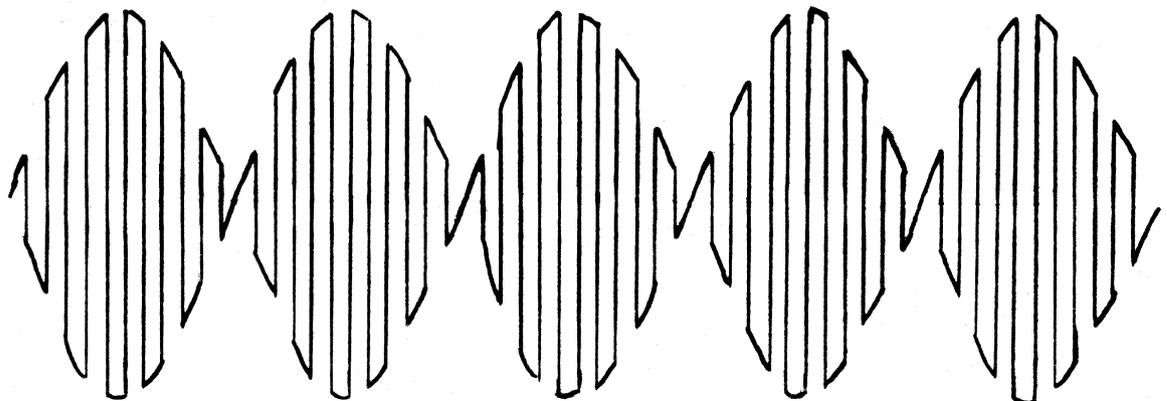
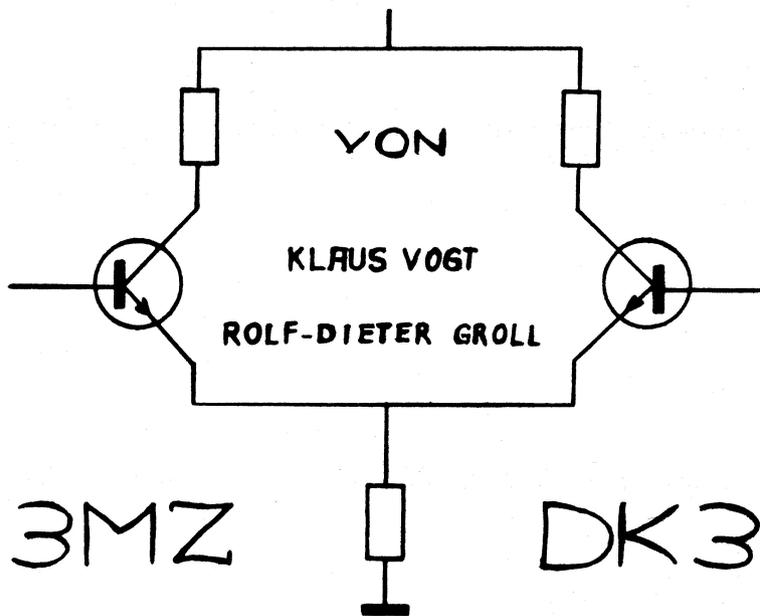


LEHRGANG TECHNIK

✦ FÜR FUNKAMATEURE ✦
2. AUFLAGE



Nachdruck nur mit Genehmigung der Verfasser

Vorwort zur 2. Auflage

Eine Amateurfunklizenz kann heute jeder erhalten, der durch Ablegen einer Prüfung die von der Bundespost geforderten Kenntnisse zum Errichten und Betreiben einer Funkstation nachweist. Anfängern bereitet der technische Teil der Amateurfunkprüfung meist die größten Schwierigkeiten. Um diese überwinden zu helfen, wurde der Lehrgang Technik 1972 geschrieben und im SWL - Kursus des OV Gelsenkirchen erstmals benutzt. Über 90% der Teilnehmer bestanden die nachfolgende Lizenzprüfung. Eine rege Nachfrage aus anderen Ortsverbänden führte dazu, daß schon ein Jahr später die erste Auflage vergriffen war. Unter Ausnutzung der gewonnenen Erfahrung wurde der Lehrgang noch einmal überarbeitet und auf den neusten Stand gebracht.

Der Lehrgang Technik beschränkt sich in seinem Stoff auf den zur Lizenzprüfung nötigen Umfang. Besonders eignet er sich für die Ausbildung in einem Kursus. Die Blätter sind einseitig bedruckt, so daß die Rückseite für persönliche Notizen zur Verfügung steht. Zusätzlich zum Lehrgang Technik empfehlen wir das Heft "Fragen und Antworten zur fachlichen Prüfung für Funkamateure", das vom DARC vertrieben wird. Nützlich sind außerdem die "Bestimmungen über den Amateurfunk", die man bei der jeweiligen Oberpostdirektion erhalten kann.

Wir hoffen, bei den SWLs ein wenig Verständnis für die Technik zu wecken und wünschen allen angehenden Funkamateuren viel Erfolg bei der Lizenzprüfung.

Gelsenkirchen, im Mai 1974

Klaus Vogt
D K 3 N B

Rolf - Dieter Groll
D K 3 M Z

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 Allgemeine Grundlagen
 - 1.1 Elektrizität allgemein
 - 1.2 Widerstand, Ohmsches Gesetz, Kirchhoff-Regeln
 - 1.3 Kondensator, Spule, Transformator
 - 1.4 Der Schwingkreis
 - 1.5 Die Elektronenröhre
 - 1.6 Die Halbleiterdiode
 - 1.7 Der bipolare Transistor
 - 1.8 Der Feldeffekttransistor

- 2 Gewinnung der Betriebsspannung
 - 2.1 Stromversorgung eines Röhrengerätes
 - 2.2 Stromversorgung eines Transistorgerätes

- 3 Betriebsarten

- 4 Der Empfänger
 - 4.1 Der Geradeausempfänger
 - 4.2 Der Superhetempfänger
 - 4.3 Mehrfachsuper und Konverter

- 5 Der Sender
 - 5.1 Aufbau und Funktion der Stufen
 - 5.2 Tastung und Modulation
 - 5.3 Der SSP - Sender

- 6 Die Antenne
 - 6.1 Allgemeine Begriffe
 - 6.2 Richtantennen
 - 6.3 Rundstrahlende Antennen
 - 6.4 Ausbreitung von Wellen

- 7 Standardmeßgeräte
 - 7.1 Strom-, Spannungs- und Widerstandsmessung
 - 7.2 Absorptionsfrequenzmesser, Grid-Dip-Meter

- 8 Beseitigung von Störungen

Elektrizität allgemein

Elektrischer Strom :

Der elektrische Strom (I) ist die Bewegung der kleinsten Atombauerteile, der Elektronen. Jedoch nicht alle Stoffe vermögen den elektrischen Strom zu leiten. Man unterscheidet Leiter und Nichtleiter (Isolatoren). Leiter enthalten frei bewegliche Ladungen, die den Stromfluß ermöglichen. Es gibt zwei Arten der elektrischen Ladung : positive und negative. Was man i. a. unter Stromfluß versteht, ist die Bewegung der Elektronen, die negativ geladen sind. Da sich gleichnamige Ladungen abstoßen (++, --) und ungleichnamige (+-) anziehen, fließen die Elektronen immer vom Minuspol zum Pluspol. In Unkenntnis dieser Tatsache hatte man jedoch früher auf einer internationalen Konferenz festgelegt, das die Stromrichtung von + nach - verläuft (technische Stromrichtung, mit der in allen theoretischen Betrachtungen gearbeitet wird).

Elektrische Spannung :

Eine zweite wichtige Größe ist die elektrische Spannung (U). Zwischen zwei Polen herrscht eine Spannung, wenn an einem Pol Elektronenmangel (Pluspol) und am anderen Pol Elektronenüberschuß (Minuspole) besteht. Verbindet man diese Pole, so gleichen sich die Ladungen aus, d. h. es fließt Strom. Die Spannung ist also die Ursache des Stromes.

Elektrische Leistung :

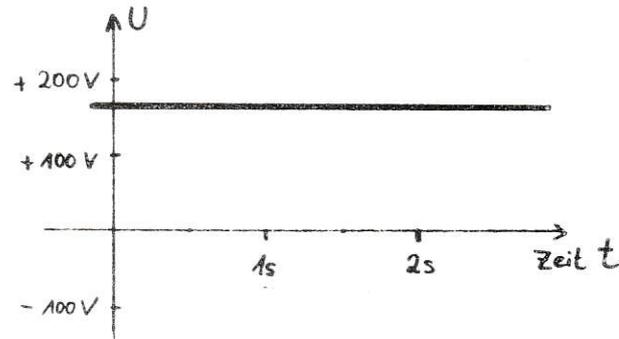
Legt man an eine Glühlampe eine Spannung U, so fließt durch sie ein Strom, die Lampe brennt. Erhöht man U, so steigt auch I an, und die Lampe brennt heller; sie leistet also mehr. Die elektrische Leistung P ist das Produkt aus U und I :

$$P = U \cdot I$$

Gleichstrom

Gleichspannung

Bei Gleichstrom bewegen sich die Elektronen immer in dieselbe Richtung mit i. a. gleicher Stärke. Gleichspannung hat an ihren Polen immer dieselbe Polarität.



