohne gegenseitige Beeinflussung gilt:



$$L = L_1 + L_2$$

Serie



$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

Parallel

Induktiver Widerstand

Befindet sich eine Spule in einem Wechselstromkreis, so wirkt sie ähnlich einem Widerstand, weil dauernd eine Selbstinduktionsspannung induziert wird, welche die Spannungsverhältnisse im Stromkreis ändert. Der auftretende Widerstand wird "Induktiver Widerstand" genannt.

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

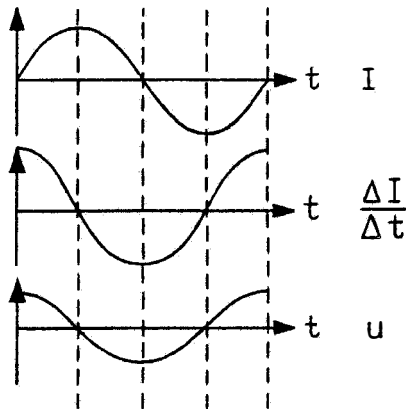
X_L = Induktiver Widerstand

ω = Kreisfrequenz

Phasenverschiebung φ

Wir speisen die Spule mit einem Wechselstrom. Dann verhält sich die Selbstinduktionsspannung wie:

0 90° 180° 270° 360°



$$u_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

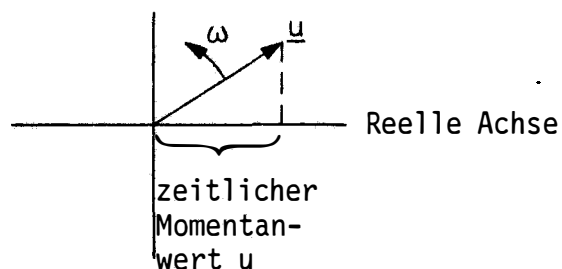
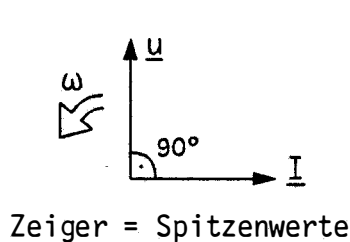
Nebstehendes Diagramm soll veranschaulichen, dass zwischen dem Strom, der durch die Spule fließt, und der Spannung über der Spule eine zeitliche Verschiebung besteht.

Diese Verschiebung wird Phasenverschiebung φ genannt. Man sieht, dass sie in unserem Fall 90° beträgt: Die Spannung eilt dem Strom um 90° vor.

$$\varphi = 90^\circ$$

Strom und Spannung lassen sich übersichtlicher im sogenannten Zeigerdiagramm darstellen: Man stellt sich die Größen als Zeiger vor, die mit der Frequenz des Stromes bzw. der Spannung drehen.

Die Projektion dieser Zeiger auf die sog. "reelle" Achse stellt den zeitlichen Verlauf unserer elektrischen Größen dar.



1.12 Spulen in der Praxis

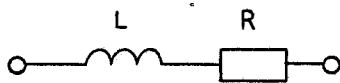
Kennwerte:

- Induktivität L

Die Induktivität ist bei den meisten Spulen nicht äusserlich angegeben und muss deshalb im Zweifelsfalle gemessen werden. Die Induktivität hängt wie folgt von den Spulenabmessungen ab:

$$L \text{ proportional } \mu \cdot \frac{n^2 \cdot A}{l}$$

- Temperaturkoeffizient
gibt wie beim Widerstand die Abhängigkeit von ändernder Temperatur an (besonders wichtig bei Oszillatorschwingkreisen).
- Spannungsfestigkeit
Zwischen den einzelnen Windungen oder zwischen verschiedenen Lagen einer Wicklung können u.U. Spannungen auftreten, welche zum Durchschlag führen können.
- Spulengüte Q
Jede Spulenwicklung besitzt einen Spulenwiderstand (ohmscher Widerstand). Je grösser dieser Widerstand nun ist, umso grösser sind die darin entstehenden Verluste. Man denkt sich den Widerstand in Serie zu einer idealen Spule geschaltet:

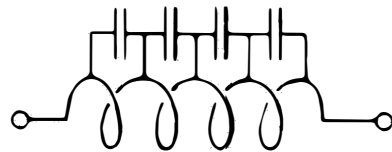


Spulengüte

$$Q_L = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

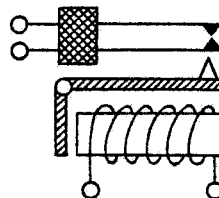
- Belastbarkeit
Die durch die Spule zugelassene Stromstärke ist in etwa wie folgt beschränkt:
Drosseln und Trafos: 2 ... 4 A/mm²
Luftspulen: 10 A/mm²

- Eigenkapazität
Zwischen je zwei Spulenwindungen macht sich eine Kapazität bemerkbar. Man trachtet im allgemeinen danach, diese schädliche Kapazität möglichst klein zu halten.
Resonanzerscheinungen!

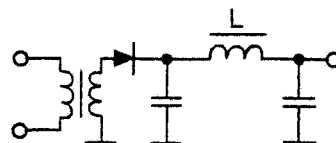


Bauformen:

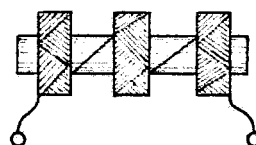
- Gleichstromspulen
finden Verwendung in Elektromagneten, z.B. Relaispulen.



- Netzfrequenz- und Tonfrequenz-Spulen
Wie bei den Gleichstromspulen wird hier mit grossen Windungszahlen gearbeitet (bis ca. 10'000). Die Magnetisierungskurve spielt eine wesentliche Rolle, die Sättigung ist in vielen Fällen eine wichtige Grenze. Die entstehenden Verluste sind ebenfalls aus der Magnetisierungskurve ersichtlich.
Verwendung z.B. als Netz-Drossel in einem Netzgerät, zur Abschwächung des Brumms (induktiver Widerstand bei Netzfrequenz höher als Gleichstromwiderstand).



- HF-Drossel
Um hochfrequenten Strömen den Zutritt zu gewissen Schaltungsteilen zu versperren, werden HF-Drosseln verwendet. Sie müssen eine besonders geringe Kapazität aufweisen.



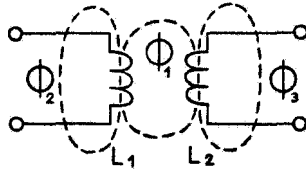
- HF-Spulen

Grössenordnung einige μH bei Kurzwellen. Ein Kern wird im allgemeinen nur bei Frequenzen bis ca. 30 MHz und niedrigen Leistungen verwendet. In Leistungsstufen und bei hohen Frequenzen (UKW) gelangen fast ausschliesslich Luftspulen zur Anwendung.

1.13 Transformatoren

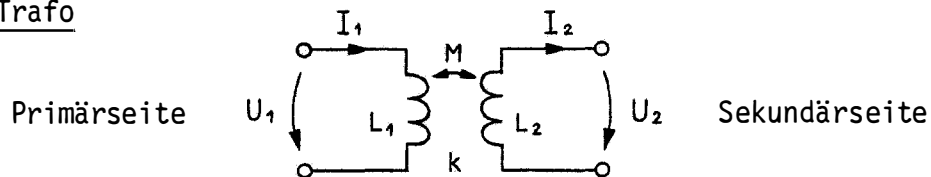
Prinzip

Im Prinzip besteht ein Trafo aus zwei Induktivitäten, deren Felder sich (teilweise) beeinflussen. Ändert sich das eine Feld (Wechselfeld), so wird in der anderen Spule eine Spannung induziert.



Der gemeinsame Fluss Φ_1 sollte im Normalfall möglichst gross sein. Φ_2 und Φ_3 werden Streuflüsse genannt und tragen nichts zur eigentlichen Trafofunktion bei. Beim idealen Trafo treten keine Streuflüsse auf.

Der ideale Trafo



Windungszahlen n_1 n_2

Übertragungsverhältnis $\ddot{u} = \frac{n_2}{n_1}$

M = Gegeninduktivität

Bei nichtidealen Trafos wird ein Kopplungsfaktor k definiert, welcher bei idealem Trafo 1 ist. Es gilt:

allgemein: $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$ k = Kopplungsfaktor

idealer Trafo: $k = 1$ $M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$

Spannungsübersetzung proportional dem Übertragungsverhältnis:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = \ddot{u}$$

Stromübersetzung umgekehrt proportional dem Uebertragungsverhältnis:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\dot{u}}$$

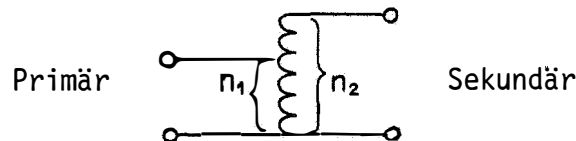
Wie man sieht, ist das Spannungs- zu Stromverhältnis auf der Primärseite und auf der Sekundärseite nicht gleich gross. Dieses Verhältnis stellt einen Widerstand dar. Deshalb die Bezeichnung "Widerstandstransformation". Mit einem Trafo können also Widerstände transformiert werden. (Nicht zu vergessen ist, dass die Spannungen und Ströme auf einer Seite des Trafos von den angeschlossenen Schaltelementen diktiert werden.)

$$\frac{\frac{U_2}{I_2}}{\frac{U_1}{I_1}} = \frac{R_2}{R_1} = \dot{u}^2$$

Verwendung dieses Effektes zur Impedanzanpassung, z.B. bei NF-Endstufen und bei Mikrofonübertragern.

Spartrafo (Autotransformator)

Wo eine galvanische Trennung (=gleichstrommässige Trennung) der Primär- und Sekundärseite nicht notwendig ist, werden die Wicklungen zusammengelegt.



An den für den idealen Trafo angegebenen Verhältnissen ändert sich nichts, wenn die Windungszahlen wie in der Skizze angegeben, angenommen werden. Verwendung für Vorschalttrafos 220 V / 110 V, um amerikanische Geräte an unserer Netzspannung betreiben zu können.

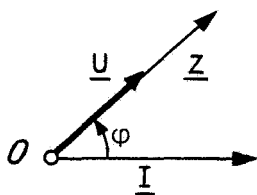
1.14 RL- und RC-Schaltungen

(Wechselstrombetrachtungen)

Problem: Bei L und C sind Strom und Spannung gegeneinander um 90° phasenverschoben, während diese beiden Grössen beim Widerstand R in Phase sind. Wie verhalten sich die Phasen, Spannungen und Ströme bei Kombinationsschaltungen?

Definition der Impedanz (Scheinwiderstand) Z

Die Impedanz wird am besten wie U und I in Wechselstromschaltungen als Zeiger dargestellt.



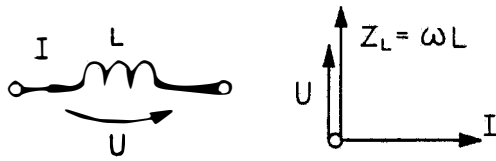
$$Z = \frac{U}{I}$$

Betrag der Impedanz

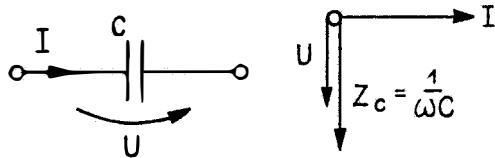
$$\varphi = \angle Z = \angle U - \angle I$$

Phase von Z

Beispiel: Impedanz der Induktivität L

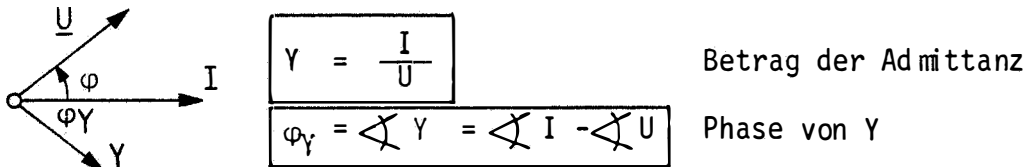


Impedanz der Kapazität C

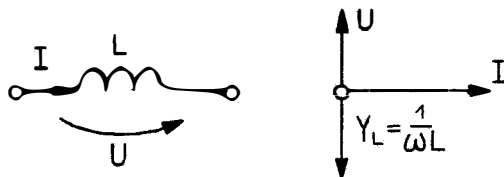


Definition der Admittanz (Scheinleitwert) Y

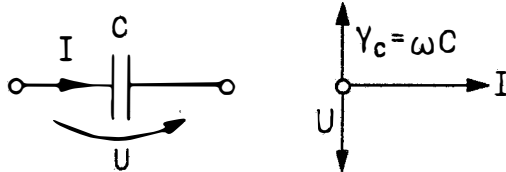
Die Admittanz ist der Kehrwert der Impedanz, wobei die Phase der Impedanz negativ zu nehmen ist.



Beispiel: Admittanz der Induktivität L



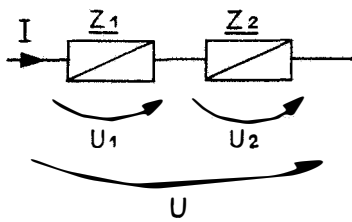
Admittanz der Kapazität C



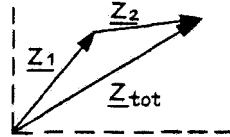
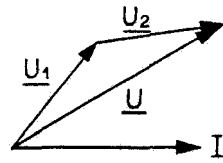
Merke: Bei Serieschaltungen ist der Strom konstant, bei Parallelschaltungen ist die Spannung konstant und werden jeweils in horizontaler Richtung aufgezeichnet.

Bei Serieschaltungen dürfen die Impedanzen geometrisch addiert werden, bei Parallelschaltungen dürfen die Admittanzen geometrisch addiert werden.

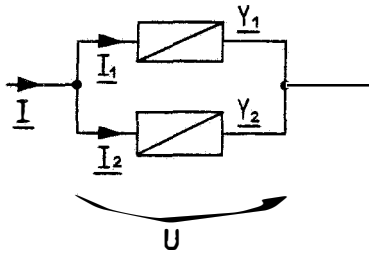
Serieschaltung von Impedanzen



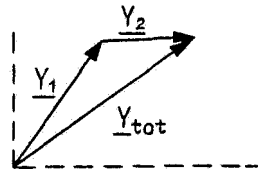
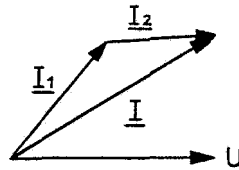
$$\underline{Z}_{\text{tot}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$$



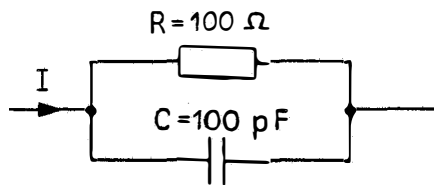
Parallelschaltung von Admittanzen



$$\underline{Y}_{\text{tot}} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2$$



Beispiel einer Berechnung:



$$f = 14 \text{ MHz}$$

$$U = 100 \text{ V}$$

$$I = ?$$

Lösung:

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{j\omega C} = \omega C$$

$$Y_R = \frac{1}{R} = \frac{1}{100 \Omega} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\omega C = 6.28 \cdot 14 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 8.796 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

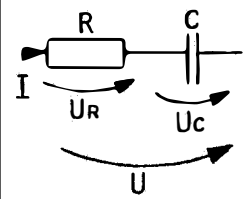
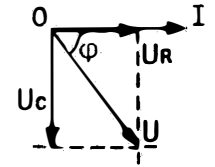
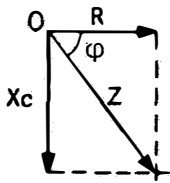
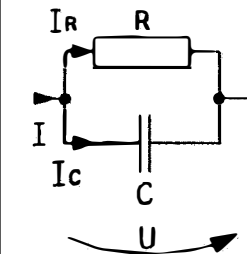
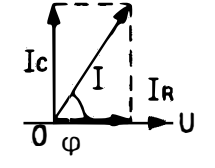
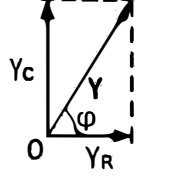
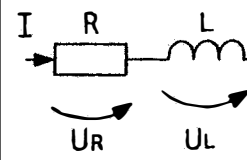
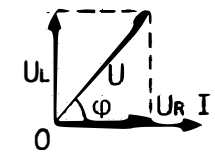
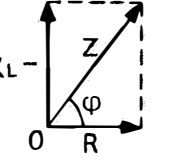
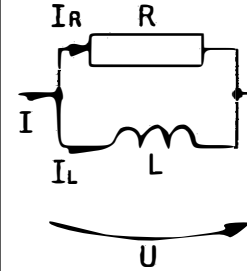
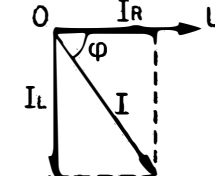
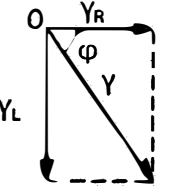
$$Y = \sqrt{(10 \cdot 10^{-3})^2 + (8.796 \cdot 10^{-3})^2} \text{ S}$$

$$= \sqrt{100 + 8.796^2} \cdot 10^{-3} \text{ S} = 13.32 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$Y = \frac{I}{U} \longrightarrow I = Y \cdot U = 100 \text{ V} \cdot 13.32 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$= I = \underline{\underline{1.332 \text{ A}}}$$

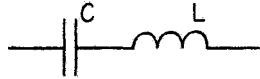
RC- und RL-Schaltungen

RC Serie				$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ $= \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$	$\tan \varphi = \frac{X_C}{R}$ $\varphi = \arctan \frac{X_C}{R}$
RC parallel				$Y = \sqrt{Y_R^2 + Y_C^2}$ $= \sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2}$	$\tan \varphi = \frac{Y_C}{Y_R} = \frac{R}{X_C}$ $\varphi = \arctan \frac{R}{X_C}$
RL Serie				$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $= \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$	$\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$ $\varphi = \arctan \frac{X_L}{R}$
RL parallel				$Y = \sqrt{Y_R^2 + Y_L^2}$ $= \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega^2 L^2}}$	$\tan \varphi = \frac{Y_L}{Y_R} = \frac{R}{\omega L}$ $\varphi = \arctan \frac{R}{\omega L}$

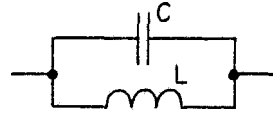
1.15 Schwingkreis

Schwingkreise finden weitverbreitet Anwendung, um eine durch die Schwingkreisgrößen bestimmte Frequenz auszusieben oder zu unterdrücken.

Jeder Schwingkreis besteht mindestens aus einer Kapazität C und aus einer Induktivität L, wobei man je nach Art der Zusammenschaltung zwischen Parallel- und Serie-Schwingkreis unterscheidet.



Serieschwingkreis



Parallelschwingkreis

Serieschwingkreis



Wie aus dem Zeigerdiagramm ersichtlich, tritt beim Serieschwingkreis dann die Gesamtimpedanz Null auf, wenn

$$X_L = X_C$$

also $\omega L = 1/\omega C$

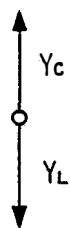
daraus $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

f_0 = Resonanzfrequenz

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Obige Erscheinung wird Resonanz genannt, welche bei fixen Elementen C und L bei der Resonanzfrequenz f_0 auftritt.

Parallelschwingkreis



Beim Parallelschwingkreis sind bei Resonanz X_C und X_L ebenfalls gleich gross.

Es gilt die gleiche Resonanzbedingung. Die Impedanz bei Resonanz wird unendlich gross.

Verlustbehafteter Schwingkreis

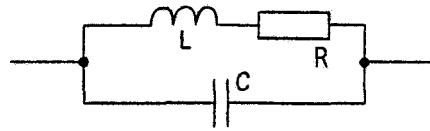
Jeder reale Schwingkreis enthält ohmsche Widerstände. In den meisten Fällen spielt der Spulenwiderstand die grösste Rolle. Die Verlustwiderstände eines Schwingkreises werden demzufolge gut durch einen zur Spule in Serie geschalteten Widerstand R repräsentiert.

Serieschwingkreis

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

$$\text{Schwingkreisgüte } Q = \frac{\omega L}{R}$$

$$\text{Resonanzwiderstand } R_{\text{res}} = R$$

Parallelschwingkreis

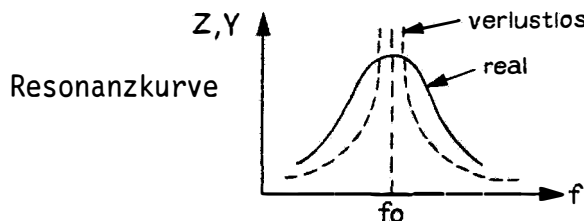
$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

$$\text{Schwingkreisgüte } Q = \frac{\omega L}{R}$$

$$\text{Resonanzwiderstand } R_{\text{res}} = X_L \cdot Q$$

Bandbreite und Schwingkreisgüte

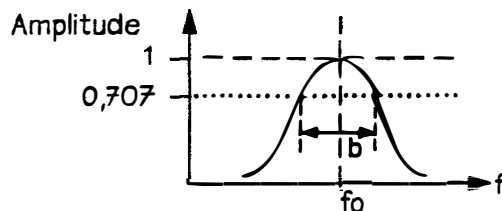
Bei Schwingkreisen ist das frequenzabhängige Verhalten von Impedanz und Admittanz besonders interessant



Parallelschwingkreis: Z
Serieschwingkreis: Y

Meist wird der Schwingkreis zur Selektion eines Signals aus einem Frequenzspektrum gebraucht. Dabei ist die Trennschärfe wichtig, d.h. die Fähigkeit, benachbarte Sender zu unterdrücken und nur den gewünschten Sender durchzulassen.

Ein Mass dafür ist die Schwingkreisgüte Q.



Die Bandbreite ist definiert als die Breite der Resonanzkurve bei Abfall der Spannung (bzw. Impedanz) beim Parallelschwingkreis auf den 0.7 fachen Wert (genau $1/\sqrt{2}$).

Analoges gilt für den Serieschwingkreis. Bandbreite und Schwingkreisgüte hängen wie folgt zusammen.

$$b = \frac{f_0}{Q}$$

b = Bandbreite

1.16 Wirk-, Schein- und Blindleistung

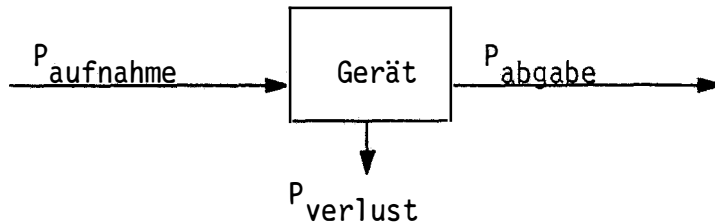
Fließt ein Strom durch einen Widerstand, so wird Wärme erzeugt, wobei die Wärmeleistung umso grösser ist, je grösser Strom und Spannung sind.

Elektrische Leistung P (W) Watt

$$P = U \cdot I \quad \text{Wirkleistung}$$

Da wirklich eine Leistung an die Umgebung abgegeben wird, (in unserem Fall Wärme), spricht man von Wirkleistung. In diesem Zusammenhang ist auch der Wirkungsgrad η von Interesse.

In vielen Geräten wird Energie von einer Form in eine andere umgewandelt. Dieser Prozess geschieht nicht zu 100%, es geht immer ein Teil der Energie verloren.



Beispiel: Gerät = Sender

P_{aufnahme} = zugeführte 50 Hz-Netz-Leistung

P_{abgabe} = an die Antenne abgegebene Hochfrequenzleistung

P_{verlust} = hauptsächlich abgestrahlte Wärme (z.B. Kollektorverlustleistung der Endstufentransistoren)

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{P_{\text{abgabe}}}{P_{\text{aufnahme}}}$$

Natürlich gilt: $P_{\text{aufnahme}} = P_{\text{abgabe}} + P_{\text{verlust}}$

Sind in einem Wechselstromkreis Strom und Spannung nicht in Phase, drückt das Produkt aus Strom und Spannung nicht mehr die Wirkleistung aus, sondern die Scheinleistung. Betrachtet man die Momentanwerte von Strom und Spannung, so sieht man, dass zeitweise Leistung zur Quelle zurückfließt!

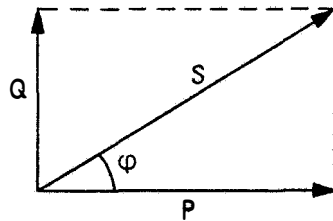
Scheinleistung S (VA) Volt-Ampere

Man kann sich die Scheinleistung aus zwei Komponenten überlagert zusammengesetzt vorstellen: Eine Komponente, welche für die effektive Leistungsabgabe, eine andere, welche für das Pendeln eines Leistungsanteils zwischen Erzeuger und Verbraucher zuständig ist.

Die "pendelnde" Leistung verrichtet keine Arbeit, sie wird deshalb Blindleistung genannt:

Blindleistung Q (var) Volt-Ampere-reaktiv

Die Leistungen im Wechselstromkreis lassen sich ebenso wie Strom, Spannung, Impedanz und Admittanz als Zeiger darstellen:



$$\frac{P}{S} = \cos\varphi \quad P = S \cdot \cos\varphi$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \cos\varphi = \text{Leistungsfaktor}$$

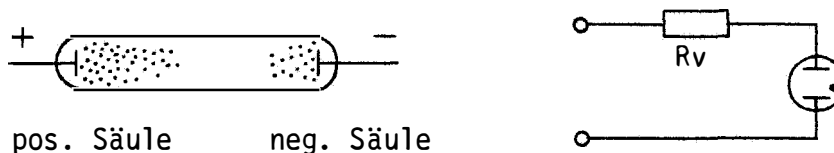
Die Wirkleistung in einer Wechselstromschaltung wird abhängig von der Phasenverschiebung φ zwischen Strom und Spannung. Es ist offensichtlich, dass man versucht, $\cos\varphi$ möglichst gleich 1 zu machen, man erhält damit die grösste abgebbare Wirkleistung bei gleichbleibendem U und I.

1.17 Leitung in Gasen

Elektrischer Strom ist nichts anderes als bewegte Ladungsträger. Diese können sowohl Elektronen als auch Ionen sein.

In Gasen kann es vorkommen, dass eine Anzahl Ionen vorhanden ist, welche einen Stromfluss bei angelegter Spannung ermöglichen. Ist die Spannung genügend gross, werden die Ionen beschleunigt und stossen gegen Atome, welche durch den Stoss ionisiert werden (Stossionisation). Durch lawinenartiges Anwachsen dieser Stossionisation kommt es zum elektrischen Durchschlag.

Ausgenützt wird dieser Effekt in der Glimmlampe:



Damit die "Stromlawine" im Betrieb einer Glimmlampe nicht zu stark anwächst, muss ein Vorschaltwiderstand von einigen $10 \text{ k}\Omega$ verwendet werden, um den Strom zu begrenzen.

Glimmlampen können auch zur Stabilisierung von hohen Spannungen herangezogen werden.

1.18 Skin-Effekt

Ein von einem Gleichstrom durchflossener Leiter zeigt überall gleiche Stromdichte.

Fliesst durch einen Leiter ein Wechselstrom, so ist die Stromdichte nicht konstant auf dem ganzen Leiterquerschnitt.

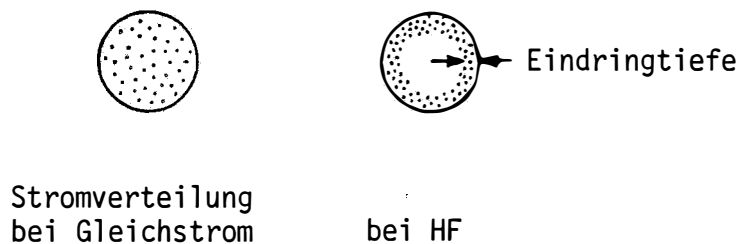
Dies ist die Folge des inneren Magnetfeldes des stromdurchflossenen Leiters. Dieses Magnetfeld verdrängt den Strom in die äusseren Bezirke des Leiters. Dadurch steigt der Widerstand des Leiters an! (Das im innern Raum des Leiters vorhandene Material wird nicht ausgenützt.)

Bei Netzfrequenz und bei NF spielt der Skin-Effekt eine untergeordnete Rolle, während bei HF der ohmsche Widerstand eines Leiters ein Mehrfaches des Widerstandes bei Gleichstrom beträgt.

Beispiel: Kupferdraht mit 1mm Durchmesser:

Bei 10 MHz beträgt der ohmsche Widerstand bereits das 11.5 fache des Widerstandes bei Gleichstrom!

Dünne Drähte verhalten sich besser, so dass man oft HF-Spulen aus Litzendraht gewickelt sieht.

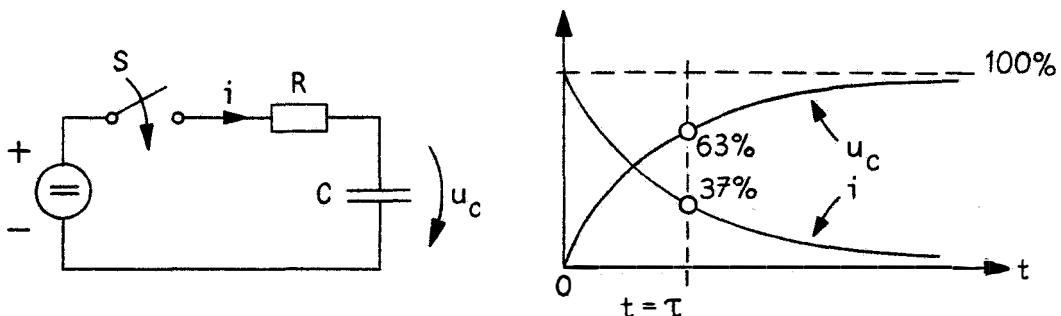


1.19 RC- und RL-Zeitkonstanten

RC- und RL-Glieder weisen interessante Ein- und Ausschaltvorgänge auf. Man geht davon aus, dass sich im Kreis ein Schalter befindet, welcher zu einem bestimmten Zeitpunkt geschlossen wird. Dann verstreicht eine gewisse Zeit, bis sich der Kondensator aufgeladen, bzw. bis sich das Magnetfeld einer Spule aufgebaut hat. Beim Ausschalten spielen wieder die Trägheitseffekte von Kondensator und Spule wichtige Rollen.

1.19.1 RC-Glied

Zum Zeitpunkt 0 werde der Schalter S geschlossen. Nun lädt sich der Kondensator C über den Widerstand R auf. Dieser Aufladevorgang dauert umso länger, je grösser R und C sind.



Aufladevorgang (bei $t=0$ wird der Schalter S geschlossen)

Als Mass für die "Aufladezeit" eines RC-Gliedes gibt man die sog. Zeitkonstante der Schaltung an. Die Zeitkonstante ist diejenige Zeit, die verstreicht, bis die Kondensatorspannung 63% des Endwertes erreicht hat und der Strom auf 37% des Anfangswertes abgesunken ist. Die Zeitkonstante

berechnet sich einfach aus:

Zeitkonstante

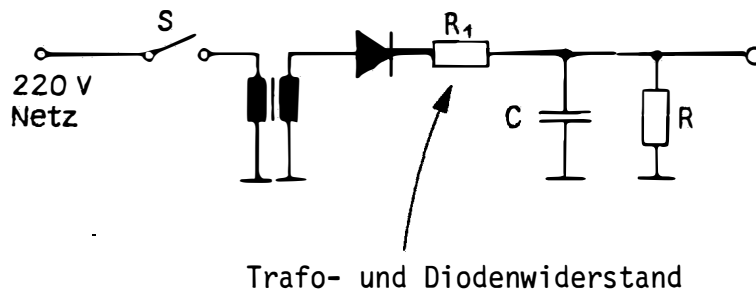
$$\tau = R \cdot C$$

($\tau = \text{"Tau"}$)

Auch beim Entladevorgang tritt die gleiche Zeitkonstante in Erscheinung.

Nach der Zeitdauer einer Zeitkonstante gilt der Kondensator noch nicht als aufgeladen; es müssen vielmehr etwa 5 Zeitkonstanten verstreichen, bis man annehmen kann, dass der Kondensator beim Aufladevorgang ganz geladen ist (bzw. beim Entladevorgang ganz entladen ist).

Beispiel: Ein Hochspannungsnetzgerät für eine Endstufe weist ein RC-Siebglied auf:



$$R = 100 \text{ k}\Omega, C = 30 \mu\text{F}, R_1 = 100 \text{ }\Omega$$

Die Diode hat mit dem Trafo (Sekundärwicklung) zusammen einen Innenwiderstand von 100 Ω . Wie lange dauert der Aufladevorgang, wie lange der Entladevorgang nach Ausschalten des Gerätes (Schalter S)?

Lösung: a) Aufladen: Nach Schliessen des Schalters S:

$$\tau = R_1 \cdot C = 100 \text{ }\Omega \cdot 30 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 3 \text{ ms}$$

$$\text{Der Aufladevorgang ist beendet nach ungefähr } 5\tau = 15 \text{ ms}$$

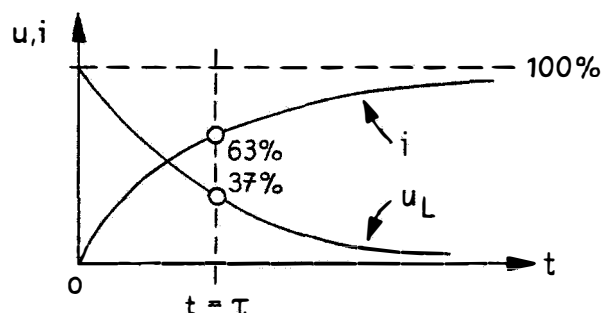
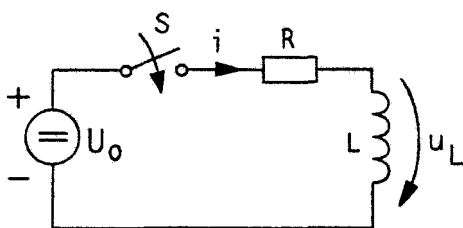
b) Entladen: Nach Öffnen des Schalters S:

$$\tau = 100 \text{ k}\Omega \cdot 30 \mu\text{F} = 3 \text{ s}$$

$$\text{Der Entladevorgang ist beendet nach } 5\tau = 15 \text{ s}$$

Vorsicht beim Arbeiten an Geräten mit Hochspannungsnetzteilen: Auch lange nach Abschalten der Speisung können noch gefährliche Spannungen vorhanden sein! (Speisung ggf. kurzschliessen)

1.19.2 RL-Glied



Beim Einschalten des Schalters S in einem RL-Kreis beginnt der Strom infolge der in der Spule erzeugten Selbstinduktionsspannung nur langsam zu fließen. Im Einschaltmoment entsteht an der Spule eine Spannungsspitze.

Auch bei der RL-Schaltung lässt sich eine Zeitkonstante τ in gleicher Weise wie für die RC-Schaltung definieren:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Während beim Einschaltvorgang die über der Spule entstehende Spannungsspitze nicht grösser als U_0 sein kann, ist dies beim Ausschalten anders.

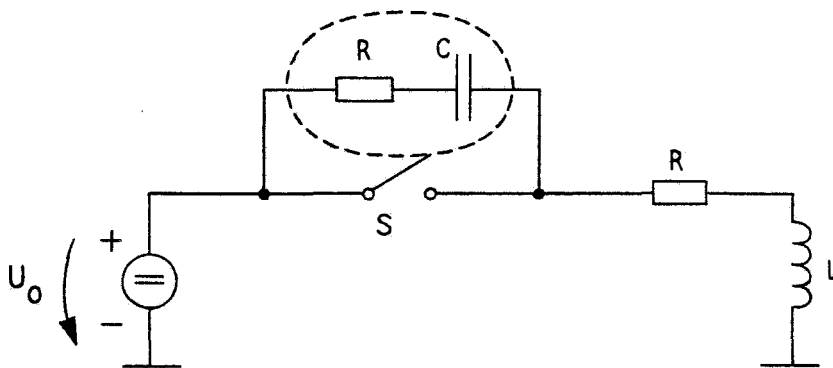
Hier wird nun der Stromfluss plötzlich abrupt unterbrochen. Dies hat eine sehr grosse Selbstinduktionsspannung in der Spule zur Folge. Im Zeitpunkt des Öffnens des Schalters vermag diese Spannung einen Funken zwischen den Schaltkontakten zu erzeugen. Da die gespeicherte Energie in der Spule meist gering ist, erlöscht der Funke rasch wieder.

Trotzdem bewirken natürlich elektrische Entladungen an Kontakten in RL-Stromkreisen eine zusätzliche Belastung des Kontaktmaterials. Ohne Gegenmassnahmen würden solche Kontakte nur eine bescheidene Lebensdauer aufweisen.

1.19.3 Funkenlöschung

Das Vermeiden von Ueberspannungen infolge Selbstinduktion bezeichnet man als Funkenlöschung. Plötzlich auftretende Spannungssstösse kann man mit Kondensatoren (Kurzschluss für hohe Frequenzen) unschädlich machen.

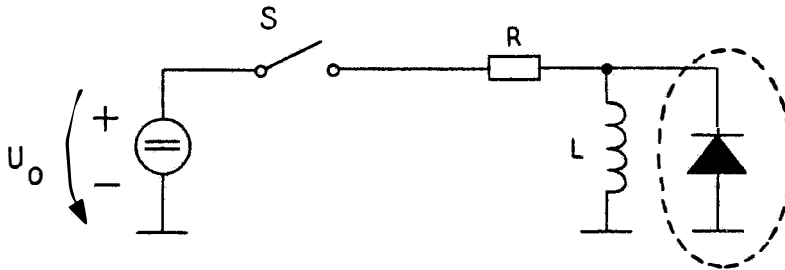
Oft verwendet man deshalb zur Funkenlöschung über Kontakten ein RC-Glied, das dem gefährdeten Kontakt parallel geschaltet wird.



Funkenlöschung mit RC-Glied
(R einige kOhm, C z.B. 0.1 μ F)

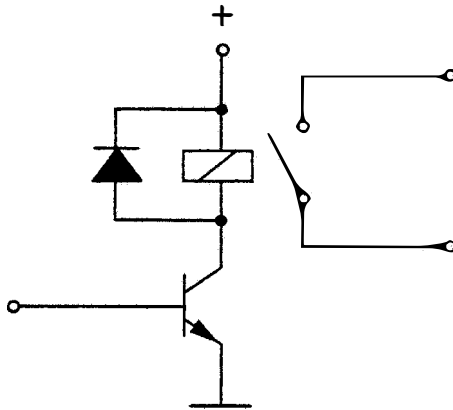
- Eine zweite Möglichkeit des Schutzes gegen Ueberspannungen, etwas anderer Art, ist das Parallelschalten einer Diode zur Spule. Diese Diode schliesst die beim Ausschalten des Stromes durch die Spule auftretende Ueberspannung kurz. (Die Ueberspannung tritt in umgekehrter Polarität auf als die Spannung über der Spule im eingeschalteten Zustand.)

Die Diode muss natürlich eine entsprechend hohe Stossbelastbarkeit aufweisen.



Funkenlöschung mit Diode (Kurzschliessen der an der Spule entstehenden Ueberspannung beim Ausschalten von S)

Von dieser Möglichkeit wird z.B. dann Gebrauch gemacht, wenn eine Transistorstufe ein Relais (im Kollektorkreis) betätigen soll. Der dabei entstehenden Gefahr der Zerstörung des Halbleiters durch Ueberspannung wird durch Parallelschalten einer Diode zum Relais begegnet.

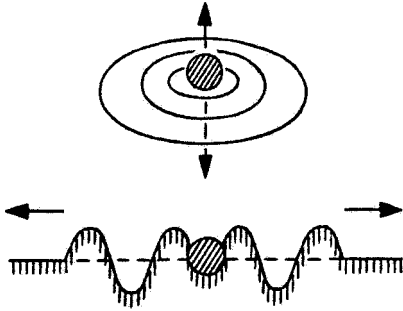


Transistor-Schaltstufe mit Schutzdiode über Relaispule

2. Elektromagnetische Wellen

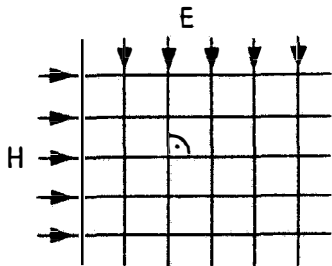
Elektromagnetische Welle : sich ausbreitendes

- el. Feld E
- magn. Feld H



Modellvorstellung:

An einem Punkt an der Wasseroberfläche bewegt man einen Ball auf und ab. Dadurch werden Wellen erzeugt, die sich mit einer Geschwindigkeit c ausbreiten. Diese Geschwindigkeit hängt nicht von der Frequenz der Ballbewegung ab.



Diese Vorstellung entspricht recht gut dem Ausbreitungsvorgang von elektromagnetischen Wellen. Die Wellenamplitude entspricht dabei den Amplituden der beiden Felder. Im elektromagnetischen Feld stehen nun die Feldlinien des magnetischen und elektrischen Feldes senkrecht aufeinander.

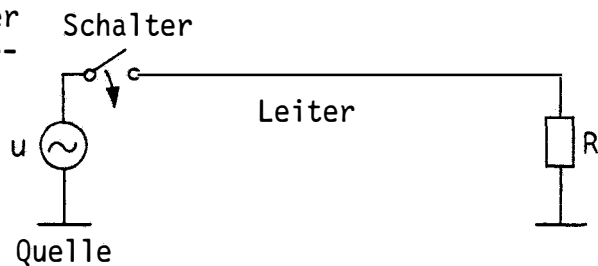
Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen ist gleich der Lichtgeschwindigkeit

$$c = 300'000 \text{ km/s}$$

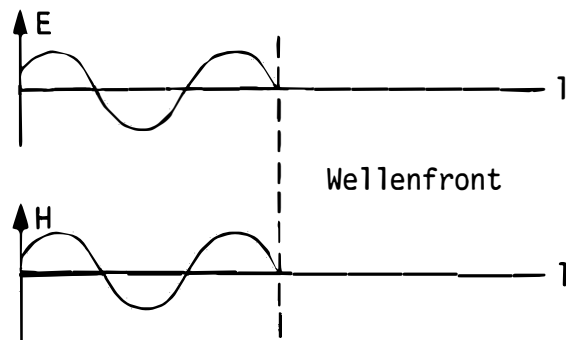
2.1 Wellen auf Leitern

Eine Welle breitet sich von einer Quelle mit einer bestimmten Geschwindigkeit aus (Ausbreitungsgeschwindigkeit). Es verstreicht deshalb eine gewisse Zeit bis die Spannung der Quelle das Drahtende in nebenstehender Figur erreicht hat. Man spricht von einer sich ausbreitenden Spannungswelle.

Da ja auch ein Strom fließen muss (Leitung mit Widerstand belastet), gibt es auch eine Stromwelle, die sich auch mit gleicher Geschwindigkeit ausbreitet.



"Blitzlichter"
einige Zeit nach
Schliessen des
Schalters

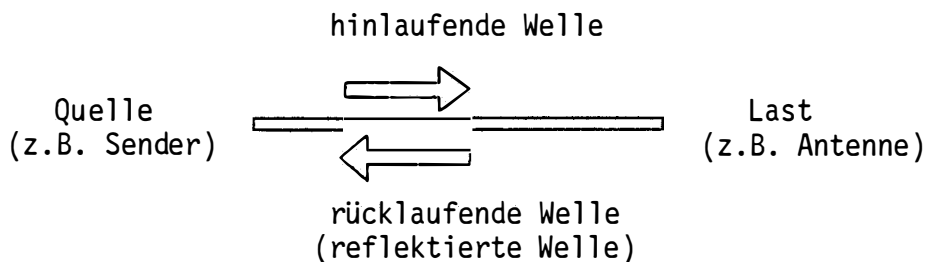


Wie gross ist nun aber der Strom im Einschaltmoment? Die Quelle kann beim Einschalten noch nicht "wissen", wie gross die Stromstärke sein muss, damit am Ende der Leitung am Widerstand R das ohmsche Gesetz erfüllt sein wird.

Die hinlaufende Stromwelle hat deshalb einen Wert, der nur von der Spannung und von den Eigenschaften der Leitung (Leitungsimpedanz, Wellenimpedanz, Wellenwiderstand) abhängt.

Damit das ohmsche Gesetz am Ende wieder stimmt, nimmt man an, dass sich eine rückwärts laufende Welle ausbildet (als Reflexion am Leitungsende entstanden), die sich zur hinlaufenden Welle überlagert (addiert).

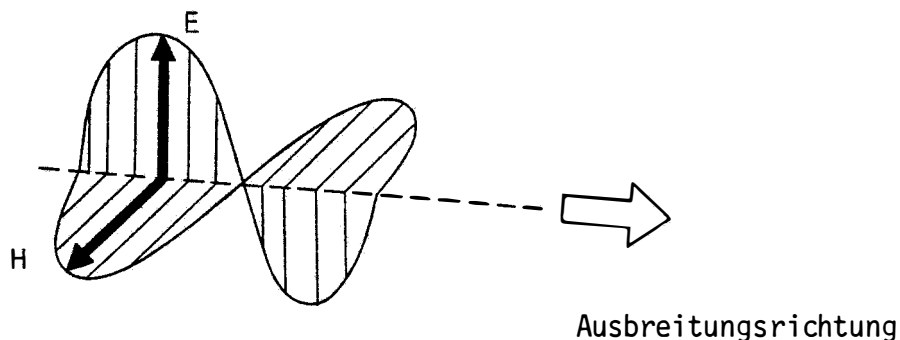
Es gibt also auf jedem Leiter zwei Wellen:



2.2 Wellen im freien Raum

Magnetische und elektrische Feldkomponente lassen sich als gerichtete Grössen durch einen "Zeiger" (Vektor) darstellen. Die Länge stellt die Grösse des Feldes dar, die Lage die Richtung der Kraftwirkung.

Im elektromagnetischen Feld stehen die beiden Feldvektoren senkrecht aufeinander. Die Grösse der Feldkomponenten schwankt (infolge Schwankung der Quellenspannung) mit der sin-Funktion.



Ein elektromagnetisches Feld ist nicht an einen Leiter gebunden. Es kann sich frei in einem luftleeren Raum (Vakuum) ausbreiten. Befinden sich Stoffe in diesem Raum, wird diese ungehinderte Ausbreitung gestört.

So wird das elektromagnetische Feld z.B. durch das Vorhandensein von Leitern gestört; es wird dann geführt (womit wir wieder bei der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle entlang eines Leiters wären!)

2.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Im leeren Raum breiten sich die Wellen, deren Spektrum von den Längswellen bis zur Gamma- und Höhenstrahlung reicht, mit einer Geschwindigkeit von annähernd 300'000 km/s aus. Dies ist die Lichtgeschwindigkeit c . Für Luft und andere dichtere Medien ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit geringer. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Dielektrizitätskonstante ϵ des betreffenden Stoffes, denn die Ausbreitungsgeschwindigkeit v ist:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon r}}$$

v = Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle

c = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

ϵr = Dielektrizitätskonstante (relative)

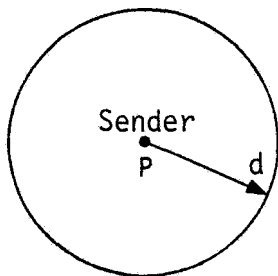
Im Wasser, das eine Dielektrizitätskonstante von rund 81 hat, ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit v rund nur 1/9 der Lichtgeschwindigkeit c im freien Raum.

2.4 Ausbreitungsgesetze

Massgebend für alle Betrachtungen ist die Energie- oder Leistungsdichte einer elektromagnetischen Strahlung. Unter Leistungsdichte versteht man das Verhältnis der Leistung der durch eine Fläche senkrecht hindurchtretenden elektromagnetischen Welle zur Flächengrösse:

$$P' = \frac{P}{A} \quad \text{Leistungsdichte} \quad (\text{W/m}^2)$$

Wir betrachten eine kugelförmige Fläche, die man sich in einer Distanz d um den Sender herum angebracht denkt. Sie besitzt eine Oberfläche von $4\pi d^2$. Daraus können wir die Leistungsdichte auf der Kugeloberfläche berechnen.



$$P' = \frac{P}{4\pi d^2}$$

Die Energie einer elektromagnetischen Welle nimmt also quadratisch mit der Entfernung ab:

$$P' \text{ proportional } \frac{P}{d^2}$$

Wie verhalten sich nun elektrische und magnetische Feldstärke H bzw. E in Abhängigkeit der Distanz? So wie die elektrische Leistung das Produkt aus Strom und Spannung ist, ist die Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung das Produkt aus magnetischer Feldstärke H und elektrischer Feldstärke E .

Im freien Raum stehen nun H und E in einem bestimmten, konstanten Verhältnis zueinander. Dieses Verhältnis heisst die Freiraumimpedanz.

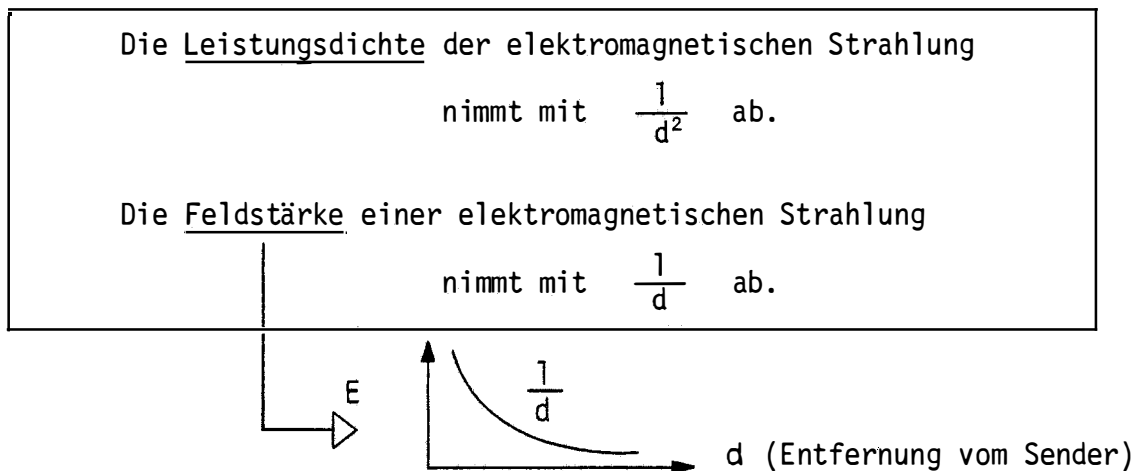
$$Z_f = \frac{E}{H} = 377\Omega$$

Nimmt also E zu, so muss auch H zunehmen. Obige Formel ist das "ohmsche Gesetz" der Wellenausbreitung. Analog gilt für die Leistungsdichte:

$$P' = \frac{E^2}{Z_f} = Z_f \cdot H^2$$

Da die Leistungsdichte P' mit dem Quadrat der Distanz abnimmt, muss die Feldstärke im linearen Verhältnis abnehmen.

Merke:



In Wirklichkeit sieht der Fall natürlich etwas anders aus: Bei Ausbreitung der Radiowellen von einem Senderstandort auf der Erdoberfläche bestehen höchstens 50% der Umgebung aus "freiem Raum". Die Erdoberfläche spielt eine wesentliche Rolle.

Man unterscheidet hauptsächlich zwei Arten der Ausbreitung radioelektrischer Wellen:

- a) Bodenwellenausbreitung: Man betrachtet denjenigen Teil der Ausstrahlung, der sich entlang der Erdoberfläche ausbreitet. Infolge Erdkrümmung ist der Bereich der Bodenwellen beschränkt.
- b) Raumwellenausbreitung: Man betrachtet denjenigen Teil der Ausstrahlung, der den "freien Raum" durchheilt und ohne in die Nähe der Erdoberfläche zu kommen zum Empfänger gelangt. Dabei sind Reflexionen, z.B. an der Ionosphäre, zugelassen.

Raumwellenausbreitung ohne Reflexionen ist möglich im Flugfunk und Weltraumfunk.

2.5 Polarisation

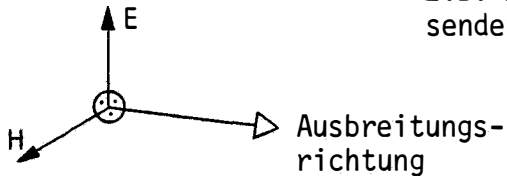
Wie wir in 2.2 gesehen haben, gibt es im elektromagnetischen Feld einen magnetischen und einen elektrischen Feldvektor.

Es ist nun oft wichtig, deren Lage zu kennen, um z.B. mit einer Antenne die maximal mögliche Empfangsspannung zu erzielen. Die Richtung des elektrischen Feldvektors nennt man die Polarisation (srichtung).

Es gibt verschiedene Polarisationsarten:

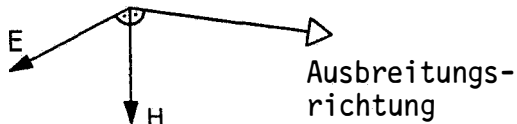
a) Vertikale Polarisation E-Vektor senkrecht zur Erdoberfläche

Verwendung: Bodenwellenverbindung
z.B. Mobilfunk 2m und 70cm, Mittelwellen-
sender



b) Horizontale Polarisation E-Vektor parallel zur Erdoberfläche

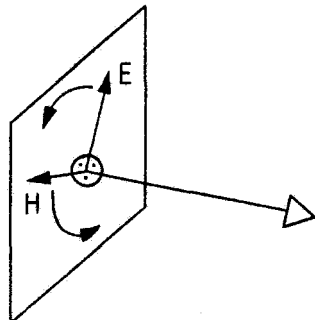
Verwendung: Raumwellenverbindung
z.B. DX-Verkehr auf 10,15,20m Amateur-
bändern



c) Zirkulare Polarisation

E-Vektor rotiert in der senkrecht zur
Ausbreitungsrichtung stehenden Ebene.

Jenach Drehrichtung unterscheidet man
rechtsdrehende und linksdrehende zirkulare
Polarisation.



Verwendung: Weltraumverbindungen z.B.
Wettersatellitenempfangsantennen,
oft auch, wenn die Polarisationsrichtung
der empfangenen Welle stark variiert.

Vertikale Polarisation weist bei Bodenwellenausbreitung weniger Dämpfung auf als horizontal polarisierte Radiowellen. Deshalb wird beim Mobilfunk fast ausschliesslich vertikale Polarisation verwendet. In Wirklichkeit gibt es natürlich wiederum keine idealen Verhältnisse. Der E-Vektor hat nie genau einen Winkel von 0 oder 90° zur Erdoberfläche. Durch Reflexion der elektromagnetischen Welle wird deren Polarisationsrichtung gedreht.

Die Polarisationsrichtung ist deshalb nur dort auch in einiger Distanz vom Sender bekannt, wo keine nennenswerten Reflexionen auftreten, wie z.B. bei VHF und UHF (2m, 70cm) und ganz besonders bei Mikrowellenverbindungen.

2.6 Einteilung des Spektrums

Das Radiospektrum stellt nur einen kleinen Teil des gesamten elektromagnetischen Wellenspektrums dar. Die wichtigsten Radiobereiche sind:

Frequenz	Abkürzung	Englisch	Deutsch
3...30 kHz	VLf	very low frequency	Längstwellen
30..300 kHz	LF	low frequency	Langwellen
300..3000 kHz	MF	medium frequency	Mittelwellen
3...30 MHz	HF	high frequency	Kurzwellen
30..300 MHz	VHF	very high frequency	UKW (Ultrakurzwellen)
300..3000 MHz	UHF	ultra high frequency	UHF
3...30 GHz	SHF	super high frequency	
30..300 GHz	EHF	extra high frequency	

Die Amateurbänder stellen wiederum nur einen Teil des obigen Radiospektrums dar.

International sind für den Amateurfunkdienst folgende Bänder zugeteilt (hier nur bis und mit 70cm-Band aufgeführt):

1.8.....2.0 MHz	160m-Band
3.5.....3,8 MHz	80m-Band
7.0.....7.1 MHz	40m-Band
14.0....14.35 MHz	20m-Band
21.0....21.45 MHz	15m-Band
28.0....29.7 MHz	10m-Band
144.0...146.0 MHz	2m-Band
430.0...440.0 MHz	0.7m-Band

Zur Erinnerung seien die Abkürzungen für die Zehnerpotenzen aufgeführt:

1 kHz	=	10^3 Hz	=	1'000 Hz
1 MHz	=	10^6 Hz	=	1'000'000 Hz
1 GHz	=	10^9 Hz		(Gigahertz)

2.7 Ausbreitung der Kurzwellen

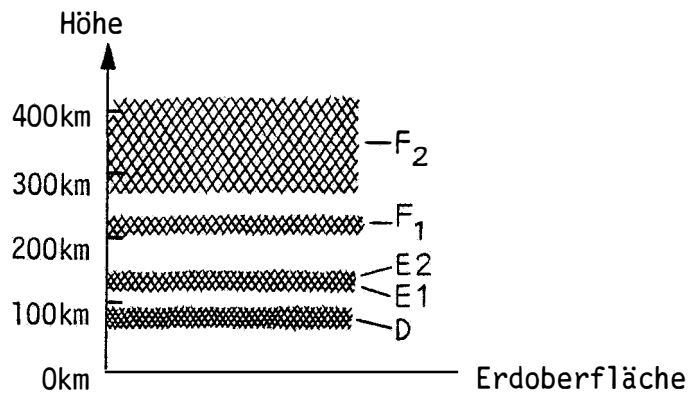
Ionosphäre

Die Ausbreitung der Kurzwellen wird durch die Ionosphäre ganz wesentlich beeinflusst.

Als Ionosphäre wird ein Teil der Hochatmosphäre bezeichnet. Sie erstreckt sich von etwa 50 km bis mehr als 1'000 km Höhe.

Im leeren Raum werden elektromagnetische Wellen nicht beeinflusst. Die Ionosphäre stellt jedoch in elektrischer Hinsicht keinen "leeren Raum" dar, sie enthält vielmehr eine hohe Dichte von Ionen und Elektronen, die infolge der Strahlung aus dem Weltall aus Atomen und Molekülen entstanden sind (Ionisation). Die grösste Beeinflussung resultiert von der Sonnenstrahlung.

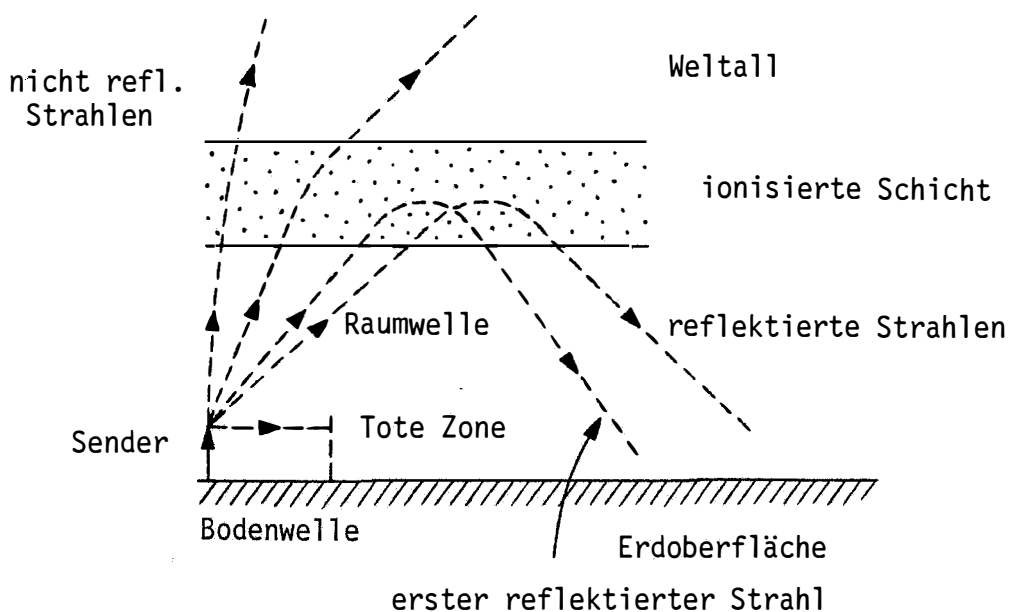
Die Ionosphäre ist also ein "leitendes Gas". Sie ist geschichtet, es gibt Zonen verschiedener Elektronenkonzentration.



Struktur und Bezeichnung der Ionosphärenschichten

Beugung der Radiowellen an der Ionosphäre

Radiowellen werden beim Eindringen in die Ionosphärenschichten aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt (=Beugung). Diese Beugung ist abhängig von der Frequenz des Signals und vom Einfallswinkel (Winkel, mit welchem die Welle auf die ionisierte Schicht einfällt).



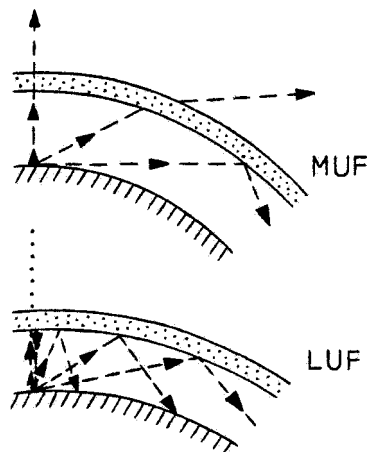
Treffen die Wellen steil auf die Schicht ein, so werden sie unter Umständen gar nicht mehr reflektiert, sondern durchdringen die Schicht und entschwinden im Weltall. Je flacher die Welle einfällt, umso besser wird sie reflektiert (d.h. umso höher kann ihre Frequenz sein). Der Ausbreitungsbereich der Bodenwelle ist im allgemeinen ziemlich beschränkt (einige 10...100 km). Der Bereich zwischen Reichweite der Bodenwelle und dem ersten reflektierten (Raumwellen-) Strahl nennt man "tote Zone", da dort kein Signal empfangen werden kann.

MUF und LUF, Ausbreitungsprognose

Die Beugung ist frequenzabhängig. Da sie in Abhängigkeit der Ionisierung der Schichten (d.h. in Funktion der Sonneneinstrahlung) variiert, ist die Charakteristik der Ionosphäre für die Kurzwellenausbreitung zeitlich nicht konstant.

Am einfachsten wäre, man hätte eine Tabelle, woraus man für jeden Zeitpunkt den zulässigen Frequenzbereich für eine Verbindung zwischen zwei Punkten der Erdoberfläche ersehen könnte. Solche Tabellen gibt es (Berechnung), sie stehen dem Amateur meist aber nur in vereinfachter Form zur Verfügung (z.B. im deutschen QRV). Sie werden Frequenzprognosen, Ausbreitungsprognosen usw. genannt. Aufschlussreich ist oft schon die Kenntnis zweier Frequenzen, der MUF und der LUF:

Die MUF (Maximum Usable Frequency) ist die Frequenz, die bei tangentialer Ausstrahlung gerade noch reflektiert wird. Alle anderen Strahlen durchdringen die Ionosphäre. MUF i.a. grösser als 10 MHz



Die LUF (Lowest Usable Frequency) ist die Frequenz, bei welcher die senkrecht einfallenden Strahlen gerade noch reflektiert werden. LUF i.a. zwischen 2 und 10 MHz.

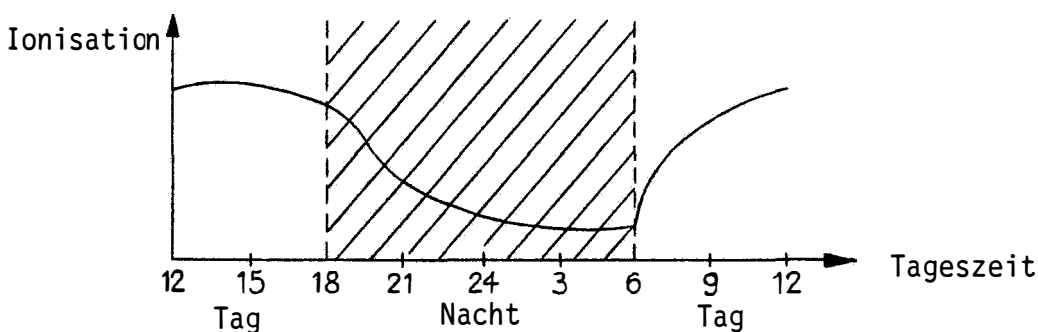
Zeitliche Variationen der Ionosphäre

Die Charakteristiken der Ionosphäre hängen direkt von der Sonneneinstrahlung ab, schwanken deshalb je nach:

- Tageszeit
- Jahreszeit
- Sonnenfleckenaktivität (11-Jahres-Zyklus)

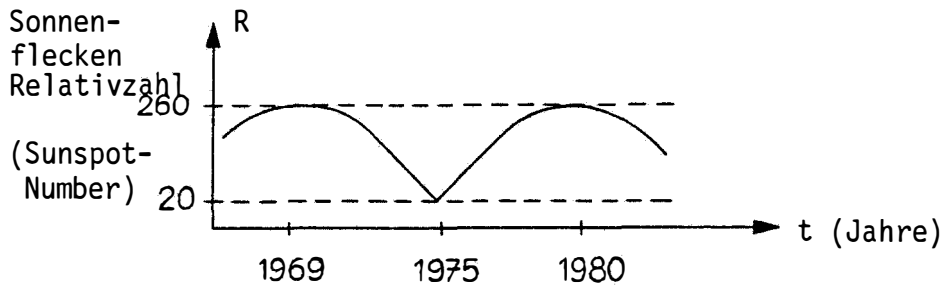
Die ersten beiden Abhängigkeiten lassen sich durch die unterschiedliche Sonnenbestrahlung infolge Tag/Nachtwechsel, sowie durch die Variation des mittleren Einstrahlungswinkels Sommer/Winter, erklären.

Die Ionisierung ist eine träge Erscheinung. Am Morgen muss sich die Ionisierung erst einmal aufbauen, um im Laufe des Nachmittags ein Maximum zu erreichen und nach Einbruch der Dunkelheit kontinuierlich abzufallen. Der Verlauf der Ionisation ist in untenstehender Figur für die Dauer eines Tages wiedergegeben.



In der nördlichen Hemisphäre ist die mittlere Ionisation im Winter geringer als im Sommer. Deshalb liegt die MUF im Winter tiefer als im Sommer, d.h. die höheren Amateurbands (10m) sind meist nicht "offen". Die Sonnenfleckenaktivität wird durch die sog. "Sonnenflecken-Relativzahl" angegeben. Diese Zahlen findet man in einschlägigen Fachzeitschriften (z.B. QRV) angegeben. Die Periodendauer der Sonnenaktivität

beträgt 11 Jahre, wobei wir uns 1975 gerade in einem Aktivitäts-Minimum befinden. Die für die nächste Zeit zu erwartende Kurve ist unten angegeben.



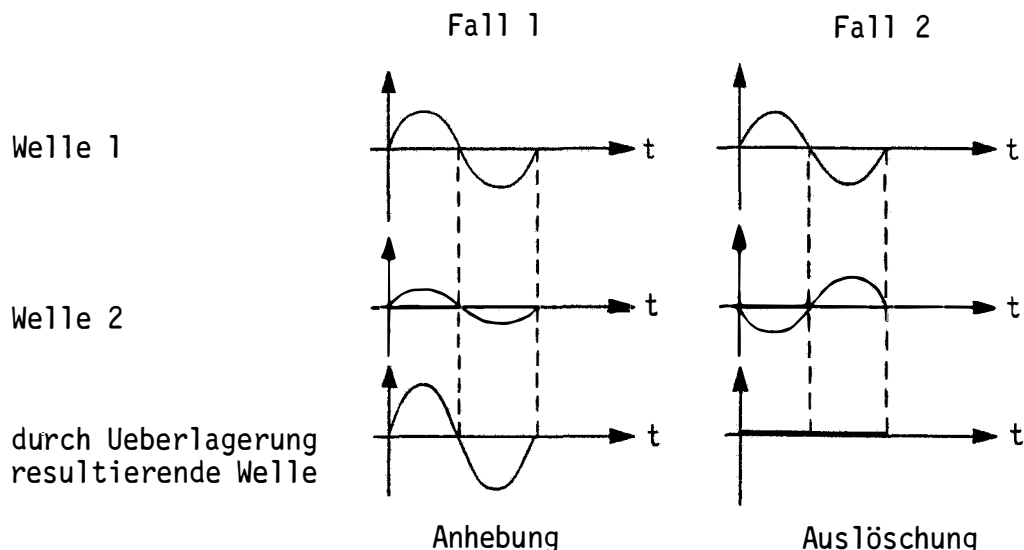
Dämpfung

Durchleitet eine Welle eine Ionosphärenschicht, so setzt sie die dort sich befindlichen geladenen Partikel in Bewegung. Diese stossen mit den umliegenden Molekülen zusammen. Dadurch verliert die Welle an Energie, sie wird gedämpft. Diese Absorption von Energie ist bei tiefen Frequenzen grösser als bei hohen. Sie ist natürlich auch umso grösser, je mehr die interessierende Schicht ionisiert ist.

Da die Ionisation während des Tages am grössten ist, spricht man von "Tagesdämpfung" (80 und 40-Bänder).

Fading

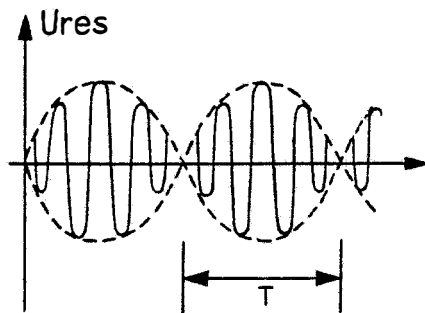
Als Fading oder Schwund bezeichnet man die für Kurzwellenempfang charakteristische Schwankung der Empfangsamplitude. Fading tritt auf, wenn zwei Wellen am Empfangsort eintreffen, die verschiedene Wege durchlaufen haben. Die Empfangsfeldstärke ist dann die Summe der beiden Wellen (besser: die Summe der Momentanwerte der beiden Wellen). Diese Summenbildung wird auch Superposition oder Ueberlagerung genannt. Da diese Erscheinung sehr wichtig ist, sei sie im folgenden bildlich dargestellt:



Haben beide Wellen eine gegenseitige Phasenverschiebung von 180° , d.h. sind sie "gegenphasig", dann heben sie sich bei gleich grosser Amplitude auf. Sind sie gleichphasig, dann erhöht sich die resultierende Spannung am Empfangsort. Dies sind zwei Extremfälle.

In der Praxis ist nun die Phasenlage einer am Empfangsort eintreffenden Welle nicht konstant. Da die reflektierenden Schichten örtlich nicht fest sind, sondern sich dauernd bewegen, schwankt auch die Phase der reflektierten Welle. Treffen nun zwei phasenveränderliche verschiedene Wellen am Empfangsort ein, so resultiert wiederum eine Überlagerungsspannung. Diese ist zeitlich ebenfalls nicht konstant, weder in Phase noch in Amplitude.

Unten ist die resultierende Spannung zweier Wellen gleicher Amplitude, aber mit variabler Phasenverschiebung abgebildet. Die Zeit T kann Bruchteile einer Sekunde (schnelles Fading) bis einige Minuten (langsameres Fading) dauern.



Überlagerungsspannung
zweier Wellen gleich
grosser Amplituden

Die beiden Wellen können in der Praxis auf viele mögliche Weisen zustande kommen:

- zwei an verschiedenen Stellen der Ionosphäre reflektierte Wellen
- eine Bodenwelle und eine reflektierte Raumwelle (HF)
- eine reflektierte Bodenwelle und eine Raumwelle (VHF, UHF)

Eigenschaften der KW-Amateur-Bänder

Der grosse Frequenzbereich der Kurzwellenbänder zwischen 1.8 MHz und 29.7 MHz hat stark verschiedenartiges Verhalten der einzelnen Bänder zur Folge. Die Bänder seien im folgenden kurz beschrieben.

160m-Band: Während Tag begrenzte Reichweite (50 km)(Tagesdämpfung). In Winternächten sind interkontinentale Reichweiten möglich. Nachteilig ist die in der Schweiz max. zugelassene Leistung von 10 W.

80m-Band: Ausbreitung am Tage durch Tagesdämpfung auf einige wenige 100 km beschränkt. Während der Nacht Europaverkehr, unter Umständen sogar interkontinentaler Funkverkehr möglich (hauptsächlich im Winter, nachts). Im Sommer durch häufigere und "nahe" Blitzentladungen oft hoher Geräuschpegel. Da auf diesem Band auch kommerzielle Funkdienste arbeiten (dürfen), und da relativ viele europäische Stationen ihre "Treffen" auf diesem Band abhalten, treten oft gegenseitige Störungen auf (QRM).

40m-Band: Auch in Zeiten niedriger Ionisation stellt dieses Band ein gutes Medium für interkontinentalen Verkehr (DX-Verkehr) dar, solange sich der Ausbreitungsweg in der Dunkelheit befindet. Andererseits haben sich zahlreiche, meist osteuropäische Rundfunkstationen hier eingenistet. Deren Feldstärken können nur im Lokalverkehr "übertönt" werden. Da die Tagesdämpfung nicht mehr gross ist, bietet das 40m-Band auch tagsüber Europaverkehr. Auch atmosphärische Entladungen stören weniger.

- 20m-Band: Dies ist das meistverwendete Amateurband für Weitverbindungen. Im Sonnenfleckennaximum bietet es praktisch weltweiten 24-Stunden-Betrieb, während dem Minimum ist das Band nachts meist "zu".
Praktisch immer ist eine tote Zone festzustellen, welche etwa 500 ... 3000 km lang ist.
- 15m-Band: Die Eigenschaften dieses Bandes hängen sehr stark vom Sonnenfleckenzyklus ab. Es erlaubt während den Sonnenfleckenmaxima zuverlässige interkontinentale Verbindungen während einem grossen Teil der 24 Stunden. Während dem Sonnenfleckenminimum ist es oft auch während der Dauer des Tageslichtes nicht brauchbar.
Die tote Zone ist immer vorhanden und grösser als beim 20m-Band.
- 10m-Band: 28 MHz ist schon nahe der Grenze der UKW-Ausbreitung. Zuverlässiger Weitverkehr ist nur im Sonnenfleckenmaximum gewährleistet. Im Sonnenfleckenminimum ist das Band oft tagelang nie nach Ueberseegebieten offen. DX-Verkehr ist, wenn die Voraussetzungen dazu erfüllt sind, nur während den Tagesstunden möglich.

Manchmal sind Ausnahmen der Ausbreitung gegenüber den obigen Regeln festzustellen. Die wichtigsten diesbezüglichen Erscheinungen seien nachstehend erwähnt.

Mögel-Dellinger-Effekt

Der Mögel-Dellinger-Effekt ist eine der interessantesten Ausbreitungserscheinungen und wurde in den 30er Jahren entdeckt. Der Mögel-Dellinger-Effekt ist auf eine äusserst kräftige, zusätzliche Ionisierung der D-Schicht zurückzuführen. Diese Ionisation verursacht eine vollständige Absorption der Wellen.

Die Dauer des Mögel-Dellinger-Effektes beträgt in der Regel 15 Min. bis 1 Stunde. Die Störung erfasst nur die Verbindungen, deren Uebertragungsweg unter Tageslicht verläuft. In den Jahren reger Sonnenaktivität kann der Mögel-Dellinger-Effekt häufig beobachtet werden, zu Zeiten des Sonnenfleckenminimums tritt er nur selten auf. Der Mögel-Dellinger-Effekt wird verursacht durch intensive Wasserstoff-Ausbrüche auf der Sonne.

Da der Mögel-Dellinger-Effekt plötzlich auftritt und die beeinflussten Funkverbindungen ganz unterbricht, wirkt er sich sehr unangenehm aus.

Atmosphärische Störungen

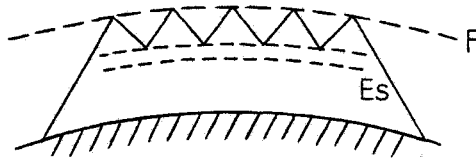
Atmosphärische Störungen werden hauptsächlich durch Blitzentladungen (Gewitter) verursacht. Diese durch Blitze erzeugten Störungen wirken sich besonders bei tiefen Frequenzen aus und sind natürlich im Sommer stärker als im Winter.

In den Tropengebieten sind atmosphärische Störungen eine fast alltägliche Erscheinung.

Bei hohen statischen Aufladungen der Luft können auch durch die Spitzenwirkungen an Antennen Entladungen entstehen, welche natürlich äusserst störend wirken und einen Funkverkehr (empfangsseitig) praktisch gänzlich verunmöglichen.

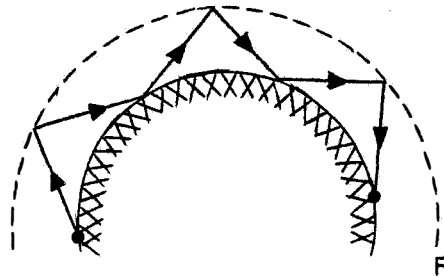
Anomale E-Schicht (sporadische E-Schicht)

Die anomale oder sporadische E-Schicht tritt in etwa 100 km Höhe auf. Sie besteht aus Wolken starker Ionenkonzentration. Es ist deshalb möglich, dass höhere Frequenzen an der Schicht reflektiert werden. Das Vorhandensein dieser Schicht führt häufig zu "M-Reflexionen". Das Auftreten der Schicht unterliegt keinen erkennbaren Gesetzmässigkeiten.



Mehrsprung-Verbindungen (Multihop Transmission)

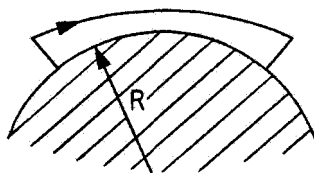
Bei weiten Verbindungen reicht die Distanz der von der Ionosphäre reflektierten Welle meist nicht aus, um die ganze Entfernung von Sender zu Empfänger in einem "Sprung" zu überbrücken. Eine auf die Erdoberfläche auftreffende Radiowelle wird aber ebenfalls reflektiert (am besten von Seewasser). So entstehen die für den DX-Verkehr charakteristischen "Mehrsprung"-Verbindungen.



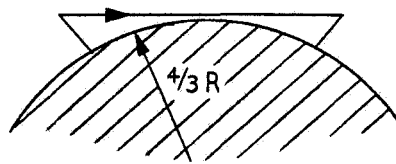
2.8 Wellenausbreitung über 144 MHz

Die Ausbreitung der ultrakurzen Wellen (UKW) ist weitgehend den optischen Gesetzen unterworfen. Deshalb wird sie auch als "quasioptische Ausbreitung" bezeichnet. Trotzdem sind Reichweiten über den (optischen) Horizont hinaus möglich. Die Ursachen dafür sind Brechung, Beugung und Reflexion.

Durch den mit der Höhe abnehmenden Brechungsindex der Luft, dessen Grösse durch Temperatur, Druck und Feuchtigkeit bestimmt ist, wird eine Strahlenkrümmung hervorgerufen. Diese bedingt, da sie der Krümmung der Erdoberfläche folgt, grössere Reichweiten. Näherungsweise kann der Einfluss der Strahlenbrechung unter der Annahme eines "effektiven" Erdradius von $\frac{4}{3} R$ bestimmt werden, wobei normale atmosphärische Verhältnisse und ebener Boden zwischen Sender und Empfänger Voraussetzungen sind.

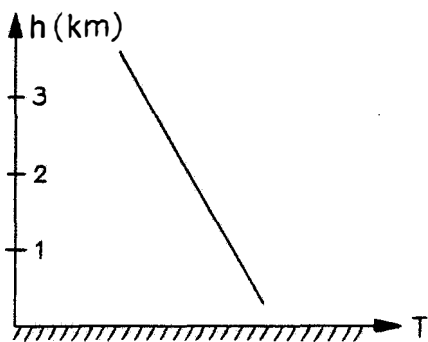


effektive, krummlinige Ausbreitung
(R =Erdradius, 6370 km)

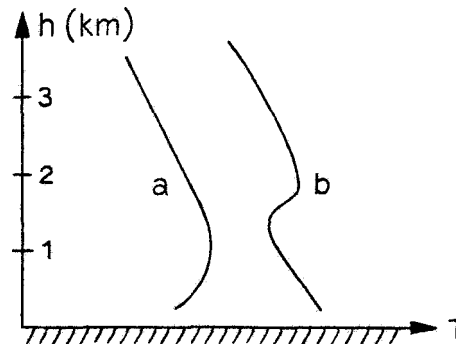


gedachte, geradlinige Ausbreitung mit $\frac{4}{3} R$

Dass dort, wo der Empfangspunkt hinter einem Gebirge oder Berg liegt, unter Umständen dennoch Empfang möglich ist, hat seine Ursache darin, dass die ultrakurzen Wellen gebeugt werden. Beugung an einem Gebirge kann daher die Versorgung eines Empfangspunktes an einem Bergabhang oder in einem Tal sicherstellen. Wechselhafte troposphärische Zustände und Vorgänge spielen bei der Ausbreitung der ultrakurzen Wellen eine bestimmte Rolle. Besondere Bedeutung kommt den Inversionen zu, die eine mehr oder minder sprunghafte Änderung des Brechungsindex bewirken. In Bodennähe oder in einer gewissen Höhe ist häufig eine Temperaturzunahme zu beobachten, die von einer Abnahme der spezifischen Luftfeuchte bzw. des Dampfdruckes begleitet ist. Diese Temperaturumkehr stellt dann eine Bodeninversion dar. Falls die Inversion in einer gewissen Höhe auftritt, wird sie "freie Inversion" genannt. Diese kann zur Ausbildung eines sogenannten "Wellenleiters", häufig als "duct" bezeichnet, führen. Durch vorwiegend bei Hochdruckwetterlagen auftretende Inversionen lassen sich Reichweiten über 300 km erzielen.



normaler Temperaturverlauf
in Abhängigkeit der Höhe



Temperaturverlauf bei Inversion
a) Bodeninversion
b) Höheninversion

Inversionen sind für DX-Verbindungen auf den ultrakurzwelligen Bändern die wichtigste Ursache. Es ist in Ausnahmefällen möglich, Distanzen bis zu 3000 km zu überbrücken.

Die Ionosphäre kann für Weitverbindungen nicht benützt werden, wie dies bei Kurzwellen der Fall ist. Es gibt auf den höheren Bändern aber einige sehr interessante Ausbreitungsarten, welche eine gewisse Rolle spielen. Davon soll an dieser Stelle die Rede sein.

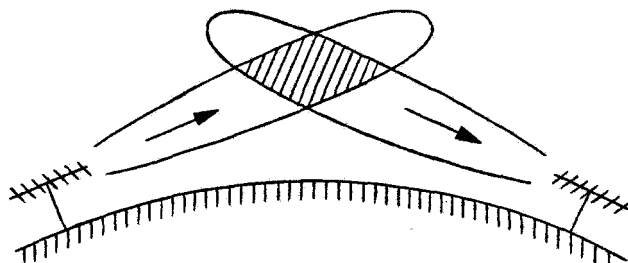
Aurora

Sehr hohe Sonnenaktivität kann hohe Ionisationsdichten erzeugen. In den Regionen der Pole entsteht dabei das "Nordlicht". Zudem wird das Erdmagnetfeld gestört. An den sich in Polnähe befindlichen sog. Aurorazonen können Wellen hoher Frequenz (2m, 70cm) reflektiert werden. Diese Reflexionswirkung ist allerdings sehr instabil; es ist ein für Aurora-Verbindungen charakteristisches schnelles Fading feststellbar. Die Sprachverständlichkeit von Telefonesignalen leidet stark, weshalb praktisch nur Telegrafie verwendet wird.

Von der Schweiz aus ergibt sich die Möglichkeit, solche Auroraverbindungen über die ionisierten Schichten der nördlichen Polarzone durchzuführen, wobei der Bereich ganz Nord- und Mitteleuropa umfassen kann.

Scatter (Streustrahlverbindung)

In der Atmosphäre befinden sich immer Teilchen, welche in einem gewissen Masse Radiowellen "reflektieren" können. Dies gilt sowohl für KW, als auch für UKW. Es muss sich nicht unbedingt um ionisierte Teilchen handeln, es können z.B. auch durch Staubwolken Radiowellen gebeugt werden (allerdings in geringerem Ausmass).



Die zurückgestreute Radiostrahlung ist immer sehr schwach und liegt einige Zehnerpotenzen unter der bei Freiraumausbreitung zu erwartenden Feldstärke. Deswegen werden grosse Anforderungen (Gewinn) an die Antennen gestellt. Oft werden Gruppenstrahler oder gar Parabolantennen verwendet.

Es gibt hauptsächlich drei Arten von Scatter:

- Troposcatter: Streuung in Troposphäre, Reichweite bis 1000 km, Frequenzbereich 100 MHz...10 GHz
- Ionoscatter: Streuung in Ionosphäre, Reichweite bis 2500 km, Frequenzbereich 30...70 MHz
- Meteorscatter: Durch die in die Atmosphäre eindringenden Meteore werden deren "Spuren" ionisiert. Diese Erscheinung tritt sporadisch auf, gibt aber wesentlich höhere Feldstärken als die beiden oben erwähnten "Standard"-Scatterverbindungsarten und ist deshalb für den Amateur von grösserem Interesse. Meteorscatter-Verbindungen werden meist im 2m-Band durchgeführt.

Scatter-Verbindungen sind die zuverlässigsten Verbindungen über grosse Distanzen, ohne Relaisstationen (wie bei Mikrowellenrichtfunkstrecken) zu verwenden!

Streuung an grossen Hindernissen

UKW-Verbindungen sind auch aus tiefeingeschnittenen Bergtälern heraus möglich.

Objekte, welche sich in der gleichen Grössenordnung wie die benützte Wellenlänge befinden, wirken streuend. Solche Streuung tritt beispielsweise an Bergen und Häusern auf.

An Bergwänden werden die Radiowellen reflektiert, wobei die gleichen Reflexionsgesetze wie in der Optik zu beachten sind.

3. Aktive Bauelemente

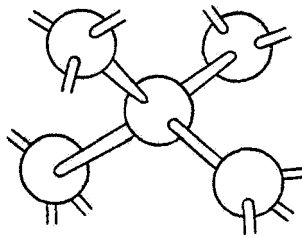
Bis anhin war nur von sog. "passiven" Bauelementen wie Widerstand, Kondensator und Spule die Rede. Diese Elemente zeigen keine verstärkende Wirkung. Aktive Bauelemente verstärken die Signale. Die dazu benötigte Energie wird in Form von Gleichstromenergie (Speisung) zugeführt.

Realisierungen aktiver Bauelemente sind vor allem Transistoren und Röhren. Dioden werden nur in diesem Kapitel behandelt, weil sie in gleicher Technik wie aktive Bauelemente gefertigt werden (Halbleiter-Dioden, Vakuum-Dioden).

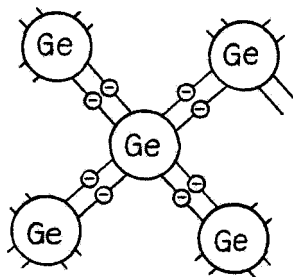
3.1 Halbleiter

Als Halbleiter werden Stoffe bezeichnet, deren Leitfähigkeit zwischen derjenigen der Leiter und derjenigen der Nichtleiter liegt. Halbleiter zu Zwecken der Elektronik sind hauptsächlich Germanium (Ge) und Silizium (Si).

Ein Halbleiter unterscheidet sich insofern vom Metall, als die Elektronen zwischen den Atomen nicht frei beweglich sind, sondern verantwortlich sind für die chemische Bindung zwischen zwei benachbarten Atomen. Halbleiter bilden eine Gitterstruktur, die wie folgt aussieht:



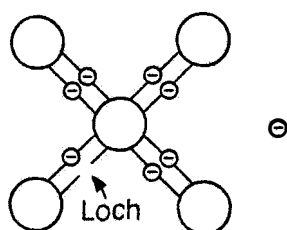
In der Verbindungsachse zwischen zwei Atomen befinden sich jeweils 2 Elektronen (Valenzelektronen). Schematisch lässt sich das Gitter auch 2-dimensional darstellen:



Da ein Ge-Atom 4 Valenzelektronen besitzt, nennt man es vierwertig. Ein reiner Halbleiter leitet praktisch nicht, weil keine freien Elektronen vorkommen. Bei höherer Temperatur jedoch können durch die Wärmebewegung Elektronen ihre Plätze im Gitter verlassen.

Mit steigender Temperatur nimmt die Anzahl der solcherart generierten Ladungsträger zu, d.h. der spezifische Widerstand nimmt ab.

Nicht nur diese befreiten Elektronen, sondern auch die in den Bindungssträngen zurückgebliebenen Lücken können zur Leitung beitragen, indem Elektronen aus den Nachbarsträngen nachrutschen, in die dort entstehenden Lücken wieder Nachbarerlektronen wandern usw.



Gitter mit thermisch
losgelöstem Bindungselektron
(Eigenleitung)

Ein anschauliches Bild dieser unter dem Namen "Löcherleitung" bekannten Erscheinung kann z.B. eine Kinoreihe sein, die in der Mitte einen nicht besetzten Platz (Loch) enthält. Durch Nachrutschen der Zuschauer in Richtung Mitte wandert das Loch nach aussen.

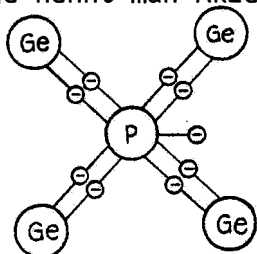
Elektronenleitung



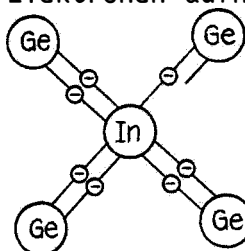
Löcherleitung



Zu den thermisch erzeugten Ladungsträgern kommen weitere hinzu, wenn der Halbleiter verunreinigt ist. Verunreinigende Atome können mehr- oder wenigerwertig als das Halbleiterelement sein. Mehrwertige Atome nennt man Donatoren, da sie freie Elektronen zur Verfügung stellen, wenigerwertige nennt man Akzeptoren, da sie Elektronen aufnehmen können.



Germaniumkristallgitter
mit eingebautem
Donatoratom
(5-wertig)



Germaniumkristallgitter
mit eingebautem
Akzeptoratom
(3-wertig)

Eigenleitung: Leitung des Halbleiters infolge thermisch erzeugter Ladungsträger

Störstellenleitung: Leitung des (verunreinigten) Halbleiters infolge anderer Wertigkeiten der Störatome

3.2 Halbleiterdioden

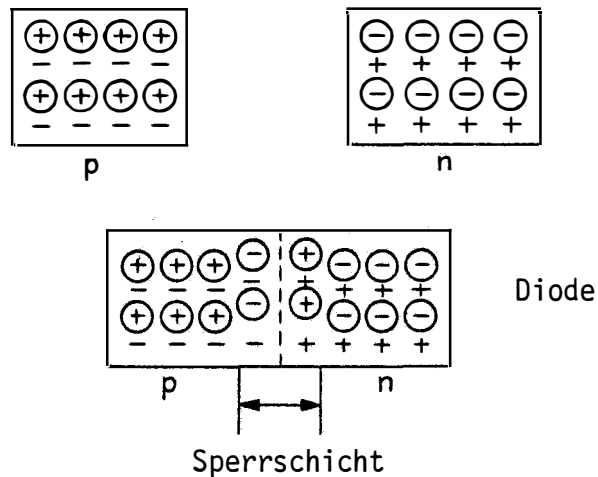
Je nach Art der Verunreinigung unterscheidet man 2 Typen von Halbleitern:

p-Halbleiter: Mit Akzeptoren dotierter Halbleiter

n-Halbleiter: Mit Donatoren dotierter Halbleiter

Im p-Halbleiter sind bewegliche Löcher, im n-Halbleiter bewegliche Elektronen vorhanden.

Werden ein n- und ein p-Halbleiter zusammengefügt, so wandern Elektronen aus der Grenzschicht des n-Halbleiters in die angrenzenden Löcher des p-Halbleiters. Diese Schicht wird Sperrschicht genannt.



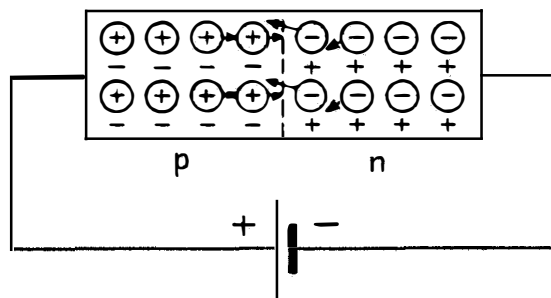
- + fixe Ladungen (im Atomgitter festgehalten)

⊖ ⊕ (bewegliche) Elektronen und Löcher

Diese Kombination eines p- und n-Halbleiters stellt eine Diode dar.

Dieses einfachste Halbleiterbauelement zeigt gleichrichtende Wirkung: Der Strom wird nur in einer Richtung durchgelassen (Durchlassbereich), in der andern Richtung aber gesperrt (Sperrbereich).

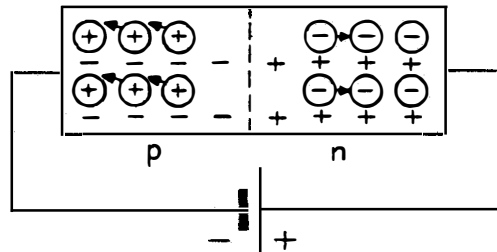
Betrieb der Diode in Durchlassrichtung:



Wird die Diode wie in der Skizze gezeigt geschaltet, so werden die beweglichen Ladungsträger in die Sperrschicht hinein getrieben (Wirkung des elektrischen Feldes).

Von den Diodenanschlüssen her werden kontinuierlich Löcher bzw. Elektronen nachgeliefert: Ein Strom fließt.

Betrieb der Diode in Sperrichtung:

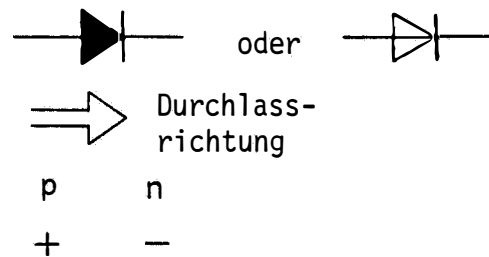


Schliesst man die Spannungsquelle in Sperrichtung an, so werden die beweglichen Ladungsträger aus der Sperrschicht "abgesaugt" (Wirkung des elektrischen Feldes). Die Sperrschicht verarmt an Ladungsträgern. Deshalb kann sie nicht mehr leiten: Der Stromfluss wird gesperrt.

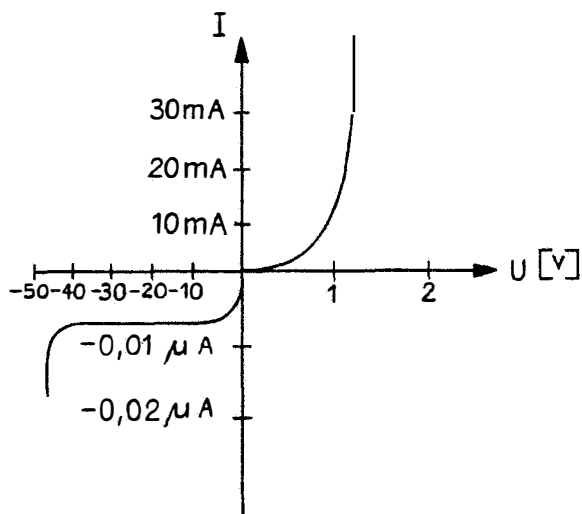
Schaltschema:

Eine Diode wird in Schemas durch nebenstehendes Symbol dargestellt. Der Vollständigkeit halber ist noch die Polarität der Flussrichtung angegeben.

Dioden werden durch einen Ring auf der n-Seite gekennzeichnet.



Diodencharakteristik



Si-Flächendiode

Diodencharakteristiken werden meist mit für Durchlass- und Sperrbereich unterschiedlichen Massstäben dargestellt, weil die Sperrströme sehr viel kleiner sind als die Durchlassströme.

Durch die Diodencharakteristik ist der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung an der Diode gegeben.

Da das ohmsche Gesetz nun offensichtlich nicht mehr gilt, spricht man von einem nichtlinearen Element.

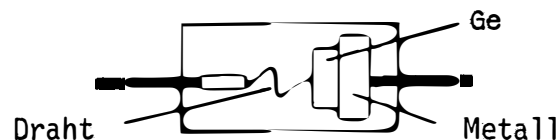
Bauformen von Dioden:

Je nach Verwendungszweck werden verschiedene Typen von Dioden hergestellt. Man unterscheidet:

- NF-Dioden: einige 100 V bis 1 A, billig
- HF-Dioden: einige 10 V bis einige mA, billig
- Leistungsdioden: Gleichrichter, einige 100 V, einige 100 A, teuer
- Tunnelioden: für Oszillatoren (negativer Kennlinienteil)
- Photodioden: Fällt Licht auf die Sperrschicht eines p-n-Halbleiters, so werden freie Ladungsträger generiert. Dieser Effekt wird durch die Photodiode ausgenutzt.
- Kapazitätsdiode: Kapazität der Sperrschicht in Abhängigkeit der Sperrspannung liegt im Bereich 5...100 pF
- Zenerdioden: Wird die maximal zulässige Sperrspannung einer Diode überschritten, findet ein Durchbruch statt. Dieser Kennlinienteil wird bei Zenerdioden ausgenutzt. Anwendungen sind Stabilisationsschaltungen.
- PIN-Dioden: Wirken als elektronisch steuerbare variable Widerstände für Frequenzen oberhalb etwa 1 MHz.
- Hot-carrier D.: Gleichrichtender Metall-Halbleiter-Übergang. Anwendung: HF bis Mikrowellen-Mischer und Gleichrichter.
(Schottkydioden)

Je nach Bauart unterscheidet man:

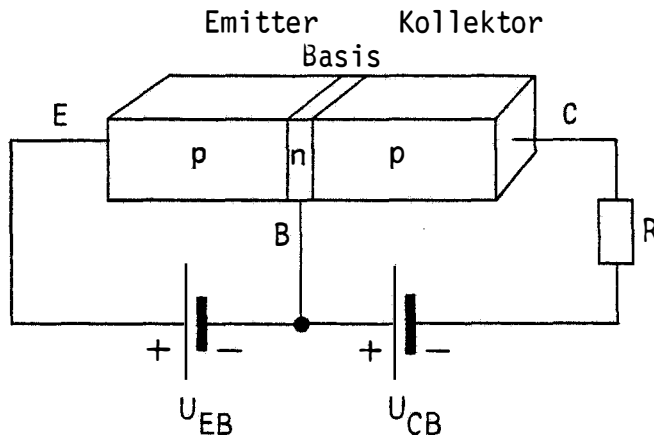
- Spitzendioden: Bestehen aus einem Drahtstück, das mit einem Halbleiter in Berührung steht. An der Berührungsfläche bildet sich eine Sperrschicht wenn ein relativ grosser Strom durch die Anordnung geschickt wird (Formieren). Dieser Typ wird heute nur noch für Spezialzwecke gebraucht (kleine Kapazität zwischen den Elektroden).



- Flächendioden: Die Sperrschicht bildet sich flächenförmig zwischen zwei sich berührenden p- und n-Halbleitern (siehe vorhergehende Seiten). Heute weitaus meistverwendeter Typ.

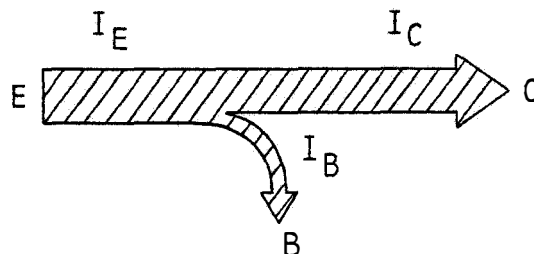
3.3 Transistoren

Um die Wirkungsweise der Transistoren zu verstehen, braucht man den bei den Dioden besprochenen Vergängen nur noch wenig hinzuzufügen. Transistoren bestehen aus 3 verschiedenen, hintereinander geschalteten Halbleiterschichten (bzw. 2 hintereinander geschalteten Dioden).



Je nach Art der Halbleiter gibt es pnp und npn-Transistoren. Die Wirkungsweise bleibt sich prinzipiell gleich. Hier seien pnp-Typen näher erläutert.