Wechselstrom

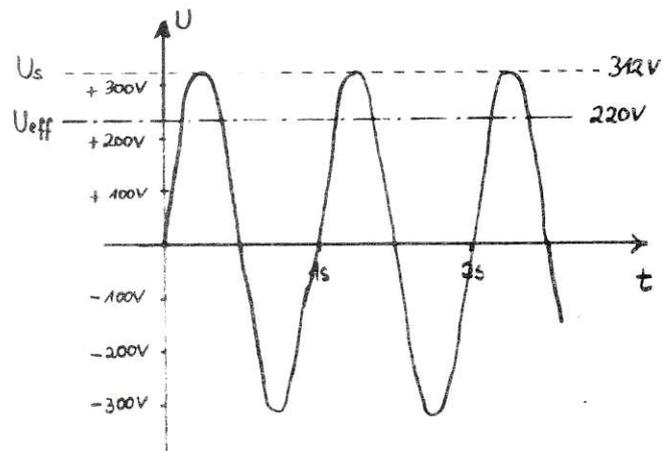
Wechselspannung

Bei Wechselstrom ändern die Elektronen stets Richtung und Stärke ihrer Bewegung. Die Polarität der Wechselspannungsquelle ändert sich dauernd.

Einer Wechselspannung, die dieselbe Wirkung (Effekt) erzielt wie eine entsprechende Gleichspannung U_{eff} ,

gibt man denselben Spannungswert U, die sogenannte Effektivspannung U_{eff} (analog Effektivstrom). Dieser Wert liegt niedriger als die tatsächliche Spitzenspannung :

$$U_s = \sqrt{2} \cdot U_{eff} = 1,414 \cdot U_{eff}$$



Allgemein angegebene U- und I-Werte sind in der Regel Effektivwert

Musteraufgaben (Ohmsches Gesetz, Kirchhoff - Regeln)

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{zu merken nach} \quad \begin{array}{c} \triangle \\ U \\ \hline R \cdot I \end{array} \quad (URI)$$

Die gesuchte Größe wird mit dem Finger abgedeckt; dann zeigen die beiden anderen die Formel.

1. R gesucht $U = 100V$ $I = 50A$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{100V}{50A} = \underline{\underline{2\Omega}}$$

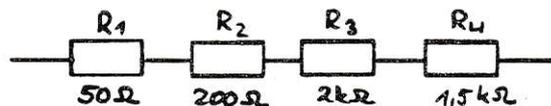
2. U gesucht $R = 15k\Omega$ $I = 5mA$

$$U = R \cdot I = 15000\Omega \cdot \frac{5}{1000}A = 15\Omega \cdot 5A = \underline{\underline{75V}}$$

3. I gesucht $U = 300mV$ $R = 150\Omega$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{0,3V}{150\Omega} = \frac{300V}{1000 \cdot 150\Omega} = \frac{2}{1000}A = \underline{\underline{2mA}}$$

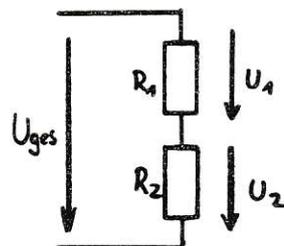
4. 4 Widerstände werden hintereinandergeschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand?



$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 50\Omega + 200\Omega + 2000\Omega + 1500\Omega$$

$$R_{ges} = 3750\Omega = \underline{\underline{3,75k\Omega}}$$

5. Bei 2 in Serie geschalteten Widerständen in einem Stromkreis mißt man an $R_1 = 50\Omega$ die Spannung $U_1 = 10V$ und an $R_2 = 200\Omega$ die Spannung $U_2 = 40V$. Wie groß ist die Gesamtspannung an beiden Widerständen?



$$U_{ges} = U_1 + U_2 = 10V + 40V$$

$$\underline{\underline{U_{ges} = 50V}}$$

6. U_1 sei nun $50V$, U_{ges} unbekannt. Wie groß ist U_2 ?

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

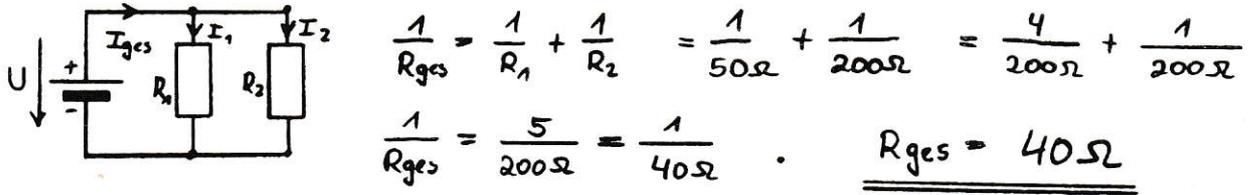
$$U_2 = \frac{U_1 \cdot R_2}{R_1}$$

$$U_2 = \frac{50V \cdot 200\Omega}{50\Omega}$$

$$\underline{\underline{U_2 = 200V}}$$

Musteraufgaben (Kirchhoff - Regeln, Leistung)

7. Zwei Widerstände $R_1 = 50 \Omega$ und $R_2 = 200 \Omega$ werden parallelgeschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand ?



2. Möglichkeit:

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50\Omega \cdot 200\Omega}{50\Omega + 200\Omega} = \frac{10\,000}{250} \Omega = \underline{\underline{40\Omega}}$$

8. Durch R_1 fließt ein Strom $I_1 = 10A$. Wie groß ist I_2 ?

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \cdot \quad I_2 = \frac{R_1 \cdot I_1}{R_2} = \frac{50\Omega \cdot 10A}{200\Omega} = \frac{500}{200} A = \underline{\underline{2,5A}}$$

9. Wie groß ist der Gesamtstrom I_{ges} ?

$$I_{ges} = I_1 + I_2 = 10A + 2,5A = \underline{\underline{12,5A}}$$

10. Eine 220V - Glühlampe hat die aufgedruckte Leistung 100W. Wie groß ist der Strom I, der durch die Lampe fließt ?

$$P = U \cdot I \quad \cdot \quad I = \frac{P}{U} = \frac{100W}{220V} = \underline{\underline{0,45A}}$$

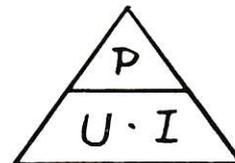
11. Ein 10Ω - Widerstand wird von einem Strom von 2A durchflossen. Wie stark muß er belastbar sein ?

$$\left. \begin{array}{l} P = U \cdot I \\ \downarrow \\ U = R \cdot I \end{array} \right\} P = R \cdot I \cdot I = 10\Omega \cdot 4 A^2 = \underline{\underline{40W}}$$

12. An einem 100Ω - Widerstand liegen 20V. Wieviel Leistung wird an ihm verbraucht ?

$$\left. \begin{array}{l} P = U \cdot I \\ \downarrow \\ I = \frac{U}{R} \end{array} \right\} P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} = \frac{400V^2}{100\Omega} = \underline{\underline{4W}}$$

$P = U \cdot I$ zu merken nach



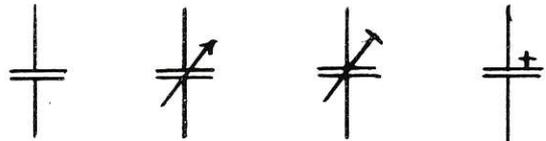
Der Kondensator , die Spule , der Transformator

Der Kondensator besteht aus zwei sich gegenüberstehenden Metallplatten, die voneinander isoliert sind. Bei Anlegen von Gleichspannung lädt sich der Kondensator auf. Es fließt ein kurzzeitiger Ladestrom. Dann hat der Kondensator einen unendlich hohen Widerstand. Er sperrt Gleichstrom. Bei Wechselstrom laden sich die Platten wechselweise auf. Es fließt scheinbar ein Strom durch ihn. Der Kondensator läßt Wechselstrom passieren. Sein Widerstand beträgt dann :

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

(f = Frequenz in Hz, C = Kapazität in Farad)
 X_c wird geringer bei wachsender Frequenz f und Kapazität C .

- 1 Farad = 1000 mF
- 1 mF = 1000 μ F
- 1 μ F = 1000 nF
- 1 nF = 1000 pF



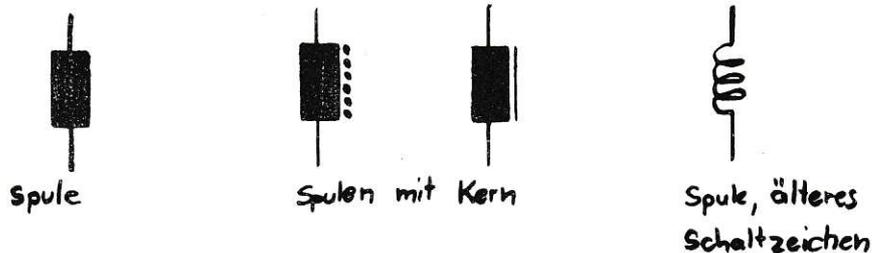
Drehko Trimmer Elko

Schickt man durch eine Spule einen Strom, so baut sich in ihr und um sie ein Magnetfeld auf. Gleichstrom läßt eine Spule ungehindert passieren. Für Wechselstrom stellt die Spule durch dauernde Umpolung des Magnetfeldes jedoch einen Widerstand dar. Er wächst mit der Frequenz des Wechselstromes und mit der Windungszahl der Spule.

$$X_L = 2\pi f L$$

(L = Induktivität in Henry H)

- 1 H = 1000 mH
- 1mH = 1000 μ H



Ein Trafo besteht aus zwei gekoppelten Spulen.



Legt man an die Primärspule eine Spannung, so bildet sich ein Magnetfeld. Jede Änderung des Magnetfeldes erzeugt in der Sekundärspule eine Spannung. (Daher betreibt man einen Trafo mit Wechselspannung.). Die Sekundärspannung U_2 hängt ab von den Windungszahlen W_1 und W_2 und der Primärspannung U_1 . Die Spannungen verhalten sich wie die Windungszahlen.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

umgestellt: $W_2 = W_1 \cdot \frac{U_2}{U_1}$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{W_2}{W_1}$$

Die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Windungszahlen.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

umgestellt: $W_2 = W_1 \cdot \frac{I_2}{I_1}$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{W_1}{W_2}$$

Zur Anpassung lassen sich auch Widerstände transformieren. Diese verhalten sich wie die Quadrate der Windungszahlen.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{W_1 \cdot W_1}{W_2 \cdot W_2} = \frac{W_1^2}{W_2^2}$$

Musteraufgaben (Spule)

1. Eine Drosselspule mit der Induktivität $L = 10\text{H}$ wird von einem Wechselstrom mit der Frequenz $f = 50\text{Hz}$ durchflossen. Wie groß ist ihr Widerstand X_L ?

Formel: $X_L = 2\pi fL$ Die Werte für f und L werden eingesetzt.

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot 10\text{H} \\ &= 1000\pi \Omega \quad \text{mit } \pi \approx 3,14 \approx 3 \\ &= 1000 \cdot 3 \Omega \\ &= 3000 \Omega \end{aligned}$$

$$X_L = 3\text{k}\Omega$$

2. Gegeben $X_L = 80\text{k}\Omega$; $f = 4\text{MHz}$. Wie groß ist die Induktivität L ?

$X_L = 2\pi fL$, Formel umformen:

$$\frac{X_L}{2\pi f} = \frac{2\pi fL}{2\pi f}$$

$$\frac{X_L}{2\pi f} = L$$

Werte einsetzen:

$$\begin{aligned} L &= \frac{80\text{k}\Omega}{2\pi \cdot 4\text{MHz}} \\ &= \frac{80000\Omega}{2\pi \cdot 4000000\text{Hz}} \\ &= \frac{80}{8000 \cdot \pi} \text{H} \\ \underline{L} &= \underline{\underline{\frac{1}{300} \text{H}}} \end{aligned}$$

3. Gegeben $X_L = 60\text{k}\Omega$; $L = 10\text{mH}$; Gesucht: f .

$X_L = 2\pi fL$, Formel umformen:

$$f = \frac{X_L}{2\pi L}$$

Werte einsetzen:

$$\begin{aligned} f &= \frac{60\text{k}\Omega}{2\pi \cdot 10\text{mH}} \\ &= \frac{60000\Omega}{2\pi \cdot \frac{10}{1000}\text{H}} \\ &= \frac{60000 \cdot 1000}{2\pi \cdot 10} \text{Hz} \\ &= \frac{60000 \cdot 1000}{6 \cdot 10} \text{Hz} \\ &= 1000000 \text{Hz} \end{aligned}$$

$$\underline{f} = \underline{\underline{1\text{MHz}}}$$

Musteraufgaben (Kondensator)

1. Gegeben : Kapazität $C = 0,1 \text{ F}$
 Frequenz $f = 10 \text{ Hz}$

Gesucht : Widerstand des Kondensators X_c

$$\text{Formel : } X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\text{Werte einsetzen: } X_c = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \text{ Hz} \cdot 0,1 \text{ F}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot 1} \Omega$$

$$\underline{\underline{X_c = \frac{1}{6} \Omega}}$$

2. Gegeben : Widerstand des Kondensators $X_c = 10 \text{ k}\Omega$
 Frequenz $f = 100 \text{ kHz}$

Gesucht : Kapazität C

$$\text{Formel : } X_c = \frac{1}{2\pi f C} ; \text{ Formel umformen: } \frac{C \cdot X_c}{X_c} = \frac{C}{2\pi f C X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$\text{Werte einsetzen: } C = \frac{1}{2\pi \cdot 100\,000 \text{ Hz} \cdot 10\,000 \Omega}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{1\,000\,000\,000} \text{ F}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \text{ nF}$$

$$\underline{\underline{C \approx \frac{1}{6} \text{ nF}}}$$

3. Gegeben : Widerstand des Kondensators $X_c = 1 \text{ k}\Omega$
 Kapazität $C = 10 \mu\text{F}$

Gesucht : Frequenz f

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{Formel umformen: } \frac{f \cdot X_c}{X_c} = \frac{f}{2\pi f C \cdot X_c}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot X_c}$$

$$\text{Werte einsetzen: } f = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{10}{1\,000\,000} \cdot 1000} \text{ Hz}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot \frac{1}{100}} \text{ Hz}$$

$$= \frac{100}{2\pi} \text{ Hz}$$

$$\underline{\underline{f = 16 \text{ Hz}}}$$

Musteraufgaben (Trafo)

1. Gegeben : Primärwindungszahl $W_1 = 160 \text{ Wdg}$
 Sekundärwindungszahl $W_2 = 240 \text{ Wdg}$
 Primärspannung $U_1 = 80 \text{ V}$
 Gesucht : Sekundärspannung $U_2 = ?$

Formel : $\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$ umgeformt $U_2 = \frac{W_2 \cdot U_1}{W_1}$

Werte einsetzen : $U_2 = \frac{240 \text{ Wdg} \cdot 80 \text{ V}}{160 \text{ Wdg}}$

$U_2 = 120 \text{ V}$

2. Gegeben : $I_1 = 10 \text{ A}$ $I_2 = 33 \text{ A}$ $W_1 = 11 \text{ Wdg}$
 Gesucht : Sekundärwindungszahl W_2

Formel : $\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$ umgeformt $W_2 = \frac{I_1 \cdot W_1}{I_2}$

Werte einsetzen : $W_2 = \frac{10 \text{ A} \cdot 11 \text{ Wdg}}{33 \text{ A}}$

$= \frac{10}{3} \text{ Wdg}$

$W_2 = 3 \frac{1}{3} \text{ Wdg}$

3. Gegeben : $W_1 = 5 \text{ Wdg}$ $W_2 = 10 \text{ Wdg}$ $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$
 Gesucht : Primärwiderstand R_1

Formel : $\frac{R_1}{R_2} = \frac{W_1^2}{W_2^2}$ umgeformt $R_1 = \frac{W_1^2 \cdot R_2}{W_2^2}$

Werte einsetzen : $R_1 = \frac{5 \cdot 5 \cdot 10000 \Omega}{10 \cdot 10}$

$= 2500 \Omega$

$R_1 = 2,5 \text{ k}\Omega$

Merke bei allen Rechnungen :

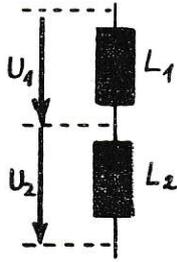
Zuerst alle Werte in die Grundgrößen umrechnen :

kV, mV, μV	in V
M Ω , k Ω	in Ω
mA, μA	in A
pF, nF, μF	in F
MHz, kHz	in Hz
mH, μH	in H

Regeln für das Zusammenschalten mehrerer Spulen oder Kondensatoren :

A. Spulen

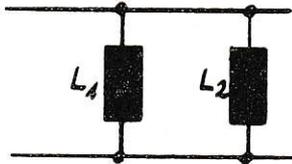
Hintereinanderschaltung :



$$L_{\text{ges}} = L_1 + L_2 + \dots$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots$$

Parallelschaltung :



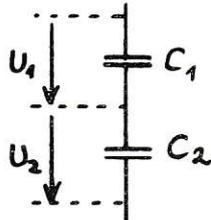
$$\frac{1}{L_{\text{ges}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

für zwei Spulen einfacher

$$L_{\text{ges}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

B. Kondensatoren

Hintereinanderschaltung :



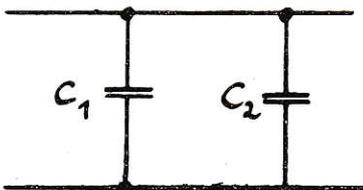
$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots$$

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

für zwei Kondensatoren einfacher

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

Parallelschaltung :



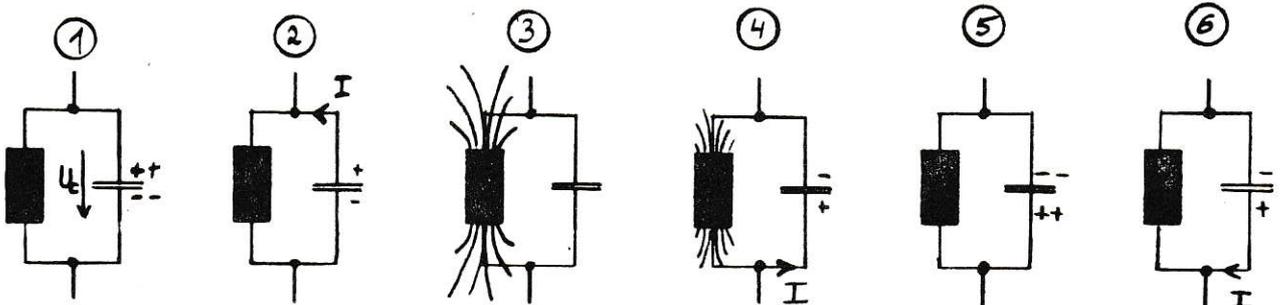
$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + \dots$$