Die Emitter-Basis-Diode ist in Fluss-Richtung geschaltet, die Basis-Kollektor-Diode in Sperrichtung. Durch besondere Konstruktionsmassnahmen (dünne Basisschicht, Dotationen) erreicht man, dass der grösste Teil des in den Emitter hineinfließenden Stromes nicht über die Basis, sondern über den Kollektor abfließt. Nur ein kleiner Teil des im Emitter fließenden Löcherstromes wird in der Basis in einen Elektronenstrom umgewandelt.



$$\begin{aligned} I_E &= \text{Emitterstrom} \\ I_C &= \text{Kollektorstrom} \\ I_B &= \text{Basisstrom} \end{aligned}$$

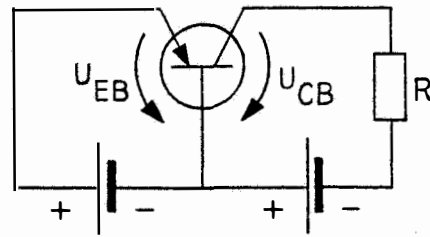
Der Zusammenhang zwischen Emitter- und Kollektorstrom ist ungefähr gegeben durch:

$$I_C \approx \alpha \cdot I_E$$

α ist der Stromverstärkungsfaktor der Basisschaltung und liegt zwischen 0.9 und 1.

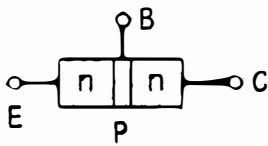
Der Kollektorstrom hängt praktisch nicht von der Kollektorspannung ab.

Künftig soll das Symbol des Transistors verwendet werden. Im Fall der bis jetzt angenommenen Basisschaltung sieht die Situation folgendermassen aus:

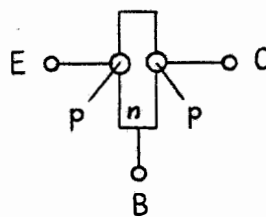


Bauformen:

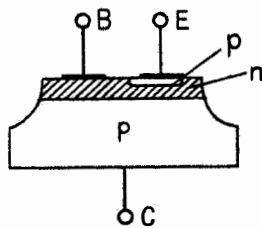
Stabbauform



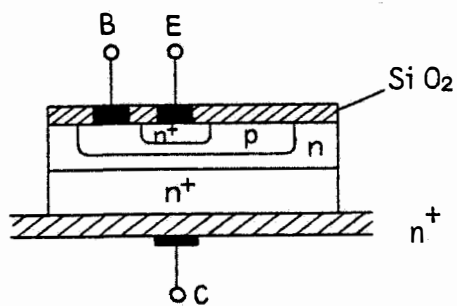
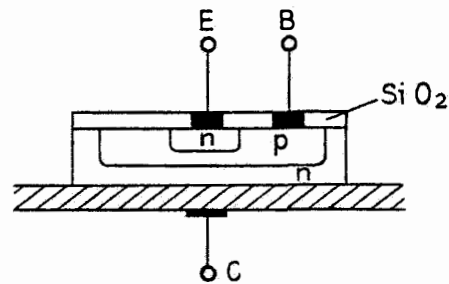
Plättchenform



Mesa-Bauform



Planar-Transistor

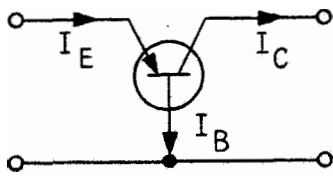


n^+ = niederohmiges n-Metall

Planar-Epitaxial-Transistor

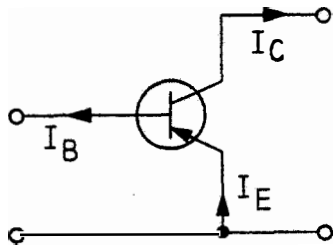
Transistor-Grundschaltungen und ihre Gleichstromformeln

Basisschaltung:



$$I_C = \alpha \cdot I_E$$

Emitterschaltung:



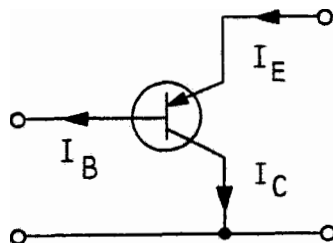
$$I_B = I_E - I_C$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

β = Stromverstärkungsfaktor
in Emitterschaltung

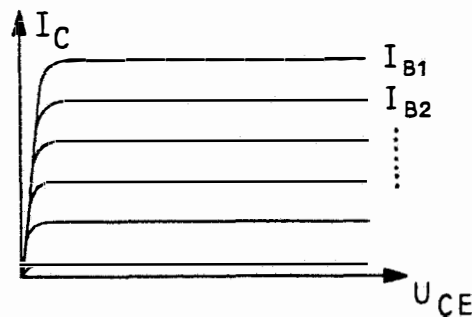
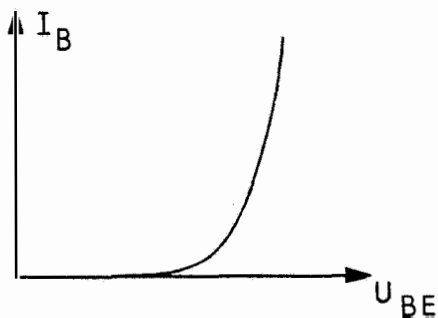
Kollektorschaltung:



$$I_E = \frac{I_B}{1-\alpha}$$

Charakteristik der Emitterschaltung:

Die Emitterschaltung ist die wichtigste Transistorgrundschaltung. Die dafür geltenden Charakteristiken lassen sich am einfachsten durch zwei Diagramme darstellen. Das Basisstrom-Basis-Emitterspannungs-Diagramm charakterisiert den Eingang, das Kollektorstrom-Kollektor-Emitterspannungs-Diagramm den Ausgang des Transistors.

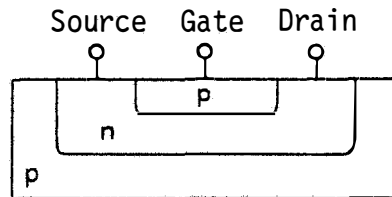


3.4 Feldeffekttransistoren FET

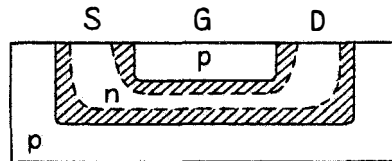
Feldeffekttransistoren weisen gegenüber den bis jetzt behandelten bipolaren Transistoren Vorteile auf. Die wichtigsten sind der höhere Eingangswiderstand und die bessere Annäherung an die vorteilhaften Kennlinien der Elektronenröhren.

Man unterscheidet JFET und MOSFET. Die Funktionsweise von Feldeffekttransistoren beruht nicht auf dem Vorhandensein von 2 Ladungsträgerarten (Löcher und Elektronen), sondern kann mit einem einzigen Ladungsträgertyp erklärt werden (entweder Löcher oder Elektronen).

Sperrschicht-FET (Junction Field Effect Transistor JFET)



Im dargestellten JFET fließt ein Strom durch den n-Leiter, falls eine Spannung zwischen Drain und Source angelegt wird (Source = Quelle, Drain = Abfluss). Die Steuerwirkung auf diesen Strom wird durch die Gate-Source-Spannung ausgeübt: Legt man an das Gate eine negative Spannung an, so vergrößert sich die Sperrschicht am p-n-Uebergang.

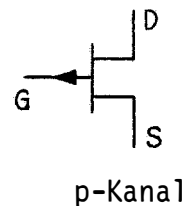
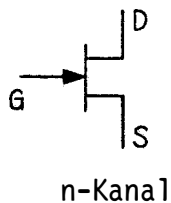


Dadurch wird das leitende Gebiet der n-Schicht kleiner, und der Widerstand zwischen Source und Drain deshalb grösser. Weiteres Erhöhen der Gate-Source-Spannung kann zum vollständigen Sperrern des Transistors führen (pinch-off).

Der JFET besitzt immer eine negative Gate-Source-Spannung. Deshalb ist die Gate-Source-Diode in Sperrichtung gepolt und der Eingangswiderstand sehr gross:

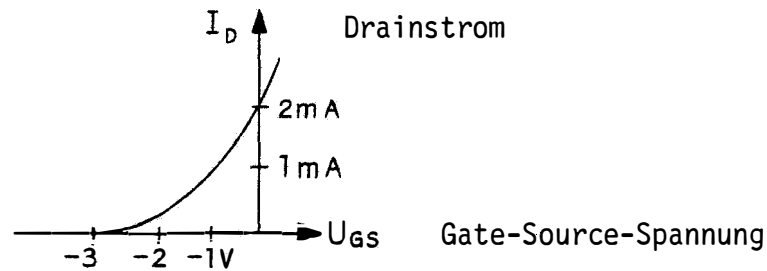
$$R_{\text{ein}} = 10^{10} \dots 10^{13} \Omega$$

Das Schaltsymbol der JFET sieht wie folgt aus:

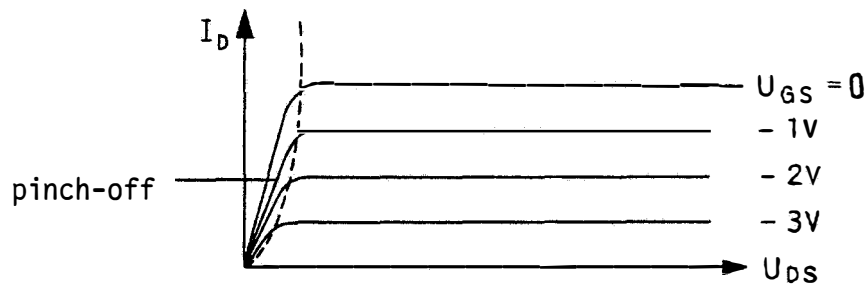


Der Sperrschicht-FET leitet, wenn keine Spannung am Gate angelegt wird. Er wird deshalb auch als "selbstleitend" bezeichnet. Diese Eigenschaft ist auch aus der folgend dargestellten Eingangskennlinie ersichtlich:

Bsp:

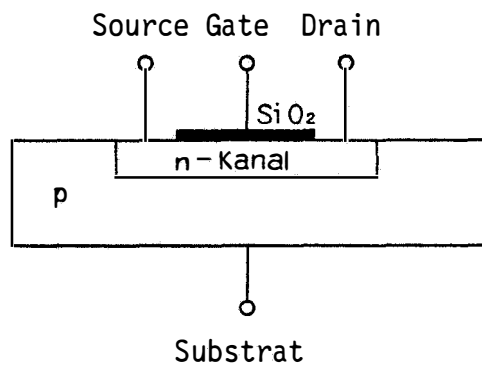


Die Ausgangskennlinie sieht nicht sehr verschieden von derjenigen eines Bipolartransistors aus:



MOSFET (Metal-oxide-semiconductor FET)

Der grosse Unterschied des MOSFET zum JFET liegt darin, dass bei ihm das Gate vom Source-Drain-Bahngebiet isoliert ist.



Die isolierende Schicht besteht aus SiO_2 (Siliziumoxid). Bei MOSFETS kann nie ein Gatestrom fließen, unabhängig von der Polung des Gate.

Die Eingangswiderstände sind noch grösser als bei den JFET:

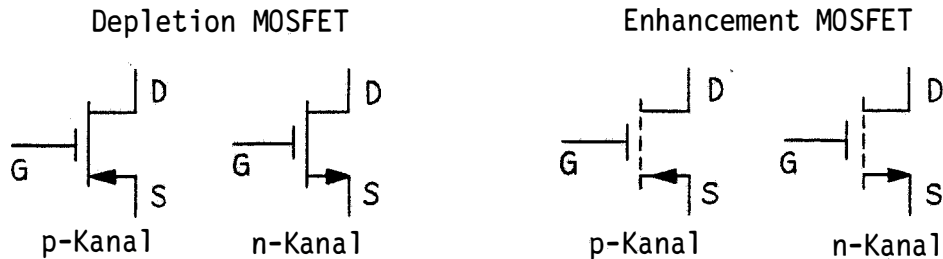
$$R_{\text{ein}} = 10^{13} \dots 10^{15} \Omega$$

Es gibt selbstleitende und selbstsperrende MOSFETs:

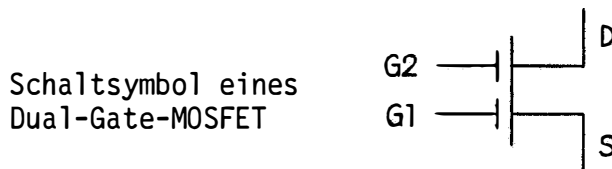
- selbstleitend (depletion-MOSFET): bei $U_{GS} = 0$ fließt ein Source-Drain-Strom
- selbstsperrend (enhancement-MOSFET): bei $U_{GS} = 0$ fließt kein Source-Drain-Strom

Die Wirkungsweise des MOSFET besteht ähnlich wie die des JFET aus einer Breitensteuerung des Kanals (n oder p-Kanal).

Die Schaltsymbole der MOSFET präsentieren sich wie folgt:



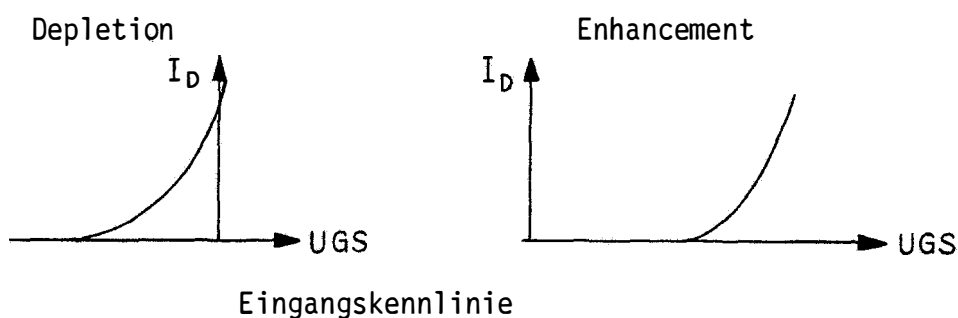
Bei MOSFETs ist häufig ein vierter Anschluss, das Substrat, herausgeführt. Diese Elektrode hat eine ähnlich steuernde Wirkung wie das Gate. Sie ist jedoch nur durch eine Sperrschicht vom Kanal isoliert. Im allgemeinen nützt man ihre Steuerwirkung nicht aus und verbindet sie mit der Source-Elektrode. Benötigt man zwei Steuerelektroden, verwendet man MOSFET-Tetroden, die zwei gleichberechtigte Gates besitzen: Dual-Gate MOSFETs werden oft verwendet in verstärkungsgeregelten HF- und ZF-Verstärkerstufen, Mischern, Produkt-Detektoren und variablen Attenuatoren.



MOSFETs eignen sich nur in der HF-Technik für rauscharme Schaltungen. Im Niederfrequenzbereich wird man sie nur dann einsetzen, wenn der Eingangswiderstand von Sperrschichtfets nicht ausreicht.

Bei FETs und besonders bei MOSFETs ist das Gate sehr gefährdet. Die maximal zulässigen Gatespannungen dürfen im allgemeinen 20 bis 100 V nicht überschreiten, weil sonst die Gate-Kanal-Isolation durchschlägt und der Transistor irreversibel beschädigt ist. Solche Spannungen können wegen des hohen Eingangswiderstandes und der niedrigen Eingangskapazität von wenigen pF sehr leicht auftreten. Besonders gefährlich sind statische Ladungen, die den FET schon beim Berühren zerstören können. Beim Einbau von MOSFETs muss man daher sich selbst, das Gerät und den LötKolben erden.

Um MOSFETs zu schützen, werden zum Teil Zenerdioden zwischen Gate und Source eingebaut. Dadurch verschlechtert sich der Eingangswiderstand aber beträchtlich und kommt in die Größenordnung von Sperrschichtfets. Die Ausgangskennlinien des MOSFET haben gleiches Aussehen wie beim JFET, die Eingangskennlinien sind je nach Typ (depletion oder enhancement) verschieden.



Das Symbol eines MOSFET sieht nach U.S.-Norm etwas anders aus:

MOSFET
U.S.-Symbol



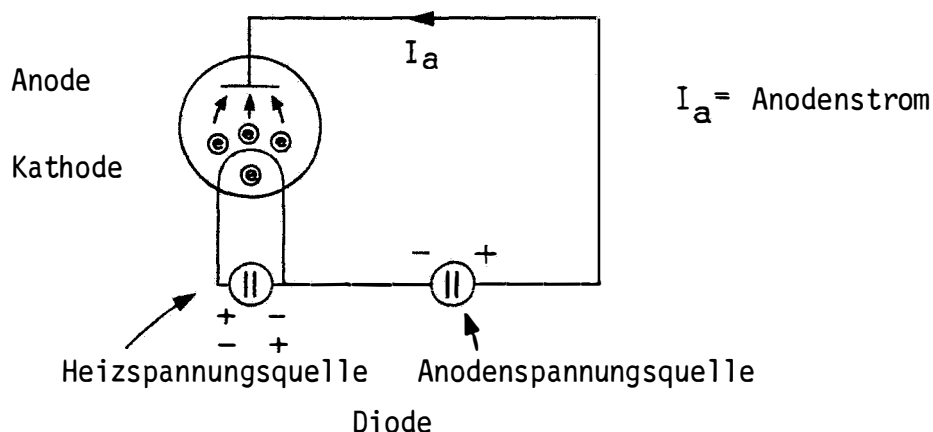
n-channel depletion type

3.5 Elektronenröhren

Elektronenröhren werden heute nur noch in HF-Leistungsstufen für Leistungen, welche einige hundert Watt überschreiten, eingesetzt und sind deswegen für den Amateur gegenüber Halbleiterelementen weniger bedeutend.

Thermische Emission

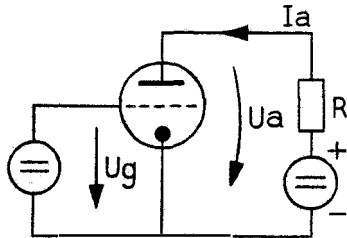
Wird ein Metall im Vakuum auf seine Glühtemperatur aufgeheizt, so erhalten einige Elektronen des Metalls genügend Energie, um das Metall zu verlassen. Diese Elektronen bilden eine Wolke um das Metallstück herum. Bringt man nun eine positiv geladene Platte (Anode) in die Nähe dieser sog. Kathode, so werden Elektronen abgesogen und fließen zur Anode. Da aus der Kathode ständig neue Elektronen emittiert werden, wird der Stromfluss aufrechterhalten.



Wird die Anodenspannungsquelle umgekehrt gepolt, so kann kein Strom fließen, weil aus der Anode keine Elektronen emittiert werden. Die Röhre verhält sich also wie eine Diode. Zur Unterscheidung von der Halbleiterdiode wird sie Vakuumdiode genannt. Neben der oben abgebildeten direkt beheizten Röhre gibt es auch indirekt beheizte. Dabei wird die Kathodenelektrode von einer galvanisch getrennten Heizwicklung beheizt.

Triode

Um einer Röhre die Funktion eines Verstärkers zu geben, wird zwischen Kathode und Anode ein Steuergitter angebracht. Diese Anordnung mit insgesamt 3 Elektroden heisst Triode.



U_g Gitterspannung (grid voltage)
 U_a Anodenspannung (plate voltage)
 I_a Anodenstrom (plate current)

Die Gitterspannung darf (wie bei einem n-Kanal JFET) nicht positiv werden, da sonst das Gitter wie eine Anode wirkt und ein Gitterstrom fließen wird. Wächst dieser Gitterstrom zu stark an, so wird die Gitterelektrode durch die auftreffenden Elektronen zu stark erwärmt. Leistungsverstärker- röhren gestatten jedoch einen Gitterstrom. Dieser liegt aber mindestens um den Faktor 2.5 tiefer als der Anodenstrom.

Tetrode

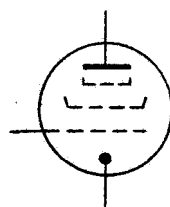
Die Gitter-Anoden-Kapazität einer Röhre ist massgebend für die Rückwirkung des Anodenkreises auf den Gitterkreis. Sie kann wesentlich verringert werden durch eine zwischen beiden Elektroden liegende Abschirmung. Diese hat die Form eines Gitters. Das so angebrachte sog. Schirmgitter wird meist an eine positive Spannung angeschlossen, die etwas kleiner als die Anodenspannung ist. Wechselstrommässig wird es mittels einem Kondensator gegen die Masse abgeblockt.

Pentode

Bei Tetroden können infolge Sekundärelektronen unerwünschte Effekte auftreten (fallender Kennlinienteil in der I_a/U_a -Kennlinie).

Sekundärelektronen sind durch die Aufprallenergie der von der Kathode stammenden Elektronen an der Anode herausgeschlagene Elektronen.

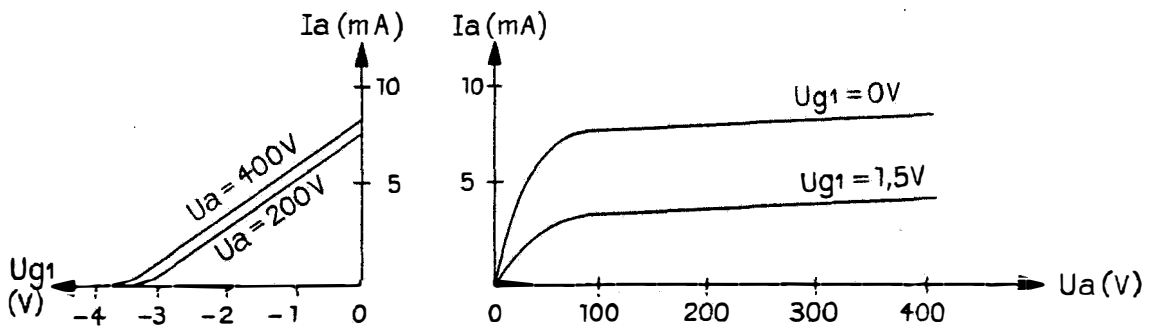
Wird nun zwischen Anode und Steuergitter ein drittes Gitter angeordnet, so werden die Sekundärelektronen von diesem zurückgestossen und wieder zur Anode gelenkt. Das zusätzliche Gitter wird als Bremsgitter bezeichnet.



Anode
 Bremsgitter
 Schirmgitter
 Steuergitter
 Kathode

Kennlinien:

Die Kennlinien einer Pentode sind sehr ähnlich denjenigen eines JFET. Im folgenden seien die Kennlinien einer HF-Pentode dargestellt:

**Mehrgitterröhren**

Es gibt Röhren, welche mehr Gitter als die Pentode aufweisen. Es sind dies hauptsächlich Hexoden und Heptoden, welche für die Verwendung in röhrenbestückten Mischstufen entwickelt wurden.

Spezialröhren

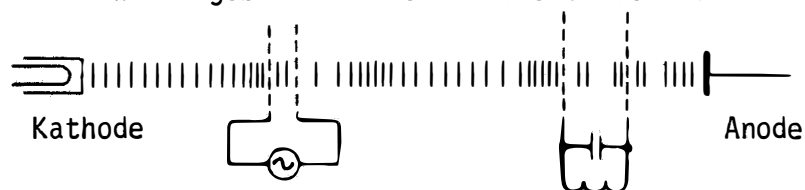
Spezielle Röhrentypen sind hauptsächlich erforderlich für höhere Frequenzen. Im UKW-Gebiet muss bereits der Laufzeit der Elektronen von der Kathode zur Anode Rechnung getragen werden.

Dies kann geschehen durch Verkleinerung der internen Röhrenabmessungen oder durch Benützung von anderen Prinzipien. Natürlich spielen auch die Elektrodenkapazitäten und die Induktivitäten der Zuleitungen eine ganz wesentliche Rolle für das Verhalten einer Röhre bei hohen Frequenzen.

Im folgenden sind einige Beispiele von Röhrentypen für höhere Frequenzen aufgeführt.

Scheibentriode: In einer Scheibentriode werden die Laufzeiten durch kleine Distanzen zwischen Kathode und Anode verringert. Pentoden eignen sich dabei weniger gut als Trioden und werden deshalb oberhalb 200 MHz praktisch nicht mehr eingesetzt. Scheibentrioden gibt es für Frequenzen bis zu einigen GHz.

Klystron: Ein Klystron ist eine sog. Laufzeitröhre. Die Laufzeit der Elektronen wird bewusst ausgenutzt, indem man den Elektronenstrahl (der aus der Kathode austritt) geschwindigkeitsmoduliert. Die Geschwindigkeitsmodulation wandelt sich mit der Laufzeit in eine Dichtemodulation um. Durch entsprechende Elektroden kann die Signalenergie wieder entnommen werden. Der Anwendungsbereich erstreckt sich von ca. 8...50 GHz.



Magnetron: Magnetrons sind Oszillatorröhren, welche auf der Ablenkung von Elektronen durch ein magnetisches Feld basieren. Sie erlauben grosse Leistungen bei Frequenzen zwischen ca. 2...100 GHz.

Senderöhren

Senderöhren für Amateursender verstärken eine Eingangsleistung von einigen W auf eine Ausgangsleistung von bis zu einigen 100W.

Dabei treten Anodenspannungen bis ca. 3 kV und Anodenströme bis ca. 1 A auf. Die auf die Anode auftreffenden Elektronen erwärmen diese stark. Diese Wärme muss abgeführt werden.

Da die Emissionsfähigkeit der Kathode direkt von der zugeführten Heizleistung abhängt, müssen mitunter grosse Heizleistungen aufgebracht werden.

Kühlungsarten:

- Strahlungskühlung: Abstrahlung der Wärme an die Umgebung. Röhren mit Glaskolben.
- Forcierte Luftkühlung: Wärmeabgabe an vorbeiströmende Luft. Am wirkungsvollsten bei aussenliegenden Anoden mit Kühlrippen.

Röhrentypen für Senderverstärker:

Es können grundsätzlich Pentoden, Tetroden und Trioden verwendet werden. Pentoden und Tetroden haben eine kleine Rückwirkung und benötigen keine Neutralisation. Dazu weisen sie grosse Verstärkung auf. Auf der anderen Seite lassen sich Trioden besser kühlen, sind einfacher und billiger.

Beispiele:

Nachstehend sind einige Senderöhren für Amateurfunkzwecke und ihre wichtigsten Daten aufgeführt. Die Anodenverlustleistung ist die in der Anode maximal anfallende Wärmeenergie.

Typ	Triode 3-150	Tetrode 4X150A	Pentode 6146
max. Anodenverlustleistung	150 W	150 W	25 W
Anodenspannung *	2000 V	1250 V	750 V
Anodenstrom *	265mA	240mA	120mA
Gitterstrom *	110mA	10mA	3.1mA
Ausgangsleistung	280 W	210 W	65 W
Heizspannung	5 V	6 V	6.3 V
Heizstrom	10.5 A	2.6 A	1.25 A
Grenzfrequenz für Benützung mit angeg. Daten	150MHz	500MHz	60MHz

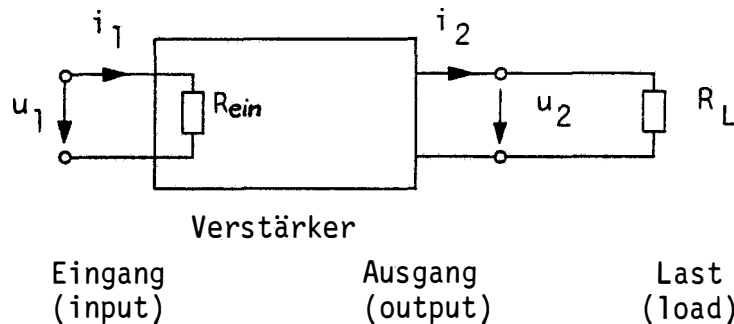
*) Betriebswerte für Eintonaussteuerung bei Verwendung der Röhren als SSB-Linearverstärker

4. Verstärkerschaltungen

4.1 Verstärkung

Die Aufgabe eines Verstärkers ist es, die Leistung eines Eingangssignales auf ein am Ausgang des Verstärkers erscheinendes höheres Leistungsniveau zu bringen. Ein Verstärker kann symbolisch durch ein Vierpol (oder 2-Tor) dargestellt werden.

Alle Größen sollen in diesem Fall Wechselgrößen (Wechselstrom, Wechselspannung) darstellen.



u_1 : Eingangsspannung

i_1 : Eingangsstrom

u_2 : Ausgangsspannung

i_2 : Ausgangsstrom

Spannung und Strom am Ein- und Ausgang definieren jeweils den Eingangs- und den Lastwiderstand R_{ein} bzw. R_L .

Ausser der Kenntnis dieser Widerstände (oder Impedanzen) ist der Verstärkungsfaktor von Bedeutung:

Man definiert:

$$\text{Spannungsverstärkung} \quad v_u = \frac{u_2}{u_1}$$

$$\text{Stromverstärkung} \quad v_i = \frac{i_2}{i_1}$$

$$\text{Leistungsverstärkung} \quad v = \frac{p_2}{p_1} = \frac{u_2 \cdot i_2}{u_1 \cdot i_1}$$

Für die Leistungsverstärkung ist ein logarithmisches Mass sehr verbreitet. Es handelt sich um das Dezibel, abgekürzt dB, und wird wie folgt definiert.

$$v = 10 \lg \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{dB})$$

Beispiel: Ein Sendeverstärker bringt eine Eingangsleistung von 2 W auf eine Leistung am Lastwiderstand (Antenne) von 100 W.
Dann beträgt die Leistungsverstärkung:

$$v = \frac{100 \text{ W}}{2 \text{ W}} = 50$$

$$v = 10 \lg 50 = 16.99 \text{ dB}$$

=====

Oft werden auch Spannungs- und Stromverstärkung in dB angegeben. Die Verstärkung in dB ist jedoch als Leistungsverstärkung definiert. Man muss deshalb Spannungen und Ströme in Leistungen umrechnen und dann die Logarithmierung vornehmen.

Sind die Widerstände am Ein- und Ausgang des Verstärkers jedoch gleich, so kann man eine Formel angeben, welche die Spannungen oder die Ströme verwendet:

"Spannungsverstärkung" : $v = 10 \lg \left(\frac{u_2}{u_1} \right)^2 = 20 \lg \frac{u_2}{u_1}$

"Stromverstärkung" : $v = 10 \lg \left(\frac{i_2}{i_1} \right)^2 = 20 \lg \frac{i_2}{i_1}$

Logarithmus-Funktion

$$\boxed{10^y = x} \quad \text{Definitionsgleichung}$$

Frage: 10 hoch wieviel gibt x?

y = Unbekannte

x = bekannt

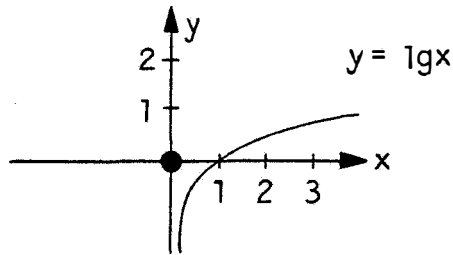
Diese Fragestellung kann anders geschrieben werden:
(Damit wird klargestellt, dass y gesucht ist.)

$$\boxed{y = \lg x} \quad (y = \text{Logarithmus von } x)$$

Für einige Werte von x lässt sich der Wert y direkt angeben:

x	0.01	0.1	1	10	100	1000
y	-2	-1	0	1	2	3

Aus dieser Wertetabelle können wir die Logarithmusfunktion in einem Koordinatensystem darstellen:



Die oben nicht dargestellten Werte entnimmt man am besten einer Logarithmentafel (Voellmy) oder durch Aufruf der entsprechenden Funktion auf dem Taschenrechner. Auch Rechenschieber gestatten die Berechnung von Logarithmen (allerdings mit dem Problem der Angabe der Zahl vor dem Komma).

Rechenregeln:

Der Logarithmus überführt eine Multiplikation in eine Addition

$$\lg (a \cdot b) = \lg a + \lg b$$

$$\lg 10^a = a \lg 10 = a$$

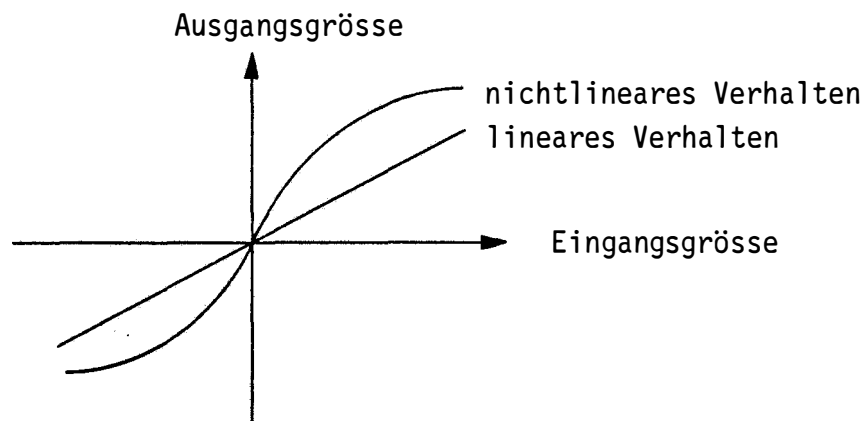
Die zweite Formel geht unmittelbar aus der Definition hervor, die erste muss bewiesen werden:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sei } a = 10^u \\ b = 10^v \end{array} \right\} \longrightarrow \begin{array}{l} \lg a = u \\ \lg b = v \end{array}$$

$$\underline{\lg (a \cdot b)} = \lg 10^{u+v} = u + v = \underline{\lg a + \lg b}$$

4.2 Grundsaltungen der Transistorverstärker

Die Grundsaltungen für Wechselstromverstärker sehen gleich aus wie die in Kap. 3.3 besprochenen Grundsaltungen für Gleichstromverstärkung. Ausser der Grösse der Verstärkung ist dabei nun noch die Phasenlage der Ausgangsgrösse gegenüber der Eingangsgrösse wichtig. Die Ausgangsgrösse eines Verstärkers soll möglichst proportional gegenüber der Eingangsgrösse sein. Diese Eigenschaft geht aus der Uebertragungscharakteristik hervor.



Uebertragungscharakteristik

Verstärker, die Proportionalität zwischen Ein- und Ausgang aufweisen, sind linear. Sie werden auch Kleinsignalverstärker genannt, da sie in Verstärkern auftreten, die in einem kleinen Bereich (der Kollektorspannung) angesteuert werden.

Grosssignalverstärker sind nichtlinear, sie beanspruchen einen grossen Teil des Kennlinienfeldes und werden vor allem in HF-Leistungsstufen und Schaltverstärkern (Digitale Elektronik) verwendet.

Ein Transistor arbeitet nicht linear, wenn er um den Nullpunkt der Ströme und Spannungen betrieben wird. In Kleinsignalanwendungen, die uns vorerst hauptsächlich interessieren, muss der Transistor vielmehr in einem quasi linearen Kennliniengebiet arbeiten. Dies wird durch Gleichstromquellen im Ein- und Ausgangskreis bewirkt.

Zusammenfassend sollen hier kurz die 3 möglichen Grundschaltungen charakterisiert werden:

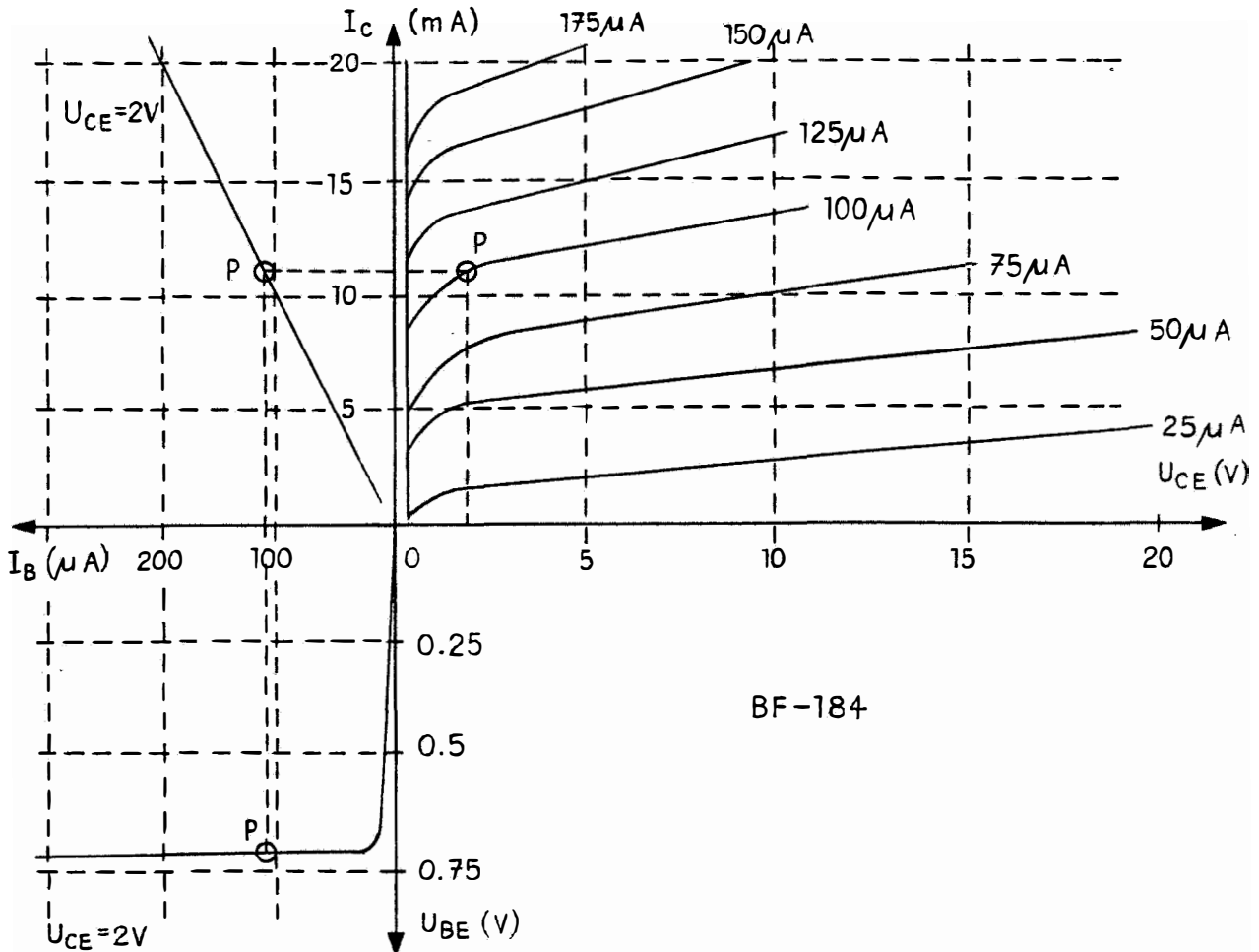
Schaltungstyp	Emitter-schaltung	Collector-schaltung	Basis-schaltung
Spannungsverst.	ja	nein ($\ll 1$)	ja
Strom-Verst.	ja	ja	nein ($\ll 1$)
Leistungs-Verst.	ja	ja	ja
Eingangs-Widerstand R_{in}	mittel	gross	klein
Ausgangs-Widerstand R_{aus}	mittel	klein	mittel
Phasenumkehr	ja	nein	nein
Anwendung	Verstärker	Impedanztransformation	spezielle Fälle (höchste Grenzfrequenz)

4.3 Arbeitspunkt

Arbeitspunkt nennt man denjenigen Punkt im Kennlinienfeld, welchen der Transistor beschreibt, falls die Amplitude der Signalquelle Null ist.

Bei einem Kleinsignalverstärker muss dieser Arbeitspunkt in einem "linearen" Gebiet liegen. Er wird durch die Gleichstromgrößen des Transistors festgelegt.

Betrachten wir ein Beispiel: Der Transistor BF-184 ist ein npn-Typ in Siliziumtechnik und wird durch das folgende Dreiquadrantenkennlinienfeld beschrieben:



Der BF-184 weist folgende für uns wichtige Daten auf:

Grenzdaten:

$$U_{CE0} = 20 \text{ V}$$

$$U_{EBO} = 5 \text{ V}$$

$$I_C = 30 \text{ mA}$$

$$P_{tot} = 145 \text{ mW}$$

Typische Werte:

$$f_T = 300 \text{ MHz (Transitfrequenz)}$$

$$\beta = 300 \text{ bei } U_{CE} = 10 \text{ V}$$

$$\text{und } I_C = 1 \text{ mA}$$

Der in diesem Dreiquadranten-Kennlinienfeld eingezeichnete Punkt P ist ein möglicher Arbeitspunkt. Werden andere Arbeitspunkte gewählt (bei anderen U_{CE}), so muss berücksichtigt werden, dass dann die I_B/I_C und U_{BE}/I_B -Kennlinien (weil von U_{CE} abhängig) verschoben werden.

Betriebsarten von Transistorverstärkern

Die Wahl des Arbeitspunktes erfolgt entsprechend der Betriebsart des Transistors. Man unterscheidet:

A-Betrieb: Linearer Verstärker. Grosser Ruhestrom (=Strom, welcher fliesst, wenn kein Eingangssignal vorhanden ist).

Anwendung: NF-Verstärker, HF-Kleinsignalverstärker.



B-Betrieb: Pseudolinerer Verstärker (für lineare Anwendung brauchbar in Verbindung mit Schwingkreisen). Kleiner Ruhestrom.

Unsymmetrische Aussteuerung.

Anwendung: Gegentakt-Endstufen, SSB-Linearverstärker.



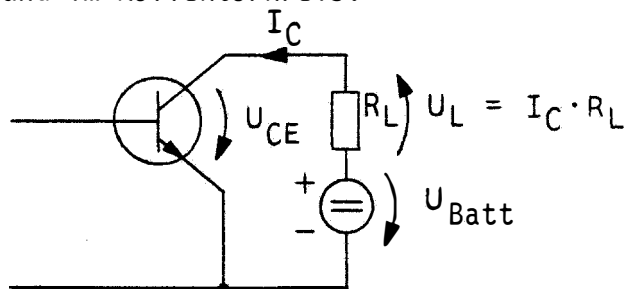
C-Betrieb: Nichtlinearer Verstärker. Praktisch kein Ruhestrom (Basis-Emitterspannung Null oder Sperrpolung).

Anwendung: HF-Leistungsverstärker für CW und FM.



Widerstandsgerade

Der Arbeitspunkt eines Transistors muss anhand der Kennlinien gewählt werden (Ausgangskennlinienfeld). Die Kollektorspannung ist nun nicht konstant, sondern hängt vom Kollektorstrom ab. Der Grund hiezu ist der Lastwiderstand im Kollektorkreis.



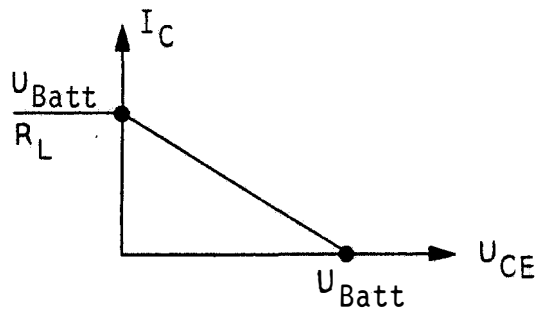
Dabei gilt folgende Gleichung:

$$U_B = U_L + U_{CE}$$

$$U_B = R_L \cdot I_C + U_{CE}$$

wobei U_{CE} und I_C veränderlich sind.

Stellen wir diese Gleichung graphisch im Ausgangskennlinienfeld dar, so ergibt sich eine Gerade:



Der Arbeitspunkt wird nun mit dem Basisstrom eingestellt, er befindet sich dann auf dem Schnittpunkt der mit dem betreffenden Basisstrom bezeichneten U_{CE}/I_C -Kennlinie.

Wahl des Arbeitspunktes für A-Verstärker

Die Wahl des Arbeitspunktes hat nach folgenden Gesichtspunkten zu erfolgen:

- (1) Aussteuerbereich
 - (2) Maximaler Kollektorstrom
 - (3) Maximale Kollektorspannung
 - (4) Maximale Verlustleistung
 - (5) Grenzfrequenz des Verstärkers
- (1) U_{CE} und I_C sollen sich bei Aussteuerung symmetrisch um den Arbeitspunkt ändern. Bei linearen Stufen mit grösserer Aussteuerung ist deshalb der Arbeitspunkt in die Mitte des Kennlinienfeldes zu setzen.
 - (2) Der maximale Kollektorstrom darf durch den im Betrieb auftretenden Spitzenstrom nicht überschritten werden (auch nicht kurzzeitig).
 - (3) Auch die maximale Kollektorspannung darf nicht überschritten werden.
 - (4) Jeder mögliche Betriebspunkt soll im leistungsmässig zulässigen Bereich sein. Dies ist eine thermische Einschränkung. Der zulässige Bereich ist durch die Leistungshyperbel $U_{CE} \cdot I_C = P_{max}$ gegeben.
 - (5) Bei Breitbandverstärkern hoher oberer Grenzfrequenz ist R_L möglichst klein zu wählen.

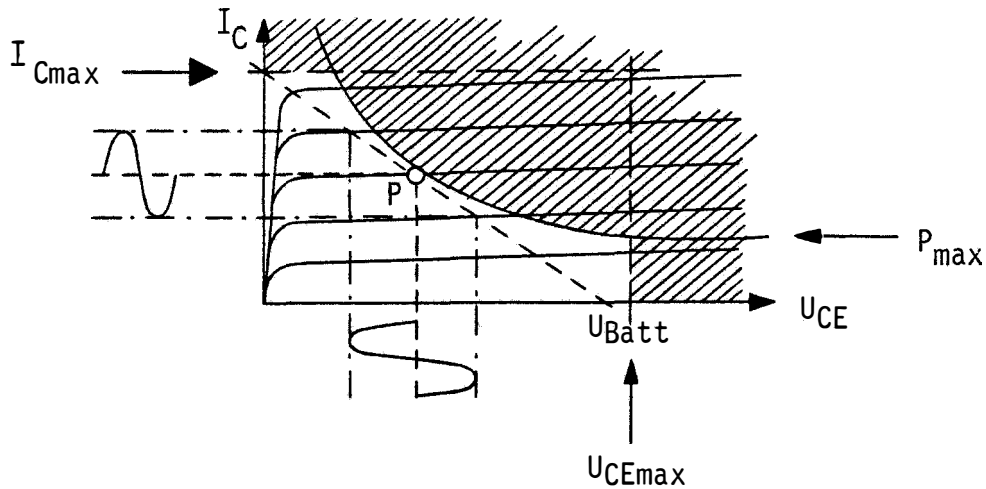
Beachte: Der Lastwiderstand R_L ist meistens für Gleich- und Wechselstrom nicht derselbe.

Gleichstrom (Arbeitspunkt): Widerstand im Kollektorkreis

Wechselstrom:

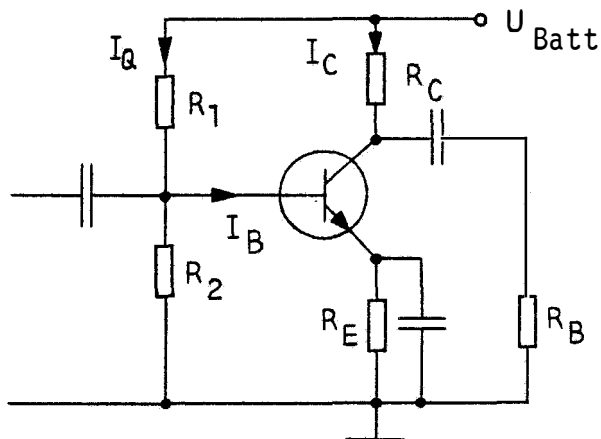
Gleichstromwiderstand + die über einen Kondensator angekoppelte Belastung (meist gegeben durch den Eingangswiderstand der nächsten Stufe).

Die 5 wichtigsten Kriterien bei der Wahl des Arbeitspunktes stellen sich wie folgt dar:



Arbeitspunkteinstellung

Es ist sehr wichtig, dass der Ausgangspunkt stabil, d.h. hauptsächlich nicht temperaturabhängig, eingestellt werden kann. Im weiteren soll er möglichst unabhängig von der Exemplarstreuung sein. Gute Ergebnisse erhält man mit folgender Standard-Schaltung:



Dabei gelten folgende Dimensionierungsvorschriften:

$$I_Q = 5 \dots 10 \cdot I_B$$

$$\beta R_E \gg R_{BE}$$

R_{BE} = Widerstand zwischen B und E (Diode)

Die Basisspannung beträgt dann:

$$U_B = \frac{U_{Batt} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

und der Basis-Arbeitspunkt-Strom:

$$I_B \approx \frac{U_B}{R_E} = \frac{U_{\text{Batt}} \cdot R_2}{R_E (R_1 + R_2)}$$

Es gibt einfachere Methoden, um den Arbeitspunkt einzustellen. Diese sind jedoch thermisch instabil. Wir wollen einen Verstärker bauen und kein Thermometer.

4.4 Kleinsignal-Transistorverstärker

Ersatzschaltbild

Es ist ziemlich umständlich, immer mit den Kennlinien zu arbeiten. Für Kleinsignal-(Wechselstrom-) Verstärker hat man deshalb das Ersatzschaltbild eingeführt, das eine einfache Berechnung der wichtigsten Parameter erlaubt.

Dazu müssen jedoch die folgenden Grössen bekannt sein. (Bekannt aus der Arbeitspunktwahl und aus den Kennlinien.)

r_{be} Basis-Emitter-Wechselstromwiderstand

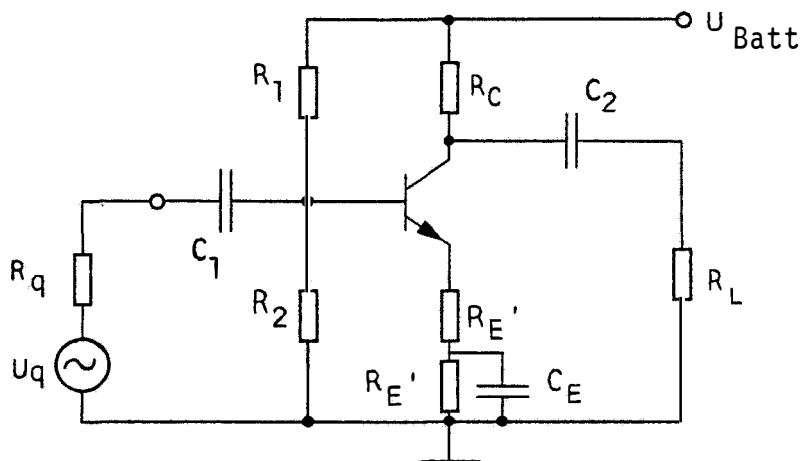
β Wechselstromverstärkung

R_1, R_2, R_E Arbeitspunktwidestände

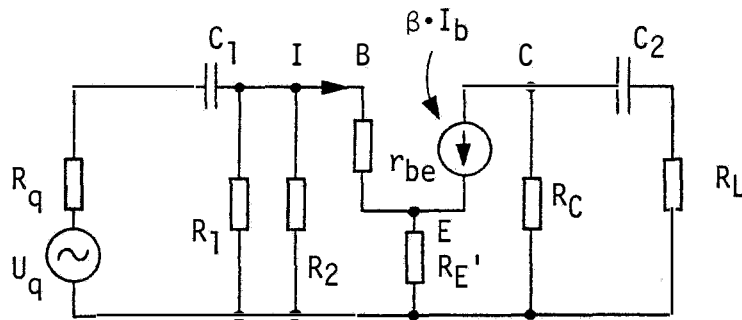
Meist wird im Emitterkreis auch ein Widerstand R_E' eingefügt, welcher auch für Wechselspannungen eine Gegenkopplung bewirkt.

(Gegenkopplung = Verminderung der Verstärkung, um grössere Immunität gegen Exemplarstreuung und Temperatureinflüsse, geringeren Verzerrungsgrad und höhere Grenzfrequenz zu erzielen.)

Eine mögliche Verstärkerschaltung (in Emitterschaltung):



Das dazugehörige Ersatzschaltbild: (für Wechselstrom)

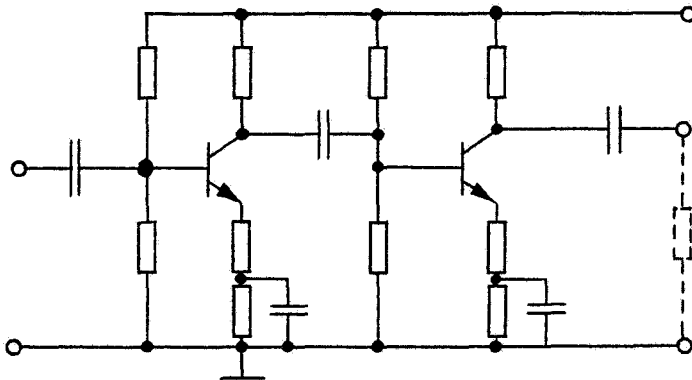


Verstärkerbautypen

Verstärker werden für verschiedene Anwendungen gebaut. Je nach Aufgabe sind andere Eigenschaften wichtig. Hier sollen die wichtigsten Typen besprochen werden.

a) RC-Verstärker:

Hierzu zählen die bisher behandelten Verstärker. Die Kopplung zweier aufeinanderfolgender Stufen erfolgt über Kondensatoren.



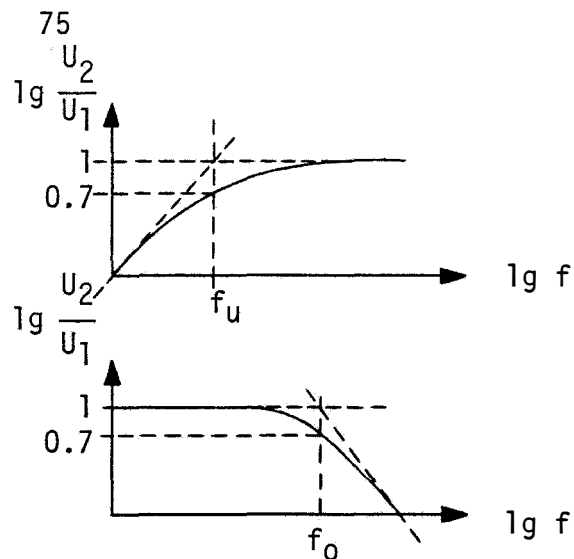
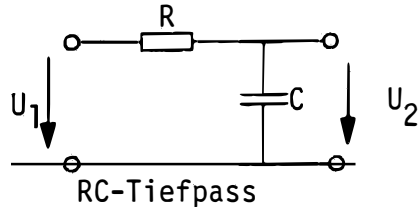
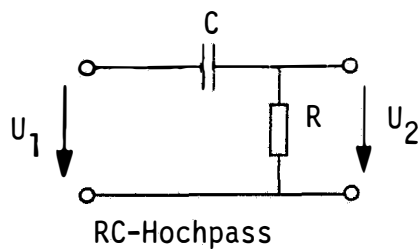
Solche Stufen sind aperiodische Verstärker, d.h. sie verstärken gleichmäßig alle Frequenzen bis zu einer gewissen oberen Grenzfrequenz.

Definition Grenzfrequenz: Diejenige Frequenz, bei welcher die Verstärkung um 3 dB abgefallen ist. (Spannung geht auf ca. 71% zurück)

Diese obere Grenzfrequenz ist im wesentlichen durch innere Effekte der Transistoren (Collector-Basis-Kapazität) sowie durch die Schaltkapazitäten festgelegt.

Durch die RC-Glieder wird eine untere Grenzfrequenz definiert (der Verstärker verstärkt z.B. keine Gleichspannungen). Dies ist besonders gut aus dem Kleinsignal-Ersatzschaltbild ersichtlich.

Betrachten wir folgende einfache Beispiele, (deren Anwendungen die Bestimmung der Grenzfrequenz im Ersatzschaltbild erlaubt).



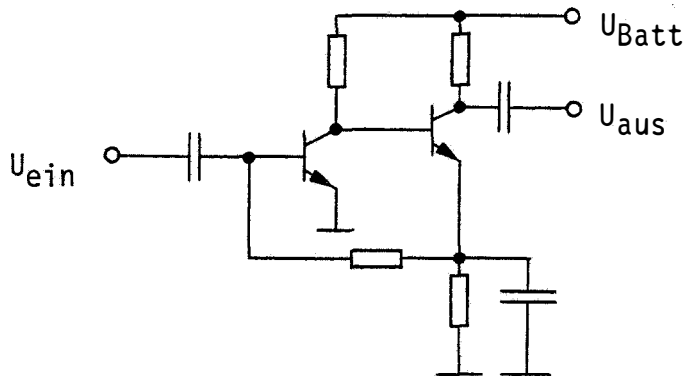
Die untere bzw. die obere Grenzfrequenz lässt sich berechnen aus:

$$f_o = f_u = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

b) Transformatorgekoppelte Verstärker:

Auch über einen Trafo lassen sich Verstärker gleichstromfrei koppeln. Diese Methode wird allerdings eher selten angewendet (z.B. zur Ansteuerung von Gegentaktendstufen).

c) Gleichstromgekoppelte Verstärker:

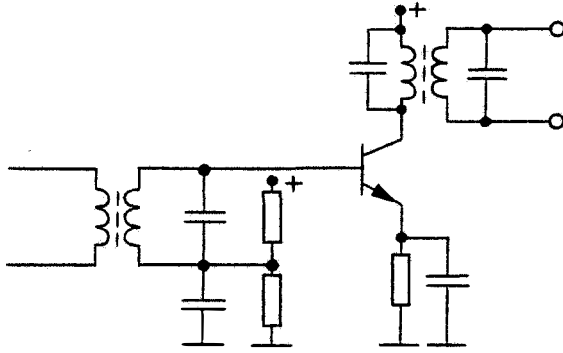


Beispiel eines gleichstromgekoppelten Verstärkers

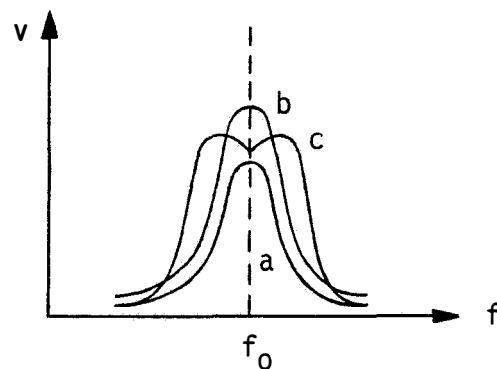
Gleichstromgekoppelte Verstärker sind einiges schwieriger zu berechnen als galvanisch getrennte Stufen. Sie sind, falls nicht gegengekoppelt wird, empfindlich auf Temperaturdrift und Exemplarstreuungen. Vorteilhaft ist die Einsparung der Koppel- und Arbeitspunktbauelemente.

d) Selektiv-Verstärker:

Die störenden Kapazitäten der Transistoren (die die obere Grenzfrequenz beim RC-Verstärker bestimmen), lassen sich weitgehend kompensieren, wenn man als Kollektorwiderstand einen Schwingkreis verwendet. Gekoppelt werden zwei sich folgende Stufen oft über Bandfilter, es ist jedoch auch kapazitive Kopplung (ähnlich wie beim RC-Verstärker) möglich.



Ein idealer Selektiv-Verstärker weist eine rechteckförmige Durchlasskurve auf. Dies lässt sich jedoch mit endlich vielen Schwingkreisen nicht erzielen. Die Form des Durchlassbereiches hängt wesentlich vom Kopplungsgrad k (der Spulen) ab (siehe Transformator).



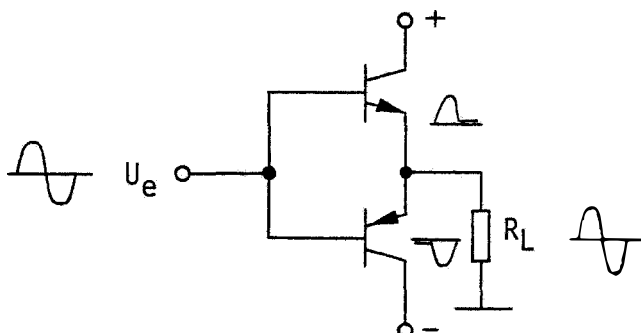
Durchlassbereich eines Bandfilters
(Bandfilter=2 gekoppelte Schwingkreise)

- a: unterkritische (lose) Kopplung
- b: kritische Kopplung (grösste Verstärkung, schmale Durchlasskurve)
- c: überkritische Kopplung (feste Kopplung)

Anwendungen der Selektivverstärker hauptsächlich für HF-Stufen:
Selektive Empfängervorstufen, Zwischenfrequenzverstärker und Oszilatoren.

e) Gegentaktverstärker:

Eine Transistorstufe, die im B-Betrieb arbeitet, verstärkt nur während einer Halbwelle eines sinusförmigen Eingangssignals und sperrt während der anderen. Verwendet man nun in einer Schaltung zwei Transistoren, welche abwechselnd je eine Halbwelle verarbeiten, und fügt man die beiden Halbwellen am Ausgang wieder zum sinusförmigen Signal zusammen, so kommt man zu einem Verstärker mit geringen Verzerrungen, hoher Leistungsausbeute (Wirkungsgrad) und $k(1)$ einem Ruhestrombedarf. Eine Möglichkeit, einen solchen Gegentakt-Verstärker (auch Push-Pull-Verstärker genannt) zu bauen, ist der komplementäre Emitterfolger.



Prinzip des komplementären Emitterfolgers im B-Betrieb

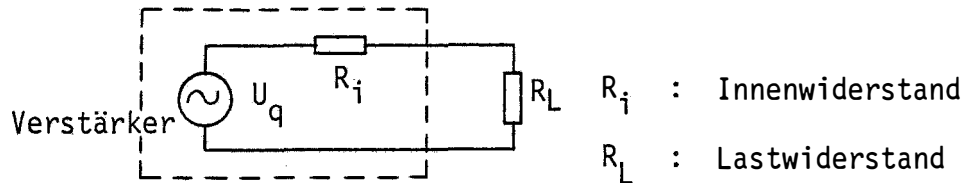
Der Wirkungsgrad dieser Schaltung beträgt bei sinusförmiger Vollaussteuerung immerhin 78.5% !

4.5 Leistungsverstärker mit Transistoren

Anpassung

Um eine möglichst grosse Ausgangsleistung eines Verstärkers zu erhalten, ist man gezwungen, die Transistordaten voll auszunutzen. Dadurch wird bei gegebener Betriebsart der Lastwiderstand festgelegt (Datenblatt).

Nur für A-Verstärker gilt: Lastwiderstand = Innenwiderstand der Quelle
für optimale Leistungsabgabe (Anpassungsbedingung):



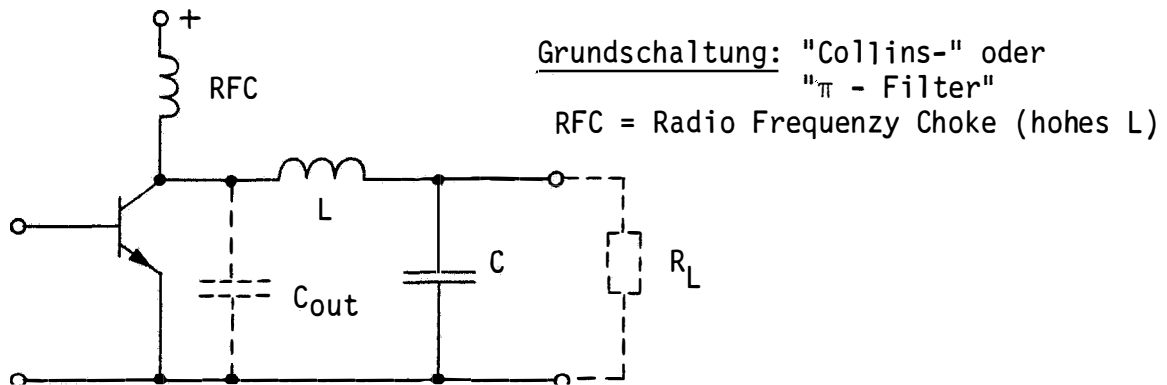
Der Wirkungsgrad beträgt dabei im besten Fall 50%. Für B- und C-Verstärker stimmt dies nicht mehr. Insbesondere beim C-Verstärker arbeitet der Transistor fast wie ein Schalter. Die Verlustleistung ist deshalb klein, der Wirkungsgrad wird grösser als 50%.

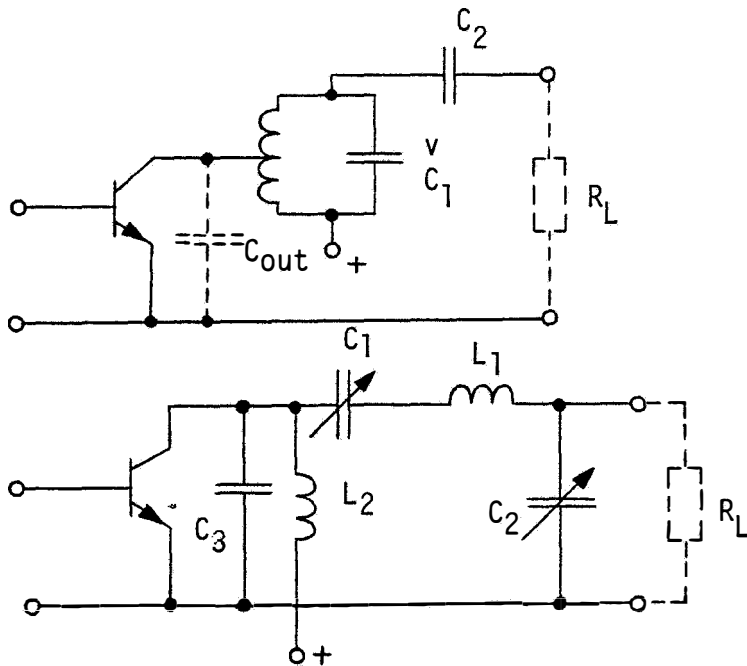
Ein Teil der HF-Leistungsverstärker arbeitet im C-Betrieb. Diese Bauart wird verwendet für CW, AM, FM und Pulsmodulation. Grund: Hoher Wirkungsgrad und kleine Leistungsaufnahme wenn kein Eingangssignal vorhanden ist.

Die Anpassung eines Transistorausganges an einen Lastwiderstand für optimale Leistungsabgabe wird mit einem Impedanztransformator bewerkstelligt. Die Lastimpedanz beträgt meist 50 Ohm, während der von den Transistoren benötigte Lastwiderstand tiefer ist (einige Ohm).

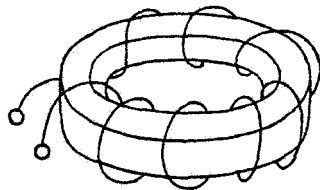
Impedanztransformation lässt sich beispielsweise mit einem LC-Glied durchführen. Sie ist frequenzabhängig, lässt sich jedoch so dimensionieren, dass sie über den Bereich eines ganzen Bandes zufriedenstellend funktioniert. Bei einer Schaltungsentwicklung ist auf jeden Fall die Ausgangskapazität C_{out} des Transistors zu berücksichtigen. Die Grösse dieser Kapazität ist in den Datenblättern angegeben. Sie muss in das nachfolgende Transformations-Glied entsprechend einbezogen werden.

Nachstehend sind einige praktisch verwendete Schaltungen aufgezeichnet. Die Berechnungsformeln können dem ARRL Handbook entnommen werden.





Eigentliche Breitbandverstärker lassen sich nur verwirklichen bei Verwendung von Breitband-Transformatoren. Diese werden meist auf einen Ringkern gewickelt (Toroidspule).



Der Trafo wird meist in Form eines Autotrafos gebaut:



Verzerrungen

C-Verstärker sind nichtlinear. Ein nichtlinearer Verstärker verzerrt die Kurvenform des Eingangssignales nichtlinear (d.h. nicht proportional). Die verzerrte Kurvenform stellt eine Überlagerung der Grundschwingung mit Schwingungen anderer Frequenzen (Oberwellen) dar. Es entstehen so bei einem Sender mit der Grundfrequenz $f_0 = 3.5 \text{ MHz}$ (1. Harmonische):

- 1. Oberwelle: 7 MHz (2. Harmonische)
 - 2. Oberwelle: 10.5 MHz (3. Harmonische)
 - 3. Oberwelle: 14 MHz (4. Harmonische)
- usw.

Diese Oberwellen müssen nun mit einem LC-Filter am Ausgang der Leistungsstufe unterdrückt werden (Oberwellenunterdrückung).

Lineare Verstärker

SSB-Betrieb verlangt lineare Verstärker, d.h. mindestens B-Verstärker. Die Kurvenform des Eingangssignales darf nicht stark verzerrt werden. Da sich ein SSB-Signal nicht aus einer einzigen Frequenz, sondern einem Frequenzgemisch zusammensetzt, würden die Verzerrungsprodukte teilweise wieder in das ursprüngliche Band zurückfallen, was natürlich sehr störend wirkt. Ein Mass für die Unterdrückung solcher Verzerrungen ist der Intermodulationsabstand.

Transistoren, welche für SSB-Linearverstärker eingesetzt werden können, müssen hohe Linearität der Stromverstärkung auch bei grossen Kollektorströmen gewährleisten. Bei grösseren Leistungen wichtig ist möglichst gleichmässige Temperaturverteilung auf der ganzen Halbleiterregion und geringer Wärmeleitwiderstand zwischen Halbleiter und Gehäuse (angegeben vom Hersteller in $^{\circ}\text{C}/\text{W}$).

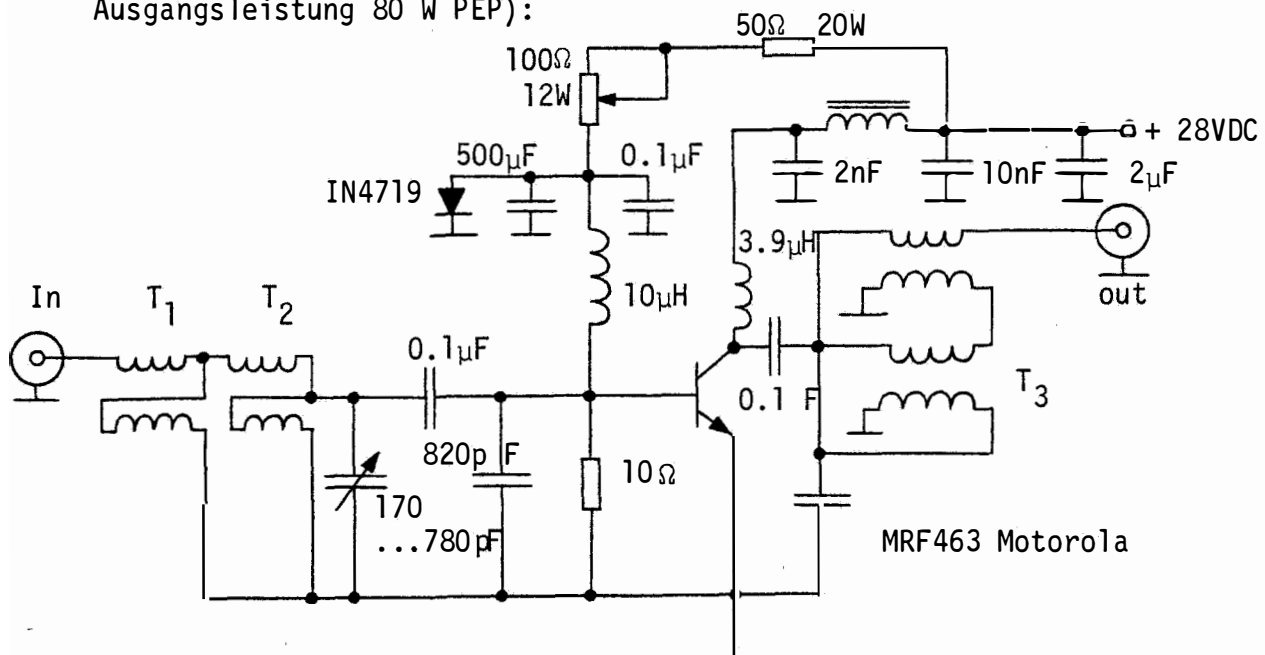
Beispiele einiger moderner Transistoren für HF-Leistungsverstärker:

P_{diss}	Typ	Ausgangsleistung	Anwendung	Intermod. abstand	Grenzfrequenz	Preis Nov. 77
80 W	2N5941	40 W PEP	linear	30 dB	30 MHz	Fr. 103
140 W	MRF463	80 W PEP	linear	32 dB	30 MHz	Fr. 185
100 W	2N5849	40 W	C	---	80 MHz	Fr. 157
70 W	2N5070	25 W PEP	linear	35 dB	50 MHz	Fr. 77

Die Intermodulation ist abhängig von der Aussteuerung und ist etwa bei halber Leistung am besten (-35 dB).

Die einzige Massnahme, den Intermodulationsabstand zu verbessern, ist sonst die Erhöhung des Ruhestroms und somit der Uebergang zum A-Betrieb. Zwischen A- und B-Betrieb wird oft ein Zwischentyp gewählt: der AB-Betrieb.

Beispiel eines linearen SSB-Verstärkers mit MRF463 (Eingangsleistung 4 W, Ausgangsleistung 80 W PEP):



Dieser Verstärker arbeitet über den Bereich 2...30 MHz. Für die Impedanztransformation werden die drei Breitbandtrafos T_1 , T_2 und T_3 verwendet.

Der Intermodulationsabstand ist bei Vollaussteuerung etwa 30 dB, bei halber Leistung 40...45 dB, je nach Betriebsfrequenz. Der Wirkungsgrad (Collector Efficiency) beträgt rund 40%.

Interessant ist die Basisvorspannungserzeugung für die Festlegung des Arbeitspunktes. Der Arbeitspunkt soll den Betrieb des Verstärkers mit möglichst hohem Intermodulationsabstand gewährleisten sowie thermisch stabil sein. Die erste Forderung wird durch einen Ruhestrom von 40 mA erfüllt. Die zweite Forderung verlangt eine kleiner werdende Basis-Emitter-Spannung bei höher werdender Temperatur (bei höherer Temperatur würde sonst der Kollektorstrom zunehmen). Die Basisstromversorgung muss zudem einer extrem niederohmigen Quelle entnommen werden. Der Basisstrom variiert von 3...200 mA, wobei die Basis-Emitter-Spannung um nicht mehr als 0,1 V schwanken darf! Die Lösung dieses Problems bildet die Diode 1N4719. Sie stellt eine Kleinspannungs-"Zener"-Diode dar und wirkt auch temperaturkompensierend. Die Diode ist thermisch mit dem Transistor gekoppelt, indem man sie auf das gleiche Kühlblech montiert hat.

Der Verstärker arbeitet auch bei voller Leistung bei einer Kühlblechtemperatur von 110°C absolut zufriedenstellend.

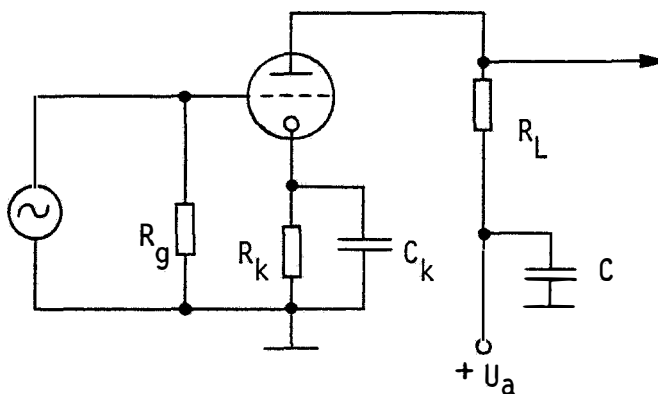
Input

Als Input wird meist diejenige Leistung bezeichnet, die vom Netzgerät geliefert werden muss (Speiseleistung). Es ist auch die Bezeichnung "DC-Input" üblich. Die Inputleistung soll nicht verwechselt werden mit der HF-Leistung, die am Eingang (input) gebraucht wird, um den Verstärker anzusteuern.

4.6 Röhrenschaltungen

Kleinsignalverstärker

Kleinsignalverstärker werden heutzutage kaum noch in Röhrentechnik gefertigt. Es soll deswegen nur kurz darauf eingegangen werden. Wesentlich ist die Kathodenbasis-Schaltung, da sie wie die Emitterschaltung die grösste Verstärkung aufweist.



Prinzip des Kathodenbasis-Verstärkers

Die Röhrenfunktion ist eine Spannungs-Strom-Verstärkung. Diese Verstärkung wird wie beim FET durch die Steilheit in mA/V ausgedrückt (Anodenstromänderung / Gitterspannungsänderung).

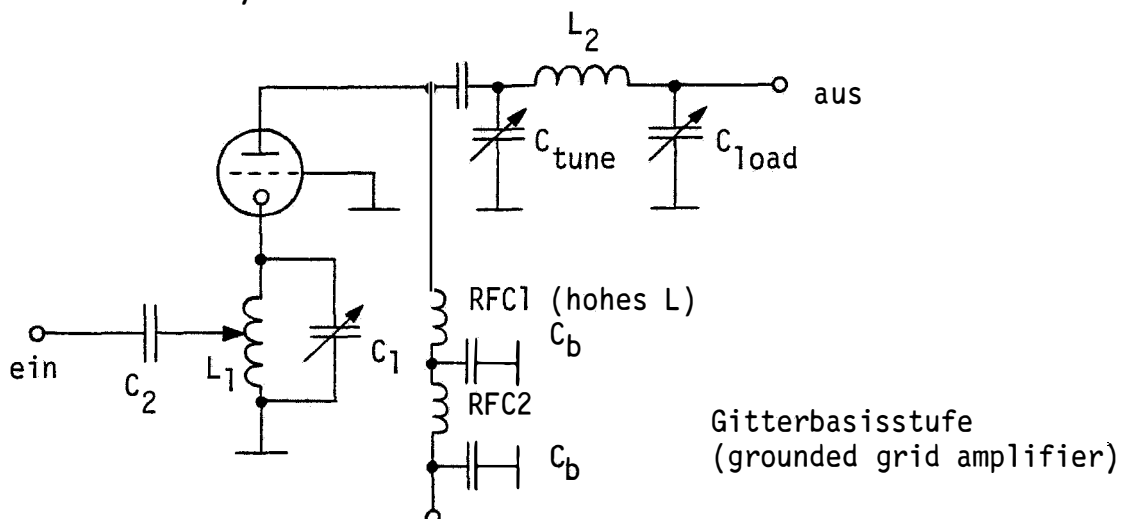
Die Anodenspannung U_a beträgt einige 100 V (z.B. 300 V). Die Röhre benötigt eine Arbeitspunktvorspannung. Diese wird durch den Kathodenwiderstand R aus dem Anodenruhestrom (bei A-Verstärkern) erzeugt. Die Vorspannung am Gitter ist dann negativ in Bezug auf die Kathode.

Grossignalverstärker (Leistungsstufen)

Grossignalverstärker werden heute wegen ihrer Preisgünstigkeit noch oft verwendet, wenn die Ausgangsleistung einige 100 W überschreiten soll. Die "Standard-Schaltung" der Amateurtechnik für höhere Leistungen (einige 100 W) ist die Gitterbasisschaltung.

Bei dieser Schaltung wird ein Teil der eingespeisten Energie durch die Röhre durchgekoppelt und erscheint zusätzlich zur verstärkten Leistung am Ausgang (Feedthrough).

Es gibt mit diesem Typ keine Neutralisationsschwierigkeiten, da Eingang und Ausgang voneinander gut entkoppelt sind. Unter Neutralisation versteht man Gegenkopplung zur Unterdrückung eventueller Rückkopplungen, die eine Verstärkerstufe zum Schwingen bringen könnten (siehe Kapitel über Oszillatoren).



Bis zu Leistungen von ca. 200 W finden auch oft normale Kathodenbasisverstärker Anwendung; auch mit Parallelschaltungen von Röhren (z.B. 2 mal 6L46). Hier muss jedoch der Neutralisation genügend Beachtung geschenkt werden.

Charakteristisch bei Röhrenendstufen ist die Ankopplung über ein Collins- oder π -Filter. Dabei ist die niedrige Antennenkabelimpedanz (Wellenwiderstand 50 Ohm) auf die von der Röhre geforderte hohe Impedanz zu transformieren (R_L meist einige kOhm).

4.7 FET-Verstärker

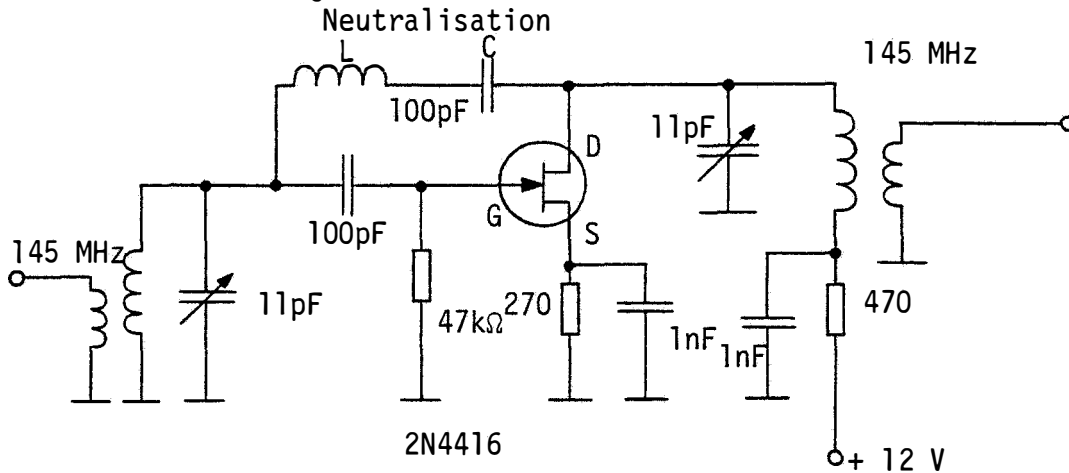
Feldeffekt-Transistoren (insbesondere MOSFET) verhalten sich in Schaltungen ähnlich wie Elektronenröhren.

Die Gatevorspannung (Arbeitspunktdefinition) wird genau gleich erzeugt:

Der Sourcestrom bewirkt über dem Sourcewiderstand einen Spannungsabfall, welcher die Source gegenüber dem Gate auf ein höheres Niveau bringt, d.h. das Gate gegenüber der Source negativ vorspannt.

Der Widerstand am Gate dient nur zur eindeutigen Festlegung der Gatevorspannung.

Im nachfolgend gezeichneten Beispiel ist auch eine aus L und C bestehende Neutralisation eingezeichnet.

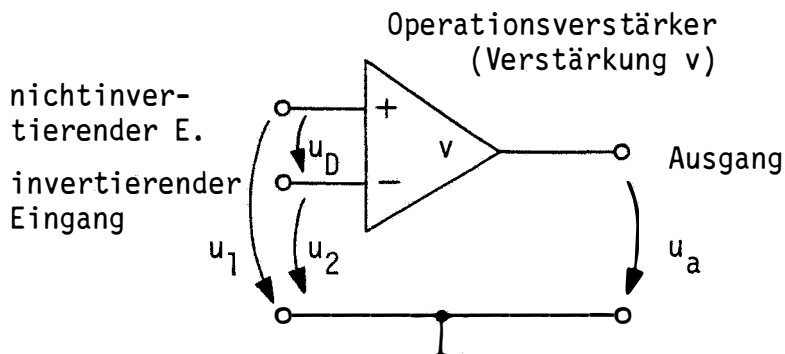


Beispiel eines FET-Verstärkers als 2m-Vorstufe (145 MHz)

4.8 Operationsverstärker

Lineare Verstärkerschaltungen für NF (und auch für einige spezielle HF-Anwendungen) lassen sich sehr einfach mit Operationsverstärkern verwirklichen. Diese Operationsverstärker sind Differenzverstärker mit hohem Gewinn, kleinem Ausgangswiderstand und grossem Eingangswiderstand. Sie weisen also alle Eigenschaften eines "guten" Verstärkers auf.

Das Schaltsymbol ist ein Dreieck mit zwei Eingängen und einem Ausgang.



Das elektrische Verhalten ist charakterisiert durch:

$$u_a = v \cdot u_D = v \cdot (u_1 - u_2)$$

Die Daten eines üblichen Operationsverstärkers für NF:

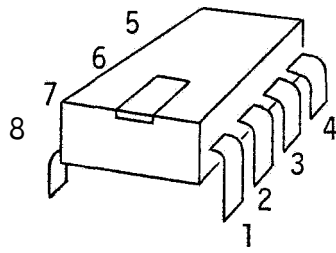
Typ 741 (z.B. National LM741CN oder Fairchild μ A741)

Versorgungsspannung: ± 15 V

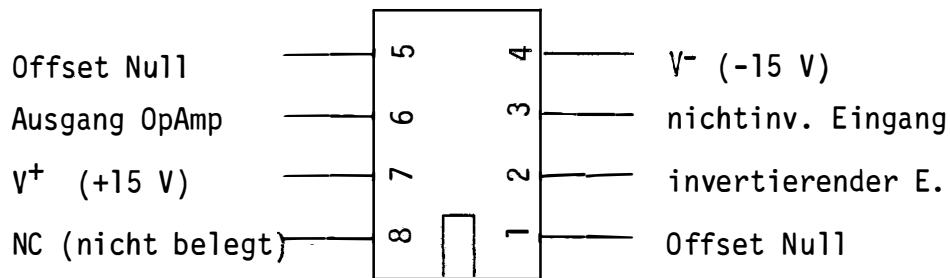
Spannungsverstärkung: 160'000 typisch

Eingangswiderstand: 1 MOhm

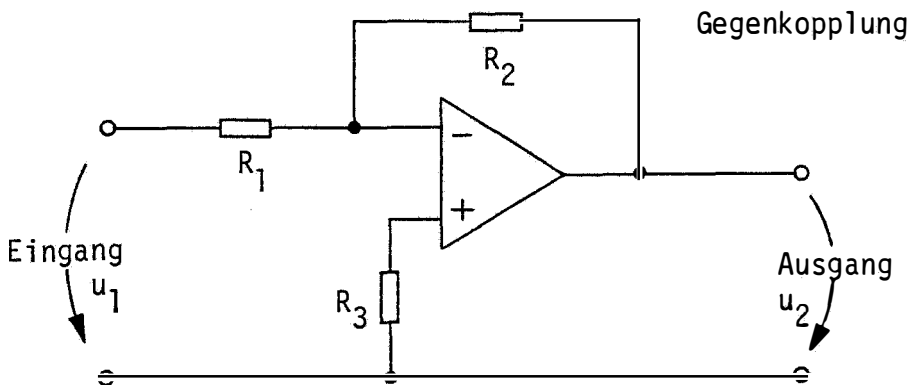
Ansicht der integrierten Schaltung im Normgehäuse:
(DIP = Dual-in-Line Package)



Anschlussbelegung:



Bei grosser Verstärkung ist die Bandbreite des OpAmps (OpAmps = Operational Amplifier, engl. für Operationsverstärker) meist recht klein. Um die Bandbreite zu vergrössern, muss deshalb die Spannungsverstärkung reduziert werden (Gegenkopplung). Diese Gegenkopplung wird wie folgt durchgeführt:



Nun wird die Verstärkung auch weitgehend unabhängig vom Verstärkungsfaktor v des OpAmps.

Wir bezeichnen mit v' das nun resultierende Verhältnis von Ausgangsspannung u_2 zur Eingangsspannung u_1 . Dann ist

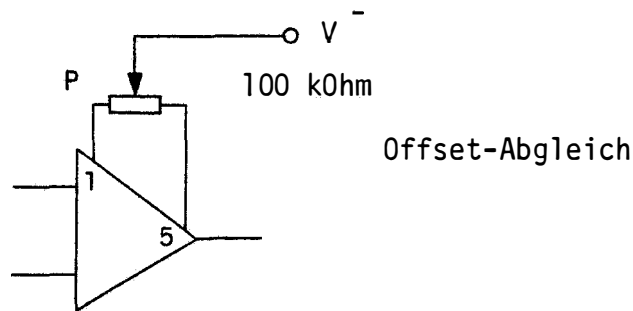
$$v' = \frac{R_2}{R_1}$$

Schon kleine interne Spannungsdriften des Verstärkers haben einen grossen Einfluss auf den Ausgang. Dies ist der sog. Offset. Will man diese Offsetspannung kompensieren, wendet man zwei Methoden an:

- a) Widerstand R_3 : Der Widerstand R_3 berechnet sich für Offsetspannungskompensation aus:

$$R_3 = R_1 // R_2$$

- b) Mit dem Offset-Abgleich: Unser OpAmp weist zwei Anschlüsse auf, die mit "Offset Null" beschriftet sind. Mit folgender Schaltung lässt sich mittels des Poti P die Spannung abgleichen (Nullabgleich der Ausgangsspannung, wenn keine Eingangsspannung vorhanden ist):

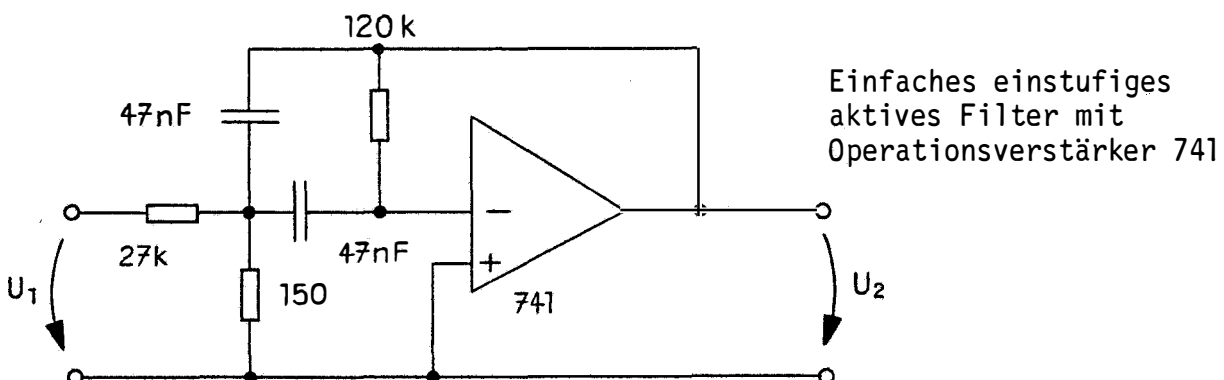


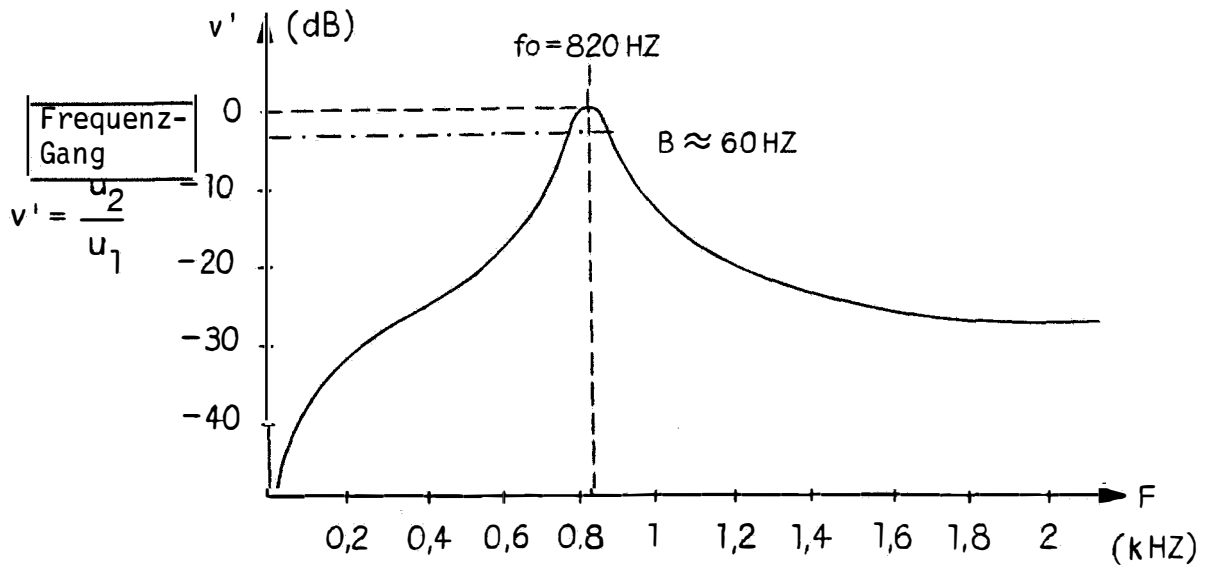
4.9 Aktive Filter

Mit Operationsverstärkern und passiven Elementen (R, L, C) lassen sich Filter aufbauen. Sie heißen aktiv, weil sie nur mit aktiven Elementen (=Operationsverstärkern) in dieser Art funktionieren.

Es gibt wie in der passiven Filtertechnik Hoch-, Tief- und Bandpässe. Wie in der passiven Schaltungstechnik braucht die Realisation einer guten Durchlasscharakteristik unter Umständen mehrere hintereinandergeschaltete Stufen.

Ein ganz einfaches Beispiel sei hier ohne Berechnung wiedergegeben. Die Schaltung kommt mit einem Operationsverstärker, zwei Kondensatoren und drei Widerständen aus.





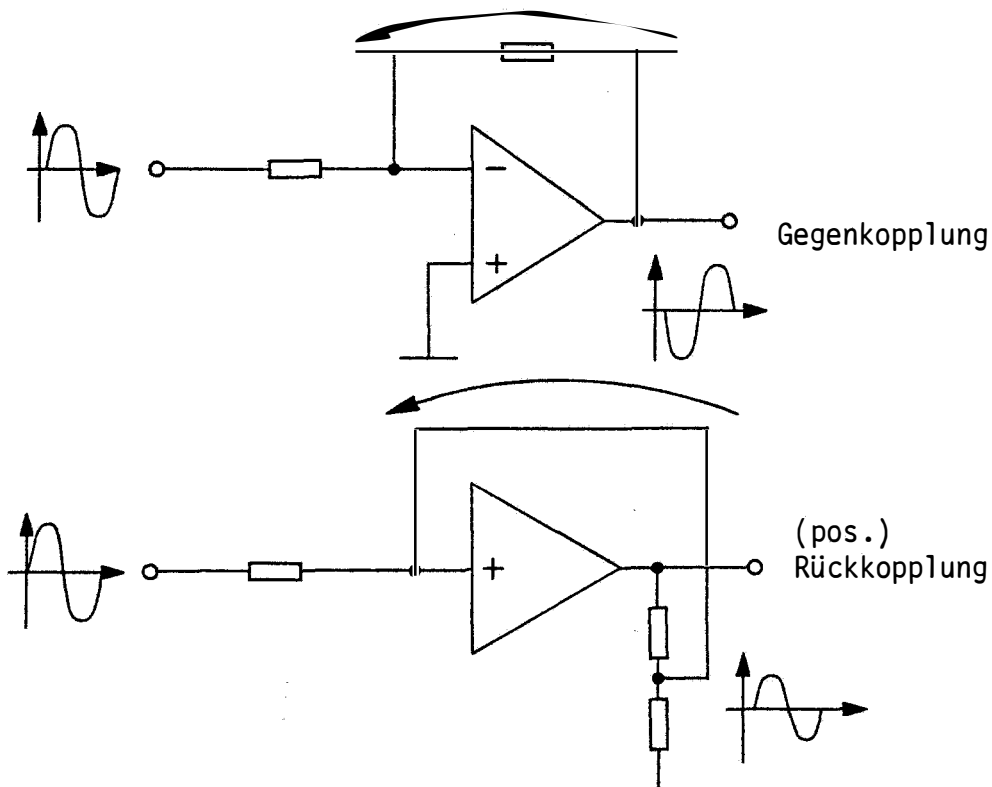
Die Frequenzgangkurve ist auf 0 dB bei der Frequenz 820 Hz normiert.

4.10 Gegenkopplung und Rückkopplung, Neutralisation

In einigen Fällen haben wir nun bereits den Begriff der Gegenkopplung angetroffen.

Unter Gegen- und Rückkopplung versteht man das Rückführen einer Ausgangsgrösse (Ausgangsspannung oder Ausgangsstrom) auf den Eingang. Bei der Gegenkopplung muss diese Rückführung so bewerkstelligt werden, dass das rückgeführte Signal um 180° gegenüber dem Eingangssignal phasenverschoben ist.

Bei der Rückkopplung wird gleichphasig rückgeführt. Die beiden prinzipiellen Schaltungen sind nachfolgend aufgezeichnet.



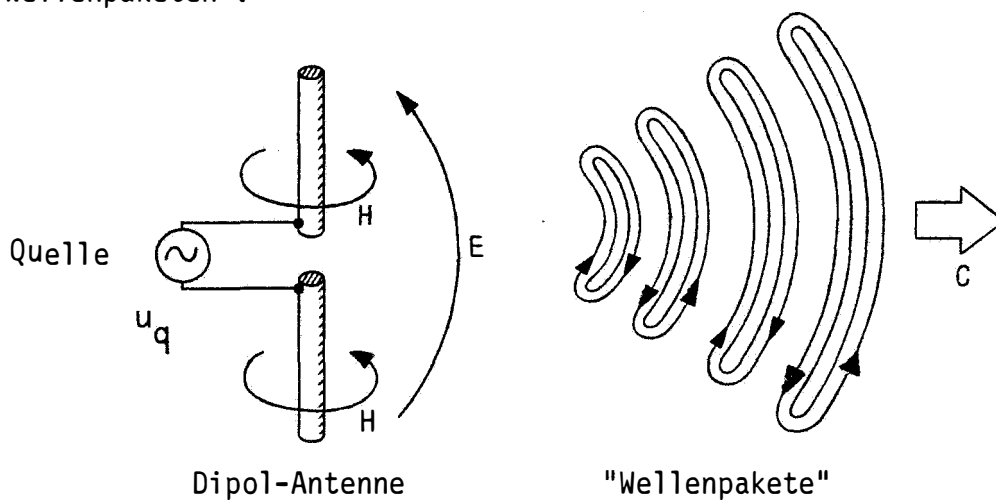
5. Antennen und ihre Speiseleitungen

5.1 Abstrahlung

Abstrahlung von elektromagnetischer Energie (Radiowellen) ist möglich, weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle nicht unendlich gross ist. Wäre sie unendlich gross, so würde sich in jedem Moment im ganzen Raum das dem jeweiligen Zustand der Antenne entsprechende statische Feldbild einstellen.

Speist man einen Leiter, der in der gleichen Grössenordnung wie die abustrahlende Wellenlänge ist, mit HF-Energie entsprechender Frequenz, so bildet sich um ihn ein elektrisches und magnetisches Wechselfeld.

Bei Umpolung der Quellenspannung wechseln auch die Feldlinien ihre Richtung. Wegen der endlichen Laufzeit kommt es zur "Abschnürung" von "Wellenpaketen".



Voraussetzung für Abstrahlung ist, dass die Abmessungen der Antenne nicht sehr viel kleiner sind als die Wellenlänge. Kleine Antennen sind somit gut möglich für die höheren Frequenzen.

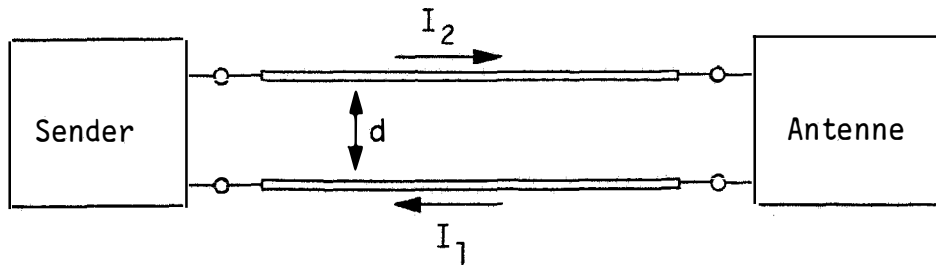
5.2 Antennenimpedanz

Die Antenne ist ein Energiewandler (elektrische Energie \rightarrow elektromagnetische Energie, Welle), d.h. ein Impedanztransformator von meist 50Ω Impedanz der Speiseleitung auf 377Ω Impedanz des Freiraumes. Die Antennenimpedanz ist derjenige Widerstand, den eine speisende Quelle "sieht", d.h. das Verhältnis von Spannung zu Strom am Antennenspeisepunkt (Antennenfusspunkt).