Der Schwingkreis

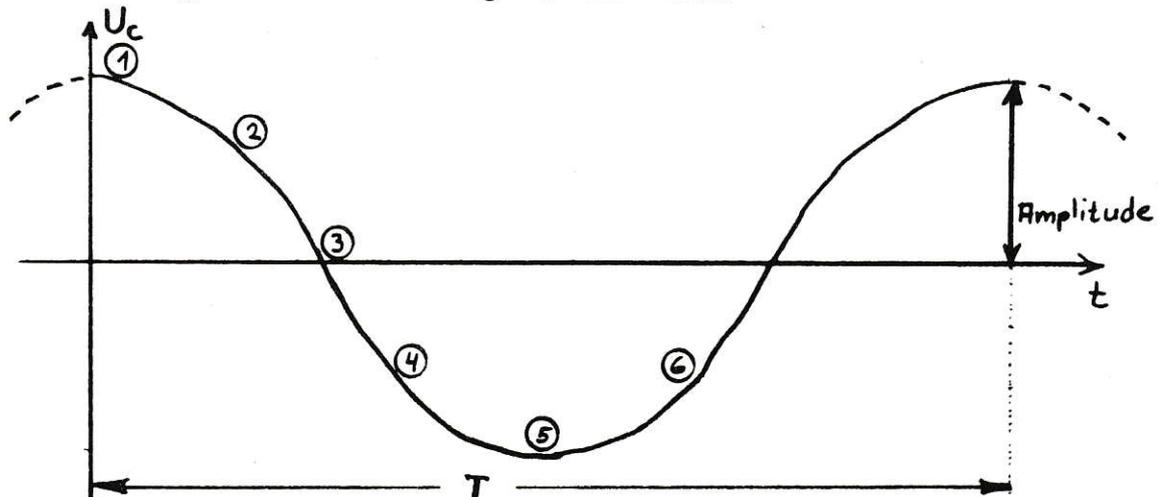
Ein Schwingkreis besteht aus einer Induktivität und einer Kapazität. Jeder Schwingkreis hat eine ihm eigene Frequenz (Resonanzfrequenz). Diese ist abhängig von der Induktivität (L) der Spule und von der Kapazität (C) des Kondensators. Sowohl das Vergrößern des Kondensators als auch das der Spule führen zu einer Verlängerung der Schwingungsdauer (T) und damit zu einer Verringerung der Frequenz (f). Resonanz tritt genau dann ein, wenn X_L gleich X_C ist.

$$f_{Res} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

Thomson'sche Schwingungsgleichung



1. Kondensator geladen.
2. Kondensator entlädt sich. Ladungen gleichen sich aus. Strom fließt über Spule.
3. Strom ruft in Spule ein Magnetfeld hervor. Kondensator ist entladen.
4. Magnetfeld bewirkt weiteren Stromfluß, obwohl Kondensator entladen. Es baut sich dabei ab.
5. Durch den Strom lädt sich der Kondensator wieder auf.
6. Wenn das Magnetfeld völlig abgebaut ist, beginnt der Kondensator wieder, sich in umgekehrter Richtung zu entladen.



T (s) = Dauer einer Periode

$f = \frac{\text{Anzahl der Schwingungen}}{s \text{ (Zeiteinheit)}}$

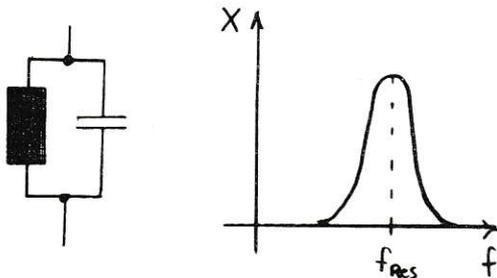
Hz = $\frac{1}{s}$

f gemessen in Hz

Der Schwingkreis

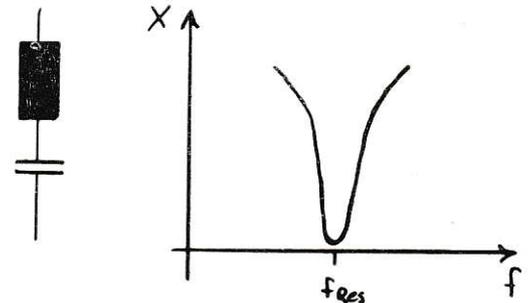
Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Schwingkreisen :

1. Parallelschwingkreis
(Sperrkreis)



Der Parallelschwingkreis läßt nur Frequenzen durch, die nicht auf seiner Resonanzfrequenz liegen. Frequenzen gleich oder nahe seiner Resonanzfrequenz sperrt er. Der Widerstand ist bei Resonanz sehr groß.

2. Serienschwingkreis
(Leitkreis)



Der Serienschwingkreis läßt nur Frequenzen durch, die gleich seiner Resonanzfrequenz sind oder dicht dabei liegen. Der Widerstand ist bei Resonanz sehr klein.

Der Zusammenhang Frequenz f + Wellenlänge λ (Lambda)

Man kann f in λ umrechnen und umgekehrt. Dazu braucht man als dritte Größe die Lichtgeschwindigkeit $c = 300\ 000\ \text{km/s}$, mit der sich Wellen in Luft und im Vakuum ausbreiten. Es gilt dann :

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$f_{\text{in MHz}} = \frac{300}{\lambda_{\text{in m}}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

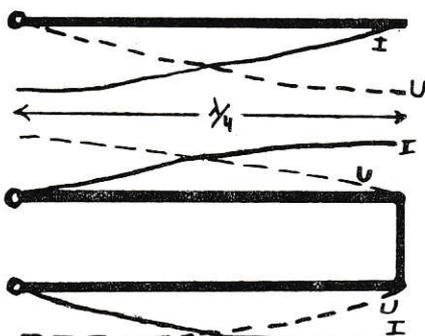
$$\lambda_{\text{in m}} = \frac{300}{f_{\text{in MHz}}}$$

Sonderformen von Schwingkreisen

Da die Güte der konventionellen Schwingkreise im UKW - und UHF - Bereich sehr gering ist, greift man hier auf sogenannte Lecherleitungen und auch Topfkreise zurück. Eine Lecherleitung besteht aus zwei parallelen Drähten, meist mit einer Länge von $\lambda/4$.



Die offene Lecherleitung wirkt als Reihenschwingkreis.



Die kurzgeschlossene Lecherleitung wirkt als Parallelschwingkreis.

Um besonders hohe Güte bei hohen Frequenzen zu erreichen, verwendet man Topfkreise. Durch ihre große Oberfläche kompensiert man den hier stark auftretenden " Skineffekt " weitgehend.

Musteraufgaben (Schwingkreis, Frequenz - Wellenlänge)

1. Gegeben sind die Elemente eines Schwingkreises : $L = 10\text{H}$ $C = 10\mu\text{F}$.
Wie groß ist seine Resonanzfrequenz f ?

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{10\text{H} \cdot \frac{10}{1\,000\,000}\text{F}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{10}{1000}} \text{ Hz}$$

$$= \frac{1000}{2\pi \cdot 10} \text{ Hz} \quad \text{mit } \pi \approx 3$$

$$= \frac{100}{6} \text{ Hz} = \underline{\underline{16,6 \text{ Hz}}}$$

2. Rechnen Sie $f = 3,5\text{MHz}$ in die Wellenlänge um !

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \lambda_{\text{in m}} = \frac{300}{3,5} \text{ m}$$

$$\underline{\underline{\lambda = 86 \text{ m}}}$$

3. Ein Schwingkreis hat bei $C = 400\mu\text{F}$ Resonanz auf 3500kHz . Wie groß muß C werden, um bei gleichem L Resonanz auf 7000kHz zu erreichen?

Verdopplung der Frequenz:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} \quad 2f = 2 \cdot \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot 2\pi \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot \frac{1}{4} C}}$$

$$7000 \text{ kHz} = 2 \cdot 3500 \text{ kHz} = 2 \cdot \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot 400\mu\text{F}}} = \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot 2\pi \sqrt{L \cdot 400\mu\text{F}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot \frac{1}{4} \cdot 400\mu\text{F}}}$$

Daraus folgert man, daß das neue $\underline{\underline{C = 100\mu\text{F}}}$ sein muß.

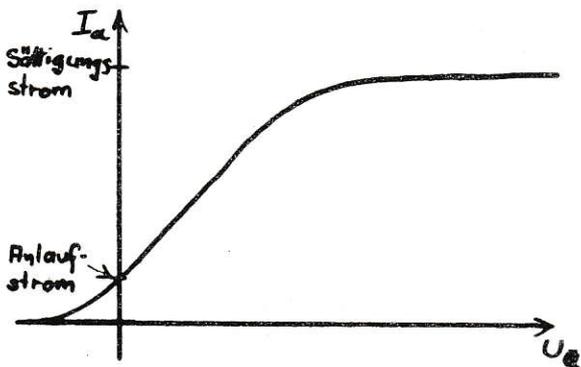
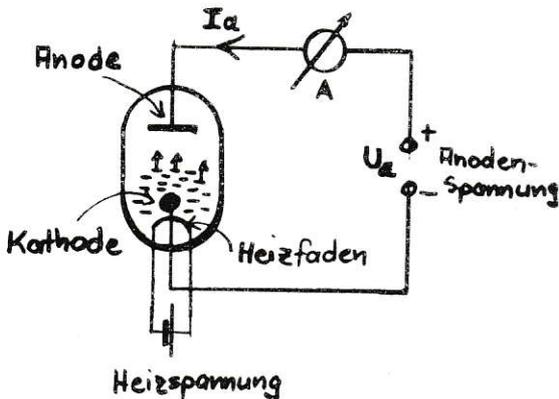
Merke :

Will man die Frequenz halbieren, so muß man entweder L oder C viermal so groß machen.

Will man die Frequenz verdoppeln, so muß man entweder L oder C auf $1/4$ des ursprünglichen Wertes verkleinern.

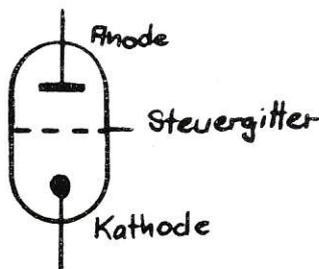
Die Elektronenröhre

DIODE

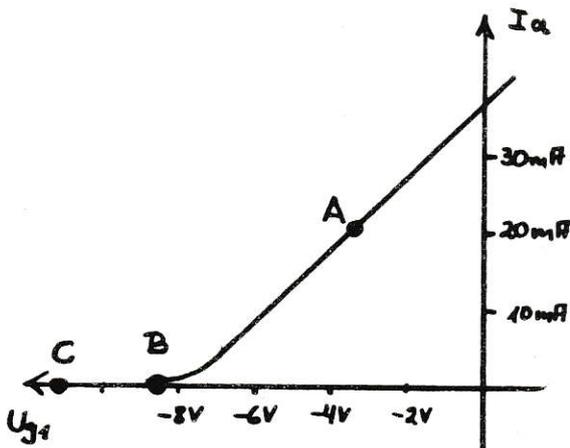


Eine Elektronenröhre besteht aus einem luftleer gepumpten Glaskolben, in dem sich zwei oder mehrere Elektroden befinden. Die einfachste Bauform ist die Diode. Sie enthält nur zwei Elektroden: Anode und Kathode. Erhitzt man die Kathode (Heizfaden), treten aus dieser Elektronen in den luftleer gepumpten Glaskolben der Röhre. Einige treffen auf die Anode. Verbindet man Kathode und Anode, so rufen diese Elektronen einen kleinen Strom hervor, den sog. Anlaufstrom. Man will aber erreichen, daß möglichst viele Elektronen zur Anode und durch den Stromkreis fließen. Also legt man in den Stromkreis eine Anodenbatterie mit + zur Anode bzw. man legt an die Anode eine positive Spannung. Die negativen Elektronen werden nun von der positiven Anode angezogen, und es fließt ein starker Anodenstrom I_a . Dieses Verhalten wird in der U_a/I_a - Kennlinie der Diode grafisch dargestellt. Angewendet wird eine Diode als Gleichrichter, Demodulator oder elektronischer Schalter. Heute sind sie weitgehend von Halbleiterdioden verdrängt.

TRIODE



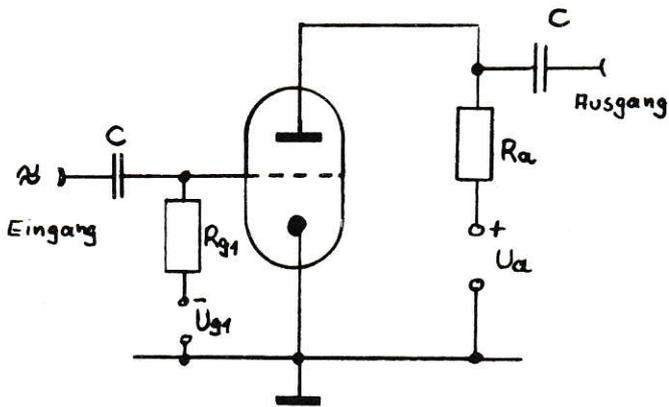
Der Heizfaden ist selbstverständlich und wird nicht mehr gezeichnet.



Durch Hinzufügen eines Steuergitters zwischen Kathode und Anode erhält man eine Triode. Bei Anlegen einer kleinen negativen Spannung an das Steuergitter vermag man den Elektronenstrom innerhalb der Röhre völlig zu drosseln, weil die negativen Elektronen vom negativen Gitter zurückgestoßen werden. Nähert man die Gitterspannung U_{g1} wieder 0 V, so beginnt die wesentlich höhere Anodenspannung zu wirken, und der Anodenstrom steigt schnell an. Nun reichen aber schon geringe Änderungen der U_{g1} aus, um große Anodenstromänderungen hervorzurufen. Daraus erklärt sich die verstärkende Wirkung der Röhre. Da das Gitter negativ vorgespannt ist und Elektronen abstößt, fließt kein Gitterstrom. Man braucht also keine Steuerleistung, sondern nur Steuerungsspannung.

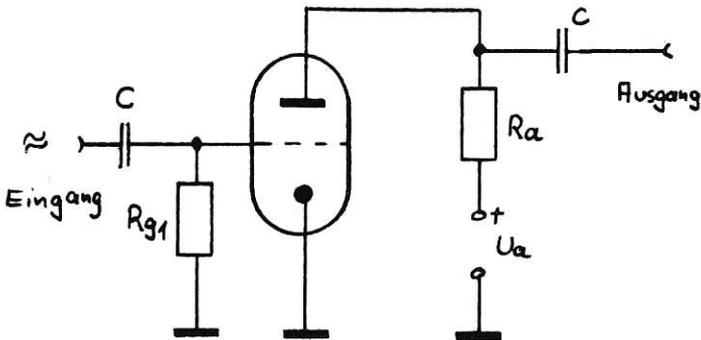
Durch Einstellen der negativen Vorspannung wählt man sich den " Arbeitspunkt " auf der U_{g1} / I_a - Kennlinie. Man unterscheidet die drei Hauptarbeitspunkte A, B, C.

Die Elektronenröhre



Schaltung als Verstärker

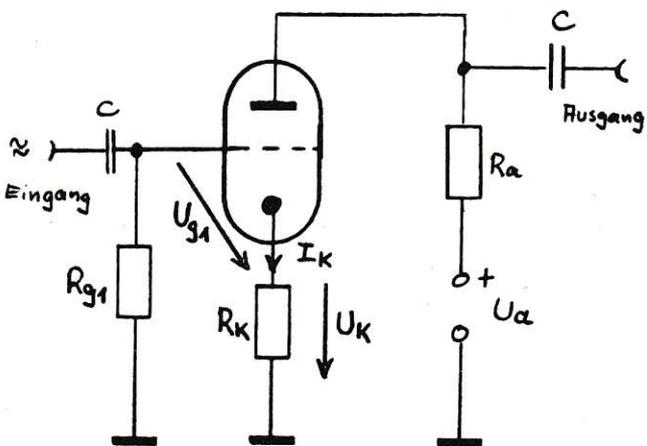
Überlagert man der U_{g1} eine Wechselspannung, so ändert sich im Takte dieser Wechselspannung der Anodenstrom. Um aus diesem Strom wieder eine Spannung zu gewinnen zur Steuerung der nächsten Röhre, läßt man ihn durch den sog. Arbeitswiderstand R_a fließen, an dem dann die gewünschte Spannung abfällt. Diese leitet man dem Steuergitter der nächsten Röhre zur weiteren Verstärkung zu.



Die benötigte Gittervorspannung kann man auf folgende Arten erzeugen :

1. Direkte Zuführung aus dem Netzteil (Abbildung oben).

2. Automatisches Erzeugen durch sehr hohen Gitterableitwiderstand R_{g1} ($10M\Omega$). Die negative Spannung bildet sich durch Elektronen aus, die vereinzelt von der Kathode auf das Steuergitter fliegen.



3. Automatisches Erzeugen durch Kathodenwiderstand R_K . Durch den Kathodenstrom I_K entsteht an R_K ein Spannungsabfall U_K . Dadurch wird die Kathode positiv gegenüber Masse. Da das Steuergitter über R_{g1} an Masse liegt (es fließt kein Strom über R_{g1}), ist die Kathode auch positiv gegenüber dem Steuergitter, d.h. das Steuergitter ist negativ gegenüber der Kathode.

$$U_K = R_K \cdot I_K$$

$$U_{g1} = -U_K$$

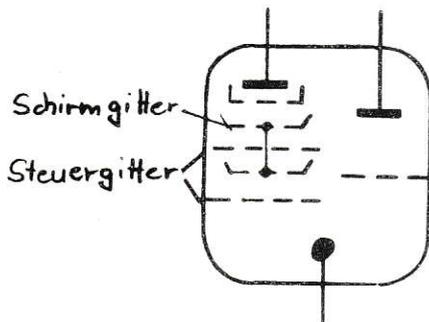
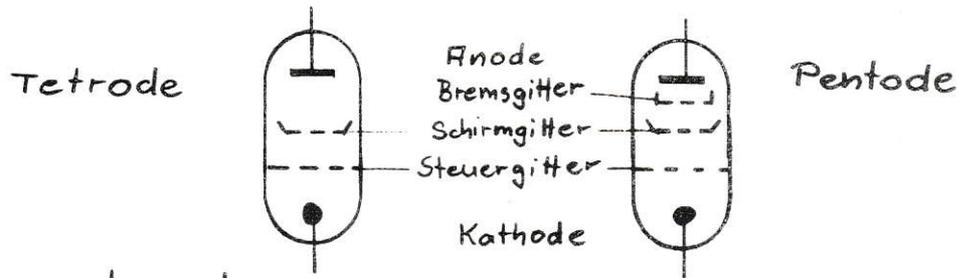
Daraus folgt zur Berechnung des Kathodenwiderstandes R_K :

$$R_K = \frac{-U_{g1}}{I_K}$$

Die Elektronenröhre

Mehrgitterröhren

Um die Gitter - Anodenkapazität kleiner zu machen und Durchgriff und Rückwirkung zu verringern, legt man zwischen Anode und Steuergitter das Schirmgitter. Eine solche Röhre nennt man Tetrode. Das Schirmgitter erhält eine etwas kleinere positive Spannung als die Anode. Die Elektronen haben nun teilweise eine so große Geschwindigkeit, daß sie aus der Anode sog. Sekundärelektronen herausschlagen, die sich ungünstig auf das Verhalten der Röhre auswirken. Dieses verhindert das Bremsgitter zwischen Anode und Schirmgitter. Das Bremsgitter wird meist mit der Kathode verbunden.