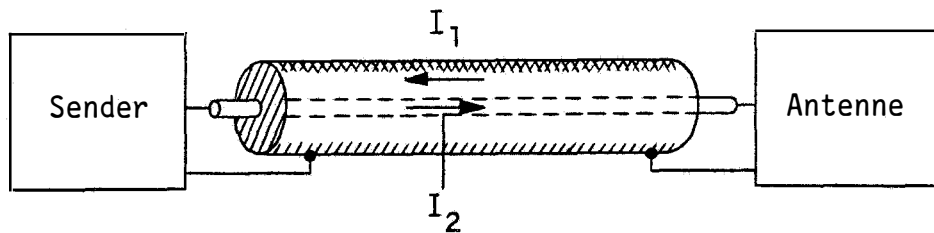
5.3 Speiseleitungen

Als Speiseleitung wird die Uebertragungsleitung vom Sender zur Antenne bezeichnet. Sie soll nicht strahlen, sondern die ganze Senderleistung möglichst verlustlos an die Antenne abgeben.

a) Paralleldrahtleitung:



b) Koaxialleitung:



Paralleldrahtleitung

Die Paralleldrahtleitung besteht aus zwei parallelen Drähten. Das Dielektrikum (= Material zwischen den Drähten) ist Luft. Als Leiter verwendet man vorzugsweise versilberte Cu-Drähte (wegen Skin-Effekt),

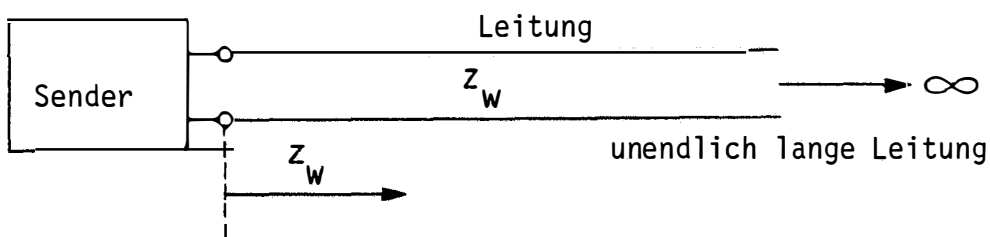
Die hin- und rückfliessenden Ströme sind gleich gross. Das durch sie erzeugte Feld kompensiert sich in einiger Entfernung vom Leiter.

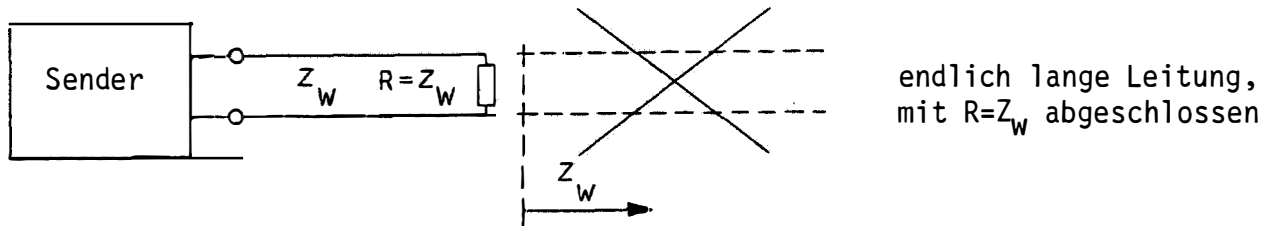
Die Antennenleitung strahlt jedoch nur nicht ab, solange der Abstand der Drähte d wesentlich kleiner ist als die Wellenlänge der übertragenen Energie.

Paralleldrahtleitungen haben günstigere Übertragungseigenschaften als Koaxkabel, sind jedoch konstruktiv einigen Problemen unterworfen.

Die Anordnung ist symmetrisch, weswegen diese Leitung symmetrische Speisung heisst. Der Wellenwiderstand einer Leitung ist folgendermassen definiert:

Definition Wellenwiderstand: Der Wellenwiderstand einer Leitung ist der Widerstand, den der Sender sieht, wenn auf der Leitung keine rücklaufende Welle entsteht. Dies ist z.B. erfüllt bei unendlich langer Leitung oder bei Abschluss der Leitung mit ihrer Wellenimpedanz.





Beispiel: Eine Leitung sei mit einem Widerstand von 50Ω abgeschlossen und habe die Wellenimpedanz $Z_W = 50\Omega$. Der Sender erzeugt eine HF-Leistung von $P = 100\text{ W}$. Wie gross ist Strom und Spannung auf der Leitung?

Lösung: - ideale Anpassung, deshalb
- sieht der Sender Z_W als Lastwiderstand

$$P = \frac{U^2}{R} \quad U = \sqrt{P \cdot R} = \underline{\underline{70.71\text{ V}}}$$

$$I = \frac{U}{Z_W} = \underline{\underline{1.414\text{ A}}}$$

Bei üblichen Paralleldrahtleitungen liegt der Wellenwiderstand bei einigen 100Ω (oft 240 oder 300Ω).

Koaxialleitung (Koaxialkabel)

Die Koaxialleitung besteht aus einem drahtförmigen Innenleiter und einem rohrförmigen Aussenleiter. Auf dem Innenleiter fliesst der Strom I_2 . Der Rückstrom I_1 fliesst bei genügend hoher Frequenz infolge des Skineffektes nur auf der Innenseite des Aussenleiters. Auf der Aussenseite des Leiters fliesst kein Strom. Das Aussenfeld ist Null; auch dieser Kabeltyp strahlt keine Leistung ab.

Die Leiter des Koaxkabels sollten auch versilbert sein, um die ohmschen Verluste klein zu halten. Im Innenraum des Kabels befindet sich meist Polyäthylen als Dielektrikum. Wie beim Kondensator führt dies zu dielektrischen Verlusten. Ein Teil der übertragenen Energie wird in Wärme umgesetzt.

Der Mantel des Kabels besteht meist aus PVC (Polyvinylchlorid). Erhältliche Wellenwiderstände liegen meist zwischen 50 und 75Ω .

Verluste

Bei Kabeln gibt man die Gesamtheit der Verluste, die sich aus

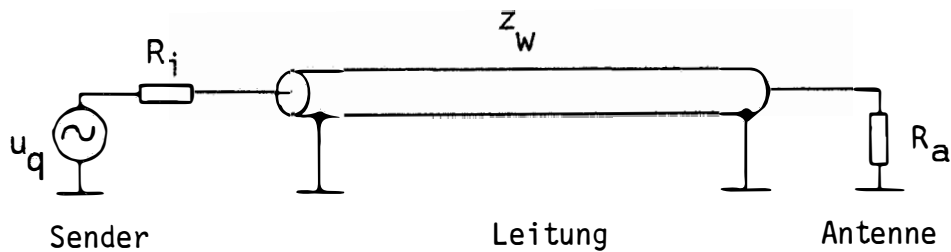
- Strahlungsverlust
- ohmscher Verlust
- dielektrischer Verlust

zusammensetzen, in dem Dämpfungsmass dB/100 m an. Im englischen Sprachbereich wird dB/100 ft verwendet. Die nachstehende Tabelle enthält die Daten einiger der gebräuchlichsten Speiseleitungen:

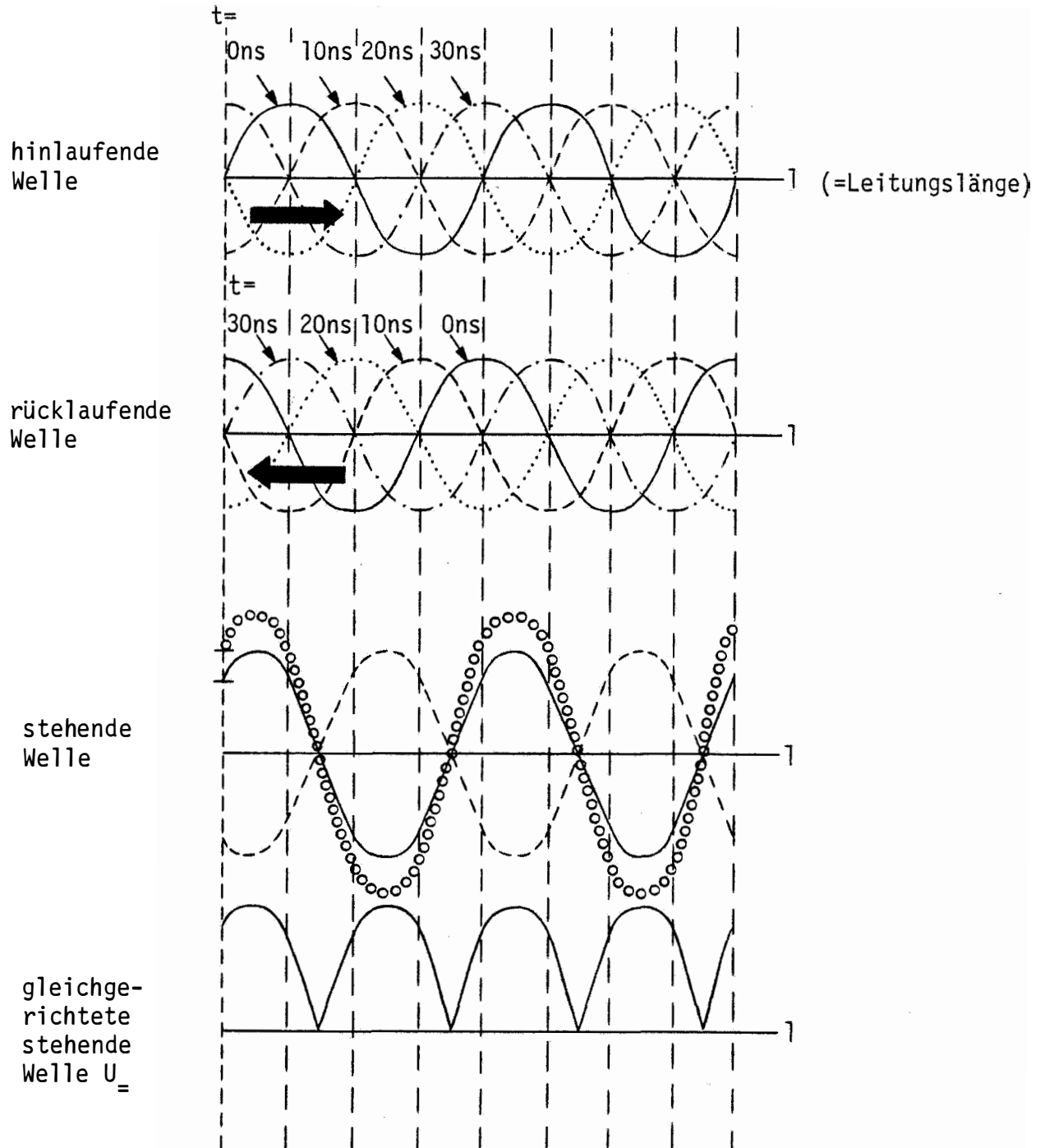
Typ	Z_w Ω	Durchmesser	Dämpfung bei						
			3.5	7	14	21	28	144	420
MHz in dB/100 m									
RG58	53	5 mm	2.3	3.3	5	6.3	7.3	19	34.7
RG213	52	10.3 mm	1	1.5	2.2	2.8	3.3	8.3	16
300 Ω //- Draht	300	-	0.6	0.9	1.4	1.7	2	5.2	9.3

5.4 Anpassung und Stehwellenverhältnis

Bei optimaler Anpassung sind der Innenwiderstand der Quelle (Senderendstufe), der Wellenwiderstand der Übertragungsleitung und die Impedanz der Antenne (Fusspunktimpedanz) gleich gross. Dann erscheint die vom Sender gelieferte HF-Energie in vollem Ausmass an der Antenne.

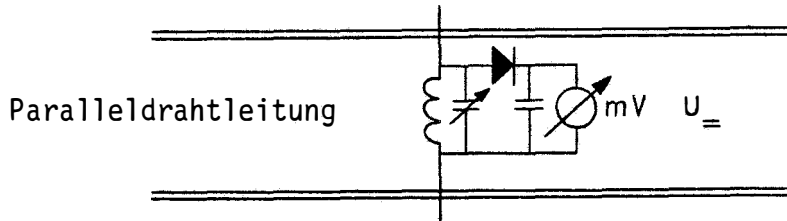


Wenn eine Leitung am Ausgang (oder am Eingang) nicht angepasst ist, entsteht zusätzlich zur hinlaufenden noch eine rücklaufende Welle (S.37). Die zwei sin-förmigen Wellenzüge überlagern (= summieren) sich zur sog. stehenden Welle.



In unserer Darstellung werden zwei sin-förmige gegenläufige Wellen gleicher Amplitude einander überlagert.

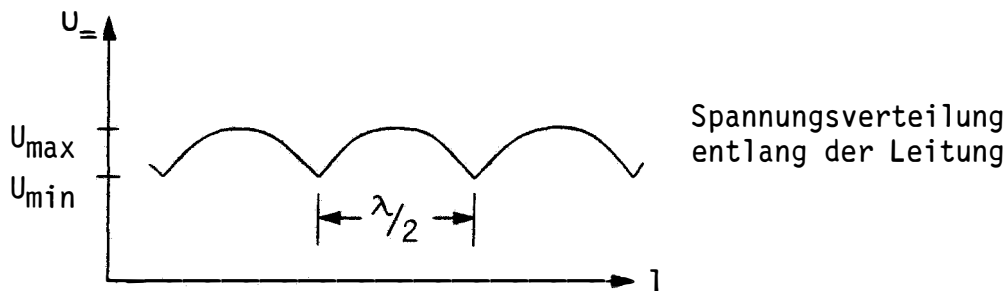
Dies wäre der Fall bei völliger Fehlanpassung (d.h. Leitung am Ende offen oder kurzgeschlossen). Die stehende Welle als Summe der vor- und rücklaufenden Welle bewegt sich nur in der Amplitude, ist aber in ihrer örtlichen Lage auf der Leitung konstant. Die resultierende Spannungsverteilung kann einfach gemessen werden:



Stehwellenmessschaltung

Im Idealfall der Anpassung wird keine Welle von der Last reflektiert, d.h. die "überlagerte" Spannung ist die hinlaufende Welle. Diese ist nun örtlich nicht konstant, d.h. auf dem in obiger Schaltung verwendeten Instrument wird ein konstanter, ortsunabhängiger Ausschlag festgestellt.

Alle realen Fälle befinden sich zwischen den beiden besprochenen Extremfällen, der Anpassung und der völligen Fehlanpassung. Dann misst man mit unserem oben gezeigten Instrument etwa folgenden Verlauf:



Ein Mass für die Fehlanpassung ist das Stehwellenverhältnis, welches sich aus Kenntnis der Last und der Wellenimpedanz der Leitung oder aus der Spannungsverteilung entlang der Leitung berechnen lässt. Es handelt sich dabei um das VSWR (= Voltage Standing Wave Ratio, Spannungsstehwellen-Verhältnis).

Berechnung aus der Spannungsverteilung

$$\text{VSWR} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

Berechnung aus Last- und Wellenwiderstand

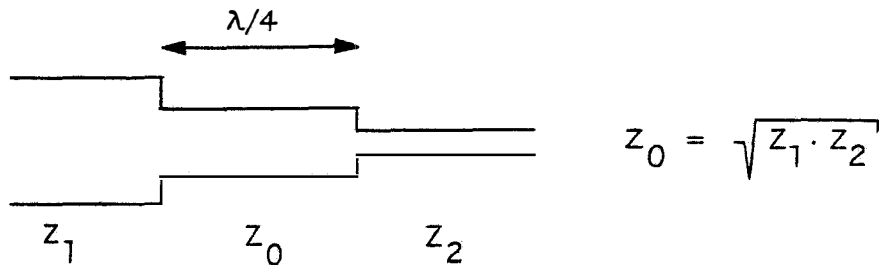
$$R_L > Z_W \rightarrow \text{VSWR} = \frac{R_L}{Z_W}$$

$$R_L < Z_W \rightarrow \text{VSWR} = \frac{Z_W}{R_L}$$

Man ist bei Koaxkabeln speziell interessiert, mit möglichst kleinem VSWR auszukommen, weil ein hohes SWR hier zusätzliche Verluste verursacht. Andererseits spielt es praktisch keine Rolle, wie hoch das SWR auf einer Paralleldrahtleitung ist.

Impedanztransformation mit Leitung

Eine Leitung, die eine Länge von $\lambda/4$ aufweist, hat Transformationseigenschaften. Sie erlaubt, zwei verschiedene Impedanzen aneinander anzupassen. Der Wellenwiderstand der Transformationsleitung definiert das Übersetzungsverhältnis:



5.5 Antennen, Grundtypen

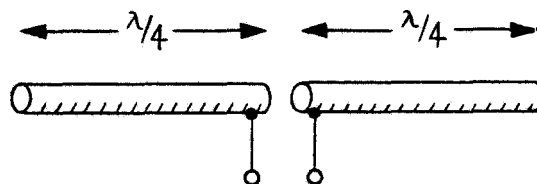
Isotropischer Strahler

Die (theoretisch) einfachste Antenne ist der isotropische Strahler. Diese Antenne strahlt in alle Richtungen gleichmässig ab (gleiche Strahlungsdichte), d.h. isotrop.

Dieser Antennentyp ist nur fiktiv, eine Realisierung ist nicht bekannt. Sie dient jedoch einigen Herstellern als 0 dB-Referenz,

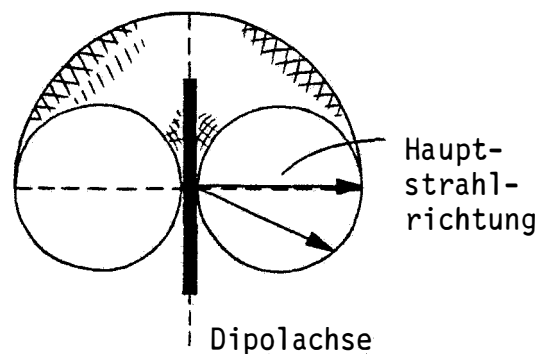
Halbwellendipol

Der Halbwellendipol (oder $\lambda/2$ -Dipol) ist die am einfachsten zu realisierende Antenne. Er besteht aus zwei je $\lambda/4$ langen Stäben, die voneinander isoliert gespeist werden.



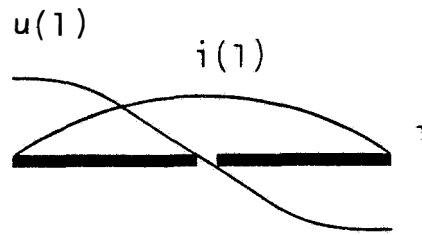
Der Speisepunktswiderstand des Halbwellendipols beträgt etwa 60Ω und hängt ab vom Verhältnis der Wellenlänge zum Drahtdurchmesser sowie von der Höhe der Antenne über Boden.

Ein Dipol strahlt gemäss nebenstehenden Diagramm in der Fläche am besten, auf welcher er senkrecht steht. In die Richtung seiner Achse strahlt er nicht. In der Hauptstrahlungsrichtung ist sein Signal 2.15 dB stärker als das des isotropen Strahlers.



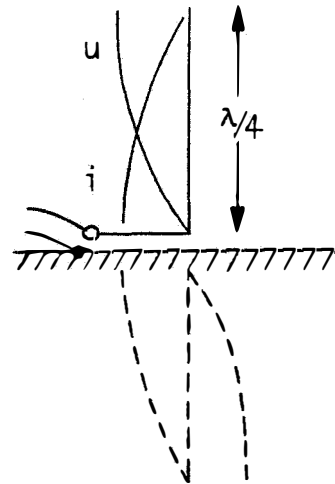
Eine solche Antenne ist ein Gebilde mit stehenden Wellen. An den Enden der Leiter befindet sich logischerweise immer ein Stromknoten und ein Spannungsbauch. Der Strombauch und der Spannungsknoten befinden sich in der Mitte des Dipols.

Die Polarisation des Dipols ist linear, ihre Richtung ist durch die Dipolachse gegeben.



Marconi-Antenne ($\lambda/4$ -Strahler)

Eine weitere einfache Antenne ist der vertikale $\lambda/4$ -Strahler (Marconi-Antenne). Der Strom- und Spannungsverlauf über der Antenne sieht gleich wie über einem halben $\lambda/2$ -Dipol aus. Ein guter Boden (hohe Leitfähigkeit) wirkt wie ein elektrischer Spiegel. Zusammen mit dem gespiegelten Bild des $\lambda/4$ -Strahlers ergäbe sich wieder der bekannte Dipol (gestrichelt gezeichnet). Der Fusspunktwiderstand dieser Antenne beträgt etwa 35Ω .



Man verwendet solche Antennen oft für tiefe Frequenzen (HF) auf stationären Anlagen sowie als Autoantenne für Mobilstationen. Auch die Antennen auf tragbaren Kleinfunkgeräten vertreten in etwa diesen Typ. Das Strahlungsdiagramm entspricht weitgehend demjenigen eines Dipols.

Langdraht-Antennen (Longwire)

Als Langdraht bezeichnet man aus einem Draht bestehende Antennen, die wesentlich länger sind als entsprechende Dipole. (Also beispielsweise ein 40 m langer Draht für 14 MHz.)

Eine Longwire-Antenne besitzt eine hohe Impedanz, sie muss deswegen über ein Transformationsglied (Matchbox) gespiesen werden.

Die Hauptstrahlrichtung ist für die tiefste Resonanzfrequenz senkrecht zur Drahtrichtung und nähert sich für höher werdende Frequenzen immer mehr der Drahtrichtung.

5.6 Gewinn und Richtdiagramm

Empfangsspannung

Wird eine Antenne der Länge l in ein elektromagnetisches Feld mit der Feldstärke E gebracht, so bringt sie eine Spannung, die proportional der Länge und der Feldstärke ist.

Da jedoch die Spannungsverteilung auf der Antenne nicht gleichmässig ist, gilt nicht die mechanische Länge für die Berechnung der Empfangsspannung, sondern die sog. effektive Antennenlänge.

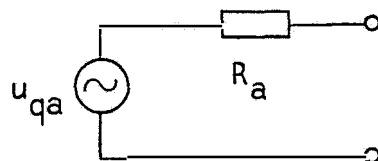
Diese Antennenlänge beträgt z.B. für den wichtigen Fall des $\lambda/2$ -Dipols

$$l_{\text{eff}} = \frac{\lambda}{\pi}$$

Dann ist die Empfangsspannung der Antenne, d.h. die Spannung der Antennenquelle)

$$u_{\text{qa}} = E \cdot l_{\text{eff}}$$

Diese Spannung ist aber noch nicht diejenige Spannung, welche an den Klemmen der Antenne abgegriffen werden kann. Die Antenne selbst besitzt eine Antennenimpedanz, welche als Innenwiderstand wirkt.



Ersatzschaltbild für Empfangsantenne

Mit dem nun gesagten können wir für eine gegebene Empfangsfeldstärke die Spannung am Eingang des Empfängers berechnen.

Auch Umrechnungen der "S"-Stufen in elektrische Feldstärken $\mu\text{V}/\text{m}$ sind damit möglich.

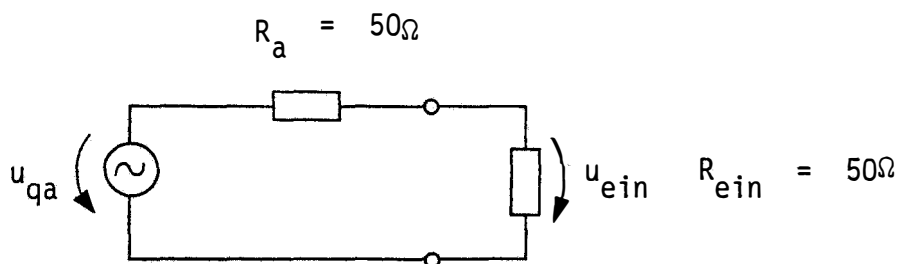
Beispiel: In der Lektion 10 wurde bei der Behandlung der Ausbreitung die Empfangsfeldstärke berechnet, die ein Satellit liefert, der in einer Entfernung von 36'000 km mit 10 W isotrop abstrahlt.
 Resultat: $0.481 \mu\text{V}/\text{m}$
 Uns interessiert nun, ob dieses Signal mit einem Empfänger, der noch Signale von $0.3 \mu\text{V}$ verarbeiten kann, und einer Dipolantenne gehört werden kann.
 Die Eingangsimpedanz des Empfängers sei 50Ω , die Frequenz 30 MHz.

Lösung: $u_{qa} = E \cdot l_{\text{eff}}$

$$l_{\text{eff}} = \frac{10\text{m}}{\pi} = 3.1830 \text{ m}$$

$$u_{qa} = 0.481 \mu\text{V}/\text{m} \cdot 3.183 \text{ m} = 1.531 \mu\text{V}$$

Die Impedanz des Dipols sei 50Ω . Damit lässt sich das Ersatzschaltbild aufzeichnen.



Damit wird

$$u_{\text{ein}} = \frac{u_{qa}}{2} = \underline{\underline{0.765\mu\text{V}}}$$

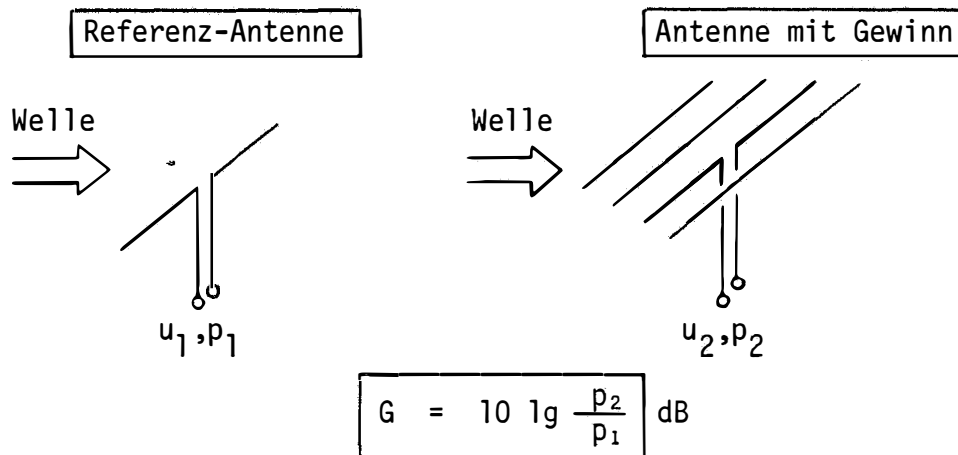
Das Signal wird also mit einem Dipol gehört (!)

Gewinn

Besondere Konstruktionen von Antennen liefern eine grössere Empfangsspannung als der Dipol (z.B. Yagi, Quad usw.).

Man versucht überall dort solche Antennen zu verwenden, wo es darauf ankommt, schwache Signale zu einer annehmbaren Empfängereingangsspannung zu verarbeiten.

Der Antennengewinn ist wie der Verstärkergewinn in dB definiert. Als Ausgangswert (Referenz) gilt in Europa dabei der $\lambda/2$ -Dipol, in den USA hingegen oft der isotrope Strahler.



Beispiel: Wie gross ist der Gewinn einer Empfangsantenne, welche die doppelte Leistung abgibt wie ein Dipol?

$$G = 10 \cdot \lg 2 = \underline{\underline{3.01 \text{ dB}}}$$

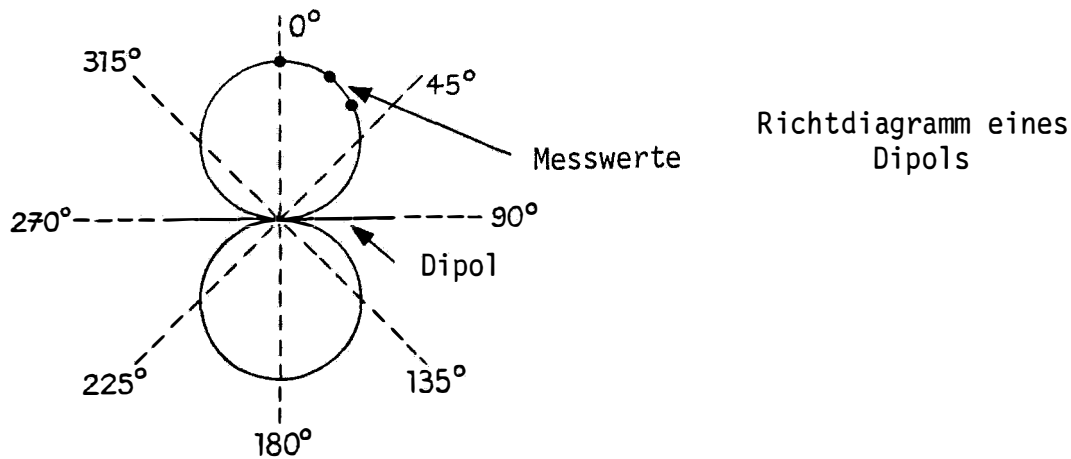
Der Gewinn über einem isotropen Strahler wäre 2.15 dB höher:

$$G_{\text{isotrop}} = 3.01 \text{ dB} + 2.15 \text{ dB} = 5.16 \text{ dB}$$

Richtwirkung

Eine Antenne mit Gewinn weist Richtwirkung auf: Es werden nur Signale besser aufgenommen als auf einer Referenzantenne, die aus einer bestimmten Richtung kommen, während andere schwächer als auf der Referenzantenne empfangen werden.

Die Richtwirkung wird im Richtdiagramm aufgezeichnet. Dieses Richtdiagramm (oder auch Strahlungsdiagramm genannt) wird am besten durch Messung aufgenommen: Man umschreitet eine Antenne mit einem kleinen Sender in gleichbleibendem Abstand. Nun trägt man in jede Richtung Antenne-Referenzsender die zugehörige Empfangsspannung auf, die an der Empfangsantenne gemessen wurde. Dieses Diagramm kann man nun noch auf einen $\lambda/2$ -Dipol beziehen und in dB Gewinn statt in μV anschreiben.



Es ist zu erkennen, dass beim $\lambda/2$ -Dipol die stärkste Empfangsspannung auftritt, wenn die Antennenachse senkrecht zur Richtung des Senders liegt. In der Richtung des Drahtes ist die "Empfindlichkeit" gleich Null. Eigentlich müsste man, um das Verhalten der Antenne vollständig zu beschreiben, das Strahlungsdiagramm als räumliches Bild darstellen. In der Zeichnungsebene ist dies aber nicht gut möglich. Man begnügt sich mit zwei Schnitten durch das räumliche Diagramm:

- horizontales Diagramm: Der Referenzsender bewegt sich auf einer horizontalen Ebene (Erdoberfläche)
- vertikales Diagramm: Der Referenzsender bewegt sich auf einer vertikalen Ebene (senkrecht zur Erdoberfläche)

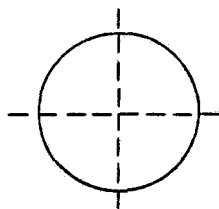
Verwendet man Richtantennen als Sendeantennen, so wird gemäss Richtdiagramm die abgestrahlte Leistung bevorzugt in einen bestimmten Raumwinkel gestrahlt.

Die auf S. 95 dargestellte Formel für den Antennengewinn gilt auch sendeseitig.

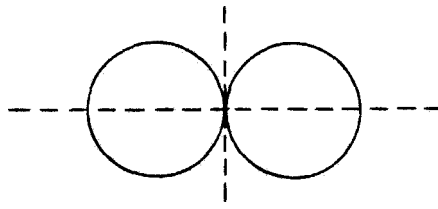
Am Empfangsort ist die Strahlungsdichte um den Gewinn der Sendeantenne grösser, wenn mit einer Richtantenne anstelle eines Dipols gesendet wurde. Mit anderen Worten: Um eine bestimmte Empfangsspannung bei der Gegenstation zu erzeugen, muss weniger Leistung am Sender aufgebracht werden.

Beispiele:

- vertikaler Dipol

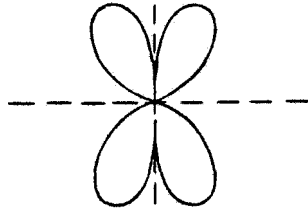


Horizontaldiagramm



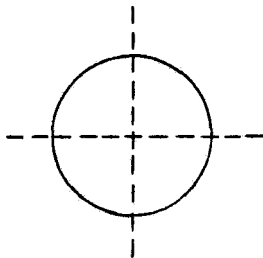
Vertikaldiagramm

b) Langdraht-Antenne bei $l = \lambda$:

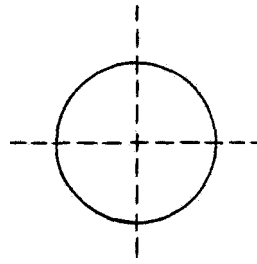


Horizontal- und Vertikalstrahlungsdiagramm

c) Isotroper Strahler:



Horizontales Strahlungsdiagramm



Vertikales Strahlungsdiagramm

Als Abstrahlungswinkel wird im Vertikalstrahlungsdiagramm die Elevation der Hauptkeule (Hauptstrahlungsrichtung) einer Antenne verstanden. Für den Verkehr über grosse Distanzen wird möglichst tangential zur Erdoberfläche verlaufende Abstrahlung gewünscht, also Abstrahlungswinkel Null.

Die sich auf einer Antenne ausbreitenden elektromagnetischen Wellen haben nicht die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit wie die Wellen im freien Raum. Dies wird berücksichtigt, indem man z.B. eine Dipolantenne nicht nach dieser elektrischen Länge baut, sondern die mechanische Länge ungefähr 5% kürzer als die elektrische festsetzt.

Beispiel: Dipol für 21.300 MHz

$$\lambda/2 = 14.08 \text{ m} / 2 = 7.04 \text{ m}$$

$$l = 95\% \cdot 7.04 \text{ m} = \underline{\underline{6.69 \text{ m}}} = \text{mech. Länge}$$

5.7 Anpass-Schaltungen

Insbesondere in komplizierteren Antennengebilden stimmt die Speisepunktimpedanz der Antenne nicht mehr überein mit der Wellenimpedanz der Speiseleitung (im allgemeinen Koaxialkabel, 50Ω).

Zwischen Antenne und Koaxialkabel muss deshalb wieder eine Impedanztransformation vorgenommen werden.

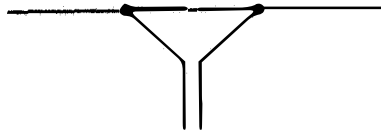
Wird die Transformation von einer abstimmbaren LC-Schaltung vorgenommen, so spricht man von einem Antennenabstimmgerät (Antenna-Tuner).

Ein anderes Problem ist die Symmetrierung. Ein Koaxialkabel ist eine unsymmetrische Anordnung, eine Dipolantenne beispielsweise eine symmetrische. Damit keine unerwünschten Effekte auftreten, werden Symmetrierglieder verwendet (engl. "Balun" für "balanced-unbalanced").

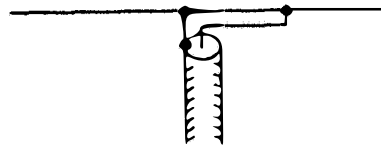
Impedanzanpassung

Die Impedanzanpassung kann am einfachsten durch Abgriffe an der Antenne bewerkstelligt werden:

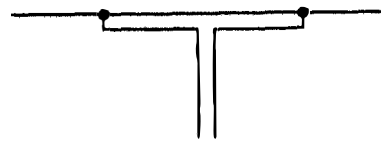
a) Delta-Match:



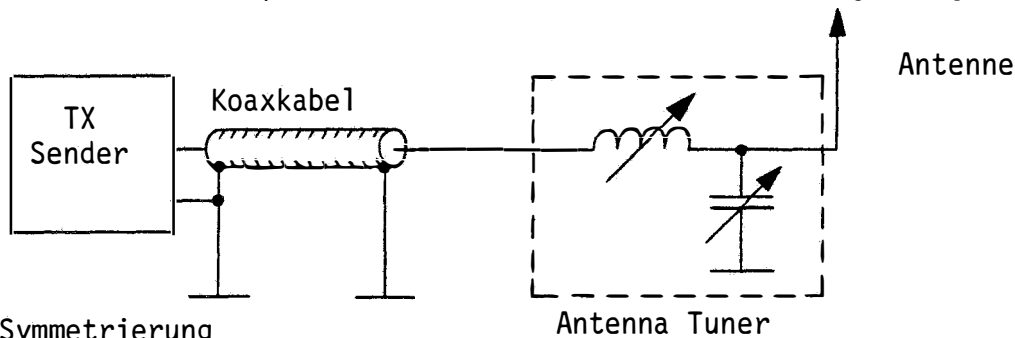
b) Gamma-Match:



c) T-Match:



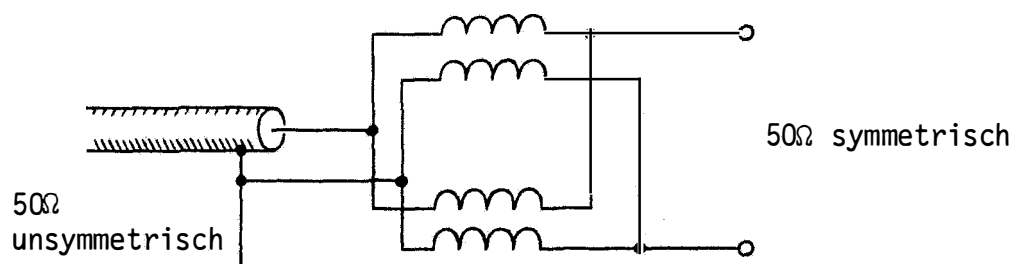
Eine einfache erprobte LC-Abstimmereinheit ist wie folgt aufgebaut:



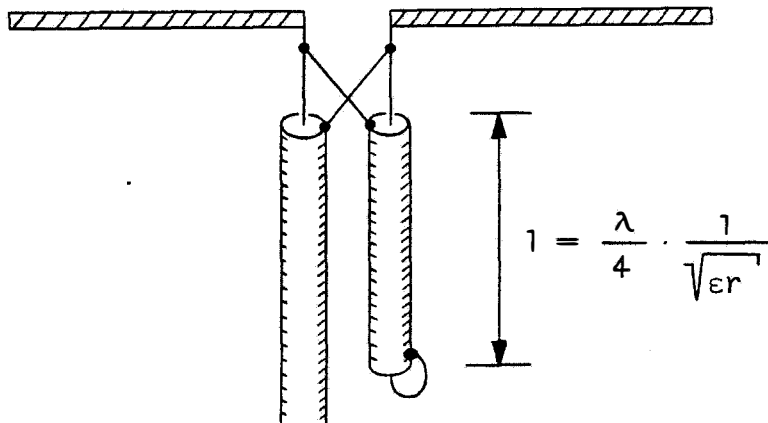
Symmetrierung

Eine Symmetrierschaltung verhindert die Entstehung von "Mantelwellen" auf der Aussenseite eines Koaxialkabels, wenn dieses an eine symmetrische Antenne wie beispielsweise an einen Dipol angeschlossen ist. Ein "Balun" kann mit einer "Transformationsschaltung" realisiert werden. Gleichzeitig mit einer Symmetrierung kann dabei auch noch eine Impedanztransformation erzielt werden.

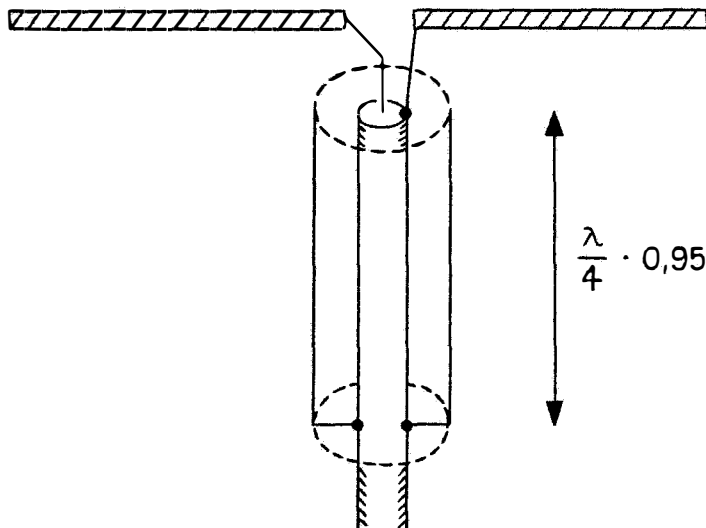
Beispiel für eine solche "Transformationsschaltung":
(breitbandig, z.B. 3...30 MHz)



Symmetrierung kann auch mit einem Koaxialkabel vorgenommen werden (allerdings schmalbandig):

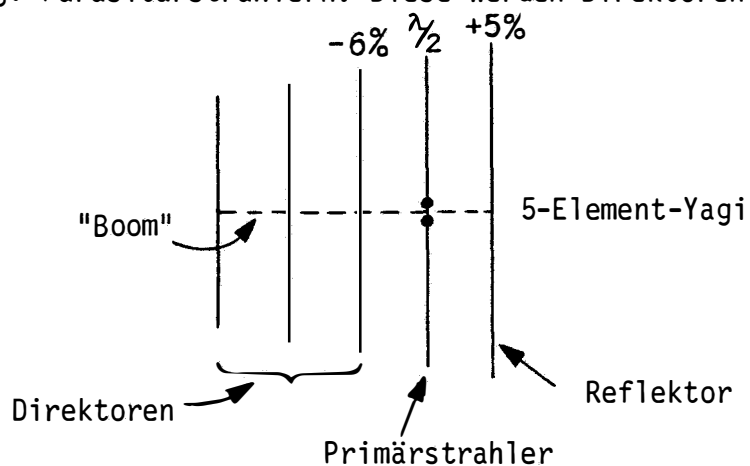


In der UKW-Technik wird oft ein "Sperrtopf" verwendet:



5.8 Yagi

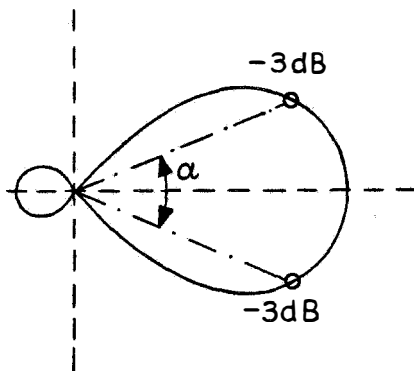
Die Yagi ist die wohl berühmteste Richtantenne. Sie besteht aus einem Dipol als Primärstrahler und strahlungsgekoppelten $\lambda/2$ -Elementen, den sog. Parasitärstrahlern. Diese werden Direktoren und Reflektoren genannt.



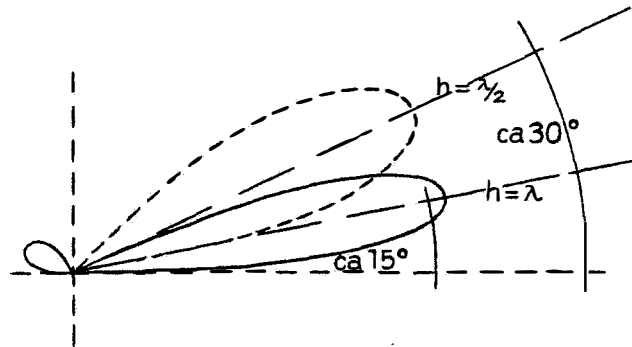
Der Strahler wird $\lambda/2$ lang, der Reflektor etwa 5% länger und der Direktor etwa 6% kürzer als der Strahler gemacht. Die Abstände zwischen den Elementen betragen $0.1 \dots 0.3 \lambda$.

Da die Spannung in der Mitte der Elemente jeweils Null ist, können die Elemente durch einen Metallträger (Boom) miteinander verbunden werden. Dies ist für die mechanische Konstruktion sehr vorteilhaft.

Der Fusspunktswiderstand des speisenden Dipols ist gesunken, er beträgt nur noch um die 10Ω . Die Verwendung eines Anpassgliedes ist deshalb unerlässlich.



Horizontal-Richtdiagramm

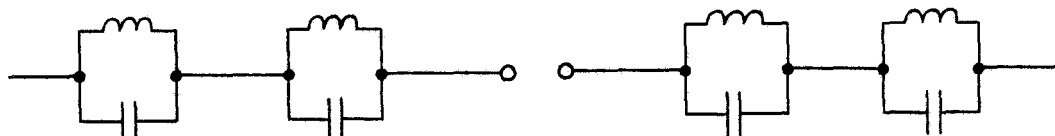


Vertikal-Richtdiagramm

Das vertikale Strahlungsdiagramm hängt sehr wesentlich von der Höhe h ab, in welcher die Antenne über dem Erdboden befestigt wird. Die Abstrahlung ist umso flacher, je höher sich die Antenne befindet. Ist die Höhe gleich einer Wellenlänge, so ist der Abstrahlungswinkel etwa 15° , ist sie gleich einer halben Wellenlänge, so liegt die Hauptkeule der Antenne bei 30° Elevation.

Der Gewinn einer 3-Element-Yagi liegt bei etwa 7 dB. Bei UKW-Antennen wird oft der Öffnungswinkel α einer Antenne angegeben. Dieser gibt die Lage der Punkte, wo die Leistung auf die Hälfte abgefallen ist, in Bezug auf den Nullpunkt an (3 dB - Punkte).

Das Parallelschalten zweier Yagis bringt eine Verdoppelung der abgestrahlten Leistung. also 3 dB Gewinn. Dies wird oft im VHF/UHF-Bereich praktiziert (stacked arrays). Es gibt auch Yagis, die auf mehreren Bändern z.B. 10, 15, 20 m) betrieben werden können. Diese Antennen verwenden diskrete Resonanzkreise in den Elementen, um diese auf die jeweilige Betriebsfrequenz abzustimmen.

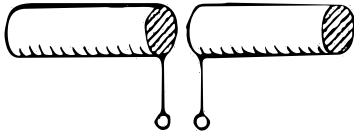


Je nach der Resonanzfrequenz der Kreise und der Betriebsfrequenz des Primärstrahlers bzw. der Sekundärstrahler wirken die Schwingkreise als Sperre (Parallelresonanz) oder als Induktivität oder Kapazität.

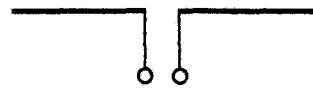
Eine Induktivität "verlängert" die Antenne (d.h. ihre Resonanzfrequenz wird tiefer), eine in Serie geschaltete Kapazität verkürzt sie.

Ein bei Richtantennen weiterer üblicher Begriff ist das Vor-/Rück-Verhältnis. Es gibt an, wieviel mal stärker ein Signal empfangen wird, das von vorne kommt, als eines, das von rückwärts auf die Antenne einfällt. Bei einer 3-Element-Yagi liegt das Vor-/Rück-Verhältnis (engl. Front-to-Back Ratio) in der Grössenordnung von immerhin 20...25 dB.

Die Bandbreite eines Strahlers hängt wesentlich von seinem Durchmesser ab (grosser Durchmesser \rightarrow grosse Bandbreite).



grosser Leiterquerschnitt
grosse Bandbreite

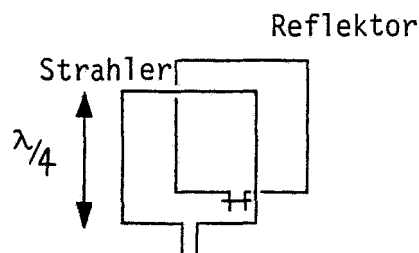
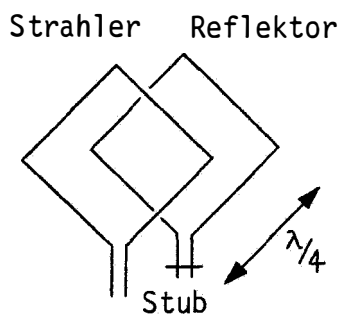


kleiner Leiterquerschnitt
geringe Bandbreite

Bei einer Yagi verhält sich die Bandbreite ähnlich einem mehrkreisigen Bandfilter (mehrere Elemente), sodass die Bandbreite bei gleicher Abstimmung der Resonanzelemente recht gering sein kann (einige wenige % der Mittenfrequenz).

5.9 Quad

Die Quad ist eine weitere weitverbreitete Richtantenne für KW (und UKW). Der Strahler und der Reflektor (bzw. Direktor) bestehen aus geschlossenen Drahtschleifen (Loops). Jenach Speisepunkt und räumlicher Lage unterscheidet man im wesentlichen zwei Typen:

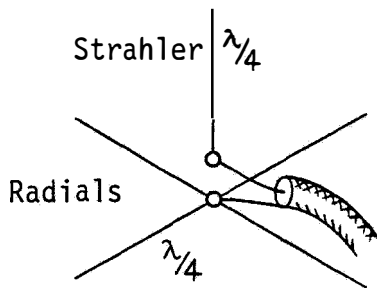


Beide Typen haben ungefähr die gleichen Eigenschaften, beide sind horizontal polarisiert. Der Reflektor kann mit einer kleinen Abstimmlitung auf die richtige Frequenz gezogen werden (Stub).

Im Vergleich zur Yagi weist eine solche 2-Element-Quad ungefähr gleiches Verhalten wie eine 3-Element-Yagi auf. Ganz allgemein verhält sich eine Quad mit n Elementen ziemlich genau gleich wie eine Yagi mit $(n+1)$ Elemente.

5.10 Groundplane

Eine Groundplane-Antenne (GP) ist eine Marconi-Antenne mit künstlicher Erde. Diese künstliche Erde wird durch einige radiale Elemente gebildet (Radials).



Diese Antenne strahlt recht flach ab, ist demzufolge auch für DX-Verkehr geeignet.

Vorteil: billig, einfach.

Nachteil: Kein Gewinn, Radials müssen gespannt werden.

Bei mehrbandigen GP-Antennen werden Radials für jedes Band benötigt. Dieses Problem lässt sich umgehen, wenn man die GP wieder auf den Boden stellt und als $\lambda/4$ -Marconi-Antenne betreibt (mit

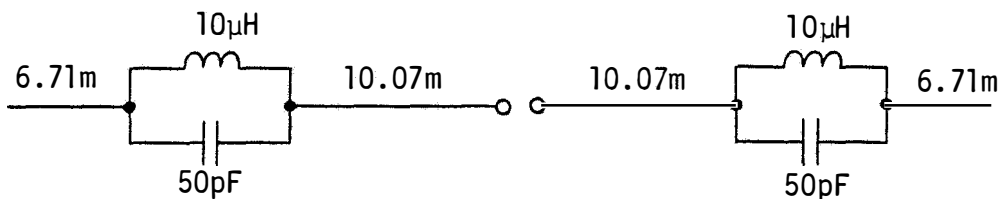
"echter" Erdung). Der Fusspunktswiderstand der GP beträgt etwa 30Ω .

5.11 Andere Antennentypen

a) W 3 DZZ-Antenne:

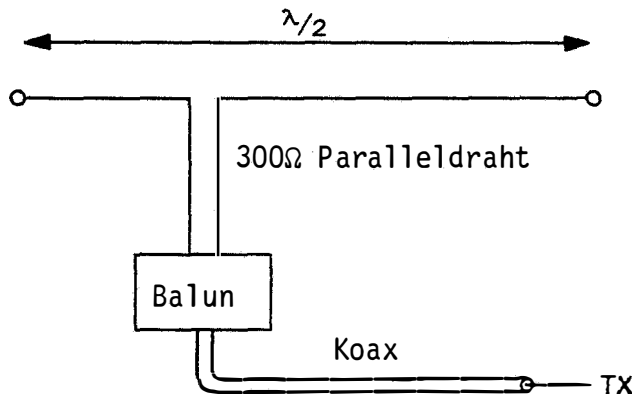
Multiband-Dipol-Antenne (10, 15, 20, 40, 80 m) mit 2 "Sperrkreisen" (Schwingkreise), welche auf 7.050 MHz abgestimmt sind.

Hauptsächliche Verwendung der W 3 DZZ-Antenne für 40 und 80 m.



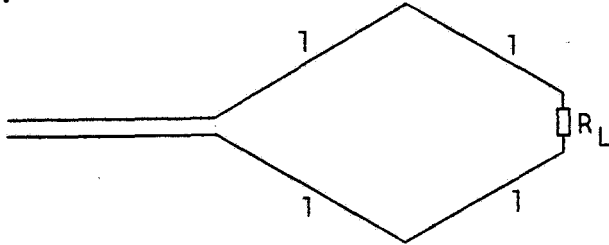
b) Windom-Antenne:

Eine Windom-Antenne besteht aus einem $\lambda/2$ -Draht, welcher nicht in der Mitte eingespeist wird. Die Antenne funktioniert zufriedenstellend auf allen ungeradzahligen Oberwellen der Grundfrequenz, d.h. auf 80, 40, 20 und 10 m.



c) Rhombus-Antenne (Rhombic):

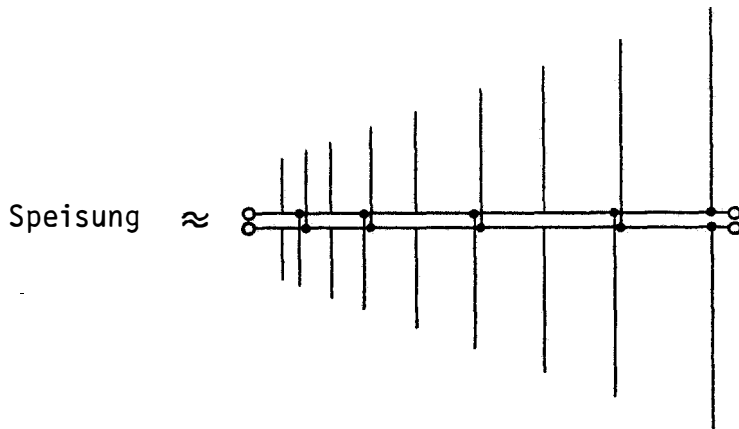
Eine Rhombus-Antenne ist eine spezielle Langdrahtantenne. Es gibt sie in resonanter Ausführung und in nichtresonanter Ausführung (mit Abschlusswiderstand R_L). Macht man die Länge l genügend gross (einige Wellenlängen), so erzielt man recht beachtenswerte Gewinne mit dieser Antenne.



Grundriss der Rhombus-Antenne

d) Logarithmisch-periodische Antenne:

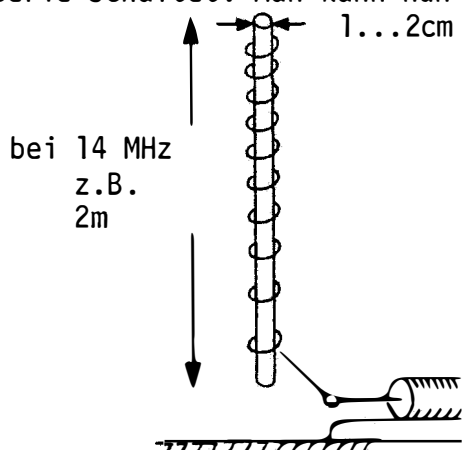
Eine logarithmisch-periodische Antenne (Log-Periodic) ist eine breitbandige Richtantenne. Die Elementlängen sind variabel, es ist jeweils nur der Teil der Antenne in "Funktion", der der jeweiligen Frequenz des Senders entspricht. Jedes Element besitzt eine Länge, die der Länge des vorangehenden Elementes, multipliziert mit einem Faktor, entspricht. Die Abstände zwischen zwei benachbarten Elementen verhalten sich in gleicher Art. Es werden immer alle Elemente gespeist.



Beispiele der Verwendung von Log-Periodics sind Breitbandrichtantennen von 5...30 MHz bzw. 14...30 MHz im HF-Bereich sowie 140...450 MHz im VHF/UHF-Gebiet.

e) Helical für HF:

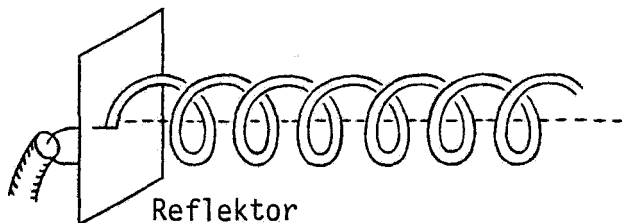
Eine Antenne kann man elektrisch verlängern, indem man eine Spule in Serie schaltet. Man kann nun auch die ganze Antenne als Spule aufbauen,



wobei sich trotz der stark verkürzten Geometrie recht gute Eigenschaften ergeben. Die Drahtlänge ist in der Größenordnung $\lambda/2$, die Bauhöhe der Antenne ein Bruchteil von $\lambda/4$. Man wählt die Abstände zwischen den einzelnen Windungen am besten variabel: An der Spitze viele Windungen, an der Basis wenige pro Längeneinheit. Verwendung dieser Antenne erfolgt bei beschränkten Platzverhältnissen und speziell auch als Mobil-KW-Antenne.

f) Helical für VHF/UHF:

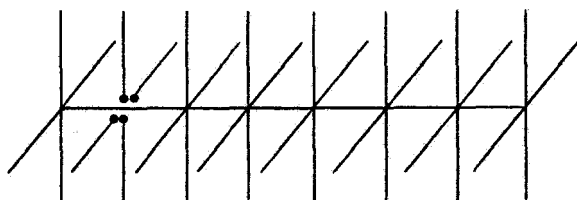
Helical-Antennen, deren Windungs-Abstand und -Durchmesser in der gleichen Größenordnung wie die Wellenlänge des abzustrahlenden Signals liegt, strahlen in Richtung der Antennenachse. Die Polarisation einer solchen Antenne ist zirkular, der Gewinn relativ gross. Meist wird diese Antenne für Satellitenverbindungen verwendet.



Helical-Antenne (Wendel-Antenne) für VHF/UHF

g) Kreuzyagi:

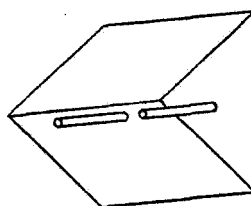
Auch mit einer Kreuzyagi lässt sich zirkulare Polarisation erzeugen. Sie besteht aus zwei 90° gegeneinander verdrehten Mehrelement-Yagis. Je nach Art der Einspeisung an den beiden Speisepolen (Primärstrahler) kann man lineare oder zirkulare Polarisation erreichen.



h) Ecken-Reflektor:

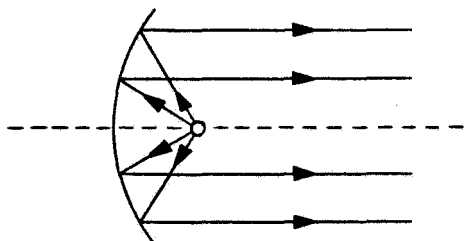
Stellt man einen Dipol in einen reflektierenden Winkel hinein, so ergibt sich eine Antenne mit hoher Richtwirkung. Der Winkel muss dabei nicht vollständig metallisch sein (wie z.B. Blech), sondern kann als Drahtgitter ausgeführt sein.

Bedingung: Die Abstände der Gitterstäbe müssen klein sein in Vergleich zur Wellenlänge der Betriebsfrequenz. Verwendung der Antenne vor allem im UHF-Bereich.



i) Parabolspiegel:

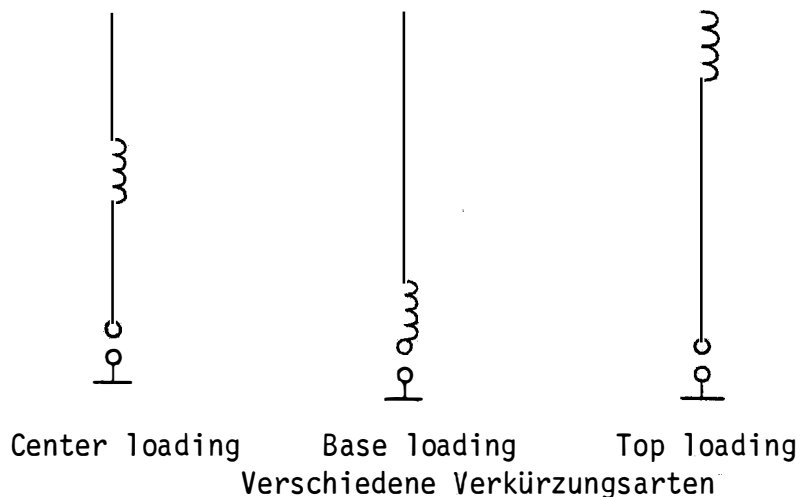
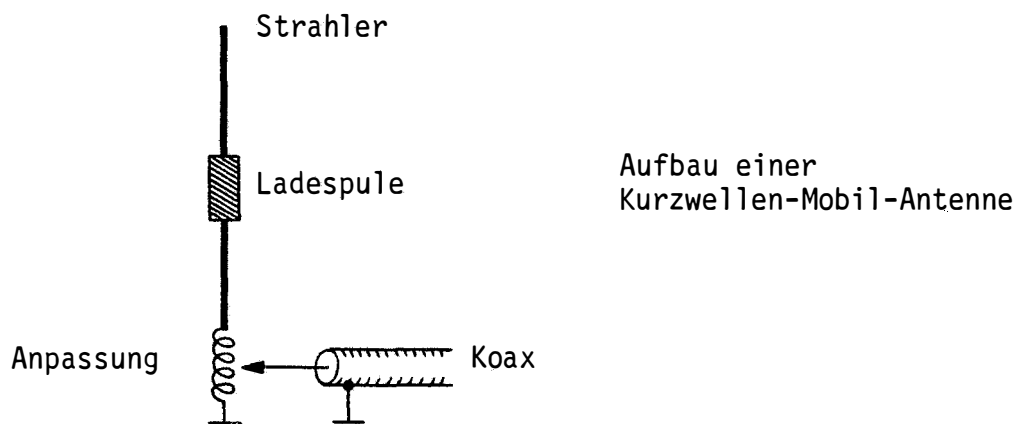
Für sehr hohe Frequenzen (Mikrowellengebiet, höher als etwa 1 GHz), werden Parabolspiegel verwendet. Diese wirken sehr ähnlich wie optische Spiegel. Man erreicht mit ihnen einen sehr hohen Gewinn, je nach Durchmesser etwa 20...40 dB. Voraussetzung für die Funktion ist ein Durchmesser, der ein mehrfaches der Wellenlänge beträgt.



k) Mobilantennen:

Ausser des bereits besprochenen an und für sich besten Mobilantennentyps der HF-Helical (sofern keine Marconi-Antenne verwendet werden kann) gibt es noch einen Typ, welcher sich mehr an einen $\lambda/4$ -Strahler anlehnt. Weil ein $\lambda/4$ -Strahler für das 80 m-Band nicht auf einem Fahrzeug verwendet werden darf, (Höchsthöhe eines Fahrzeuges nach Strassenverkehrsgesetz beträgt 4 m), muss man ganz erheblich verkürzen und dementsprechend elektrisch verlängern. Dies erfolgt mittels Verlängerungsspulen (auch Ladespulen genannt, engl. Loading Coil).

Meist muss am Speisepunkt auch die Impedanz der Antenne an die des Koaxkabels angepasst werden. Die Verlängerungsspule kann in der Mitte, am Fuss oder an der Spitze der Antenne angebracht werden. Am häufigsten wird sie jedoch in der Mitte angebracht.



Ueberhaupt keine Probleme ergeben sich in dieser Beziehung bei VHF- und UHF-Mobilantennen. Man verwendet dort $\lambda/4$ -Strahler oder $5\lambda/8$ -Strahler, manchmal auch kollineare Antennen (in einer Linie angeordnete Dipole).

6. Stromversorgung

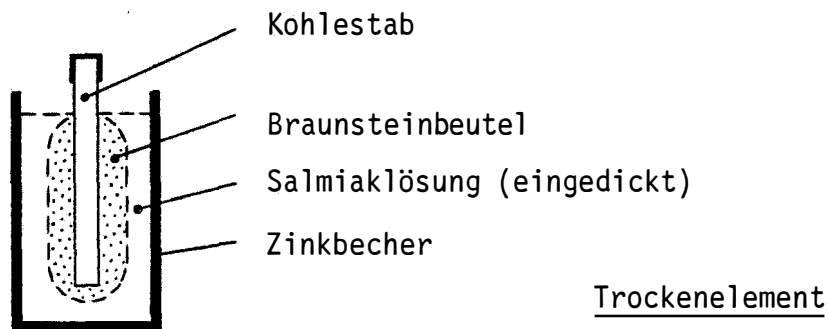
Sende- und Empfangsgeräte müssen mit Gleichspannungen versorgt werden. In diesem Kapitel sollen die Methoden besprochen werden, wie man die Gleichspannungen erzeugt bzw. durch Gleichrichtung aus dem Netz (220 V) gewinnen kann.

6.1 Trockenbatterie

Batterien und Akkumulatoren dienen zur netzunabhängigen Stromversorgung von Geräten.

Die Vorgänge in Batterien und Akkumulatoren sind immer elektrochemische Prozesse. Akkumulatoren können nach Gebrauch wieder aufgeladen werden, Batterien nicht. Trotzdem werden Batterien oft benötigt, wenn elektrische Energie nur selten gebraucht wird und sich die teurere Anschaffung von Akkumulatoren nicht lohnt.

Die chemischen Vorgänge in Trockenbatterien sind recht komplex. Durch Ionenwanderung im sog. Elektrolyt (Flüssigkeit, welche Ionen enthält) wird die Ladung transportiert, welche im externen Stromkreis einen Strom verursacht. Wesentlich dabei ist, dass zwei verschiedene Metalle in Kontakt mit dem Elektrolyten stehen.



Bei der Trockenbatterie ist die Bezeichnung "Trockenelement" nicht ganz zutreffend, denn der Elektrolyt ist bei Trockenbatterien nicht ganz trocken, sondern nur eingedickt.

Ein einzelnes Trockenelement gibt im allgemeinen eine Spannung von etwa 1.5 V ab. Höhere Spannungen werden durch Serieschaltung gebildet.

Die Kapazität von Trockenbatterien (wie auch von Akkus) wird in Ah (Amperestunden) angegeben.

Beispiel: Kapazität = 10 Ah heisst: Während 10 Stunden kann ein Strom von 1 A entnommen werden. Dann ist die Batterie entladen.

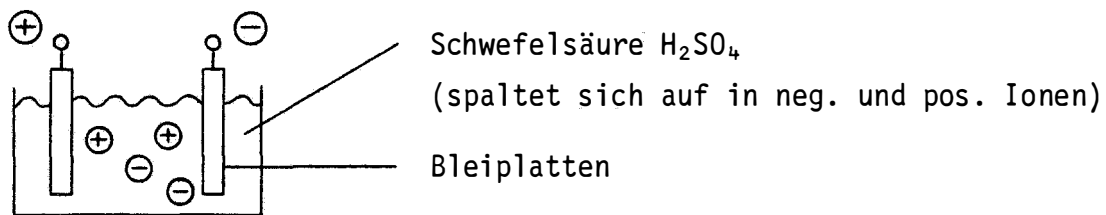
6.2 Akkumulator

Akkumulatoren sind Stromquellen, die oftmals wieder neu aufgeladen werden können.

Beim Aufladen wird durch den zugeführten elektrischen Strom eine chemische Umwandlung an den Akkumulatorplatten hervorgerufen, d.h. es wird elektrische Energie in chemische Energie verwandelt. Beim Entladen geschieht der umgekehrte Vorgang.

Wie Trockenbatterien sind Akkumulatoren selbstverständlich auch nur in der Lage, Gleichstromenergie zu liefern. Der wichtigste Vertreter der Akkumulatoren ist der Bleiakku.

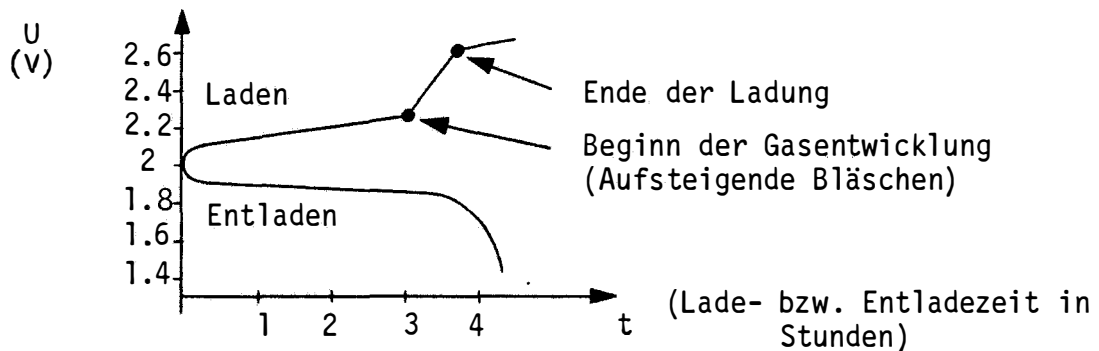
Blei-Akku



Im geladenen Zustand besteht die eine Platte aus Blei, die andere aus Bleidioxid. Im Elektrolyt befinden sich Schwefelsäureionen und Wasserstoffionen (negativ resp. positiv aufgeladen).

Am negativen Pol werden durch Bindung der negativ geladenen Schwefelsäureionen mit dem Metall Elektronen frei. Am positiven Pol entsteht aus Bleidioxid Bleisulfat. Da bei der Stromentnahme Schwefelsäure zur Bildung von Bleisulfat verbraucht wird, kann die Messung der Dichte der Säure zur Kontrolle des Ladungszustandes dienen. In einer Autobatterie z.B. sind mehrere solcher einzelner Elemente in Serie geschaltet, um auf eine vernünftige Spannung zu kommen.

Die Lade-/Entladecharakteristik eines Bleiakkus ist aus folgender Darstellung ersichtlich:



Es sind bei Bleiakkus Energiegewichte von etwa 10...20 Wh/kg üblich. Bezogen auf den in Anspruch genommenen Raum beträgt dies etwa 30...60 Wh/dm³.

Nickel-Cadmium-Akku

Der Nachteil des Blei-Akkus ist sein grosses Gewicht und vor allem seine Lageempfindlichkeit.

Wegen seiner Robustheit eignet er sich aber besonders für Sender hoher Leistung.

Für Sender kleiner Leistung, die tragbar sein müssen, eignen sich vor allem Nickel-Cadmium-Akkumulatoren (NiCd). Als Elektrolyt wird keine Säure, sondern Kalilauge verwendet.

Die Selbstentladung, d.h. die Entladung ohne angeschlossenen äusseren Verbraucher, ist weit geringer als diejenige des Bleiakkus. Die NiCd-Zellen werden gasdicht gefertigt und sind lageunabhängig.

Die Spannung der Elemente beträgt 1.2 V, der Innenwiderstand R_i der Elemente ist zudem sehr klein.

Der Energieinhalt der NiCd-Zellen beträgt rund 30 Wh/kg, das beanspruchte Volumen ist 50...60 Wh/dm³.

NiCd-Zellen sind einiges teurer als Bleiakkus, weisen aber obengenannte entscheidende Vorteile auf, weshalb sie sich für die Verwendung in portablen Geräten durchsetzen konnten.

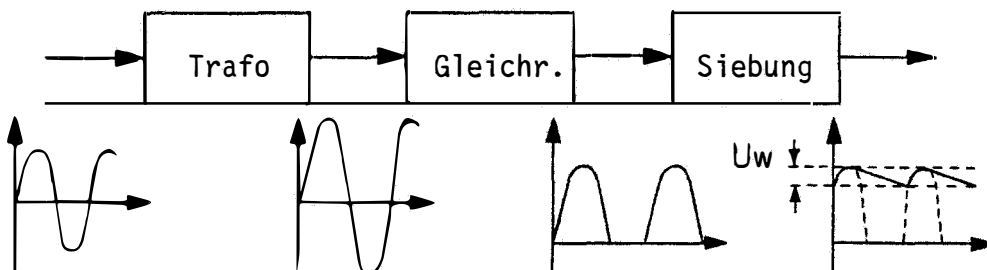
Eine weitere Verbesserung der Akkutechnik brachte der Silber-Zink-Akku (ebenfalls alkalisch). Seine Kapazität entspricht bei gleicher Grösse und gleichem Gewicht rund dem 3-fachen des NiCd-Akkus, kommt aber wegen des hohen Preises nur für sehr spezielle Anwendungen in Betracht.

6.3 Netzgeräte

Netzgeräte wandeln Energie des Wechselstromnetzes (220 V) in die von den Geräten benötigte Gleichstromenergie um. Die Spannung des Netzes in der Schweiz beträgt normal 220 V, die Frequenz ist 50 Hz. Je nach Versorgungslage (Ort, Belastung des Netzes) entstehen Schwankungen der Spannung und der Frequenz.

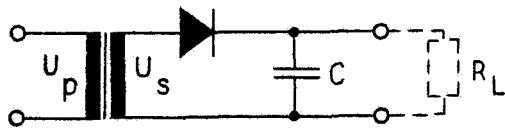
Meist wird von einem Netzgerät keine grosse Spannungskonstanz gefordert (normalerweise etwa $\pm 10\%$), sodass nur in Spezialfällen Stabilisationsschaltungen vorgesehen werden müssen.

In den meisten Fällen genügt Transformation der Netzspannung auf ein gewünschtes Spannungsniveau und anschliessende Gleichrichtung und Siebung. Unter "Siebung" versteht man das Umwandeln einer pulsierenden in eine ideale (geglättete) Gleichspannung.



Ein Mass für die Güte einer gleichgerichteten Wechselspannung ist die Welligkeit w . Unter der Welligkeit versteht man das Verhältnis der Spitzen-Brummspannung U_w (engl. hum) zur Gleichspannung. Oft wird die Amplitude der Brummspannung auch absolut angegeben. Die Brummspannungsamplitude ist lastabhängig, sie wird im allgemeinen bei zunehmender Last grösser.

Einweg-Gleichrichter

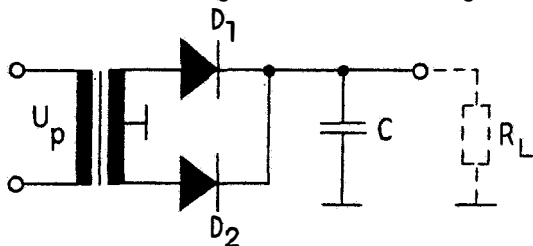


Die einfachste Gleichrichterschaltung ist der Einweg-Gleichrichter. Wenn der Ausgang unbelastet ist, lädt der Gleichrichter den Ladekondensator C während der positiven Halbwelle auf den positiven Spitzenwert U_s des Trafos

auf. Der Lastwiderstand R_L entlädt diesen Kondensator wieder. Solange der Laststrom nicht zu gross ist, bringt dieser Typ von Gleichrichterschaltung bei kleinem Aufwand befriedigende Ergebnisse. Bei diesem Einweg-Gleichrichter wird nur eine Halbwelle ausgenützt (die positive).

Vollweg-Gleichrichter (Zweiweg-Gleichrichter)

Bei der Vollweg-Gleichrichtung werden nun beide Halbwellen ausgenützt.

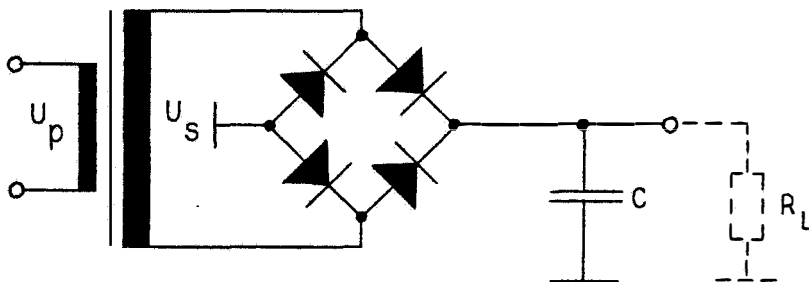


Der Ladekondensator C wird nun während beiden Halbwellen wieder aufgeladen. Die Entladezeit verringert sich deshalb gegenüber der Einweg-Gleichrichtung auf rund die Hälfte, die Welligkeit wird kleiner.

Diese Schaltungsart benötigt einen Trafo mit Mittenabgriff. Ist dieser nicht vorhanden, so muss man auf die Brückenschaltung ausweichen:

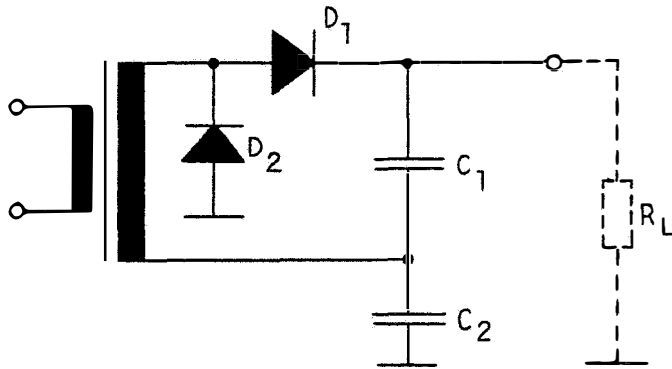
Brückenschaltung (Graetz-Schaltung)

Die Brückenschaltung ist eigentlich auch eine Vollweg-Gleichrichterschaltung. Mit ihr kann man jedoch auf den Mittenabgriff des Trafos verzichten. Im Vergleich zur vorigen Schaltung wird dadurch nur die halbe Trafospaltung benötigt.



Spannungsverdoppelung

Spannungsverdoppelung kann mit einer doppelten Einwegschtaltung, der sog. "Delon-Schaltung", erzielt werden. Solche Schaltungen bewähren sich vor allem für die Erzeugung von hohen Spannungen (einige kV) bei nicht allzu grossen Strömen. Trafos für hohe Spannungen erfordern grosse isolierungstechnische Massnahmen, weshalb sie relativ teuer sind. Man ist deshalb froh, nur die halbe Spannung durch den Trafo bereitstellen zu können und eine Verdopplerschaltung anzuwenden.

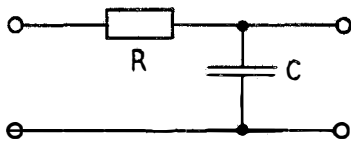


Die Diode D_1 und der Ladekondensator C_1 arbeiten als Einweggleichrichter. Während der positiven Halbwelle lädt D_1 den Kondensator auf. Während der negativen Halbwelle wird die Diode D_2 leitend und lädt C_2 auf. Die Ausgangsspannung ist die Summe der Spannungen an den beiden Ladekondensatoren C_1 und C_2 .

Siebglieder

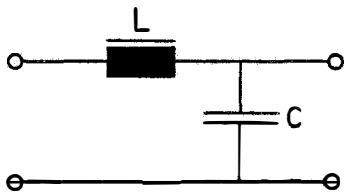
Siebglieder sind Tiefpassfilter. Sie sollen die Gleichstromkomponente durchlassen und die Brummspannung sperren. Die Brummspannung hat die Frequenz 50 Hz bei Einweg-Gleichrichtung und 100 Hz bei Vollweg-Gleichrichtung.

Am einfachsten ist die RC-Siebung:



Je grösser R und C , umso tiefer die Grenzfrequenz und umso besser die Siebung. Für C sind hohe Werte wie z.B. 2500 μF bei niedrigen Spannungen und 100 μF bei höheren Spannungen durchaus gebräuchlich.

Eine andere Variante bildet die LC-Siebung:

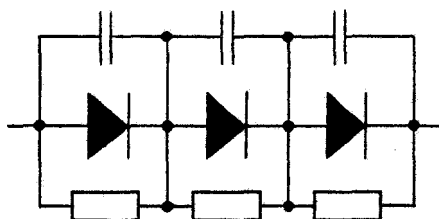


Mit der LC-Siebung wird der bei RC-Siebung entstehende Spannungsabfall des Gleichstromes (Laststrom) über dem Widerstand R vermieden.

Ausser den Filterschaltungen lässt sich die Technik der Stabilisatoren zur Verringerung der Welligkeit heranziehen (siehe 6.4)

Parallel- und Serieschaltung von Dioden

Erfüllen die verfügbaren Dioden beim Bau eines Speisegerätes die gestellten Anforderungen nicht, so behilft man sich oft mittels Serie- und Parallelschaltung der Dioden. Dabei gibt es einige Probleme.

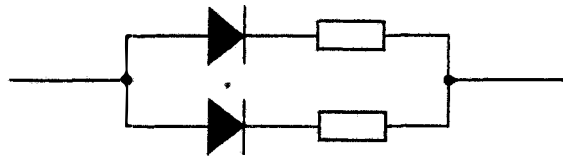


Bei der Serieschaltung ergibt sich eine ungleiche Spannungsaufteilung über den Dioden, wenn sich die Dioden in Sperrichtung befinden (Streuung der Sperrwiderstände).

Um zu verhindern, dass über einer Diode die maximal zulässige Sperrspannung überschritten und die Diode damit zerstört wird, legt man das Spannungsverhältnis mit einem Spannungsteiler fest.

Oft sieht man auch parallelgeschaltete Kondensatoren, welche kurzfristige hohe Spannungsimpulse kurzschliessen. (Solche können beim Ein- und Ausschalten des Gerätes entstehen; man denke an die Trafoinduktivität und an den Ladekondensator.)

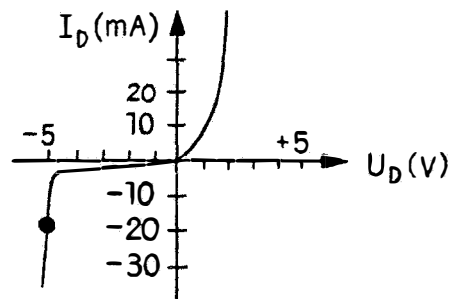
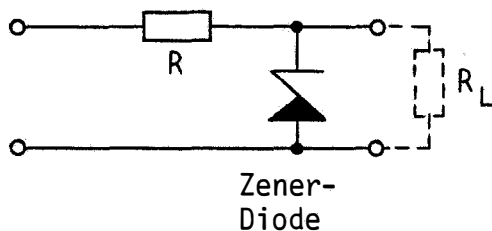
Schaltet man zwei oder mehrere Dioden parallel, so muss man dafür sorgen, dass der Strom sich gleichmässig auf die Dioden verteilt. Um sicher zu stellen, dass nicht eine der Dioden den ganzen Strom leitet und die andern fast nichts, schaltet man in Serie zu jeder Diode einen Widerstand (Strombegrenzungswiderstand).



6.4 Stabilisierung

Für gewisse Zwecke werden Spannungen benötigt, die Schwankungen der Netzspannungen nicht mitmachen und zudem noch relativ lastunabhängig sind.

Zener-Dioden-Stabilisierung



Mit einer Zener-Diode lassen sich mit kleinem Aufwand gute Stabilisierungsschaltungen aufbauen. Die Diode wird dabei im Sperrbereich unterhalb des Kennlinienknicks (Durchbruchgebiet) betrieben.

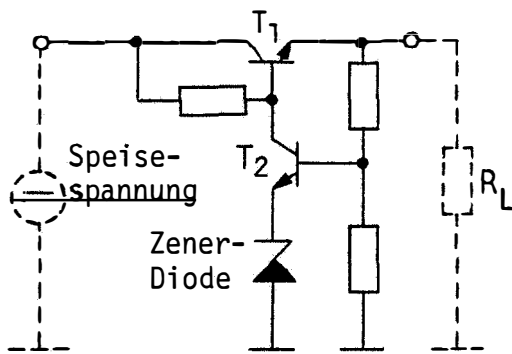
Grosse Änderungen des durch die Zener-Diode fließenden Stromes wirken sich sehr wenig auf die über der Zener-Diode liegende Spannung aus (welche ja gleich der Lastspannung ist).

Bei der Dimensionierung einer solchen Schaltung sind alle Extremfälle zu berücksichtigen. Insbesondere darf der Arbeitspunkt nicht das vorgesehene Kennliniengebiet verlassen. Die Zener-Diode darf auch nicht mehr als eine definierte maximale Leistung "verheizen".

Transistor-Regler

Bei grossen Ausgangsströmen werden die Leistungsverluste der Zener-Dioden-Stabilisierungsschaltungen unzulässig gross. Deshalb verwendet man Transistor-Regler. Dabei ist die Zener-Diode nicht mehr für den vollen Ausgangsstrom zu dimensionieren.

Die Funktionsweise des abgebildeten Beispiels eines stabilisierten Netzgerätes mit Regelverstärker soll hier betrachtet werden.



Die Referenzspannung setzt sich aus der Zenerspannung und der Basis-Emitter-Spannung von T₂ zusammen. Sinkt die Ausgangsspannung z.B. infolge Belastung ab, sinkt auch die Basisspannung von T₂ und seine Kollektorspannung steigt verstärkt an. Das wirkt über den Emitterfolger T₁ der Ausgangsspannungsänderung entgegen.

Es gibt unzählige Stabilisierschaltungen, darunter auch solche mit regelbarer Ausgangsspannung und einstellbarer Strombegrenzung.

Heute gibt es auch ein grosses Angebot an integrierten Spannungsreglern, die einfach zwischen Gleichrichter und zu versorgendem Gerät eingeschaltet werden können.

7. Modulation und Demodulation

Ein Oszillator in einem Sender erzeugt eine sin-förmige Wechselspannung. Diese enthält eigentlich noch keine Information. Wollen wir mit unserem Sender Information (Nachrichten) übertragen, so müssen wir die Form des sin-Signales verändern. Das sin-Signal nennt man den Träger.

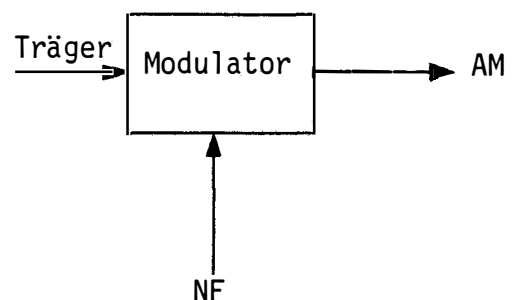
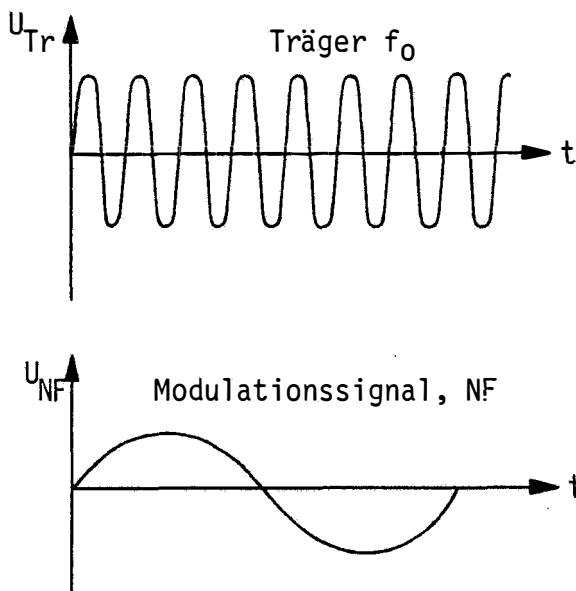
Verändert werden können alle Grössen der Trägerschwingung:

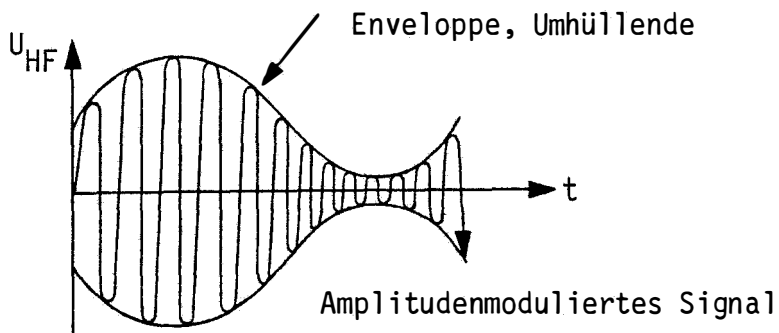
- Amplitude
- Frequenz
- Phase

Den Vorgang des Aufbringens einer Nachricht auf einen Träger nennt man Modulation, das dazu notwendige Gerät Modulator.

7.1 Amplitudenmodulation AM

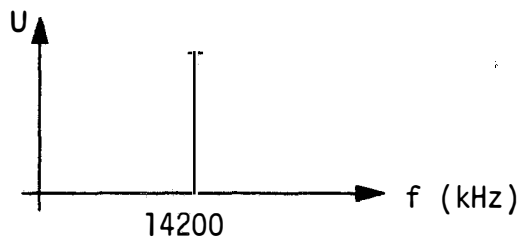
Die einfachste Möglichkeit, etwas am sin-Signal zu verändern, ist die Amplitude.



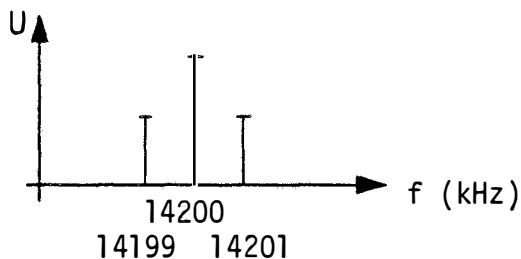


Das Modulationssignal ist ein NF-Signal (Sprachsignal). Die Amplitude des Trägersignales wird im Takt der Modulation verändert.

Betrachtet man das Spektrum (= beanspruchter Frequenzbereich) eines amplitudenmodulierten Senders, so stellt man fest, dass nicht nur eine Frequenz vorhanden ist. Vielmehr erscheinen bei einem sin-förmigen Modulationssignal im Spektrum noch zwei neue Frequenzen, oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz, um den Betrag der Modulationsfrequenz verschoben.

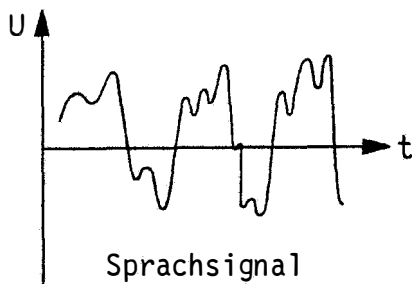


Spektrum eines unmodulierten AM-Senders

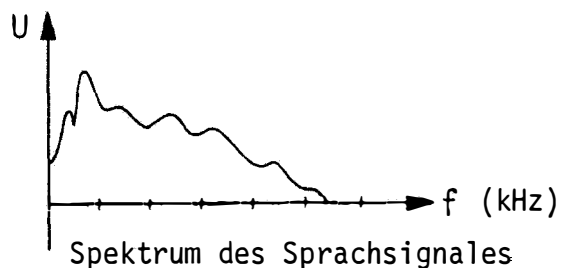


Spektrum eines mit einem 1 kHz-Modulationssignal modulierten AM-Senders

Ein Sprachsignal, das z.B. von einem Mikrofon her kommt, das besprochen wird, sieht recht unregelmässig aus und ist natürlich kein 1 kHz-Signal mehr:

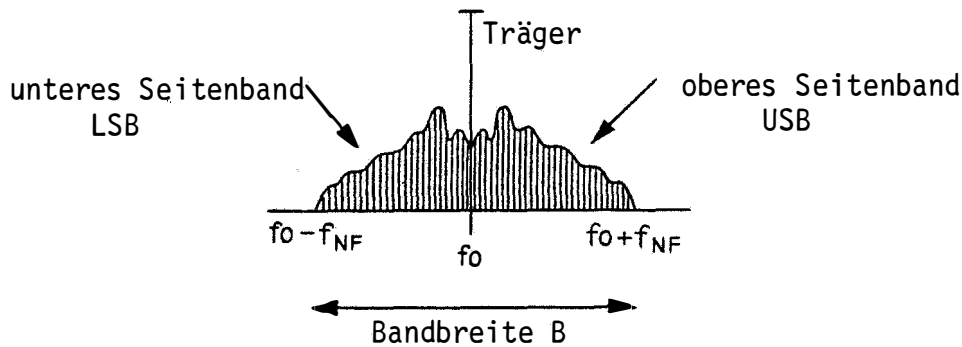


Sprachsignal



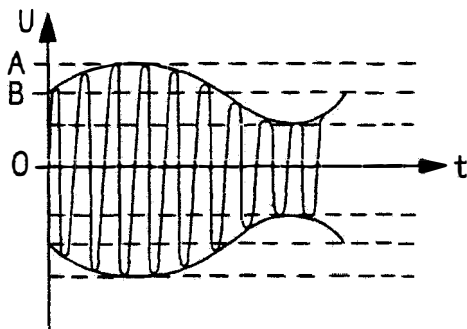
Spektrum des Sprachsignales

Moduliert man einen Sender mit einem Sprachsignal, so entstehen nicht nur zwei diskrete Seitenfrequenzen, sondern zwei Seitenbänder:



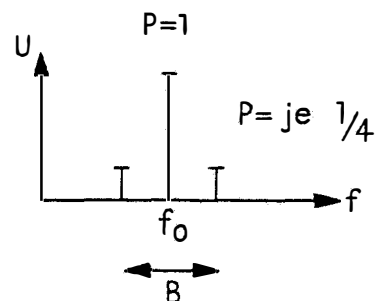
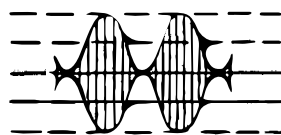
Modulationsgrad

Die Seitenbänder sind umso stärker vorhanden, je grösser die Modulationsspannung ist. Das Mass für die Modulation ist der Modulationsgrad:



$$\begin{aligned} \text{Modulationsgrad } m &= \frac{A - B}{B} \\ &= \frac{\text{Modulationsspannung } u_{NF}}{\text{Trägerspannung } u_{Tr}} \end{aligned}$$

Beispiel: 100%ige Modulation



Bei 100%iger Modulation ist die Intensität (Spannung) eines Seitenbandes gerade halb so gross wie die des Trägers, die Leistung des Seitenbandes beträgt demnach ein Viertel der Trägerleistung.

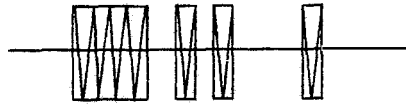
Die HF-Energie, welche z.B. ein AM-Sender ausstrahlt, besteht deshalb im besten Fall ($m = 1$) aus 50 W Modulationsleistung und 100 W Trägerleistung. Der modulationsbedingte "Wirkungsgrad" ist also sehr schlecht (33.33%). Die Bandbreite einer AM-Aussendung beträgt zweimal die höchste Modulationsfrequenz.

Beispiel: Ein Amateursender sei mit 3 kHz höchster Modulationsfrequenz in AM betrieben. Dann ist die benötigte Bandbreite der Aussendung 6 kHz.

Übermodulation ist das Betreiben eines Amplitudenmodulators mit mehr als 100% Modulationsgrad. Diese Betriebsart muss unbedingt vermieden werden, da sonst das bei der Gegenstation empfangene Signal stark verzerrt wird.

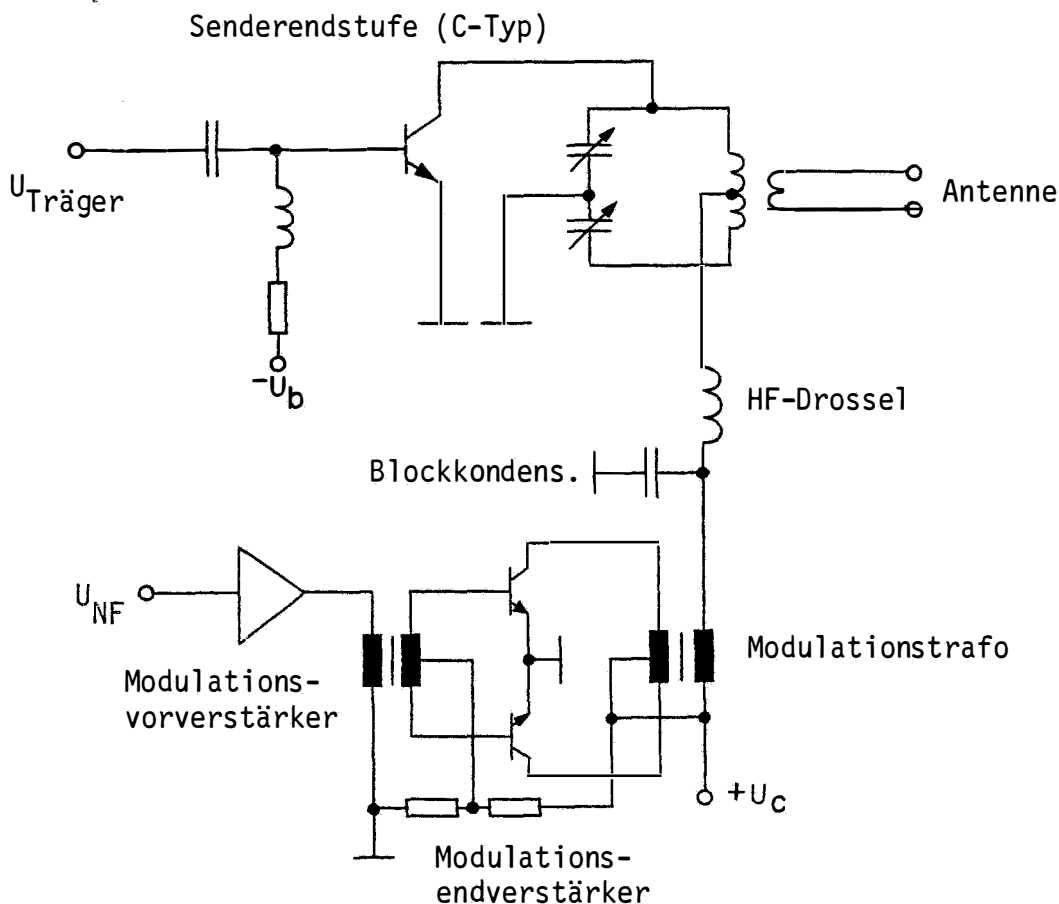
Telegraphie (CW)

Eine Telegraphieausendung ist ein AM-Signal, wobei die Modulationsspannung ein rechteckförmiges Signal ist.



Modulatorschaltung

Die bekannteste praktische Schaltung der Amplitudenmodulation ist die Kollektormodulationsschaltung:



Die gleiche Schaltung lässt sich auch mit Röhren bestücken. Auf Angabe von Details (wie z.B. Neutralisation der Senderendstufe) wird hier verzichtet.

Der Modulationsverstärker muss eine erhebliche Leistung aufbringen, nämlich für die angestrebten 100% Modulationsgrad etwa 50% der Inputleistung der Senderendstufe. Also beispielsweise bei 200 W Input 100 W.

Linearität

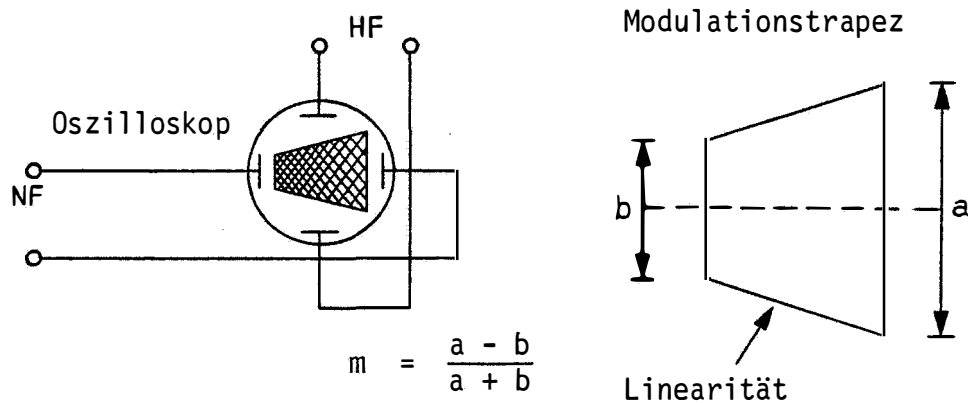
Die Linearität der Modulation soll möglichst gut sein, d.h. die HF-Ausgangsspannung möglichst gut proportional der angelegten HF-Spannung. Bei Transistorsendern bereitet diese Forderung oft Probleme. Abhilfe bringt z.B. Modulation nicht nur der Senderendstufe, sondern gleichzeitig der Treiberstufe ("zweitletzte" Stufe im Sender). Nichtlinearität führt zu Verzerrungen.

Modulationstrapez

Ein AM-Sender kann sehr praktisch in Bezug auf Modulationsgrad und Linearität mittels des Modulationstrapezes getestet werden. Dazu benötigt man einen KO (Kathodenstrahlloszilloskop). Dieses stellt eine elektrische Spannung als Auslenkung eines Lichtpunktes auf einem Bildschirm dar (Aufbau siehe Kapitel Messtechnik).