Verbundröhren

Röhren, die zwei oder mehr Systeme in einem Kolben vereinigen, nennt man Verbundröhren, z.B. die sehr gebräuchliche ECH 81, die eine Heptode und eine Triode in einem Kolben vereinigt.

Die ECH 81 wird in Mischstufen verwendet. Dabei braucht man die Triode für den Oszillator, die Heptode als eigentliche Mischröhre.

Abstimmanzeigeröhren

Diese Röhren haben einen meist grünlich schimmernden Leuchtschirm. Die von der Kathode emittierten Elektronen treffen auf diesen Schirm und regen ihn zum Leuchten an. Durch besondere Gitterformen läßt sich der Elektronenstrom mehr oder weniger stark bündeln. Die Bündelung richtet sich nach der Steuerspannung, die wiederum vom Eingangssignal abhängt.

Kathodenstrahlröhren

Die Kathodenstrahlröhre hat ähnlich der Abstimmanzeigeröhre einen Leuchtschirm. Die von der Kathode emittierten Elektronen werden zu einem scharfen Strahl gebündelt, der beim Auftreffen auf den Schirm nur einen Punkt aufleuchten läßt. Diesen Strahl kann man nun durch magnetische oder elektrische Felder ablenken, so daß er zu jedem beliebigen Punkt des Schirms gesteuert werden kann.

Einige wichtige Begriffe der Röhrentechnik

Der Durchgriff ist das Verhältnis der Gitterspannungsänderung zur Änderung der Anodenspannung.

$$D = \frac{\Delta U_{g1}}{\Delta U_a}$$

Die Steilheit ist das Verhältnis der Änderung des Anodenstroms zur Änderung der Gittervorspannung.

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{g1}}$$

Der Innenwiderstand ist das Verhältnis der Änderung der Anodenspannung zur Änderung des Gitterstroms.

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

Der Zusammenhang dieser drei Größen wird durch die Barkhausen'sche Röhrenformel angegeben :

$$D \cdot S \cdot R_i = 1$$

Die Halbleiter - Diode

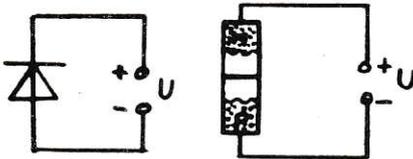
Im Gegensatz zur Elektronenröhre bewegen sich bei den Halbleiterdioden die Ladungsträger ausschließlich in einem Festkörper. Das Material ist entweder Germanium (Ge) oder Silizium (Si). Diese Stoffe haben in reinem Zustand keine freien Ladungsträger. Deshalb werden sie gezielt verunreinigt mit Fremdatomen, z.B. mit Indium. So kann man erreichen, daß Ge oder Si (verunreinigt) freie positive Ladungen (p - leitend) oder freie negative Ladungen (n - leitend) besitzt. Solche Stoffe nennt man dotiert.

Bei den Halbleiterdioden grenzen stets zwei Ge - oder Si - Schichten verschiedenen Leitungstyps aneinander.



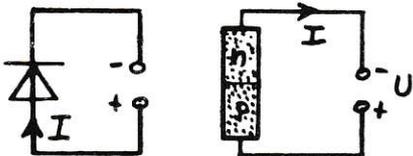
An dieser Grenze gleichen sich in einer kleinen Schicht die p - und n - Ladungen aus. Es entsteht dadurch eine ladungsträgerfreie Zone, die man Grenzschicht nennt. Man unterscheidet bei Halbleiterdioden den Sperrbetrieb und den Durchlaßbetrieb.

a. Sperrbetrieb :



Legt man an die Diode eine Spannung wie gezeichnet, so vergrößert sich die Sperrschicht, die keine Ladungsträger enthält, so daß kein Strom fließen kann.

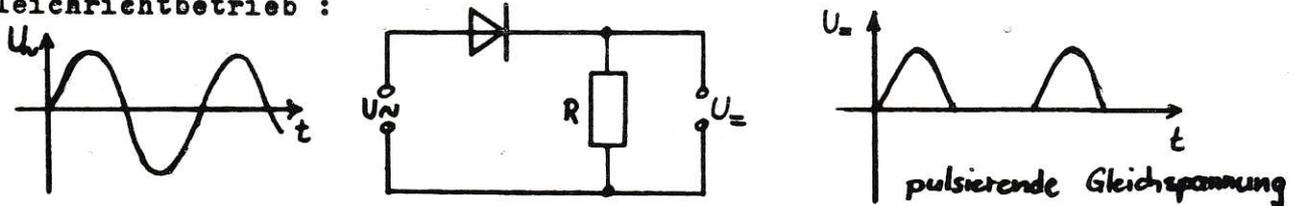
b. Durchlaßbetrieb :



Polt man die Spannung um, verschwindet die Sperrschicht, da sich ungleichnamige Ladungen anziehen. Es fließt Strom.

Man kann die Halbleiterdiode fast überall dort verwenden, wo bisher Röhrendioden üblich waren, da sie die gleiche Ventilwirkung zeigt.

Gleichrichtbetrieb :



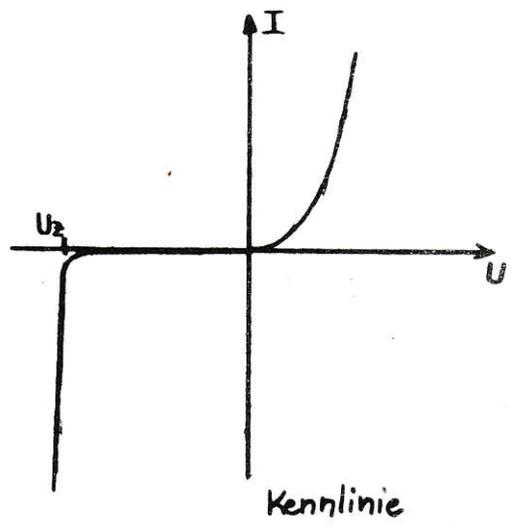
Vorteile der Halbleiterdiode

Nachteile der Halbleiterdiode

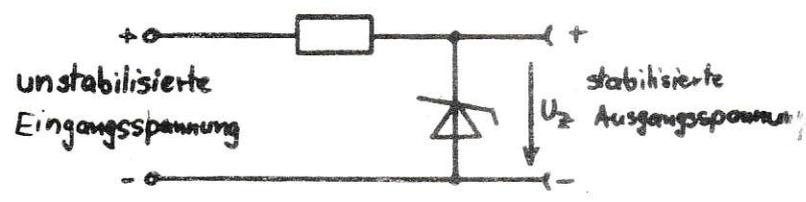
1. sofort betriebsbereit (Heizung entfällt)
2. kleine Bauform
3. kleinerer Durchlaßwiderstand d.h. größerer Wirkungsgrad
4. hohe Lebensdauer

1. hitzeempfindlich
2. temperaturabhängig

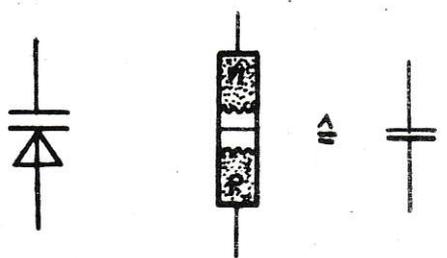
Die Z - Diode (Zenerdiode)



Erhöht man bei einer Diode die Sperrspannung stark, so kommt es zu einem Durchbruch mit steil ansteigenden Strom. Die Ladungsträger werden so beschleunigt, daß sie weitere Elektronen aus ihren Bindungen herausschlagen (lawinenartiges Anwachsen des Stroms). Diese Durchbruchspannung (Zenerspannung) kann man durch das Herstellungsverfahren bestimmen. Eine Zenerdiode läßt sich gut zur Spannungsstabilisierung verwenden. Steigt oder fällt in der gezeigten Schaltung die Eingangsspannung, steigt oder fällt auch der Strom durch R_V und die Z - Diode. An R_V fällt immer gerade soviel Spannung ab, daß die Ausgangsspannung konstant gleich der Zenerspannung der Diode ist.

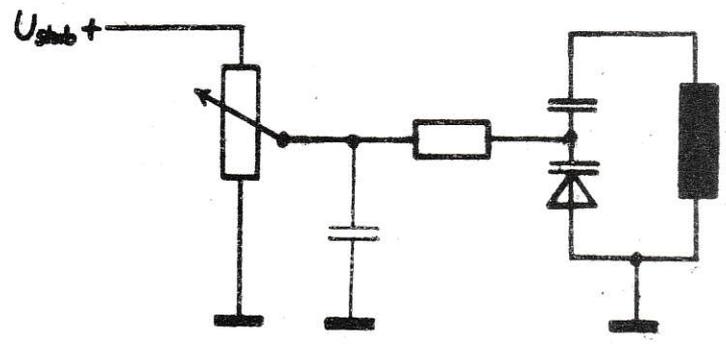


Die Kapazitätsdiode (Varicap, Varactor)



An die Sperrschicht einer Diode schließen sich je eine n - leitende und eine p - leitende Schicht an, d.h. zwei leitende Schichten stehen sich isoliert (durch die Sperrschicht) gegenüber. Dieses sind dieselben Gegebenheiten wie bei einem Kondensator, bei dem sich zwei leitende Platten isoliert gegenüberstehen. Die Kapazität ist abhängig

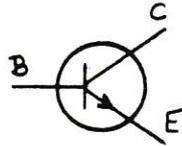
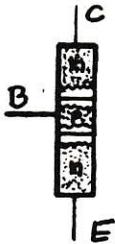
von dem Abstand der leitenden Schichten. Je größer der Abstand, desto kleiner ist die Kapazität. Durch Erhöhen der Sperrspannung an der Varicap erreicht man eine Verbreiterung der Sperrschicht und damit eine Verringerung der Kapazität. Eine Varicap wird immer in Sperrichtung betrieben, weil sonst der Kapazitätseffekt durch Fehlen der Sperrschicht in Durchlaßrichtung verloren geht.



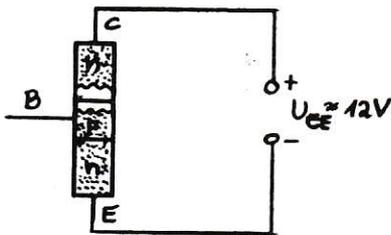
Abstimmung eines Schwingkreises mit Kapazitätsvariationsdiode

Der bipolare Transistor

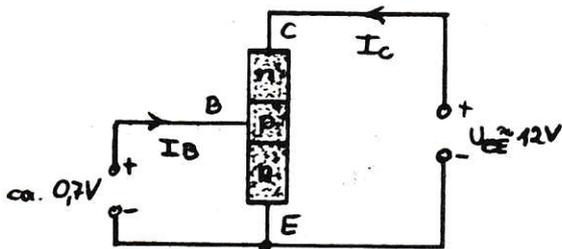
Ebenso wie eine Halbleiterdiode besteht ein Transistor aus verschiedenen dotierten Halbleiterschichten, z.B. zeigt die Zeichnung einen npn - Transistor.



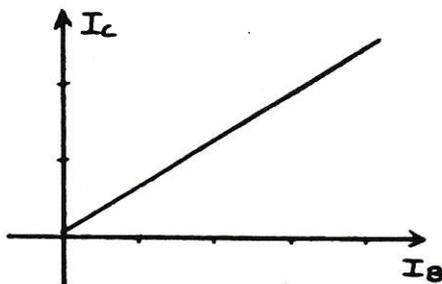
B = Basis
C = Kollektor
E = Emitter



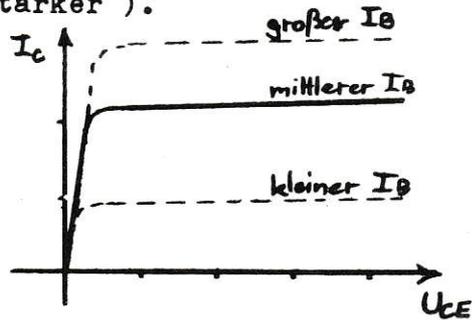
Wie bei der Diode entstehen ladungsfreie Grenzschichten. Wir legen an C und E eine Spannung an mit + zum Kollektor. Eine Sperrschicht baut sich ab, die andere vergrößert sich. Es fließt kein Strom. Legt man nun an die Basis ebenfalls eine kleine positive Spannung, dann fließt ein kleiner Basisstrom I_B . Dabei dringen jedoch die Ladungsträger durch ihre Geschwindigkeit so weit in die Basis - Kollektor - Sperrschicht ein, daß diese leitend wird und ein großer Kollektorstrom I_C zu fließen beginnt.



Durch kleine Änderungen des Basisstroms kann man größere Änderungen des Kollektorstroms erreichen (Verstärker).



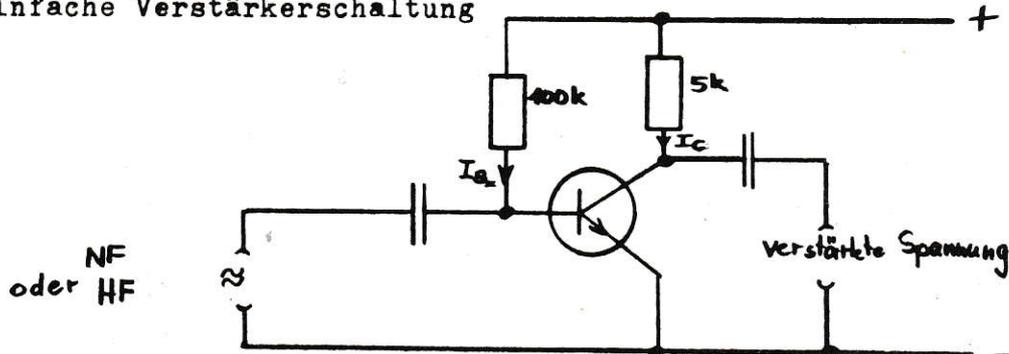
Steuerkennlinie



Ausgangskennlinie

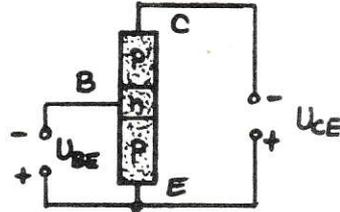
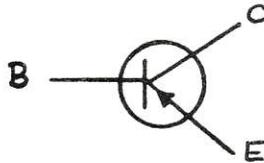
Kennlinien eines bipolaren Transistors

Einfache Verstärkerschaltung



Schaltungsarten des Transistors

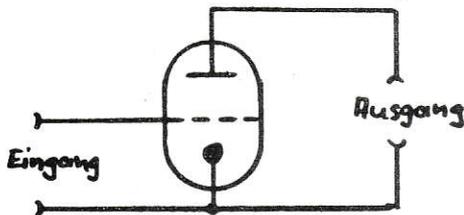
Neben der npn - Anordnung werden Halbleiterschichten auch in der Reihenfolge pnp zusammengestellt (pnp - Transistor).Gegenüber dem npn - Transistor muß die Spannung umgepolt werden,d.h. der C muß an - und der E an + angeschlossen werden.An die Basis wird eine kleine negative Spannung angelegt,um den Transistor leitend zu machen.



Man unterscheidet bei Transistoren sowie bei Röhren grundsätzlich drei Schaltungsarten,die hier gegenübergestellt werden sollen :

Röhre

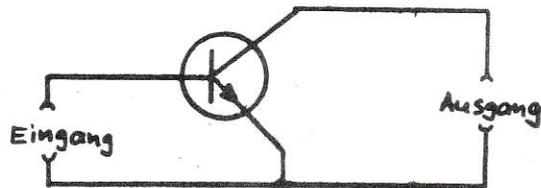
Kathodenbasisschaltung



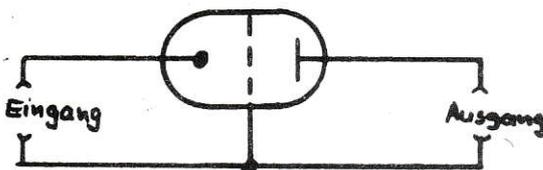
Gebräuchlichste Schaltungen; ergeben hohe Leistungsverstärkung

Transistor

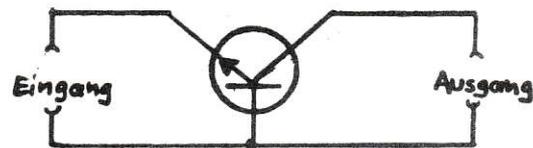
Emitterschaltung



Gitterbasisschaltung

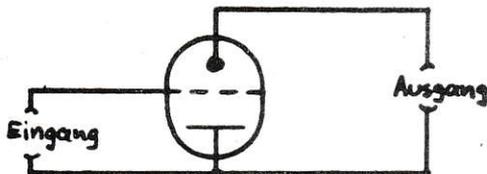


Basisschaltung

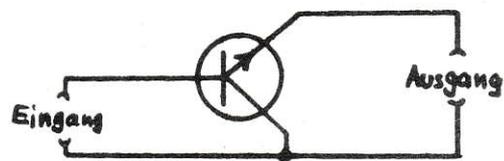


Werden hauptsächlich bei hohen Frequenzen (UKW) genommen. Weniger große Leistungsverstärkung

Anodenbasisschaltung



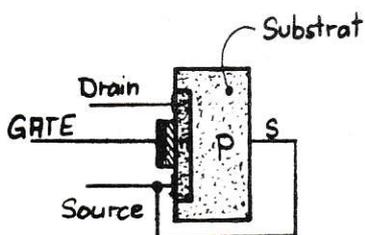
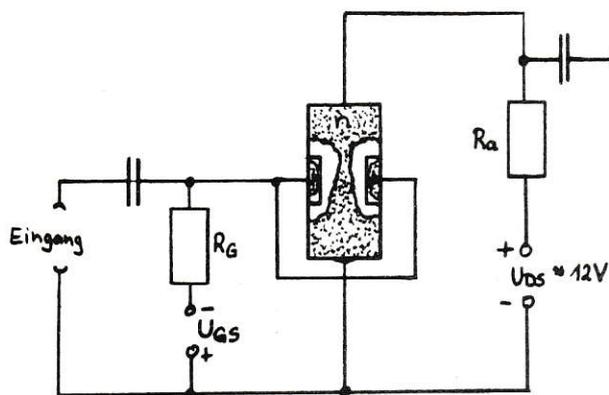
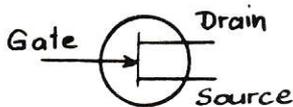
Collektorschaltung



Geringe Leistungsverstärkung.Anwendung als Impedanzwandler und als Entkopplungsstufe (Puffer).