Auf die eine Ablenkachse wird die NF-Spannung gegeben, auf die andere gibt man die HF-Spannung.

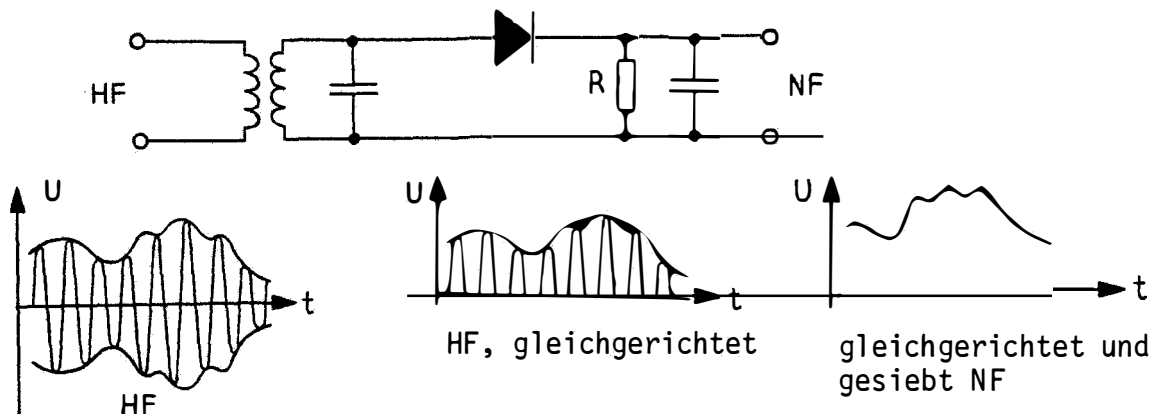
(Die Ablenkung geschieht durch Ablenkplatten, deshalb auch oft die Bezeichnung "Ablenkplatten" für die Ablenkungsrichtung.)



Der Modulationsgrad lässt sich mit der angegebenen Formel berechnen, die Linearität der Modulation ersieht man aus der Kurvenform (im Idealfall eine Gerade).

Demodulator

Ein Demodulator soll in der Lage sein, aus einer AM-modulierten HF-Schwungung die niederfrequente Modulationsspannung zurückzugewinnen. Dies geschieht mittels Detektion der Umhüllenden (Envelope), d.h. mittels Gleichrichtung und Siebung.

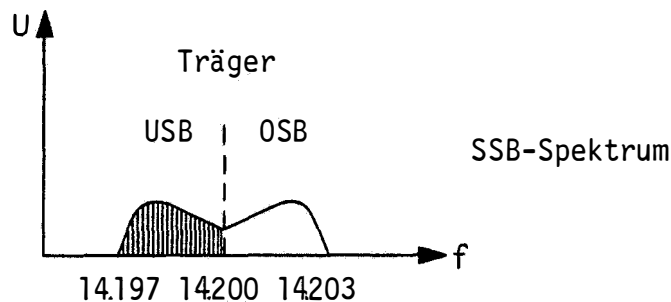


Die Diode richtet die HF-Schwingung gleich, der folgende Kondensator C wird auf die Spannung aufgeladen und in der nächsten Halbwelle wieder teilweise vom Widerstand R entladen. Die Zeitkonstante des RC-Gliedes ist entsprechend der zu demodulierenden Frequenz zu bemessen. Ähnlich wie bei Netzgleichrichtern gibt es auch hier Einweggleichrichter (siehe vorige Seite) und Zweiweg-Gleichrichter.

7.2 Einseitenbandmodulation (SSB)

Wie wir vorhin bei der Amplitudenmodulation gesehen haben, besteht diese aus einem Träger und zwei Seitenbändern. Die übertragene Information ist dabei bereits vollständig in einem der Seitenbänder enthalten. Es ist deshalb unnötig, den Träger und das andere Seitenband zu übertragen.

Die Einseitenbandtechnik (ESB, engl.:SSB single side band) benützt deshalb zur Uebertragung nur das eine Seitenband (entweder das "obere" oder das "untere"). Dieses ist natürlich nur vorhanden, falls der Sender moduliert wird (Sender besprochen). Auch die ESB- (SSB-) Modulation ist eine Amplitudenmodulation.



Bei Erzeugung und Demodulation von SSB-Signalen muss bekannt sein, ob es sich um das obere oder untere Seitenband handelt. Es sind für die Seitenbänder folgende Abkürzungen bekannt:

USB = upper side band LSB = lower side band	=	oberes Seitenband = OSB unteres Seitenband = USB
└──────────────────┘ englisch		└──────────────────┘ deutsch

Die gegenüber Zweiseitenband-AM erhöhte Effizienz geht aus folgendem Beispiel hervor.

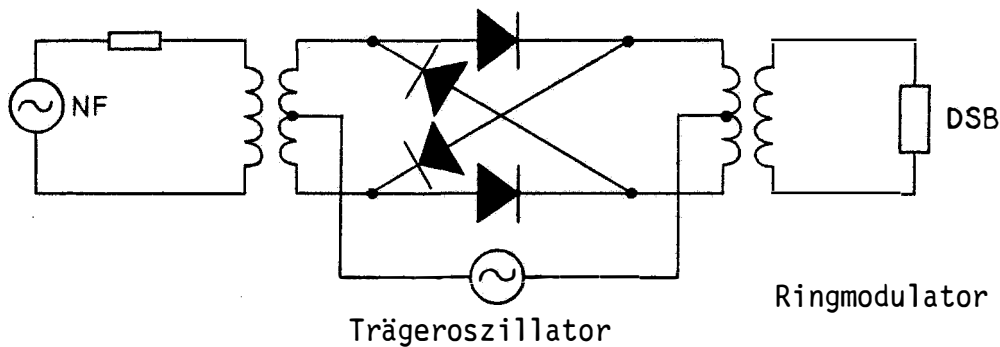
Angenommen, ein Sender kann eine Leistung von 150 W zur Verfügung stellen. Dann teilt sich diese Leistung für Zweiseitenband- und Einseitenband-Sender wie folgt auf (immer für Vollaussteuerung):

		Träger	oberes SB	unteres SB
AM		100 W	25 W	25 W
SSB:	USB	0	25 W	0
	LSB	0	0	25 W

Um die gleiche Information zu übertragen, wird also 6 mal weniger Leistung benötigt. Daneben benötigt ein SSB-Signal nur die halbe Bandbreite eines Zweiseitenbandsignals. Aus diesen Gründen hat die ESB-Technik die konventionelle AM-Technik heute im Gebiet des Amateurfunkes vollständig abgelöst.

Erzeugung von ESB-Signalen (Modulator)

Einseitenbandsignale liessen sich aus einem AM-Signal erzeugen, welches einer Filterung ausgesetzt würde, die das eine Seitenband und den Träger unterdrücken müsste. Dazu wäre jedoch ein sehr gutes Filter nötig, müsste es doch den starken Träger in unmittelbarer Nähe des gewünschten Seitenbandes völlig unterdrücken. Heute wird in Sendern eine Trägerunterdrückung von mindestens 45 dB erreicht. Um den Träger nicht durch ein Filter unterdrücken zu müssen, wendet man einen Trick an; den Balance- oder Ringmodulator. Durch eine solche symmetrische Anordnung entsteht an seinem Ausgang ein Zweiseitenband-AM-Signal ohne Träger (DSB = double side band).



Die Dioden des Ringmodulators wirken als Schalter. Wichtig ist, dass diese Dioden alle etwa gleiche Eigenschaften haben. Zweckmässigerweise verwendet man sog. Diodenquartette, das sind speziell ausgesuchte Sätze von Dioden mit gleichen Eigenschaften (Durchlasswiderstand, Sperrwiderstand usw.).

Das Doppelseitenbandsignal lässt sich nun noch filtern, so dass wir ein reines ESB-Signal erhalten (Filter siehe Kapitel 8). Diese Art der Erzeugung eines ESB-Signals nennt man "Filtersystem". Neben diesem Filtersystem gibt es noch das sog. "Phasensystem" (siehe Kapitel 9).

Demodulation von ESB-Signalen

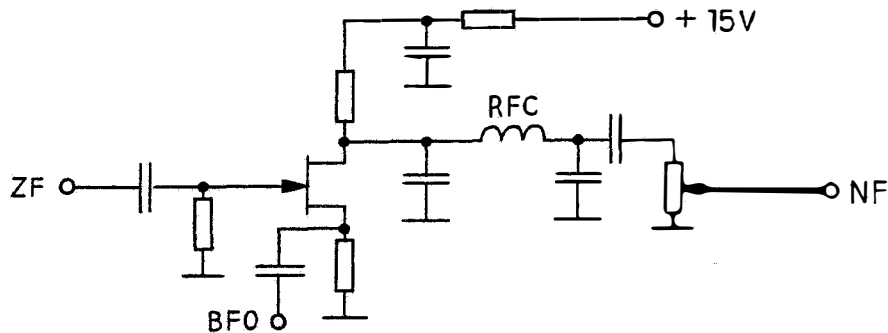
Der zeitliche Ablauf eines ESB-Signales ist wesentlich komplizierter als der eines normalen AM-Signales. Die Sprechinformation ist nicht nur in einer Amplitudenmodulation enthalten, sondern ist aufgeteilt auf eine Amplitudenmodulation und eine Phasenmodulation. Detektiert man nur die Amplitude eines ESB-Signals, so ist die Modulation unverständlich. Deshalb müssen spezielle Demodulatoren verwendet werden, wovon es im wesentlichen zwei Varianten gibt:

- Ueberlagerungsdemodulator und Produktdetektor
- Ringmodulator.

Beide Demodulatoren funktionieren nur unter Zufügung eines Signals, das die gleiche Frequenz wie der unterdrückte Träger besitzt (Trägerzusatz).

Der Ueberlagerungsdemodulator ist nichts anderes als ein AM-Demodulator, dem noch ein Träger zugesetzt wird. Aus einem ESB-Signal entsteht ein ESB-Signal mit Träger, welches in einem Diodengleichrichter demoduliert werden kann. Das Trägersignal wird im sog. BFO (Beat frequency oscillator = Ueberlagerungoszillator) generiert und muss stärker sein als das stärkste zu demodulierende ESB-Signal.

Weil ein ESB-Sender, welcher nur eine Frequenz aussendet, einen CW-Sender darstellt, können mit dem Ueberlagerungsmodulator und dem Produktdetektor auch solche CW-Signale hörbar gemacht werden (CW = continuous wave = Telegraphie-Signal, d.h. ein/aus-getastete Trägerschwingung). Ein Ueberlagerungsmodulator ist nichts anderes als eine (noch genauer in Kapitel 8 behandelte) Mischstufe.



Ueberlagerungs-Demodulator (Produktdetektor)

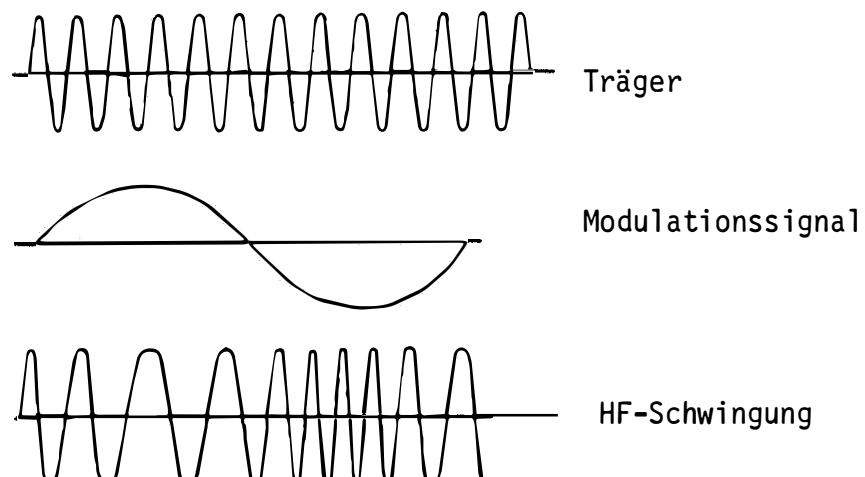
Der Produktdetektor führt, wie sein Name sagt, eine Produktbildung aus Eingangssignal (ESB) und zugefügtem Trägersignal. Der Produktdetektor ist aber nichts anderes als ein Ueberlagerungsmodulator mit besonders guten Eigenschaften. Für die Demodulatoren in ESB-Empfängern ist deshalb die Bezeichnung Produktdetektor üblich.

Der Ringmodulator als Demodulator sieht genau gleich aus wie wenn die Schaltung als Modulator verwendet wird. Der Ausgang liefert direkt die NF.

Es ist wichtig, dass die zugesetzte Trägerfrequenz genau dem im Sender weggenommenen Träger entspricht. Bei Sprachübertragungen sind Abweichungen von 100 Hz ohne weiteres zugelassen. Für Musikübertragungen würden wesentlich strengere Maßstäbe gefordert (Normtoleranz 2 Hz).

7.3 Frequenzmodulation (FM)

Bei der Frequenzmodulation wird statt der Amplitude die Frequenz der Aussendung entsprechend der NF-Modulationsspannung geändert. Der Vorteil der FM ist der hohe Signal/Rausch-Abstand des Verfahrens (solange die Feldstärke einen gewissen Wert nicht unterschreitet) und der Umstand, dass die Verstärker im C-Betrieb arbeiten können. FM ist besonders auf dem 2 m - und 70 cm - Band sehr beliebt.



Bei FM ist der Frequenzversatz proportional zur Amplitude des modulierenden Signals. Der höchste Frequenzversatz (der entsteht bei Modulation mit der grösstmöglichen Modulationsamplitude) wird Hub (oder Frequenzhub) genannt. Das Verhältnis aus max. Frequenzversatz und höchster Modulationsfrequenz heisst Modulationsindex.

$$\text{Modulationsindex} = \frac{\text{max. Frequenzhub}}{\text{höchste Modulationsfrequenz}}$$

Beispiel: Der maximale Frequenzhub eines FM-Senders sei 5 kHz, die höchste Modulationsfrequenz 3 kHz. Dann beträgt der Modulationsindex

$$\frac{5}{3} = 1.667$$

Das durch ein FM-Signal entstehende Spektrum ist recht kompliziert. Theoretisch ist es unendlich breit. Seine Struktur hängt vom Modulationsindex ab. Bei FM stammt die Energie, die in den Seitenbändern steckt, vom Träger. Der Träger variiert deshalb seine Amplitude. Die Bandbreite kann nicht mehr so eindeutig wie bei AM angegeben werden. Es gilt jedoch eine (Faust-) Regel:

$$B = 2 \cdot H + 2 \cdot f_{NF}$$

B = Bandbreite des FM-Signals
H = Hub
 f_{NF} = Modulationsfrequenz

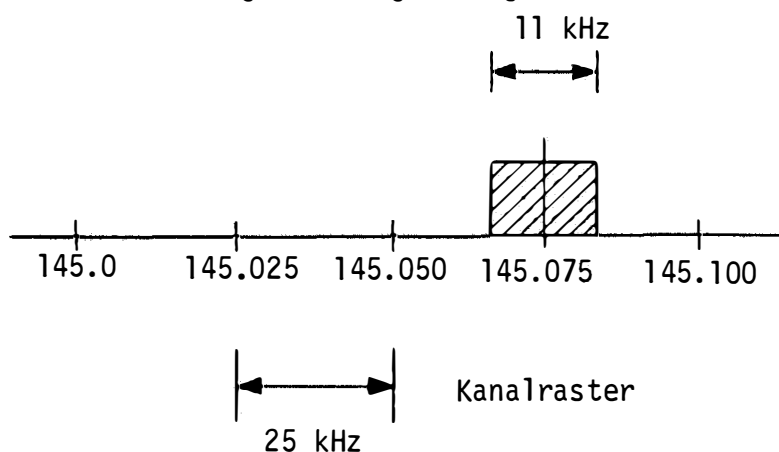
Die sog. Schmalband-FM (NBFM = Narrow-band FM) benutzt einen maximalen Hub von 2.5 kHz, Breitband-FM einen solchen von 15 kHz, während ein Zwischenwert bei 5 kHz liegt. Schmalband-FM mit einer höchsten Modulationsfrequenz von 3 kHz hat demzufolge eine Bandbreite von

$$B = 2 \cdot 2.5 \text{ kHz} + 2 \cdot 3 \text{ kHz} = 11 \text{ kHz}$$

und liegt damit immer noch wesentlich höher als das frequenzökonomische Einseitenbandverfahren.

Die für FM vorgesehenen Bänder werden in einem Kanalaraster belegt, d.h. jeder Sender nimmt eine diskrete Frequenz ein, die jeweils einen bestimmten, gleichbleibenden Frequenzabstand zum Nachbarsender hat.

Im 25 kHz-Raster sind diese möglichen "Plätze" je 25 kHz auseinander. Unser 11 kHz breites Signal hat gerade gut Platz in einem solchen Raster.



Phasenmodulation

Phasenmodulation (PM) ist der Frequenzmodulation sehr ähnlich. Bei ihr bewirkt jedoch die Modulationsspannung eine proportionale Verschiebung der Phase der Trägerschwingung. Der Frequenzhub ist nicht wie bei FM spannungsabhängig, sondern hängt von der Modulationsfrequenz ab.

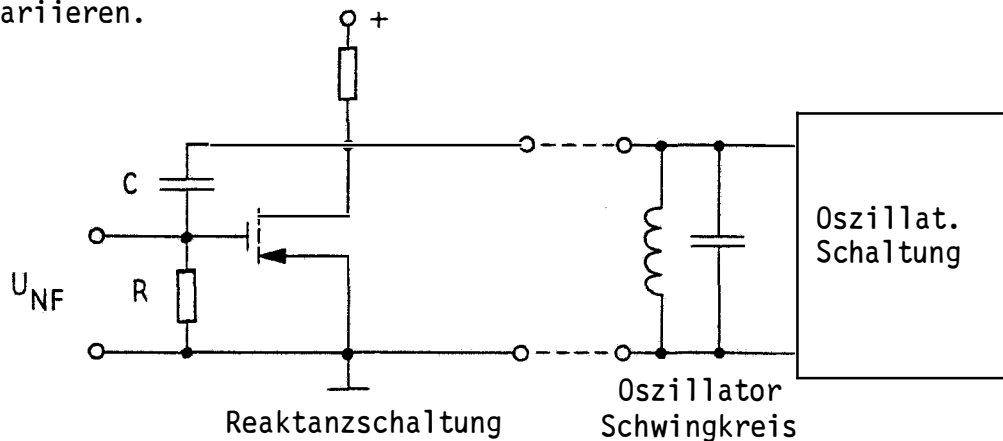
Während Frequenzmodulation in einer Oszillatorstufe vorgenommen werden muss, kann PM auch mit einer Verstärkerstufe als "Modulator" bewerkstelligt werden. Dabei können stabile Quarzoszillatoren als Trägergeneratoren verwendet werden.

Frequenzmodulatoren

Frequenzmodulatoren werden mit Reaktanzschaltungen und Kapazitätsvariationsdioden (Varactordioden) realisiert.

Reaktanzschaltung:

Jeder Oszillator besitzt einen Schwingkreis, welcher die Schwing-Frequenz definiert. Schaltet man nun parallel zu diesem Schwingkreis ein L oder C, das man elektronisch variieren kann, so kann man die Frequenz des Oszillators variieren.



Eine Reaktanzschaltung lässt sich mit einem Transistor, der im Gatekreis eine Reaktanz und einen ohmschen Widerstand enthält, realisieren. Durch die NF-Spannung wird der Arbeitspunkt des Transistors verändert, was eine veränderte Steilheit zur Folge hat.

Die oben angegebene Reaktanzschaltung wirkt wie eine steuerbare Kapazität.

Kapazitätsdiode:

Kapazitätsdioden (oder Varactoren) besitzen eine Kapazität, (Sperrschichtkapazität), welche sich mit der angelegten Spannung verändert.

Die Kapazität variiert von einigen wenigen pF bis zu einigen Hundert pF. Auch dieses Element wird am besten parallel zum Oszillatorschwingkreis geschaltet.



Symbol der Kapazitätsdiode

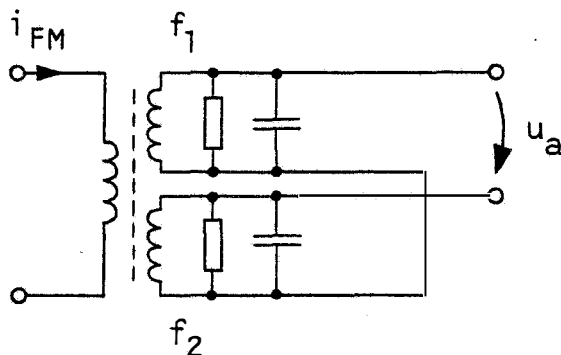
FM-Demodulation

Das Prinzip der FM-Demodulation ist die Umwandlung der FM in ein AM-Signal und anschliessende Gleichrichtung in einem AM-Demodulator. Der Modulationswandler wird Diskriminator genannt. Die wichtigsten Schaltungen sind:

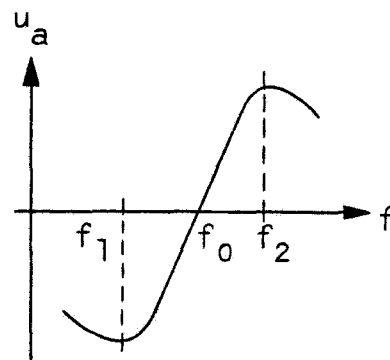
- Differenzdiskriminator
- Phasendiskriminator
- Ratiodetektor
- PLL (Phase Locked Loop)

Differenzdiskriminator:

Der Differenzdiskriminator besteht aus zwei Schwingkreisen mit festgelegter Güte. Je nach angelegter Frequenz erzeugt der eine oder der andere eine grössere Spannung. Die Differenz der beiden Spannungen ist über einen gewissen Frequenzbereich frequenzproportional. Nach Gleichrichtung erhält man die NF.



Differenzdiskriminator



Kennlinie

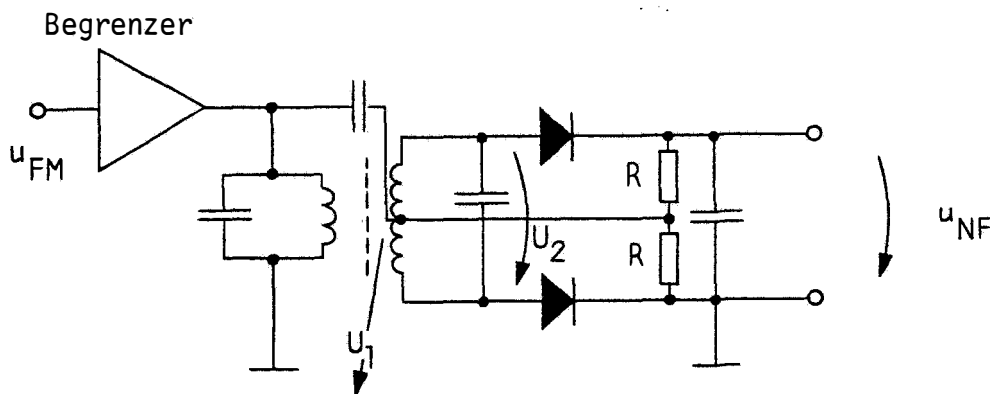
Phasendiskriminator:

Der Phasendiskriminator macht von der Frequenzabhängigkeit der Phasendrehung eines Netzwerkes Gebrauch.

Über den Widerständen R wirken die gleichgerichteten Spannungen

$$U_1 + \frac{U_2}{2} \quad \text{und} \quad U_1 - \frac{U_2}{2} .$$

Wegen der losen magnetischen Kopplung ist U_2 gegenüber U_1 phasenverschoben.



Phasendiskriminator

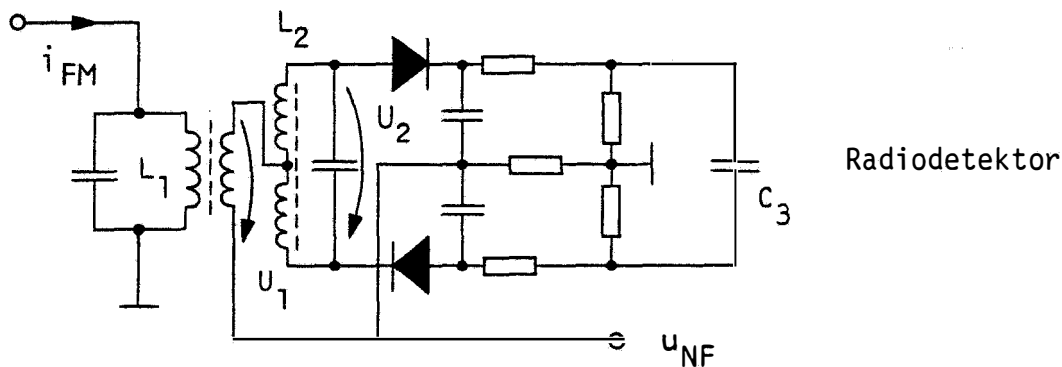
Die resultierende NF-Spannung ist die Summe (der Beträge) dieser resultierenden Spannungen. Weil U_2 frequenzabhängig phasenverschoben gegenüber U_1 ist, wird die NF-Spannung abhängig von der Frequenz.

Durch geeignete Dimensionierung erhält man eine ähnliche Kurve wie beim Differenzdiskriminator. Der Vorteil des Phasendiskriminators liegt jedoch in seiner besseren Linearität der Kurve in der Umgebung von f_0 .

Der Phasendiskriminator arbeitet nur zufriedenstellend, wenn die Amplitude des modulierten FM-Signals vorgängig der Demodulation begrenzt wird (Begrenzer, Limiter).

Ratiodetektor:

Der Ratiodetektor (Verhältnisdetektor) ist dem Phasendiskriminator sehr ähnlich, benötigt jedoch keine vorgängige Begrenzung des Signals.



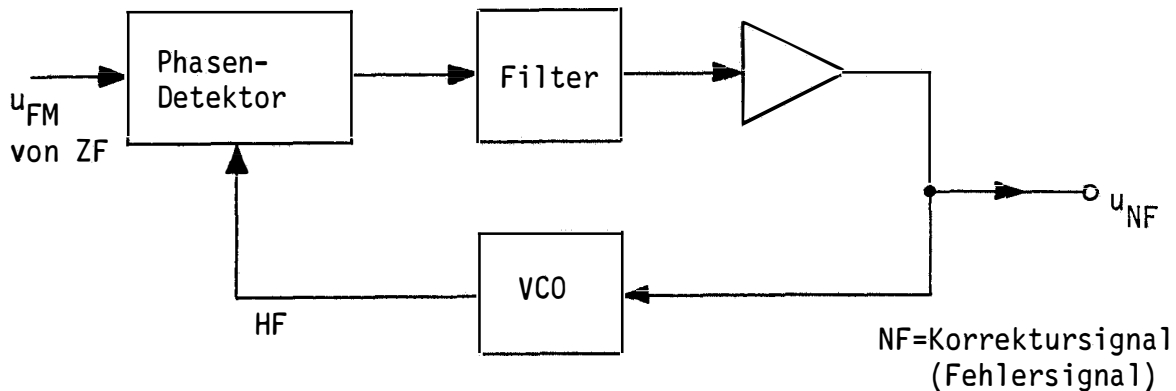
Die Induktivitäten L_1 und L_2 sind relativ lose miteinander gekoppelt. Zwischen U_1 und U_2 entsteht deshalb bei der Mittenfrequenz wie beim Phasendiskriminator eine Phasenverschiebung von 90° , welche sich je nach Verstimmung ändert. Der Kondensator C_3 lädt sich auf eine Gleichspannung auf, die gleich der mittleren Amplitude von U_2 ist. Der Grund für die begrenzende Wirkung liegt in der Nichtlinearität der Dioden.

Phase Locked Loop (PLL):

Ein PLL ist eine FM-Demodulatorschaltung, welche vollständig integriert werden kann, linear arbeitet und sich deshalb einer immer grösser werden den Beliebtheit erfreut.

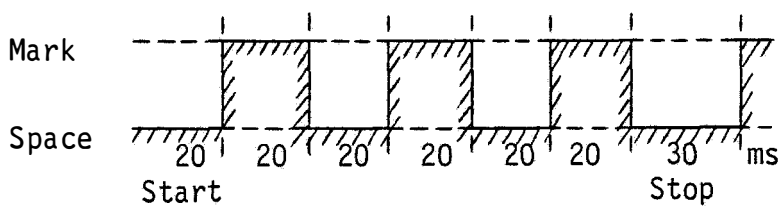
Ein PLL ist ein Regelkreis. Ein VCO (Voltage Controlled Oscillator = durch eine Spannung in der Frequenz gesteuerter Oszillator) erzeugt ein Signal, welches im Phasendetektor mit der Phase des Eingangssignales verglichen wird. Wenn die Phasen der beiden Signale nicht übereinstimmen, wird ein Korrektursignal erzeugt. Dieses wird gefiltert und verstärkt wieder auf den VCO gegeben.

Im Betrieb wird der VCO immer phasenstarr mit dem Eingangssignal laufen. Die ihn steuernde Spannung (Gleichspannung) ist frequenzproportional und stellt die demodulierte FM dar.



7.4 Fernschreiber (RTTY)

Fernschreiben (RTTY = Radio Teletype Writing) ist eine digitale Kommunikationsart. Digital heisst, dass ein Signal eines solchen Systemes nur eine begrenzte Anzahl diskreter Zustände einnehmen kann (meist 2 Zustände). Ueber einen Fernschreiber werden Buchstaben übermittelt (inkl. Zeichen und Zahlen). Diese Information wird mittels des CCITT Nr. 2-Code codiert. Jeweils 5 zeitlich aufeinanderfolgende Buchstaben enthalten die Buchstabeninformation, 2 Zeichen ermöglichen die Synchronisation der Empfangsmaschine (Start- und Stop-Schritt).



Zeichenfolge für Buchstaben "Y" (bei Uebertragungsgeschwindigkeit 50 Bd, entspricht ca. 400 Zeichen pro Minute).

HF-mässig wird Frequenzumtastung (FSK) angewendet (FSK = Frequency shift keying). Ein dauernd voll ausgesteuerter Sender wird je nach Zeichen in eine höhere bzw. tiefere Frequenz getastet. Die tiefere Frequenz entspricht dem Space-Zeichen. Der Abstand zwischen Space- und Mark-Frequenz beträgt normiert 170, 425 oder 850 Hz (shift). Auf den UKW-Bändern 2m, 70cm) erzeugt man niederfrequente FSK, AFSK genannt (AFSK = Audio Frequency shift keying), und moduliert damit einen FM-Sender (über den Mikrofoneingang).

7.5 Schmalband-Fernsehen (SSTV)

Schmalbandfernsehen ist ein Verfahren, stehende Bilder mit geringer Auflösung über normale Telefoniekanaäle (SSB, FM) zu übertragen. Dabei wird das Bild zeilenweise abgetastet, auf einen FM-Hilfsträger moduliert, auf einem SSB-Kanal gesendet, empfangen, demoduliert und wieder zeilenweise auf einen Fernsehschirm geschrieben. In 7.2 s wird ein Bild übertragen. Die Daten können auch nachstehender Tabelle entnommen werden (Europa-Norm).

Zeilenablenkung	16 2/3 Hz
Uebertragungszeit	7.2 sec/Bild
Anzahl Zeilen	120
Seitenverhältnis Bild	1:1
Hilfsträger-Frequenzen:	
Synchronisationssignal	1200 Hz
Schwarz	1500 Hz
Weiss	2300 Hz
Benötigtes NF-Spektrum	1...2.5 kHz

7.6 Vergleich der Modulationsverfahren

Die verschiedenen Modulationsarten müssen unter Berücksichtigung der auf dem Kanal auftretenden Störungen miteinander verglichen werden.

Telegraphie (CW = Continuous wave) ist die einfachste Uebermittlungsart. Sie besteht aus einem ein/aus-getasteten Trägersignal. Die benötigte Bandbreite ist relativ gering (einige Dutzend Hz). Mit entsprechenden Empfangsfiltern lässt sich CW von allen Uebertragungsarten unter gestörten Bedingungen immer noch am besten aufnehmen.

Die Bandbreite eines Fernschreibsignals ist etwas grösser, doch ist der Empfang hier auch weitgehend störsicher.

SSB-Signale haben grössere Bandbreite (2.1...3 kHz), stellen jedoch die beste Modulationsart für Sprachsignale dar, welche mit vernünftigem Aufwand durchgeführt werden kann.

FM-Signale haben gegenüber SSB-Signalen einige Vorteile: grosser Störabstand (bei grossen Empfangssignalen), Verwendbarkeit von C-Verstärkern, einfach zu erzeugende Modulation (Kapazitätsdiode). In Bezug auf schwache Signale und benötigte Bandbreite ist SSB gegenüber FM so vorteilhaft, dass sich auf den KW-Bändern SSB völlig durchgesetzt hat.

8. Empfängertechnik

8.1 Forderungen und Probleme

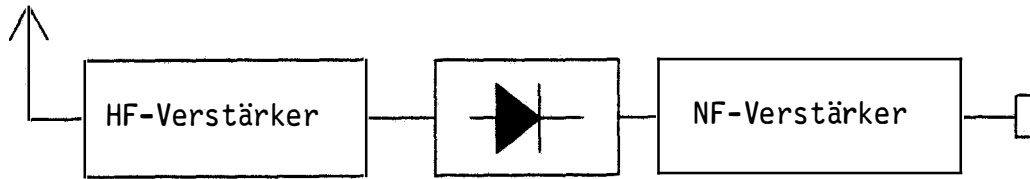
Auf die Antenne einfallende HF-Signale sind so schwach, dass sie am Eingang eines Empfangsgerätes nur sehr kleine Spannungen hervorrufen (üblicherweise einige μV , maximal einige mV).

Ein HF-Signal gegebener Frequenz soll im Empfänger verstärkt und demoduliert werden. Die Empfindlichkeit des Empfängers ist ein Mass für dessen Fähigkeit, schwache Signale noch genügend zu verstärken. Dabei soll natürlich wirklich nur das gewünschte Signal aus dem ganzen Spektrum ausgelesen werden. Dies geschieht mit Filtern. Es wird eine möglichst hohe Selektivität angestrebt.

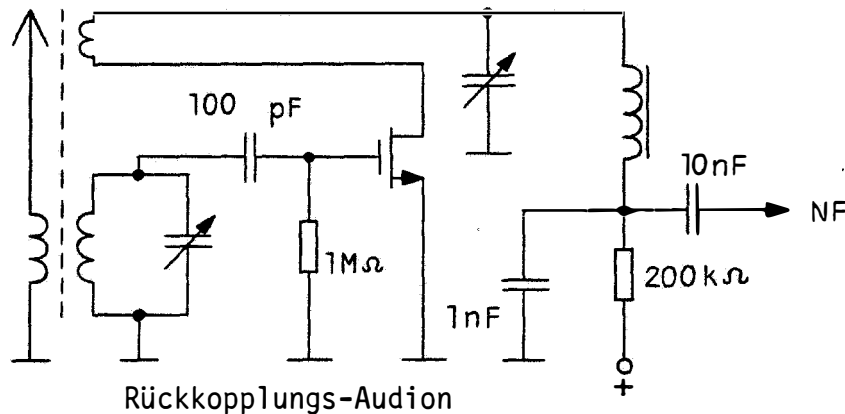
Die heute für den Amateurfunk produzierten Geräte sind vielfach durchgehend transistorisiert. Dies bringt gegenüber Röhrengeräten aber nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile. Insbesondere können an Transistorstufen leichter Intermodulationserscheinungen auftreten.

8.2 Geradeempfänger

Der einfachste Empfängertyp ist der Geradeempfänger. Bei ihm wird die Eingangsfrequenz in einer oder mehreren Stufen verstärkt und anschließend demoduliert.



Eine bekannte Schaltung, welche die Gleichrichtung und die HF-Verstärkung durchführt, ist das Audion. Die Audionschaltung besteht aus einem rückgekoppelten Verstärker, dessen Rückkopplung so eingestellt ist, dass gerade noch keine Schwingungen einsetzen. Der Schwingkreis auf der Gate-Seite des Verstärkers wird dadurch entdämpft, d.h. seine Güte nimmt zu.



Je mehr man die Rückkopplung steigert, umso schmaler wird die Bandbreite des Verstärkers. Mit diesem Prinzip erreicht man Bandbreiten bis zu einigen 100 Hz im ganzen KW-Bereich. Die Abstimmung und die Einstellung des Rückkopplungsgrades sind relativ kritisch: Es müssen laufend zwei Elemente geregelt werden, eines für die Resonanzfrequenz, eines für die Rückkopplung. Die Einstellung der Rückkopplung hängt auch von der Antennenimpedanz ab.

Um Telegrafiezeichen (CW) und Einseitenbandsignale (SSB) aufnehmen zu können, muss ein Trägersignal zugesetzt werden. Dazu muss das Audion zum Schwingen gebracht werden. Ein schwingendes Audion wirkt wie ein kleiner Sender und strahlt Energie über die Antenne ab. Um diesem Nachteil zu begegnen, schaltet man eine HF-Verstärkerstufe vor das Audion. Dadurch wird auch die Empfindlichkeit des Empfängers verbessert. Das Audion dient gleichzeitig auch zur Gleichrichtung der Signale.

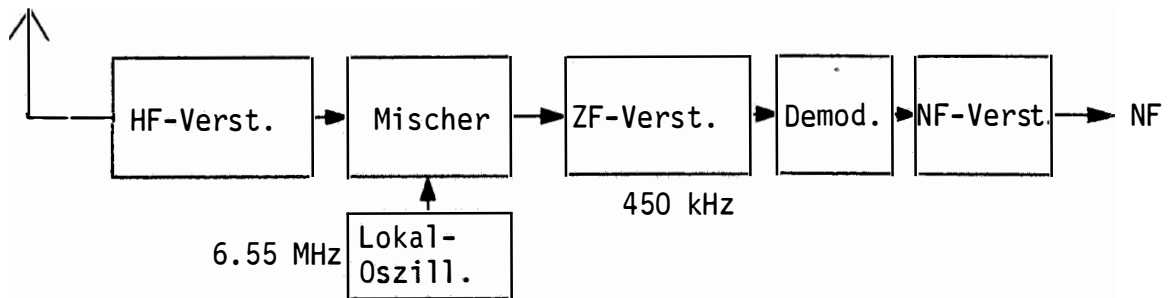
Der Empfindlichkeit, Trennschärfe und vor allem dem Bedienungskomfort sind beim Audion jedoch Grenzen gesetzt. Es ist leichter, schmalbandige Filter auf einer festen Frequenz (statt einer variablen Frequenz) zu bauen.

Man geht deshalb zum Superprinzip über (Ueberlagerungsempfänger).

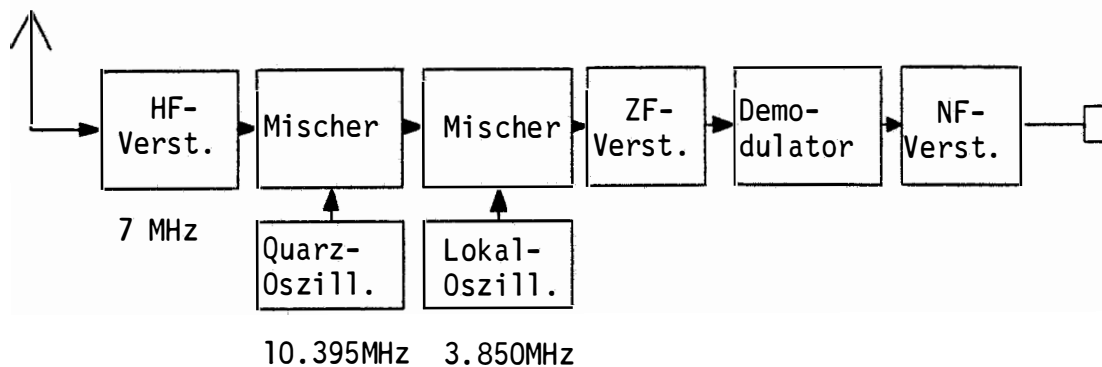
8.3 Superhet (Ueberlagerungsempfänger)

"Superhet" ist eine Abkürzung von "Superheterodyne" (englisch), was ungefähr soviel wie "Ueberlagerung" bedeutet.

Mit einer Mischschaltung "verschiebt" man das empfangene Signal frequenzmässig in einen tieferen Bereich; auf die sog. Zwischenfrequenz. Nach der Zwischenfrequenzverstärkung wird demoduliert oder nochmals eine Mischung vorgenommen. Wenn es gelingt, die Mischung so vorzunehmen, dass für jedes Eingangssignal immer die gleiche Zwischenfrequenz entsteht, kann der ZF-Verstärker für eine bestimmte Frequenz entworfen werden.

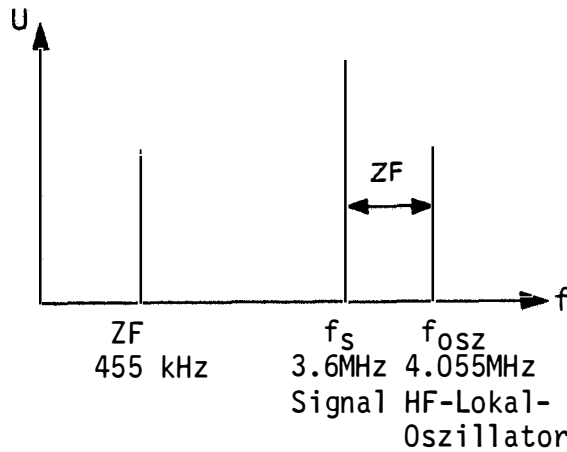


Einfach-Super
(SSH Single Superhet)



Doppel-Super
(Double Superhet DSH)

Aufbau und Funktion der Mischstufen werden im Kapitel 8.4 besprochen. Durch Mischung zweier Frequenzen bilden sich deren Summe und Differenz. Die Differenzfrequenz ist die sog. Zwischenfrequenz. Sie liegt bei Amateurempfängern meist tiefer als die Signalfrequenz, meist bei 455 kHz, 1680 kHz, 3395 kHz oder 9 MHz. Dies sind Frequenzen, auf welchen man noch gut verstärken kann und die die Verwendung guter Filter gestatten. Ein Beispiel: Im Diagramm auf der nächsten Seite wird ein Signal von 3.600 MHz mit einer Ueberlagerungsfrequenz von 4.055 MHz auf die Differenzfrequenz von 455 kHz gemischt.

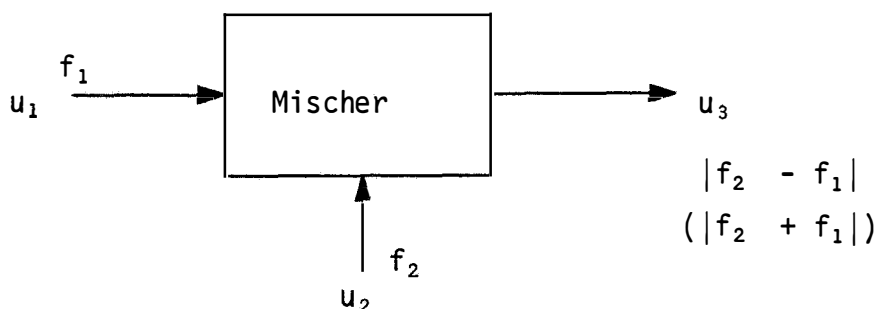


Es gibt nun jedoch nicht nur eine Signalfrequenz (3.600 MHz), welche mit der Ueberlagerungsfrequenz gemischt die ZF ergibt. Ein Signal, das um 455 kHz verschoben oberhalb der Oszillatorfrequenz erscheint (d.h. auf 4.510 MHz), wird ebenfalls auf die ZF gemischt! Der Empfang zweier verschiedener Stationen auf dem gleichen Punkt der Skale ist natürlich nicht erwünscht. Die unerwünschte Signalfrequenz wird Spiegelfrequenz genannt, die Fähigkeit eines Empfängers, die Spiegelfrequenz im Verhältnis zur Signalfrequenz zu unterdrücken, heisst demzufolge Spiegelfrequenzunterdrückung.

Vor dem Mischer muss dafür gesorgt werden, dass das Spiegelfrequenzsignal unterdrückt wird (in unserem Beispiel 4510 kHz). Dies erreicht man mit einer HF-Vorstufe. Die HF-Vorstufe ist ein selektiver Verstärker, der auch noch sehr kleine Signale (μV -Bereich) einwandfrei verarbeiten kann. Seiner Empfindlichkeit sind hauptsächlich durch das Rauschen Grenzen gesetzt. Der Vorteil des Supers liegt vor allem in der Einfachheit der Bedienung, in der guten Selektivität durch Filterung in der ZF, und nicht zuletzt in der guten Empfindlichkeit. Nachteilig sind gegenüber den Geradeausempfängern höherer Aufwand und das Phänomen der Spiegelfrequenz.

8.4 Mischstufen

Wie wir bereits gesehen haben, bildet eine Mischstufe die Differenzfrequenz aus zwei eingegebenen Signalen.



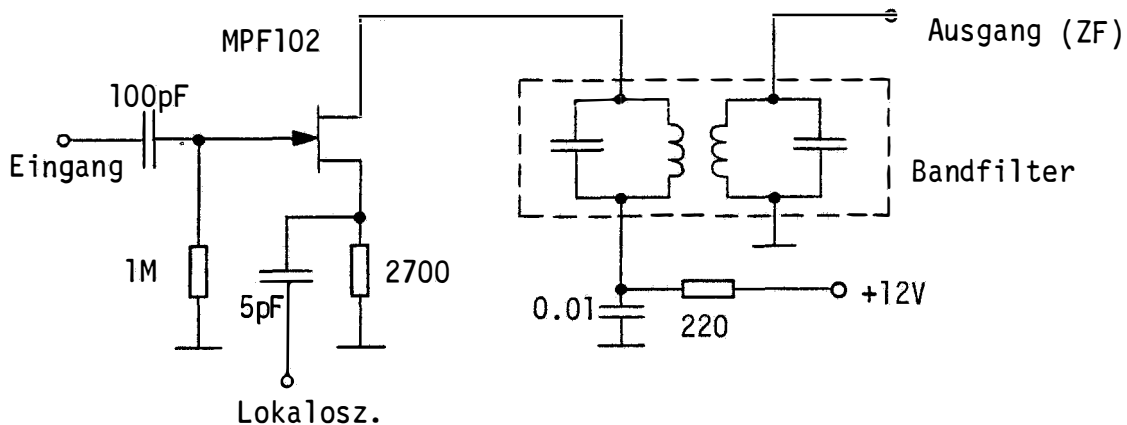
Eigentlich bildet eine Mischstufe nichts anderes als das mathematische Produkt aus den beiden Eingängen:

$$\begin{aligned}
 \left. \begin{aligned} u_1 &= A_1 \sin \omega_1 t \\ u_2 &= A_2 \sin \omega_2 t \end{aligned} \right\} u_1 \cdot u_2 &= A_1 \cdot A_2 \cdot \sin \omega_1 t \cdot \sin \omega_2 t \\
 &= \frac{A_1 A_2}{2} \left[\underbrace{-\cos(\omega_1 + \omega_2)t}_{\text{Summenfrequenz}} + \underbrace{\cos(\omega_1 - \omega_2)t}_{\text{Differenzfrequenz}} \right]
 \end{aligned}$$

Es entsteht nicht nur die Differenz, sondern auch die Summe der beiden Frequenzen. Am Ausgang des Mischers muss deshalb eine Selektion vorgenommen werden, um das unerwünschte Signal wieder zu entfernen.

Mischung wird meist mit Transistorverstärkern vorgenommen. Die Produktbildung ist ein nichtlinearer Vorgang, es muss deshalb in einem nichtlinearen Teil der Verstärkerkennlinie gearbeitet werden.

Ein FET weist in seinem Anlaufgebiet eine nichtlineare Charakteristik auf, welche die Mischung ermöglicht.

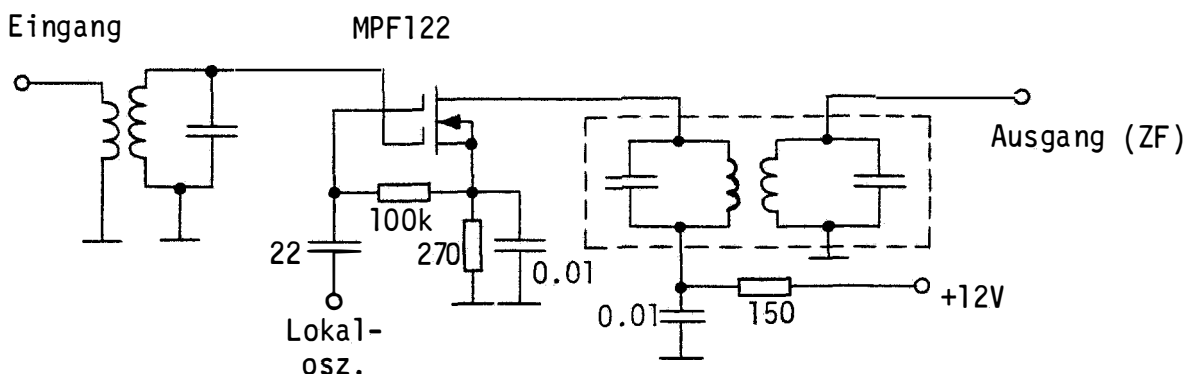


Mischer mit Sperrschicht-FET

Bei Mixern kommt es nicht so sehr auf die Verstärkung an. Vielmehr ist die Fähigkeit wichtig, kleine wie grosse Eingangssignale gleich zu verarbeiten (d.h. möglichst grosser Dynamikbereich).

Interessant ist der Fall, wenn nicht nur ein Eingangssignal vorliegt, sondern, wie in der Praxis üblich, mehrere. Die unerwünschten Eingangssignale können den "Betriebspunkt" des Verstärkers unter Umständen ausserhalb des erwünschten Bereiches schieben (d.h. übersteuern). In diesem Fall treten nicht nur die einfachen Mischprodukte auf, sondern es entstehen Produkte höherer Ordnung. Die Folge: Das erwünschte Ausgangssignal wird verzerrt (Intermodulation, Kreuzmodulation).

Eine in Bezug auf Grosssignalverhalten bessere Mischstufe ist die Dual-Gate-MOSFET-Anordnung.

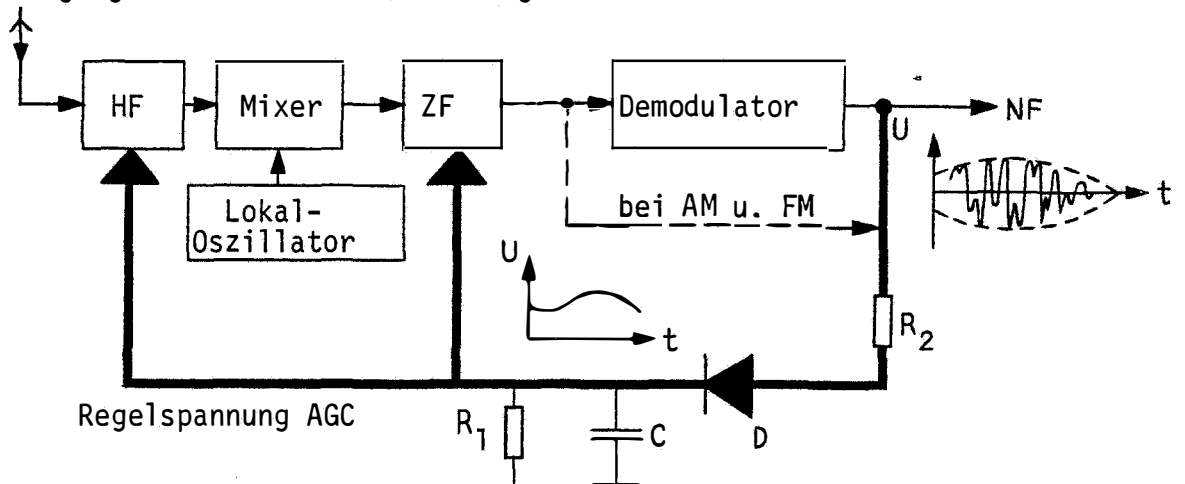


Dual-Gate-Mosfet-Mischer

Der Verzerrungsgrad von Mischstufen kann durch Verwendung von Balance-Mischern verringert werden. Diese können z.B. gleich aufgebaut sein wie die im Kapitel 7.2 besprochenen Balance-Modulatoren.

8.5 Schwundregelung

Der ZF-Verstärker besteht aus einer Reihe hintereinander geschalteter selektiver HF-Verstärker für die Zwischenfrequenz. Darauf folgt der Demodulator. Dieser soll eine möglichst gleichbleibende NF-Spannung liefern (d.h. einen konstanten mittleren NF-Pegel), unabhängig von der Amplitude des HF-Eingangssignales des Empfängers. Dies kann erreicht werden durch Variation der Verstärkung der HF-Verstärker, die zwischen dem Empfängereingang und dem Demodulator liegen.



Prinzip der Schwundregelung

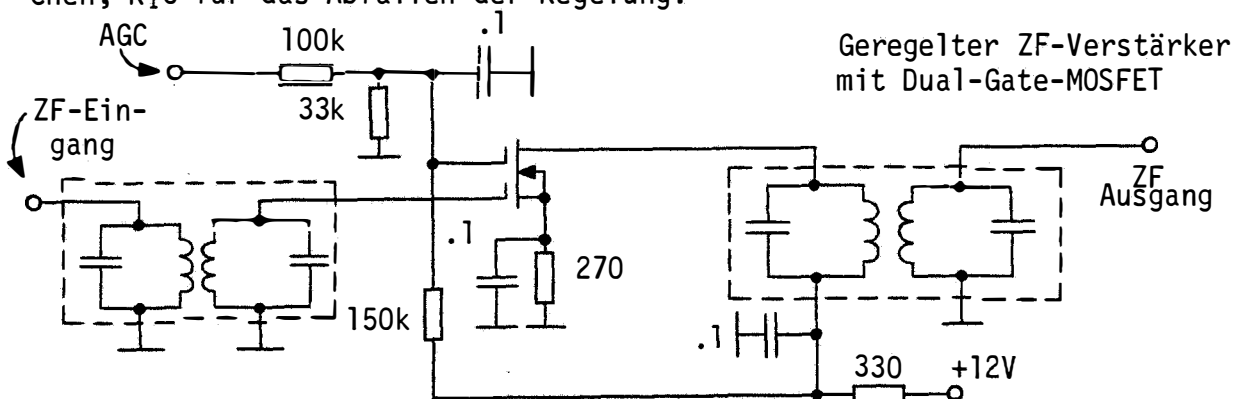
ALR = Automatische Lautstärkeregelung

AGC = Automatic Gain Control

AVC = Automatic Volume Control

Ist das Eingangssignal des Empfängers klein, so müssen die Verstärker mit maximaler Verstärkung arbeiten. Ist das Eingangssignal gross, dann werden die Verstärker durch die Regelspannung bezüglich Verstärkungsfaktor zurückgeregelt.

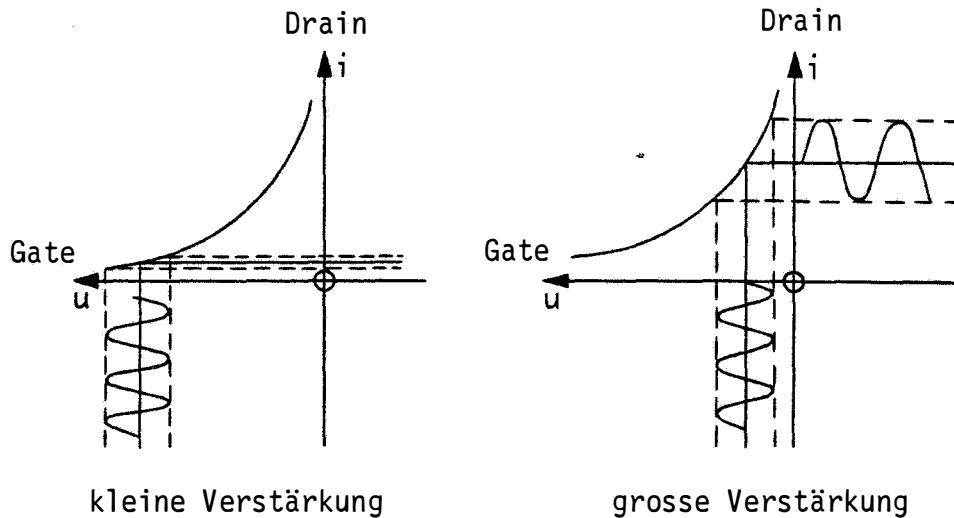
Da nicht der Momentanwert, sondern der zeitliche (absolute) Mittelwert der NF-Schwingung massgebend für die Regelung ist, wird die Regelspannung über einen Gleichrichter D gewonnen. Die entstehende, langsam der NF-Signal-Amplitude folgende Regelspannung wird dann über ein RC-Glied den Verstärkern zugeführt. Die Zeitkonstante R_2C ist massgebend für das Ansprechen, R_1C für das Abfallen der Regelung.



Eine geregelte HF-Stufe ist der auf der letzten Seite gezeigte Dual-Gate-MOSFET-Verstärker. Man gibt dabei die Regelspannung (AGC) auf das eine, die Signalspannung auf das andere Gate.

Eine andere Möglichkeit eines regelbaren Verstärkers: Eingangsspannung und AGC-Spannung werden beide auf den gleichen Eingang gegeben (z.B. Gate bei Sperrschicht-FET oder Basis eines Bipolartransistors).

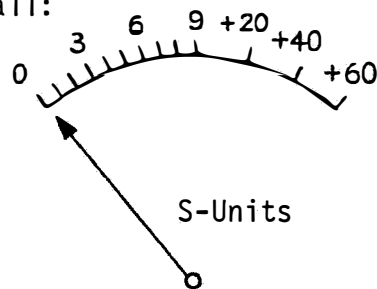
Mit der Regelspannung wird dann der Arbeitspunkt entlang der Kennlinie verschoben, was sich bei Kleinsignalverstärkern als Veränderung der Steilheit entsprechend auf den Verstärkungsfaktor auswirkt.



Wirkungsweise der Verstärkungsregelung durch Verschiebung des Arbeitspunktes

Die Regelspannung ist ein Mass für das am Empfängereingang anstehende Signal. Man kann deshalb, statt die Eingangsspannung zu messen, die Regelspannung messen und als Eingangsspannungsanzeige verwenden. Dies ist dann ein sog. S-Meter (S=Signal Strength, Signalstärke).

Die Eichung des S-Meters bezieht sich auf die Eingangsspannung. Heute existieren zwei Normen: Die eine verwendet 100 μV als S9, die andere 50 μV (Eingangs-Spannung). Untenstehende Tabelle gibt die Verhältnisse für den ersteren Fall:



S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9+20dB	9+40dB
U_{ein}	0.3 μV	0.7 μV	1.5 μV	3 μV	6 μV	12 μV	25 μV	50 μV	100 μV	1mV	10mV

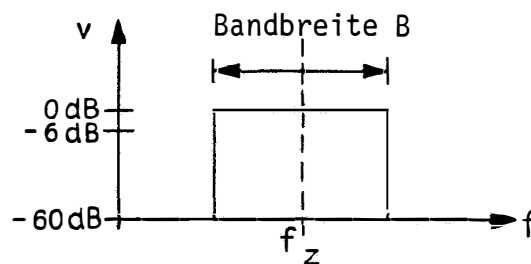
Zwischen 2 S-Stufen besteht das Spannungsverhältnis 2. Dies entspricht $20 \lg 2 = 6 \text{ dB}$ (das gilt auch für die Normierung $S_9 = 50 \mu\text{V}$). Das Leistungsverhältnis ist demzufolge 4. Erhöht demnach während einer Verbindung eine Sendestation ihre Ausgangsleistung auf den 4-fachen Wert der ursprünglichen Leistung, dann steigt beim Empfänger die S-Meter-Anzeige um nur einen Teilstrich! In Verbindung mit einem (meist ziemlich genauen) Wattmeter auf der Senderseite lässt sich so die S-Meter-Eichung (relativ) überprüfen.

8.6 Filter

Der HF-Verstärker in einem Empfänger ist, was Selektivität anbetrifft, für die Spiegelfrequenzunterdrückung verantwortlich. Bei genügend hoher ZF genügen hier schon einfache selektive Verstärkerstufen mit einem oder zwei Schwingkreisen. Man nennt eine solche Selektion "Fernselektion" oder "Weitabselektion", weil die zu unterdrückenden Eingangsfrequenzen fern von der eigentlichen Empfangsfrequenz liegen.

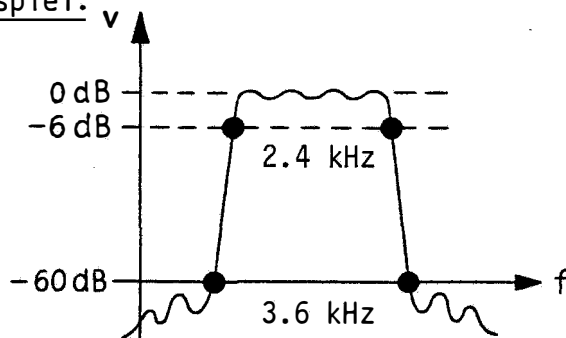
Um störende Sender zu unterdrücken, welche in unmittelbarer Nähe des Empfangssignales liegen, werden im ZF-Verstärker hochqualitative, schmalbandige Filter eingesetzt. Sie dienen der sog. "Nahselektion".

Ein ideales Filter würde in einer gewissen Bandbreite B die Signale ungedämpft durchlassen, ausserhalb dieses Bereiches jedoch alle Signale vollständig unterdrücken. Mit nichtidealen Filtern versucht man, die ideale Kurve anzunähern. Die Qualität des Filters wird hauptsächlich durch die



Bandbreiten bei 6 dB und bei 60 dB Durchlassdämpfung beschrieben. Das Verhältnis aus diesen beiden Zahlen stellt dann den sog. "Formfaktor" dar, welcher Auskunft über die Flankensteilheit des Filters gibt. (Formfaktor heisst engl. shape factor und ist immer grösser als 1).

Beispiel:



-6dB-Bandbreite : 2.4 kHz

-60dB-Bandbreite : 3.6 kHz

$$\text{Formfaktor} = \frac{3.6 \text{ kHz}}{2.4 \text{ kHz}} = 1.5$$

Nur sehr gute Filter erreichen Formfaktoren von kleiner als 2. ZF-Filter für Amateurgeräte werden heute auf 3 verschiedene Arten verwirklicht:

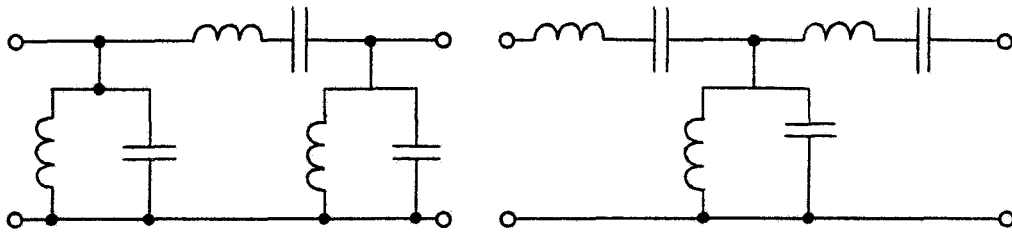
- LC-Filter
- Quarzfilter
- mechanische Filter

8.6.1 LC-Filter

Mit LC-Filtern lässt sich ein breites Spektrum von Durchlasskurven realisieren, nicht realisieren lässt sich aber die ideale Kennlinie mit nur endlich vielen Bauelementen.

In der HF-Technik ist zu beachten, dass die Güte einer Spule eine wesentliche Rolle spielt und bei Berechnungen nicht vernachlässigt werden darf.

Die einfachsten LC-Filter bestehen aus Schwingkreisen (selektiver Verstärker). Höhere Ansprüche lassen sich mit Schaltungen mehrerer Elemente befriedigen. Zwei Beispiele seien hier wiedergegeben, ohne auf die Dimensionierung einzugehen:



Die Berechnung solcher Schaltungen ist recht umständlich. Es gibt deshalb Bücher, welche die entsprechenden Formeln für die einzelnen Werte der Schaltelemente enthalten (z.B. ARRL-Handbook).

LC-Filter können nur mit sehr grossem Aufwand bei höheren Zwischenfrequenzen entsprechend den Wünschen für einen guten Empfänger gebaut werden.

Es gibt eine Ausnahme: Wählt man die ZF sehr tief (um etwa 50 kHz), so kann man Spulen mit annehmbarer Güte bauen, und der Aufwand für brauchbare Filter sinkt auf ein erträgliches Mass.

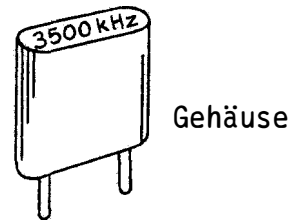
8.6.2 Quarzfilter

Quarze sind elektromechanische Gebilde, die eine extrem hohe Güte bei guter Temperaturkonstanz ihrer Resonanzfrequenz haben.

Ein Quarzkristall (Siliziumdioxid oder andere Stoffe mit ähnlichem Aufbau) erzeugt eine elektrische Spannung, wenn Druck auf ihn ausgeübt wird. Umgekehrt lässt er sich durch Anlegen eines veränderlichen elektrischen Feldes in Schwingungen bringen (piezo-elektrischer Effekt). Der Quarz kann die Form einer Scheibe oder eines Stabes besitzen. Frequenzbestimmend ist neben den Abmessungen die Art des Schnittes, der in einer genau bestimmten Orientierung zur Kristallachse ausgeführt werden muss. Der Schwingkreis wird an zwei Flächen kontaktiert und in ein Gehäuse gebracht.

Quarze können in Serie- oder Parallelresonanz (entsprechend einem Serie- oder Parallelschwingkreis) betrieben werden. Die Serienresonanzfrequenz liegt etwas höher als die Parallelresonanzfrequenz. Die Schwingungsart ergibt sich bei Oszillatoren aus der Schaltung.

Wichtige Daten jedes Quarzes sind Nennfrequenz, Resonanzart, Toleranz, Belastung, Bürdekapazität.



Die verschiedenen Quarschnitte:

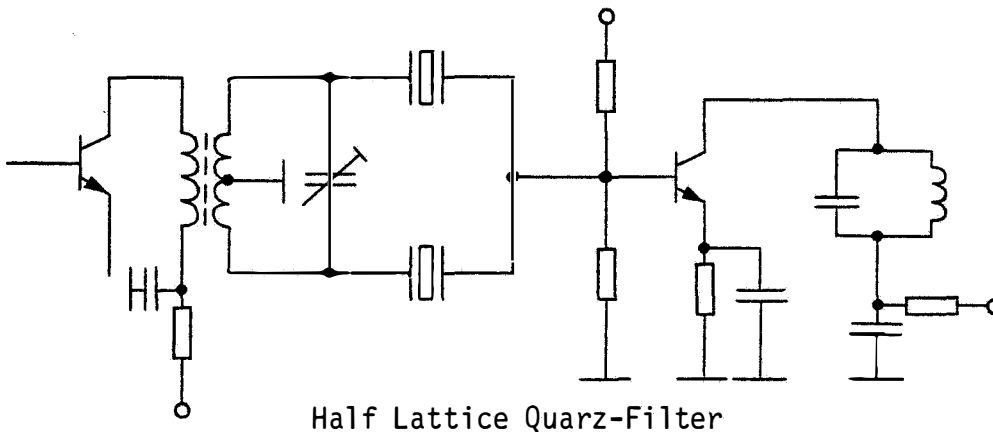
AT-Schnitt Grundsätzlich von 800 kHz bis 100 MHz.
Sehr guter Temperaturkoeffizient. Die Dicke des Quarzes ist frequenzbestimmend.

BT-Schnitt Wenig angewandter Schnitt. Quarze sind dicker als beim AT-Schnitt.

CT-Schnitt Für tiefere Frequenzen von 150 bis 900 kHz. Scheibendurchmesser und Kantenlänge sind frequenzbestimmend.

Quarze sind für Frequenzen von einigen kHz bis etwa 200 MHz erhältlich. Für die höheren Frequenzen dieses Spektrums werden sog. Obertonquarze verwendet, d.h. Quarze, welche in einer höheren Frequenz schwingen als dies ihren mechanischen Abmessungen entsprechen würde. Mit Quarzen als Schwingkreisen hoher Güte lassen sich auch gute Filter aufbauen. Dabei gibt es verschiedene Schaltungen. Einfache Schaltungen verwenden zwei Quarze, aufwendigere Filter können aus 10 Quarzen zusammengesetzt sein. Ein Beispiel eines einfachen Quarzfilters ist das sog. "Half lattice filter".

Durch geeignete Anordnung mehrerer Quarze lassen sich gewünschte Übertragungseigenschaften erreichen. Als Beispiel seien weiter unten die Daten des 9 MHz-Filters XF-9B angegeben.



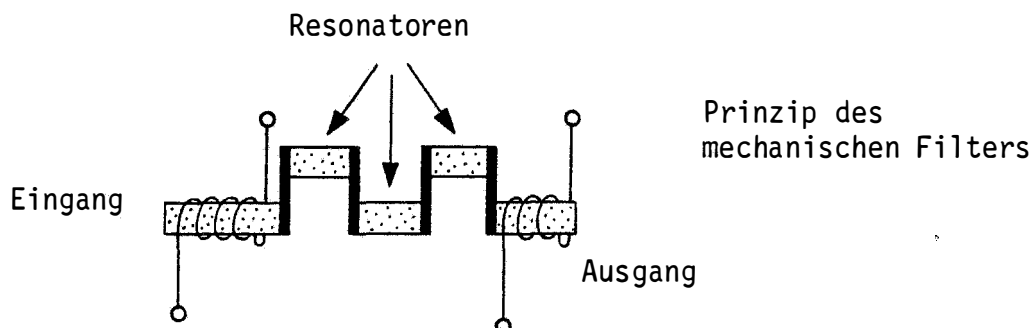
Daten des 9 MHz-Filters XF-9B:

8 Quarze	
Bandbreite bei -6dB	2.4 kHz
Welligkeit	kleiner 2dB
Durchlassdämpfung	kleiner 3.5 dB
Formfaktor 6:60dB	1 : 1.8
Weitabselektion	größer als 100 dB
Abschluss-R	500 Ohm
Abschluss-C	30 pF

8.6.3 Mechanische Filter

Die mechanischen Filter entsprechen in ihrem Verhalten (wie die Quarzfilter auch) mehrkreisigen Filterschaltungen mit elektrischen Schwingkreisen hoher Güte.

Diese Schwingkreise werden in mechanischen Filtern durch mechanische Resonatoren gebildet.



Durch das magnetische Wechselfeld einer Spule wird der Spulenkern in Schwingungen versetzt (magnetostriktiver Effekt). Diese Schwingungen übertragen sich auf eine Reihe am Spulenkern befestigter Resonatoren. Diese wirken auf die Übertragungscharakteristik wie elektrische Schwingkreise. Am Ende des Filters wird wieder magnetostriktiv ausgekoppelt.

Mechanische Filter sind in ihren Eigenschaften etwa mit den Quarzfiltern vergleichbar, sie liegen auch preislich in derselben Größenordnung (etwa Fr. 50.-- bis 400.--).

8.6.4 Q-Multiplier

Der Q-Multiplier ist eine Schaltung, die durch positive Rückkopplung im ZF-Verstärker dessen Bandbreite reduziert. Die Funktionsweise ist ähnlich einem Rückkopplungsaudion (siehe Kapitel 8.2).

Der Q-Multiplier wird heute jedoch nur noch in "billigen" Empfängern verwendet, weil mit ihm kaum ein ideales SSB-Filter angenähert werden kann. Als CW-Filter ist der Q-Multiplier hingegen sehr kosteneffektiv.

8.7 Rauschen und Empfindlichkeit

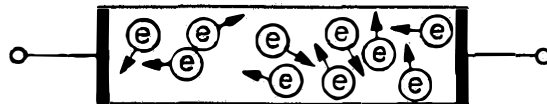
8.7.1 Rauschen

Mit einem Empfänger sollte man möglichst schwache Signale aufnehmen können. Jeder Empfänger gibt jedoch Rauschen wieder, was natürlich die Empfindlichkeit beeinträchtigt.

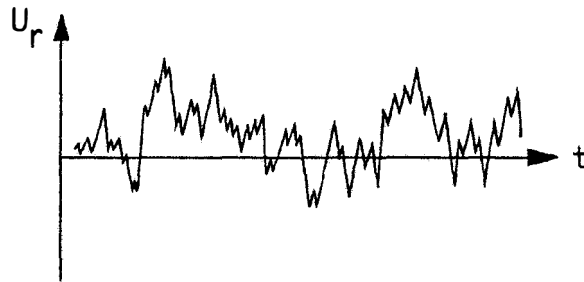
Es gibt verschiedene Ursachen dieses Rauschens:

a) Widerstandsrauschen

In jedem elektrischen Leiter befindet sich eine Unzahl von Elektronen. Diese Elektronen bewegen sich in alle möglichen Richtungen. Dabei befinden sich zu gewissen Zeitpunkten mehr Elektronen in der linken als in der rechten Hälfte des Leiters und umgekehrt.



Dadurch wird an den Enden des Leiters eine unregelmässige Spannung erzeugt, die man als Widerstandsrauschen bezeichnet.



Rauschspannung U_r über einem Widerstand

Widerstandsrauschen entsteht in jedem ohmschen Widerstand. Da die Spannung unregelmässig ist, kann nichts gesagt werden über den momentanen Wert der Rauschspannung.

Dafür kann man aber den quadratischen Mittelwert angeben (etwas ähnliches wie der Effektivwert):

$$u_{r \text{ mittel}} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f}$$

Quadratischer Mittelwert der Rauschspannung eines Leiters mit dem Widerstand R über einem Frequenzabschnitt Δf .

Die mittlere Rauschspannung über einem Widerstand R hängt also vom Widerstand ab sowie vom betrachteten Frequenzband und von der absoluten Temperatur T des Widerstandes.

Die Konstante k in der obigen Formel ist die Boltzmann'sche Konstante und beträgt:

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{Ws}/^\circ\text{K}$$

Beispiel:

Wie gross ist die Rauschspannung eines rauschenden Widerstandes von 50 Ohm am Eingang eines Empfängers, wenn die Bandbreite des Empfängers 2.1 kHz beträgt? Die Temperatur betrage 27°C , d.h. $T = 300^\circ\text{K}$.

$$u_{r \text{ mittel}} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f}$$

$$= \sqrt{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{Ws}/^\circ\text{K} \cdot 300^\circ\text{K} \cdot 50 \text{ Ohm} \cdot 2.1 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 0.0417 \text{ } \mu\text{V}$$

=====

Dies ist die sog. Leerlauf-Rauschspannung. Bei Belastung mit der Eingangsimpedanz des Empfängers wird die Hälfte dieser Spannung an den Empfänger abgegeben.

b) Halbleiterrauschen

Verstärkerelemente rauschen ebenfalls. Transistoren und Röhren rauschen durch interne Effekte bedingt stärker als Widerstände. In Datenblättern von Kleinsignal-HF-Transistoren ist deshalb meist eine Angabe enthalten über das Rauschen des Elementes.

Das Halbleiterrauschen nimmt bei steigender Frequenz stark zu und bietet im UHF- und Mikrowellengebiet einige Probleme.

c) Kosmisches Rauschen

Im Weltall gibt es viele Quellen elektromagnetischer Energie nicht nur im sichtbaren Bereich, sondern auch auf den Radiofrequenzen. Einige dieser Signale vermögen durch die Schichten der Erdatmosphäre durchzudringen. Auch die Sonne emittiert Radiostrahlung, insbesondere zu Zeiten des Auftretens von Sonnenflecken.

d) Atmosphärisches Rauschen

Atmosphärisches Rauschen entsteht vor allem infolge elektrischer Entladungen in Gewittern (Blitze) und tritt insbesondere bei tiefen Frequenzen auf.

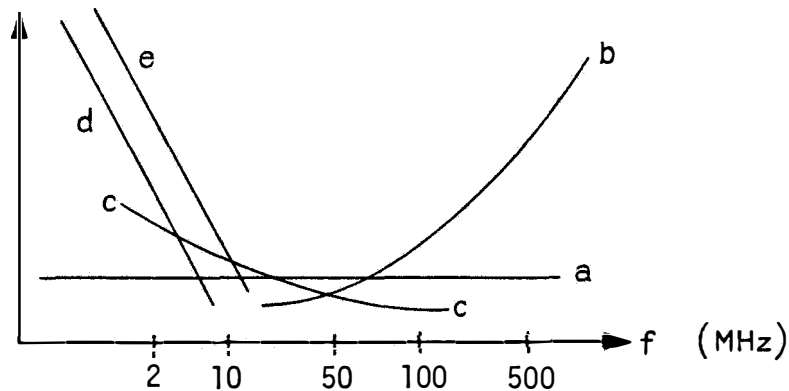
e) Man-Made-Noise

Man-Made-Noise entsteht vor allem ebenfalls durch elektrische Entladungen und zwar durch:

- Elektromotoren (Bürstenfunken)
- Verbrennungsmotoren (Zündfunken)

Als Uebersicht über die verschiedenen Rauschquellen gelte die folgende graphische Darstellung der Intensitäten der verschiedenen Rauschquellen in Abhängigkeit der Frequenz.

Rausch-
spannung



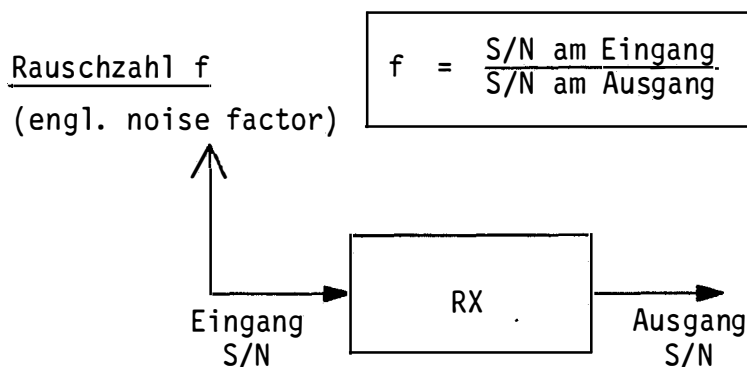
- a) Widerstandsrauschen
- b) Halbleiterrauschen
- c) Kosmisches Rauschen
- d) Atmosphärisches Rauschen
- e) Man-Made-Noise

8.7.2 Rauschzahl und Empfindlichkeit

Im letzten Abschnitt haben wir gesehen, dass offensichtlich die Rauschspannung am Eingang eines Empfängers nicht unter einen bestimmten minimalen Wert gebracht werden kann (Widerstandsrauschen der Antenne, des Kabels und der Widerstände am Eingang des Empfängers sowie die Verstärkerelemente des Empfängers).

Durch die Verstärkerelemente (Transistoren, Röhren) wird das Rauschen, vor allem in den ersten Stufen des Empfängers, zusätzlich erhöht. Dieses Verstärkerrauschen wird insbesondere bei höheren Frequenzen (VHF, UHF, Mikrowellengebiet) dominant.

Für Empfänger oberhalb etwa 50 MHz ist der Begriff der Rauschzahl wichtig.



S/N = Signal to Noise Ratio (Signal zu Geräuschverhältnis)

S = Signal

N = Noise (Geräusch, Rauschen)

Die Rauschzahl gibt also Auskunft, wieviel Rauschen der Empfänger zum Signal hinzugefügt hat, oder um wieviel das Signal-zu-Geräusch-Verhältnis am Eingang des Empfängers verschlechtert wird.

Da bei hohen Frequenzen die Geräusche von aussen wesentlich kleiner sind als die im Empfänger selbst generierten Rauschspannungen, ist die Rauschzahl eines Empfängers im VHF/UHF-Gebiet eine wesentliche Kenngrösse. Die Rauschzahl wird manchmal auch für einzelne Verstärkerstufen (wie HF-Vorstufen, Antennenverstärker, Mischer usw.) und auf Transistordatenblättern angegeben.

Die Rauschzahl wird auch oft in dB angegeben. Dieser Wert wird dann in der englischen Sprache mit "noise figure" bezeichnet.

Die Rauschzahl eines idealen Empfängers oder Verstärkers beträgt 1 oder 0 dB.

Noise figure:

$$F = 10 \lg f \quad (\text{dB})$$

Die Rauschzahl eines Empfängers wird im wesentlichen durch die Rauschzahl der HF-Eingangsstufe bestimmt. Deshalb ist es notwendig, diese Stufe möglichst mit kleiner Rauschzahl realisieren zu können. Dies ist ein Problem, denn einerseits sollte die HF-Eingangsstufe grosse Signale verarbeiten können, ohne Intermodulation zu erzeugen, andererseits aber für schwache Signale mit einer kleinen Rauschzahl arbeiten. Es gibt Empfänger, welche dieses Problem mit einem variablen Dämpfungsglied in der Antennenzuleitung lösen.

Wird der Empfängereingang durch eine verlustbehaftete Speiseleitung gespeist, so ist deren Rauschzahl ebenfalls in Betracht zu ziehen. Die Rauschzahl einer Speiseleitung (oder eines andern passiven Dämpfungsgliedes) ist gleich deren Dämpfung (in dB).

Für Kurzwellenempfänger wird oft nicht die Rauschzahl als Kenngrösse für die Empfindlichkeit angegeben, sondern man gibt die Grösse der Eingangsspannung an, welche am Ausgang ein bestimmtes Verhältnis zur Rauschspannung bildet.

Beispiel: Ein Empfänger hat eine Empfindlichkeit von $0.25 \mu\text{V}$ bei $10 \text{ dB } (S+N)/N$.

Es wird deshalb das $(S+N)/N$ -Verhältnis angegeben, weil dieses direkt bei Anschluss eines Messenders an den Antenneneingang gemessen werden kann: Man macht eine Messung ohne Signalspannung und misst das Rauschen. Eine zweite Messung führt man durch, indem man die Signalspannung so lange vergrössert, bis am Ausgang des Empfängers der NF-Pegel um 10 dB ansteigt. Die dann feststellbare Eingangsspannung gibt die Empfindlichkeit an.

Die Angabe der Empfindlichkeit auf diese Art hat einen Nachteil: Die Bandbreite des Empfängers spielt eine wesentliche Rolle: Je breiter die Durchlasscharakteristik, umso mehr Rauschen wird verstärkt. Die Angabe der Rauschzahl hingegen ist von der Bandbreite des Empfängers unabhängig.

8.8 UKW-Empfänger

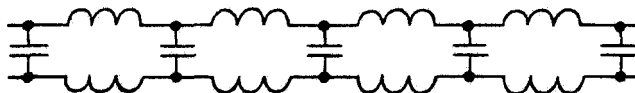
8.8.1 Spezielle Probleme bei höheren Frequenzen

Schwingkreise, wie sie in jedem Empfänger vorkommen, müssen bei steigenden Frequenzen aus immer kleiner werdenden Induktivitäten und Kapazitäten aufgebaut werden. Nun hat aber jedes Stück Leitung selbst eine gewisse Induktivität (Leitungsinduktivität) und eine Kapazität gegen andere Leiter, insbesondere auch gegen die Massenleiter und -flächen (sog. Schaltkapazität). Solche Induktivitäten und Kapazitäten sind natürlich unerwünscht, lassen sich aber in der Praxis nicht vermeiden. Sie bewirken, dass Schwingkreise aus diskreten Elementen (mit dazwischenliegenden Verbindungsleitungen) nicht bis zu beliebig hohen Frequenzen realisiert werden können. Die Grenze liegt bei einigen 100 MHz . Je nach Qualitätsansprüchen geht man aber beim Entwurf und Bau von UKW-Geräten unter Umständen schon bei tieferen Frequenzen ($50 \dots 100 \text{ MHz}$) von der konventionellen Bauweise mit aus diskreten L und C-Elementen aufgebauten Schwingkreisen ab.

Die Alternative wird gebildet durch die Technik der verteilten Bauelemente:

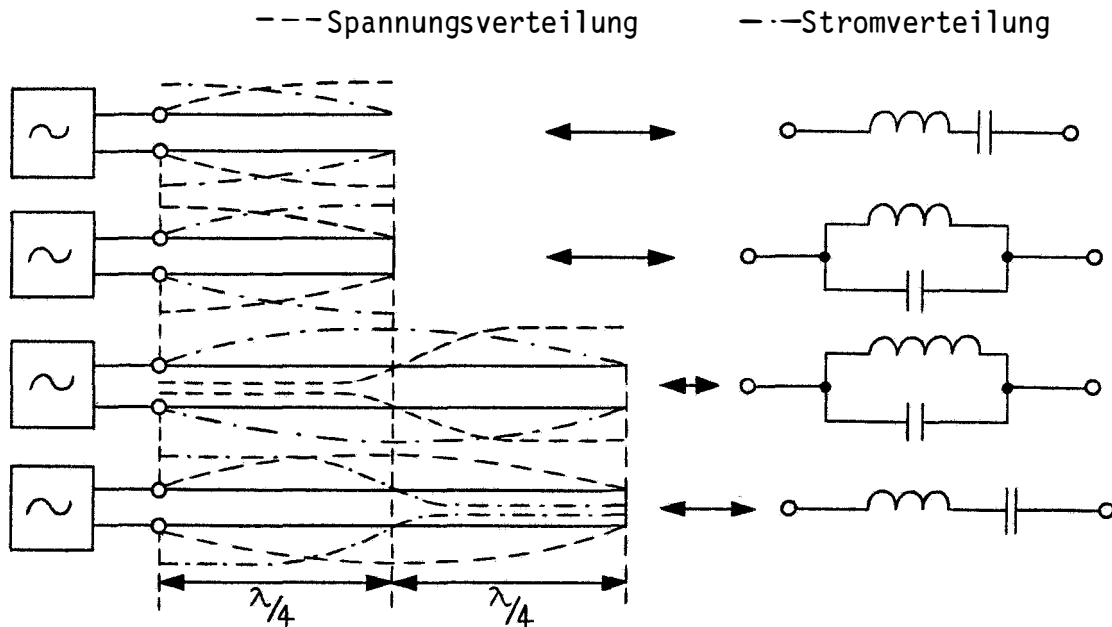
Lecherleitung
Koaxialsystem
Hohlleiter
Strip-Line

Alle Leitungen bestehen aus "verteilten Bauelementen". Das Ersatzschaltbild einer Leitung lässt sich ja bekanntlich aus einer grossen Anzahl Kapazitäten und Induktivitäten (und in der Praxis auch Widerständen) darstellen:



a) Lecherleitung:

Lecherleitungssysteme sind Paralleldrahtleitungen, welche eine Länge von meist $\lambda/4$ aufweisen. Betrachten wir einen Signalgenerator, der eine Paralleldrahtleitung speist. Je nach Länge der Leitung (geradzahliges oder ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/4$) und Abschluss sieht die Signalquelle eine andere Impedanz.



Paralleldrahtleitungen wirken wie Resonanzkreise. Die Resonanzfrequenz solcher Lechersysteme hängt von der Länge der Leitungen ab. Diese kann bei geeignetem Aufbau mechanisch verändert werden. Es ist auch möglich, die Resonanzfrequenz innerhalb gewisser Grenzen durch Hinzufügen von Kapazitäten an geeigneten Orten zu beeinflussen.

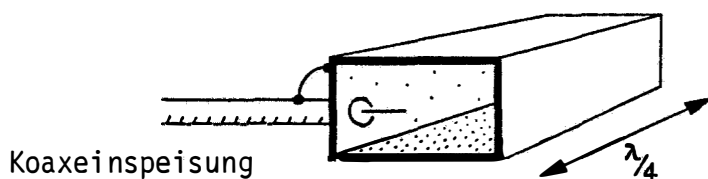
Die Güte eines Lechersystems hängt von der Leitfähigkeit der Leiter und von der Qualität des Dielektrikums ab. Es können recht hohe Q erreicht werden.

b) Koaxialsystem:

Koaxialleitungen funktionieren genau gleich wie Lecherleitungen, mit dem einzigen Unterschied, dass der Leiter ein Koaxialkabel ist anstelle einer Parallelleitung.

c) Hohlleiter:

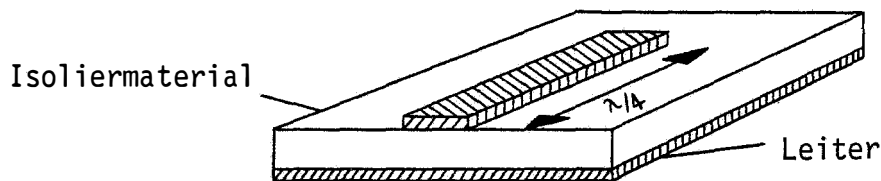
Hohlleiter sind Speiseleitungen im Mikrowellengebiet. Für Schwingkreiszwecke werden sie als sog. Hohlraumresonatoren ausgebildet. Ein Hohlleiter ist eine meist rechteckige Röhre. Die elektrische Energie wird dabei in Form einer elektromagnetischen Welle (bestehend aus elektrischem und magnetischem Feld) im Innern des Hohlleiters übertragen.



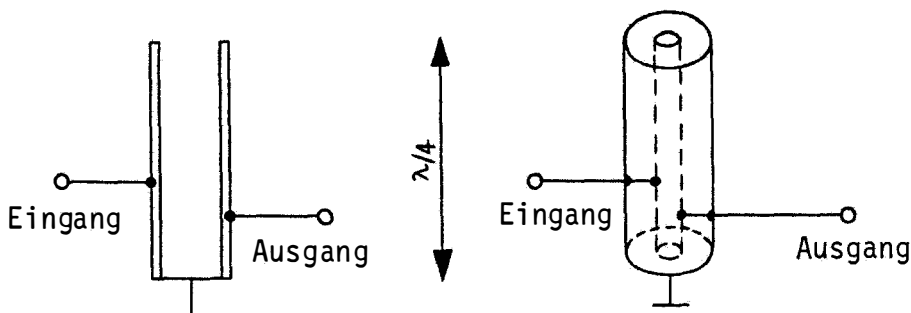
Die Ein- und Auskopplung kann auch über Hohlleiter geschehen oder aber durch kleine Sonden (Wirkung wie Antennen), welche ins Innere des Leiters ragen, bewerkstelligt werden.

d) Strip-Line:

Leitungen für hohe Frequenzen, die wie Schwingkreise funktionieren, lassen sich auch in der Technik der gedruckten Schaltungen ausführen. Eine Strip-Line ist ein rechteckförmiger Leiter auf einer Seite einer Isolierstoffplatte (gedruckte Schaltung), welche auf der andern Seite mit einer durchgehenden Metalloberfläche beschichtet ist. Diese stellt die sog. Grundplane das (Massenebene). Strip-Lines weisen jeweils, da sie auch Leitungen darstellen, einen bestimmten Wellenwiderstand auf.



Mit jeder dieser vier Möglichkeiten von Schwingkreisen mit verteilten Schaltelementen lassen sich Filter für Empfänger hoher Frequenz realisieren. Als Beispiel seien zwei Schaltungen angegeben (siehe unten).



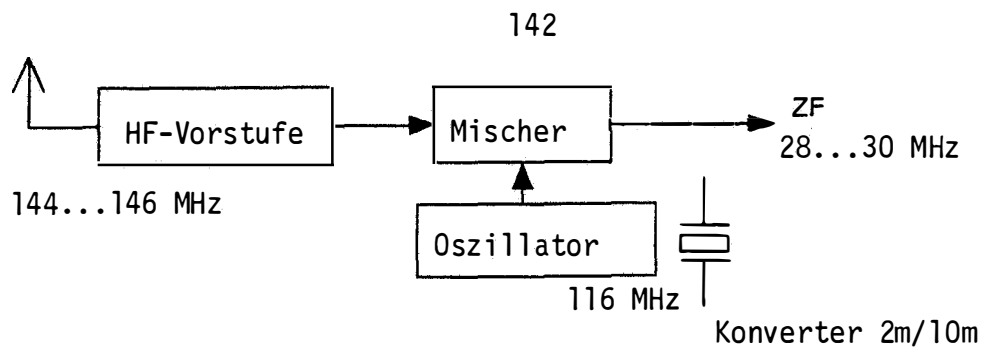
Lechersystem mit Impedanztransformation Eingang/Ausgang

Koaxsystem mit Impedanztransformation

8.8.2 Konverter

Besitzt man bereits einen guten KW-Empfänger, so braucht man sich nicht unbedingt einen eigentlichen UKW-Empfänger anzuschaffen, um auf dem 2 m-Band QRV zu werden.

Ein Konverter ist nichts anderes als der Eingangsteil eines UKW-Empfängers. Die entstehende Zwischenfrequenz wird so gewählt, dass sie in ein tieferliegendes Amateurband zu liegen kommt (für 2 m-Konverter liegt die ZF meist im 10 m-Band).



Vorteile des Konverterprinzips:

- Verwendung bestehender Empfänger als hochqualitative ZF-Verstärker (Nachsetzer)
- Bescheidener Aufwand

Nachteile des Konverterprinzips:

- Mögliche Betriebsart der Anlage hängt von den Möglichkeiten des Nachsetzers ab: Mit einer aus einem UKW-Konverter und einem KW-SSB-Empfänger bestehenden Anlage kann beispielsweise keine FM gehört werden.

Konverter sind auch besonders für noch höhere Frequenzen interessant:

1296MHz/144MHz, 1296MHz/30MHz, 432MHz/144MHz usw.

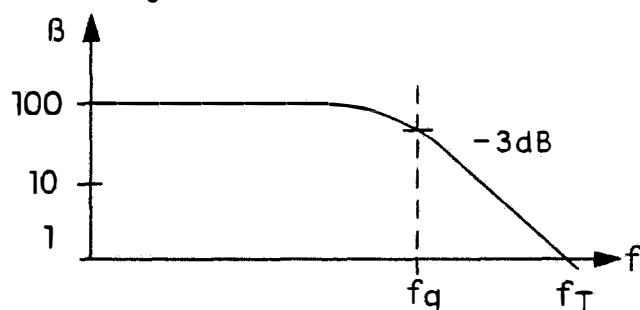
8.8.3 UKW-Empfänger

UKW-Empfänger unterscheiden sich grundsätzlich kaum von KW-Empfängern. Die Schwierigkeiten, welche beim Bau von UKW-Empfängern auftreten, liegen bei folgenden Problemkreisen:

- Grenzfrequenz der Transistoren
- Schwingkreise möglichst hoher Güte (siehe 8.8.1)
- Rauschen (siehe 8.7)

Die Grenzfrequenz der Transistoren ist durch innere Kapazitäten, Widerstände und Induktivitäten gegeben. Für HF-Transistoren wird oft die sog. Transitfrequenz definiert. Dies ist nicht etwa die höchste Frequenz, auf welcher der Transistor sich noch von seiner besten Seite zeigt. Nein, die Transitfrequenz gibt diejenige Frequenz an, für welche der Stromverstärkungsfaktor β (gilt für Emitterschaltung) 1 beträgt.

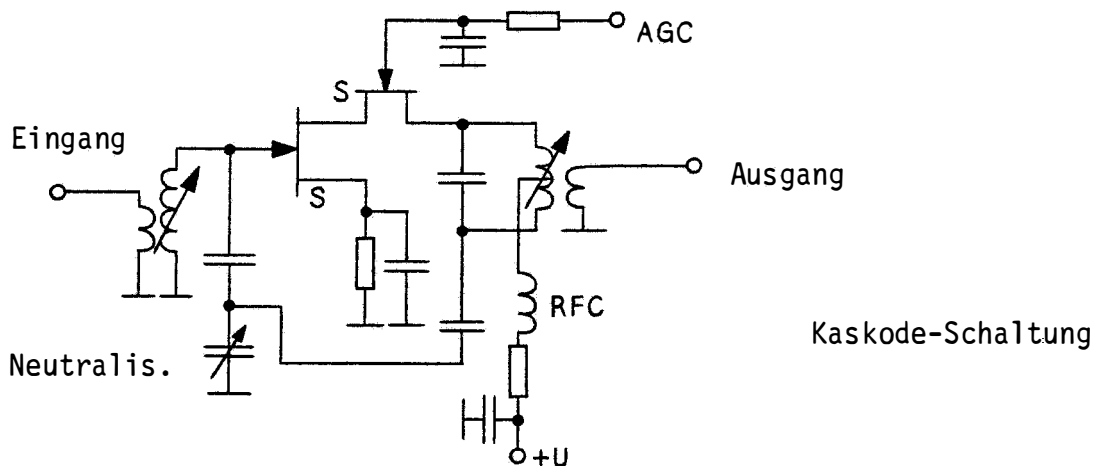
Als Grenzfrequenz eines Transistors bezeichnet man jene Frequenz, bei welcher die Stromverstärkung β um 3 dB gegenüber dem bei tiefen Frequenzen gültigen Wert abgesunken ist.



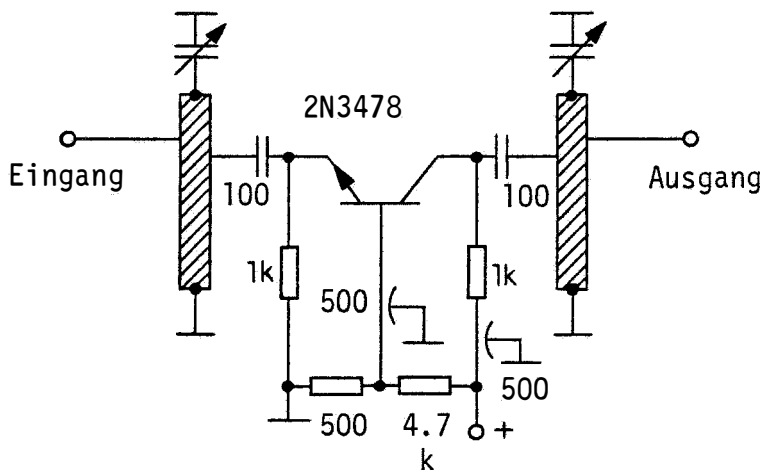
Es ist im 2m-Band immerhin noch möglich, geeignete Transistoren in absolut üblicher Weise als Emitterstufen als Verstärker einzusetzen (siehe Kapitel Verstärkertechnik).

Weil die Eingangskapazität einer solchen Stufe bei hohen Frequenzen schon empfindlich gross ist, greift man oft zu sog. Kaskodenverstärkern. Die Kaskodeschaltung besteht aus einem Transistor in Emitterschaltung und

einem direkt nachgeschalteten Transistor in Basisschaltung.



Für sehr hohe Frequenzen verwendet man oft Transistoren in Basisschaltung, da sie in dieser Betriebsart die höchste Grenzfrequenz erreichen.



UHF-Verstärker in Basisschaltung

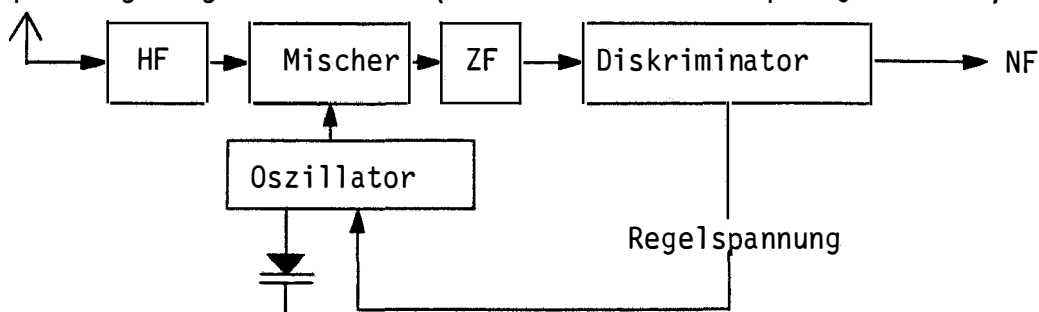
Wenn Transistoren nicht mehr vernünftig eingesetzt werden können (meist im Gigahertzbereich), greift man zu speziellen Geräten:

- Parametrische Verstärker
- Wanderfeldröhren (TWT Travelling Wave Tube)
- Maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Früher waren hochgezüchtete Röhren wie z.B. die Scheibentrioden im Einsatz.

8.8.4 AFC

Beim Empfang von frequenzmodulierten Sendern lässt sich eine automatische Frequenzregelung realisieren (AFC = Automatic Frequency Control).



Weicht die empfangene Frequenz von der eingestellten Frequenz ab, so wird im Diskriminator eine Regelspannung erzeugt (proportional zur Frequenzabweichung), welche (meist über eine Varicap-Diode) die Frequenz des Lokaloszillators nachregelt. Auf diese Weise werden Verschiebungen (Driften) der Sende- und Empfangsfrequenz innerhalb eines gewissen Bereiches ausgeglichen. Dafür besteht jedoch auch die Gefahr, dass stärkere Stationen in unmittelbarer Nachbarschaft der Empfangsfrequenz die Regelung wegziehen. Wegen dieses Effektes und wegen der hohen erzielbaren Stabilität der heutigen Empfänger wird heute vielfach auf die AFC verzichtet.

8.8.5 Squelch

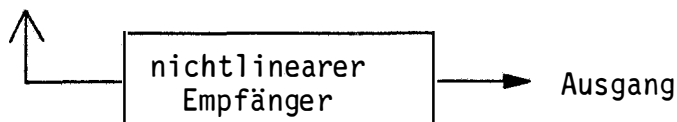
UKW-Empfänger weisen, insbesondere bei FM, einen hohen Rauschpegel am Ausgang auf, wenn kein Signal am Eingang eintrifft. Dieses Rauschen stammt hauptsächlich von Eigenrauschen des Empfängers. Es stört natürlich besonders dann, wenn man den Empfänger dauernd eingeschaltet haben möchte. Hier hilft eine Rauschunterdrückungsschaltung, kurz (engl.) "Squelch" genannt. Der Squelch detektiert meist die AGC-Spannung (z.B. mit einem Schmitt-Trigger). Falls die AGC-Spannung einen bestimmten (Schwell-Wert) unterschreitet, wird ein Transistor des NF-Verstärkers durch eine Vorspannung völlig gesperrt und lässt keine Tonfrequenz mehr durch.

8.9 Intermodulation und Kreuzmodulation

Intermodulation (IM, intermodulation) und Kreuzmodulation (KM, cross modulation) sind zwei störende Eigenschaften von Empfängern, die oft verwechselt werden. Sie spielen bei der Beurteilung eines Empfängers jedoch eine mindestens ebenso grosse Rolle wie z.B. die Empfindlichkeit oder die Bandbreite.

Intermodulation und Kreuzmodulation werden durch die nichtlinearen Transistorkennlinien verursacht.

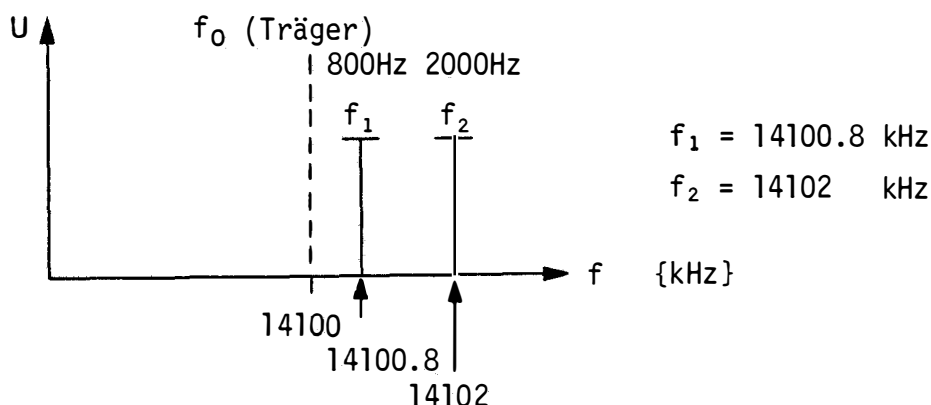
8.9.1 Intermodulation



Starke Signale am Eingang eines nichtlinearen Empfängers erzeugen neue Signale mit anderen als den ursprünglichen Frequenzen.

Diese neuen Frequenzen bilden sich infolge des kubischen Anteils einer Übertragungskennlinie und zwar jeweils als Summen und Differenzen der Grund- und Oberwellen zweier Eingangssignale.

Beispiel 1: Ein SSB-Sender (USB) werde auf seiner Trägerfrequenz von 14100 kHz mit zwei Tönen moduliert (Zweitontest). Die Frequenz der beiden Töne betrage 800 Hz bzw. 2000 Hz.



Durch die Uebertragung dieses Signals über eine Kennlinie mit kubischem Anteil entstehen nun die Produkte:

$$2 f_1 - f_2, \quad 3 f_1 - 2 f_2,$$

$$\underbrace{2 f_2 - f_1}, \quad \underbrace{3 f_2 - 2 f_1}, \quad \text{usw.}$$

Produkte 3. Ordnung (3rd order distortion) Produkte 5. Ordnung (5th order distortion)

In unserem Fall entstehen danach die neu generierten Frequenzen:

$$14099.6 \text{ kHz} \quad 14098.4 \text{ kHz}$$

$$14103.2 \text{ kHz} \quad 14104.4 \text{ kHz}$$

Die Störprodukte liegen also zu beiden Seiten der zwei Signale im Abstand von deren Differenzfrequenz.

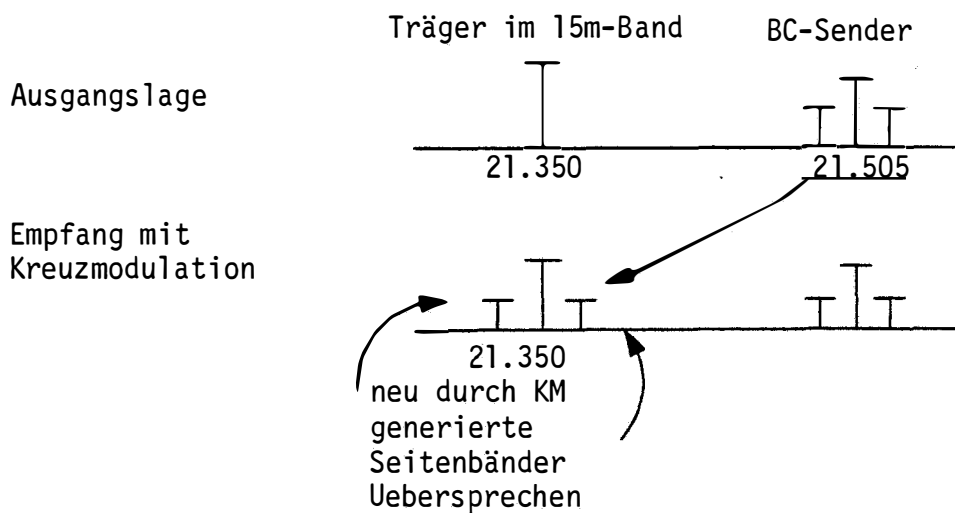
Beispiel 2: Man nehme an, die beiden Frequenzen f_1 und f_2 würden durch die Träger zweier Rundfunkstationen dargestellt, welche z.B. 50 kHz auseinanderliegen. Dann wird durch Intermodulation in einem Empfänger ein ganzes Störspektrum mit 50 kHz-Raster um die beiden Sender herum erzeugt. Liegen die BC-Sender beispielsweise im dem 15m-Amateur-Band benachbarten 13m-Rundfunkband, so wird der Empfang auf dem 15m-Band gestört.

8.9.2 Kreuzmodulation

Durch die Kreuzmodulation werden bestehende Signale (z.B. in ihrer Modulation) verändert.

Es handelt sich um eine Art Uebersprechen von einem Kanal auf einen andern.

Beispiel: Ein oberhalb des 15m-Bandes gelegener Rundfunksender. Im 15m-Amateurband werde ein Träger ausgestrahlt. Durch Kreuzmodulation der Signale an einer nichtlinearen Uebertragungskennlinie entstehen neue Produkte. Insbesondere entstehen um den Träger im 15m-Band herum Seitenbänder, welche die vom BC-Sender ausgestrahlte Modulation beinhalten.



Kreuz- und Intermodulation nehmen mit zunehmenden Amplituden am Empfänger-
 eingang stark zu. Deshalb sieht man oft Empfänger mit Abschwächungsglie-
 dern (Attenuatoren, z.B. 20 dB fix oder regelbar) vor dem 1. HF-Verstär-
 ker. Dadurch werden alle Eingangssignale in der Amplitude herabgesetzt,
 und die Störsignale wirken sich weniger stark aus.

8.9.3 Andere Empfangsstörungen

Störende Signale im empfangenen Spektrum müssen nicht unbedingt von IM
 oder KM herrühren (obwohl IM zwar die wichtigste Ursache von Empfangs-
 störungen darstellt), sondern können auch von im Empfänger selbst erzeug-
 ten Mischprodukten stammen. Beispiele sind Oberwellen der VFO-Frequenz,
 die mit irgendeinem Empfangssignal gemischt die ZF ergeben oder die selbst
 an gewissen Stellen in die ZF fallen. Hier gibt es sehr viele Möglichkei-
 ten. Doppelsuper und Dreifachsuper sind auf solche intern generierte
 Störsignale anfälliger als Einfachsuper. Nicht zu vergessen sind auch
 Oberwellen von Rundfunkstationen: Es gibt nicht wenige KW-Rundfunkstatio-
 nen hoher Leistung mit schlechter Oberwellenunterdrückung (Bsp. 41m-Band/
 20m-Band).

9. Sendertechnik

Mit einem Sender wird Gleichstromenergie in hochfrequente Energie bestimm-
 ter Leistung und Frequenz umgeformt. Da Information übermittelt werden
 soll, muss eine Modulator- oder Taststufe vorhanden sein. Ein gewöhnlicher
 Sender besteht hauptsächlich aus (analogen) Verstärkern, welche folgende
 Funktionen erfüllen:

- Oszillator (Schwingungserzeugung)
- Vervielfacher (Frequenzmultiplikator)
- Verstärker
- Modulator
- Treiber (Ansteuerung der Leistungsstufe)
- Leistungsverstärker

Das über die Antenne nach aussen abgestrahlte Sendesignal stellt die
 "Visitenkarte" des Amateurs dar. Es ist deshalb im eigenen, sowie auch im
 Interesse der anderen Amateure und Funkdienste wichtig, der Qualität des
 Senders die volle Aufmerksamkeit zu schenken.

Wichtige Eigenschaften sind beispielsweise:

- Stabilität der Frequenz
- gute Trägerunterdrückung (SSB)
- geringe Ober- und Nebenwellenerzeugung
- Verzerrungen des Signals möglichst klein
- angepasste Ausgangsleistung

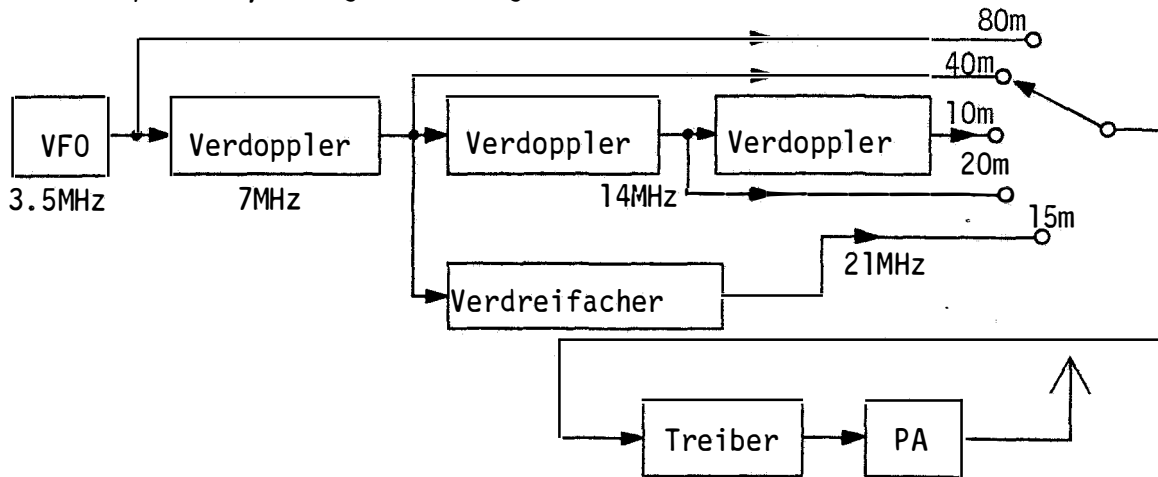
9.1 Blockschaltbilder

Uebersichtshalber werden hier die Blockschemata einiger Sendertypen ange-
 geben.

Wesentliche Kapitel der Sendertechnik sind mit denjenigen der Empfangs-
 oder Verstärkertechnik identisch, so dass in den nachfolgenden Kapiteln
 auf die Grundlagen der Verstärkertechnik nicht mehr eingegangen werden
 muss.

9.1 .1 CW-Sender

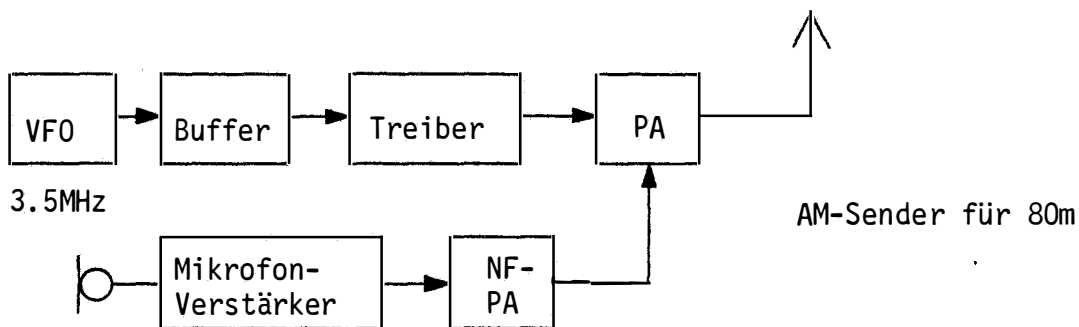
Die einfachsten Telegrafiesender besitzen nur einen Oszillator (VFO = Variable Frequency Oscillator, d.h. Oszillator mit variabler Frequenz), dessen Signal in Vervielfacherstufen verdoppelt bzw. verdreifacht wird. Die Leistungsendstufe kann umschaltbar für die Amateurbänder konstruiert werden. Die Treiberstufe erzeugt die zur Ansteuerung der Endstufe (PA = Power Amplifier) nötige Leistung.



Einfacher CW-Sender

9.1.2 AM-Sender

Ein AM-Sender kann ebenfalls schon mit einfachen Mitteln realisiert werden. Dabei ist dem obigen CW-Sender nur der Modulator mit dem zugehörigen NF-Verstärker hinzuzufügen. Dargestellt (als Beispiel) sei hier ein Einband-AM-Sender für 80m.

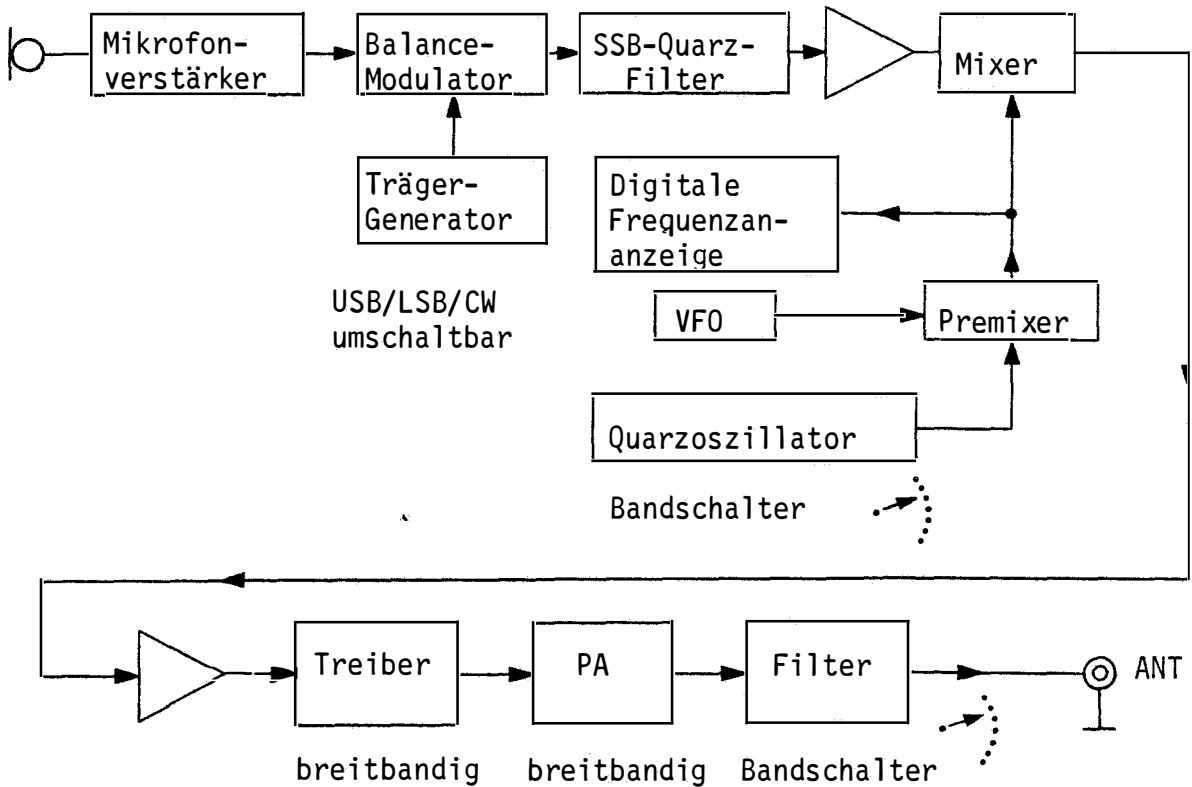


AM-Sender für 80m

Die als Buffer bezeichnete Stufe trennt den Oszillator von den Leistungsstufen, um die Rückwirkung der Endstufe auf die Oszillatorfrequenz klein zu halten.

9.1.3 SSB-Sender

SSB-Sender sind schaltungsmässig wesentlich aufwendiger als AM-Sender. Die Modulation wird grundsätzlich auf geringem Leistungsniveau erzeugt. Da es sich um eine (amplituden-) lineare Modulation handelt, müssen die darauf folgenden Verstärker linear sein.



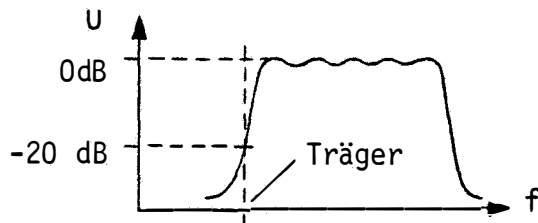
Beispiel eines SSB-KW-Senders

Das Quarzfilter in der Sende-ZF hat zwei Aufgaben:

- Beschränkung der Sendebandbreite auf ca. 2.1 kHz.
- Abschwächen des durch unsymmetrisch Bauelement-Toleranzen im Balance-Modulator entstandenen Restträgers.

(Man legt die Durchlasskurve des Quarzfilters so, dass der Restträger auf die Filterflanke fällt.)

Die Trägerunterdrückung kann so um ca. 20 dB verbessert werden.



Es ist vorteilhaft, am Ausgang einer breitbandigen transistorisierten Senderendstufe ein Filter anzubringen, da sonst die Intermodulationsverzerrungen und die Oberwellen ein unzulässig hohes Mass annehmen können.

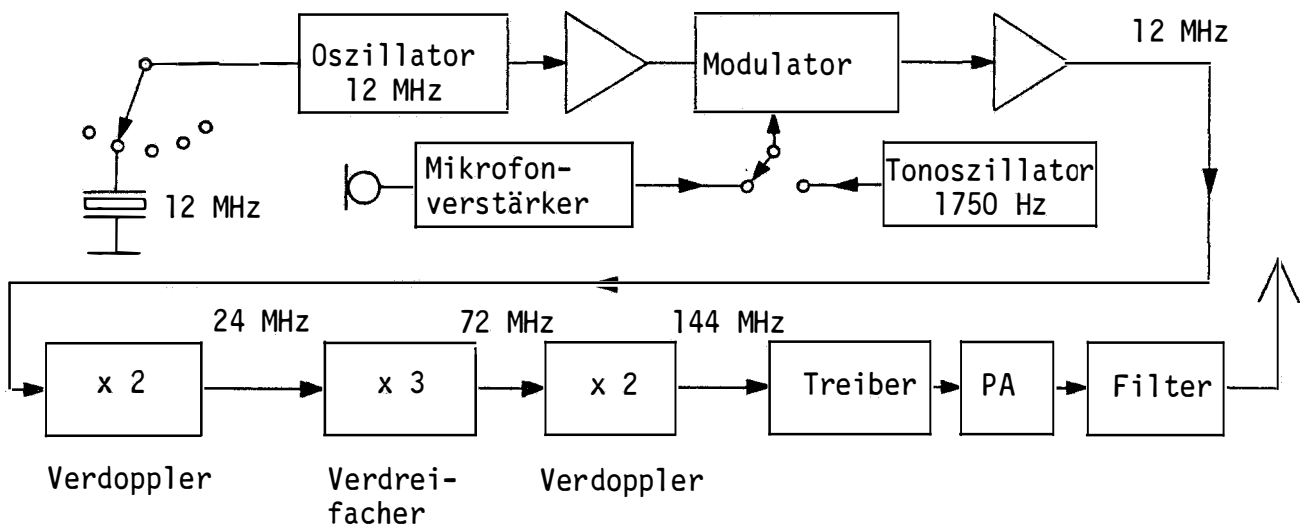
9.1.4 FM-Sender

FM-Sender werden hauptsächlich für das 2m- und 70cm-Band gebaut. Die Frequenzaufbereitung ist meist etwas umständlicher als bei einem KW-Sender. Dies aus folgenden Gründen:

- Quarzoszillatoren schwingen besser auf tiefen Frequenzen
- Schaltungen niedriger Frequenz lassen sich stabiler aufbauen
- Gute Nebenwellen- und Oberwellenunterdrückung ist mit LC-Kreisen auf hohen Frequenzen schwierig zu erreichen.

Es sei auch hier ein Schaltungsbeispiel angegeben (Quarzgesteuertes Kanalgerät für 2m). Die Frequenzerzeugung geschieht im 12 MHz-Gebiet, wo auch moduliert wird. Anschliessend wird in 3 Stufen vervielfacht und verstärkt.

FM-Sender enthalten meist einen Tonoszillator (1750 Hz), der verwendet wird, um eine Relais-Station in Betrieb zu setzen.



9.2 Oszillatoren

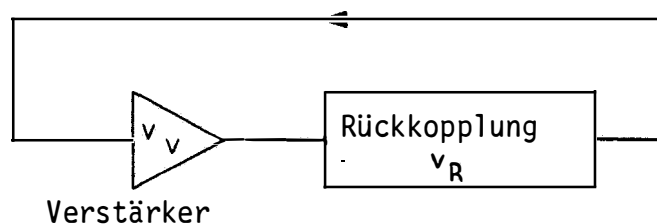
Bei Oszillatoren unterscheidet man zwischen:

- Durchstimmbaren Oszillatoren (sog. VFO = Variable Frequency Oscillator)
- Festfrequenz-Oszillatoren (z.B. Quarzoszillator)

Man bezeichnet nicht-quarzgesteuerte Oszillatoren auch als "freischwingend".

9.2.1 Grundlagen

Ein Oszillator besteht aus einem Verstärker und einem Rückkopplungsglied.



Eine solche Anordnung beginnt zu schwingen, wenn die Rückkopplung genügend stark ist und das Signal in der richtigen Phasenlage an den Verstärkereingang rückgeführt wird.

Mathematisch drückt man die Schwingbedingung am besten durch die beiden Verstärkungsfaktoren v_V (Verstärker) und v_R (Rückkopplung) aus:

$$a) \quad \boxed{v_R \cdot v_V = 1}$$

und

- b) Gesamtphasenverschiebung (Verstärker und Rückkopplungsglied)
0, 360°, 720°, ...

Wenn der Verstärker die Phase des Signals verändert, dann muss diese Phasendrehung durch das Rückkopplungsglied wieder kompensiert werden. Um die Schwingfrequenz eines Oszillators genau voraussagen zu können, verwendet man als Rückkopplungsglieder frequenzabhängige Anordnungen.

Danach richtet sich auch eine Benennungsart für Oszillatoren:

Rückkopplung enthält nur R und C : RC-Oszillator

Rückkopplung enthält nur L und C : LC-Oszillator

Die verschiedenen Oszillatortypen beruhen alle auf ein und demselben Prinzip, sie unterscheiden sich nur in ihrer Rückkopplung. So gibt es u.a. folgende Typen (es seien nur die wichtigsten genannt):

- Wien-Oszillator (NF, RC-Typ)
- RC-Phasenschieber-Oszillator (NF, RC-Typ)
- Hartley-Oszillator (HF, LC-Typ)
- Colpitts-Oszillator (HF, LC-Typ)
- Meissner-Oszillator (HF, LC-Typ)
- Clapp-Oszillator (HF, LC-Typ)
- Franklin-Oszillator (HF, LC-Typ)
- Pierce-Oszillator (HF, Quarz als Rückkopplung)

Kann die Schwingbedingung eines Oszillator wirklich genau erfüllt werden? Es wird ja gesagt, dass das Produkt der beiden Verstärkungsfaktoren genau 1 sein muss, damit die (Sinus-) Schwingung aufrechterhalten wird. Bei allen Bauelementen gibt es nun aber Toleranzen, so dass diese Forderung nicht einzuhalten ist.

Man macht in der Praxis deshalb den Verstärkungsfaktor etwas grösser als notwendig (damit schwingt der Oszillator sicher an). Nun nimmt aber die Amplitude der Schwingung nach dem Einschalten laufend zu, und zwar solange, bis der Verstärker übersteuert wird (Begrenzung). Dadurch würden zahlreiche Oberwellen generiert.

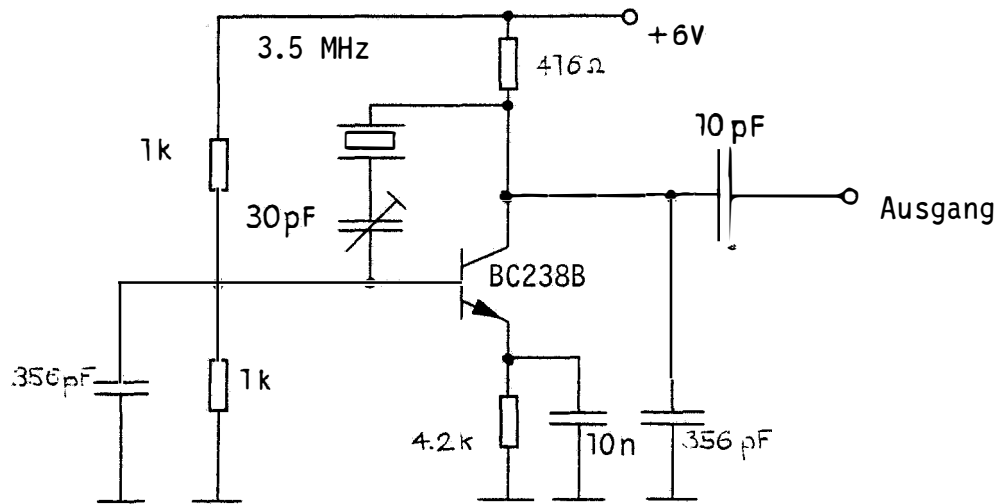
Man sollte deshalb in einem Oszillator eine Amplituden-Regelschaltung einbauen. Dies liesse sich mit einer der ALC/AGC-Schaltungen bewerkstelligen. Eine andere Möglichkeit, den gewünschten Regeleffekt zu erhalten, besteht in der Verwendung von Regeltransistoren (oder überhaupt von Verstärkerelementen mit nichtlinearer Transferkennlinie). Dabei kann die Schaltung so aufgebaut werden, dass die Regelspannung automatisch generiert wird (z.B. über den Gleichrichtereffekt der Basis-Emitter-Strecke) und nicht durch eine AGC-Schaltung zugeführt werden muss.

9.2.2 Quarzoszillatoren

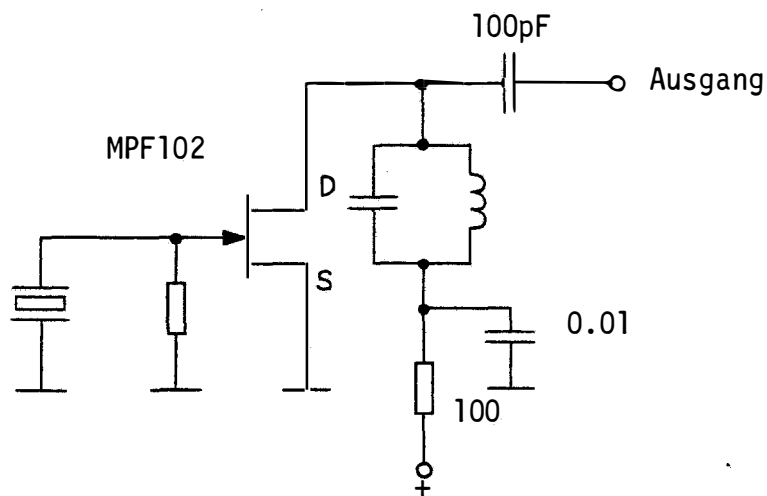
Quarzoszillatoren verwenden Quarze in ihrer Eigenschaft als Schwingkreise hoher Güte anstelle von RC- oder LC-Rückkopplungsgliedern.

Quarze können auf ihrer Grundfrequenz oder auf einer Harmonischen schwingen (sog. Obertonquarze).

Es seien hier zwei Beispiele von Quarzoszillatoren angegeben.



Pierce-Oszillator, Quarz in Serie-Resonanz



Quarzoszillator mit JFET

9.2.3 Durchstimbare Oszillatoren (VFO)

Um die Oszillatorfrequenz verändern zu können, muss ein Element (bei LC-Typen die Kapazität oder die Induktivität) variiert werden. Genau wie bei abgestimmten Selektivverstärkern kann das L oder das C variabel ausgestaltet sein, meist wird jedoch aus konstruktiven Gründen Kapazitätsabstimmung bevorzugt (Drehkondensatoren sind eher im Handel erhältlich als Spulen veränderlicher Induktivität).

Durch Verwendung einer Kapazitätsdiode lässt sich ein Oszillator sogar elektronisch (statt mechanisch) in der Frequenz verstimmen (VCO = Voltage Controlled Oscillator).

Verschiedene Umstände sind zu beachten, um eine hohe Frequenzkonstanz eines LC-Oszillators zu erreichen:

Temperaturstabilität:

Weil sich die Schwingkreis-Kapazität und die Schwingkreis-Induktivität eines LC-Oszillators mit der Temperatur verändern, ändert sich auch die Oszillatorfrequenz entsprechend.

Ein Oszillator sollte in einem möglichst grossen Temperaturbereich eine konstante Ausgangsfrequenz liefern. Die TK-Werte (TK = Temperaturkoeffizient) der Spulen und Kondensatoren sind deshalb beim Bau eines Oszillators zu beachten und aufeinander abzustimmen. Meist hat die Spule einen positiven Temperaturkoeffizienten. Deshalb sind Kondensatoren mit negativem TK zu verwenden.

Die Anforderungen an die Frequenzstabilität moderner SSB-Empfänger sind recht hoch. Meist ist die Drift des VFO kleiner als 100 Hz während der Aufheizperiode und dem nachfolgenden Betrieb.

Speisespannungsschwankungen:

Ein weiteres Frequenzstabilitätsproblem wird durch die Speisespannungsschwankungen hervorgerufen.

Die Versorgungsspannung eines VFO ist deshalb in jedem Fall speziell sorgfältig zu stabilisieren. Spannungsschwankungen von $\pm 10\%$ dürfen keine grösseren Frequenzsprünge als ± 100 Hz. verursachen.

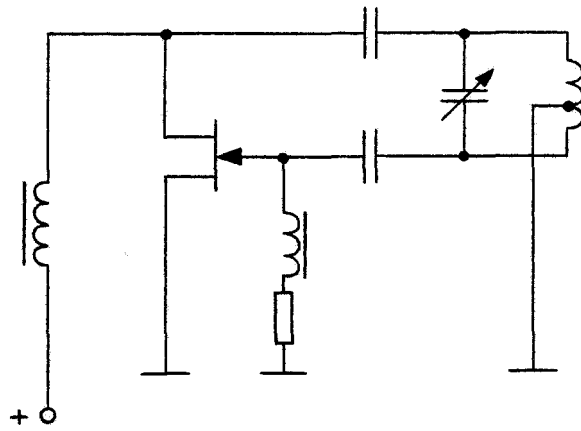
Lastschwankungen:

LC-Oszillatoren sind oft auch empfindlich auf Schwankungen des Lastwiderstandes. In diesem Fall wird zwischen Oszillator und nachfolgenden Stufen eine Trennstufe (Buffer, Pufferstufe) eingefügt.

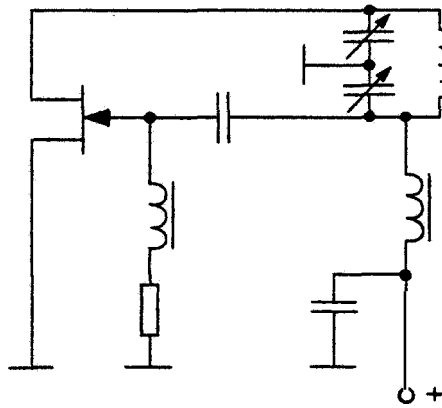
Mechanische Stabilität:

Die Stabilität des mechanischen Aufbaus von Spule und Kondensator ist ebenfalls wichtig. Wenn die Spule oder der Kondensator mechanisch zu schwingen beginnen, falls das Gerät bewegt wird, überträgt sich diese mechanische Schwingung auf die Oszillatorfrequenz. Diesen Effekt nennt man "Mikrofonie". Er kann eine Frequenz- und Amplitudenmodulation des Oszillators bewirken.

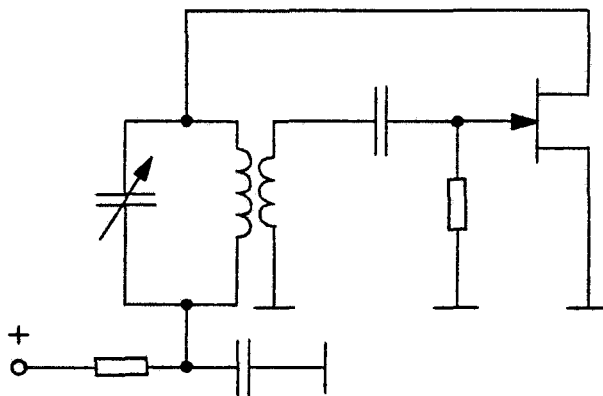
Hartley-Oszillator (induktive Dreipunktschaltung):

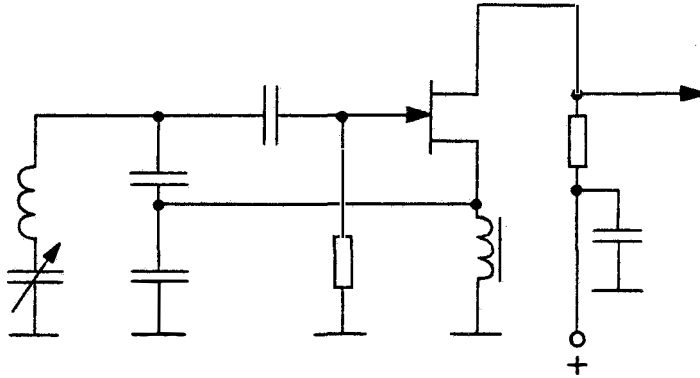
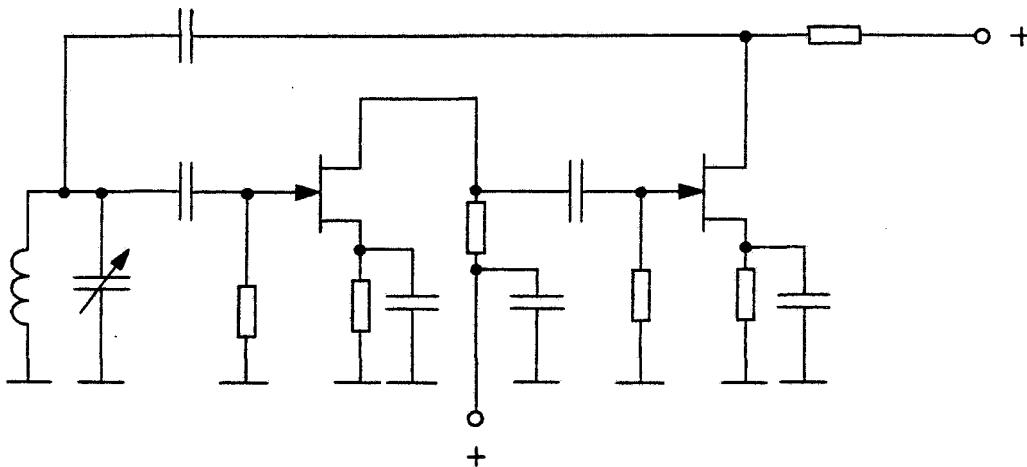


Colpitts-Schaltung (kapazitive Dreipunktschaltung):

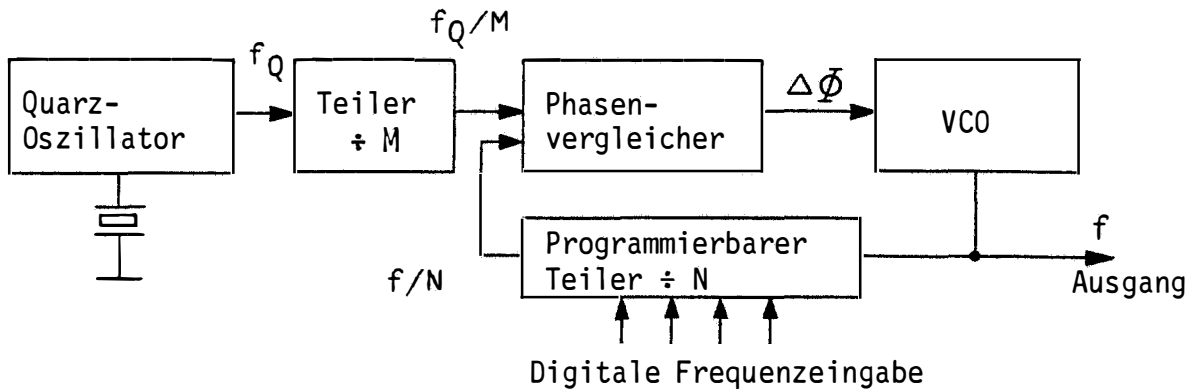


Meissner-Schaltung:



Clapp-Schaltung:Franklin-Schaltung:9.2.4 Frequenz-Synthesizer

Die heutige Digitaltechnik erlaubt die Anwendung eines neuen Prinzips für die Erzeugung genauer Frequenzen. Ein VCO generiert ein Signal bestimmter Frequenz. Dieses wird digital in einem sog. "programmierbaren Teiler" frequenzmässig durch einen einstellbaren Faktor dividiert. Am Ausgang des Teilers entsteht deshalb eine tiefere Frequenz. Dieses Signal wird nun in einer Phasenvergleichsstufe (Phase Comparator) mit einer fixen Referenz (erzeugt durch einen Quarzoszillator) verglichen. Wenn die Ausgangsfrequenz des Teilers nicht mit der Referenz übereinstimmt, wird ein Korrektursignal erzeugt, welches die VCO-Frequenz in den Gleichgewichtszustand steuert. Dann ist die VCO-Frequenz quarzstabilisiert.



Die Möglichkeiten einer solchen Anordnung sind nur beschränkt durch den Aufwand der Teiler sowie die Einschwingzeit, die toleriert werden kann. Eine digitale Frequenzanzeige ist im Konzept des Synthese-Oszillators bereits enthalten: Sie besteht aus den Schaltern, mit welchen der Faktor N eingestellt wird.

Da ein solcher Oszillator nicht kontinuierlich durchstimmbar ist, sondern nur auf einer endlichen Anzahl "Kanälen" betrieben werden kann, wird er oft auch "Rastroszillator" genannt.

Ein Beispiel für die Frequenzen im Prinzipschaltbild:

$$\begin{aligned}
 f_Q &= 100 \text{ kHz} \\
 M &= 100 \\
 f_Q/M &= 1 \text{ kHz} \\
 N &= \text{zwischen 3500 und 3800 in ganzen Zahlen einstellbar} \\
 f/N &= 1 \text{ kHz} \\
 f &= 3500, 3501, 3502, \dots, 3798, 3799, 3800 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

Nach diesem einfachen Beispiel könnte also ein "VFO" gebaut werden, welcher im ganzen 80m-Band in 1 kHz-Stufen durchstimmbar ist und dabei Quarzgenauigkeit ausweist.

9.2.5 NF-Oszillatoren

NF-Oszillatoren sind Oszillatoren, welche Frequenzen im Gebiet zwischen einigen Hz und etwa 20 kHz erzeugen.

Für Amateure werden sie verwendet als:

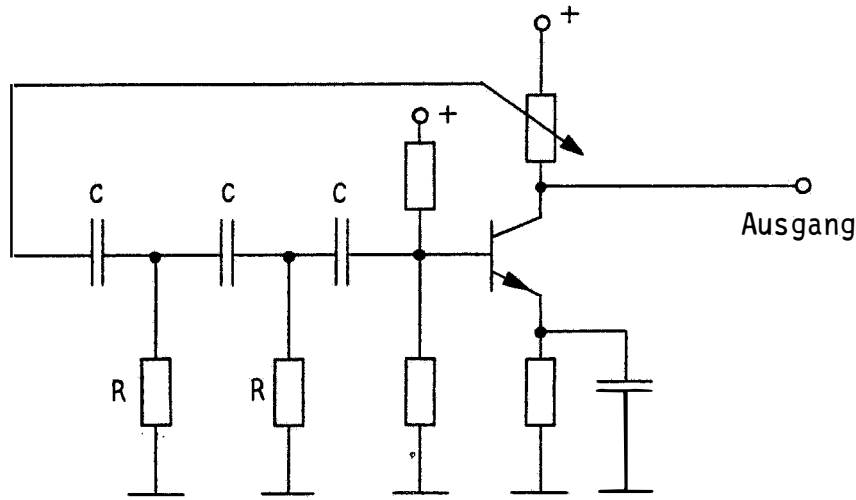
- Mithörtonoszillator für CW-Sender
- Tongenerator in FM-Sendern für Relaisbetrieb
- Oszillatoren für Testzwecke (z.B. Zweitontest für SSB-Sender zur Ermittlung der IM-Produkte)
- AFSK-Generatoren für Fernschreibetrieb

Genau wie bei HF-Oszillatoren lassen sich auch NF-Oszillatoren mit LC-Kreisen als Rückkopplungsglieder bauen. Dabei werden jedoch der Induktivitäts- und der Kapazitätswert recht gross.

Im NF-Bereich werden deshalb bevorzugt RC-Oszillatoren verwendet, worunter hauptsächlich der Wien-Oszillator und der RC-Phasenschieber-Oszillator fallen.

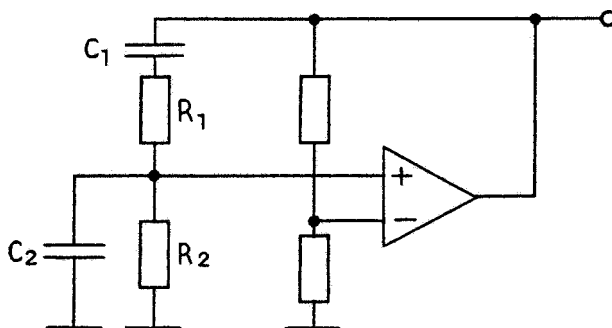
Beim Phasenschieber-Oszillator macht man sich die (frequenzmässige) Phasendrehung eines RC-Netzwerkes zunutze. Im Zusammenhang mit einem invertierenden Verstärker (Transistor) muss diese Phasenverschiebung 180° betragen.

Dies ist nur bei einer bestimmten Frequenz der Fall, so dass die Schwingfrequenz des Oszillators genau durch die R- und C-Werte definiert werden kann.



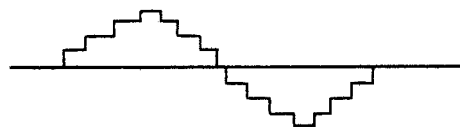
RC-Phasenschieber-Oszillator

Eine andere verbreitete NF-Oszillatorschaltung ist, wie bereits erwähnt, die Wien-Schaltung. Auch bei ihr wird ein RC-Rückkopplungsglied verwendet, das allerdings etwas günstigere Eigenschaften aufweist als ein gewöhnlicher Phasenschieber. Die Verstärkung des Verstärkers muss auch im Vergleich zum Phasenschieberoszillator weniger gross sein, was sich günstig auf die Stabilität auswirkt.



Wien-Oszillator
(Wien-Brücke)

Auch für die Erzeugung stabiler Frequenzen im NF-Gebiet können Quarzoszillatoren herangezogen werden. Quarze schwingen jedoch auf einer höheren Frequenz, so dass die Schaltungen etwas aufwendiger werden. Man macht sich auch hier die Digitaltechnik zunutze. Dabei wird die sin-Kurve durch ein Treppensignal angenähert.



Ausgangssignal eines digitalen NF-Oszillators

Ein solcher digitaler NF-Oszillator weist natürlich gegenüber der reinen sin-Schwingung Ober- und Nebenwellen auf, die jedoch leicht mit einem Filter entfernt werden können. Solche Oszillatoren werden z.B. als AFSK-Generatoren für RTTY verwendet, wo es darauf ankommt, möglichst genaue Mark- und Space-Frequenzen zu erzeugen (wichtig ist vor allem der Unterschied der beiden Frequenzen; die Shift).

9.3 Frequenzvervielfacher

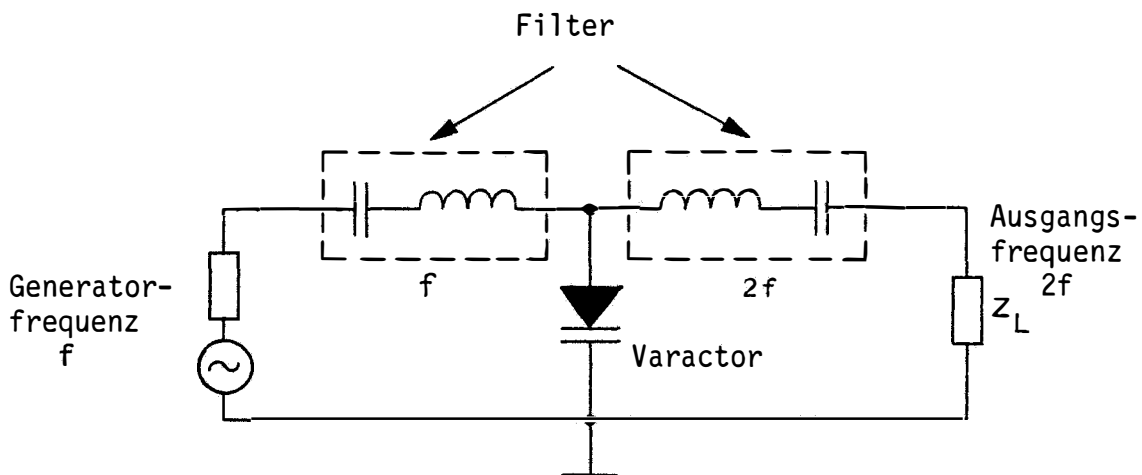
Frequenzvervielfacher wurden früher vor allem für Allband CW- und AM-Sender verwendet. Heute dienen sie der Signalaufbereitung für VHF/UHF-Sender. Realisiert werden Frequenzvervielfacher entweder durch Verstärkerschaltungen mit Transistoren oder mit speziellen Schaltungen mit Kapazitätsdioden.

Naheliegender ist die erste Möglichkeit:

Wählt man den Arbeitspunkt eines an sich gewöhnlichen Verstärkers absichtlich im nichtlinearen Bereich der Kennlinie, so entstehen Oberwellen. Am Ausgang des nichtlinearen Verstärkers muss dann nur noch die entsprechend gewünschte Harmonische ausgefiltert werden. Am üblichsten sind Verdoppler und Verdreifacher (engl. Frequency Doubler bzw. Tripler). Es sind auch Vervielfacherstufen höheren Grades denkbar, nur sinkt der Wirkungsgrad einer Stufe mit zunehmendem Vervielfachungsfaktor.

Ohne Stromversorgung kommt die 2. Art Vervielfacher aus:

Kapazitätsdioden-Vervielfacher oder auch Varactor-Vervielfacher genannt. Die spannungsabhängige Kapazität der Kapazitätsdiode wirkt als nichtlineares Element, welches die Eingangskurvenform so verzerrt, dass genügend Oberwellenleistung entsteht. Der Wirkungsgrad der Varactor-Vervielfacher ist vergleichsweise sehr hoch.



Prinzipschaltbild einer Varactor-Vervielfacherstufe

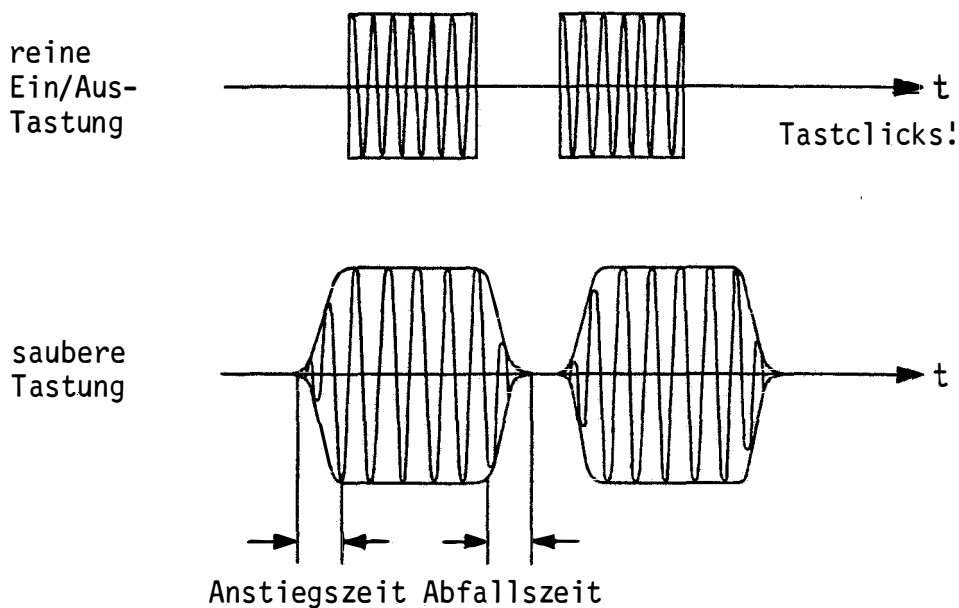
Im Eingangskreis der Schaltung kann infolge des Filters nur ein Signal der Frequenz f vorhanden sein. Am Ausgang entsteht die doppelte Frequenz, ebenfalls durch ein entsprechendes Filter beeinflusst. Varactor-Vervielfacher sind bis ca. 100 W Ausgangsleistung realisierbar. Ein Anwendungsbeispiel wäre ein Verdreifacher von 144 MHz auf 432 MHz für FM. Für SSB sind Vervielfacher nicht anwendbar.

9.4 Tastung

Ein für Telegrafie-Betrieb vorgesehener Sender muss mit einer Morsetaste ein/aus-getastet werden können. Es stellt sich dabei unwillkürlich die Frage, wo dies vorgenommen werden soll. Einige Möglichkeiten:

- Tastung des Oszillators
- Tastung einer Zwischenstufe
- Tastung der Endstufe (PA)

Eine "saubere" Tastung weist nicht zu kurze Anstiegs- und Abfallzeiten auf. Diese Zeiten dürfen andererseits auch nicht so lange sein, dass die einzelnen Zeichen "verwischt" werden. Eine reine ein/aus-Tastung mit unendlich steilen Flanken würde ein breites ausgesendetes Spektrum verursachen. Man bezeichnet diese Erscheinung als "Tastclicks". Sie ist natürlich nicht erwünscht, da dabei der Empfang benachbarter Stationen gestört wird.

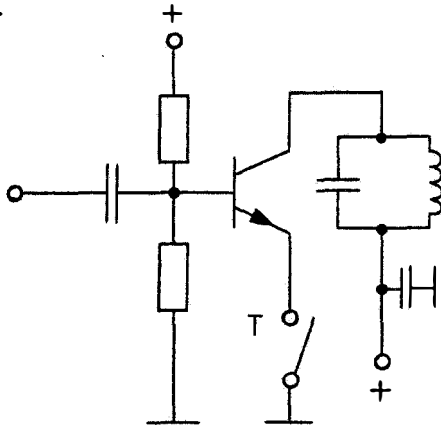


Eine einmal erzeugte saubere Tastung kann nur noch linear verstärkt werden, wenn die Anstiegs- und Abfallzeiten nicht verändert werden sollen. C-Verstärker verändern die Kurvenform des getasteten Signals. Ein unerwünschter Effekt der Tastung. Dies erfolgt meistens durch eine tastabhängige Laständerung am Ausgang des Oszillators. Um diese Rückwirkung möglichst klein zu halten, fügt man zwischen Oszillator und Taststufe einen oder mehrere Pufferstufen (Buffer) ein.

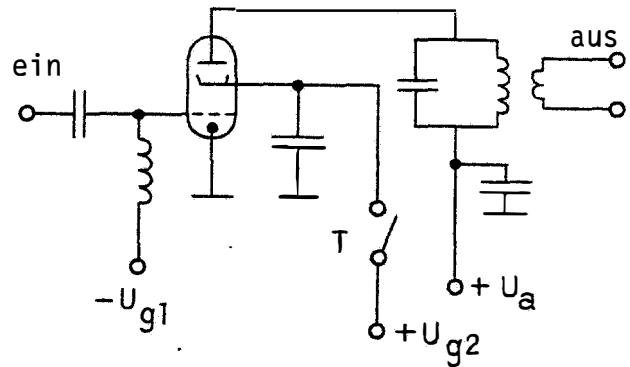
Bei Tastung des Oszillators besteht grosse Gefahr, tastabhängige Frequenzänderungen zu verursachen. Diese Erscheinung heisst "Chirp". (Beachte: Eine langsame, nicht tastabhängige Wanderung der Frequenz heisst "Drift".)

Deshalb wird nur selten der Oszillator allein getastet. Jeder Verstärker kann getastet werden. Es wäre denkbar, die HF-Spannung in der Verbindungsleitung zweier Verstärkerstufen zu tasten. Der Nachteil dieser Lösung ist die Schaltkapazität, welche immer vorhanden ist und auch in den Tastepausen das Signal über die Taste koppelt.

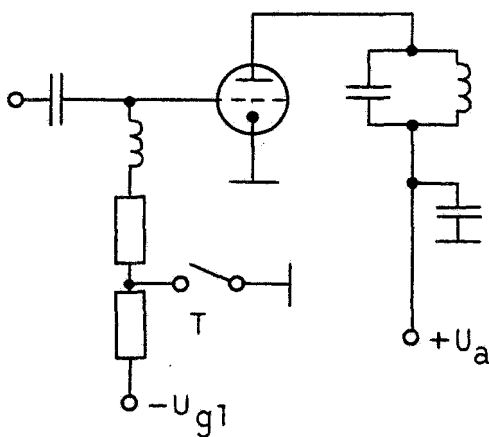
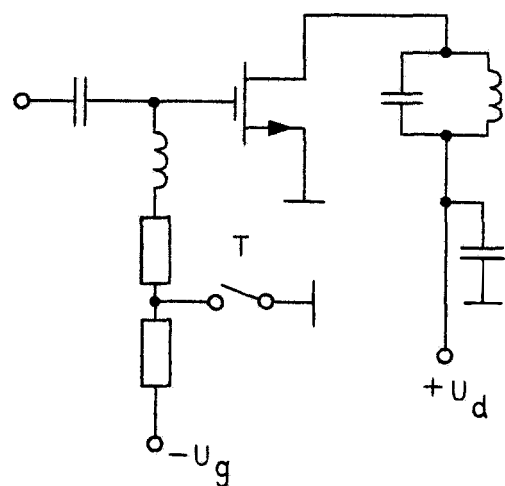
Weit verbreitet ist das Tasten eines Verstärkers durch Verändern der Gleichspannungen. Einige solche Beispiele sind nachstehend aufgezeichnet:



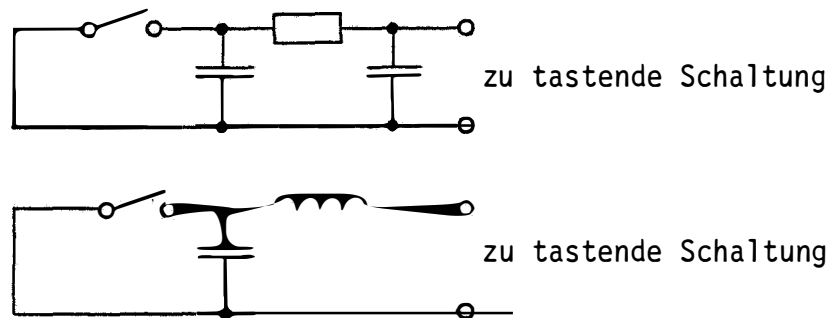
Tastung im Emitterkreis



Schirmgittertastung

Gittertastung mit
SperrspannungSperrspannungstastung mit
MOSFET

Zwischen Taste und zu tastender Schaltung sollte man immer ein Tiefpassglied einfügen, welches aus mindestens einer RC- oder einer LC-Kombination besteht. Dieser Tiefpass verhindert das Entstehen des Tastclicks.

Beispiele:

Bisher wurde stillschweigend angenommen, dass unter "Tastung" die Tastung der Amplitude (ein/aus) zu verstehen sei. Man spricht jedoch auch von Frequenzastung (FSK = Frequency Shift Keying) und Phasentastung (PSK = Phase Shift Keying). FSK wird in Amateurgeräten für RTTY-Betrieb verwendet und wird im Oszillator durchgeführt, indem man parallel zum Oszillator - C eine weitere Kapazität zeitweise (getastet) zuschaltet.

9.5 SSB-Sender

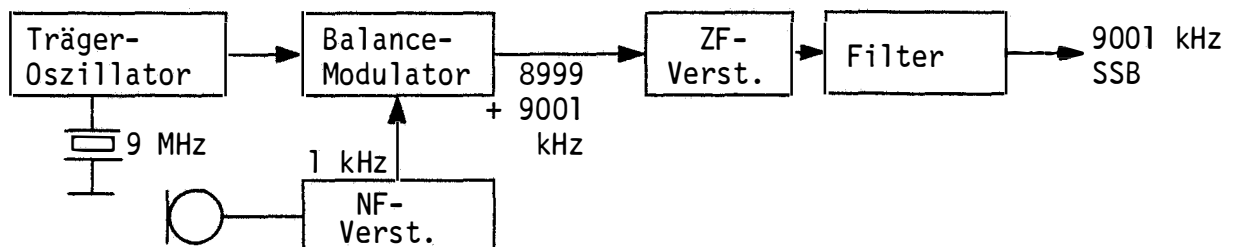
Da SSB heute die meist verwendete Modulationsart darstellt, lohnt es sich, darauf näher einzugehen. In Kap. 7.2 wurde gezeigt, dass mit einem Ringmodulator ein Zweiseitenbandsignal erzeugt werden kann, worauf durch Filterung dieses DSB-Signals das gewünschte Seitenband gewonnen wird.

Es gibt zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Erzeugung von SSB-Signalen:

- Filtermethode
- Phasenmethode

9.5.1 Filtermethode

Bei der Filtermethode wird (wie erwähnt) das Signal mit einem Ring- oder Balancemodulator moduliert und anschliessend gefiltert. Nachteilig für das Filterprinzip ist der relativ hohe Aufwand für das Seitenbandfilter. Die Träger- und Seitenbandunterdrückung ist hingegen ausgezeichnet, man erreicht ohne weiteres Werte von je 55 dB.



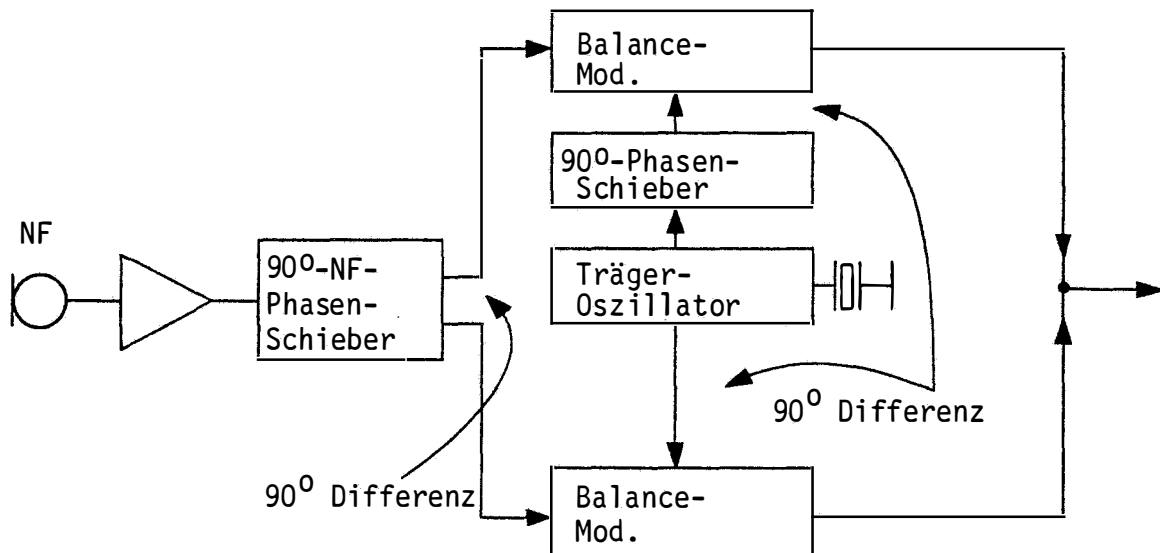
Prinzip der SSB-Modulation nach der Filtermethode

9.5.2 Phasenmethode

Die Phasenmethode kommt ohne teure Quarz- oder mech. Filter aus. Man verwendet Phasenschiebernetzwerke, welche die NF- bzw. die HF-Phasenlagen um jeweils 90° drehen. Für HF ist dies nicht schwierig zu realisieren,

jedoch bietet die konstante Phasendrehung über das ganze NF-Spektrum von 300...2400 Hz einige Probleme. Solche Phasenschieber lassen sich nicht sehr hochqualitativ herstellen, können aber zu günstigen Preisen gekauft werden (etwa Fr. 40.--).

Es ist nötig, mit einem guten Bandpassfilter im NF-Verstärker die übertragene NF-Bandbreite genau auf den Bereich von ca. 300...2400 Hz zu beschränken. In diesem Bereich lässt sich dann der Phasenfehler unter etwa $\pm 2\%$ halten.



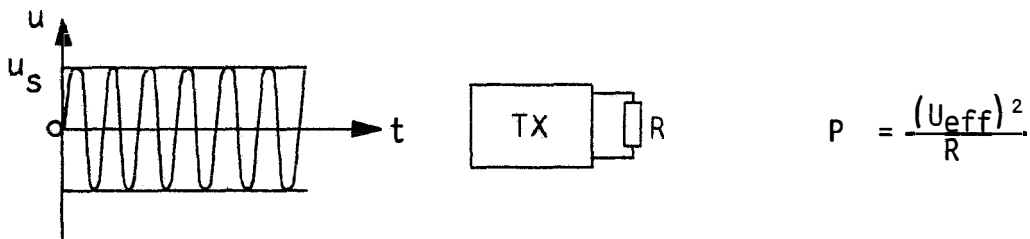
Nachteilig für die Phasenmethode ist die Tatsache, dass die erreichbare Seitenbandunterdrückung nur etwa 30 dB beträgt. In der gleichen Größenordnung liegt auch die Trägerunterdrückung, welche hier nur von den beiden Balance-Modulatoren abhängt und nicht wie bei der Filtermethode nachträglich verbessert wird (Kap. 9.1.3).

Aus diesen Gründen gibt es heute viel weniger Phasensysteme als Filtersysteme.

9.6 Leistungsangaben bei Sendern

9.6.1 CW- und FM-Sender

Bei Telegrafie- und FM-Sendern ist die Leistungsangabe sehr einfach, da die Amplitude des Sendesignales konstant ist:



Man spricht bei getasteten Sendern (Telegrafie, Radar) oft vom sog. "Duty-Cycle". Dieser gibt an, wie lange der Sender im Bezug auf eine lange Zeitdauer ein Signal ausstrahlt (d.h. "eingeschaltet" ist).

$$\text{"Duty-Cycle"} = \frac{\text{eingeschaltete Zeitdauer}}{\text{totale Zeitdauer}}$$

Für CW-Sender liegt der "Duty-Cycle" etwa bei 50%.

9.6.2 AM-Sender

Hier liegen die Verhältnisse komplizierter, weil die Amplitude des gesendeten Signales keineswegs konstant ist. Für die Angabe der Leistung eines AM-Senders anerbieten sich zwei Möglichkeiten:

- Angabe der Trägerleistung. Dies ist die Leistung, die ausgestrahlt wird, wenn der Sender nicht moduliert ist. Auf Grund der Kenntnis des Modulationsgrades lassen sich auch die Leistungen der Seitenbänder berechnen.
- Angabe der Spitzenleistung (PEP). Darunter ist die Leistung zu verstehen, die im Spitzenwert der Hüllkurve entsteht (siehe SSB, Kap. 9.6.3).

9.6.3 SSB-Sender

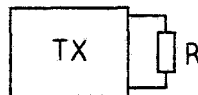
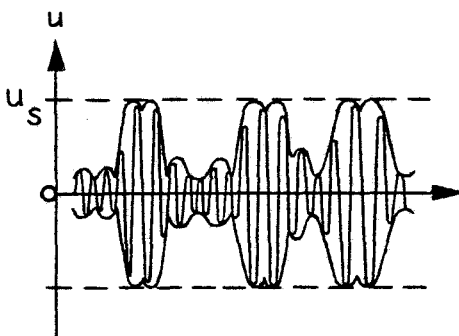
Bei einer SSB-Aussendung schwankt die Leistung des Signales zwischen Null und einem Spitzenwert.

Spricht der Sprecher leise in das Mikrofon, so wird weniger Leistung ausgestrahlt als wenn er es lauter bespricht.

Man gibt bei SSB-Sendern immer die Leistung des Spitzenwertes der Hüllkurve an:

$$\text{PEP} = \text{Peak Envelope Power}$$

und meint damit selbstverständlich die Ausgangsleistung.



in den Spitzen:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}$$

$$U_{\text{eff}}^2 = \frac{U_s^2}{2}$$

$$P_{\text{PEP}} = \frac{U_s^2}{2 \cdot R}$$

Die Spitzenleistung gibt Auskunft über die Grenzen der Linearität des Senders, jedoch sagt sie noch nicht viel aus über die durchschnittlich abgegebene Leistung (average power).

Diese mittlere Leistung hängt ab von der Form des modulierenden Sprachsignals, ist also von Sprecher zu Sprecher verschieden. Die mittlere Leistung ist massgebend für die Belastung der Röhre oder des Transistors, d.h. für die entsprechende Verlustleistung. Gut dimensionierte Sender mit ausreichender Kühlung der Endstufe vermögen ein CW-Signal mit Spitzenleistung (Oberstrichleistung) während einer längeren Zeitdauer (mindestens einige Minuten) zu verkraften.

Endstufen mit sog. Zeilenendröhren (d.h. für Impulsbetrieb in Fernsehablenstufen dimensionierte Röhren) weisen oft einen hohen Spitzenleistungswert auf, ohne längerem Betrieb mit dieser Leistung standhalten zu können. Oft ist auch von einem "PEP Input" die Rede. Die Inputleistung eines SSB-Senders (Gleichstromeingangs-Leistung) schwankt, wie das Ausgangssignal, im Takt der Modulation. Von einer Hüllkurve zu sprechen, wäre hingegen falsch, so dass die Bezeichnung "PEP Input" eher falsch am Platz ist. Besser spricht man von der Spitzen-Gleichstrom-Eingangsleistung, bzw. mittleren (Gleichstrom-) Eingangsleistung (engl. peak DC Input bzw. average DC Input).

Messinstrumente wie Volt- und Amperemeter sind viel zu träge, um der Amplitude eines Sprechsignals richtig folgen zu können, sie können zur Messung der Spitzenleistung nicht verwendet werden, sie geben höchstens Auskunft über eine kurzzeitig gemittelte durchschnittliche Leistung.

Wirklich aufschlussreiche Messungen an SSB-Sendern sind nur mit dem Oszilloskop möglich.

9.7 Sprachkompressoren und -Begrenzer

Die menschliche Sprache verfügt über eine grosse Dynamik: Während einige Buchstaben und Silben ganz leise gesprochen werden, enthalten andere wesentlich mehr Leistung. Die Dynamik üblicher Sprache liegt bei etwa 15 dB und ist natürlich sehr stark vom Sprecher abhängig.

Ein Sprechsignal wird, besonders bei gestörtem Empfang, umso besser verständlich, je höher seine durchschnittliche Leistung ist. Es gibt im wesentlichen vier verschiedene Arten, die mittlere Leistung eines Sendesignales anzuheben, ohne am PEP-Wert etwas ändern zu müssen.

- NF-Dynamik-Kompression
- NF-Begrenzung (NF-Clipper)
- HF-Dynamik-Kompression
- HF-Begrenzung (SSB-Clipper)

9.7.1 Dynamik-Kompression

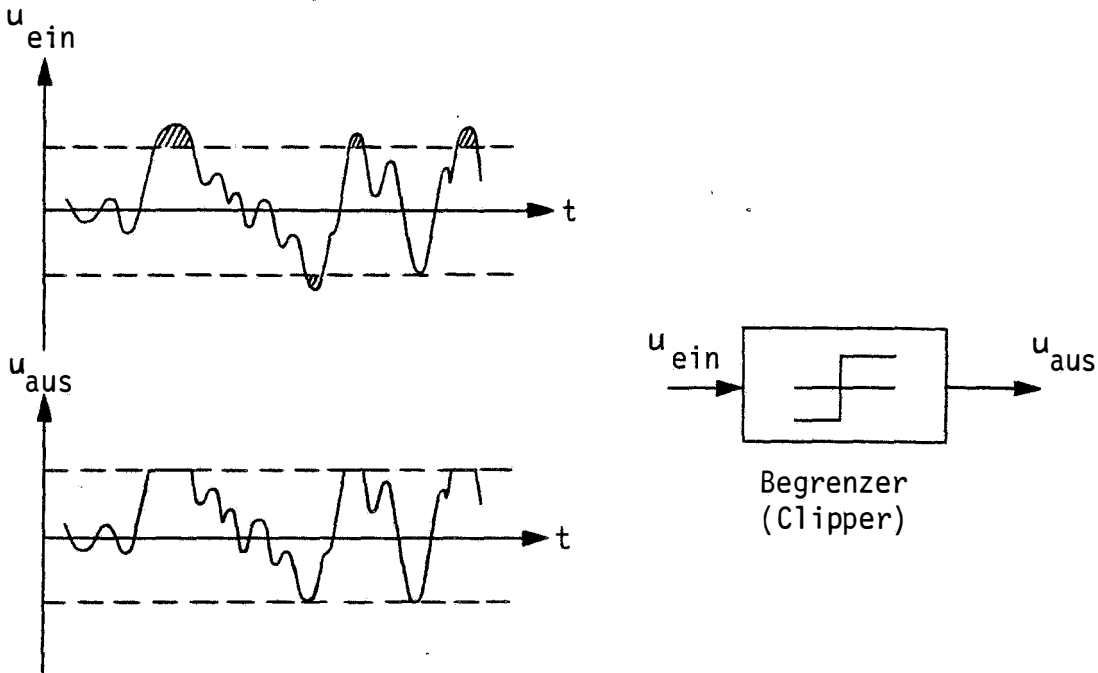
Dynamik-Kompression nennt man die Anhebung leiser Stellen des Sprachsignals gegenüber lauten. Diese Aufgabe kann durch einen regelbaren Verstärker erfüllt werden, der bei schwachen Signalen auf-, und bei starken Signalen zugeregelt wird.

Dynamik-Kompressoren lassen sich ohne grossen Aufwand bauen. Es ist aber schwierig, die durch die nichtlineare Operation entstehenden Verzerrungen in erträglichem Mass zu behalten.

Dynamikkompressoren können für NF und für HF eingesetzt werden. Die meisten heutigen SSB-Sender verwenden HF-Dynamik-Kompression, indem die Verstärkung in der Sende-ZF geregelt wird (ALC Automatic Level Control).

9.7.2 Begrenzung (Clipping)

Begrenzer (Clipper) weisen sehr nichtlineare Charakteristik auf: Ein Eingangssignal wird nur linear übertragen, wenn es einen gewissen Wert (u_b) nicht überschreitet. Wenn es ihn überschreitet, so erscheint am Ausgang keine höhere Spannung mehr.

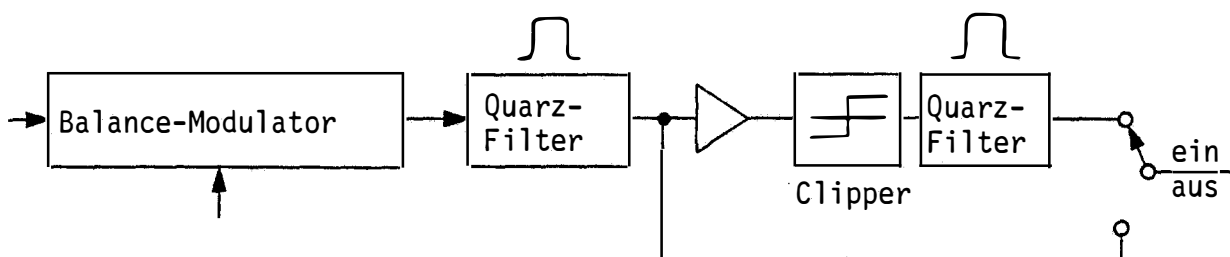


Begrenzung tritt bei Uebersteuerung eines Verstärkers auf, kann aber auch durch Spezialschaltungen wie Diodenbegrenzer, Schmitt-Trigger usw. erzeugt werden. Je stärker die Begrenzung gemacht wird, umso schlechter verständlich wird das begrenzte Signal.

Bei Begrenzung eines NF-Signals fallen die entstehenden IM-Produkte (IM = Intermodulation) wieder in den gleichen Frequenzbereich, so dass sich die Verzerrungen besonders schlimm auswirken und nicht weggefiltert werden können.

Bei HF-Begrenzung hingegen (d.h. Begrenzung eines SSB-Signals, SSB-Clipper) fallen die IM-Produkte grösstenteils ausserhalb des belegten Frequenzspektrums und lassen sich ausfiltern.

Deshalb ist die Begrenzung eines SSB-Signals die effizienteste Methode, das Verhältnis von durchschnittlicher Leistung zu Spitzenleistung PEP möglichst gross zu machen.



Blockschema SSB-Clipper

9.8 Intermodulation, Ober- und Nebenwellen

Genau wie bei Empfängern gibt es auch bei den Sendern Intermodulation. Ideal lineare Verstärker lassen sich nicht bauen. Das Sendesignal, das in einem leicht nichtlinearen Verstärker verstärkt wird, erleidet Intermodulation. Dabei entstehen Oberwellen und Produkte (hauptsächlich IM-Produkte 3. Ordnung), die wieder in die nächste Umgebung des Sprachspektrums und in das Gebiet des ausgesendeten Sprachspektrums selbst zurückfallen. Bei Sendern gibt man die Intermodulation 3. Ordnung und die Oberwellenunterdrückung meist getrennt an. Dies hat auch seinen Grund: Intermodulationsprodukte 3. Ordnung lassen sich im Gegensatz zu den Oberwellen nicht mehr durch Filterung verringern.

Intermodulationsprodukte 3. Ordnung heutiger SSB-Sender liegen in der Größenordnung von -30 dB, die Oberwellenunterdrückung sollte mindestens etwa 45 dB erreichen. Diese Werte hängen sehr stark vom Grad der Aussteuerung des Senders ab. Wird die Senderendstufe übersteuert, dann nehmen die IM-Produkte rasch ein unerträgliches Mass an. Ein am Sender angeschlossenes Wattmeter zeigt zwar eine höhere Leistung an, die gegenüber dem Normalbetrieb zusätzliche Leistung ist aber grösstenteils Leistung der IM-Produkte.

Es entstehen breitbandige IM-Produkte, hauptsächlich in der Umgebung der eigentlichen Aussendung, oft aber auch über ganze Amateurbänder hinweg. Solche unerwünschte Produkte werden "Splatter" genannt.

Die meisten Sender weisen eine gegen Uebersteuerung schützende Einrichtung auf: Die ALC (Automatic Level Control). In der Endstufe wird ein Signal (ALC-Spannung) generiert, das die Sender-ZF-Verstärkung so regelt, dass keine Uebersteuerung stattfinden kann.

Nebenwellen sind Ausstrahlungen auf Frequenzen, die weder Harmonische noch andere Intermodulationsprodukte sind. Nebenwellen entstehen meist im Sender durch Mischung zweier Oszillatorfrequenzen. Ein so einmal erzeugtes Signal wird unter Umständen noch erheblich verstärkt und, wenn nicht genügend gefiltert wird, auf die Antennenleitung gegeben.

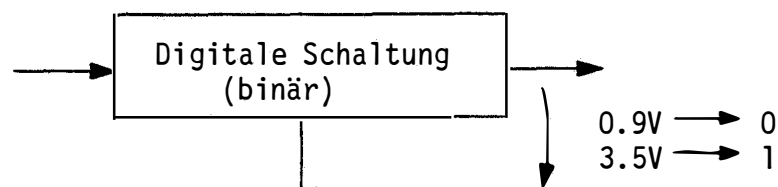
In modernen Sendern sollten solche Nebenwellenausstrahlungen um mindestens 50 dB unterdrückt werden.

10. Digitaltechnik

In letzter Zeit ist auch die Digitaltechnik in die Amateurfunktechnik vorgestossen. Sie wird heute hauptsächlich verwendet für den Bau von Zählern und Synthese-Oszillatoren (Synthesizer).

"Digital" heisst Darstellung einer beschränkten, abzählbaren Anzahl von Zuständen (Symbolen) innerhalb einer Schaltung. Im Gegensatz dazu ist die Analogtechnik in der Lage, unendlich viele Zustände kontinuierlich voneinander zu unterscheiden und darzustellen.

Grundelement der Digitaltechnik ist die binäre Schaltung, d.h. eine Schaltung, welche am Ausgang nur 2 Zustände annehmen kann. Symbolisch drückt man diese 2 Zustände durch die Symbole 0 und 1 aus, die entsprechenden Spannungen sind z.B. 0.9 V für 0 und 3.5V für 1.



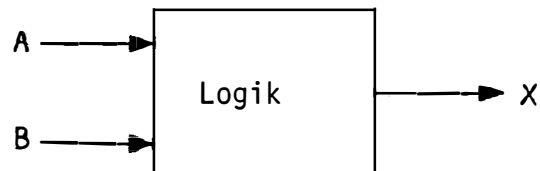
Es geht also in der Digitaltechnik nur um Entscheide Ja/Nein. Solche Funktionen lassen sich mit entsprechenden Schaltungen sehr eindeutig durchführen. Eine Ja/Nein-Information wird "Bit" genannt.

Definiert man in einem System mehrere Bits entsprechend dem binären Zahlensystem, so können mit geeigneten Elementen ganze Zahlen verarbeitet werden. Dies wird in der Computertechnik gemacht.

Konstruktiv können heute derart viele Schaltungen in einer "integrierten Schaltung" (IS, engl. IC = Integrated Circuit) aufgebaut werden, dass ganze Kleincomputer mit einigen wenigen Bausteinen aufgebaut werden können.

10.1 Logische Grundelemente

Die logische Seite der Digitaltechnik beschäftigt sich mit logischen Funktionen. Es werden Grundelemente benützt, welche einen oder zwei Eingänge und einen Ausgang aufweisen.



Logische Funktion mit den Eingängen A und B und dem Ausgang X

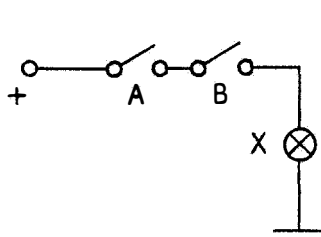
Bei einer Schaltung mit zwei Eingängen ergeben sich 4 mögliche Eingangszustände, nämlich:

	1	2	3	4
A	0	0	1	1
B	0	1	0	1

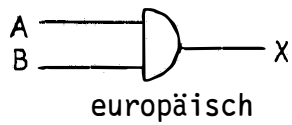
Es gibt recht viele mögliche Kombinationen zwischen Ein- und Ausgangszuständen. Die wichtigsten logischen Funktionen mit zwei Eingängen und einem Ausgang sind:

- UND-Funktion (AND)
- ODER-Funktion (OR)
- Inversion (NOT) (nur 1 Eingang)
- NICHT-UND-Funktion (NAND)
- NICHT-ODER-Funktion (NOR)

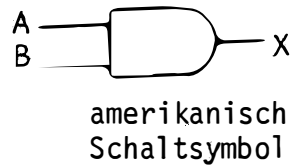
Mit ihnen kann man alle komplizierteren logischen Funktionen aufbauen. Sie sind recht billig als integrierte Schaltungen käuflich. Die Funktionsweise ist nachstehend kurz aufgeführt.

10.1.1 UND-Funktion

elektrisches Modell

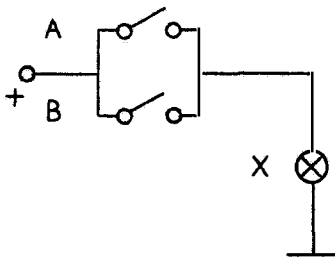


europäisch

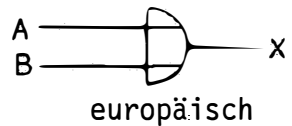
amerikanisch
Schaltsymbol

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

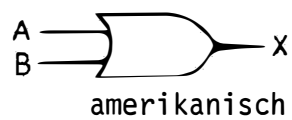
Wahrheitstabelle

10.1.2 ODER-Funktion

elektrisches Modell



europäisch



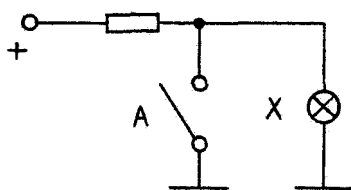
amerikanisch

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

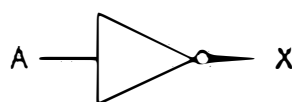
Wahrheitstabelle

10.1.3 Inversion

Die Inversion einer Grösse A wird durch \bar{A} dargestellt. Das heisst: Falls $A = 0$, ist $\bar{A} = 1$ und umgekehrt.



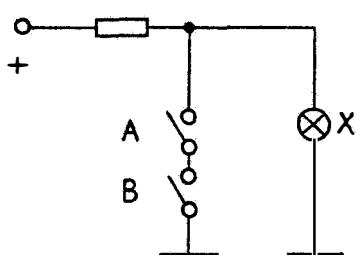
elektrisches Modell



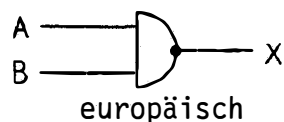
Schaltsymbol

A	X
0	1
1	0

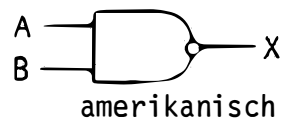
Wahrheitstabelle

10.1.4 NICHT-UND-Funktion

elektrisches Modell



europäisch

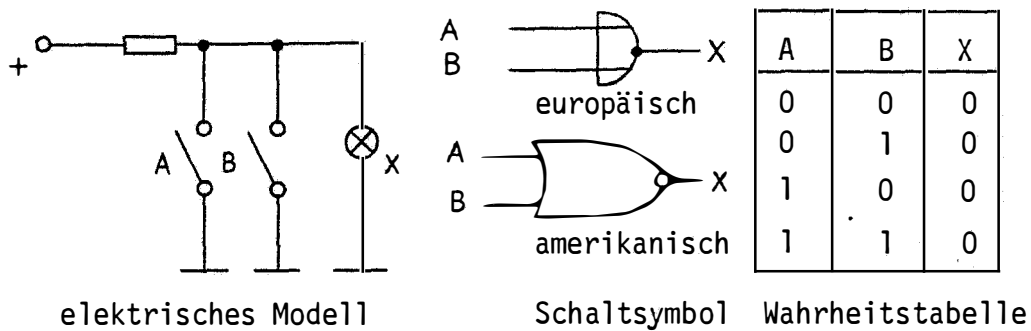


amerikanisch

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Wahrheitstabelle

10.1.5 NICHT-ODER-Funktion



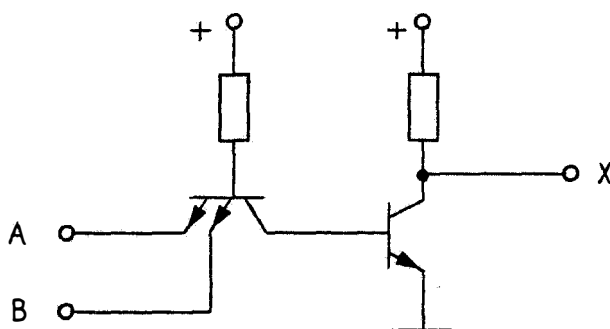
10.2 Logikfamilien

Die logischen Grundschaltungen und kompliziertere Schaltungen lassen sich auf verschiedene Arten aufbauen. Heute finden als aktive Elemente Bipolar- und Feldeffekt-Transistoren Verwendung. Die verschiedenen Techniken haben unterschiedliches Verhalten in Bezug auf:

- Preis
- Geschwindigkeit (Umschaltzeit)
- Leistungsverbrauch
- Störspannungsabstand (Störsicherheit)
- Betriebsspannung
- Belastbarkeit (Fanout/Fanin)

10.2.1 Transistor-Transistor-Logik (TTL)

Die TTL-Technik arbeitet mit Bipolartransistoren. Die verschiedenen Eingänge gelangen auf einen Multiemitter-Transistor.

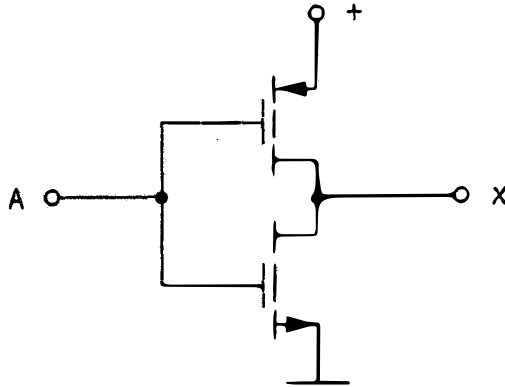


Prinzipschaltbild eines TTL-NAND

Die TTL-Technik ist heute die Standard-Technik der Industrie. Die Betriebsspannung ist 5 V (gegen Masse), die Leistungsaufnahme relativ gross bei Schaltzeiten in der Grössenordnung von einigen 10 ns.

10.2.2 CMOS-Technik

Die CMOS-Technik (CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor) ist die neueste Familie der Digitaltechnik. Die logischen Grundelemente werden mit komplementären FET realisiert. Dies hat den Vorteil, dass immer ein Transistor gesperrt ist und dadurch praktisch nur Leistung verbraucht wird, wenn die Ausgangsgrösse wechseln soll (Umschaltvorgang).

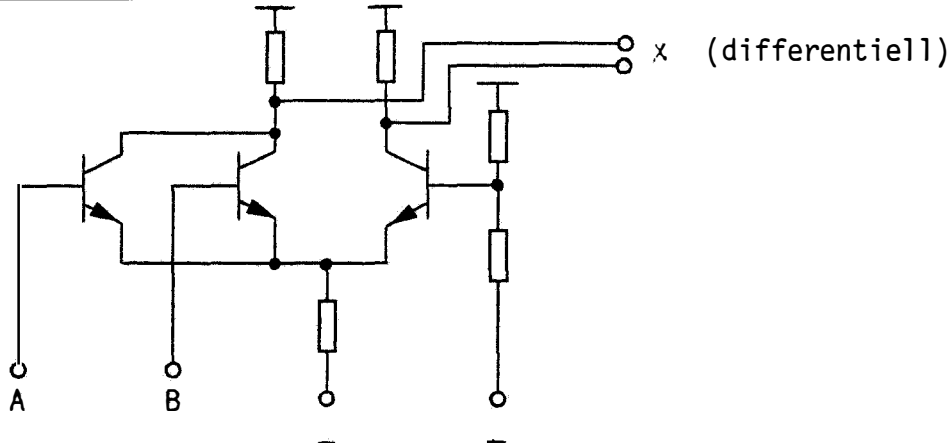


Prinzipschaltbild eines Inverters in CMOS-Technik

Die CMOS-Technik weist relativ hohe Schaltzeiten auf, (Größenordnung 100 ns), dafür ist der Leistungsverbrauch bei geringen Frequenzen gering und der Störabstand (Störsicherheit) gross.

Neben CMOS-Schaltungen gibt es Schaltungen, die Feldeffekttransistoren verwenden, welche nicht in komplementärer Technik aufgebaut sind. Das sind sog. MOS-ICs. Ihr Leistungsverbrauch ist aber bei niedrigen Frequenzen wesentlich grösser als derjenige der CMOS-Schaltungen.

10.2.3 ECL-Technik



ECL-NOR

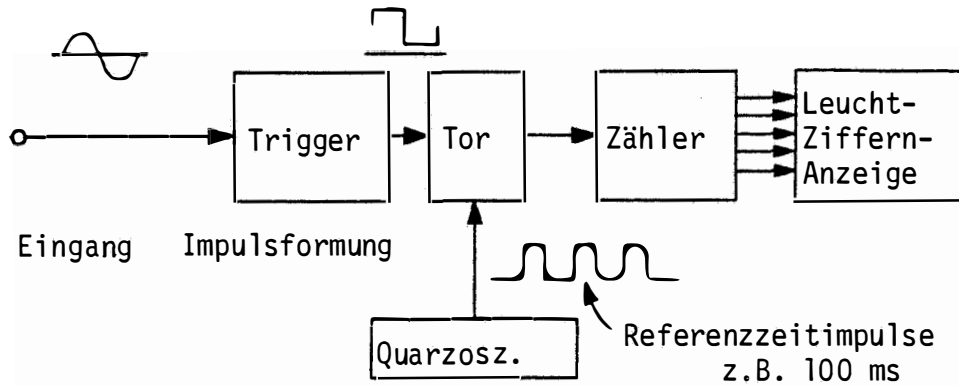
ECL-Schaltungen (ECL = Emitter Coupled Logic) sind die heute schnellsten integrierten Schaltungen, die erhältlich sind. Die obere Frequenzgrenze liegt bei ECL bei über 1 GHz und damit wesentlich über den schnellsten TTL-Elementen.

ECL-Schaltungen sind emittergekoppelte Stufen und bipolar in ungesättigter Technik ausgeführt. Die Transistoren werden in beiden möglichen Schaltzuständen nicht in Sättigung, d.h. nicht übersteuert, betrieben. Dadurch werden die kurzen Schaltzeiten ermöglicht.

10.3 Zähler

Frequenzzähler sind die heute wichtigste Anwendung der Digitaltechnik für den Amateurfunk. Es geht darum, die einzelnen Schwingungen eines Signals während einer bestimmten Referenzzeit zu zählen.

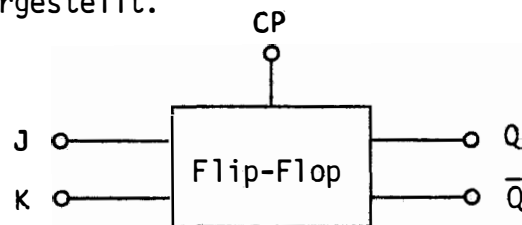
Ist die Referenzzeit eine Zehnerpotenz, so lässt sich an einem Dezimalzähler gerade die Frequenz ablesen, andernfalls sind zur Darstellung noch Code-Umwandlungen vorzunehmen.



10.3.1 Flip-Flop

Das Grundelement jedes Zählers ist das Flip-Flop. Dies ist ein Speicherelement, das seinen Zustand (d.h. sein Ausgangssignal) jeweils nur auf einen bestimmten Befehl (Clockimpuls) und bei Vorliegen eines bestimmten Eingangssignales ändert.

Es gibt verschiedene Flip-Flop-Typen, als Beispiel ist hier das J-K-Flip-Flop dargestellt.



J, K = Eingänge des Flip-Flops

Q, \bar{Q} = Ausgänge des Flip-Flops

CP = Clock-Puls (Takt-Impuls)

Q_n = Ausgang vor Eintreffen von CP

Q_{n+1} = Ausgang nach Eintreffen von CP

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}_n

charakteristische Tabelle

Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	\emptyset
0	1	1	\emptyset
1	0	\emptyset	1
1	1	\emptyset	0

Ansteuerungstabelle

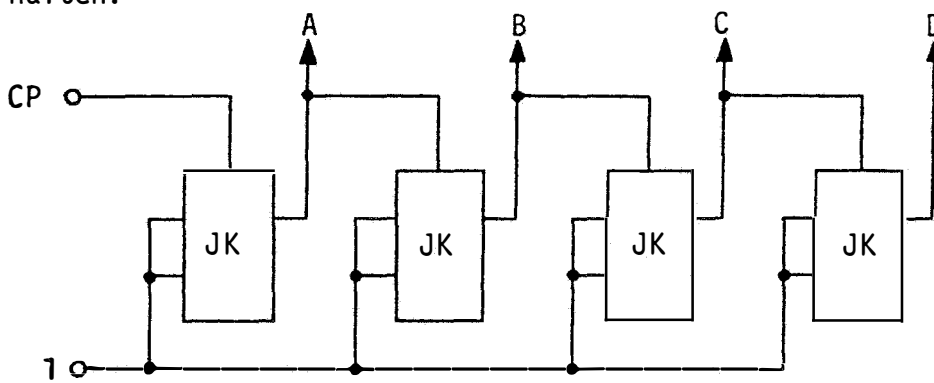
\emptyset = irrelevant (0 oder 1)

Die Funktionsweise des JK-Flip-Flops wird durch die charakteristische und die Ansteuerungstabelle beschrieben. Sind beide Eingänge 0, so ändert sich der Ausgang bei Eintreffen des Clock-Pulses nicht, wenn sie 1 sind, dann muss sich hingegen der Ausgang ändern. Sind beide Eingänge verschieden, so wird der Ausgang entsprechend J gesetzt

Oft weisen Flip-Flops noch zwei weitere Eingänge auf: Der "Clear"-Anschluss erlaubt das Nullsetzen des Ausgangs, der "Preset"-Anschluss bewirkt, dass der Ausgang Q gleich Eins gesetzt wird.

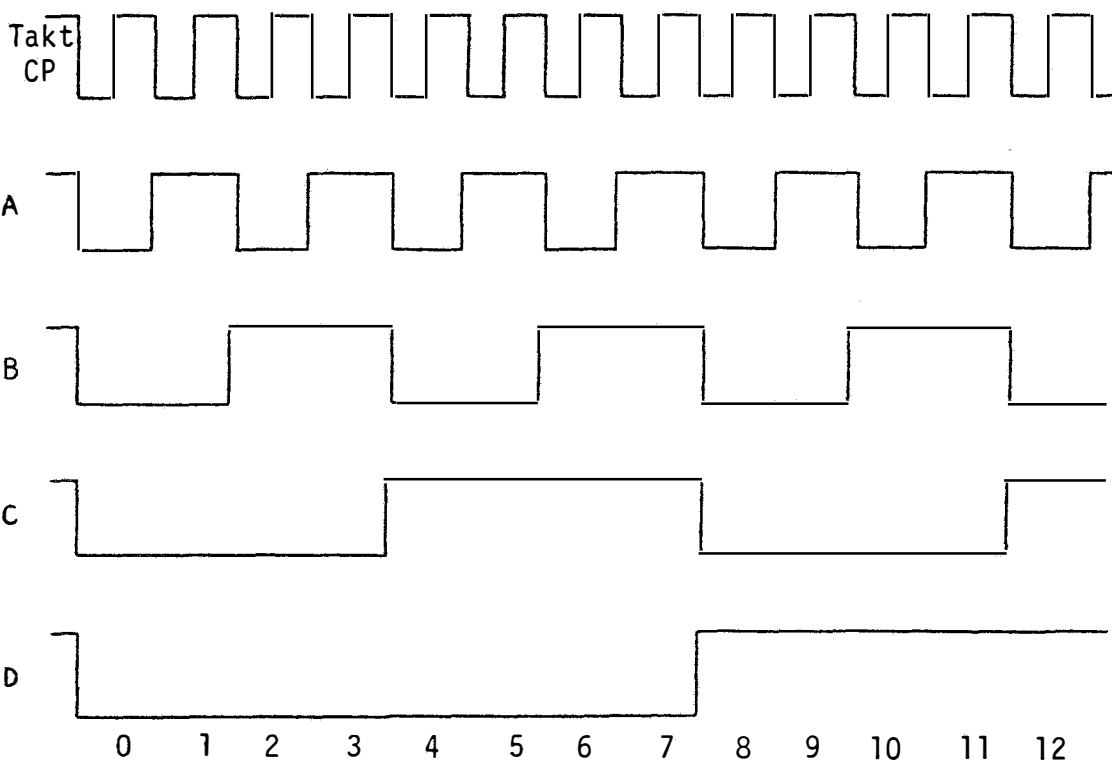
10.3.2 Vorwärtszähler

Als Beispiel für eine Zählerschaltung soll der "asynchrone Vorwärtszähler" gelten. "Vorwärtszähler" heisst, dass der Zähler bei 0 beginnt und dann beim Eintreffen jedes Impulses eine Einheit aufzählt. "Asynchron" heisst, dass die einzelnen Flip-Flops den Clock-Puls nicht zum gleichen Zeitpunkt erhalten.



Vorwärtszähler mit JK-Flip-Flops

Erhält das erste Flip-Flop einen Clock-Puls, so wechselt es seinen Zustand am Ausgang. Auf zwei Clock-Impulse hin entsteht am Ausgang also immer nur ein Impuls. Jede Stufe wirkt deshalb als Frequenzteiler. Das Zählergebnis kann parallel an allen Flip-Flops abgenommen werden (Anschlüsse A,B,C,D).



Impulsfahrplan für Zähler mit negativ-flankengetriggerten JK-Flip-Flops

11. Störungen anderer Funkdienste

Beim Betrieb eines leistungsstarken Senders treten praktisch immer, wenn keine Gegenmassnahmen getroffen wurden, Rundfunk- und Fernsehstörungen auf. Es liegt deshalb im Interesse des Amateurs, eine gewisse Vertrautheit mit derartigen Problemen zu erlangen, um im Störfall möglichst schnell Abhilfe schaffen zu können.

Grundsätzlich sollte eine Sendeanlage HF-technisch sauber aufgebaut werden. Dass dazu die Schaffung klarer Erdungsverhältnisse gehört, die Geräte gut abgeschirmt sein müssen und möglichst vermieden werden soll, dass HF-Energie ins Netz gelangt, ist wohl einleuchtend.

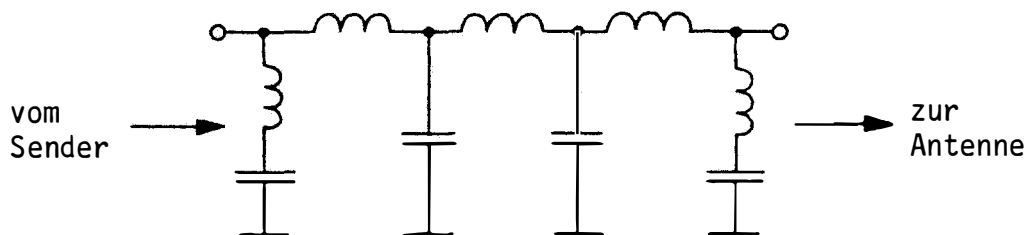
Die abstrahlende Energie sollte die Anlage wirklich nur über die dazu vorgesehene Antenne verlassen. Gefahr, dass Energie auch auf der Speiseleitung abgestrahlt wird, besteht hauptsächlich bei Fehlanpassung und wenn Symmetrierglieder fehlen.

Für Störungen, bei welchen die HF-Energie nicht übers Netz zum gestörten Empfänger, sondern infolge drahtloser Ausbreitung zu ihm gelangt, gibt es hauptsächlich 3 Gründe:

- Oberwellen, Nebenwellen-Abstrahlung
- Uebersteuerung eines Empfängerverstärkers (durch Grundwelle)
- Einstrahlung in NF-Schaltungen (Grundwelle)

11.1 Ober- und Nebenwellen-Abstrahlung

Strahlt ein Sender Ober- oder Nebenwellen ab, welche im Rundfunk- oder Fernsehband liegen, dann ist die Behebung der Störung relativ einfach. Man verhindert die Abstrahlung der unerwünschten Aussendung durch Einfügen eines Tiefpassfilters (für KW-Sender) bzw. Bandpassfilters (2m, 70cm) in die Antennenspeiseleitung. Solche Filter können heute in guter Qualität gekauft werden. Bei KW liegt die Grenzfrequenz bei 30 MHz, im Fernsehband 1 erreicht die Dämpfung schon recht hohe Werte.



Mehrstufiges Tiefpass-Filter
zur Oberwellenunterdrückung

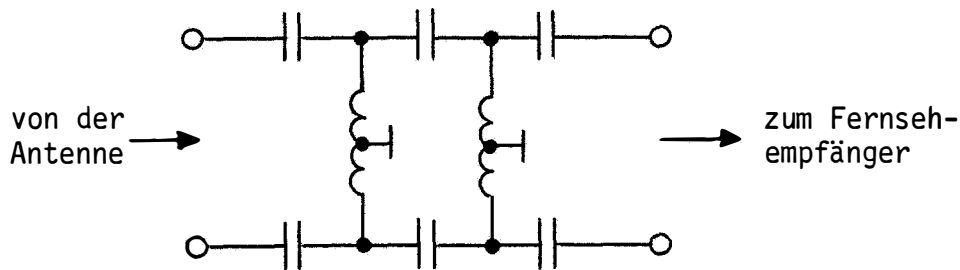
11.2 Übersteuerung des HF-Empfangsverstärkers

Ein starkes HF-Signal, das von einem sich in der Nähe befindlichen Amateursender herrührt, kann ohne weiteres die HF-Eingangsstufe eines (Fernseh- oder Rundfunk-) Empfängers übersteuern (d.h. in einen nicht-linearen Betriebszustand aussteuern). Dadurch können starke Intermodulations- und Kreuzmodulationserscheinungen auftreten.

Gegen diese Störungsart hilft nur eine Massnahme am gestörten Empfänger selbst:

Bei Fernsehempfänger mit breitbandigen Eingangskreisen schaltet man ein Hochpass-Filter vor den Antenneneingang. Dieses Filter eliminiert die HF-Einstrahlung unterhalb einer gewissen Frequenz (meist 30 MHz für KW-Störungsfälle).

Solche Hochpass-Filter sind käuflich erhältlich, es gibt sie für verschiedene Eingangsimpedanzen und für symmetrische und asymmetrische Speiseleitungen.



Beispiel eines Hochpassfilters für die Empfänger-Entstörung
(240Ω , symmetrisch)

11.3 Einstrahlung in NF-Schaltung

Lange NF-Leitungen, insbesondere Verbindungsleitungen zwischen NF-Geräten (Plattenspieler - Verstärker, Verstärker - Tonbandgerät usw.) wirken oft als Antennen. Die solcherart aufgenommene HF-Energie gelangt meist ungehindert in die entsprechenden Geräte. Es kann nun vorkommen, dass die Eingangsverstärker (in schweren Fällen auch Zwischenverstärker

11. Störungen anderer Funkdienste

Beim Betrieb eines leistungsstarken Senders treten praktisch immer, wenn keine Gegenmassnahmen getroffen wurden, Rundfunk- und Fernsehstörungen auf. Es liegt deshalb im Interesse des Amateurs, eine gewisse Vertrautheit mit derartigen Problemen zu erlangen, um im Störfall möglichst schnell Abhilfe schaffen zu können.

Grundsätzlich sollte eine Sendeanlage HF-technisch sauber aufgebaut werden. Dass dazu die Schaffung klarer Erdungsverhältnisse gehört, die Geräte gut abgeschirmt sein müssen und möglichst vermieden werden soll, dass HF-Energie ins Netz gelangt, ist wohl einleuchtend.

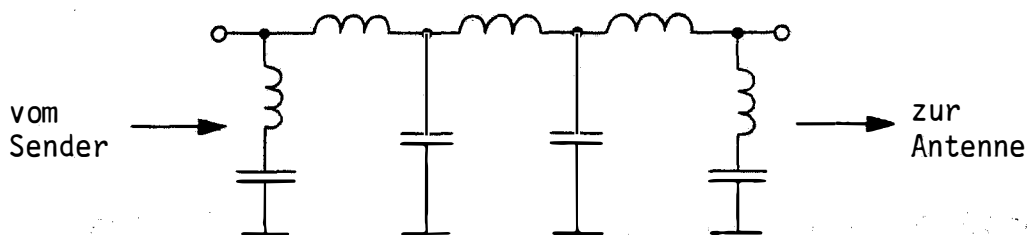
Die abzustrahlende Energie sollte die Anlage wirklich nur über die dazu vorgesehene Antenne verlassen. Gefahr, dass Energie auch auf der Speiseleitung abgestrahlt wird, besteht hauptsächlich bei Fehlanpassung und wenn Symmetrierglieder fehlen.

Für Störungen, bei welchen die HF-Energie nicht übers Netz zum gestörten Empfänger, sondern infolge drahtloser Ausbreitung zu ihm gelangt, gibt es hauptsächlich 3 Gründe:

- Oberwellen, Nebenwellen-Abstrahlung
- Uebersteuerung eines Empfängerverstärkers (durch Grundwelle)
- Einstrahlung in NF-Schaltungen (Grundwelle)

11.1 Ober- und Nebenwellen-Abstrahlung

Strahlt ein Sender Ober- oder Nebenwellen ab, welche im Rundfunk- oder Fernsehband liegen, dann ist die Behebung der Störung relativ einfach. Man verhindert die Abstrahlung der unerwünschten Aussendung durch Einfügen eines Tiefpassfilters (für KW-Sender) bzw. Bandpassfilters (2m, 70cm) in die Antennenspeiseleitung. Solche Filter können heute in guter Qualität gekauft werden. Bei KW liegt die Grenzfrequenz bei 30 MHz, im Fernsehband 1 erreicht die Dämpfung schon recht hohe Werte.



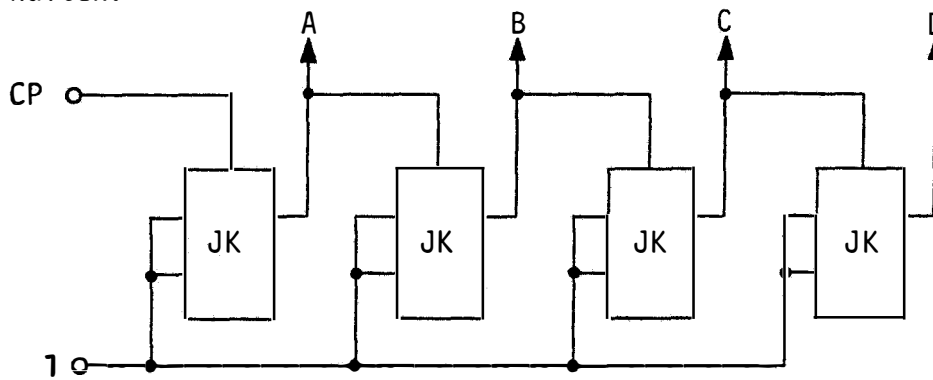
Mehrstufiges Tiefpass-Filter
zur Oberwellenunterdrückung

Die Funktionsweise des JK-Flip-Flops wird durch die charakteristische und die Ansteuerungstabelle beschrieben. Sind beide Eingänge 0, so ändert sich der Ausgang bei Eintreffen des Clock-Pulses nicht, wenn sie 1 sind, dann muss sich hingegen der Ausgang ändern. Sind beide Eingänge verschieden, so wird der Ausgang entsprechend J gesetzt

Oft weisen Flip-Flops noch zwei weitere Eingänge auf: Der "Clear"-Anschluss erlaubt das Nullsetzen des Ausganges, der "Preset"-Anschluss bewirkt, dass der Ausgang Q gleich Eins gesetzt wird.

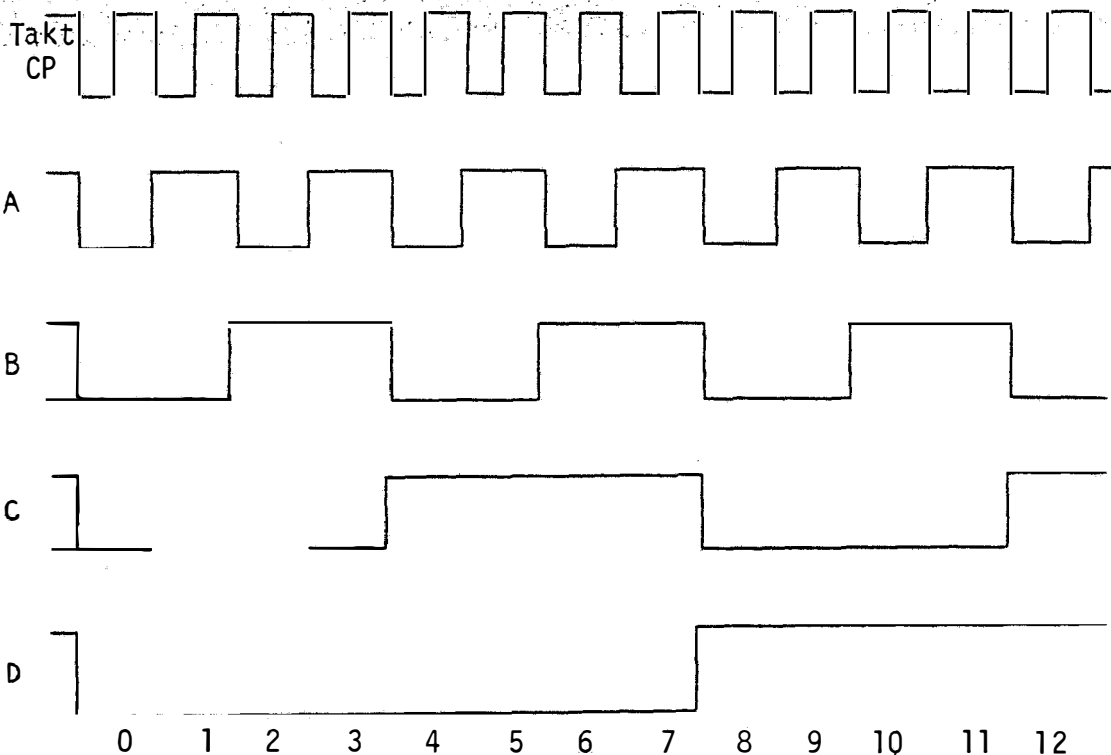
10.3.2 Vorwärtszähler

Als Beispiel für eine Zählerschaltung soll der "asynchrone Vorwärtszähler" gelten. "Vorwärtszähler" heisst, dass der Zähler bei 0 beginnt und dann beim Eintreffen jedes Impulses eine Einheit aufzählt. "Asynchron" heisst, dass die einzelnen Flip-Flops den Clock-Puls nicht zum gleichen Zeitpunkt erhalten.



Vorwärtszähler mit JK-Flip-Flops

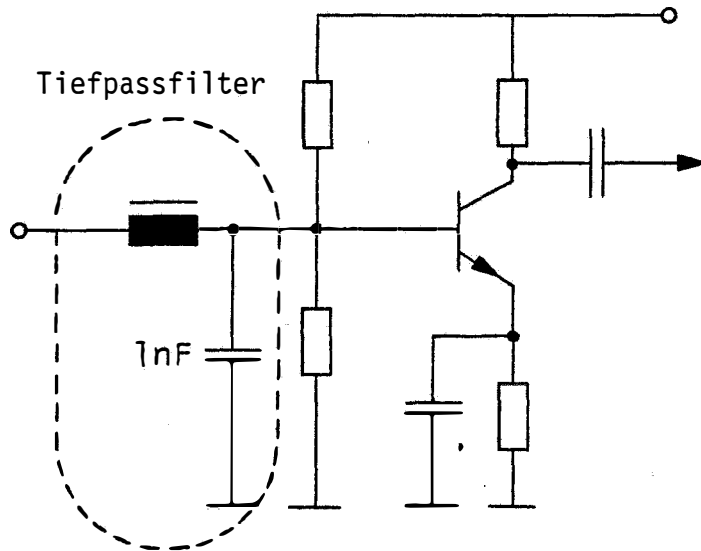
Erhält das erste Flip-Flop einen Clock-Puls, so wechselt es seinen Zustand am Ausgang. Auf zwei Clock-Impulse hin entsteht am Ausgang also immer nur ein Impuls. Jede Stufe wirkt deshalb als Frequenzteiler. Das Zählergebnis kann parallel an allen Flip-Flops abgenommen werden (Anschlüsse A,B,C,D).



Impulsfahrplan für Zähler mit negativ-flankengetriggerten JK-Flip-Flops

und Endstufen) das HF-Signal durch Gleichrichtung an der Basis-Emitterdiode des Transistors in ein hörbares (wenn auch nicht immer verständliches) NF-Signal umwandeln.

Es muss nun verhindert werden, dass die HF-Spannung bis zum betreffenden Transistor vordringt. Dies lässt sich durch ein einfaches Tiefpass-Glied, bestehend z.B. aus einer Drosselspule und einem Kondensator gegen Masse vor dem Transistor durchführen.



Entstörmassnahme bei Einstrahlung in NF-Stufen: Tiefpassfilter vor dem gleichrichtenden Transistor

11.4 Frequenzzuteilungen der wichtigsten Funkdienste

Es ist wichtig, zu wissen, in welchen Frequenzbändern die Funkdienste tätig sind, welche eventuell von Amateursendern gestört werden könnten. Die Angaben gelten für die Region I, Schweiz.

Langwellen-Rundfunk	160.....285 kHz	
Mittelwellen-Rundfunk	525....1605 kHz	
KW-Rundfunk	3950....4000 kHz	75m-Band
	5950....6200 kHz	49m-Band
	7100....7300 kHz	41m-Band
	9500....9775 kHz	31m-Band
	11700...11975 kHz	25m-Band
	15100...15450 kHz	19m-Band
	17700...17900 kHz	16m-Band
	21450...21750 kHz	13m-Band
	25600...26100 kHz	11m-Band
Fernsehen	(41...) 47...68 MHz	Band I
	174.....230 MHz	Band III
	470.....860 MHz	Band IV/V
UKW-Rundfunk	87.5...104 MHz	(Band II)

12. Test- und Messgeräte

Test- und Messgeräte erfüllen für den Inhaber und Benützer einer Sendestation wichtige Funktionen. Testgeräte erlauben, ohne grossen Aufwand festzustellen, ob ein Gerät in Ordnung ist oder nicht. Messgeräte dagegen dienen zum Vornehmen von Messungen, welche bessere Genauigkeit erfordern, als es mit Testgeräten möglich wäre.

Zwischen Mess- und Testgeräten besteht meist ein fließender Uebergang. Die wichtigsten Messgeräte sind Strom- und Spannungsmesser (Ampere- und Voltmeter). Viele andere Messgeräte machen von ihnen Gebrauch. Nachteilig bei Zeigerinstrumenten ist die mechanische Trägheit. Ein weit verbreitetes, fast trägheitsloses Messinstrument lässt sich mit der Kathodenstrahlröhre bauen.

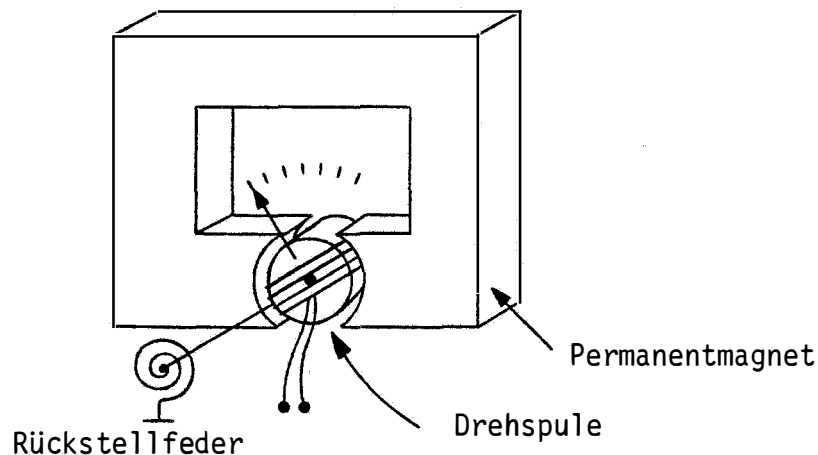
12.1 Amperemeter

Mit einem Amperemeter lässt sich die Stromstärke messen. Das Prinzip beruht auf der Entstehung eines Magnetfeldes durch einen elektrischen Strom und der Kraftwirkung dieses Magnetfeldes auf ein anderes Magnetfeld. Es gibt im wesentlichen zwei Typen von Amperemetern:

- Drehspulinstrument
- Weicheiseninstrument

12.1.1 Drehspulinstrument

Das Drehspulinstrument ist das in der Elektronik am meisten verwendete Messinstrument. Eine drehbare Spule befindet sich im Magnetfeld eines festen Permanentmagneten.



Fließt ein Strom durch die Spule, so übt das entstehende Spulenmagnetfeld eine Kraft auf das Permanentmagnetfeld aus: Die Spulentrommel wird abgelenkt, und zwar bis die Magnetkraft durch die Federkraft kompensiert wird. Die Auslenkung der Nadel ist proportional zum Strom, der durch die Spule fließt; die Skala ist demzufolge linear.

Das Drehspulinstrument lässt sich nur zur Anzeige von Gleichstrom verwenden, für Wechselstrom ist es nicht geeignet, da die Trägheit der Nadel und der Trommel zu gross ist, um den schnellen Schwankungen folgen zu können.

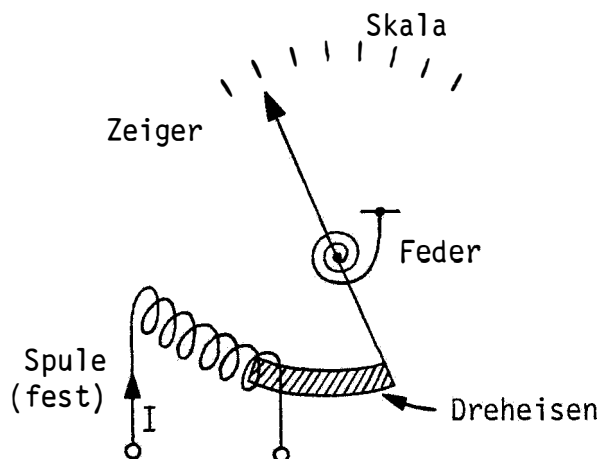
Will man Wechselstrom anzeigen, muss ein Gleichrichter vor das Messinstrument geschaltet werden. In diesem Fall muss man sich aber bewusst sein, dass die Anzeige auf der Skala nicht mehr stimmt. Eine neue Eichung (oder Umrechnung) ist notwendig.

Drehspulinstrumente gibt es in verschiedenen Empfindlichkeiten und Genauigkeitsklassen. Sehr empfindliche Instrumente zeigen bei einem Strom von nur $10\ \mu\text{A}$ bereits Vollausschlag an, normale Instrumente liegen im Bereich $100\ \mu\text{A}$ bis $1\ \text{mA}$ für Vollausschlag.

Die Genauigkeit der Instrumente ist meist auf der Skalenplatte angegeben und beträgt normalerweise 1 bis 3%. Das heisst, dass der maximal mögliche Anzeigefehler 1 bis 3% des Endausschlagwertes betragen kann. Die effektive Genauigkeit des Instrumentes ist deshalb bei kleinen Zeigerausschlägen relativ schlecht.

12.1.2 Weicheiseninstrument (Dreheiseninstrument)

Das Dreheiseninstrument verwendet statt eines Permanentmagneten ein Stück Weicheisen, welches beweglich ist und die Zeigernadel trägt. Die magnetische Anziehungskraft, die auf das Weicheisen wirkt, ist unabhängig von der Polarität des durch die Spule fließenden Stromes. Das Weicheiseninstrument ist deshalb sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom einsetzbar.

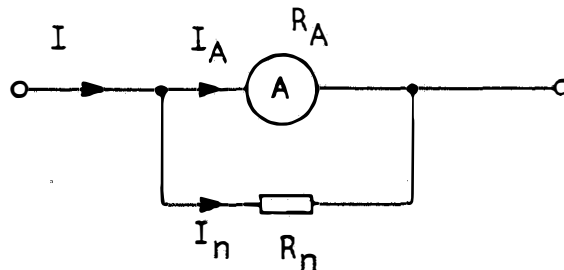


Die Auslenkung der Zeigernadel ist nicht proportional, sondern vom Quadrat des Stromes abhängig. Aus diesem Grund haben Dreheiseninstrumente keine lineare Skala, sondern Skalen, deren Teilstriche in der linken Hälfte stark zusammengedrängt sind und rechtsweit auseinanderliegen.

Dreheiseninstrumente sind wesentlich unempfindlicher als Drehspulinstrumente, für Vollausschlag sind Ströme von mindestens einigen mA erforderlich. Weicheiseninstrumente werden hauptsächlich in der Energietechnik verwendet (Messungen von Netz-Spannung und-Strom), für den Einsatz in nachrichtentechnischen Geräten erweist sich die hohe (mechanisch bedingte) Trägheit als nachteilig.

12.1.3 Messbereichserweiterung für Amperemeter

Jedes Drehspul- und Weicheiseninstrument weist bei Vollausschlag eine bestimmte Stromstärke auf, z.B. $500 \mu\text{A}$. Will man nun mit dem gleichen Instrument verschieden grosse Messbereiche erfassen, so wird parallel zum Instrument ein Widerstand geschaltet. Ein Teil des zu messenden Stromes fliesst dann durch den Widerstand. Dieser Widerstand wird "Nebenwiderstand" oder "Shunt" (engl.) genannt.



Um Berechnungen anzustellen muss natürlich der Widerstand des Messwerkes (R_A) bekannt sein. Ist der Messwerkwiderstand gleich gross wie der Nebenwiderstand, so fliesst nur die Hälfte des Stromes durch das Messwerk, der Bereich ist also verdoppelt worden. Alle Berechnungen lassen sich einfach mit dem ohmschen Gesetz durchführen.

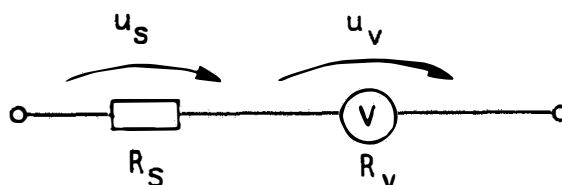
12.2 Voltmeter

Ein Voltmeter dient zur Messung von el. Spannungen und ist ein Messwerk mit möglichst hohem Innenwiderstand. Als Messwerk wird meist ein Drehspulinstrument verwendet. Eigentlich handelt es sich also um die Messung eines Stromes. Will man höhere Spannungen messen, so muss in Serie zum Messwerk ein Vorwiderstand geschaltet werden. Voltmeter mit niedrigem Innenwiderstand belasten die zu messende Schaltung und führen zu Messfehlern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Innenwiderstände der zu messenden Spannungsquellen gross sind (hochohmige Schaltungen).

Jedes Voltmeter hat einen bestimmten Messwerkwiderstand. Oft bezieht man diesen Widerstand auf den Messbereich. Beispiel: Der Widerstand eines 3 V-Messwerkes sei $60 \text{ k}\Omega$. Der charakteristische Widerstand beträgt dann $60 \text{ k}\Omega / 3 \text{ V} = 20 \text{ k}\Omega/\text{V}$.

12.2.1 Messbereichserweiterung für Voltmeter

Der Messbereich eines Voltmeters wird mittels eines Seriewiderstandes erweitert. Dieser Widerstand wird so bemessen, dass an ihm die überschüssige Spannung abfällt.



Vorwiderstand zur Messbereichserweiterung Voltmeter

Macht man beispielsweise den Seriewiderstand (Vorwiderstand) 9 mal so gross wie den Messwerkwiderstand, so fallen 90% der Spannung über dem Widerstand und nur 10% über dem Messwerk ab. Der Messbereich ist also in diesem Beispiel um den Faktor 10 erweitert worden (z.B. von 3 V auf 30 V).

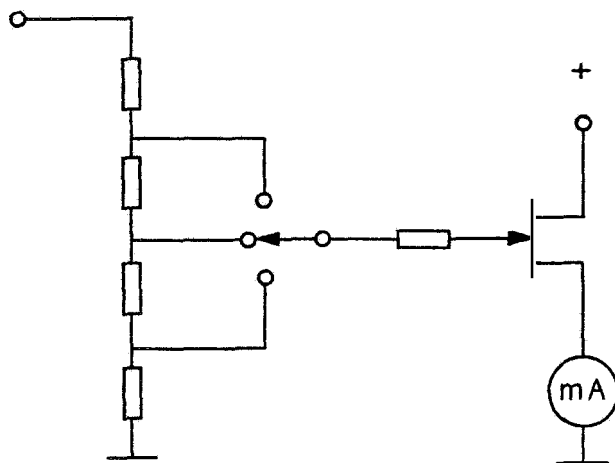
Der charakteristische Widerstand des Voltmeters ($k\Omega/V$) bleibt auch nach der Messbereichserweiterung für das ganze Instrument erhalten.

12.3 Röhren- und Transistor-Voltmeter

(VTVM = Vacuum Tube Volt Meter, TVM = Transistor Volt Meter)

Man kann Drehspulvoltmeter nicht mit sehr grossem Innenwiderstand bauen. Will man trotzdem ein Messinstrument mit hohem Eingangswiderstand, so muss man eine elektronische Schaltung benutzen: Die zu messende Spannung wird auf das Gitter (bei Röhrevoltmeter) bzw. auf das Gate (bei einem Transistor-Voltmeter) gegeben. Die Eingangswiderstände von Röhre und FET sind bekanntlich sehr hoch und können ohne weiteres einige $M\Omega$ erreichen. Deshalb kommt eine solche Lösung dem Idealfall eines Voltmeters mit unendlich hohem Eingangswiderstand schon recht nahe.

Es empfiehlt sich immer, in hochohmigen Schaltungen mit Röhrevoltmeter oder FET-Voltmeter zu messen.

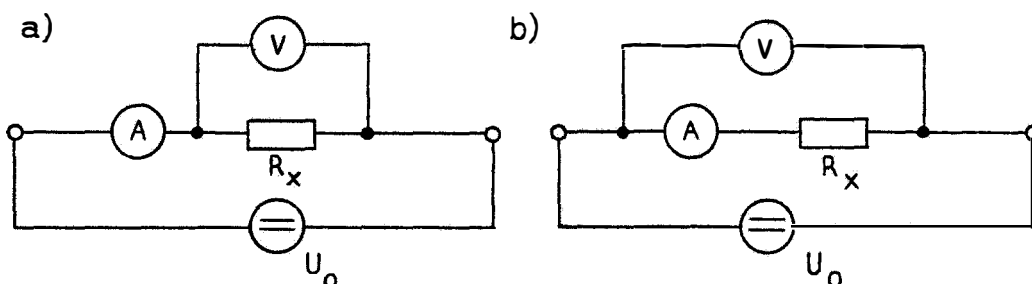


Prinzip eines FET-Voltmeters mit umschaltbaren Messbereichen (Spannungsteiler am Eingang)

12.4 Widerstandsmessung

12.4.1 Strom- und Spannungsmessung

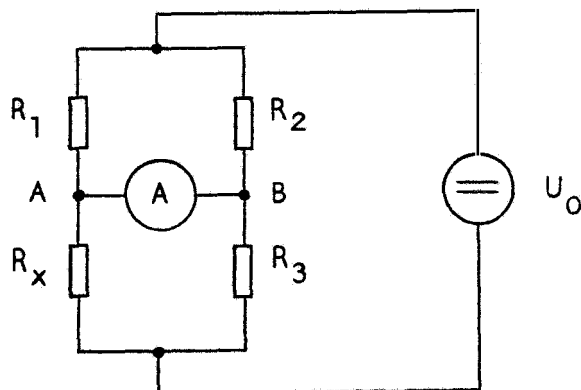
Widerstände lassen sich aus Strom- und Spannungsmessung bestimmen (Anwendung des ohmschen Gesetzes). Dabei gibt es zwei Schaltmöglichkeiten von Volt- und Ampere-Meter um den zu bestimmenden Widerstand.



Jede der beiden Möglichkeiten hat Vor- und Nachteile. Die Möglichkeit a) bewährt sich zur Messung von kleinen Widerständen. Dann ist der durch den Widerstand fließende Strom viel grösser als der Strom durch das Voltmeter, so dass der Messfehler infolge Messung des Gesamtstromes mit dem Amperemeter gering bleibt. Hochohmige Widerstände werden nach Schaltung b) gemessen. Der Widerstand des Amperemeters fällt dann im Verhältnis zum unbekanntem Widerstand nicht mehr ins Gewicht.

12.4.2 Brückenschaltung

Eine sehr bekannte Methode zur Messung von Widerständen ist die Brückenschaltung:



Eine Brückenschaltung gilt allgemein dann als "abgeglichen", wenn zwischen den Punkten A und B keine Spannung mehr auftritt. Diese Bedingung ist nur dann erfüllt, wenn:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}$$

Auf die Eigenschaften des Instrumentes kommt es dabei nicht an. Eine Brückenschaltung lässt sich zur Bestimmung des unbekanntem Widerstandes R_x verwenden, indem man beispielsweise den Widerstand R_3 variabel ausbildet und solange verändert, bis das Instrument keinen Ausschlag mehr anzeigt. Dann ist die Schaltung abgeglichen, und wenn der Widerstandswert R_3 bekannt ist, lässt sich auch der unbekanntem Widerstand bestimmen. Meist ist der Widerstand R_3 als Potentiometer ausgebildet und mit einer Skala versehen, die das direkte Ablesen des unbekanntem Widerstandes erlaubt.

12.5 Wattmeter

In der Nachrichtentechnik wird die Leistung eines Signals meist durch eine Spannungsmessung des Signals über einem bekannten Widerstand ermittelt:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

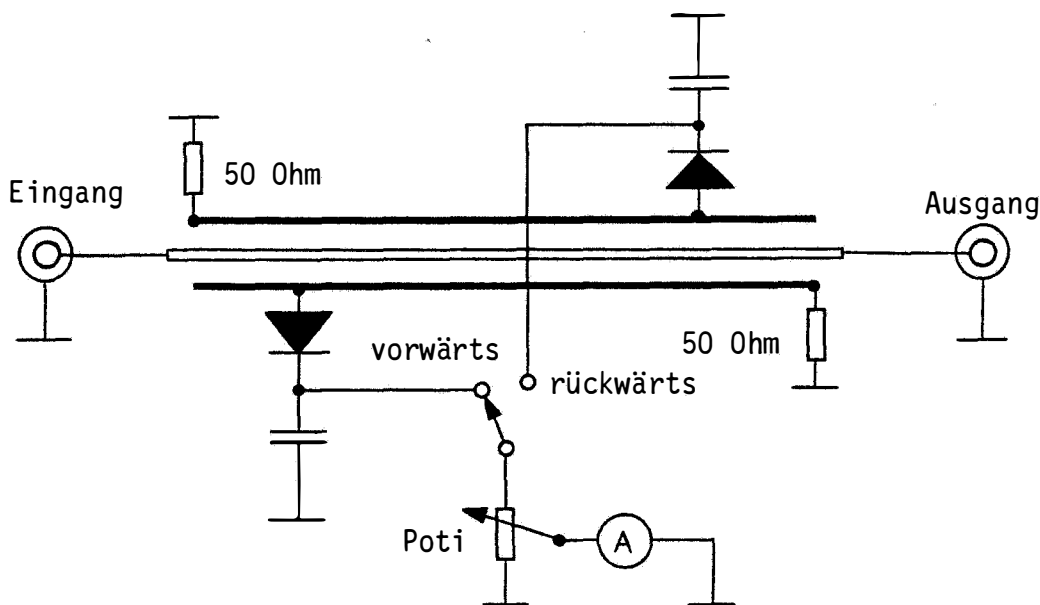
Die Energietechniker hingegen bedienen sich spezieller Wattmeter, welche zwei Spulen aufweisen: Eine Spule für Strom-, die andere für die Spannungsmessung. Solche Wattmeter können praktisch nur für die Bestimmung der Netzleistung (220 V-Netz) verwendet werden.

12.6 Stehwellenmessgerät

Stehwellenmessgeräte müssen vor- und rücklaufende Wellen auf einer Antennenspeiseleitung erfassen und unterscheiden können. Diese Aufgabe löst man mit sog. Richtkopplern, das sind Elemente, welche nur ein Signal erbringen, wenn eine Welle in einer bestimmten Richtung durch den Leiter wandert.

Ein Beispiel einer solchen Schaltung ist hier angegeben.

Zuerst stellt man mit dem Potentiometer (bei einer konstant bleibenden Senderausgangsleistung) die Messanzeige in Stellung "vorwärts" auf 100% (Vollausschlag) ein. Nach Umschalten des Schalters auf Stellung "rückwärts" zeigt dann das Instrument die entsprechende rückwärtslaufende Welle an. Um direkt eine Anzeige in VSWR zu erhalten, ist die Skala entsprechend zu eichen.



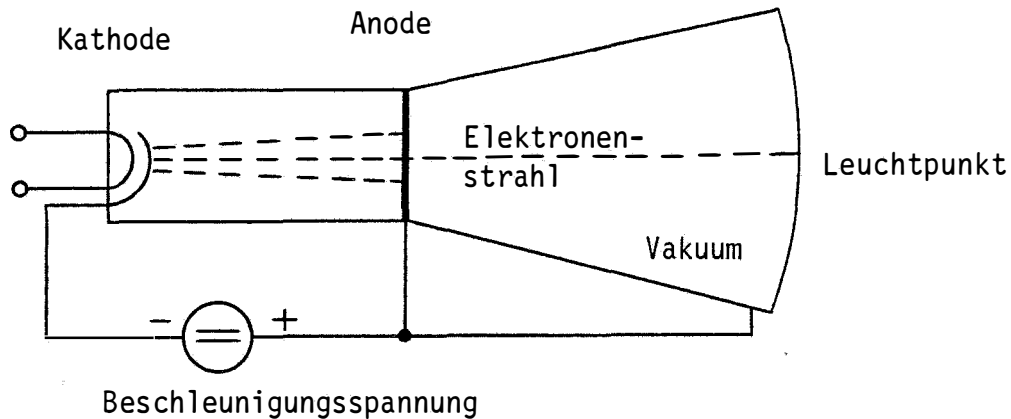
Schaltschema eines Stehwellenmessgerätes

12.7 Oszilloskop

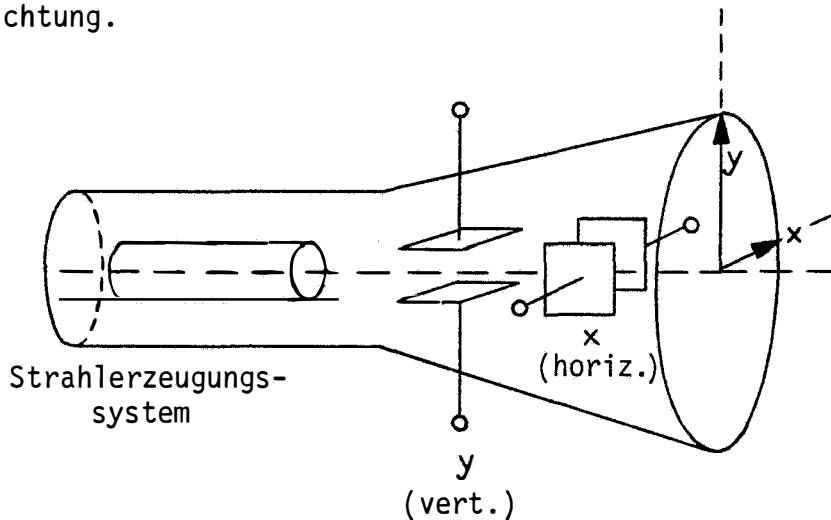
Das Oszilloskop (engl. CRT = Cathode Ray Tube) ist eines der wichtigsten Messinstrumente. Es gestattet die Darstellung von zeitlich veränderlichen Spannungsverläufen auf einem Leuchtschirm.

Die von einer Kathode emittierten Elektronen werden durch eine hohe Anodenspannung beschleunigt. In der Anode befindet sich eine Öffnung, welche einen Teil der angezogenen Elektronen durchtreten lässt. Diese Elektronen bilden einen Strahl (Elektronenstrahl, Kathodenstrahl), welcher beim Auftreffen

auf eine fluoreszierende Schicht auf der Innenseite des Bildschirmes einen Leuchtpunkt erzeugt.

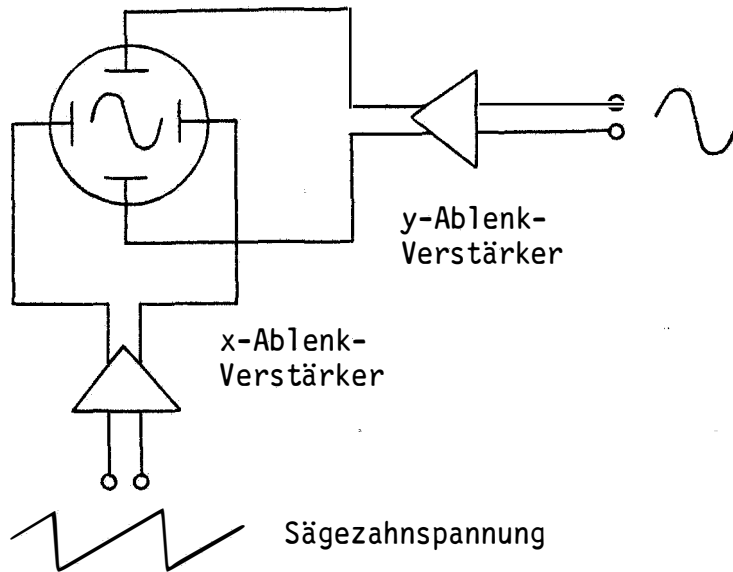


Um eine möglichst scharfe Abbildung des Punktes auf dem Schirm zu erhalten, werden in den meisten Röhren spezielle Fokussierungselektroden angebracht. Die darzustellende Information bewirkt als Ablenkspannung an zwei Ablenkplattenpaaren eine Ablenkung des Elektronenstrahls in x- und y-Richtung.



Will man beispielsweise eine sin-förmige Spannung darstellen, so gibt man die sin-Spannung auf das horizontale Plattenpaar, die sog. Vertikalablenkung (oder y-Ablenkung).

Das andere Plattenpaar, die Horizontalablenkung (oder x-Ablenkung) schliesst man an einen Sägezahn-Generator an. Dadurch wird der Punkt in der horizontalen Achse linear mit der Zeit abgelenkt (Erzeugung der Zeitskala), während das Sinussignal den Punkt in der vertikalen Achse ablenkt.



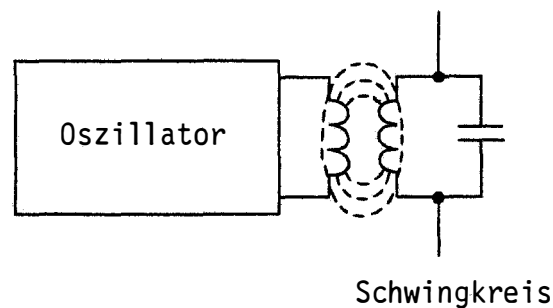
Das Oszilloskop wird für Frequenzen bis zu einigen 100 MHz gebaut, preisgünstige Produkte reichen allerdings kaum bis über 20 MHz.

12.8 Dipper

(Dip-Meter, Grid-Dip-Meter, Grid-Dipper)

Dipper sind Messgeräte, welche es erlauben, die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises zu messen. Ein Dipper ist ein Oszillator, dessen Schwingkreisspule ausserhalb der Geräteabschirmung (d.h. ausserhalb des Gehäuses) liegt.

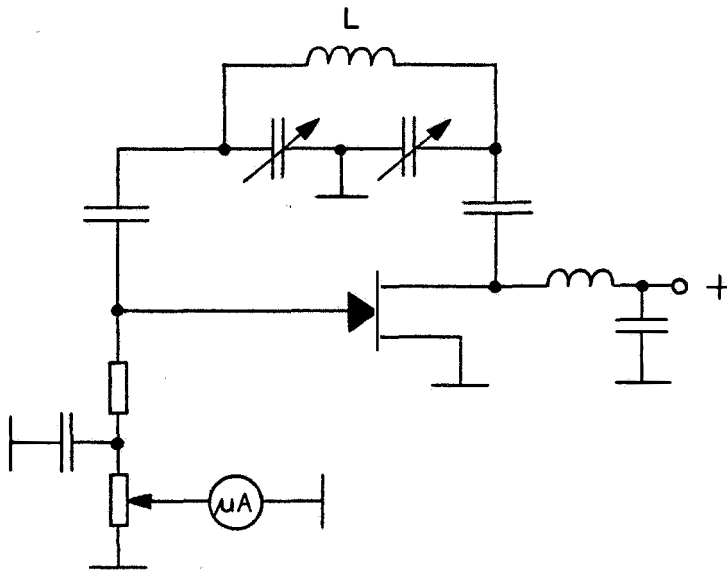
Bringt man diese Oszillatortspule in die Nähe eines Schwingkreises, so entzieht der Schwingkreis dem Oszillator eine gewisse Energie (durch induktive Kopplung). Dieser Energieentzug ist am grössten, wenn der Oszillator auf die Resonanzfrequenz des zu messenden Schwingkreises abgestimmt wird.



Die Grösse des Energieentzuges kann man z.B. mit einem Instrument im Gate-Kreis des Oszillator-FETs messen.

(Als die Dipper noch mit Elektronenröhren gebaut wurden, lag dieses Instrument im Gitterkreis der Röhre {Grid=Gitter}, deshalb der Name Grid-Dip-Meter oder Grid-Dipper). Zeigt das Instrument beim Durchdrehen des Oszillator-Drehkondensators plötzlich ein Minimum an ("Dip"), so ist dies die Anzeige, dass nun die Schwingfrequenz des Oszillators mit der

Frequenz des auszumessenden Schwingkreises übereinstimmt.
Ein Beispiel eines Transistor-Dippers ist nachstehend angegeben.

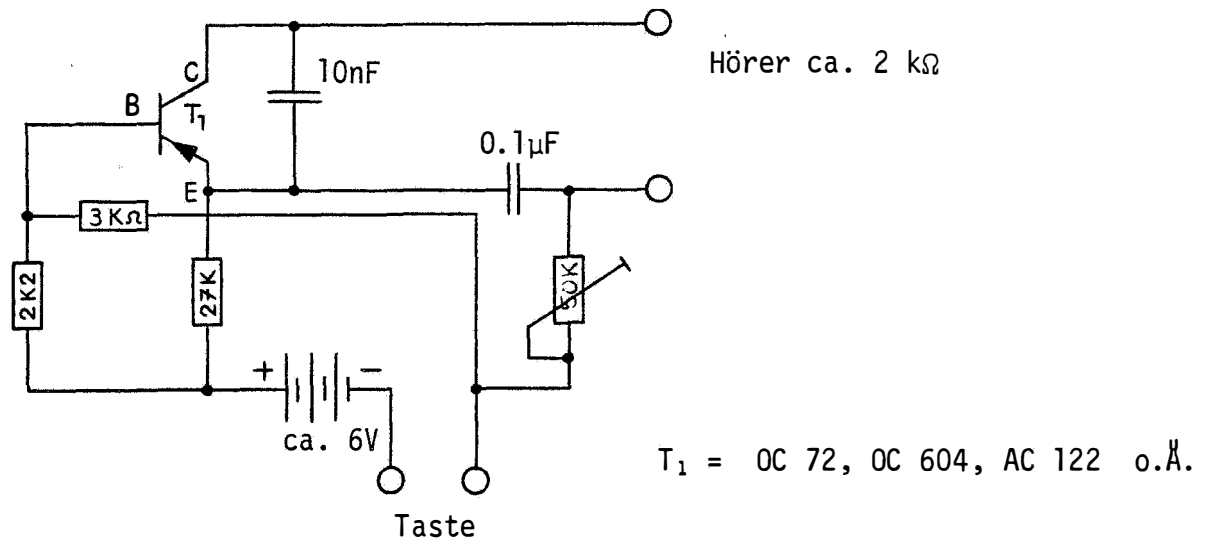


Transistor-Dipper mit JFET

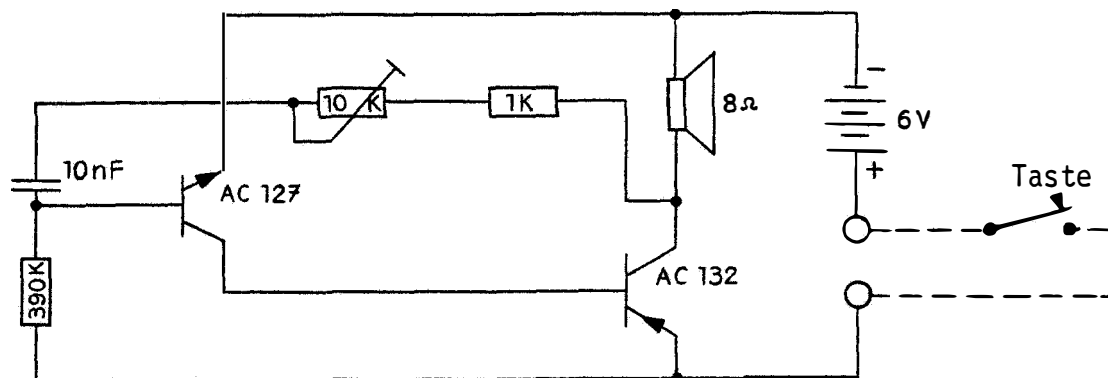
MORSEUEBUNGSGERAET

Bauteile, die wir einem alten Transistorempfänger oder der Bastelkiste entnehmen, eignen sich bestimmt, um ein einfaches Morseübungsgerät selbst herzustellen.

Für den Betrieb eines Kopfhörers:



Für die Wiedergabe mittels eines 8 Ohm Lautsprechers:



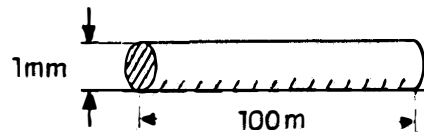
Wenn die nötigen Bauteile fehlen, können sie in jedem Elektronikmaterial-Versand bestellt werden,

z.B. Elektronik-Versand MOSER, 3327 Lyssach BE
Urs Meyer Elektronik, 2053 Cernier
Kurt Pusterla Elektronik, 8027 Zürich
Griender Bauteile, Peter.Merian-Strasse 58, 4002 Basel
AL-Elektronik, Lindstr. 28, 8400 Winterthur

Alle diese Firmen liefern auf Wunsch gratis ihren Katalog!

Aufgaben 1

- 1) Das Lichtnetz liefert eine Spannung von 220 V. Wie gross muss der Lastwiderstand sein, damit ein Strom von 5 A fliesst?
- 2) Wieviele Elektronen fliesen bei einem Strom von 5 A in einer ms (10^{-3} s) durch den Querschnitt eines Leiters?
- 3) Durch einen Widerstand von 52 Ohm fliesst ein Strom von 2.5 A. Wie gross ist die Spannung über dem Widerstand?
- 4) Der spezifische Widerstand von Kupfer beträgt $\rho = 0,017 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$. Wie gross ist der Widerstand des Drahtes?

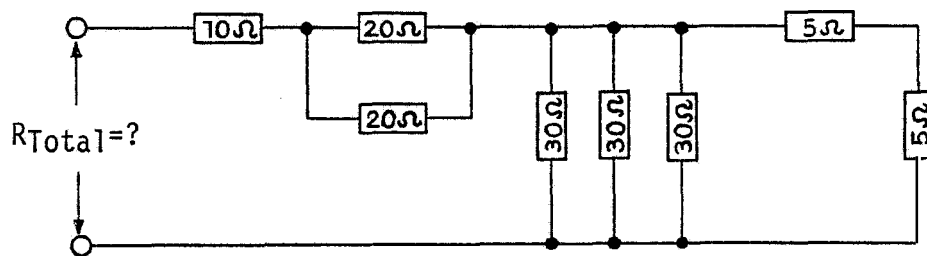


- 5) In einen Kondensator sei während 10 sec ein konstanter Strom von 10 mA geflossen. Wie gross ist die im Kondensator gespeicherte Ladung (= Elektrizitätsmenge)?
- 6) Warum verwendet man die Bezeichnung "Elektronengas"? Ist sie für jeden Stoff gültig?
- 7) Ein Wechselstrom fliesst durch eine Leitung. Pro Sekunde wird dieser Strom 1000 mal Null. Wie gross ist die Frequenz des Wechselstroms?

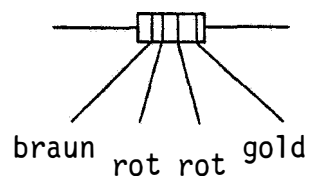
Aufgaben 2

1. Drei Glühlampen von 20 Ohm, 15 Ohm und 55 Ohm sind in Serie geschaltet. Wie gross ist der Strom, der durch die Lampen fliesst, wenn sie von einer 9 V Batterie gespeist werden?
2. Für eine Kunstantenne benötigen wir einen Widerstand von 50 Ohm und einer Leistung von 100 W. In unserer Bastelkiste finden wir aber nur 2 W Widerstände. Für welchen Wert müssen wir uns entscheiden, wenn wir 50 von denen parallel schalten wollen?

3.



4. 2 Glühlampen sind in Serie geschaltet. Lampe 1 hat 18 Ohm und Lampe 2 27 Ohm. Sie werden von einer 4.5 V Batterie betrieben. Wieviel Spannung misst man mit dem Voltmeter über L 1 und L 2?
5. Beim Kurzschluss einer 4.5 V Batterie fließen 12 A. Wie gross ist der Innenwiderstand R_i der Batterie?
6. Wie gross ist der Leitwert eines 500 Ohm Widerstandes?
7. Die Farbringe eines Widerstandes sehen wie folgt aus:
Was kann man daraus schliessen?



Aufgaben 3

1. Auf dem Oszillographenbildschirm stellt man fest, dass eine Periode eines sinusförmigen Wechselstromes 20 ms (20 Millisekunden) lang dauert.
Um welche Frequenz handelt es sich?
2. Unser kleiner Schwarzsender arbeitet auf 78 MHz.
Wie gross ist dessen Wellenlänge?
3. Ein Kondensator von $2.2 \mu\text{F}$ und ein anderer von $0.68 \mu\text{F}$ seien parallel geschaltet.
Wie gross ist die Gesamtkapazität, die daraus resultiert?
4. Wir benötigen einen $6 \mu\text{F}$ Kondensator. Wir haben aber nur zwei solche mit je $12 \mu\text{F}$.
Wie müssen diese geschaltet werden?
5. An die 220 V/50Hz Netzleitung wird ein Kondensator von $10 \mu\text{F}$ angeschlossen.
Wie hoch ist der Strom durch den Kondensator zu erwarten?
6. Wie ist die Phasenverschiebung im Kondensator zu erklären?

Aufgaben 4

-
1. Berechne die Feldstärke im Innern einer Spule mit einer mittleren Feldlinienlänge von 10 cm, dem Durchmesser 2 cm und der Windungszahl 500. Die Stromstärke betrage 1 A.
 2. Wie gross ist die magnetische Induktion für obige Spulen?
 3. In obige Spule werde ein Eisenkern mit der relativen Permeabilität $\mu_r = 10'000$ eingebracht.
Wie gross sind nun Feldstärke und Induktion?
 4. Wie gross ist in beiden Fällen der magnetische Fluss?
 5. Ein 1m langer Draht bewege sich in einem Magnetfeld, dessen Induktion $B = 10 \text{ Vs/m}^2$ betrage. Die Geschwindigkeit des Leiters beträgt 1m/s.
Wie gross ist die induzierte Spannung?
 6. Die Induktivität einer Spule betrage 500 mH. Durch sie fliesse ein Wechselstrom von 2 A (Effektivwert). Die Frequenz betrage 50 Hz.
Wie gross ist die maximal induzierte Spannung?
 7. Es sei eine Serieschaltung von $L_1 = 1 \text{ H}$ und $L_2 = 2 \text{ H}$ angenommen.
Der Strom beträgt 1A (Effektivwert). Frequenz: 50 Hz
Berechne die Spannungen und zeichne das Zeigerdiagramm!

Aufgaben 5

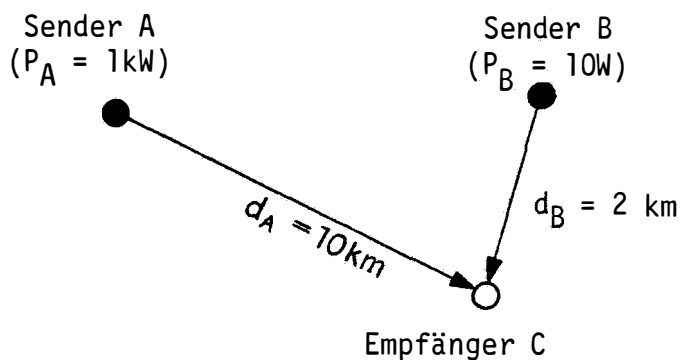
1. Ein Trafo für ein Netzgerät eines Amateursenders liefert sekundär 20 A bei 12.5 V.
Wie gross ist der Primärstrom bei einer Netzspannung von 220 V?
2. Wie gross muss das Uebersetzungsverhältnis eines NF-Ausgangstrafos gewählt werden, um einen Lautsprecher von 8 Ohm Impedanz an eine Quelle mit 200 Ohm Impedanz anzupassen? Beide Impedanzen seien ohmisch.
3. Zeichne die Impedanzzeiger und die Zeiger für Strom und Spannung für 2 in Serie geschaltete Kondensatoren (10 nF und 20 nF bei $f = 200 \text{ KHz}$)!
4. Trage in die Zeichnung der Aufgabe 3 die berechneten Grössen ein!
5. Eine Spule für das 80m-Band (3.7 MHz) wird mit einem Ohmmeter ausgemessen. Der Widerstand beträgt 8 Ohm. Die Induktivität ist 20 μH .
Wie gross ist die Spulengüte?
6. Zeichne die Admittanzzeiger für 2 parallel geschaltete Induktivitäten von 20 μH bzw. 30 μH !
7. Mit welchem Strom darf ich eine Spule maximal belasten, wenn ihr Drahtdurchmesser 2 mm beträgt? Die Spule sei Teil des Pi-Filters einer Sender-Endstufe.

Aufgaben 6

1. Welche Ströme fließen bei Parallelschaltung einer Spule von 1.5 H mit einem Widerstand von 400 Ohm bei einer angelegten Spannung von 220 V mit 50 Hz ?
Wie gross ist der Scheinwiderstand?
2. Bei einer Serieschaltung von $C = 56 \text{ nF}$ mit einem Wirkwiderstand wird bei einer Frequenz von 2 kHz und bei einer Spannung von 3 V ein Strom von 1.2 mA gemessen. Wie gross ist R ?
3. Welcher Strom fliesst durch eine Drossel von 12 H und 300 Ohm Gleichstromwiderstand bei einer Spannung von 270 V , 100 Hz ?
4. In einer Parallelschaltung von R und C an 10 V mit 15 kHz wurden die Teilströme mit $I_C = 2.2 \text{ mA}$ und $I_R = 3 \text{ mA}$ bestimmt. Wie gross sind R und C ? Wie gross ist der Scheinwiderstand der Schaltung?
5. Welche Resonanzfrequenz hat ein Schwingkreis mit der Kapazität $C = 450 \text{ pF}$ und der Induktivität $L = 2 \text{ mH}$?
6. Ein Parallelschwingkreis werde bei $f_0 = 21 \text{ MHz}$ betrieben. Die Induktivität L der Spule betrage $L = 10 \text{ }\mu\text{H}$, der ohmsche Widerstand betrage 10 Ohm (Skin-Effekt berücksichtigt).
Berechne die Kapazität C , Schwingkreisgüte Q sowie die mit diesem Schwingkreis erzielte Bandbreite!

Aufgaben 7

1. Ein Sender erzeugt eine magnetische Feldstärke von 1 A/m . Wie gross ist die dazugehörige elektrische Feldstärke?
(Die elektromagnetische Welle befindet sich im luftgefüllten Raum.)
2. Wie gross ist die Strahlungsdichte bei Aufgabe 1?
3. Ein Sender befindet sich auf einem synchronen Weltraumsatelliten und strahlt in alle Richtungen gleichförmig mit einer Leistung von $P = 10 \text{ W}$. Wie gross ist die Empfangsfeldstärke auf der Erde, d.h. in einer Entfernung von $36'000 \text{ km}$?
Die Sendefrequenz des Satelliten betrage $f = 435 \text{ MHz}$.
4. Zwei Sender A und B senden auf der gleichen Frequenz. Eine Empfangsstation C befindet sich in den gemäss Skizze angegebenen Entfernungen. Welcher Sender wird in C besser empfangen und wieviel mal besser ist die erzeugte Empfangsfeldstärke des besseren Senders als die des schlechteren?



Aufgaben 8

1. Geben Sie für die nachstehend aufgeführten gewünschten Punkt-Punkt-Verbindungen die zu den angegebenen Zeiten günstigsten Amateurbänder an. Schlagen Sie auch eine mögliche Frequenz vor (Telefonieverkehr).

a) Winterthur - New York	1600	16.4.75
b) Winterthur - Johannesburg	1500	20.5.75
c) Winterthur - Zürich	2100	1.6.75
d) Winterthur - Innsbruck	2000	1.5.75
e) Winterthur - Oslo	2100	1.5.75
f) Winterthur - Rio de Janeiro	1600	5.5.75

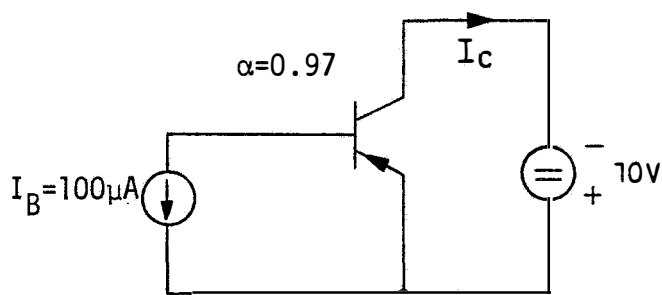
2. Wie gross ist die Reichweite eines Senders der Frequenz 135 MHz an Bord eines Flugzeuges in 12 km Höhe über dem Atlantik? Die Empfangsstation befinde sich auf der Meeresoberfläche.

3. Wieviele Sender mit 3 kHz Bandbreite lassen sich im 20m-Band unterbringen? Wieviele sind es im Telefonieteil des 20m-Bandes?

4. Für eine bestimmte Zeit betrage die MUF ca. 21 MHz. In welcher Entfernung wird der 1. reflektierte Strahl eines Senders im 15m-Band die Erdoberfläche wieder erreichen?
Die reflektierende Schicht sei die F_2 -Schicht. Der Reflexionspunkt befinde sich in 400 km Höhe. Geradlinige Ausbreitung wird angenommen.

Aufgaben 9

1. Eine Diode stellt einen ohmschen Widerstand dar. Welchen ohmschen Widerstand weist die Diode mit der auf S.53 angegebenen Kennlinie auf, wenn man sie in Durchlassrichtung mit 1 V Spannung betreibt?
2. Der Stromverstärkungsfaktor eines Transistors in Emitterschaltung beträgt 55. Wie gross ist der Stromverstärkungsfaktor des Transistors in Basisschaltung?
3. Gegeben folgende Emitterschaltung. Wie gross ist I_C ?



4. Welches ist der Unterschied zwischen MOSFET und Sperrschicht-FET?
5. Wie kann man eine Frequenz von 10 GHz erzeugen?
6. Sie wollen eine Senderendstufe für die Lizenzklasse D2 bauen. Welche Röhre der auf S. 64 angegebenen Typen würden Sie auswählen?
Frequenzbereich 3.5...29.7 MHz.

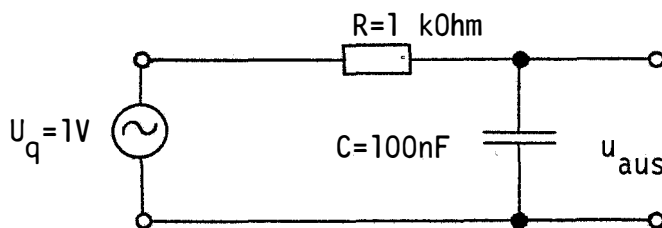
Aufgaben 10

1. Berechnen Sie die Ausgangsspannung der folgenden Schaltung im Frequenzbereich 0...5000 Hz. Wählen Sie etwa 5...10 Werte für die Frequenz.

Zeichnen Sie den Verlauf der Ausgangsamplitude in Abhängigkeit von der Frequenz auf.

(Darstellung ähnlich wie in Kursunterlagen S.75 oben)

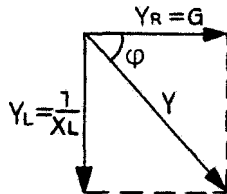
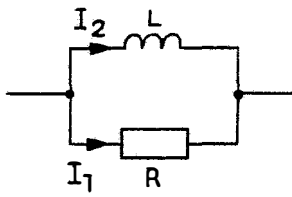
Die Eingangsspannung beträgt 1V.



2. Stimmt die aus der Darstellung der Aufgabe 1 ermittelte Grenzfrequenz mit dem Wert überein, der nach der Formel auf S.75 mitte berechnet wurde?
3. Zeichnen Sie eine Gegentaktendstufe für NF mit Elektronenröhren (Trioden)!
4. Ein Akku habe einen Innenwiderstand von 0.1 Ohm bei einer Spannung von 13.5 V. Welche Leistung kann er maximal an einen angeschlossenen Verbraucher abgeben?
Wie gross ist dann der Wirkungsgrad?
5. Berechne die Wirkungsgrade sowie die Inputleistungen für alle in der Tabelle auf S.79 aufgelisteten HF-Leistungstransistoren!

Lösungen der Aufgaben 6

①



$$Z_L = X_L = \omega L = 314 \cdot 1.5 = 471 \Omega$$

$$Y_L = \frac{1}{471 \Omega} = 0.00212 \text{ S}$$

$$Z_R = R = 400 \Omega$$

$$Y_R = G = \frac{1}{400 \Omega} = 0.0025 \text{ S}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} = \sqrt{0.0000107444} \text{ S} = 0.0032778 \text{ S}$$

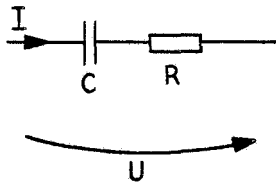
$$Z = \frac{1}{Y} = \underline{\underline{305.1 \Omega}}$$

Ströme:

$$I_1 = \frac{U}{Z_R} = \frac{220 \text{ V}}{400 \Omega} = \underline{\underline{0.55 \text{ A}}}$$

$$I_2 = \frac{U}{X_L} = \frac{220 \text{ V}}{471 \Omega} = \underline{\underline{0.467 \text{ A}}}$$

②



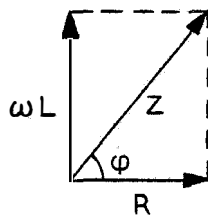
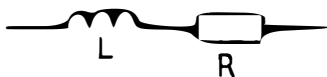
$$Z = \frac{U}{I} = \frac{3 \text{ V}}{1.2 \text{ mA}} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 56 \cdot 10^{-9}} = 1421 \Omega$$

$$Z^2 = R^2 + X_C^2$$

$$\rightarrow R = \sqrt{Z^2 - X_C^2} = \sqrt{2.5^2 - 1.421^2} \text{ k}\Omega = \underline{\underline{2.05 \text{ k}\Omega}}$$

③



$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2}$$

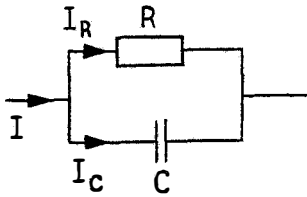
$$X_L = 2\pi \cdot 100 \cdot 12 = 7539.8 \Omega$$

$$Z = 7545.8 \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \underline{\underline{0.0357 \text{ A}}}$$

Fortsetzung Aufgabenlösungen 6

④



$$R = \frac{U}{I_R} = \frac{10V}{3mA} = 3333.3$$

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{1}{\omega C} \rightarrow C = \frac{I_C}{\omega \cdot U}$$

$$= \frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 10} = C = 2.334nF$$

=====

$$X_C = \frac{U}{I_C} \rightarrow 0.219 \cdot 10^{-3} S = Y_C$$

$$G = 0.3 \cdot 10^{-3} S$$

$$Y = \sqrt{Y_R^2 + Y_C^2} = 3.7202 \cdot 10^{-4} S \quad Z = 2688 \Omega$$

=====

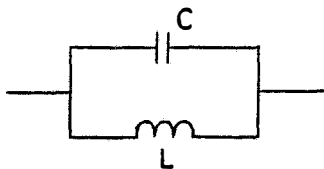
⑤

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{450 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}}$$

$$= 1.6776 \cdot 10^5 \text{ Hz} = 167.76 \text{ kHz}$$

=====

⑥



$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$(2\pi f_o)^2 = \frac{1}{LC}$$

$$C = \frac{1}{L (2\pi f_o)^2} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6} (2\pi \cdot 21 \cdot 10^6)^2} = 5.7438 \text{ pF}$$

=====

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi \cdot 21 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{10} = 131.9$$

=====

$$b = \frac{f_o}{Q} = \frac{21 \cdot 10^6 \text{ Hz}}{131.9} = 159.2 \text{ kHz}$$

=====

Lösungen der Aufgaben 7.

1. $H = 1 \text{ A/m}$

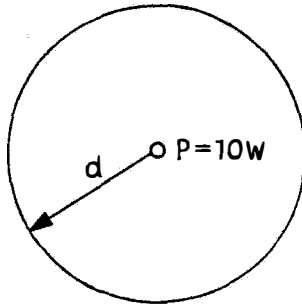
$$Z = \frac{E}{H} \rightarrow E = Z \cdot H = 377\Omega \cdot 1 \text{ A/m} = 377 \text{ V/m}$$

=====

2. $P' = Z_f \cdot H^2 = 377\Omega \cdot 1 \text{ A}^2/\text{m}^2 = 377 \text{ W/m}^2$

=====

3.



$$d = 36'000 \text{ km} = 3,6 \cdot 10^7 \text{ m}$$

zuerst Strahlungsdichte: $P' = \frac{P}{4\pi d^2}$

Feldstärke: $P' = \frac{E^2}{Z_f} \rightarrow E = \sqrt{P' \cdot Z_f}$

eingesetzt: $E = \sqrt{\frac{P}{4\pi d^2} \cdot Z_f} = \frac{1}{2d} \sqrt{\frac{P \cdot Z_f}{\pi}}$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,6 \cdot 10^7 \text{ m}} \cdot \sqrt{\frac{10 \text{ W} \cdot 377\Omega}{3,14}} = \frac{1}{7,2 \cdot 10^7} \sqrt{1200} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$= \frac{34,7}{7,2} \cdot 10^{-7} \frac{\text{V}}{\text{m}} = 4,81 \cdot 10^{-7} \frac{\text{V}}{\text{m}} = 0,481 \mu\text{V/m}$$

=====

4. Leistungsstärke am Empfangsort proportional $\frac{P}{d^2}$

Empfangsstärke proportional $\sqrt{\frac{P}{d^2}} = \frac{\sqrt{P}}{d}$

$$A \rightarrow C : E_A \sim \frac{\sqrt{P_A}}{d_A} = \frac{\sqrt{1000}}{10} = 3,16$$

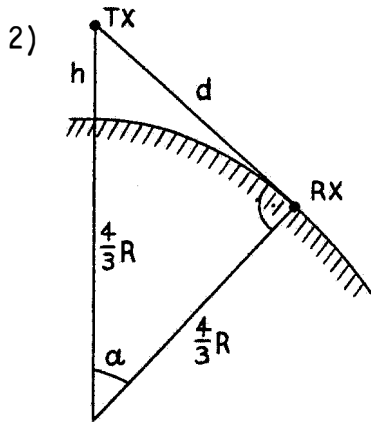
$$B \rightarrow C : E_B \sim \frac{\sqrt{P_B}}{d_B} = \frac{\sqrt{10}}{2} = 1,58$$

Sender A fällt besser ein, seine Empfangsfeldstärke ist doppelt so gross wie die des Senders B.

Beachte: Erhöhung der Senderleistung um das 100 fache (!) bringt gar nicht so viel, wie man sich das mancherorts vorstellt.

Lösungen der Aufgaben 8

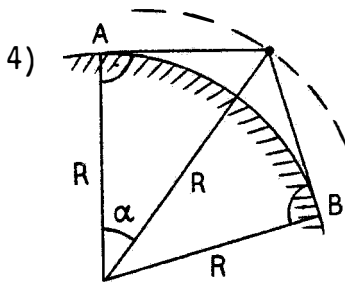
- 1) a) 20m-Band 14'250 kHz
 b) 15m-Band 21'320 kHz
 c) 2m-Band 144'100 kHz
 d) 80m-Band 3'650 kHz
 e) 40m-Band 7'040 kHz
 f) 15m-Band 21'250 kHz



$$\begin{aligned}
 d &= \sqrt{\left(h + \frac{4}{3}R\right)^2 - \left(\frac{4}{3}R\right)^2} \\
 &= \sqrt{h^2 + \left(\frac{4}{3}R\right)^2 + \frac{8}{3}Rh - \left(\frac{4}{3}R\right)^2} = \sqrt{h^2 + \frac{8}{3}Rh} \\
 &= h \sqrt{1 + \frac{8}{3} \frac{R}{h}} = 12 \text{ km} \sqrt{1 + \frac{8}{3} \frac{6370}{12}} \\
 &= 12 \text{ km} \cdot \sqrt{1412} = d = \underline{\underline{451 \text{ km}}}
 \end{aligned}$$

- 3) 20m-Band: Total: 14.000 MHz - 14.350 MHz → 350 kHz
 Telefonie: 14.100 MHz - 14.350 MHz → 250 kHz

$$\begin{aligned}
 \frac{350}{3} &= 116 \\
 &=== \\
 \frac{250}{3} &= 83 \\
 &==
 \end{aligned}$$



$$\cos \alpha = \frac{R}{R+h} = \frac{6370}{6770} = 0.941$$

$$\alpha = 19^{\circ}47.5'$$

$$2 \alpha = 39^{\circ}35' = 39.5833^{\circ}$$

Berechnung der Weglänge auf
 Erdoberfläche x (Strecke AB)

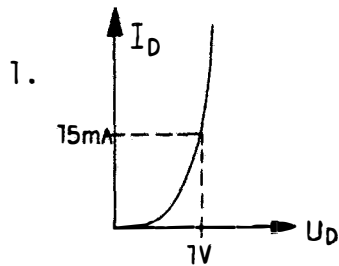
$$\frac{360^{\circ}}{2\alpha} = \frac{2\pi \cdot 6370 \text{ km}}{x}$$

$$x = \frac{2\pi \cdot 6370 \text{ km} \cdot 39.5833}{360}$$

$$= 4400 \text{ km}$$

=====

Lösungen der Aufgaben 9



$$R = \frac{U}{I} = \frac{1\text{ V}}{15\text{ mA}} = \underline{\underline{66.67\Omega}}$$

2. $\beta = 55$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\beta(1 - \alpha) = \alpha$$

$$\beta - \beta\alpha = \alpha$$

$$\beta = \alpha + \alpha\beta = \alpha(1 + \beta) \rightarrow \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{55}{56} = \underline{\underline{0.98214}}$$

3. $I_C = \beta \cdot I_B$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = 32.333$$

$$I_C = 32.333 \cdot 100\ \mu\text{A} = \underline{\underline{3.233\text{ mA}}}$$

4. MOSFET: Gate gegen Kanal isoliert

JFET: Gate bildet Halbleiterdiode gegen Kanal

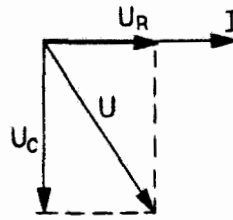
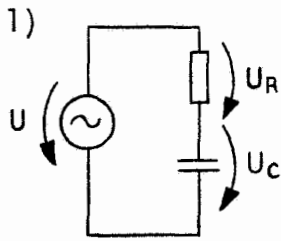
5. z.B. mit Klystron und Magnetron

6. D2 erlaubt den Betrieb von Verstärkern mit 150 W Anodenverlustleistung. Da auch Parallelschaltung erlaubt ist, ergibt sich die (theoretisch) höchste Ausgangsleistung mit

$$6 \times 6146$$

$$P_{\text{out}} = 6 \cdot 65\text{ W} = 390\text{ W}$$

Lösungen der Aufgaben 10



$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

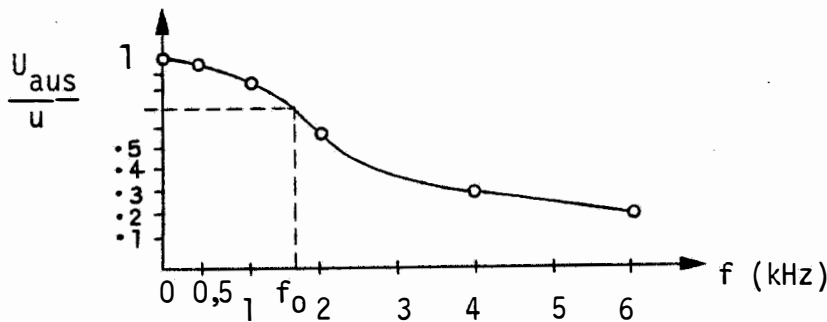
$$U_C = U_{\text{aus}} = Z_C \cdot I = X_C \cdot I$$

$$= \frac{1}{C} \cdot \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$U_{\text{aus}} = \frac{U}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}}$$

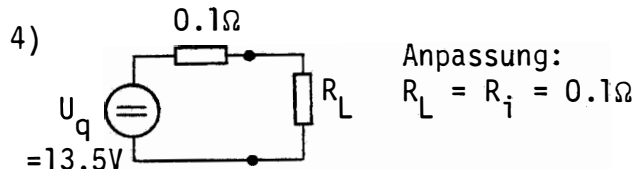
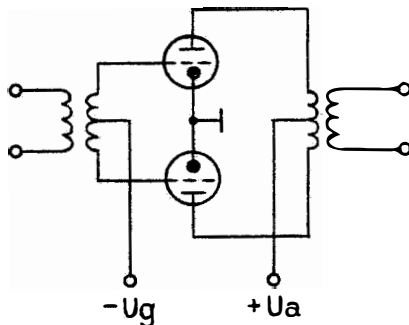
$$(RC)^2 = (10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9})^2 = (10^{-4})^2 = 10^{-8}$$

	0	500	1000	2000	4000	6000
ω	0	3141	6283	12566	25130	37699
$\omega^2 R^2 C^2$	0	0.098	0.394	1.579	6.315	14.21
$\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}$	1	1.047	1.181	1.605	2.704	3.9
U_{aus} / U	1	0.955	0.846	0.623	0.369	0.256



2) $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1592.35 \text{ Hz}$ stimmt überein
=====

3) z.B.:



Anpassung:
 $R_L = R_i = 0.1 \Omega$

an R_L : $\frac{U_q}{2} = \frac{13.5V}{2} = 6.75 \text{ V}$

Leistung: $P = \frac{U_L^2}{R_L} = 455.6 \text{ W}$ $\eta = 50\%$
=====

5) INPUT = Ausgangsleistung + Verlustleistung

$\eta = 33.3\%; 36.4\%; 28.6\%; 26.3\%$
=====

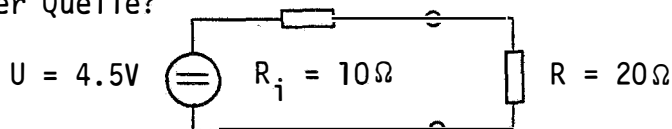
$\eta = \frac{\text{Agangsleistung}}{\text{INPUT}}$

Name: -----

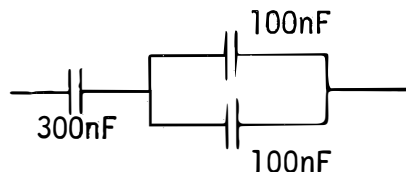
Beruf: -----

Die Aufgaben sind auf einem separaten Blatt zu lösen, welches mit dem Namen zu versehen ist und mit diesem Blatt zusammen abgegeben wird. Kursunterlagen und andere Literatur dürfen für diesen Test nicht benützt werden!

1. Berechnen Sie den gesamten Widerstand von Serie- und Parallelschaltung von 2 Widerständen mit den Werten 10 Ohm und 90 Ohm.
2. Gegeben sei eine nichtideale Quelle mit angeschlossenem Lastwiderstand gemäss Skizze. Berechne die Klemmenspannung der Quelle sowie den abgegebenen Strom und die abgegebene Leistung. Wie gross ist die Verlustleistung der Quelle?



3. Wie gross ist die Wellenlänge einer Schwingung mit der Frequenz $f = 100 \text{ MHz}$?
4. Berechne die Gesamtkapazität der folgenden Schaltung!



5. Ein Trafo liefere auf der Sekundärseite 6 A bei einer Spannung von 55 V. Wieviel beträgt der Primärstrom bei einer Primärspannung von 220 V?
6. Welchen Scheinwiderstand hat die Reihenschaltung eines Kondensators von $0.5 \mu\text{F}$ mit einem Wirkwiderstand von 300 Ohm bei 795 Hz?
7. Berechne die Resonanzfrequenz eines Parallelschwingkreises mit der Induktivität $L = 1 \mu\text{H}$ und der Kapazität $C = 100 \text{ pF}$!

Lösungen TEST 1

1. Serieschaltung: $R = R_1 + R_2 = 100 \Omega$
=====

Parallelschaltung: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 9 \Omega$
=====

2. Strom: $I = \frac{U}{R+R_i} = \frac{4.5 \text{ V}}{30 \Omega} = 150 \text{ mA}$
=====

Klemmenspannung: $U_k = U - R_i \cdot I = 4.5 \text{ V} - 10 \Omega \cdot 0.15 \text{ A} = 3 \text{ V}$
=====

abgegebene Leistung: $P = U_R \cdot I = 3 \text{ V} \cdot 0.15 \text{ A} = 0.45 \text{ W}$
=====

Verlustleistung: $P = U_{R_i} \cdot I = 1.5 \text{ V} \cdot 0.15 \text{ A} = 0.225 \text{ W}$
=====

3. $\lambda = \frac{300'000 \text{ km/s}}{100 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 3 \text{ m}$
=====

4. Parallelschaltung: $C = 200 \text{ nF}$

Serieschaltung mit 300 nF : $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{300 \cdot 200}{500} \text{ nF} = 120 \text{ nF}$
=====

5. $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow I_1 = \frac{U_2 I_2}{U_1} = \frac{55 \text{ V} \cdot 6 \text{ A}}{220 \text{ V}} = 1.5 \text{ A}$
=====

6. $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1 \Omega}{6.28 \cdot 795 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6}} = 400 \Omega$

$R = 300 \Omega$

$Z = \sqrt{X_C^2 + R^2} = \sqrt{400^2 + 300^2} = 500 \Omega$
=====

7. $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C}} = \frac{1 \text{ Hz}}{6.28 \cdot \sqrt{100 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^9}{62.8} \text{ Hz} = 15.9 \text{ MHz}$
=====

Bewertung:

11 Ergebnisse

Pro falsches Ergebnis 0.5 Punkte Abzug von anfänglich 6 Punkten.

T E S T 2

Note

Name:

Ich verwende wöchentlich im Durchschnitt Stunden für das Studium des Technikkurses.

Zeit: 50 Minuten

Bewertung: Totale erreichte Punktzahl dividiert durch 4.

Eventuelle Ausrechnungen auf separatem Blatt! Resultate auf diese Blätter übertragen!

1. Die Feldstärke eines Senders in 10 km Entfernung beträgt $100 \mu\text{V/m}$. Wie gross ist die Feldstärke desselben Senders in einer Entfernung von 20km?

2

2. Welches sind die Bezeichnungen für die drei Polarisationsarten?

0
 1
 1

3. Wie breit ist das totale Frequenzspektrum, das den Amateuren zwischen 5 und 20 MHz zur Verfügung steht?

1

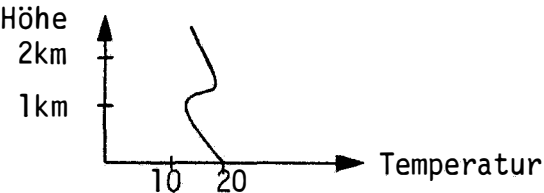
4. Die MUF betrage 20 MHz. Was geschieht mit einem Signal, das auf dem 15m-Band abgestrahlt wird? (Sender auf der Erdoberfläche)

1

5. Warum ist die Ausbreitung auf dem 80m-Band tagsüber so schlecht?

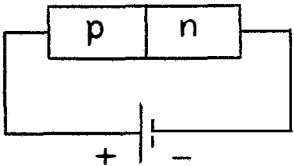
1

6. Geben Sie die Bezeichnung für diese Erscheinung! (1 Stichwort)



1

7. Leitet oder sperrt diese Diode?

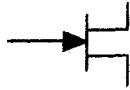


1

8. Zählen Sie 3 Transistorbauformen auf!

	0
	1
	1

9. Ist dies das Symbol eines n- oder p-Kanal-JFETs?

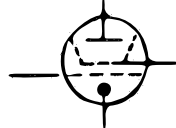


	1
--	---

10. Zeichnen Sie den Aufbau eines MOSFET (p-Kanal)!

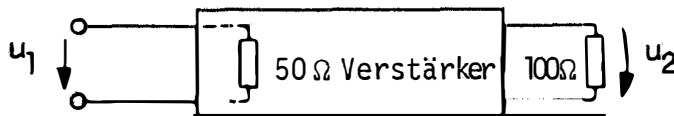
	3
--	---

11. Wie heisst diese Röhre?



	1
--	---

12. Wir messen einen Verstärker aus. Dabei beträgt $u_1 = 10 \text{ V}$ und der Spannungsverstärkungsfaktor 10.



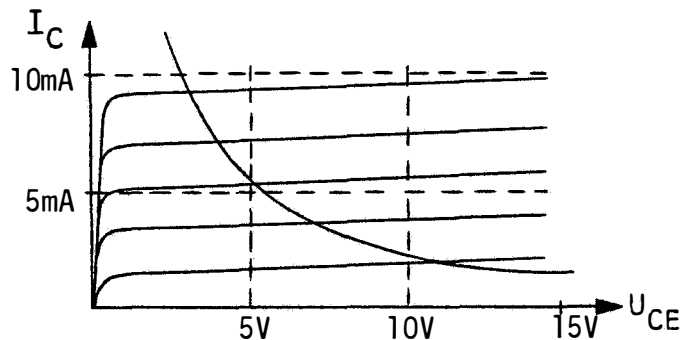
Wie gross ist die Verstärkung in dB?

	4
--	---

13. Muss ein Verstärker mit einem npn-Transistor in Emitterschaltung mit einer positiven oder negativen Speisespannung (am Kollektor) versorgt werden?

	1
--	---

14. Gegeben dieses Ausgangskennlinienfeld:



Die Batteriespannung betrage 10 V. Wie gross muss der zu wählende Kollektorwiderstand mindestens sein?

	2
--	---

15. Wie gross ist bei 14. die maximale Transistor-Verlustleistung?

	1
--	---

Lösungen TEST 2

1. $d_1 = 10 \text{ km}$
 $d_2 = 20 \text{ km}$

$$\left. \begin{aligned} E_1 &\sim \frac{1}{d_1} \\ E_2 &\sim \frac{1}{d_2} \end{aligned} \right\} \frac{E_1}{E_2} = \frac{d_2}{d_1} = 2$$

$$E_2 = \frac{1}{2} E_1 = \underline{\underline{50 \mu\text{V/m}}}$$

2. vertikal, horizontal, zirkular

3. 7000...7100 kHz und 14000...14350 kHz → 450 kHz

4. wird nicht reflektiert, da $f > \text{MUF}$

5. Tagesdämpfung

6. Höheninversion

7. Diode leitet

8. siehe S. 56

9. n-Kanal-JFET

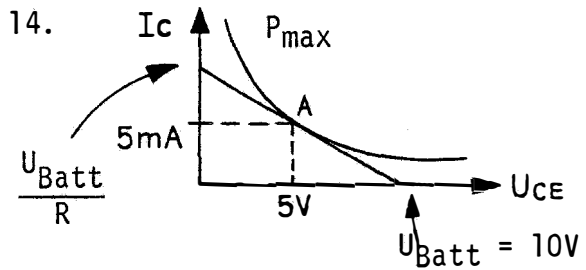
10. siehe S. 59. Zwischen Kanal und Gate-Elektrode keine Halbleiterschicht!

11. Tetrode

12. Leistung am Eingang: $p = \frac{100 \text{ V}^2}{50 \Omega} = 2 \text{ W}$
 Leistung am Ausgang: $p = \frac{10000 \text{ V}^2}{100 \Omega} = 100 \text{ W}$ } $V = 50$

$$V = 10 \cdot \lg 50 \text{ dB} = \underline{\underline{16.99 \text{ dB}}}$$

13. positiv



Widerstandsgerade darf Leistungshyperbel nicht überschneiden

$$\frac{U_{\text{batt}}}{R} = 10 \text{ mA} \rightarrow R = 1 \text{ k}\Omega$$

15. z.B. Punkt A → $P = 5 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = \underline{\underline{25 \text{ mW}}}$

Name:

Ich werde mich voraussichtlich für Ende 1978 auf die

- Radiotelegrafisten-Prüfung
 Radiotelephonisten-Prüfung

anmelden.

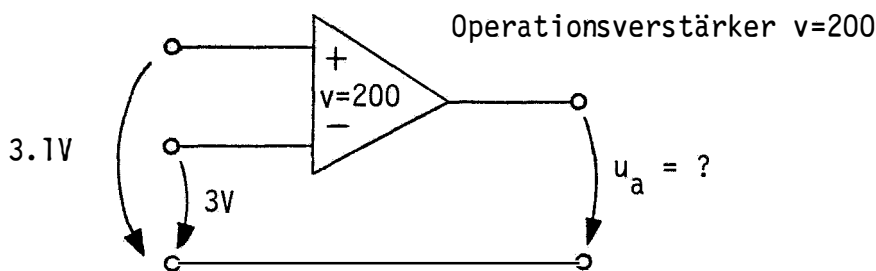
Zeit: 60 Min.

Bewertung: Totale erreichte Punktzahl dividiert durch 10.
 Eventuelle Ausrechnungen auf separatem Blatt! Resultate auf diese Blätter übertragen!

1. Wie gross ist der maximal erreichbare Wirkungsgrad bei einem A-Verstärker?

 2

2. Wie gross ist die Ausgangsspannung u_a der folgenden Anordnung?

 3

3. Wie kann die Offsetspannung bei einem Operationsverstärker kompensiert werden? (1 Möglichkeit angeben, ev. mit Zeichnung)

 4

4. Welche Gefahr besteht bei positiver Rückkopplung in Verstärkerstufen?

 2

5. Ein Koaxialkabel weist einen Wellenwiderstand von 50 Ohm auf. Durch die Leitung fliesst ein Strom von 2 A. Die Leitung sei am Ende mit einer Dipolantenne ideal angepasst. Wie gross ist die durch die Antenne abgestrahlte Leistung?

 2

6. Welchem Widerstand entspricht der Begriff "Wellenwiderstand"? Definition, geben Sie ev. eine Zeichnung).

 3

7. Nennen Sie einen Vorteil der 2-Draht-Parallelleitung (in der Verwendung als HF-Antennen-Speiseleitung) gegenüber dem Koaxialkabeltyp RG 213. Die Paralleldrahtleitung weise Luftdielektrikum auf.

2

8. Direkt bei der Antenne wird mit einem Stehwellenmessgerät die Funktionsweise von Antenne und Speiseleitung überprüft. Das Stehwellenverhältnis VSWR betrage nach der Messung 1 : 1.5. Das Speisekabel besitze eine Impedanz von 52 Ohm. Wie gross ist die Impedanz der Antenne, wenn darauf eine Leistung von 100 W abgegeben wird? (Vollständige Lösung angeben)

3

9. Kann man die Langdraht-Antenne (LW) als eine Rundstrahlantenne bezeichnen?

1

10. Wie lange müssen Sie einen Dipoldraht bemessen (mechanische Länge), dessen Resonanzfrequenz auf $f = 30$ MHz liegen soll?

3

11. Zeichnen Sie eine mögliche Anpassschaltung für den Uebergang von Koaxkabel auf eine Dipolantenne!

3

12. Der Oeffnungswinkel einer Richtantenne beträgt 30° . Um wieviel ist das empfangene Signal (gegenüber dem Maximalwert) abgesunken, wenn die Antenne um 15° aus der Hauptstrahlrichtung verdreht wird?

2

13. Für welche Amateurbänder würden Sie eine Kreuzyagi hauptsächlich in Betracht ziehen? (2 Möglichkeiten angeben)

2

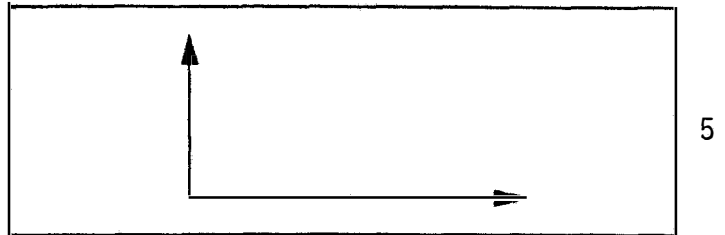
14. Die Kapazität einer 12 V-Autobatterie (Klemmenspannung der Batterie 13 V) betrage 60 Ah. Damit werde ein VHF-Sender mit einer Input-Leistung von 20 W betrieben. Wie lange kann die Batterie als Stromversorgung benützt werden, ohne dass sie neu aufgeladen werden muss?

3

15. Weshalb werden bei Serieschaltung von Gleichrichterdiolen oft Widerstände parallel zu den einzelnen Dioden geschaltet?

 2

16. Zeichne das Spektrum eines AM-Senders, welcher mit einem 1 kHz-Ton zu 50% moduliert wird. Die Trägerfrequenz beträgt 3.6 MHz, die Träger-spannung im Spektrum 10 V. Es ist das Spannungsspektrum aufzuzeichnen.



17. Wie erzeugt man ein DSB-Signal? (Nur Angabe des Stichwortes)

 3

18. Ein FM-Sender im 2m-Band besitze folgende Eigenschaften:

max. Hub: 3 kHz
max. NF: 2.1 kHz

Wie gross ist die Bandbreite des Signals?

 4

19. Geben Sie 4 Möglichkeiten der FM-Demodulation an:

	1
	2
	3
	4

20. Ein Sender werde für reinen RTTY-Betrieb gebaut. In welcher Betriebsart wird seine Endstufe zweckmässigerweise betrieben?

 1

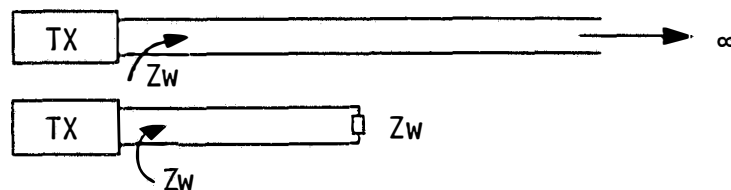
Lösungen TEST 3

1. 50% (Innenwiderstand eines A-Verstärker ist bei Leistungsanpassung
=== gleich gross wie der Lastwiderstand)
2. Verstärkung der Differenzspannung von 0.1 V mit dem Spannungsverstärker-
faktor von 200 ergibt eine Ausgangsspannung von 20 V.
=====
3. Es gibt zwei Möglichkeiten (beide sind auf S. 84 angegeben):
 - a) Widerstand von nicht-invertierendem Eingang gegen Masse
 - b) Offsetkompensations-Poti
4. Bei genügend grosser Rückkopplung setzt Schwingen ein. Die Schaltung
wirkt dann als Oszillator.
5. Das Koaxkabel ist als verlustfrei anzunehmen. Ideale Anpassung heisst,
dass keine Reflexion auftritt. Strom und Spannung der hinlaufenden
Welle hängen über die Wellenimpedanz der Speiseleitung zusammen.

$$U = Z_w \cdot I = 100 \text{ V} \quad P = U \cdot I = 2 \text{ A} \cdot 100 \text{ V} = 200 \text{ W}$$

=====

6. Der Wellenwiderstand ist derjenige Widerstand, den ein Sender sieht,
wenn er in eine unendlich lange Leitung hineinspeist (dann entsteht
nämlich keine reflektierte Welle), oder wenn die Leitung endlich lang
ist, aber mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen ist.



7. Weil keine Dielektrizitätsverluste auftreten, hat die 2-Draht-Speise-
leitung die geringere Dämpfung.
8. Das VSWR gibt Auskunft über die Widerstandsverhältnisse an der Naht-
stelle Speiseleitung-Antennenfusspunkt. Es gibt zwei Lösungen. Die
Leistungsangabe von 100 W ist irrelevant.

$$\text{a) } VSWR = \frac{R}{Z_w} = \frac{1}{1.5}$$

$$\text{b) } VSWR = \frac{Z_w}{R} = \frac{1}{1.5}$$

$$R = 34.66 \, \Omega$$

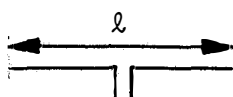
=====

$$R = 78 \, \Omega$$

=====

9. Eine Langdraht-Antenne ist meist horizontal aufgespannt und ist dann
keine Rundstrahlantenne.

10. $\lambda/2 = 5 \text{ m}$ 5% abziehen \rightarrow mech. Länge



$$l = 4.75 \text{ m}$$

=====

Fortsetzung Lösungen TEST 3

11. Verschiedene Möglichkeiten (siehe S. 98, 99)

Gamma-Match
Balun
Koaxkabel-Stichleitung
Sperrtopf

12. Definitionsgemäss sinkt das Signal um 3 dB ab. Das sind ca. 50% leistungsmässig. Spannungsmässig sinkt das Signal auf 70% des ursprünglichen Wertes.

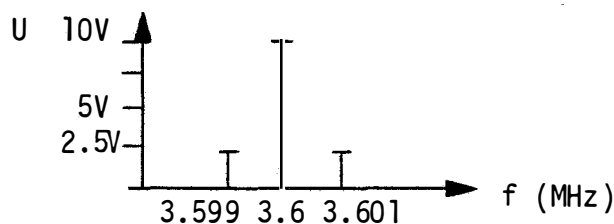
13. Dort, wo die Polarisation eine wesentliche Rolle spielt: 2m und 70cm.

14. Eine sog. 12 V-Autobatterie hat eine Klemmenspannung, die grösser als 12 V ist. Sie wurde hier mit 13 V angenommen. Natürlich bleibt diese Klemmenspannung während des Entladevorganges nicht konstant, sie kann jedoch für die Rechnung als konstant angenommen werden.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{20 \text{ W}}{13 \text{ V}} = 1.538 \text{ A} \quad \frac{60 \text{ Ah}}{1.538 \text{ A}} = \underline{\underline{39 \text{ h}}}$$

15. Ausgleich der ungleichen Dioden-Sperrwiderstände. Damit wird verhindert, dass die Dioden mit dem grössten Sperrwiderstand eine zu hohe Spannung aufnehmen müssten (Schutz).

16.



17. Ringmodulator oder Balancemodulator

$$18. 2 \cdot 3 \text{ kHz} + 2 \cdot 2.1 \text{ kHz} = \underline{\underline{10.2 \text{ kHz}}}$$

19. Flankendemodulation (Umwandlung FM/AM an einer Filterkurve in einem AM-Empfänger):

Differenzdiskriminator
Phasendiskriminator
Ratiodetektor
Phase Locked loop

20. C-Betrieb

T E S T

übersetze folgende Abkürzungen und Q-Code:

DX	Wechselstrom
ANT	wiederholen
BC	Versuch
ES	Station
GA	Zeichen
HPE	Sender
RPRT	Empfänger
TNX	Quarz
UFB	gute Nacht
73	Gleichstrom
WKD	wieder
VY	Frequenz
UR	hier
GM	Nummer
CW	Megahertz
INPT	Logbuch
QRV	Notzeichen (Amateurfunk)
QRL	soll ich schneller geben
QRA	ich werde gestört
QSY	ich stelle meine Sendungen ein
QRP	ihr Geben ist mangelhaft
QRZ	ihre Frequenz ist ...

übersetze folgende Empfangsrapporte:

579

399

53

534

übersetze folgende Texte:

GA DR OM

PSE QSY 14038 KS

HR QRV EVERY TIME ON .. MC CW EXCEPT 0500-0800 GMT

NW OB PSE HW?

HW ABT SKED TMW?

PA INPT 50 WTTS

ihr Rapport ist 579

mein Standort ist Zürich

bitte wiederholen sie ihren Standort

bitte senden sie mir die Empfangsbestätigung über die USKA

ich werde stark gestört

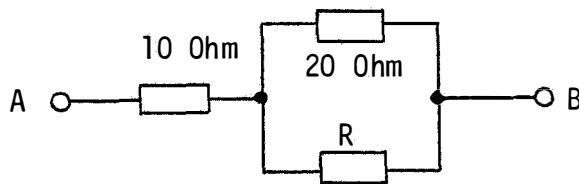
beste Grüsse und auf Wiederhören

HG9AA de DL4AK = GE DR OM TNX FR CALL PSED TO MEET U = UR RST 589 WID QSB =
QTH BERLIN = NAME JIM = HW? AR HB9AA de DL4AK KN

DL4AK von HB9AA = guten Abend Jim und danke für die Verbindung = ich höre
dich mit 579 in Zürich = mein Name ist Hugo = ich arbeite hier mit einem
Sendeempfänger TR-4C = als Antenne benütze ich eine ground plane = ich
werde die Empfangsbestätigung über das Büro senden = beste Grüsse und
Verbindungen + DL4AK von HB9AA

P R Ü F U N G S - B E I S P I E L N r . 1

- 1) Wie gross muss in der folgenden Schaltung der Widerstand R sein, damit der Gesamtwiderstand A-B der Schaltung 15 Ohm beträgt?



- a) 5 Ohm
b) 30 Ohm
c) 6.667 Ohm
d) 4 Ohm

- 2) Ein Koaxkabel weist eine Impedanz von 50 Ohm auf. Der dadurch fliessende HF-Strom ist $I = 1.36$ A. Das Kabel ist für ein VSWR von 1 : 1 abgeschlossen. Wie gross ist die Spannung zwischen Innen- und Aussenleiter des Kabels?

- a) 68 V
b) 34 V
c) 0 V
d) 136 V

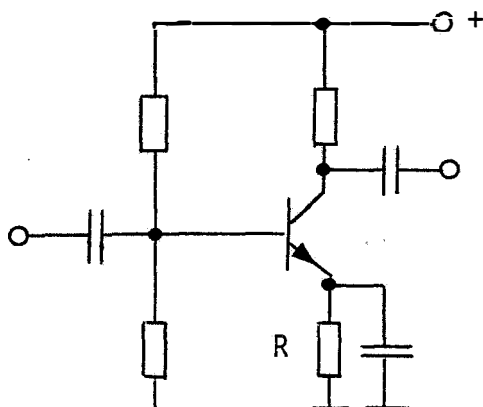
- 3) Auf einem Empfänger sind zwei Sender zu hören. Sender A sendet aus einer Entfernung von 50 km mit einer Sendeleistung von 1 kW. Der zweite Sender B wird gleich stark empfangen, sendet aber aus einer Entfernung von 85 km. Wie gross ist seine Sendeleistung?

- a) 1.7 kW
b) 2.89 kW
c) 1.428 kW
d) 0.588 kW

- 4) Der Schwingkreis eines Empfänger-Lokaloszillators soll von 5 bis 5.5 MHz durchstimmbare sein. Der zu diesem Zweck verwendete Drehkondensator habe eine Angangskapazität (kleinste Kapazität) von $C = 20$ pF. Wie gross muss die Endkapazität sein?

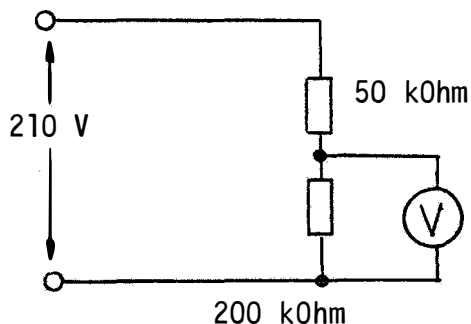
- a) 18 pF
b) 16 pF
c) 24.2 pF
d) 22.1 pF

- 5) In der abgebildeten Verstärkerschaltung wird der Widerstand R verkleinert. Was geschieht?



- a) Kollektorstrom nimmt zu
b) Kollektorstrom nimmt ab
c) Wechselspannungsgegenkopplung nimmt zu
d) Wechselspannungsgegenkopplung nimmt ab

- 6) Während eines Field-Days (Sommer) bezieht eine Amateurgruppe einen Wochenendstandort in der Nähe von Altdorf UR. Dabei wird eine Kurzwellen-Yagi aufgestellt. Für welche Windgeschwindigkeit ist die Antennenanlage mindestens zu dimensionieren?
- provisorisch aufgestellte Antennen unterliegen keinen Vorschriften
 - 100 km/h
 - 150 km/h
 - 135 km/h
- 7) Gegeben ist eine Senderendstufe mit einer Anodenspannung von 600 V, einem Anodengleichstrom von 150 mA und einer Ausgangsleistung von 60 W. Welche Konzessionsklasse muss für diesen Sender beantragt werden?
- D1 bzw. D3
 - D2 bzw. D4
 - Sender ist in der Schweiz nicht zugelassen
 - Sender muss speziell bewilligt werden
- 8) Ihr Nachbar beklagt sich über Fernsehstörungen. Er kann Sie eindeutig als "Urheber" der Störung identifizieren, weil er ihre Aussendungen scheinbar ohne weiteres im Fernsehgerät empfangen kann. Um was für eine Betriebsart handelt es sich wahrscheinlich beim Störsender?
- F 3
 - A 3 J
 - A 3
 - A 5 C
- 9) Welches der nachstehend aufgeführten Bänder ist (de jure) "geteilt mit anderen Diensten"?
- 7...7.1 MHz
 - 144...146 MHz
 - 14...14.35 MHz
 - 1.8...2 MHz
- 10) Ein Netztrafo für 220 V Primärspannung und 40 V Sekundärspannung weist primär 1100 Windungen auf. Wie viele Windungen enthält die Sekundärseite?
- 800
 - 6050
 - 200
 - 36.36
- 11) Welche Spannung zeigt in dieser Schaltung das Voltmeter an, das einen Innenwiderstand von 333 Ohm/V im 300 V-Bereich besitzt?



- 120 V
- 168 V
- 106.8 V
- 105 V

12) Wieviele SSB-Sender lassen sich im 14 MHz-Band (Fonieteil von 14100...14350 kHz) unterbringen, wenn in jedem SSB-Sender ein Sprachfrequenzband von 300...2400 Hz übertragen wird (ideale Seitenband- und Trägerunterdrückung vorausgesetzt)?

- a) 52
- b) 119
- c) 104
- d) 145

13) Eine 40 W-Glühlampe für 220 V mit einem Temperaturkoeffizienten von 0.0042 erreicht eine Betriebstemperatur von 2600°C. Wie gross ist der Strom beim Einschalten?

- a) 0.18 A
- b) 1.98 A
- c) 2.37 A
- d) 2.16 A

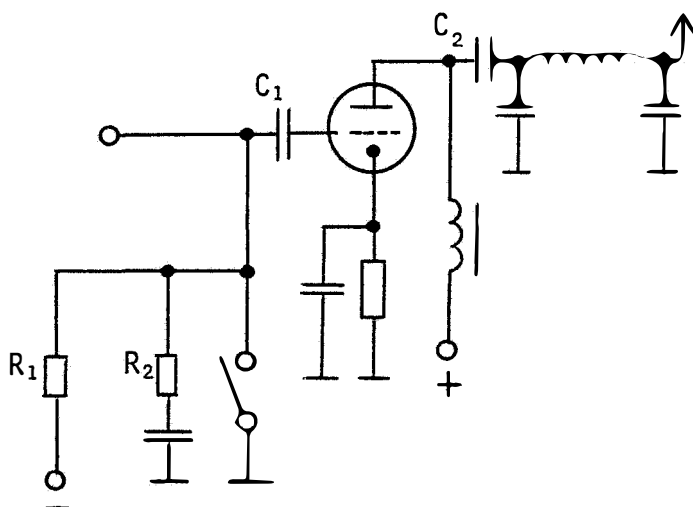
14) Welche Folge ergibt sich, wenn Sie die Endstufe Ihres SSB-Senders übersteuern?

- a) höhere Nutz-Ausgangsleistung
- b) Kreuzmodulation
- c) Intermodulation
- d) Trägerunterdrückung wird schlechter

15) Ein Kondensator von $C = 0.5\mu\text{F}$ wird während 2.5 s mit einem Konstantstrom von 0.2 mA aufgeladen. Wie gross ist die Spannung des Kondensators nach dieser Zeit? (Am Anfang trägt der Kondensator keine Ladung)

- a) 1 V
- b) 1000 V
- c) 10 V
- d) 5 V

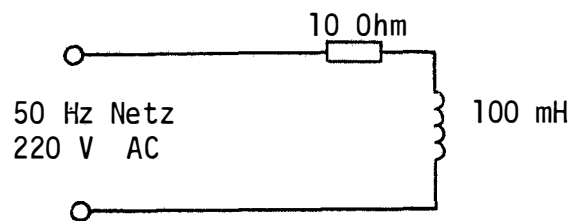
16) In der dargestellten Tastschaltung (Endstufe) ist ein Element falsch eingezeichnet. Welches?



- a) R_1
- b) C_1
- c) R_2
- d) C_2

- 17) Was müssen Sie tun, wenn Sie Ihre Station im Fürstentum Liechtenstein betreiben wollen?
- a) Bewilligung der PTT einholen
 - b) Ist ohne weiteres möglich. Bewilligung nicht nötig.
 - c) Bewilligung der Oberpostdirektion Vaduz ist einzuholen
 - d) Meldung an PTT-Konzessionsbehörde
- 18) Ein 80 m-Empfänger hat eine 1. ZF von 455 kHz. Der Lokaloszillator schwingt auf einer tieferen Frequenz als die Eingangsfrequenz. Welches ist die Spiegelfrequenz bei einer Empfangsfrequenz von 3545 kHz?
- a) 2635 kHz
 - b) 4000 kHz
 - c) 455 kHz
 - d) 4455 kHz
- 19) Wo wird der Ueberlagerungsdemodulator eingesetzt?
- a) A 3
 - b) A 3 J
 - c) A 2
 - d) F 3
- 20) Was verwendet man möglichst als Erdelektrode für eine Betriebserdleitung?
- a) Zentralheizung
 - b) Erdleiter der Gebäudeblitzschutzanlage
 - c) Telefonerde (weil PTT-Norm)
 - d) Hauswasserleitung
- 21) Eine PTT-Kontrollperson will Ihre Sendeanlage kontrollieren. Darf sie das ohne weiteres?
- a) nur im begründeten Verdachtsfall
 - b) nur mit Hausdurchsuchungsbefehl
 - c) nur mit Voranmeldung
 - d) ja
- 22) Das HF-Sendesignal eines Senders werde auf einen HF-Trafo (Uebertrager) gegeben, der sekundärseitig halb so viele Windungen besitzt wie primärseitig. Wie gross ist die Dämpfung dieses Trafos?
- a) 3 dB
 - b) 6 dB
 - c) 0 dB
 - d) 10 dB
- 23) Welche Ursache hat der Mögel-Dellinger-Effekt?
- a) Rückstreuung des Sendesignals an Meteorspuren
 - b) Inversionen
 - c) Sonneneruptionen
 - d) Aurora (Polarlicht)

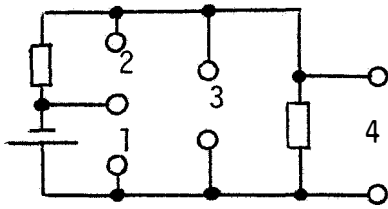
- 24) Ein elektrischer Motor wird durch den Wicklungswiderstand und durch die Wicklungsinduktivität dargestellt. Wie gross ist $\cos\varphi$ im dargestellten Fall?



- a) 0.1
- b) 0.303
- c) 0.648
- d) 0.318

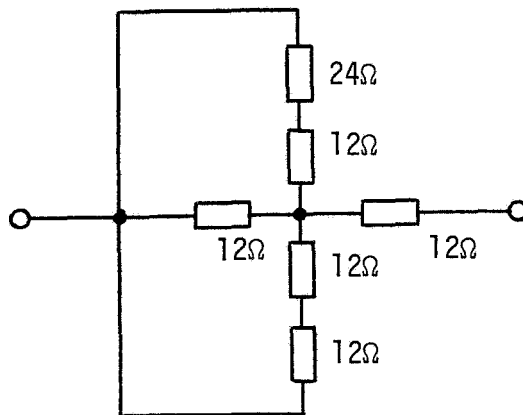
P R Ü F U N G S - BEISPIEL Nr. 2

1) Welche Spannung bezeichnet man als EMK?



- a) Spannung 1
- b) Spannung 2
- c) Spannung 3
- d) Spannung 4

2) Wie hoch ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung?



- a) 18Ω
- b) 18.54Ω
- c) 24Ω
- d) 14Ω

3) Welche Phasenverschiebung ergibt sich bei einem selbstschwingenden Oszillator (Verstärker und Rückkopplungsglied zusammen)?

- a) 0°
- b) -90°
- c) $+90^\circ$
- d) 180°

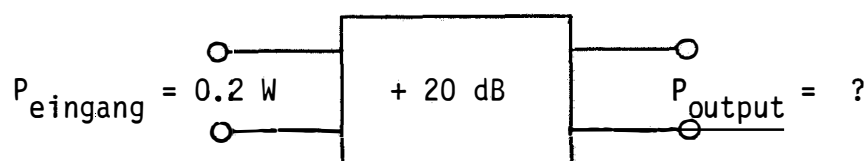
4) Wieviele Widerstände von je 100Ω braucht es mindestens, um auf einen Gesamtwiderstand von 120Ω zu kommen?

- a) 4 Stück
- b) 5 Stück
- c) 6 Stück
- d) 12 Stück

5) Wie wird 1 Henry definiert?

- a) $\frac{1 \text{ V} \cdot 1 \text{ s}}{1 \text{ A}}$
- b) $\frac{1 \text{ s}}{1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}}$
- c) $\frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ V}}{1 \text{ s}}$
- d) $\frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}}{1 \text{ V}}$

6)



- zu 6)
- a) 200 W
 - b) 20 W
 - c) 20.2 W
 - d) 2 W

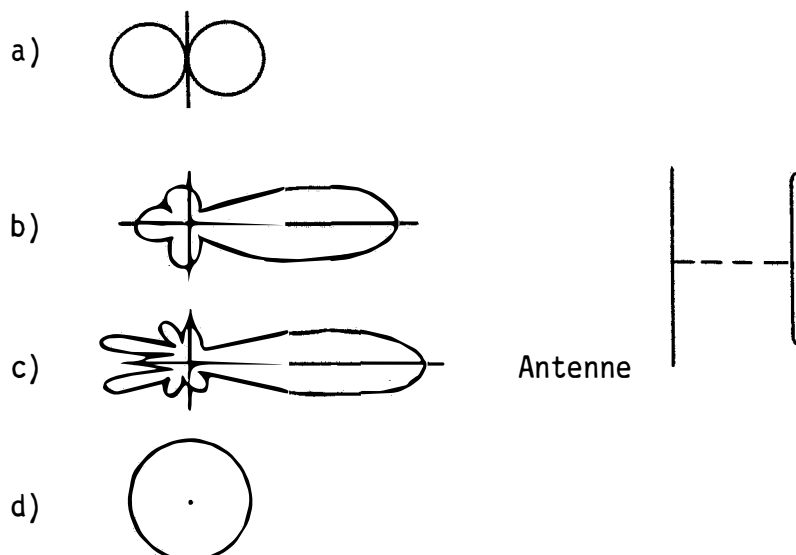
7) Ein Widerstand weist einen Wert von 470Ω auf. Er ist bezeichnet mit 6 W Belastbarkeit. Welches ist der maximal zulässige Strom?

- a) 12.76 mA
- b) 12.76 A
- c) 112.98 mA
- d) 3.57 mA

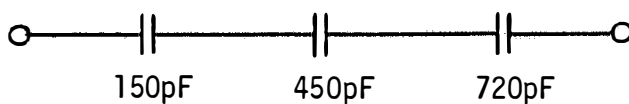
8) Welche Resonanzfrequenz erhalten wir bei einem Serie-Schwingkreis mit $C = 15\mu\text{F}$ und $L = 15\text{ mH}$? Die Spule weise einen Gleichstromwiderstand von 12Ω auf.

- a) 335.5 Hz
- b) 2108.1 Hz
- c) 106.10 Hz
- d) 6666.6 Hz

9) Bezeichnen Sie das zu der gezeichneten Antenne gehörende Strahlungsdiagramm!

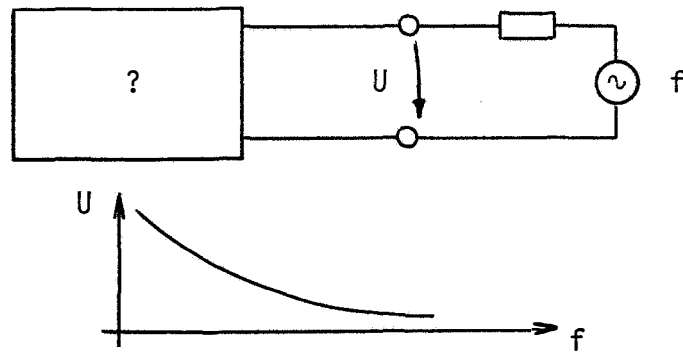


10) Wie gross ist die Gesamtkapazität dieser Schaltung?



- a) 97.29pF
- b) 80 pF
- c) 120 pF
- d) 175.2 pF

11) Was befindet sich in dieser Blackbox?



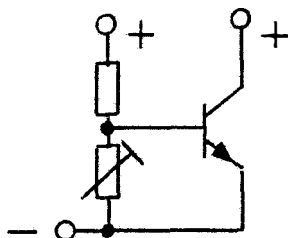
- a) eine Kapazität
 - b) ein Widerstand
 - c) eine Spule
 - d) ein Schalttransistor
- 12) Verändert sich das Widerstandsverhältnis bei diesen Leitern, wenn die angelegte Frequenz sich nach oben verändert? Der Gleichstromwiderstand sei für beide Leiter derselbe.



- a) die Frage kann nicht beantwortet werden, da die Legierungen nicht bekannt sind
 - b) der Widerstand der beiden Leiter bleibt bei steigender Frequenz gleich
 - c) der Widerstand des Leiters A zu B nimmt ab
 - d) der Widerstand von B im Verhältnis zu A wird kleiner
- 13) $0.0047\mu\text{F}$ sind?
- a) 47nF
 - b) 470pF
 - c) 4700pF
 - d) 47pF
- 14) Wie hoch ist der Wellenwiderstand eines Leiters, an welchem ein Sender 25 W einspeist und wir am Ende der Leitung 43.3 V HF messen (Ausgang ideal angepasst)?
- a) 36Ω
 - b) 75Ω
 - c) 72Ω
 - d) 52Ω
- 15) Welche Wirkung hat ein positiver Temperaturkoeffizient auf einen Widerstand?
- a) der durchfließende Strom wird nach dem Einschalten grösser
 - b) der durchfließende Strom wird nach dem Einschalten kleiner
 - c) wirkt sich nur bei 0° C aus
 - d) verändert die Arbeitstemperatur des Widerstandes

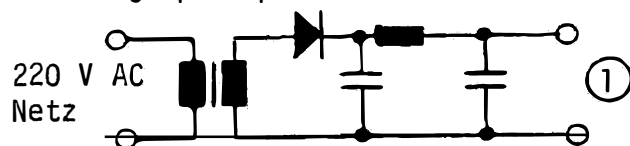
- 16) In einem Frequenzspektrum befinden sich 17 A3-Kanäle mit einer maximalen Modulationsbreite von 4000 Hz. Wieviele Kanäle könnten verwendet werden, wenn die Modulationsfrequenz auf 2800 Hz reduziert und in A3J (SSB) gearbeitet würde?
- a) 48
 - b) 12
 - c) 24
 - d) 54
- 17) Welche Uebertragungsart besitzt eine noch kleinere Bandbreite als SSB?
- a) A1
 - b) A3H
 - c) A3
 - d) A2
- 18) Um welche Ausstrahlungsart handelt es sich bei A5C?
- a) Schmalbandfernsehen
 - b) Telegrafie (Mehrfrequenz)
 - c) AM, beide Seitenbänder unterdrückt
 - d) Fernsehen
- 19) Welche Bandbreite beansprucht ein Sender, welcher in A3 mit max. 6kHz moduliert wird?
- a) 6 kHz
 - b) 12 kHz
 - c) 24 kHz
 - d) 3 kHz
- 20) Welche Spiegelfrequenz könnte sich ergeben bei einem RX mit Eingangssignal von 1000 kHz und einer Oszillatorfrequenz von 1500 kHz?
- a) 500 kHz
 - b) 1500 kHz
 - c) 2000 kHz
 - d) 2500 kHz
- 21) Welche Bedeutung oder welchen Einfluss hat die sogenannte Dielektrizitätskonstante auf ein C?
- a) sie sagt etwas über die Durchschlagsfestigkeit aus
 - b) sie beeinflusst das Isolationsmaterial
 - c) sie verändert den Kapazitätswert
 - d) sie erhöht die Spannung eines Kondensators
- 22) Ein Trafo wird primär mit 220 V AC bei einer Leistungsaufnahme von 1.85 kW gespeist. Auf der Sekundärseite fließt ein Strom von 24.5 A. Geben Sie das Uebersetzungsverhältnis dieses Trafo an!
- a) 1 : 3
 - b) 1 : 5
 - c) 1 : 4.8
 - d) 1 : 34

23) U_{be} wird erhöht. Welcher Wert wird verändert?



- a) I_c wird grösser
- b) U_{ce} wird grösser
- c) I_c wird kleiner
- d) I_b wird kleiner

24) Welches Bild könnten Sie sehen, wenn Sie an Pos. 1 mit einem Oszillographen prüfen würden?



- a)
- b)
- c)
- d)

25) Wir messen belastungsfrei die Heizspannung einer Röhre und erhalten eine Spitzenspannung von 17.8 V AC. Wie gross ist die effektive Spannung?

- a) 6.3 V
- b) 12.6 V
- c) 4.5 V
- d) 7.35 V

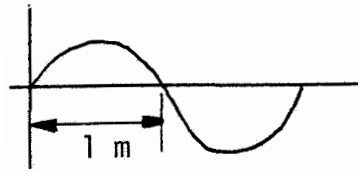
26) Wir betreiben eine Senderendstufe mit einem Output von 200 W. Die Anodenverlustleistung beträgt 65 W. Geben Sie den Wirkungsgrad in % an!

- a) 72 %
- b) 75.5 %
- c) 67 %
- d) 67.5 %

27) In welchen Bereich fällt eine Frequenz von 48.5 MHz?

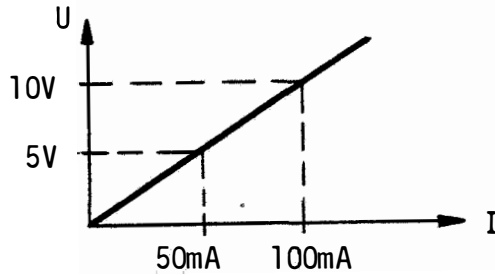
- a) VHF
- b) HF
- c) EHF
- d) SHF

28) In welchen Frequenzbereich gehört diese Wellenlänge?



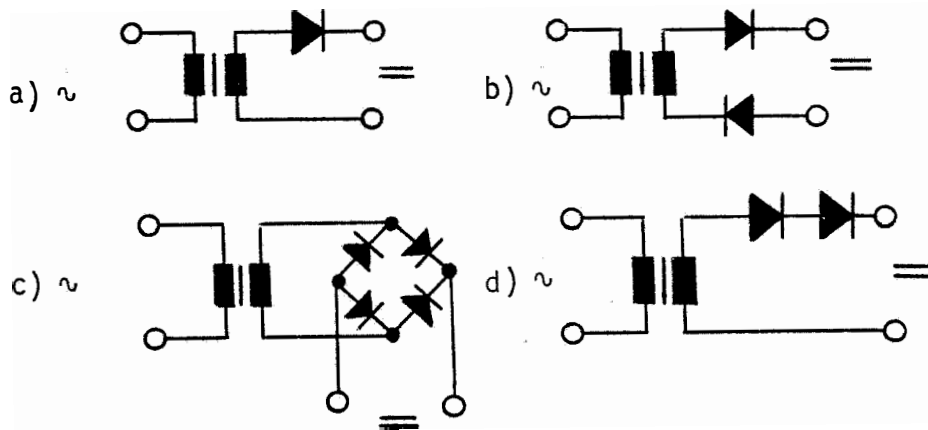
- a) 150 MHz
- b) 100 MHz
- c) 300 MHz
- d) 300 kHz

29) Welcher Widerstand wird hier bezeichnet?



- a) 100Ω
- b) 0.01Ω
- c) 1Ω
- d) 10Ω

30) Welche Schaltung ergibt die höchste effektive Ausgangs-Gleichspannung?

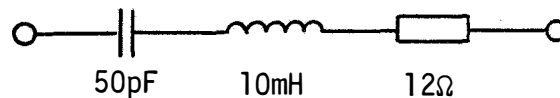


P R Ü F U N G S - B E I S P I E L Nr. 3

-
- 1) Sie haben einen durchgehenden Kurzwellen-Empfänger gekauft und möchten ihn im Bereich 1...30 MHz betreiben. Welche Aussendungen dürfen Sie als Besitzer einer Konzession D1 abhören?
 - a) Rundfunk- und Amateuraussendungen
 - b) nur Amateursendungen
 - c) alle Aussendungen im Kurzwellenbereich
 - d) alle Radiosendungen, die für die allgemeine Verwendung durch die Öffentlichkeit bestimmt sind
 - 2) Für das 160m-Band ist die Leistung auf 10 W begrenzt. Um welche Art Leistungsangabe handelt es sich?
 - a) Output
 - b) Input
 - c) Anodenverlustleistung
 - d) effektiv abgestrahlte Leistung (ERP)
 - 3) Auf der Frequenz 437.5 MHz werden Sie von einem kommerziellen Funkdienst gestört. Wer hat Vorrang?
 - a) der betreffende Funkdienst
 - b) der Amateur
 - c) die Frequenz liegt nicht innerhalb eines Amateurbandes
 - d) Abklärung durch die zuständigen PTT-Instanzen notwendig (Frequenzüberwachung)
 - 4) Welche aus den nachfolgenden Aussendungsarten ist nicht ohne weiteres zulässig?
 - a) RTTY mit einer Tastgeschwindigkeit von 100 Bd
 - b) Schmalbandfernsehen A 5 J
 - c) normales Fernsehen A 5 C
 - d) Radiotelegrafie F2
 - 5) Wie oft ist das Rufzeichen während einer Sendung durchzugeben?
 - a) mindestens alle 5 Min.
 - b) mindestens alle 10 Min.
 - c) mindestens alle 15 Min.
 - d) nur am Anfang und am Schluss der Sendung
 - 6) Sie erwerben ein neues Sendegerät. Dürfen Sie dieses sofort benützen?
 - a) nein, es bedarf einer Anpassung der Konzession
 - b) nein, nur nach Meldung der Änderung im Bestand der Anlagen an die GD PTT
 - c) ja, aber der PTT ist eine neue Zusammenstellung aller betriebsbereiten Sender und Empfänger der Station innerhalb 14 Tagen zuzustellen
 - d) ja

- 7) Ihr neu erworbenes Sendegerät prüfen Sie mit einem entsprechenden Messgerät auf unerwünschte Ausstrahlungen. Welchen Wert darf die mittlere Leistung irgendeiner der Antennenspeiseleitung zugeführten unerwünschten Ausstrahlung nicht überschreiten, wenn die Senderausgangsleistung 50 W, die Frequenz 435 MHz beträgt?
- a) 25 μ W
 - b) 1 mW
 - c) 5 mW
 - d) 50 μ W
- 8) Ist die Durchführung von Amateur-Rundspruchsendungen genehmigungspflichtig?
- a) nein
 - b) ja
 - c) ja, aber nur soweit sich der Inhalt der Sendungen auf andere als interne Vereinsmitteilungen erstreckt
 - d) nein, sie dürfen aber nur von Vereinsstationen gesendet werden
- 9) Wie müssen Antennen der Klasse A erstellt sein?
- a) so, dass von Niederspannungs-Hauseinführungen ein Mindestabstand von 1.5 m gewährleistet ist
 - b) so, dass durch den Wind keine Vibrationen entstehen
 - c) so, dass sie ihre Lage nicht verändern können
 - d) so, dass das landschaftliche Bild möglichst wenig beeinträchtigt wird
- 10) Gelten Antennen auf Landfahrzeugen als Antennen der Klasse A oder B?
- a) A
 - b) B
 - c) A, wenn sie nicht höher als 4 m sind, sonst B
 - d) A, wenn sichergestellt werden kann, dass sie nicht in den Bereich von Stark- oder Schwachstromanlagen geraten
- 11) Eine Antennenzuführung unterkreuzt eine 50 kV-Starkstromleitung in 30 m Entfernung vom näher gelegenen Ueberführungs-Tragwerk. Wie gross muss der lotrechte Abstand zwischen der Antennenzuführung und der Starkstromleitung mindestens sein?
- a) 1.60 m
 - b) 1 m
 - c) 2.10 m
 - d) 1.90 m
- 12) Die für den normalen Betrieb eines Empfängers nötige Verbindung zur Erde wird hergestellt durch:
- a) Mantel des Koaxkabels (Erdung über Antennenerdung)
 - b) Kupferleiter von min. 1 mm² Querschnitt
 - c) Band- oder Runddrahterder
 - d) Schutzerde

- 13) Welche der nachstehend aufgeführten Unterlagen muss nicht auf einer mobilen Amateur-Radiostation aufliegen?
- Fähigkeitsausweis
 - Logbuch (mit allen Verbindungen der letzten 2 Jahre)
 - Schema der Sende- und Empfangsanlage
 - Konzessionsurkunde
- 14) Muss das Vorhandensein einer Amateurstation auf einer privaten Segelyacht auf dem Mittelmeer speziell bewilligt werden?
- ja, aber nur wenn der Zusatz "/mm" verwendet wird
 - nein
 - ja, von Inhaber, Kapitän und PTT
 - ja, von Inhaber und PTT
- 15) Welchen Zusatz verwenden Sie, wenn Sie Ihr tragbares Sendegerät an Bord eines Schiffes auf dem Bodensee verwenden?
- HB 9 BBB / p
 - HB 9 BBB / m
 - HB 9 BBB / mm
 - HB 9 BBB (nach Standortmeldung an PTT)
- 16) Wie gross ist die Impedanz dieser Schaltung auf der Frequenz $f = 225.08 \text{ kHz}$?



- 0Ω
 - 14.142Ω
 - 12Ω
 - unendlich gross
- 17) Ein Sender bestehe aus lauter breitbandigen Verstärkerstufen und einer schmalbandigen Stufe, die jeweils mittels Schwingkreis auf die entsprechende Sendefrequenz abgestimmt werden muss. Die Schwingkreisgüte beträgt 100 bei einer Frequenz von 14200 kHz. Wie weit kann man sich von der einmal abgestimmten Sendefrequenz entfernen, bis ein Punkt erreicht wird, wo die Ausgangsleistung auf 50% zusammenfällt? (Alle Verstärker als linear angenommen)
- 142 kHz
 - 284 kHz
 - 71 kHz
 - 568 kHz
- 18) "Am Element X entsteht eine Spannung von 1 V, wenn sich der Strom in 1 s um 1 A ändert."
Für welche elektrische Einheit ist vorstehender Satz die Definition?
- 1 F
 - 1 C
 - 1 Ws
 - 1 H

- 19) Wie lautet die Abkürzung für den Bereich 30...300 MHz?
- UHF
 - VHF
 - UKW
 - HF
- 20) Eine Spule mit einer Induktivität von $100\mu\text{H}$ weist einen Gleichstromwiderstand von 10Ω auf. Wie gross ist die Spulengüte bei einer Frequenz von 14 MHz?
- 140
 - 1400
 - 879.6
 - 87.9
- 21) Ein NF-Verstärker hat eine Ausgangsimpedanz von 400Ω . Durch einen Transformator will man die Anpassung an einen Lautsprecher mit einer Impedanz von 8Ω erzielen. Wie gross ist das Uebertragungsverhältnis?
- 2500 : 1
 - 50 : 1
 - 7.07 : 1
 - 25 : 1
- 22) Die Dielektrizitätskonstante von Wasser beträgt rund 81. Mit welcher Geschwindigkeit breiten sich die elektromagnetischen Wellen im Wasser aus?
- 33'333 km/s
 - 3'703 km/s
 - 33'333 km/h
 - 3'703 km/h
- 23) Was ist der Mögel-Dellinger-Effekt?
- zeitweise völlige Zerstörung der F-Schicht
 - unregelmässigkeiten des Erdmagnetfeldes (Magnetstürme)
 - starke zusätzliche Ionisation der D-Schicht
 - etwa das Gegenteil der sporadischen E-Schicht
- 24) Auf dem Schilthornrelais werden zeitweise englische Stationen gehört. Welches ist die Ursache dafür?
- Inversionen
 - Aurora
 - Scatter
 - sporadische E-Schicht
- 25) Was versteht man in der Transistortechnik unter dem β ?
- Bezeichnung für die obere Grenzfrequenz
 - Spannungsverstärkungsfaktor
 - Stromverstärkungsfaktor in Emitterschaltung
 - Stromverstärkungsfaktor in Basisschaltung
- 26) Ein Messwerk von $165\Omega/\text{V}$ und einem Innenwiderstand von 25Ω soll für einen Spannungsbereich von 100 V erweitert werden. Wie gross ist der Vorwiderstand?
- 16'525 Ω
 - 1.65k Ω
 - 16.475k Ω
 - 15.15 Ω

27) Welche Wechselspannung entsteht am Ausgang eines FET-Verstärkers, wenn eine Gate-Wechselspannung von 30 mV angelegt ist, der FET eine Steilheit von 2 mA/V besitzt und der Drain-Wechselstrom-Widerstand 10 k Ω beträgt?

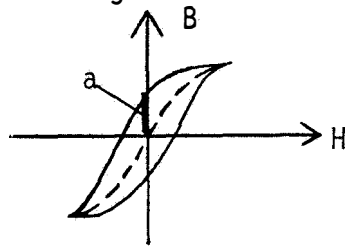
- a) 0.6 V
- b) 2 V
- c) 6 V
- d) 3 V

P R Ü F U N G S - B E I S P I E L Nr. 4

- 1) Ein 50Ω -Koaxkabel einer Sendeanlage führt über eine Anpass- bzw. Symmetrierschaltung auf eine Paralleldrahtspeiseleitung von 600Ω Wellenwiderstand. Wie gross ist die Spannung zwischen den beiden Leitern der Paralleldrahtleitung, wenn die Spannung auf dem Koaxkabel 10 V beträgt?

- a) 10 V
- b) 34.6 V
- c) 120 V
- d) 2.88 V

- 2) Wie heisst die dargestellte Grösse a?



- a) Koerzitivfeldstärke
- b) Luftspaltfeldstärke
- c) Remanenz
- d) Koerzitivkraft

- 3) Zwei Drehkondensatoren werden in Serie geschaltet. Die Anfangskapazitäten betragen 50 und 10 pF , die Endkapazitäten 500 bzw. 30 pF . Wie gross ist der Kapazitätsbereich, der durch die Serieschaltung entsteht?

- a) $60 \dots 530\text{ pF}$
- b) $8.33 \dots 450\text{ pF}$
- c) $40 \dots 550\text{ pF}$
- d) $8.33 \dots 28.3\text{ pF}$

- 4) Ein Schwingkreiskondensator bestreicht den Bereich $10 \dots 20\text{ pF}$. Wie gross ist der vom Schwingkreis bestrichene Frequenzbereich?

- a) $1\text{ MHz} \dots 2\text{ MHz}$
- b) $2\text{ MHz} \dots 2.828\text{ MHz}$
- c) $1\text{ MHz} \dots 4\text{ MHz}$
- d) $3\text{ MHz} \dots 6\text{ MHz}$

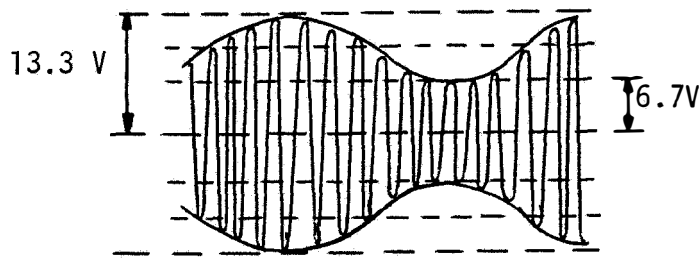
- 5) Welchem Wert entspricht 10 nF ?

- a) $0.001\text{ }\mu\text{F}$
- b) 0.00001 F
- c) $10'000\text{ }\mu\text{F}$
- d) $10'000\text{ pF}$

- 6) Bei einer Spule vergrössern Sie die Windungszahl auf den doppelten Wert. Wie gross ist die Induktivität der Spule nun, wenn sie vor der Aenderung den Wert $100\text{ }\mu\text{H}$ hatte?

- a) $400\text{ }\mu\text{H}$
- b) $200\text{ }\mu\text{H}$
- c) $141.4\text{ }\mu\text{H}$
- d) $50\text{ }\mu\text{H}$

7) Wie gross ist der Modulationsgrad dieses AM-Senders?

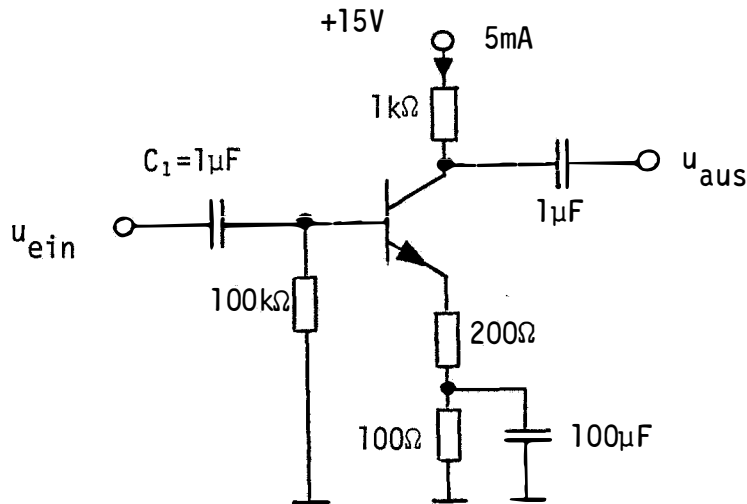


- a) 50%
- b) 33.3%
- c) 66.6%
- d) 75%

8) Die höchste NF-Modulationsfrequenz eines FM-Senders ist auf 4 kHz beschränkt, der Hub des Senders ist maximal 3 kHz. Wie gross ist die Bandbreite?

- a) 7 kHz
- b) 11 kHz
- c) 14 kHz
- d) 10 kHz

9) Warum funktioniert dieser Verstärker nicht gut?



- a) weil die Speisequelle falsch gepolt ist
- b) weil der Gegenkopplungswiderstand viel zu klein ist
- c) weil die Basisvorspannung unsauber erzeugt wird
- d) weil C_1 nicht am richtigen Ort ist

10) Eine Spule, die sich in einem Wechselstromkreis befindet, zeigt eines der folgenden Verhalten. Welches?

- a) U eilt I um 90° vor
- b) I eilt U um 90° vor
- c) U eilt I um 45° vor
- d) I eilt U um 180° nach

11) Sie haben mit Erfolg ein FSK-Gerät für Ihren Sender gebaut und wollen nun Fernschreibsendungen ausstrahlen (F1). Wie hoch darf die Frequenzverschiebung maximal sein?

- a) 100 Bd
- b) 3000 Hz
- c) 850 Hz
- d) 900 Hz

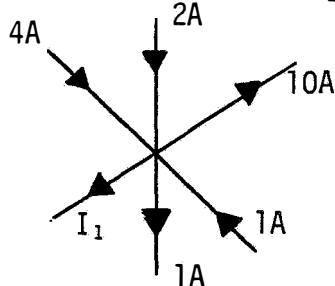
12) Dürfen Sie einseitigen Funkverkehr mit einem lizenzierten deutschen Amateur (amtliches Rufzeichen DJ 1 OW) abwickeln?

- a) nein, nur mit schweizerischen Sende- und Höramateuren
- b) nein
- c) ja
- d) ja, aber nur von Vereinsstationen aus

13) Sie haben nun genug vom Amateurhobby und verkaufen die ganze Anlage. Sie verzichten auch auf die Konzession. Was haben Sie zu tun?

- a) Rückgabe des Fähigkeits-Ausweises
- b) Name und Adresse des Käufers Ihrer Anlage der PTT mitteilen
- c) keine zwingenden Gründe für irgendwelche Tätigkeiten
- d) Rückgabe aller schriftl. Stationsunterlagen inkl. Logbuch

14) Wie gross ist der Strom I_1 ?



- a) 18 A
- b) 4 A
- c) - 18 A
- d) - 4 A

15) Ein Antennenverstärker einer Fernsehantennenanlage wird durch die hohe Feldstärke Ihres KW-Senders übersteuert. Welches ist Ihre Massnahme?

- a) Hochpass am Senderausgang
- b) Tiefpass am Senderausgang
- c) Hochpass am Verstärkereingang
- d) Tiefpass am Verstärkereingang

16) In welchem Frequenzbereich wird der Effekt der Raumwelle hauptsächlich ausgenützt?

- a) LW
- b) MW
- c) KW
- d) UKW

17) Wie übersetzen Sie die Abkürzung QRQ?

- a) geben Sie schneller
- b) vermindern Sie die Sendeleistung
- c) geben Sie langsamer
- d) erhöhen Sie die Sendeleistung

18) Wie gross ist die Knickspannung einer Kleinsignal-HF-Si-Diode?

- a) ca. 0.7 V
- b) ca. 0.3 V
- c) ca. 100 mV
- d) ca. 3 mV

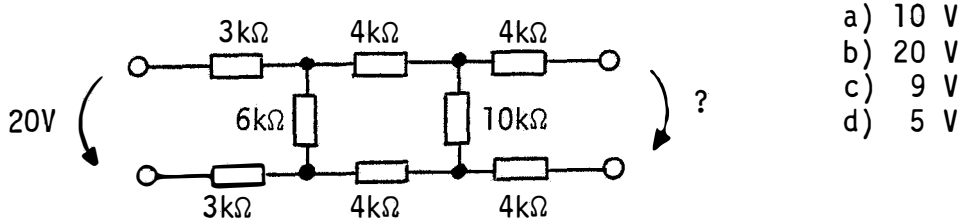
19) Ein Cu-Draht hat eine Länge von 1 m und ein Querschnitt von 2 mm².
Wie verdoppeln Sie den Widerstand des Kupferdrahtes?

- a) Drahtdurchmesser halbieren
- b) Drahtlänge mit 1.414 multiplizieren
- c) Querschnittsfläche halbieren
- d) Draht auf die doppelte Temperatur erwärmen

20) Welches ist die beste Methode, um den Ladezustand eines Akkus festzustellen?

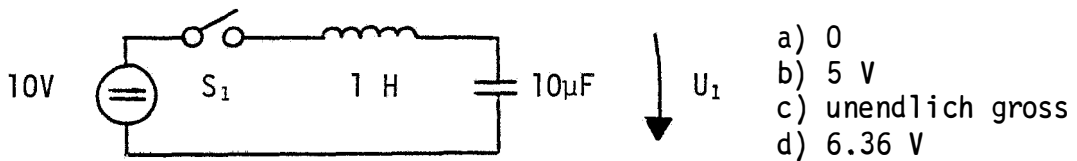
- a) Leerlauf-Spannungs-Messung
- b) Säuredichte messen
- c) Kurzschluss-Strommessung
- d) Anschluss an Ladegerät und Beobachtung des Ladestroms

21) Wie gross ist die Spannung am Ausgang des folgenden Netzwerkes?



- a) 10 V
- b) 20 V
- c) 9 V
- d) 5 V

22) Wie gross ist die Spannung U_1 1µs nach dem Einschalten des Schalters S_1 ?



- a) 0
- b) 5 V
- c) unendlich gross
- d) 6.36 V

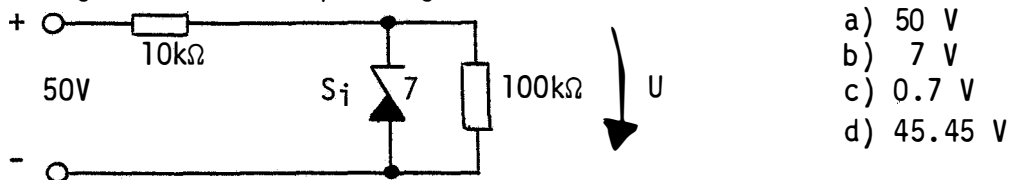
23) Wie misst man eine Gittervorspannung?

- a) mit Röhrevoltmeter
- b) mit einem Vielfach-Instrument mit max. 1 kΩ / V
- c) aus Strommessung
- d) mit besonders kapazitätsarmer Mess-Sonde

24) Sie haben 3 Widerstände zu 10Ω. Wie viele Widerstandswerte können Sie durch Parallel- und Serieschaltung erzielen?

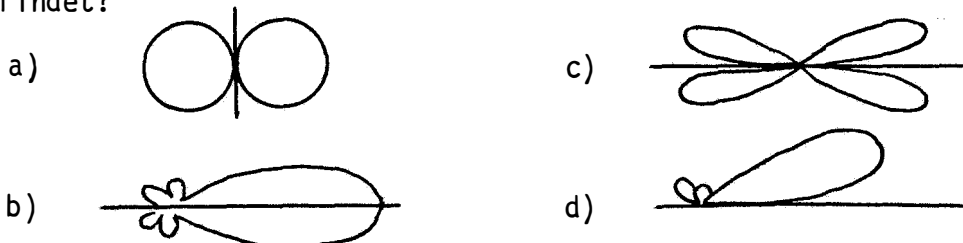
- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 5

25) Wie gross ist die Spannung U ?



- a) 50 V
- b) 7 V
- c) 0.7 V
- d) 45.45 V

26) Wie sieht das Vertikal-Strahlungsdiagramm einer horizontal polarisierten 4 Element 20 m - Yagi etwa aus, welche sich 10 m über Boden befindet?

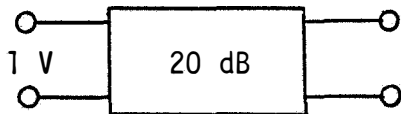


P R Ü F U N G S - BEISPIEL Nr. 5

1) Ein RC-Glied besteht aus einem Widerstand von $100\text{ k}\Omega$ und einem Kondensator von 1 nF . Wie gross ist die Zeitkonstante?

- a) 0.1 ms
- b) 10 s
- c) 0.1 s
- d) 0.01 s

2) Ein Verstärker, der beidseits an angepasste 50Ω - Koaxialleitungen angeschlossen ist, erhält ein Eingangssignal von 1 V . Die Verstärkung beträgt 20 dB . Wie gross ist die Ausgangsleistung?



- a) 1 W
- b) 4 W
- c) 20 V
- d) 2 W

3) In welchem Frequenzbereich muss der Oszillator abstimmbar sein, um bei einer ZF von 462 kHz den Kurzwellenbereich von 24 bis 40 m zu bestreichen?

- a) $12962\dots7962\text{ kHz}$
- b) $11538\dots7038\text{ kHz}$
- c) $12962\dots7500\text{ kHz}$
- d) $7.5\dots12.5\text{ MHz}$

4) Wie gross muss die Endkapazität eines Drehkondensators sein, um bei einer Anfangskapazität von 45 pF einen Frequenzbereich von 6 bis 10 MHz zu bestreichen?

- a) 125 pF
- b) 27 pF
- c) 75 pF
- d) 34.856 pF

5) Wie wählen Sie die Schwingkreiselemente, um eine möglichst hohe Schwingkreisgüte zu erzielen? (Der Spulenwiderstand sei gegeben).

- a) möglichst kleines L/C-Verhältnis
- b) kleine Temperaturkoeffizienten
- c) möglichst grosses L/C-Verhältnis
- d) L/R-Verhältnis möglichst klein

6) Für den ZF-Kreis eines 2m -Gerätes ($ZF=10.7\text{ MHz}$) verwenden wir einen Kondensator von 65 pF . Welche Induktivität benötigen Sie?

- a) $3.4\text{ }\mu\text{H}$
- b) $134\text{ }\mu\text{H}$
- c) $1.4\text{ }\mu\text{H}$
- d) 1.4 mH

7) Welche Sekundärwicklungszahl eines Trafos ist erforderlich, um bei primär 600 Windungen die Spannung von 220 V auf 4840 V heraufzusetzen?

- a) $13'200$
- b) 27.27
- c) 1774
- d) $12'800$

8) An einen NF-Generator mit dem Innenwiderstand $2\text{ k}\Omega$, einer Frequenz von 5 kHz und einer Spannung von 200 V (EMK) wird die Serieschaltung einer Kapazität von 50 nF und einer Induktivität von 80 mH angeschlossen. Wie gross ist der Strom?

- a) 163.5 mA
- b) 53.6 mA
- c) 72.9 mA
- d) 206.6 mA

9) Gegeben ist ein Widerstand von $20\text{ k}\Omega$. Er trägt die Aufschrift 2 W . Wie gross ist die max. zulässige Dauerstromstärke?

- a) 0.1 mA
- b) 10 mA
- c) 1 mA
- d) 100 mA

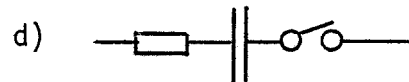
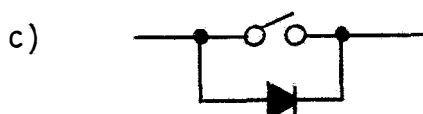
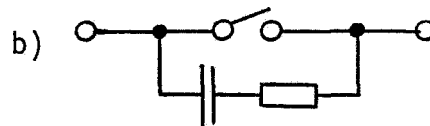
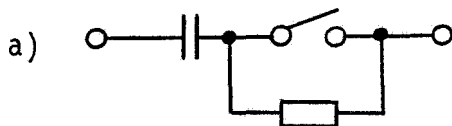
10) Welches ist die Masseinheit für die elektrische Arbeit?

- a) kWh
- b) PS
- c) VA
- d) W

11) Welcher Frequenz entspricht eine Wellenlänge von 75 m ?

- a) 2500 kHz
- b) 4 MHz
- c) 400 kHz
- d) 2 MHz

12) Welche der folgenden Schaltungen erlaubt die beste Funkenlöschung?



13) Die höchste Modulationsfrequenz eines SSB-Senders betrage 2.8 kHz . Wieviele derartige Sender liessen sich im gesamten 40 m -Amateurband unterbringen?

- a) 41
- b) 36
- c) 34
- d) 35

14) Was bedeutet die Bezeichnung μ_r ?

- a) relative Dielektrizitätskonstante
- b) Gegeninduktivität
- c) relative Permeabilitätskonstante
- d) relativer Kopplungsfaktor

- 15) Wie gross ist der Ruhestrom einer A-Endstufe?
- a) etwa halb so gross wie der Spitzenstrom bei Vollaussteuerung
 - b) fast Null
 - c) gleich gross wie der Spitzenstrom bei Vollaussteuerung
 - d) Null
- 16) In welchem Arbeitspunkt werden SSB-Endstufen zweckmässigerweise betrieben?
- a) A
 - b) AB
 - c) C
 - d) E
- 17) Womit sind Antennen der Klasse B zu versehen, deren direkte Erdung aus betrieblichen Gründen nicht möglich ist und die sich im Bereich von Niederspannungsfreileitungen befinden?
- a) Edelgasableiter, der bei 220 V \sim anspricht
 - b) Edelgasableiter, der bei 220 V \sim anspricht mit vorgeschalteter Sicherung mit höchstens 3 A Abschmelzstrom
 - c) Edelgasableiter, der bei 100 V \sim anspricht mit vorgeschalteter Sicherung mit höchstens 6 A Abschmelzstrom
 - d) solche Antennen sind nicht erlaubt
- 18) Nahe Verwandte von Ihnen befinden sich in den USA. Eines Tages gelingt Ihnen eine Verbindung (20m) mit einem den Verwandten benachbarten Amateur. Wie bringen Sie nun die Verwandten ans Mikrofon der amerikanischen Station?
- a) durch einen Telefonruf
 - b) gar nicht
 - c) durch Mitteilung an den amerikanischen Amateur
 - d) auf dem gerade einfachsten Weg, soweit sich die auszutauschenden Mitteilungen auf Bemerkungen rein persönlicher Art beschränken
- 19) Was ist F6?
- a) Zweifrequenz-Telegrafie
 - b) Faksimile
 - c) Fernsehen (Bildträger frequenzmoduliert)
 - d) Vierfrequenz-Duplex-Telegrafie
- 20) Wie kürzen Sie ab: "Die Verständlichkeit Ihrer Zeichen ist ausreichend"?
- a) QRK 3
 - b) QRI 4
 - c) QSA 3
 - d) QRN 3
- 21) Was bedeutet die Abkürzung "QSZ"?
- a) gehen Sie auf eine andere Frequenz über
 - b) senden Sie eine Reihe V
 - c) von wem werde ich gerufen
 - d) geben Sie jedes Wort zweimal

- 22) Was bedeutet die Lautstärkenangabe S3?
- sehr schwach hörbar
 - schwach hörbar
 - ungenügend hörbar
 - genügend hörbar
- 23) Wie oft müssen Sie den Standort Ihrer Station über Funk angeben?
- mindestens alle 15 Minuten
 - in jedem QSO
 - nur wenn Sie danach gefragt werden
 - keine Vorschrift
- 24) Was tun Sie, wenn Ihnen jemand im QSO folgende Mitteilung macht:
= GE DR OM TNX FR FB RPRT = NAME DON = WKG WID XTAL XMTE = OP HR
UNLIS = PSE UR QTH? + HB9XXX DE WA1DOZ K
- im nächsten Durchgang das QTH durchgeben
 - nach seinem QTH fragen
 - den Verkehr abbrechen
 - genau auf seine Quarzfrequenz nachziehen
- 25) Sie fahren zufällig über die Luziensteig ins Gebiet Fürstentum Liechtenstein ein. Was machen Sie, wenn Sie gerade im QSO mit HB Ø ZZZ sind?
- den Verkehr abbrechen
 - ich hänge den Zusatz /HBØ an mein Rufzeichen
 - ich ersetze die Zahl 9 des Rufzeichens durch die Zahl Ø
 - ich darf die Station im FL nur verwenden, wenn ich dies der Konzessionsbehörde mündlich oder schriftlich 5 Tage zum voraus mitgeteilt habe
- 26) Wieviele verschiedene Sprachen sind für die Abwicklung von Amateurfunkverkehr zugelassen?
- 4
 - 5
 - 6
 - 8
- 27) Was gilt bei Sendungen zum Erlernen der Morsezeichen?
- Sie dürfen ohne Genehmigung nur von Vereinsstationen gesendet werden
 - Sie dürfen nicht über Relais-Stationen ausgesendet werden
 - Sie dürfen nur von Stationen der Klasse D2 ausgesendet werden
 - Sie dürfen nur auf Bändern gesendet werden, die regionale Ausbreitung gewährleisten
- 28) Ihr Haus trägt eine Starkstrom-Freileitungs-Zuführung (220 V). Sie montieren eine Antenne der Klasse A auf Ihr Hausdach. Wie gross muss der Abstand Antenne - Freileitung mindestens sein?
- 7.7 m
 - 5.5 m
 - 1 m
 - 2 m

P R Ü F U N G S - BEISPIEL Nr. 6

- 1) Wo dürfen Sie keine Antennenabspannungen befestigen?
 - a) an Blitzableiterstangen
 - b) an Kaminen
 - c) an Luftschächten
 - d) an Bäumen

- 2) Sie spannen eine Antennenzuführung über eine öffentliche Strasse. Wie hoch muss die Zuführung bei einer Spannweite von 20 m über der Strasse sein?
 - a) 4 m
 - b) 6 m
 - c) 4.2 m
 - d) 5 m

- 3) Wie gross ist die Zeitkonstante bei einem RL-Glied von $L = 2 \text{ H}$ und $R = 500 \Omega$?
 - a) 4 ms
 - b) 250 s
 - c) 1000 s
 - d) 1 s

- 4) Wieviel NF-Spannung ist bei einem AM-Sender von 120 V HF, welcher zu 61% moduliert ist, nötig?
 - a) 196 V
 - b) 73.2 V
 - c) 46.8 V
 - d) 61 V

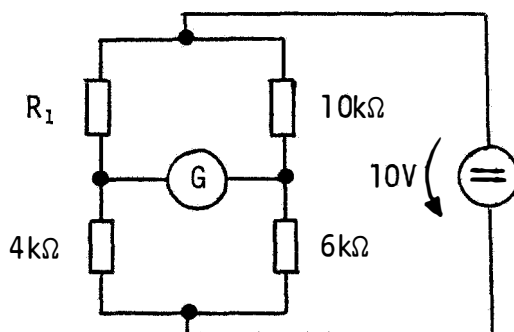
- 5) Wie gross ist bei einem Trafo mit Primärspannung 220 V, Primärstrom 0.11 A, Sekundärstrom 4.8 A und einem Wirkungsgrad von 85% die Sekundärspannung?
 - a) 5.04 V
 - b) 4.28 V
 - c) 9600 V
 - d) 8160 V

- 6) Welchen Resonanzwiderstand hat ein Parallelschwingkreis, der bei Resonanzfrequenz 460 kHz mit einer Induktivität von 500 μH eine Güte von 110 aufweist?
 - a) 1.445 $\text{k}\Omega$
 - b) 13.1 Ω
 - c) 158 $\text{k}\Omega$
 - d) 23 $\text{k}\Omega$

- 7) Welche Impedanz hat die Serieschaltung eines Kondensators von 0.5 μF mit einem ohmschen Widerstand von 300 Ω bei 800 Hz?
 - a) 697.8 Ω
 - b) 300.4 Ω
 - c) 300 Ω
 - d) 498.3 Ω

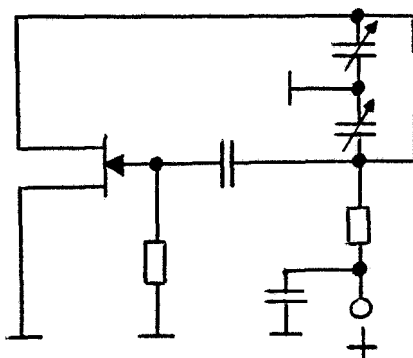
- 8) Die Anodenspannung einer Pentode beträgt 350 V. Die Schirmgitterspannung sollte nach Datenblatt 150 V betragen, bei einem Schirmgitterstrom von 0.8 mA. Wie gross ist der Schirmgitterwiderstand?

- zu 8) a) 187.5 k Ω
 b) 437.5 k Ω
 c) 625 k Ω
 d) 250 k Ω
- 9) Die Bandbreite eines FM-Senders beträgt 18 kHz, die höchste Modulationsfrequenz 3.5 kHz. Wie gross ist der Modulationsindex?
- a) 5.14
 b) 0.19
 c) 1.57
 d) 0.636
- 10) Welche der nachstehenden Schaltungen eignet sich nicht zur Demodulation von FM-Sendungen?
- a) PLL-Demodulator
 b) Differenzdiskriminator
 c) Ratiodetektor
 d) Ueberlagerungsdetektor
- 11) Welche Amateur-Betriebsart von den nachstehenden weist die geringste Bandbreite auf?
- a) FM
 b) RTTY
 c) SSB
 d) Schmalband-Fernsehen SSTV
- 12) An den mit 50 Ω abgeschlossenen Ausgang eines SSB-Senders schliessen Sie ein Oszilloskop an und messen darauf eine Spitzen-Spitzenspannung von max. 100 V. Wie hoch ist die PEP-Leistung des Senders?
- a) 200 W
 b) 25 W
 c) 50 W
 d) 100 W
- 13) Wie gross muss der Widerstand R sein, damit durch das Galvanometer G kein Strom fliesst?



- a) 6.667 k Ω
 b) 15 k Ω
 c) 2.4 k Ω
 d) 8 k Ω

- 14) Wie nennt man die abgebildete Oszillatorschaltung?



- a) Hartley
 b) Colpitts
 c) Meissner
 d) Franklin

- 15) Was müssen Vereine bei Einreichung eines Konzessionsgesuches für eine Vereinsstation tun?
- Rufzeichen vorschlagen
 - Statuten beilegen
 - Mitgliederverzeichnis einsenden
 - einen verantwortlichen technischen Leiter bezeichnen, der Inhaber einer D2-Konzession sein muss
- 16) Was ist Voraussetzung für Erteilung einer Konzession der Klasse D?
- guter Leumund
 - zurückgelegtes 14. Altersjahr
 - Zustimmung der Ehefrau des Antragstellers
 - Wohnsitz in der Schweiz
- 17) Die Konzessionsbehörde will Ihre Sendeanlage überprüfen. Dürfen PTT-Organen Ihr Haus betreten?
- nein (Hausfriedensbruch)
 - ja, ohne weiteres
 - ja, aber nur mit Hausdurchsuchungsbefehl
 - ja, aber nur wenn Grund dazu vorliegt (z.B. Störfall)
- 18) Was geschieht, wenn Sie eine Störung eines öffentlichen Radiodienstes verursachen (Grundwelleneinstrahlung in einen Empfänger)?
- Betrieb muss sofort eingestellt werden
 - Betrieb muss erst auf Weisung der Konzessionsbehörde eingestellt werden
 - soweit es sich um Radio und TV handelt, kann dem Amateur nichts nahegelegt werden
 - Sendeamateur ist verpflichtet, die Störung an der gestörten Anlage zu beheben oder beheben zu lassen (auf eigene Kosten)
- 19) Was ist in den PTT-Vorschriften mit "Kollektor-Verlust-Leistung" gemeint?
- tatsächliche durchschnittliche Verlustleistung des Transistors
 - Angabe aus dem Datenblatt des Transistors
 - tatsächliche (intermittierende) Spitzen-Verlustleistung
 - vom Transistor an das Kühlblech abgegebene Leistung
- 20) Wie kürzen Sie "Anoden-Eingangsleistung" ab?
- PWR
 - INPT
 - INPUT
 - IP
- 21) Was bedeutet "P3G"?
- Phasenmodulation (Telefonie, mit Hilfsträger)
 - Pulscodemodulation (Telefonie)
 - Duplex-Telefonie
 - Breitenmodulierte Pulsmodulation

- 22) Sie besitzen ein 2m-Handfunkgerät mit einer Ausgangsleistung von 2 W. Wie hoch darf irgendeine unerwünschte Ausstrahlung maximal sein?
- 1 mW
 - 0.2 mW
 - 2 mW
 - 25 μ W
- 23) Was heisst "0V1"?
- Röhrentyp (Diode)
 - Audionempfänger mit NF-Stufe
 - Superhetempfänger mit 1 ZF-Stufe
 - Geradeausempfänger mit HF-Vorstufe
- 24) Was ist der Nachteil eines Superhetempfängers gegenüber einem Geradeausempfänger?
- Gleichlauf der ZF-Stufen
 - Regelung der Vorstufe
 - Empfindlichkeit
 - Spiegelfrequenz
- 25) Ein Sender speist über ein langes Koaxkabel eine 50Ω -Kunstlast. Wie hoch ist die in der Kunstlast verheizte Leistung, wenn die Sendeleistung 50 W, das Stehwellenverhältnis 1 : 2 und die am Leitungsende anstehende Spannung 40 V beträgt?
- 32 W
 - 16 W
 - 25 W
 - 64 W
- 26) Welche Formel gilt für die Kapazität 1 F?
- $\frac{V \cdot s}{A}$
 - $\frac{A \cdot s}{V}$
 - $\frac{s}{V \cdot A}$
 - $\frac{V \cdot A}{s}$
- 27) Was ist der Formfaktor (shape factor)?
- Mass für Angabe einer Filterflankensteilheit
 - Geometrie-abhängiger Koeffizient bei Induktivitätsberechnung
 - gibt Auskunft über Intensität einer Inversion
 - Qualitätsmerkmal eines SSB-Demodulators
- 28) Eine "4.5 V"-Taschenlampen-Batterie wird mit einem Vielfachinstrument geprüft, das einen Innenwiderstand von $2\text{ k}\Omega/V$ im 5 V-Bereich aufweist. Die angezeigte Spannung ist 4.40 V. Ein Röhrenvoltmeter ($11\text{ M}\Omega$) dagegen zeigt 4.45 V. Wie gross ist der Innenwiderstand der Batterie?
- 10.34 Ω
 - 22.72 Ω
 - 113.63 Ω
 - 102.27 Ω

P R Ü F U N G S - BEISPIEL Nr. 7

-
- 1) Was ist eine Antenne der Klasse A?
 - a) eine Antenne im Bereich einer 220 V-Leitung
 - b) eine Antenne, die eine Telefonleitung unterkreuzt
 - c) eine Antenne, die eine Telefonleitung überkreuzt
 - d) eine Antenne, die über ein Grundstück einer Drittperson führt (keine Leitungen in der Nähe)
 - 2) Ein Trafo soll das Antennensignal von $50\mu\text{V}$ von 240Ω Impedanz auf 70Ω Impedanz transformieren. Wie hoch ist die Spannung auf der Sekundärseite des Trafos?
 - a) $729.1\ \mu\text{V}$
 - b) $27\ \mu\text{V}$
 - c) $14.6\ \mu\text{V}$
 - d) $171.4\ \mu\text{V}$
 - 3) Wann ist eine Konzession der Klasse D zu erwerben?
 - a) bevor die Sendeanlage angeschafft wird
 - b) bevor mit der Einrichtung der Sendeanlage begonnen wird
 - c) wenn die Anlage betriebsbereit ist
 - d) bevor die fertig erstellte Anlage benützt wird
 - 4) Was bedeutet "16F3"?
 - a) F3-Faksimile mit 16 kHz - Hilfsträger
 - b) FM-Telefoniesendung mit 16 kHz Kanalabstand
 - c) Telefonie mit 16 kHz Bandbreite
 - d) F3-Sendung mit 16 kHz Hub
 - 5) Sie stören auf 433.5 MHz eine kommerzielle Fernsteuerung. Welche Station hat Vorrang?
 - a) der Amateur
 - b) die kommerzielle Station
 - c) die Station mit der grösseren Ausgangsleistung
 - d) Abklärung durch Konzessionsbehörde notwendig
 - 6) Auf welchem Frequenzband ist der Amateurbetrieb genehmigungspflichtig?
 - a) 160 m
 - b) 5 m
 - c) 70 cm
 - d) 23 cm
 - 7) Dürfen Sie als Inhaber einer Konzession D3 auf 144.5 MHz A5H aussenden?
 - a) ja
 - b) nein
 - 8) Was bedeutet GMT?
 - a) Good morning Ted
 - b) Glasgow Midnight-Test
 - c) Greenwich Mean Time
 - d) General Mountain Time

- 9) Welche Voraussetzung muss vor dem Erstellen von Klasse B-Antenne erfüllt sein?
- a) es muss nachgewiesen werden, dass keine Antenne der Klasse A erstellt werden kann
 - b) die Einwilligung des Strom liefernden Elektrizitätswerkes ist erforderlich
 - c) Bewilligung der Konzessionsbehörde und der interessierten Kreise
 - d) die Konzession muss angepasst werden
- 10) Welches Rufzeichen kann die PTT einer Station zuweisen?
- a) HEB9AIE
 - b) HB9AICO
 - c) HB9AMC
 - d) HB91VW
- 11) Wieviel betragen die Konzessionsgebühren der Klassen D1 bzw. D3?
- a) Fr. 3.-- jährlich
 - b) Fr. 6.-- jährlich
 - c) Fr. 36.-- jährlich
 - d) Fr. 72.-- jährlich
- 12) Wo dürfen Antennen der Klasse B nicht befestigt werden?
- a) an Holzmasten
 - b) an Bäumen
 - c) an Fernsehantennentragmasten
 - d) an Starkstrom-Leitungsmasten
- 13) Kann man mit Kondensatoren für HF einen Spannungsteiler bauen?
- a) ja
 - b) nein
 - c) ja, aber nur, wenn den Kondensatoren Widerstände parallel geschaltet werden
 - d) ja, aber nur bei Parallelschaltung von Zener-Dioden
- 14) Darf ein Konzessionär seine Station an Bord eines Schweizer Privatflugzeuges betreiben?
- a) ja, ohne weiteres
 - b) nur nach Meldung an das Eidg. Luftamt
 - c) nur bei Vorliegen einer Bewilligung von Konzessionsbehörde, eidg. Luftamt, Inhaber des Flugzeuges und dem Einverständnis des Piloten
 - d) nein
- 15) Ist der Betrieb eines "Phone-Patch" gestattet?
- a) nein, unter keinen Umständen
 - b) nur in Notfällen
 - c) nur nach Genehmigung durch die PTT
 - d) nur wenn die entsprechenden Telefongebühren bezahlt werden
- 16) Sie betreiben einen Sender in Ihrem Auto. Welche Art Zusatz verwenden Sie zu Ihrem Rufzeichen?
- a) /p
 - b) /m
 - c) /am (auto-mobil)
 - d) /t

17) Ein Funkfreund von Ihnen erzählt Ihnen via HAM-Radio, dass der Sender "Elektro XM-27" ausgezeichnete Eigenschaften aufweise und ausserdem sehr preiswert sei. Ist diese Durchgabe zulässig?

- a) ja
- b) nein

18) Wie gross ist der Modulationsgrad bei einer Träger-Spannung von 90 V und einer NF-Spannung von 78 V?

- a) 68.1%
- b) 115%
- c) 86.7%
- d) 75.3%

19) Sie haben Funkkontakt mit der deutschen Station DK 4 IBC. DK 4 IBC teilt Ihnen mit, dass er zwei Wochen Ferien in der Schweiz machen will. Er bittet Sie nun, ihm ein Hotelzimmer zu reservieren. Ist dies zulässig?

- a) ja. Teilen Sie DK 4 IBC seine Zimmernummer mit
- b) nein
- c) ja, aber nur mit Absprache mit PTT

20) In welchem Frequenzband liegen 48.5 MHz?

- a) VLF
- b) UHF
- c) VHF
- d) EHF

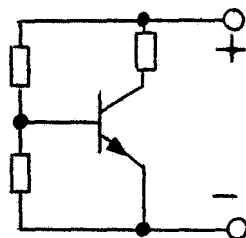
21) Welches Notzeichen verwenden Radio-Amateure bei Notfällen?

- a) SOS
- b) Mayday
- c) QRRR
- d) Distress

22) Welches Rufzeichen verwenden Sie im Fürstentum Liechtenstein?

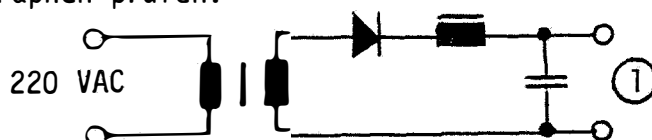
- a) HB 9 HIC / p
- b) HB 9 HIC / FL
- c) HB Ø HIC
- d) HB 8 HIC

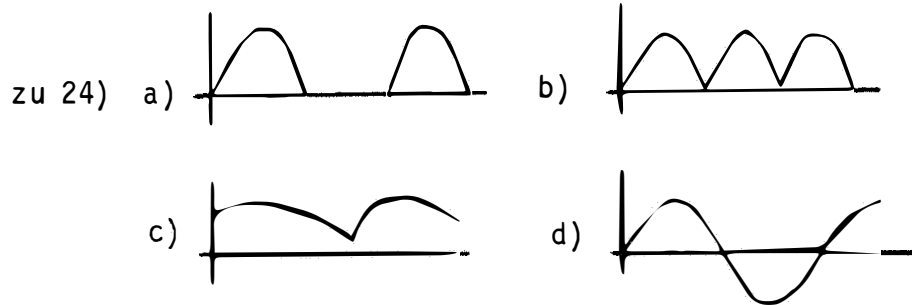
23) U_{be} wird erhöht. Welcher Wert wird verändert?



- a) U_{ce} wird grösser
- b) U_{ce} wird kleiner
- c) I_c wird kleiner
- d) I_b wird kleiner

24) Welches Bild können Sie sehen, wenn Sie an Pos.1 mit einem Oszillosgraphen prüfen?





- 25) Wie verhalten sich Strom und Widerstand zueinander bei konstanter Spannung?
- proportional
 - quadratisch
 - umgekehrt proportional
 - logarithmisch
- 26) Wie verhalten sich die Spannungen über in Serie geschalteten Kondensatoren?
- Spannungen proportional den Kapazitäten
 - Spannungen umgekehrt proportional zu Kapazitäten
 - Spannungen konstant
 - Verhältnis ist stromabhängig
- 27) Ein Widerstand von $820 \text{ k}\Omega$ sei mit maximal 0.5 W belastbar. Wie gross ist der maximal zulässige Strom?
- 0.6 mA
 - 1.64 mA
 - 0.78 mA
 - 0.61 mA
- 28) Auf einer ideal angepassten HF-Antennen-Speiseleitung mit 300Ω Wellenimpedanz werden 600 mW Leistung transportiert. Wie gross ist der Scheitelwert der Spannung?
- 13.4 V
 - 180 V
 - 18.97 V
 - 9.48 V
- 29) Ein Impedanz-Transformator hat eine Primärimpedanz von 50Ω und eine Sekundärimpedanz von 300Ω . Wie verhalten sich die Windungszahlen?
- $1 : 6$
 - $1 : 36$
 - $1 : 2.44$
 - $6 : 1$
- 30) Ein Schwingkreis besteht aus einem Kondensator der Kapazität 2.7 pF , einer Spule der Induktivität $1.2 \text{ }\mu\text{H}$ und dem ohmschen Verlustwiderstand der Spule von 0.6Ω . Wie gross ist die Schwingkreisgüte?
- 500
 - 200
 - 1111
 - 111

P R Ü F U N G S - B E I S P I E L Nr. 8

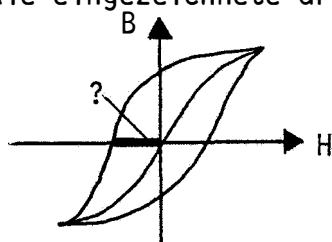
1) Wie verändert sich der Innenwiderstand eines Blei-Akkus mit dem Alter?

- a) sinkt
- b) steigt
- c) unverändert
- d) abhängig vom Ladezustand

2) Wie steht der Vektor der magnetischen Feldstärke H zum erzeugenden Strom I?

- a) parallel, in der gleichen Richtung
- b) parallel, in entgegengesetzter Richtung
- c) horizontal
- d) senkrecht

3) Wie heisst die eingezeichnete Grösse?



- a) Remanenz
- b) Koerzitivkraft
- c) Koerzitivinduktion
- d) Grenzinduktivität

4) Wie gross ist die unbelastete Spannung nach Einweggleichrichtung von 100 V Wechselspannung?

- a) 100 V
- b) 141 V
- c) 70.7 V
- d) 200 V

5) Wieviel beträgt die Phasenverschiebung von Strom und Spannung über einem Kondensator?

- a) 90° , Strom eilt der Spannung voraus
- b) 180° , Strom eilt der Spannung voraus
- c) 90° , Spannung eilt dem Strom voraus
- d) 0

6) Wie gross ist die induzierte Spannung an einer Induktivität von 10 H bei einer Stromänderung von 100 mA in einer Sekunde?

- a) 10 V
- b) 100 mV
- c) 10 mV
- d) 1 V

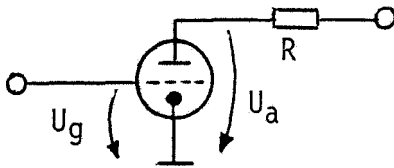
7) Welche Verstärkerklasse hat den grössten Ruhestrom?

- a) B
- b) AB
- c) A
- d) C

8) Wie lautet die Resonanzbedingung in einem Schwingkreis?

- a) $X_C = X_L$
- b) $X_C = 1 / X_L$
- c) $L = C$
- d) $f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

9) Bei welchem U_g ist U_a am grössten?

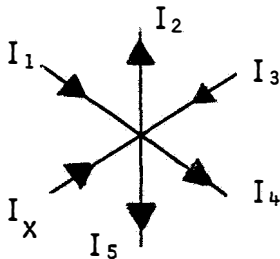


- a) - 3 V
- b) - 8 V
- c) - 12 V
- d) 3 V

10) Wieviele Widerstände $\hat{=}$ 50Ω braucht man, um 60Ω Gesamtwiderstand zu erreichen?

- a) 5
- b) 6
- c) 4
- d) 3

11) In einen Knoten fliessen 6 Ströme. 5 davon sind gegeben, I_x ist gesucht. Welche Gleichung ist richtig?



- a) $I_x - I_1 - I_2 = I_3 + I_5 + I_4$
- b) $I_x - I_4 + I_3 = I_5 + I_2 - I_1$
- c) $I_x + I_4 + I_3 = I_1 + I_2 + I_5$
- d) $I_x + I_1 + I_3 = -I_5 - I_4 - I_2$

12) Wie gross ist die Leistung eines Signales am Empfängereingang, wenn es $50\mu\text{V}$ Spannung aufweist und der Empfänger eine ohmsche Eingangsimpedanz von 50Ω hat?

- a) 0.5 nW
- b) 50 μW
- c) 50 nW
- d) 50 pW

13) Wieviele SSB-Sender können bei einem übertragenen NF-Spektrum von 3.5 kHz Breite im 40m-Amateurfunkband arbeiten?

- a) 29
- b) 57
- c) 14
- d) 28

14) Wieviele wären es, wenn die Modulationsart FM verwendet würde (Modulationsindex 1)?

- a) 7
- b) 14
- c) 28
- d) 9

15) Wie gross ist die Bandbreite eines FM-Senders mit höchster NF-Modulationsfrequenz 4 kHz?

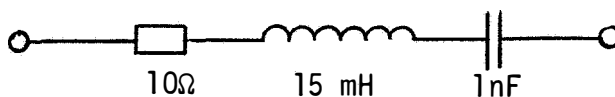
- a) 4 kHz
- b) 8 kHz
- c) 16 kHz
- d) kann nicht beantwortet werden

- 16) Wie gross ist der Wirkungsgrad einer Senderendstufe bei Anodenverlustleistung 50 W und einer HF-Ausgangsleistung von 120 W?
- 41.6%
 - 58.3%
 - 70.5%
 - 29.4%

- 17) Eine Antenne mit 300Ω Fusspunktwidestand soll an eine Leitung von 56Ω Impedanz mittels Transformator angepasst werden. Wie ist das Verhältnis der Windungszahlen?
- 5.35 : 1
 - 2.31 : 1
 - 28.7 : 1
 - 4.35 : 1

- 18) Wie gross ist die Zeitkonstante eines RC-Gliedes mit $R = 15\text{ k}\Omega$ und $C = 0.2\text{ }\mu\text{F}$?
- 3 ms
 - 0.3 ms
 - 30 ms
 - 75 ms

- 19) Auf welcher Frequenz zeigt dieser Schwingkreis Resonanz?



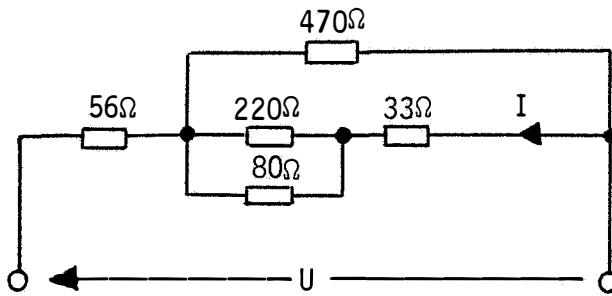
- 41.09 kHz
- 1.299 kHz
- 10.61 MHz
- 12.99 kHz

- 20) Wie gross ist der Resonanzwiderstand der Schaltung bei Aufgabe 19?
- 0
 - ∞
 - 3.87 k Ω
 - 10 Ω

- 21) Ein Drehkondensator von 3...32 pF soll durch einen Seriiekondensator so verändert werden, dass die max. Kapazität 15 pF wird. Wie gross ist der Seriiekondensator?
- 17 pF
 - 28.2 pF
 - 3.75 pF
 - 29 pF

- 22) Ein Transformator weist das Uebersetzungsverhältnis 9 : 1 auf, der Wirkungsgrad beträgt 95%. Sekundärspannung 25 V bei 230 W. Wie gross ist die Primärspannung?
- 214.7 V
 - 223 V
 - 236.8 V
 - 230.8 V

23) Der Strom I ist gegeben und beträgt 47 mA. Wie gross ist die Spannung U ?



- a) 1.55 V
- b) 6.94 V
- c) 7.45 V
- d) 22.09 V

24) Bei einem Sender mit angepasster Leitung misst man an der Last 76 V, die Leistung des Senders ist 115.5 W. Wie gross ist die Impedanz der Leitung?

- a) 50Ω
- b) 52Ω
- c) 75Ω
- d) 1.51Ω

25) Wieviel beträgt die maximal zulässige Höhe von Mobilantennen auf Fahrzeugen?

- a) es besteht keine zwingende Vorschrift
- b) 3 m
- c) 5 m ab Boden
- d) 4 m

26) Wofür braucht man einen Cu-Draht von 4 mm Durchmesser?

- a) Betriebserdleitung
- b) Ueberbrücken von Wasseruhren
- c) Runddrahterder für Blitzschutzanlage
- d) Anschluss an Telefon-Betriebserdleitung

27) In welchem Abstand von geerdeten Hochspannungsmasten müssen Kunststoffrohre für unterirdische Antennen-Zuführungen verwendet werden?

- a) 20 m
- b) 30 m
- c) 50 m
- d) 10 m

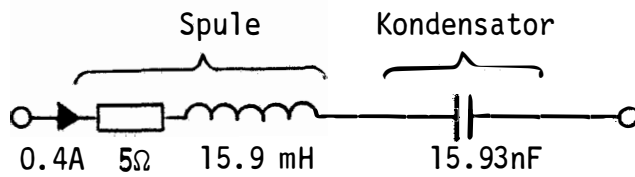
28) Was ist eine Betriebserdleitung?

- a) Kupferleiter von mind. 4 mm Durchmesser
- b) Erdverbindung zwecks Ueberspannungsschutz
- c) Leitung, die nur während dem Betrieb einer Anlage an Erde liegt, sonst nicht mit Erde verbunden ist
- d) das ist eine Leitung, die die für den normalen Betrieb eines Empfängers nötige Erdverbindung darstellt

29) Wo liegt der Arbeitspunkt einer SSB-Linear-Endstufe?

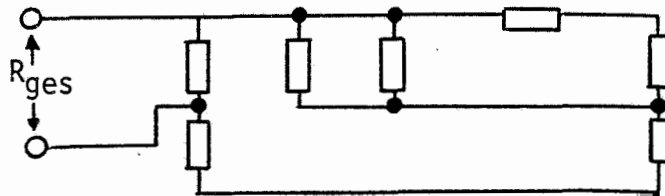
- a) C
- b) A oder B
- c) A, B oder C
- d) nur B oder C

- 30) Wie gross sind bei dem angegebenen Schwingkreis die Spannungen über Spule und Kondensator im Resonanzfall?



	Spule	Kondensator
a)	2 V	0 V
b)	400 V	400 V
c)	402 V	400 V
d)	302 V	300 V

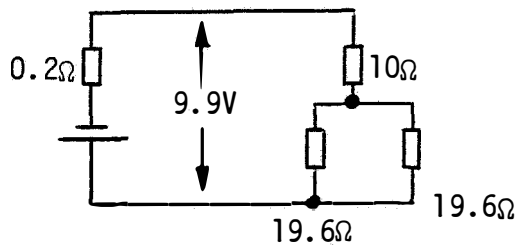
- 31) Gegeben ist eine Schaltung aus lauter 10Ω -Widerständen. Berechne den Gesamtwiderstand der Schaltung!



- a) 7.05Ω
 b) 7.0Ω
 c) 6.95Ω
 d) 5Ω

P R Ü F U N G S - B E I S P I E L Nr. 9

1) Welches ist die EMK?



- a) 10 V
- b) 5 V
- c) 12 V
- d) 100 V

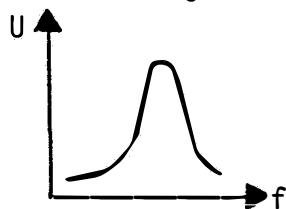
2) Wie gross ist der Widerstand einer Parallelschaltung von $R_1 = 40\Omega$, $R_2 = 60\Omega$, $R_3 = 80\Omega$ und $R_4 = 120\Omega$?

- a) 40Ω
- b) 16Ω
- c) 20Ω
- d) 160Ω

3) In welche Frequenzgruppe gehört die Frequenz 2500 MHz?

- a) UHF
- b) VHF
- c) EHF
- d) SHF

4) Durch welche Schaltung kann diese Kurve entstehen?



- a) Serieschwingkreis
- b) Parallelschwingkreis
- c) Hochpass
- d) Tiefpass

5) Wie gross ist die Spulengüte einer Spule mit $5\ \mu\text{H}$ und einem Verlustwiderstand von 1.2Ω bei einer Frequenz von 14 MHz?

- a) 300
- b) 314
- c) 272
- d) 366

6) Wie gross ist die Ausgangsleistung einer Endstufe, wenn der Wirkungsgrad 68% und die Eingangsleistung 300 W betragen?

- a) 44 W
- b) 441.18 W
- c) 20.4 W
- d) 204 W

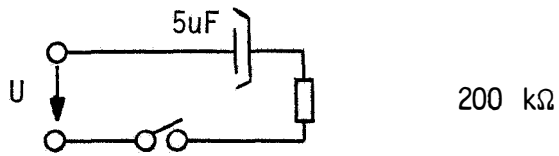
7) Wie lautet die Leistungsformel?

- a) $P = U \cdot R$
- b) $P = \frac{U}{R}$
- c) $P = \frac{U^2}{R}$
- d) $P = \frac{I}{U}$

8) Wie gross ist die Zeit, welche während einer halben Schwingung unseres 50 Hz-Lichtnetzes verstreicht?

- a) 20 ms
- b) 10 ms
- c) 1 s
- d) 5 ms

9) Wie gross ist die Zeitkonstante dieser Schaltung?

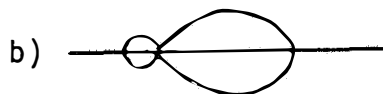
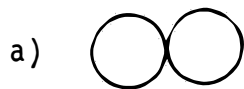


- a) 1 s
- b) 2 s
- c) 50 ms
- d) 40 ms

10) Was geschieht, wenn wir Kupfer erwärmen?

- a) Strom nimmt ab
- b) Strom nimmt zu
- c) Strom bleibt gleich
- d) Spannung nimmt ab

11) Welches Horizontaldiagramm gehört zur folgenden Antenne?



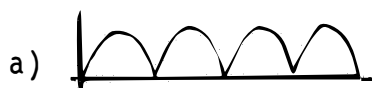
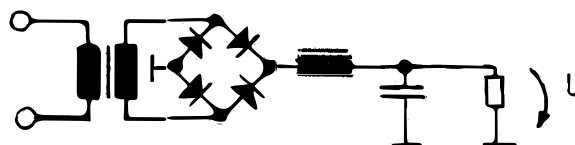
12) Was geschieht mit der Induktivität, wenn wir bei einer Spule den Durchmesser verdoppeln?

- a) Induktivität wird doppelt so gross
- b) Induktivität wird viermal so gross
- c) Induktivität wird $\sqrt{2}$ mal grösser
- d) Induktivität wird 0.7 mal grösser

13) Wie gross muss die Modulations-Spannung sein, wenn die HF-Spannung 120 V beträgt und die Modulation 75% ist?

- a) 90 V
- b) 160 V
- c) 180 V
- d) 9 V

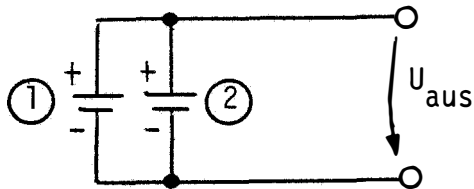
14) Wie sieht die Ausgangsspannung folgender Schaltung aus?



15) Wie hoch ist die Ausgangsspannung an einem 240 / 50 -Anpassglied, wenn die Eingangsspannung 20 V beträgt?

- a) 9.13 V
- b) 4.56 V
- c) 18.26 V
- d) 22.82 V

16) Dürfen diese beiden Akkus so parallelgeschaltet werden?

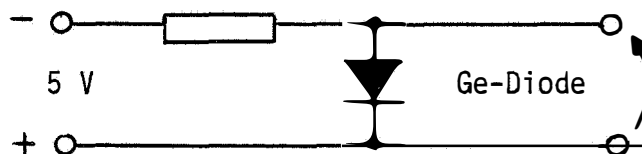


① ist ein Stahl-Akku

② ist ein Blei-Akku

- a) ja, ohne weiteres
- b) nein
- c) ja, aber nur wenn die Kapazitäten übereinstimmen
- d) ja, aber nur wenn die Säuredichte gleich ist

17) Wie hoch ist der Spannungsabfall über der Diode?



- a) 0.7 V
- b) 0.2 V
- c) 5 V
- d) 0.9 V

18) Wie gross ist die Sekundärspannung eines Trafos, wenn folgende Angaben gegeben sind:

$$n_1 = 420 \text{ Windungen} \quad n_2 = 2100 \text{ Windungen} \quad U_1 = 220 \text{ V}$$

- a) 1100 V
- b) 1000 V
- c) 110 V
- d) 44 V

19) Wie viele verschiedene Induktivitätswerte lassen sich durch die verschiedenen möglichen Schaltungsarten von 3 Induktivitäten zu 12 μH erzielen?

- a) 3
- b) 4
- c) 5
- d) 6

20) In einem bestimmten Spektrum haben 15 Stationen (A3-moduliert mit max. 4.5 kHz) Platz. Wieviele wären es bei Verwendung von A3J mit der höchsten Modulationsfrequenz von 3 kHz?

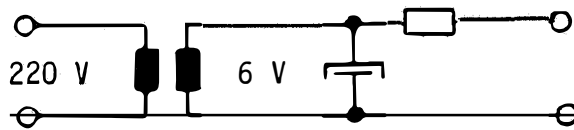
- a) 22
- b) 45
- c) 44
- d) 33

21) Welcher der angegebenen Bandbereiche grenzt nicht an den Bereich der Frequenz 94.2 MHz?

- a) UHF
- b) VHF
- c) HF
- d) LLF

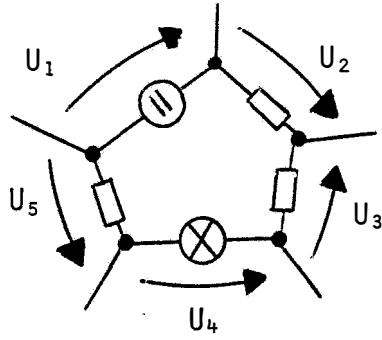
- 22) Wie verhalten sich Widerstände in Serie zu den jeweils über den Widerständen abfallenden Spannungen?
- umgekehrt proportional
 - quadratisch
 - proportional
 - logarithmisch
- 23) Ein NF-Generator weist eine Frequenz von 1 kHz und einen Innenwiderstand von 1 k Ω auf. Daran ist eine Serieschaltung von $L = 0.1$ H und $C = 0.1$ μ F angeschlossen. Welcher Strom fließt bei einer EMK von 5 V?
- 1.02 mA
 - 1.8 mA
 - 2.05 mA
 - 3.6 mA

- 24) Ein Akku-Ladegerät habe folgende Schaltung (für 6 V-Akku). Kann diese funktionieren?



- ja
 - nein, Sekundärspannung nicht ausreichend
 - nein, Kondensator am falschen Ort
 - nein
- 25) Wie gross ist die A3-Bandbreite bei einer Modulationsfrequenz von 8 kHz?
- 4 kHz
 - 8 kHz
 - 16 kHz
 - 24 kHz
- 26) Ein Messgerät ist für eine maximale Spitzenspannung von 300 V ausgelegt. Welche Effektivspannung kann bei diesem Gerät einer Gleichspannung von 80 V überlagert werden?
- 220 V
 - 155.6 V
 - 212.1 V
 - 110 V
- 27) Ein Trafo mit einer Leistung von 650 W hat eine Primärspannung von 115 V bei einem Sekundärstrom von 3.3 A. Wie gross ist das Uebertragungsverhältnis?
- 1.71 : 1
 - 2.93 : 1
 - 1 : 2.93
 - 1 : 1.71
- 28) Ein Eingangssignal am RX erhöht sich von 10 μ V auf 60 μ V. Wie gross ist die Verstärkung in dB?
- 15.56 dB
 - 7.78 dB
 - 35.5 dB
 - 35.83 dB

29) Wie gross ist U_1 ?



- a) $U_1 = U_2 + U_3 + U_4 + U_5$
- b) $U_1 = U_3 - U_2 + U_4 + U_5$
- c) $U_1 = U_2 - U_3 - U_4 - U_5$
- d) $U_1 = U_2 - U_3 + U_4 + U_5$

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 1

- 1) c
- 2) a
- 3) b
- 4) c
- 5) a
- 6) d
- 7) a
- 8) c
- 9) d
- 10) c
- 11) a
- 12) b
- 13) d
- 14) c
- 15) b
- 16) b
- 17) d
- 18) a
- 19) b
- 20) d
- 21) d
- 22) c
- 23) c
- 24) b

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 2

-
- 1) a
 - 2) b
 - 3) a
 - 4) b
 - 5) a
 - 6) b
 - 7) c
 - 8) a
 - 9) b
 - 10) a
 - 11) a
 - 12) c
 - 13) c
 - 14) b
 - 15) b
 - 16) a
 - 17) a
 - 18) d
 - 19) b
 - 20) c
 - 21) c
 - 22) a
 - 23) a
 - 24) c
 - 25) b
 - 26) b
 - 27) a
 - 28) a
 - 29) a
 - 30) c

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 3

-
- 1) b
 - 2) a
 - 3) b
 - 4) c
 - 5) c
 - 6) d
 - 7) d
 - 8) b
 - 9) d
 - 10) a
 - 11) c
 - 12) b
 - 13) b
 - 14) b
 - 15) b
 - 16) c
 - 17) c
 - 18) d
 - 19) b
 - 20) c
 - 21) c
 - 22) a
 - 23) c
 - 24) a
 - 25) c
 - 26) c
 - 27) a

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 4

- 1) b
- 2) c
- 3) d
- 4) b
- 5) d
- 6) a
- 7) b
- 8) c
- 9) c
- 10) a
- 11) d
- 12) b
- 13) b
- 14) d
- 15) c
- 16) c
- 17) a
- 18) a
- 19) c
- 20) b
- 21) d
- 22) a
- 23) a
- 24) c
- 25) b
- 26) d

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 5

-
- 1) a
 - 2) d
 - 3) a
 - 4) a
 - 5) c
 - 6) a
 - 7) a
 - 8) c
 - 9) b
 - 10) a
 - 11) b
 - 12) b
 - 13) d
 - 14) c
 - 15) a
 - 16) b
 - 17) b
 - 18) b
 - 19) d
 - 20) a
 - 21) d
 - 22) b
 - 23) b
 - 24) c
 - 25) a
 - 26) c
 - 27) b
 - 28) b

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 6

-
- 1) a
 - 2) d
 - 3) a
 - 4) b
 - 5) b
 - 6) c
 - 7) d
 - 8) d
 - 9) c
 - 10) d
 - 11) b
 - 12) b
 - 13) a
 - 14) b
 - 15) b
 - 16) d
 - 17) b
 - 18) b
 - 19) b
 - 20) b
 - 21) b
 - 22) d
 - 23) b
 - 24) d
 - 25) a
 - 26) b
 - 27) a
 - 28) c

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 7

- 1) d
- 2) b
- 3) b
- 4) c
- 5) b
- 6) d
- 7) a
- 8) c
- 9) c
- 10) c
- 11) c
- 12) b
- 13) a
- 14) c
- 15) a
- 16) b
- 17) b
- 18) c
- 19) b
- 20) c
- 21) c
- 22) c
- 23) b
- 24) c
- 25) c
- 26) b
- 27) c
- 28) c
- 29) c
- 30) c

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 8

-
- 1) b
 - 2) d
 - 3) b
 - 4) b
 - 5) a
 - 6) d
 - 7) c
 - 8) a
 - 9) c
 - 10) a
 - 11) b
 - 12) d
 - 13) d
 - 14) a
 - 15) d
 - 16) c
 - 17) b
 - 18) a
 - 19) a
 - 20) d
 - 21) b
 - 22) d
 - 23) c
 - 24) a
 - 25) d
 - 26) b
 - 27) a
 - 28) d
 - 29) b
 - 30) b
 - 31) a

L Ö S U N G E N zu PRÜFUNGSBEISPIEL Nr. 9

-
- 1) a
 - 2) b
 - 3) a
 - 4) b
 - 5) d
 - 6) d
 - 7) c
 - 8) b
 - 9) a
 - 10) a
 - 11) a
 - 12) b
 - 13) a
 - 14) c
 - 15) a
 - 16) b
 - 17) c
 - 18) a
 - 19) b
 - 20) b
 - 21) b
 - 22) c
 - 23) d
 - 24) d
 - 25) c
 - 26) b
 - 27) d
 - 28) a
 - 29) b

Testaufgaben

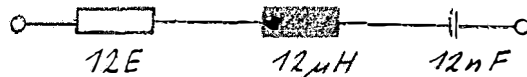
=====

1) Wie verhält sich der Innenwiderstand eines Bleiakkus nach Jahrelangem Gebrauch im Vergleich zu seinem Neuzustand?

- a) Bleibt Konstant
- b) Zunehmend
- c) Abnehmend
- d) Ladungsabhängig

2) Wie gross ist der Resonanzwiderstand bei der angegebenen Schaltung ?

- a) Null
- b) 19,4kHz
- c) Unendlich
- d) 12 Ω



3) Wie lautet die Schwingbedingung im Serieschwingkreis ?

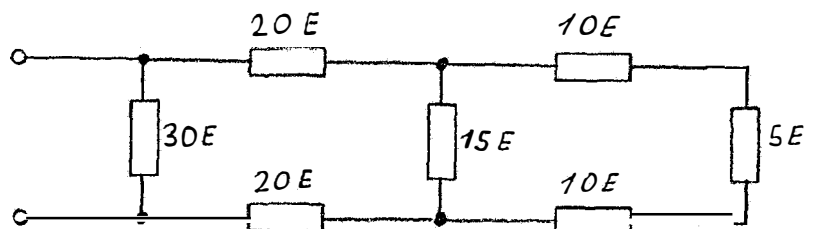
- a) $X_C = \frac{1}{X_L}$
- b) $f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- c) $C = L$
- d) $X_L = X_C$

4) Wieviele Werte lassen sich aus drei Widerständen zu je 11,3 Ω bilden ?

- a) 5
- b) 4
- c) 3
- d) 2

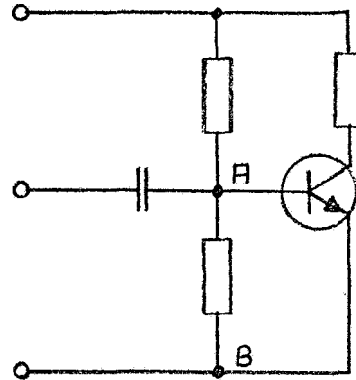
5) Berechne den Gesamtwiderstand vom abgebildeten Netzwerk !

- a) 18,7 Ω
- b) 24,7 Ω
- c) 337,4 Ω



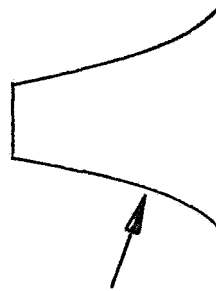
6) Die Spannung zwischen Punkt A und B wird erhöht. Was geschieht als Folge ?

- a) b wird kleiner
- b) I_c wird kleiner
- c) I_c wird grösser
- d) U_{ce} wird grösser



7) Mit Hilfe eines Oszilloskopes wollen Sie bei ihrem Sender die Modulation Prüfen. Was können Sie aus der Angezeichneten Grösse heraussehen ?

- a) Wirkungsgrad
- b) Modulationsgrad
- c) Hub
- d) Linearität



8) Ein Gerät läuft an 220 V während 16 Stunden und zieht einen Strom von 3 A. Wieviel ist dem Elektrizitätswerk dafür zu bezahlen, wenn 1 kWh 12 Rappen kostet?

- a) 55 Rappen
- b) Fr. 1.27
- c) Fr. 140.80
- d) 7.9 Rappen

9) An einer unbekanntem Stromquelle wird bei einem Lastwiderstand von 15Ω ein Strom von 3 A gemessen. Bei einem Lastwiderstand von 25Ω ist der Strom noch 2 A. Berechne EMK und R_i der Stromquelle.

- a) 60V / 5Ω
- b) 45V / 15Ω
- c) 50V / 25Ω
- d) 50V / 10Ω

10) Welcher Wellenlänge entspricht eine Frequenz von 15 MHz?

- a) 15 m
- b) 20 m
- c) 2 m
- d) 200 m

11) Eine Lautsprecherleitung besteht aus zwei Adern von je $0,75\text{mm}^2$ Querschnitt und ist 8m lang. Wie gross ist der Strom in der Leitung, wenn der Lautsprecher 8Ω hat und der Verstärker eine momentane Leistung von 10W abgibt

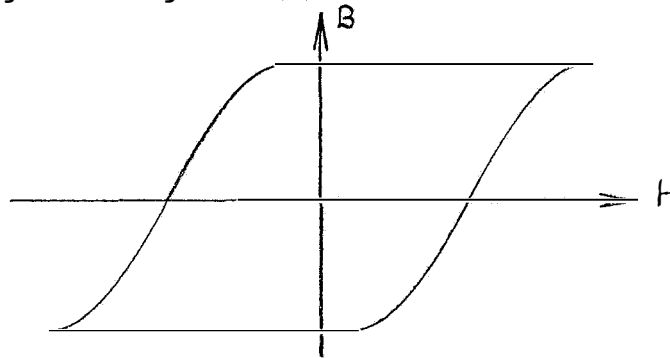
- a) $1,09\text{ A}$
- b) $3,16\text{ A}$
- c) $1,19\text{ A}$
- d) $1,25\text{ A}$

12) Am Ausgang eines Verstärkers wird an Stelle des Lautsprechers ein Lastwiderstand von 8Ω angeschlossen. An diesem Widerstand messen wir eine Spannung von $0,4\text{V}_{\text{eff}}$. Wie gross ist die momentane Ausgangsleistung ?

- a) 20 mW
- b) 200 mW
- c) 2 W
- d) 20 W

13) Was stellt folgende Schleife dar ?

- a) Hysteresisschleife
- b) Feldlinien eines Magneten
- c) magn. Wirkung zwischen zwei Leitern



14) Welche gesamtinduktivität ergibt sich, wenn zwei Spulen von 10H und 5H in Serie geschaltet werden ?

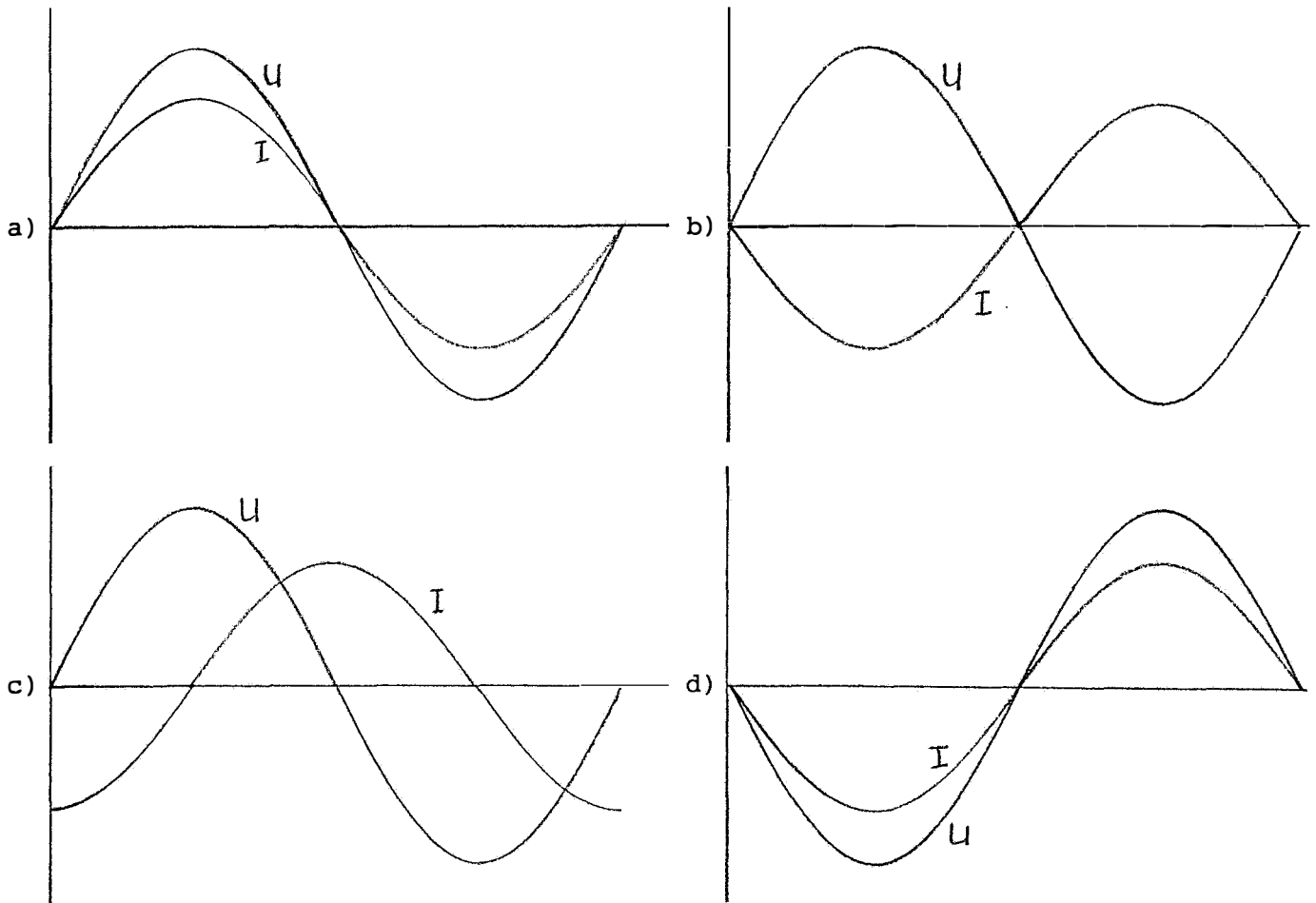
- a) 5 H
- b) 3.333 H
- c) 10 H
- d) 15 H

15) Welche Formel kann zur Leistungsberechnung nicht verwendet werden ?

- a) $P = U \times I$
- b) $P = I \times R$
- c) $P = I^2 \times R$
- d) $P = U^2 / R$

- 16) Was vollbringt ein elektrischer Strom, welcher von einer bestimmten Spannung in einer Sekunde durch einen Widerstand getrieben wird ?
- a) Leistung
 - b) Arbeit
 - c) Ladung
- 17) Der Messbereich eines Voltmeters wird vergrößert wenn man einen Widerstand
- a) in Serie
 - b) parallel
 - c) quer
- schaltet.
- 18) Was versteht man unter einer Periode beim Wechselstrom?
- a) positive Halbwelle
 - b) negative Halbwelle
 - c) positive und negative Halbwelle
- 19) Wie sind die Molekularmagnete in einem unmagnetisierten Eisenstück geordnet ?
- a) haben alle die gleiche Richtung
 - b) liegen kreuz und quer
 - c) kreisen
- 20) Wann ist Eisen magnetisch gesättigt ?
- a) wenn 10% der Molekularmagnete ausgerichtet sind
 - b) wenn alle Molekularmagnete ausgerichtet sind
 - c) wenn alle Molekularmagnete durcheinander sind
- 21) Welche Frequenz hat eine Schwingung, wenn sie aus 500 positiven und 500 negativen Halbwellen pro Sekunde besteht ?
- a) 100 Hz
 - b) 1 kHz
 - c) 500 kHz
 - d) 500 Hz

22) In welcher Darstellung besteht eine Phasenverschiebung zwischen U und I von 180 Grad ?



23) Wenn $U_{ss}=282,8V$ beträgt ist U_{eff} wie gross ?

- a) 100 V
- b) 141,4 V
- c) 50 V

24) Wie nennt man die Kurvenform eines Wechselstromes, wenn er durch eine rotierende Maschine erzeugt wird?

- a) rechteckförmig
- b) sägezahnförmig
- c) sinusförmig

25) Wie wirken zwei gleichnamige Pole aufeinander ?

- a) ziehen sich an
- b) stossen sich ab
- c) passiert nichts

26) Welches ist die Einheit der magn. Flussdichte ?

- a) Tesla
- b) Maxwell
- c) Oersted
- d) Weber

27) Was gibt μ_r an ?

- a) wieviel grösser die Flussdichte einer Spule mit Eisenkern als ohne Eisenkern bei gleicher Durchflutung ist
- b) das Verhältniss von Durchmesser zur Länge einer Spule
- c) das Verhältniss von Draht zu Windungsdurchmesser

28) Was versteht man unter magn. Fluss ?

- a) Gesamtzahl der Feldlinien eines Magneten
- b) Anzahl Feldlinien auf eine bestimmte Fläche
- c) jede einzelne Feldlinie

29) Mit welcher Grösse kann die Durchflutung im Ohmschen Gesetz gleichgestellt werden ?

- a) Spannung U
- b) Strom I
- c) Widerstand R

30) Wie kann die magn. Feldstärke einer Spule vergrössert werden ?

- a) Grösserer Strom
- b) Weniger Windungen
- c) verkürzen der Feldlinienlänge

31) Welche Formel gilt für die Durchflutung

a) $H = \frac{I \cdot N}{l}$

b) $B = \frac{\Phi}{A}$

c) $\Theta = I \cdot N$

- 32) An welchen Widerständen entsteht eine Leistung mit dem Formelzeichen Q
- a) Wirkwiderständen
 - b) Scheinwiderständen
 - c) Blindwiderständen
- 33) Welche Formel stimmt zur Berechnung von $\cos \Phi$?
- a) $\cos \Phi = S/P$
 - b) $\cos \Phi = P/S$
 - c) $\cos \Phi = P/Q$
 - d) $\cos \Phi = Q/S$
- 34) In einer Serieschaltung von $R = 200 \Omega$ und $X_C = 224 \Omega$ wird Z ?
- a) 424Ω
 - b) 600Ω
 - c) 300Ω
 - d) frequenzabhängig
- 35) Wie verhält sich X_C in Abhängigkeit der Frequenz ?
- a) I eilt U 90° vor
 - b) U eilt I 90° nach
 - c) U eilt I 90° vor
 - d) I eilt U 90° nach
- 36) Welche Stoffe sind ferromagnetisch ?
- a) Nickel
 - b) Aluminium
 - c) Blei
 - d) Chrom
- 37) Ein Universalinstrument zeigte eine Spannung von 80 Volt an. Wie gross ist dann U_s ?
- a) 226.26 V
 - b) 113.13 V
 - c) 100.00 V
- 38) Was versteht man unter Amplitude ?
- a) Momentanwert
 - b) Spitzenwert
 - c) Augenblickwert einer Sinusschwingung

- 39) Welche Aussagen stimmen bei einer idealen Spule ?
- a) I eilt u 90° vor
 - b) I eilt U 90° nach
 - c) U eilt I 90° nach
 - d) U eilt I 90° vor
- 40) Eine Spule mit $X_L = 20 \Omega$ ist mit einem Widerstand von $R = 10 \Omega$ parallelgeschaltet. Wie gross wird Z ?
- a) 30Ω
 - b) 8.828Ω
 - c) 6.666Ω
 - d) 8.944Ω
- 41) Wie verhalten sich Spannungen beim unbelasteten Transformator zur Windungszahl ?
- a) proportional
 - b) umgekehrt proportional
 - c) logarithmisch
- 42) Wie verhalten sich die Ströme beim belasteten Transformator zur Windungszahl ?
- a) proportional
 - b) umgekehrt proportional
 - c) exponentiell
- 43) Mit welchem Übersetzungsverhältnis wird ein Widerstand von 10Ω von der Sekundärseite mit 10 Windungen auf die Primärseite transformiert wenn die Windungszahl 250 ist ?
- a) 25
 - b) 10
 - c) 5
 - d) 2,5 : 1
- 44) Was dient zur Kopplung der zwei Spulen im Transformator ?
- a) elektr. Feld
 - b) magn. Feld
 - c) Wirbelströme
- 45) Wie verläuft der induktive Widerstand bei zunehmender Frequenz ?
- a) linear steigend
 - b) linear fallend
 - c) exponentiell fallend

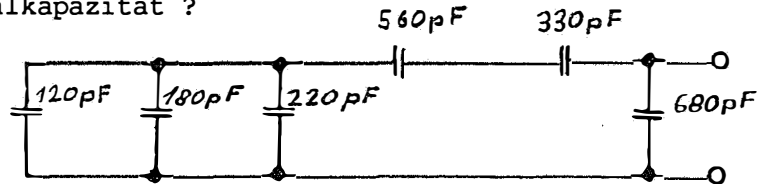
- 46) Wie gross ist der Kopplungsgrad oder Faktor, wenn von der Primärseite von 10000 Magnet- oder Kraftlinien in der Sekundärseite nur 7000 Kraftlinien wirksam werden ?
- a) 70%
 - b) 30%
 - c) 0,7
 - d) 0,3
 - e) 1,7
 - f) 170%
- 47) Wie fliesst der Elektronenstrom ?
- a) von Plus nach Minus
 - b) von Minus nach Plus
- 48) Was ist die Ursache einer Elektronenbewegung ?
- a) Spannung
 - b) Strom
 - c) Widerstand
 - d) Leistung
- 49) Was lässt sich über die Spannung über der parallelgeschalteten Widerständen $R_1=100\Omega$, $R_2=1k\Omega$, $R_3=10k\Omega$ aussagen ? Die Spannung über allen Widerständen ist:
- a) gleich
 - b) proportional der Widerstände
 - c) umgekehrt proportional der Widerstände
- 50) Wie verhalten sich in der Serieschaltung Spannung und Widerstände zueinander ?
- a) proportional
 - b) umgekehrt proportional
 - c) logarithmisch
- 51) Bei einem Amperemeter wird der Messbereich verdoppelt. Das Amperemeter hat einen R_i von 2Ω . Welcher Widerstand muss gewählt werden und wie wird er geschaltet ?
- a) 1Ω
 - b) 5Ω
 - c) 2Ω
 - d) 20Ω
 - e) Parallel
 - f) Serie

52) Je grösser der Leiterquerschnitt, umso

- a) besser der Draht
- b) grösser der Widerstand
- c) kleiner der Widerstand

53) Wie gross ist die Totalkapazität ?

- a) 1100 pF
- b) 828 pF
- c) 755 pF
- d) 720 pF

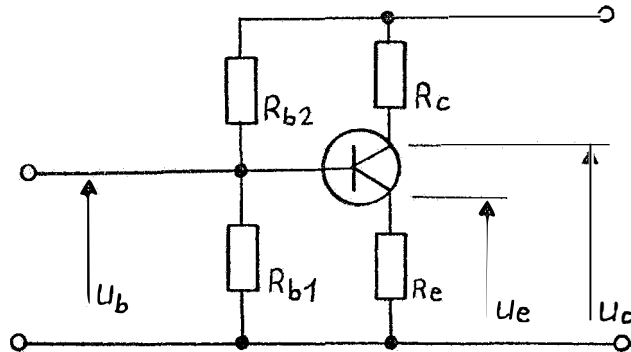


54) Amateur A sendet mit 10 Watt und einer Rundstrahlantenne (Dipol). Amateur B in 10km Entfernung gibt A einen Rapport von S2. Einige Zeit später hört Amateur B seinen Freund Amateur A wider. Dieser besitzt jetzt einen Linearverstärker mit 12 dB und hat einen Lang-Yagi-Beam (18 dB ü. D.) in Betrieb. B empfängt A mit S4. A ist umgezogen. Wie weit ist er von B entfernt ?

- a) 79 km
- b) 123 km
- c) 158 km
- d) 213 km

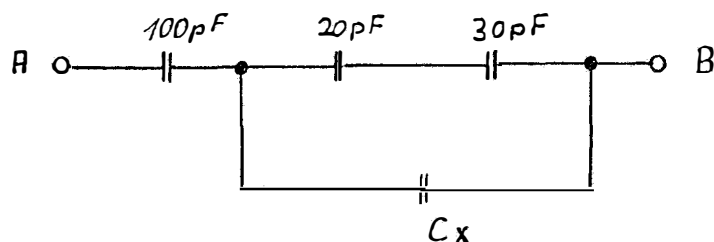
55) R_{b1} wird kleiner.. Was passiert ?

- a) U_c wird grösser
- b) U_c wird kleiner
- c) U_e wird grösser
- d) U_b wird grösser



56) $C_{a-b} = 67,95\text{pF}$. Wie gross ist C_x ?

- a) 200 pF
- b) 300 pF
- c) 100 pF
- d) 50 pF



- 57) Drei Widerstände $R_1 = 10\text{k}\Omega$ $R_2 = 5\text{k}\Omega$ $R_3 = 100\text{k}\Omega$ sind in Serie geschaltet. An welchem Widerstand liegt die grösste Teilspannung ?
- R1
 - R2
 - R3
- 58) Welche Formel gilt nicht für elektrische Arbeit ?
- $? = P * t$
 - $? = U * I$
 - $? = I^2 * R * t$
 - $? = \frac{U^2}{R} * t$
- 59) Wie verhält sich der Widerstand bei steigender Temperatur bei reinen Metallen ?
- wird kleiner
 - wird grösser
 - bleibt gleich
- 60) Welche Induktivität in Henry hat eine Spule, wenn eine Stromänderung von 0 auf 2A in einer halben Sekunde eine selbstinduktionsspannung von 5V erzeugt ?
- 5H
 - 10H
 - 1.25H
 - 20H
- 61) Welche Stoffe besitzen praktisch keine freien Elektronen ?
- Leiter
 - Halbleiter
 - Nichtleiter
- 62) Ohmsches Gesetz: Je grösser der Widerstand, umso
- kleiner die Spannung
 - grösser die Spannung
 - die Spannung bleibt gleich

63) Was lässt sich über die Ströme von drei parallelgeschalteten Widerständen $R_1 = 100 \Omega$ $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ aussagen ?

- a) alle gleich
- b) proportional den Widerständen
- c) umgekehrtproportional den Widerständen

64) $L = 12 \text{ mH}$; die Stromänderung beträgt 5 A in 2 msek. Wie gross ist die Induktionsspannung ?

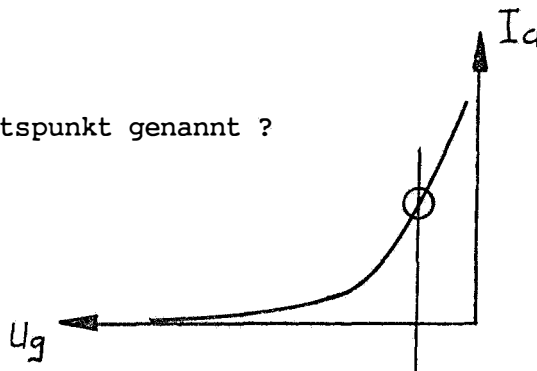
- a) 30 mV
- b) 900 mV
- c) 600 mV
- d) 30 V

65) Ein Sender A mit 20 Watt steht in einer Distanz zu X von 60 km . Er wird mit S4 empfangen. Sender B mit 1000 Watt wird bei X mit S7 gehört. Wie gross ist die Distanz B-X ($S_9 = 100 \mu\text{V}$)

- a) 53 km
- b) $15,6 \text{ km}$
- c) $150,8 \text{ km}$
- d) 120 km

66) Wie wird der gezeichnete Arbeitspunkt genannt ?

- a) B
- b) A
- c) C
- d) D



67) Wie gross ist der Wechselstromwiderstand von drei parallel geschalteten Spulen bei $3,3953 \text{ MHz}$ und den folgenden Spulengrössen: $L_1 = 18 \text{ mH}$; $L_2 = 10 \text{ mH}$; $L_3 = 5 \text{ mH}$?

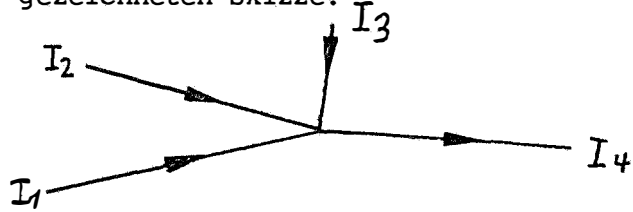
- a) $704 \text{ k}\Omega$
- b) $60 \text{ k}\Omega$
- c) $312 \text{ k}\Omega$
- d) 60Ω

68) Ein Batterieempfänger nimmt bei 12 Volt 3 Watt elektrische Leistung auf und strahlt eine Schalleistung von 200 mW ab. Wie gross ist der Wirkungsgrad ?

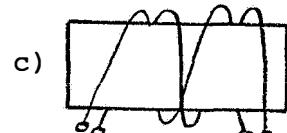
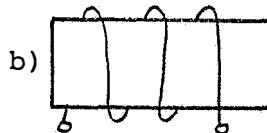
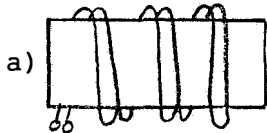
- a) $6,67 \text{ Promille}$
- b) $0,67 \text{ Prozent}$
- c) $6,67 \text{ Prozent}$
- d) $66,7 \text{ Prozent}$

69) Bilden sie die Formel zur gezeichneten Skizze.

- a) $I_4 = I_3 - I_2 - I_1$
- b) $I_4 = I_1 + I_2 + I_3$
- c) $I_3 - I_2 + I_1 = I_4$
- d) $I_1 + I_2 - I_3 = I_4$



70) Welche Spule ist bifilar gewickelt ?



71) Wie gross ist der Resonanzwiderstand in Aufgabe 73 ?

- a) $180\text{k}\Omega$
- b) $220\text{k}\Omega$
- c) $78\text{k}\Omega$
- d) $91\text{k}\Omega$

72) Wie gross ist der Strom in der Zuleitung zu einem idealen Parallel-Kreis im Resonanzfall?

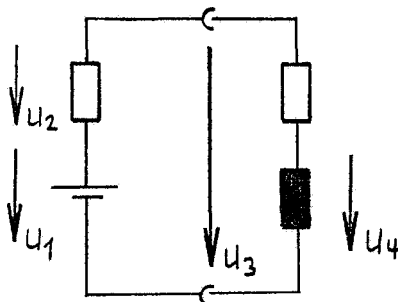
- a) 0
- b) negativ
- c) unendlich gross

73) Ein Parallelkreis hat folgende Daten: $L = 10 \mu\text{H}$; $C = 22\text{pF}$; $R_v = 5 \Omega$. Wie gross ist Q ?

- a) 202
- b) 247
- c) 135
- d) 330

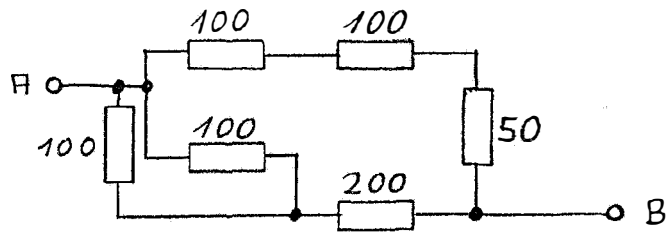
74) Welche Spannung wird mit EMK bezeichnet ?

- a) U_3
- b) U_1
- c) U_2
- d) U_4



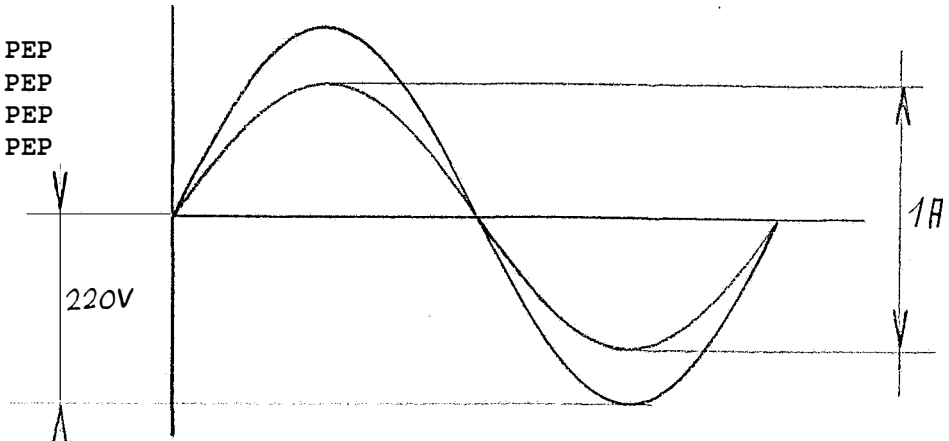
75) Wie gross ist der Widerstand R a-b ?

- a) 560 Ω
- b) 30 Ω
- c) 180 Ω
- d) 125 Ω



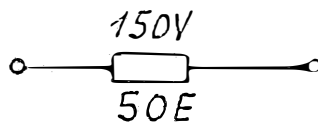
76) Wie gross ist die Leistung ?

- a) 220 W PEP
- b) 440 W PEP
- c) 55 W PEP
- d) 100 W PEP



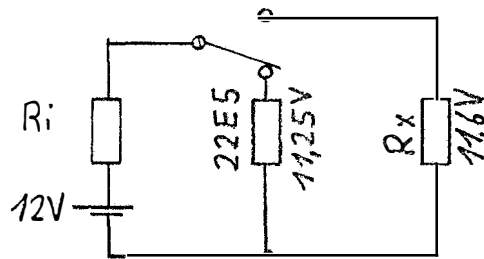
77) Wie gross ist die Leistung am gezeichneten Widerstand ?

- a) 450 W
- b) 150 W
- c) 750 W
- d) 15 W



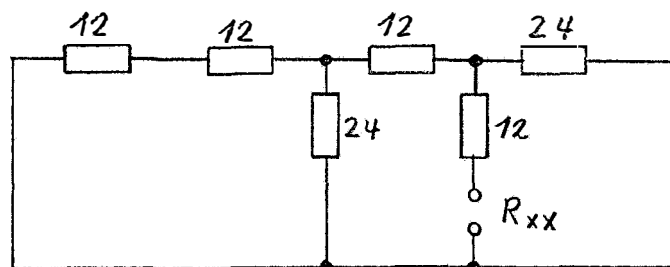
78) Wie gross ist der Widerstand Rx ?

- a) 34,5 Ω
- b) 43,5 Ω
- c) 70,7 Ω
- d) 58,5 Ω



79) Wie gross ist der Widerstand Rxx ?

- a) 12 Ω
- b) 24 Ω
- c) 48 Ω
- d) 36 Ω



80) Mit welcher Gleichrichterschaltung erzielt man bei gleicher Trafospannung die grösste Gleichspannung ?

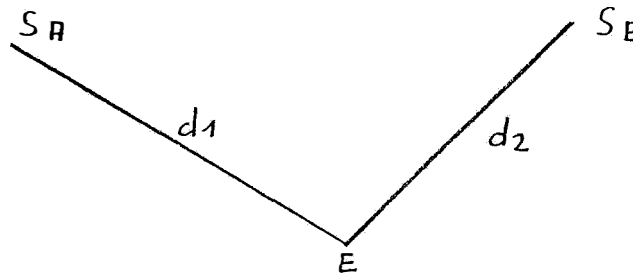
- a) Einweg
- b) Dreiweg
- c) Grätz
- d) alle gleich

81) Welche der nachstehenden Formeln gilt für die Kapazität ?

- a) $\frac{I \cdot t}{U}$
- b) $\frac{U \cdot t}{I}$
- c) $\frac{I \cdot U}{t}$
- d) $I \cdot U \cdot t$

82) Sender A hat eine Leistung von 75 Watt. d_1 ist 133km und U_e des Senders a ist 30 μV d_2 ist 399 km , U_e des Senders B ist 10 μV . Wie gross ist die Leistung des Senders B?

- a) 50 W
- b) 3300 W
- c) 150 W
- d) 75 W

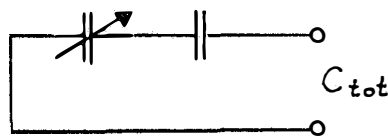


83) Ein Saugkreis hat die Daten: $L = 60 \mu H$; $C = 392 pF$; $Q = 150$. Wie gross ist der Resonanzwiderstand?

- a) 2,61 Ω
- b) 2,17 Ω
- c) 13,8 Ω
- d) 3,26 Ω

84) $C_{tot \max}$ ist 200pF. C_{var} ist 30-300 pF. Wie gross ist $c_{tot \min}$?

- a) 28,5 pF
- b) 21 pF
- c) 25 pF
- d) 43 pF



85) Ein Trafo hat Primär 700 Windungen und eine Impedanz von 34 kΩ. Die Impedanz Sekundärseitig ist 1 kΩ. Wie gross ist die Windungszahl auf der Sekundärseite ?

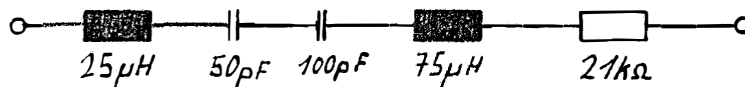
- a) 3500
- b) 120
- c) 20
- d) 350

86) Wie gross ist die Resonanzfrequenz in Aufgabe 73 ?

- a) 10,7 MHz
- b) 9 MHz
- c) 22 MHz
- d) 25,8 MHz

87) Wie gross ist die Impedanz dieses Seriekreises, wenn f 10,7 MHz ist ?

- a) 2,2 kΩ
- b) 3 kΩ
- c) 11 kΩ
- d) 22 kΩ

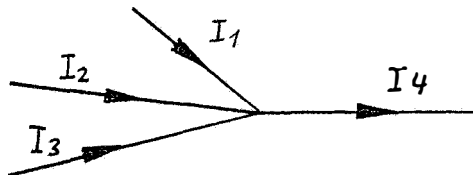


88) Sie berechnen eine Leistungsverstärkung und verwenden die Formel: $V_p = \frac{U_2^2}{U_1^2}$. Was müssen Sie beachten ?

- a) $R_e < R_a$
- b) $R_e = R_a$
- c) $R_e > R_a$

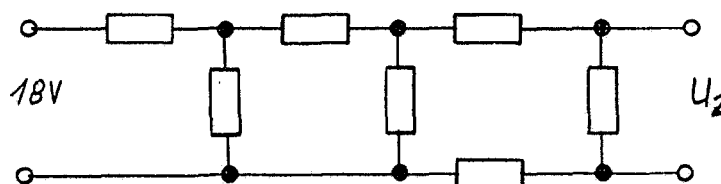
89) $I_1 = 2A$; $I_2 = 1A$; $I_4 = 7A$. Wie gross ist I_3 ?

- a) 10A
- b) 1A
- c) 3A
- d) 4A



90) Alle Widerstände haben 100 Ω. Wie gross ist die Spannung U_2 ?

- a) 1 V
- b) 2,33 V
- c) 1,89V
- d) 0,88 V



91) Wie lautet die Formel für die Induktivität ?

a) $I \cdot U \cdot t$

b) $\frac{I \cdot t}{U}$

c) $\frac{U \cdot t}{I}$

d) $\frac{I \cdot U}{t}$

92) Wie ist ein Atom geladen, wenn es mehr Protonen als Elektronen hat ?

- a) negativ
- b) positiv
- c) neutral

93) Was versteht man unter Selbstinduktion ?

- a) Induktion in einer zweiten Spule
- b) Induktion in der eigenen Spule
- c) Induktion im Eisenkern

94) Vergleichen Sie den Widerstand zweier Leitungen aus dem gleichen Material:
Leitung 1: Länge l ; Querschnitt A_1 (R_1)
Leitung 2: $4 \times$ Länge l ; $2 \times$ Querschnitt A_1 (R_2)
Ist R_2

- a) doppelt so gross
- b) viermal so gross
- c) halb so gross wie R_1

95) Was lässt sich über den Strom in drei in Serie geschalteten Widerständen aussagen ?

- a) der Strom ist verschieden
- b) der Strom ist in allen gleich
- c) der Strom verteilt sich

96) Welcher Zusammenhang besteht in der Serieschaltung zwischen Teilspannung und Gesamtspannung. Die Summe der Teilspannungen sind

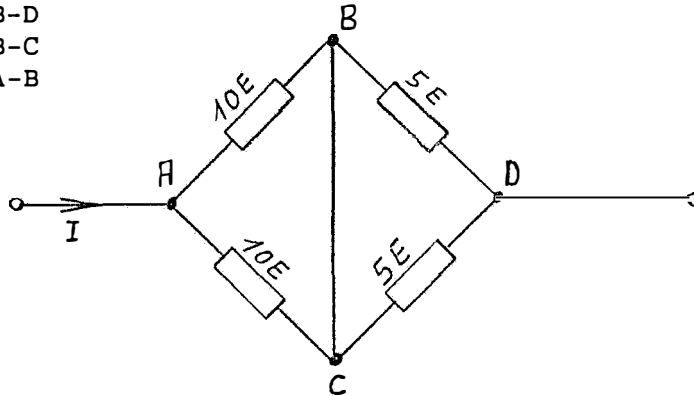
- a) kleiner
- b) grösser
- c) gleich der Gesamtspannung

97) Gute Leitfähigkeit hängt vor allem ab

- a) polierte Oberfläche
- b) von der Zahl der Elektronen
- c) von der Zahl der freien Elektronen

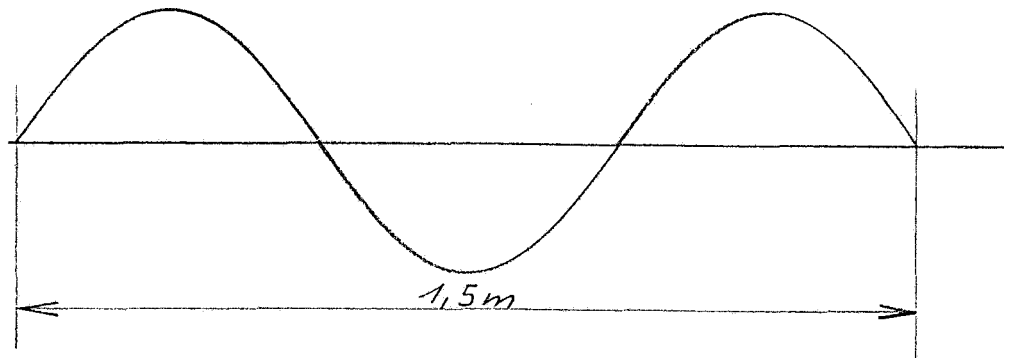
98) In welchem Zweig fließt der kleinste Strom ?

- a) es fließt in allen Zweigen der Gleiche Strom
- b) Im Zweig B-D
- c) Im Zweig B-C
- d) Im Zweig A-B



99) Wie gross ist die Frequenz ?

- a) 150 MHz
- b) 250 MHz
- c) 300 MHz
- d) 450 MHz



100) Eine NF-Stufe gibt an einen Lautsprecher von $5,7 \Omega$ eine Wechselspannung von 12V ab. Diese Endstufe nimmt bei 24V $1,5\text{A}$ auf. Wie gross ist der Wirkungsgrad ?

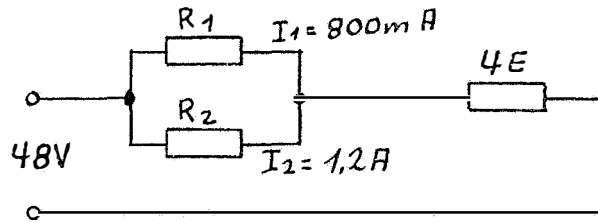
- a) 45%
- b) 72,6%
- c) 68,8%
- d) 70,2%

101) Welche Gleichrichterschaltung benötigt zur Siebung den grössten Kondensator ?

- a) Einweg
- b) Doppelweg
- c) Graetz
- d) Brückenschaltung

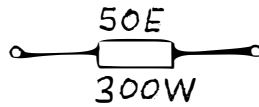
102) Wie gross ist der Widerstand R2?

- a) 33,33 Ω
- b) 22,4 Ω
- c) 54 Ω
- d) 40 Ω



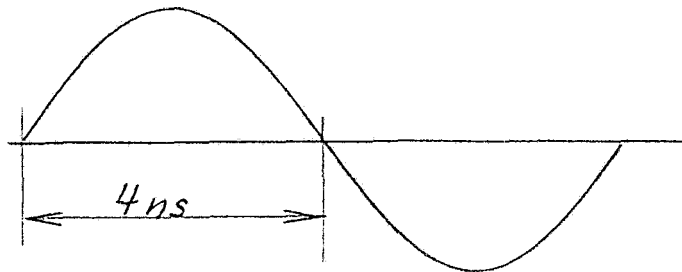
103) Wie gross ist die Spannung über dem Widerstand ?

- a) 122,5 V
- b) 340 V
- c) 60 V
- d) 0,15 V



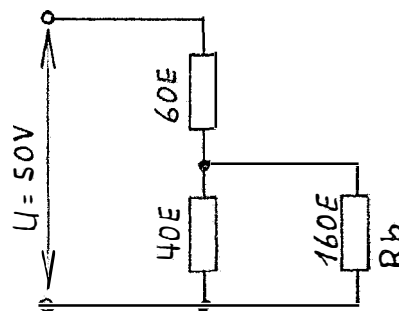
104) Wie gross ist die Wellenlänge ?

- a) 4m
- b) 2,4m
- c) 8m
- d) 2,5m



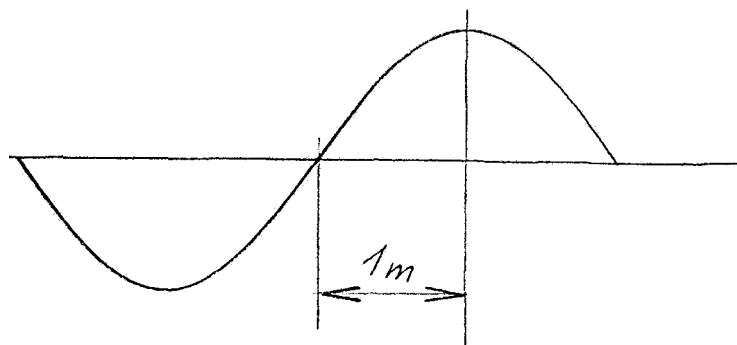
105) Wie hoch ist die Spannung am Belastungswiderstand Rb ?

- a) 16V
- b) 31,25 V
- c) 20V
- d) 17,39 V



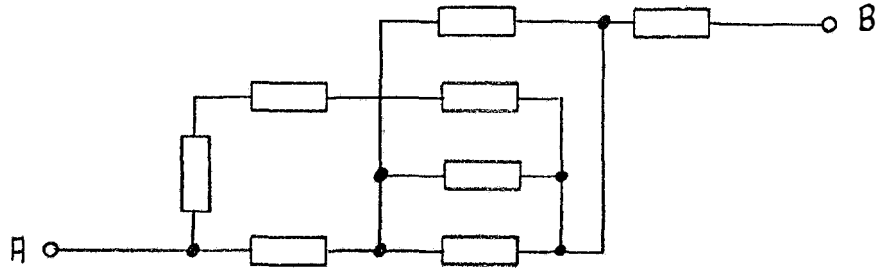
106) Wie gross ist diese Frequenz ?

- a) 300 MHz
- b) 600 MHz
- c) 200 MHz
- d) 75 MHz



107) Alle Widerstände haben 100Ω . Wie gross ist R_{A-B} ?

- a) 192Ω
- b) 250Ω
- c) 233Ω
- d) 133Ω

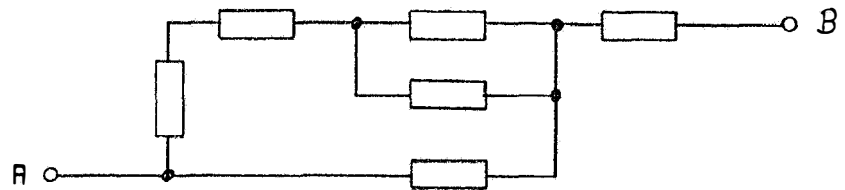


108) Wieviele Widerstände zu je 100Ω sind zur Bildung eines $33,3 \Omega$ Widerstandes nötig ?

- a) 5
- b) 7
- c) 8
- d) 3

109) Alle Widerstände haben 100Ω . Wie gross ist der Widerstand R_{A-B} ?

- a) $171,43 \Omega$
- b) $83,52 \Omega$
- c) $186,33 \Omega$
- d) $211,56 \Omega$

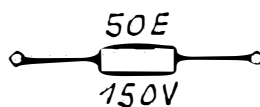


110) Eine Leuchtstoffröhre nimmt bei einer Spannung von 220 V einen Strom von 240 mA auf. Der Leistungsmesser zeigt 40 W . Wie gross ist der Leistungsfaktor ?

- a) 0,35
- b) 0,65
- c) 0,76
- d) 0,9

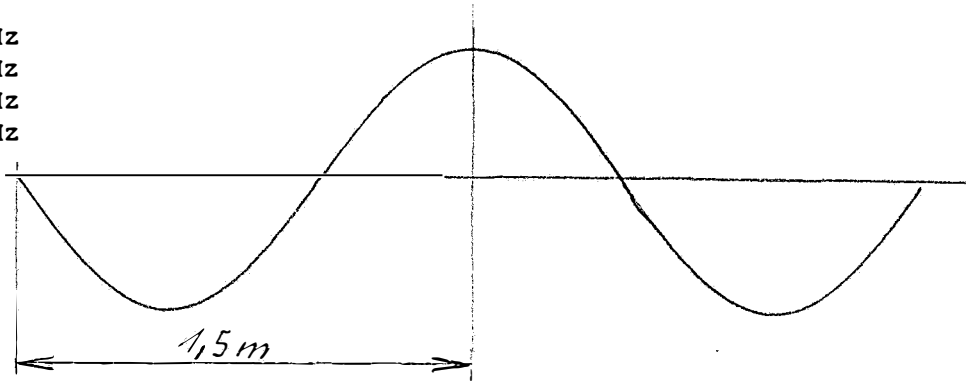
111) Wie gross ist die Leistung P ?

- a) 150 W
- b) 450 W
- c) 750 W
- d) 15 W



112) Wie gross ist die Frequenz ?

- a) 150 MHz
- b) 250 MHz
- c) 300 MHz
- d) 450 MHz



113) Welches der folgenden Materialien hat den kleinsten Leitwert ?

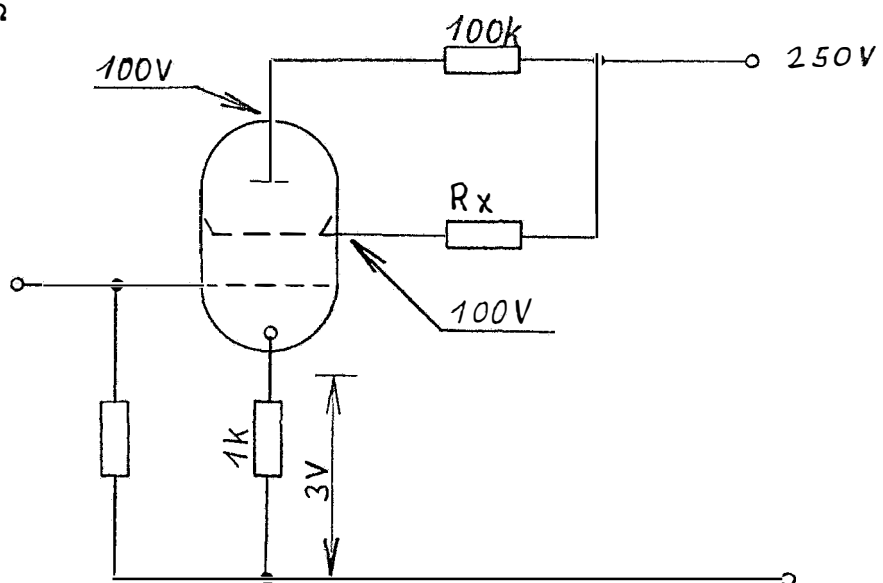
- a) Silber
- b) Kupfer
- c) Chromnickel
- d) Wolfram

114) Eine Signallampe hat folgende Daten: $9\text{ V} / 1\text{ W}$. Sie soll in einem Funkgerät, welches an 12 V angeschlossen ist eingesetzt werden. Wie gross muss der Vorwiderstand sein ?

- a) $27,0\ \Omega$
- b) $81,0\ \Omega$
- c) $30,0\ \Omega$
- d) $108\ \Omega$

115) Wie gross ist der Vorwiderstand R_X ? $I_a = I_{g_2}$

- a) $80\ \text{k}\Omega$
- b) $100\ \text{k}\Omega$
- c) $13\ \text{k}\Omega$
- d) $75\ \text{k}\Omega$



116) Mit was wird ein Bleiakku nachgefüllt, wenn sich der Flüssigkeitsstand gesenkt hat ?

- a) Schwefelsäure 12%
- b) Elektrolytflüssigkeit
- c) Destilliertes Wasser
- d) Strengstens verboten

117) Ein Transformator hat ein Windungsverhältniss Primär/Sekundär von 1/15. Primär steht eine Impedanz von 1 k Ω . Wie gross ist die Sekundärimpedanz ?

- a) 10 k Ω
- b) 15 k Ω
- c) 100 k Ω
- d) 225 k Ω

118) Eine 4,5V-Taschenlampenbatterie hat je Zelle einen inneren Widerstand von 0,5 Ω . Welche Spannung wird an den Batterieklemmen gemessen, wenn ein Relais mit 22,5 Ω Wicklungswiderstand angeschlossen wird ?

- a) 4,2 V
- b) 4,22 V
- c) 4,5 V
- d) 0,3 V

119) Wie lautet die Schwingkreisformel

- a) $\frac{U \cdot t}{F}$
- b) $\frac{1}{\omega \cdot L \cdot C}$
- c) $D \cdot s \cdot R_i = 1$
- d) $\omega^2 \cdot L \cdot C = 1$

120) In einem Wechselstromnetz wird eine Spannung von 220 V gemessen. Um welchen Wert handelt es sich ?

- a) Momentanwert
- b) Spitzenwert
- c) Effektivwert
- d) Spitzen-Spitzenwert

121) Ein Schwingkreis mit 25pF hat Resonanz bei 30 MHz.
Wie gross wird C bei 17,32 MHz?

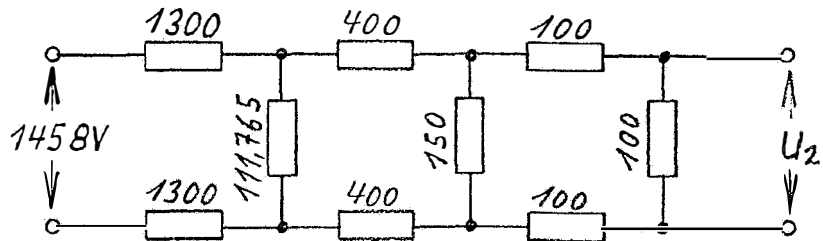
- a) 33 pF
- b) 75 pF
- c) 8,33 pF
- d) 208,3 pF

122) Eine Radiostation sendet auf einer Frequenz von 89,6 MHz
Wie gross ist die Wellenlänge ?

- a) 3,348m
- b) 0299m
- c) 3348m
- d) 2,99m

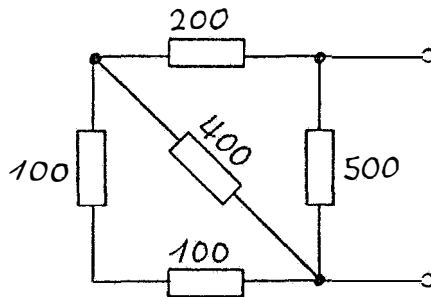
123) Wie gross ist die Spannung U_2 ?

- a) 2V
- b) 16V
- c) 18V
- d) 29V



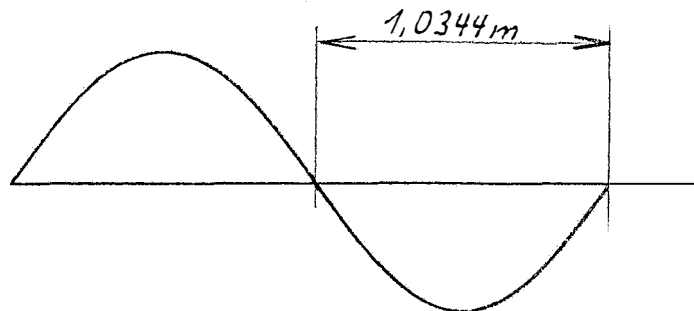
124) Wie hoch ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung ?

- a) 133,33 Ω
- b) 307,69 Ω
- c) 200 Ω
- d) 209 Ω



125) Wie gross ist die Frequenz ?

- a) 320 MHz
- b) 180 MHz
- c) 145 MHz
- d) 470 MHz



126) Ein Sender mit einer Effektivleistung von 400 Watt nimmt eine Eingangsleistung von 1,2 kWatt auf. Wie gross ist sein Wirkungsgrad ?

- a) 33%
- b) 40%
- c) 67%
- d) 75%

127) Welche Anzahl Widerstände a 100Ω sind nötig zur Bildung von 120Ω ?

- a) 4
- b) 5
- c) 6
- d) 7

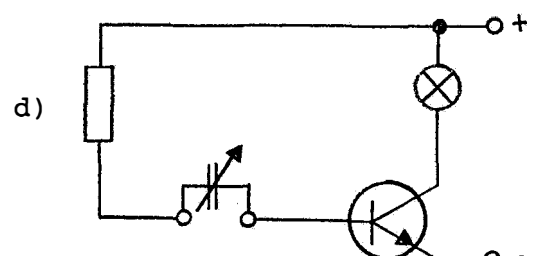
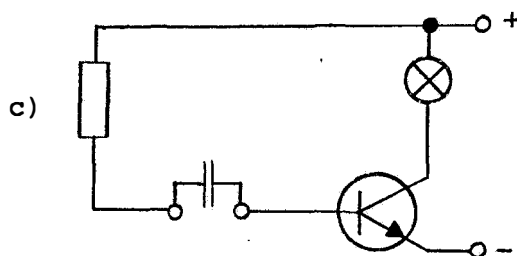
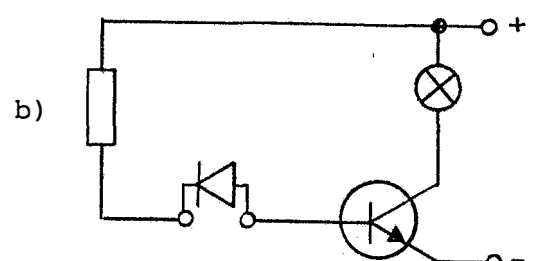
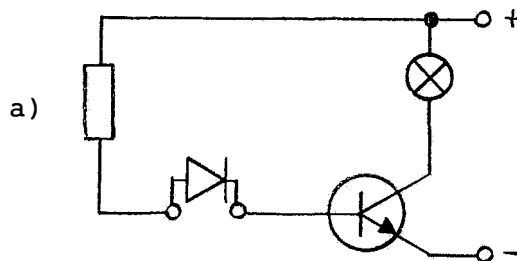
128) Folgende Ströme fließen in einen Stromknoten: $I_1 = 8A$; $I_2 = 3A$; $I_3 = -4A$; $I_4 = -2A$. Welcher Strom fließt im letzten Draht (I_5) ?

- a) 5A
- b) 10A
- c) -5A
- d) 0A

129) Ein Verstärker hat folgende Daten: $P_{input}=566W$; $n=43\%$. Wie gross ist die Ausgangsleistung P_a ?

- a) 534 W
- b) 243 W
- c) 168 W
- d) 50 W

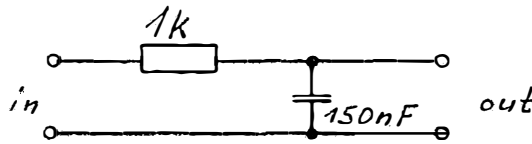
130) Wo brennt die Lampe?



- 131) Der Arbeitspunkt einer Triode EC 92 ist mit $U_g = 2,5$ Volt im linearen Teil der $I_a - U_g$ Kennlinie eingestellt. Um welche Betriebsart handelt es sich?
- a) C
 - b) A
 - c) AB
 - d) B
- 132) Ein Schwingkreis besteht aus einer Spule L von $4\mu\text{H}$ und einem Drehkondensator C , Variabel von $5 - 120$ pF. Von welcher bis welcher Wellenlänge lässt sich dieser Schwingkreis abstimmen?
- a) von $8,438$ bis $41,336$ m
 - b) von $7,257$ bis $35,554$ m
 - c) von $13,269$ bis $79,61$ m
 - d) von $5,530$ bis $132,72$ m
- 133) Welche Amplitudenbedingungen müssen bei der Schwingungserzeugung erfüllt sein?
- a) die Verstärkung darf nicht mehr als 5 sein
 - b) die Verstärkung muss mindestens 1 sein
 - c) die Verstärkung kann beliebig sein
- 134) An einem Sonntag-Mittag im Juli um 12 Uhr Schweizer Zeit sollten Sie von Zürich aus mit einem Amateurfunkfreund in Genf ein QSO abwickeln. Welches der folgenden Bänder wählen Sie?
- a) 80 m
 - b) 40 m
 - c) 10 m
 - d) 15 m
- 135) Ein Schwingkreis mit einer Güte Q von 120 ist auf 14 MHz in Resonanz. Wie gross ist die Bandbreite b ?
- a) $1,680$ kHz
 - b) $116,66$ kHz
 - c) $8,571$ kHz
 - d) $91,287$ Hz
- 136) Sie schliessen einen ohmschen Widerstand von $300\ \Omega$ parallel zu einer Spule von 2 H. Das ganze hängen Sie an unser Wechselstromnetz. Welcher Strom fliesst?
- a) 780 mA
 - b) $1,08$ A
 - c) 237 mA
 - d) 13836 A

137) Berechnen Sie die Grenzfrequenz dieser Schaltung:

- a) 150 Hz
- b) 1061 Hz
- c) 6,666 kHz
- d) 942 Hz

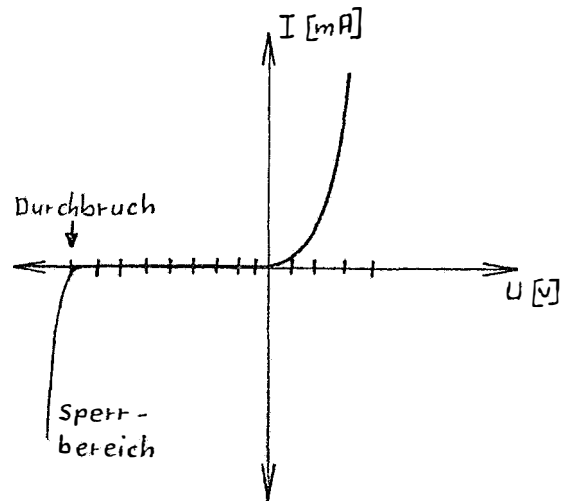


138) Ein Transistor hat einen Stromverstärkungsfaktor von 0.98. Der Basisstrom beträgt 50 μA . Wie gross ist der Kollektorstrom?

- a) 2,45 mA
- b) 49 μA
- c) 51 μA
- d) 4,9 mA

139) Was ist das für eine Kennlinie?

- a) Kennlinie einer Triode
- b) Kennlinie einer Zener-Diode
- c) Kennlinie eines Thyristors
- d) Lade/Entlade-Kennlinie eines Elektrolytkondensators



140) Welche Resonanzfrequenz hat ein Schwingkreis mit einem C von 27pF und einem L von 2,2 μH ?

- a) 370,5 kHz
- b) 267 kHz
- c) 20,65 MHz
- d) 2,67 MHz

141) Was stellt diese Schaltung dar?

- a) einen Saugkreis
- b) ein Hochpassfilter
- c) ein Tiefpassfilter
- d) einen Oszillator



142) Welche Röhrendaten werden für die Barkhausen-Formel verwendet?

- a) die dynamischen
- b) die statischen
- c) die Katalogdaten

143) Welche Phasenbedingungen müssen zur Schwingungserzeugung erfüllt sein?

- a) Eingang und Ausgang müssen 180 Grad phasenverschoben sein
- b) die Rückführung muss phasengleich auf den Eingang erfolgen
- c) die Phasenlage spielt hier eine geringe Rolle

144) Sie hören eine Ueberseestation auf dem 10m Band im QSO mit einer Station die nur ca. 400 Km von Ihnen entfernt ist. Die Ueberseestation können Sie mit 599 aufnehmen, die Nachbarstation können Sie aber gar nicht aufnehmen. Sie schliessen daraus:

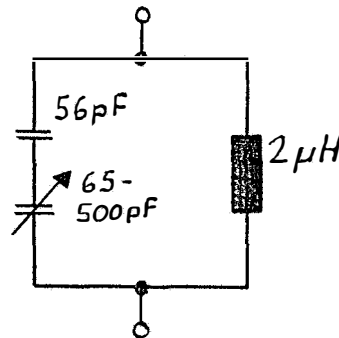
- a) dass die Nachbarstation mit einer viel kleineren Leistung arbeitet als die Ueberseestation
- b) dass die Ausbreitungsbedingungen auf 10 m sehr schlecht sind
- c) dass der Abstrahlwinkel Ihrer Nachbarstation sehr steil ist
- d) dass Sie in der Reflexionsabschattung Ihrer Nachbarstation liegen

145) Ist der Piezoelektrische Effekt in der Sendetechnik anwendbar?

- a) Ja, aber nur bei Kristallmikrofonen
- b) Ja, bei Quarzoszillatoren
- c) Ja, aber nur in der SSB - Technik

146) Welchen Bereich überstreicht dieser Schwingkreis?

- a) 2,049 - 2,478 MHz
- b) 15,9 - 20,5 MHz
- c) 20,498 - 24,780 MHz
- d) 14,635 - 18,935 MHz

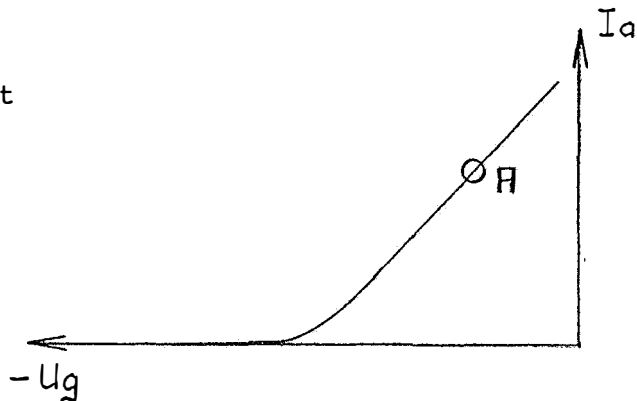


147) Der Formfaktor eines Filters ist ein Qualitätsmerkmal des Filters und wird definiert als:

- a) die Dämpfung bei der kleinsten Bandbreite des Filters
- b) die Bandbreite bei 60 dB Dämpfung
- c) die Bandbreite bei 6 dB Dämpfung
- d) der Quotient aus der Bandbreite bei 60 dB und 6 dB Dämpfung

148) Bei dieser Röhren-Kennlinie befindet sich der eingezeichnete Arbeitspunkt A im

- a) C-Betrieb
- b) B-Betrieb
- c) A-Betrieb
- d) nicht definiert



149) Was ist der Ruhestrom einer Triode? (Klasse A)

- a) es fließt kein Strom, die Röhre ruht
- b) der Strom I_a im Arbeitspunkt
- c) der Strom I_a im Zeitpunkt der grössten negativen $-U_g$ Aussteuerung

150) Sie messen in einer Transistorschaltung eine Basis-Emitter-Spannung von 120 mV. Ist der Transistor leitend oder gesperrt?

- a) leitend
- b) leitend, sofern die Grenzfrequenz nicht überschritten wird
- c) leitend, wenn richtig gepolt
- d) gesperrt

151) Ein Kondensator hat eine Kapazität von 330 pF, wenn Luft als Dielektrikum verwendet wird. Wie gross ist seine Kapazität, wenn statt Luft ein Dielektrikum mit einer dielektrizitätskonstanten von $\epsilon = 12$ Verwendung findet?

- a) 27,5 pF
- b) 342 pF
- c) auch 330 pF
- d) 3960 pF

152) Eine Mehrband-KW-Window-Antenne hat einen Balun mit einem Uebertragungsverhältnis von 60 : 360 Ohm. Primär befinden sich 5 Windungen auf dem Ringkern. Wieviele Windungen sind auf der Sekundärseite?

- a) 30 Windungen
- b) 180 Wdg
- c) 12 Wdg
- d) 5 Wdg

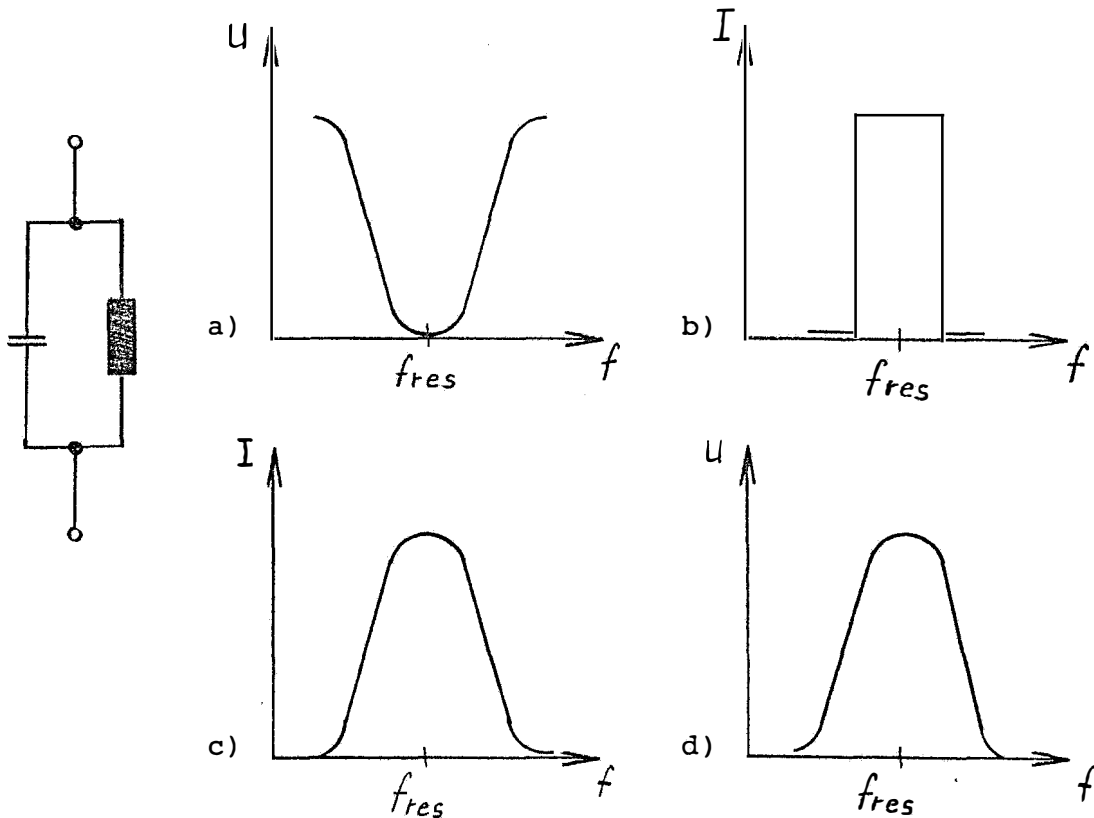
153) Wann ist die Schwingung bei einem Oszillator gedämpft?

- a) wir dämpfen den Schwingkreis mit einem $10\text{ k}\Omega$ Widerstand
- b) wenn die Verstärkung kleiner als 1 ist
- c) wenn die Phasenlage der Rückführung 360 Grad beträgt

154) Berechnen Sie die Zeitkonstante eines RC-Gliedes mit einem Widerstand von $10\text{ k}\Omega$ und einem Kondensator von $50\text{ }\mu\text{F}$

- a) $0,5\text{ ms}$
- b) 500 ms
- c) $32,4\text{ ms}$
- d) 20 sec.

155) Welches Bild gehört zu diesem Schwingkreis?

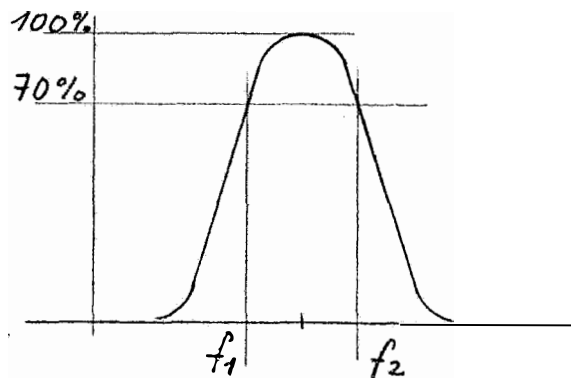


156) Eine Triode hat eine Steilheit von $6,7\text{ mA/V}$. Der Verst.-faktor μ beträgt 70 . Wie gross ist der Innenwiderstand R_i ?

- a) $469\text{ k}\Omega$
- b) $10,4\text{ k}\Omega$
- c) $10,4\text{ M}\Omega$
- d) $0.0951\text{ k}\Omega$

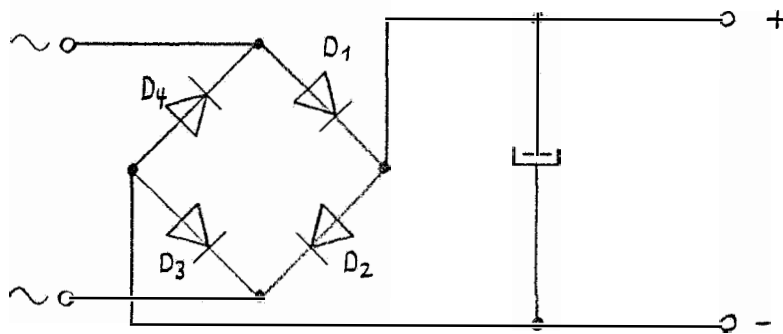
157) Wie gross ist die Güte dieses Serie-Schwingkreises?
 Wenn: $f_1 = 467 \text{ kHz}$, $f_2 = 473 \text{ kHz}$

- a) 78,3
- b) 99
- c) 100.6
- d) 50



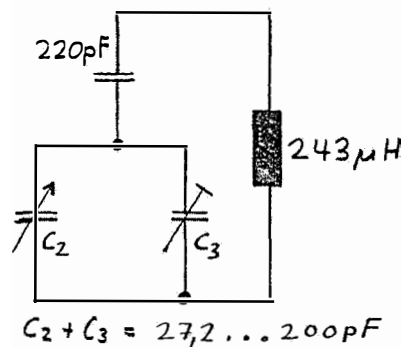
158) Diese Schaltung stellt einen Brückengleichrichter (Graetz) dar.
 Welches Element verhindert sein richtiges funktionieren?

- a) D1
- b) D2
- c) D3
- d) D4



159) Welchen Umfang kann die Resonanzfrequenz dieses Kreises betragen?

- a) 520 1600 kHz
- b) 997 2977 kHz
- c) 530 2077 kHz
- d) 997 2077 kHz

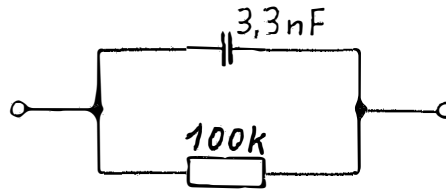


160) Ein Uebertrager mit einem Uebersetzungsverhältnis von 32:1 ist
 sekundärseitig mit 5Ω angepasst belastet. Wie gross ist der
 Primärwiderstand?

- a) 5120Ω
- b) 160Ω
- c) 2560Ω
- d) 1600Ω

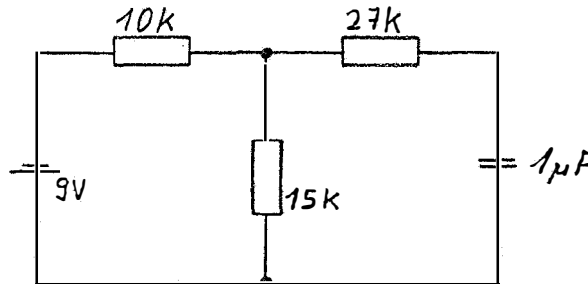
161) Wie gross ist die Grenzfrequenz des folgenden RC-Gliedes?

- a) 483 kHz
- b) 483 Hz
- c) 966 kHz
- d) 966 Hz



162) Auf welche Spannung lädt sich der Kondensator C auf?

- a) 3,6 V
- b) 5,4 V
- c) 6,6 V
- d) 2,4 V

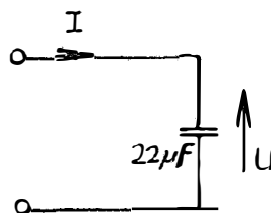


163) Wieso wird ein Netztrafo nicht mit einem massiven Eisenkern, sondern mit einem Blechpaket als Kern aufgebaut?

- a) um die Wirbelstromverluste kleiner zu halten
- b) um die Sättigung des Trafokerns nicht zu überschreiten
- c) damit auf der Sekundärseite eine sinusförmige Spannung erscheint
- d) damit die Trafowicklung besser gewickelt werden kann

164) Ein Kondensator ist auf 20 V aufgeladen. Nun fliesst während 3 sec ein Strom I von 220 µA. Wie gross ist die Spannung U jetzt?

- a) 0 V
- b) 10 V
- c) -30 V
- d) -10 V



165) HB9Z kann HB9Y und HB9W mit der gleichen Feldstärke hören. HB9Y ist 100 km von HB9Z entfernt. HB9W hat eine um 6dB höhere ERP als HB9Y. Wie weit ist HB9W von HB9Z entfernt?

- a) 150 km
- b) 50 km
- c) 200 km
- d) 25 km

166) Zwei Amateure sind 100 km voneinander entfernt. Jeder hört den anderen mit einer Antennenspannung von $48\mu\text{V}$. Mit welcher Antennenspannung können sich die Amateure bei einer Entfernung von 150 km empfangen, wenn die Ausrüstung dieselbe ist?

- a) $24\mu\text{V}$
- b) $36\mu\text{V}$
- c) $33,9\mu\text{V}$
- d) $21,3\mu\text{V}$

167) Eine Spule mit $L = 23,6\text{ mH}$ soll bei sonst gleichen Abmessungen neu gewickelt werden, damit sie eine Induktivität von 30 mH hat. Wieviel Prozent Windungen mehr müssen vorgesehen werden?

- a) $12,7\%$
- b) $27,1\%$
- c) $8,3\%$
- d) 35%

168) Ein LötKolben mit den Kennwerten $110\text{ V} / 15\text{ W}$ soll mittels Vorkondensator, an das 220 V -Netz (50 Hz) angeschlossen werden. Welchen Wert muss der Kondensator haben, damit am LötKolben eine Spannung von 110 V anliegt?

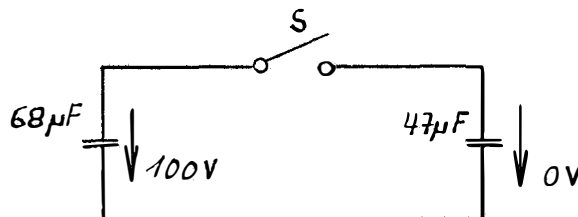
- a) $2,23\mu\text{F}$
- b) $3,95\mu\text{F}$
- c) $22,8\mu\text{F}$
- d) $3,95\text{ nF}$

169) Wieso wird bei Uebertragern im HF-Bereich ein Ferritkern und kein Eisenkern verwendet?

- a) der Ferritkern ist billiger und leichter
- b) der Eisenkern wäre zu schwer
- c) der Eisenkern geht schneller in die Sättigung
- d) der Ferritkern verursacht geringere Wirbelstrom-verluste

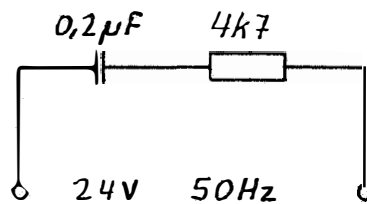
170) Welche Spannung liegt an jedem Kondensator nach dem schliessen des Schalters S?

- a) $59,1\text{ V}$
- b) 50 V
- c) 70 V
- d) $63,2\text{ V}$



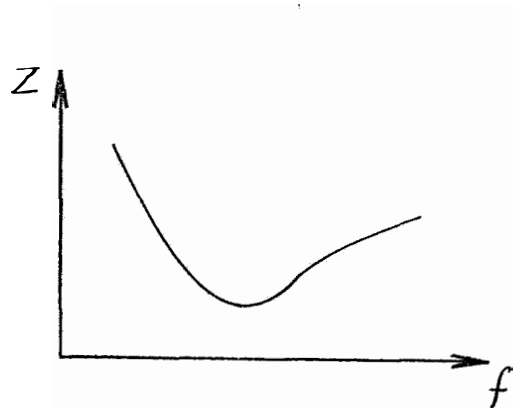
171) Welcher Strom fließt in der folgenden Schaltung?

- a) 5,1 mA
- b) 1,45 mA
- c) 1,51 mA
- d) 1,16 mA



172) Das Diagramm ist charakteristisch für

- a) ein RC-Glied
- b) einen Parallelschwingkreis
- c) einen Reihenschwingkreis
- d) einen Sperrkreis



173) An einer Verstärkerröhre liegt eine Schirmgitterspannung von 130 V. Es fließt ein Schirmgitterstrom von 3 mA. Die Betriebsspannung beträgt 250 V. Berechne den Schirmgitterwiderstand

- a) 43,333 kΩ
- b) 83,333 kΩ
- c) 126,66 kΩ
- d) 40kΩ

173) Welchen Temperaturbeiwert hat im allgemeinen eine Spule L?

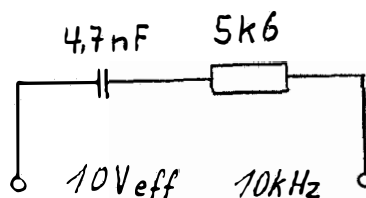
- a) einen neutralen Tk
- b) einen positiven Tk
- c) einen negativen Tk

174) Wie ist es möglich einen freischwingenden L-C Oszillator über einen Bereich von 30 Grad Celsius konstant zu halten?

- a) nur in einem temperaturstabilisierten Ofen (wie Quarzofen)
- b) indem der Kondensator einen gegenläufigen Tk zur Spule aufweist
- c) Spule und Kondensator sollen den gleichen Tk-Wert aufweisen

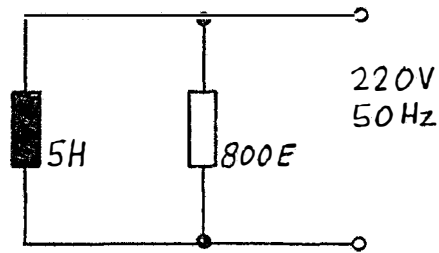
175) Welcher Strom fließt?

- a) 1.11 mA
- b) 2.95 mA
- c) 1.79 mA
- d) 1.53 mA



176) Wie gross ist die Impedanz Z

- a) 939,3 Ω
- b) 2370,8 Ω
- c) 712,9 Ω
- d) 1570,8 Ω



177) Ein Wirkwiderstand von 500 Ω liegt in Serie mit einer 0,8 H-Spule an einer Spannung von 220 V/50Hz.
Wie gross ist die Impedanz Z ?

- a) 251,33 Ω
- b) 27,41 Ω
- c) 559,61 Ω
- d) 313,16 Ω

178) Eine Lötpestole nimmt eine Leistung von 100 Watt auf, wovon 20 W im Transformator verloren gehen. In der Heizwicklung werden 0,8 Volt induziert. Der Widerstand der Wicklung ist praktisch 0 Ω .
Wie gross ist der Widerstand der Silberstahlspitze ?

- a) 8 Ω
- b) 10 Ω
- c) 1,0 m Ω
- d) 8 m Ω

179) Der Emitterstrom eines Transistors beträgt 100 mA.
Der Basisstrom 10 mA. Wie gross ist der Collectorstrom?

- a) 110 mA
- b) 90 mA
- c) 1000 mA

180) Ein Transformator hat einen Wirkungsgrad von 91 %.
Die Primärspannung beträgt 220 V, der Primärstrom 0,3 A.
Die Sekundärspannung beträgt 6,3 V.
Wie gross ist der Sekundärstrom?

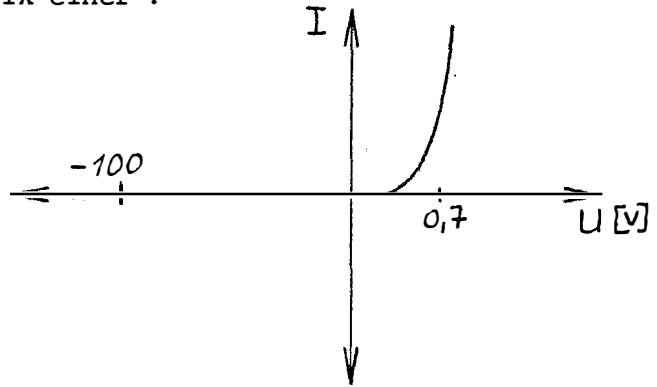
- a) 10,48 A
- b) 9,53 A
- c) 11,51 A
- d) 8,68 A

181) Die Kapazität eines Plattenkondensators wird grösser wenn man ?

- a) den Abstand der Platten vergrössert
- b) die Dielektrizitätskonstante verkleinert
- c) die Oberfläche der Platten vergrössert
- d) die Spannung erhöht

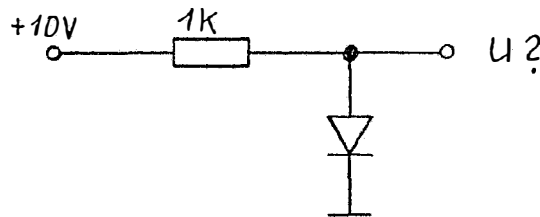
182) Das Bild zeigt die Charakteristik einer ?

- a) Tunnel diode
- b) Germaniumdiode
- c) Siliziumdiode
- d) Zenerdiode



183) Wie gross ist die Spannung U der Siliziumdiodenschaltung ?

- a) $+10,0$ V
- b) $- 0,3$ V
- c) $0,0$ V
- d) $+ 0.7$ V

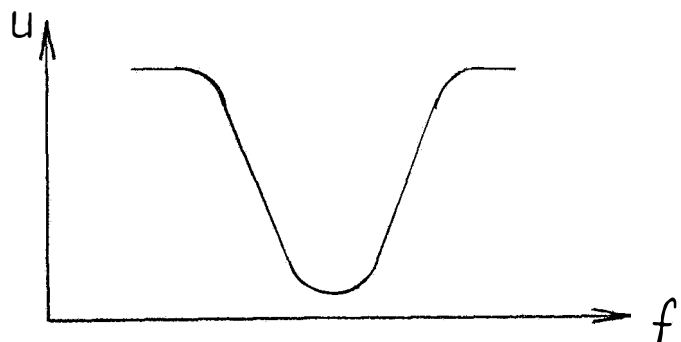
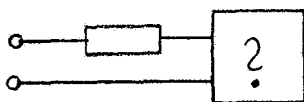


184) Wie gross ist der Strom in der Zuleitung zu einem idealen Parallelkreis im Resonanzfall ?

- a) 0
- b) negativ
- c) unendlich gross

185) Was enthält diese Black-Box?

- a) L
- b) C
- c) LC serie
- d) LC parallel



- 186) Eine Spule ($15 \mu\text{H}$), ein Kondensator (50 pF) und ein Widerstand ($3,5 \text{ Ohm}$) sind in Serie geschaltet. Berechne Q !
- a) 285
 - b) 274
 - c) 201.96
 - d) 156
- 187) Ein RC-Glied besteht aus $R = 150 \text{ k}\Omega$ und $C = 1.2 \text{ nF}$. Wie gross ist das tau?
- a) 1,8 s
 - b) 18.0 ms
 - c) 180.0 μs
 - d) 180.0 ms
- 188) Was versteht man unter der Dielektrizitätskonstante?
- a) Anzahl Elektronen pro cm^2
 - b) Verlustfaktor
 - c) Isolierfestigkeit bei HF-Kabeln
 - d) Materialeinfluss auf die Kapazität
- 189) Kann mit einem Kondensator eine AC-Spannung weitergeleitet werden?
- a) Nein
 - b) Ja
 - c) nur mit ELKO
 - d) nur ab 1000 Volt
- 190) In einem Serie-Schwingkreis wird die Windungszahl der Spule verdoppelt. Was geschieht mit der Resonanzfrequenz?
- a) sie verdoppelt sich
 - b) sie vervierfacht sich
 - c) sie halbiert sich
 - d) sie wird viermal kleiner
- 191) Ein Serienschwingkreis besteht aus $L = 50 \text{ mH}$, $C = 160 \text{ pF}$. Die Spule besitzt einen Gleichstromwiderstand von 8 Ohm . Wie gross ist das Z bei 56.27 kHz ?
- a) 0.00Ω
 - b) 4.00Ω
 - c) 6.66Ω
 - d) 8.00Ω

192) Wie kann die Sperrschichtkapazität vergrössert werden?

- a) vergrössern der Sperrspannung
- b) verkleinern der Sperrspannung
- c) durch zusammenpressen der Diode

193) Ein L von $3\mu\text{H}$ besitzt einen Gleichstromwiderstand von 5 Ohm.
Wie gross ist die Spulengüte bei $f_0 = 14\text{ MHz}$?

- a) 123
- b) 140
- c) 87
- d) 52

194) Welche Formel gilt für die Kapazität?

- a) $\frac{U \times t}{I}$ b) $\frac{I \times t}{U}$ c) $\frac{I \times U}{t}$ d) $\frac{t}{I \times U}$

195) Die Kondensatoren $C_1 = 560\text{ pF}$, $C_2 = 330\text{ nF}$ und $C_3 = 470\text{ pF}$ sind in Serie geschaltet.
Wie gross ist C Total ?

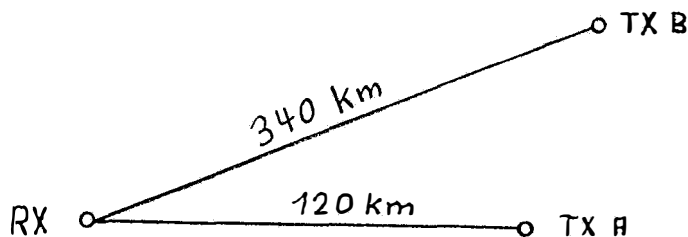
- a) 144.80 pF
- b) 207.50 pF
- c) 207.64 pF
- d) 255.00 pF

196) Ein Drehkondensator von 27-500 pF wird mit einem festen C so zusammenschaltet, dass der höchste Wert nur noch 200 pF erreicht.
Wie gross ist der tiefste, noch erreichbare Wert?

- a) 43,7 pF
- b) 25,0 pF
- c) 41.6 pF
- d) 39.0 pF

197) Wie stark muss TX B sein, wenn der RX beide mit $54\text{ }\mu\text{V}$ Feldstärke hört?

- a) 200 W
- b) 400 W
- c) 900 W
- d) 1.2 kW



198) Was geschieht in einer Emitterschaltung, wenn sich die Betriebsspannung vergrößert?

- a) der Kollektorstrom wird grösser
- b) der Kollektorstrom wird kleiner
- c) Kurzschluss
- d) kein Einfluss

199) Wie zeigt sich der Aurora-Effekt?

- a) Ueberreichweiten auf VHF
- b) Totaler Schwund auf allen Bändern
- c) starke Aufladung aller Metallteile
- d) Funklöcher im Uebersee-Funkverkehr

200) Wie gross ist bei einer Triode der Gitterstrom, wenn die Röhre optimal arbeitet und in einer Kathoden-Schaltung eingesetzt ist?

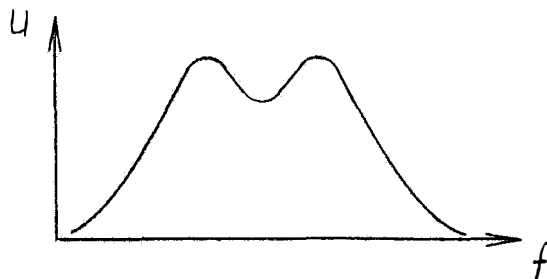
- a) 100 mA
- b) $I_G = I_A$
- c) nahezu 0 A
- d) - 100 mA

201) Was bedeutet die E s - Schicht?

- a) Dielektrikum bei Elektrolyt-Kondensatoren
- b) Sporadische E-Schicht
- c) Anschluss beim Transistor (Emitter)
- d) Beschichtung der Antenne gegen Skin-Effekt

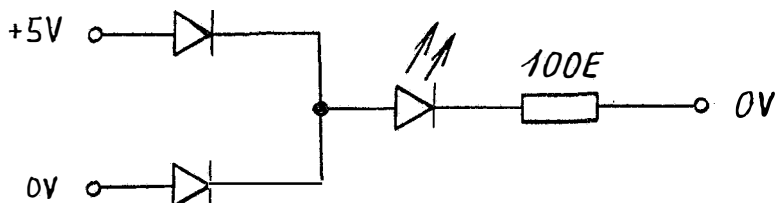
202) Das Diagramm zeigt eine induktive Kopplung. Ist sie

- a) überkritisch
- b) kritisch
- c) unterkritisch



203) Leuchtet die LED?

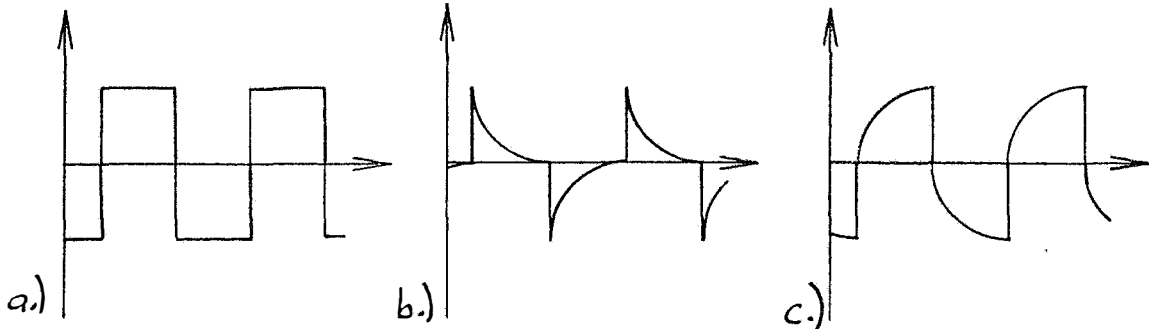
- a) Ja
- b) Nein



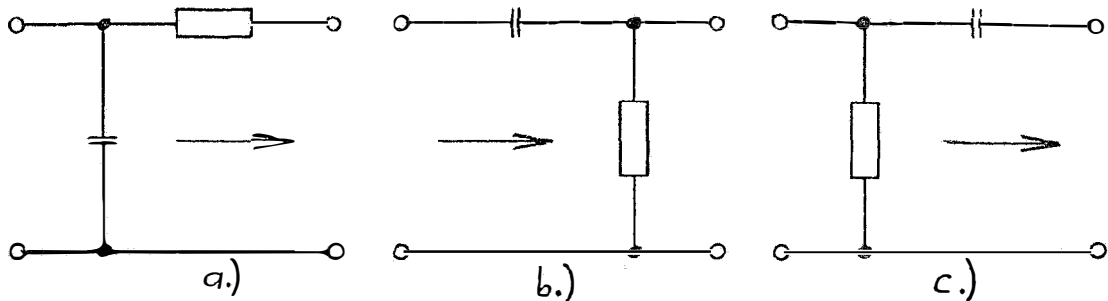
204) Wie kann ein quarzgesteuerter Schwingkreis in der Frequenz nach oben verändert werden?

- a) Parallel-Kondensator zu Quarz
- b) Serie-Kondensator zum Quarz
- c) durch Erwärmung des Quarz-Gehäuses
- d) eine Änderung ist unmöglich

205) Am Eingang eines RC-Tiefpasses liegt eine Rechteckspannung. Welches Bild entspricht der Ausgangsspannung?



206) Welches Bild zeigt einen RC-Hochpass?



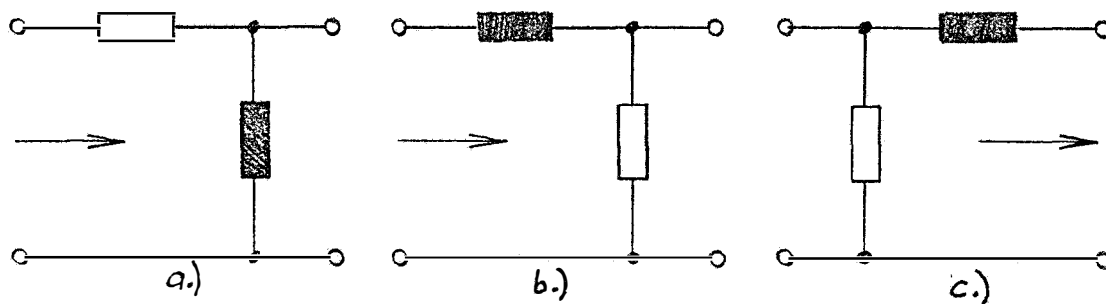
207) Welche Formel ist die richtige zur Berechnung der Grenzfrequenz eines RC-Gliedes?

a) $f_g = \frac{\sqrt{R \cdot C}}{2\pi}$

b) $f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$

c) $f_g = \frac{1}{2\pi \sqrt{R \cdot C}}$

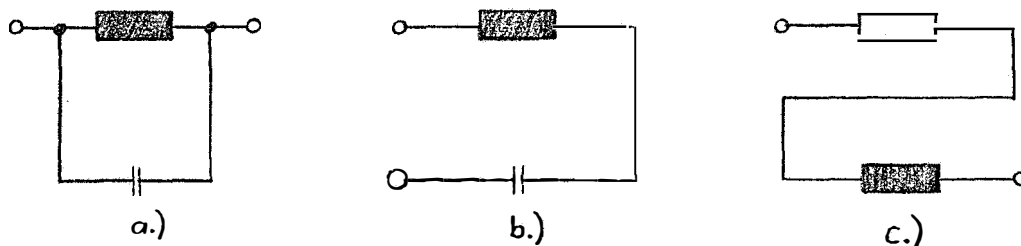
208) Wie sieht das Schema eines RL-Hochpasses aus?



209) Die Eingangsspannung eines RC-Hochpasses ist 1.4 V.
Wie gross ist die Ausgangsspannung bei der Grenzfrequenz?

- a) 2 V_{ss}
- b) 1 V
- c) 0.707 V

210) Welche der untenstehenden Schaltung stellt einen Serieschwingkreis dar?



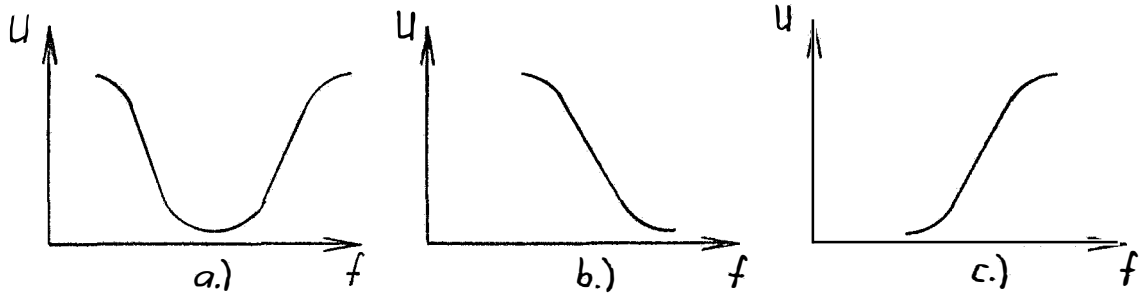
211) Wie lautet die Thomson'sche Schwingungsformel?

- a) $f_0 = \frac{\sqrt{L \cdot C}}{2 \pi}$
- b) $f_0 = \frac{1}{2 \pi \cdot L \cdot C}$
- c) $f_0 = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$

212) In einem Schwingkreis fliesst im R, C, L, der gleiche Strom.
Welcher Art Schwingkreis entspricht das?

- a) Parallel-Kreis
- b) Serie-Kreis
- c) Bandfilter

213) Welche Zeichnung zeigt die Durchlasskurve eines LR-Hochpasses?



214) Wie gross ist X_C in einem RC-Glied, wenn $R = 10 \text{ k}$ und die Grenzfrequenz 3.33 kHz betragen?

- a) $14 \text{ k}\Omega$
- b) $7.07 \text{ k}\Omega$
- c) $10 \text{ k}\Omega$

215) Wie gross ist die Phasenverschiebung zwischen U_e und U_a eines Tiefpasses bei f_g ?

- a) 45
- b) 90
- c) 60

216) Ein Schwingkreis ist in Resonanz. Welche Bedingung stimmt?

a) $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ b) $L C = \frac{1}{\omega}$ c) $C = \frac{1}{\omega L}$

217) Ein Serienschwingkreis schwingt auf der Resonanzfrequenz. Wie verhält er sich nach aussen?

- a) induktiv
- b) ohmisch
- c) kapazitiv

218) In einem Serienschwingkreis beträgt $U_R = 0.1 \text{ V}$. Die Güte Q ist 100. Welche Angabe stimmt für U_C oder U_L ?

- a) 100 V
- b) 10 V
- c) 7.07 V

219) Wo tritt Spannungsresonanz auf?

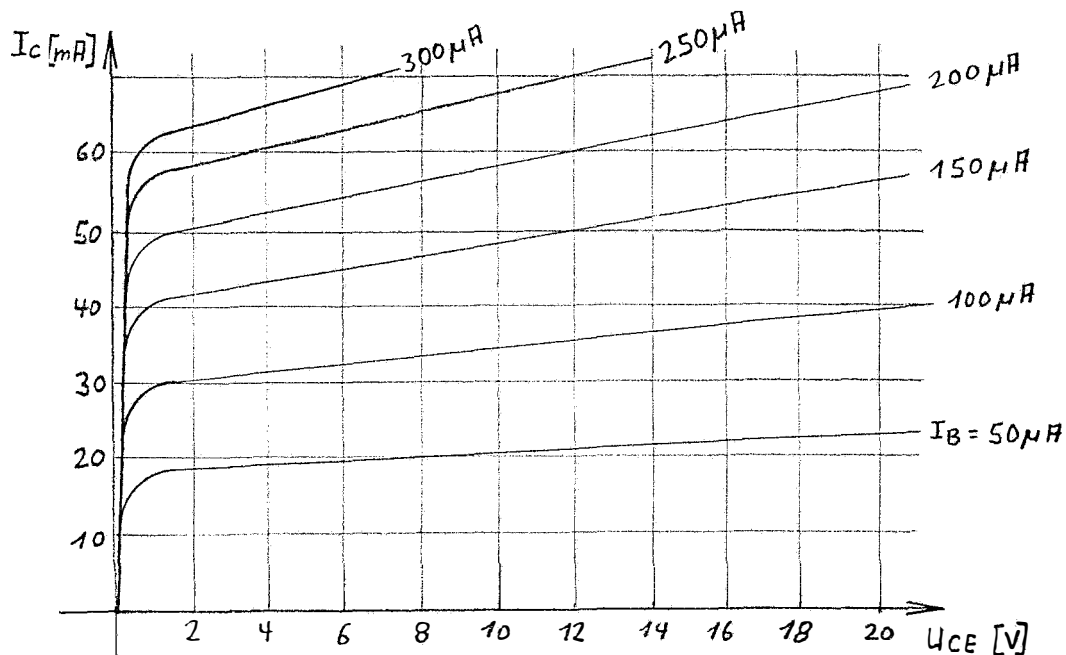
- a) Serie-Kreis
- b) RC-Tiefpass
- c) Parallelkreis

220) Wie gross ist die Bandbreite eines Serie-Kreises mit $f_0 = 10 \text{ MHz}$ und einem $Q = 100$?

- a) 1 MHz
- b) 100000 Hz
- c) 10 kHz

221) Welches Kennlinienfeld stellt diese Kennlinienschar dar?

- a) Eingangskennlinienfeld
- b) Ausgangskennlinienfeld
- c) Stromsteuerkennlinienfeld



221) Der Ermitterstrom eines Transistors beträgt 100 mA, der Basisstrom 10 mA. Wie gross ist der Collectorstrom?

- a) 110 mA
- b) 90 mA
- c) 1000 mA

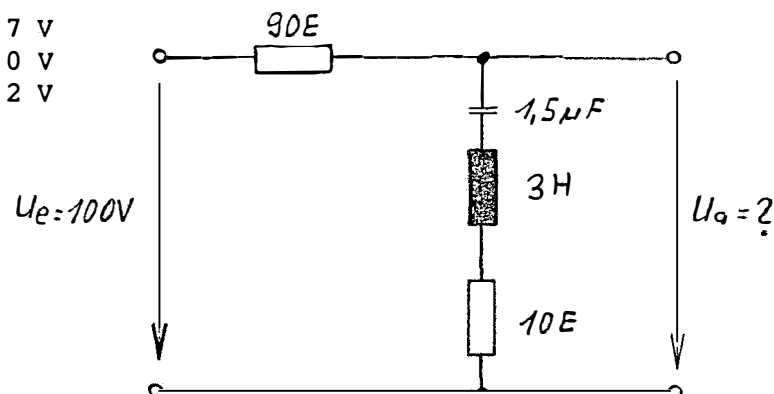
222) In welcher Richtung (Durchlass-oder Sperrichtung) wird die Basis-Emitterdiode bei leitenden Transistor betrieben?

- a) Sperrichtung
- b) Durchlassrichtung

- 223) Wenn bei einem Transistor ein Basistrom von $10 \mu\text{A}$ fließt ist der Collectorstrom $200 \mu\text{A}$. Wie gross ist β (Stromverstärkung)?
- 100
 - 20
 - 210
- 224) Wie verhält sich der Blindwiderstand eines Parallelkreises oberhalb f_0 ?
- ohmisch
 - kapazitiv
 - induktiv
- 225) In der Zuleitung zu einem Parallelkreis fließt ein Strom I von 10 mA . Wie gross wird der Kreisstrom wenn die Güte $Q = 200$ ist?
- 2 A
 - 0.02 A
 - 2.828 A
- 226) Wie gross ist der Resonanzwiderstand eines Seriekreises wenn $L = 10 \text{ mH}$ und $C = 1 \text{ nF}$ und R der Spule 5Ω beträgt?
- 5Ω
 - 25Ω
 - 10Ω
- 227) Die Resonanzspannung ($f_0 = 10 \text{ MHz}$) beträgt 10 V . Wie gross ist die Bandbreite b , wenn bei 9 MHz eine Spannung von 7.07 V gemessen wird?
- 200 kHz
 - 1 MHz
 - 2 MHz

- 228) Wie gross ist die Ausgangsspannung bei f_0 (Resonanz)?

- 70.7 V
- 10.0 V
- 28.2 V



230) Ein Parallel-Kreis mit einer Resonanzfrequenz von 10MHz hat ein $L = 2.53 \mu\text{H}$ und ein $C = 100\text{pf}$.
Wie gross wird f_0 wenn C 4x grösser gemacht wird?

- a) 20 MHz
- b) 5 MHz
- c) 1,414 MHz

231) In einem Parallel-Kreis ist $X_L = 10 \text{ k}\Omega$ bei f_0 .
Wie gross ist dann X_C ?

- a) 667Ω
- b) $100 \text{ k}\Omega$
- c) $0,01 \text{ M}\Omega$

232) Wie gross ist der Strom in der Zuleitung zu einem idealen Parallel-Kreis im Resonanzfall?

- a) 0
- b) negativ
- c) unendlich gross

Lösungen zu Testaufgaben

=====

- | | | | | |
|-------|---------|--------|--------|--------|
| 1) b | 51) c,e | 101) a | 151) d | 201) b |
| 2) d | 52) c | 102) a | 152) c | 202) a |
| 3) d | 53) b | 103) a | 153) b | 203) a |
| 4) b | 54) a | 104) b | 154) b | 204) b |
| 5) a | 55) a | 105) d | 155) d | 205) c |
| 6) c | 56) a | 106) d | 156) b | 206) b |
| 7) d | 57) c | 107) a | 157) a | 207) b |
| 8) b | 58) b | 108) d | 158) b | 208) a |
| 9) a | 59) b | 109) a | 159) d | 209) b |
| 10) b | 60) c | 110) c | 160) a | 210) b |
| 11) a | 61) c | 111) b | 161) b | 211) c |
| 12) a | 62) b | 112) a | 162) b | 212) b |
| 13) a | 63) c | 113) c | 163) a | 213) c |
| 14) d | 64) d | 114) a | 164) d | 214) c |
| 15) b | 65) a | 115) b | 165) c | 215) a |
| 16) b | 66) b | 116) c | 166) b | 216) a |
| 17) a | 67) b | 117) d | 167) a | 217) b |
| 18) c | 68) c | 118) b | 168) a | 218) b |
| 19) b | 69) b | 119) d | 169) d | 219) c |
| 20) b | 70) a | 120) c | 170) a | 220) b |
| 21) d | 71) d | 121) b | 171) b | 221) b |
| 22) b | 72) a | 122) a | 172) c | 222) b |
| 23) a | 73) c | 123) a | 173) d | 223) b |
| 24) c | 74) b | 124) c | 174) b | 224) c |
| 25) b | 75) d | 125) c | 175) d | 225) a |
| 26) a | 76) b | 126) a | 176) c | 226) a |
| 27) a | 77) a | 127) c | 177) c | 227) c |
| 28) a | 78) b | 128) c | 178) d | 228) b |
| 29) b | 79) b | 129) b | 179) a | 229) a |
| 30) a | 80) c | 130) a | 180) b | 230) b |
| 31) c | 81) a | 131) b | 181) c | 231) c |
| 32) c | 82) d | 132) a | 182) c | 232) a |
| 33) b | 83) a | 133) b | 183) d | |
| 34) c | 84) a | 134) b | 184) a | |
| 35) a | 85) b | 135) b | 185) c | |
| 36) a | 86) a | 136) b | 186) d | |
| 37) b | 87) d | 137) b | 187) c | |
| 38) b | 88) b | 138) b | 188) d | |
| 39) b | 89) d | 139) b | 189) b | |
| 40) d | 90) a | 140) c | 190) c | |
| 41) a | 91) c | 141) c | 191) d | |
| 42) b | 92) b | 142) b | 192) b | |
| 43) c | 93) b | 143) b | 193) d | |
| 44) b | 94) a | 144) d | 194) b | |
| 45) a | 95) b | 145) b | 195) d | |
| 46) c | 96) c | 146) b | 196) b | |
| 47) b | 97) c | 147) d | 197) b | |
| 48) a | 98) c | 148) c | 198) a | |
| 49) a | 99) c | 149) b | 199) a | |
| 50) a | 100) d | 150) d | 200) c | |