Trotz scheinbarer Gleichheit bestehen zwischen Röhren- und Transistor-schaltungen wesentliche Unterschiede.Grundsätzlich ist zu beachten,daß Röhren nur Steuerspannung benötigen,Transistoren dagegen Steuerspannung und Steuerstrom,also Steuerleistung.Eingangs- und Ausgangswiderstand sind bei Röhren z.T.wesentlich hochohmiger (MΩ - Bereich) als bei Transistoren (Ω - und kΩ - Bereich).

Der Feldeffekttransistor, die integrierte Schaltung



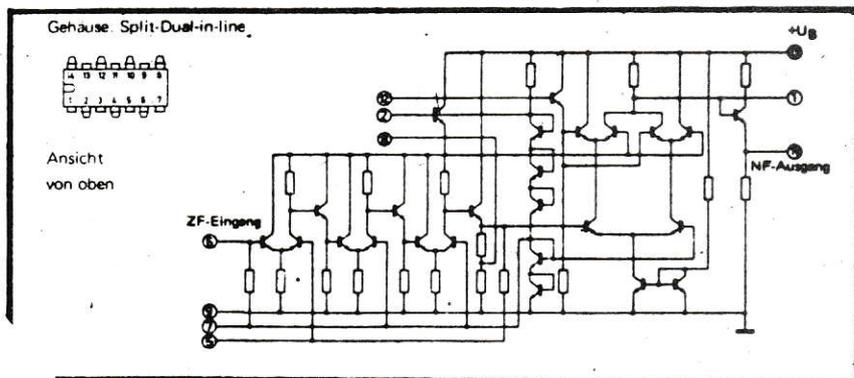
Man unterscheidet Sperrschichtfeldeffekttransistoren (FET) und Isolierschichtfeldeffekttransistoren (MOSFET). Den Aufbau eines FETs zeigt die nebenstehende Abbildung.

Legt man eine Spannung U_{DS} an D und S mit + an D und - an S, so fließt Strom, und zwar durch den n - dotierten Halbleiter. Wird zusätzlich an das Gate (p - Halbleiter) eine negative Spannung U_{GS} angelegt, so dringen die Sperrschichten in den n - Bereich vor und verengen den Ladungen enthaltenden Raum (n - Kanal), d.h. der Strom I_D wird je nach Gatespannung geringer. I_D kann nun durch Spannungsänderungen am Gate genau wie bei einer Röhrentriode gesteuert werden. Insgesamt zeigt der FET ein ähnliches Verhalten wie eine Röhre.

Eine Weiterentwicklung des FET ist der MOSFET. (siehe nebenstehende Abbildung) Der grundsätzliche Unterschied zum FET besteht in einer Isolierschicht, die hier zwischen dem Gate und dem Kanal angebracht ist, d.h. es kann niemals Gatestrom fließen und auch positive Spannungen sind am Gate erlaubt. Legt man also an G eine positive Spannung, so werden aus dem Substrat S weitere Elektronen herausgezogen, die den Kanal verbreitern. Macht man an G die Spannung negativ, so verschmälert sich der Source- Drain - Kanal.

Durch Anbringen einer zweiten Steuerelektrode (zweites Gate) erhält man den Dual - Gate - MOSFET. Er eignet sich besonders dort, wo rückwirkungsarm gemischt oder geregelt werden soll.

Eine weitere Verbesserung und Miniaturisierung erreicht man in der Halbleitertechnik durch die integrierten Schaltungen. In ihnen sind neben Transistoren und Dioden auch Widerstände und Kondensatoren zu einer Einheit zusammengefaßt. Dabei erreicht die Miniaturisierung so hohe Ausmaße, daß in einem IC von $20 \times 10 \times 5 \text{ mm}^3$ mehrere hundert Bauteile zusammengefaßt werden können. ICs enthalten heutzutage komplette Schaltstufen, z.B. Demodulatoren, ZF - Verstärker oder Spannungsregler. Besonders hoch ist auch der Anteil der logischen ICs geworden, die in der Computertechnik hauptsächlich verwendet werden.

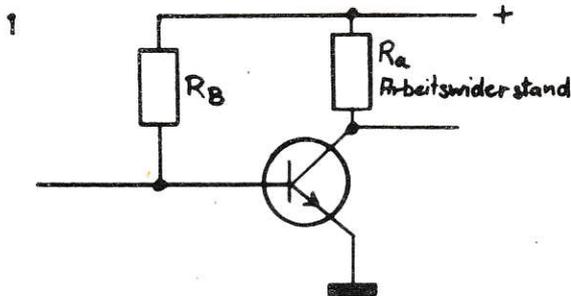


Beispiel für einen IC:

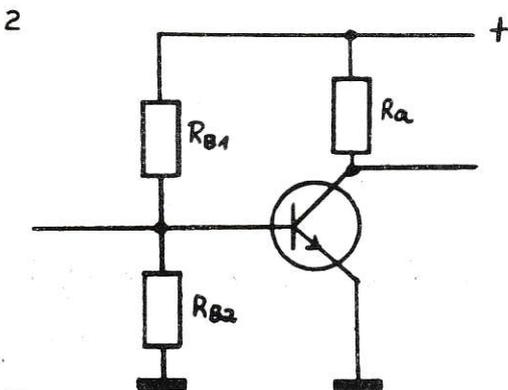
ZF - Verstärker mit FM - Demodulator und NF - Vorverstärker

Arbeitspunkteinstellung bei Transistoren

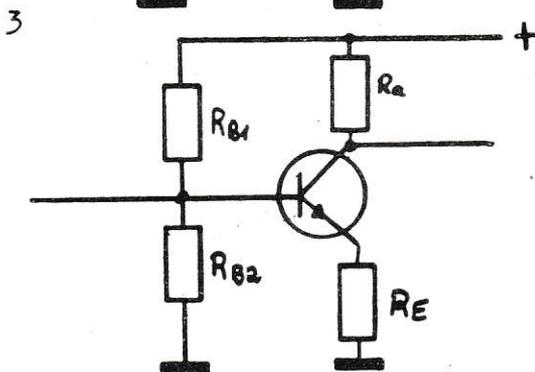
Bei bipolaren Transistoren wird der Arbeitspunkt (A,B oder C) durch die Größe des Basisstromes eingestellt. Dazu hat man mehrere Möglichkeiten:



Einstellung durch den Widerstand R_B .
Wenig Aufwand, jedoch kritisch.

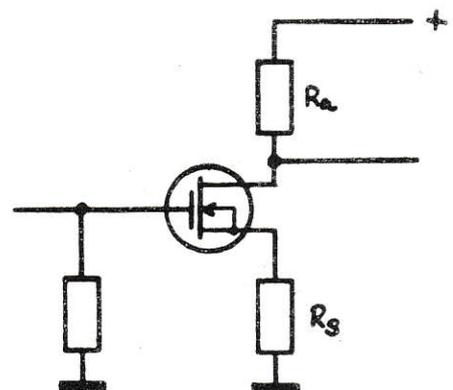
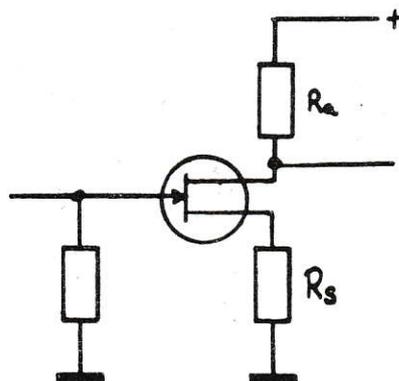


Einstellung durch Basisspannungsteiler.
Wenig temperaturstabil.



Einstellung durch Basisspannungsteiler und Emittterwiderstand R_E .
Dadurch gute Temperaturstabilität.
Sehr gebräuchliche Schaltung.

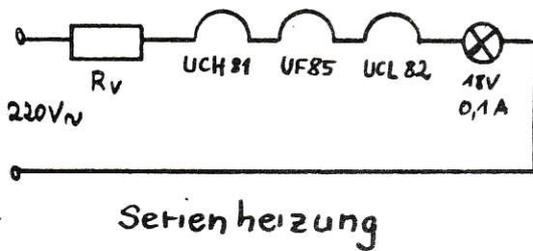
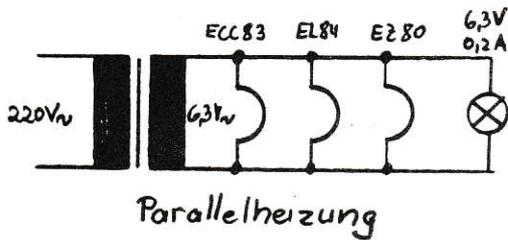
Bei FETs und MOSFETs wird der Arbeitspunkt durch die Gatevorspannung eingestellt. Hier findet man ähnliche Schaltungen wie bei Elektronenröhren. Die Vorspannung wird i. a. automatisch durch einen Sourcewiderstand erzeugt.



Gewinnung der Betriebsspannungen

Beim Betrieb von Röhrengeräten benötigt man mehrere Spannungen :

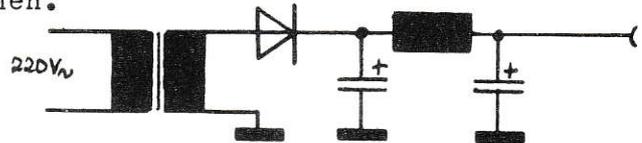
1. Heizspannung, 2. Gittervorspannung, 3. Schirmgitterspannung, 4. Anodenspannung



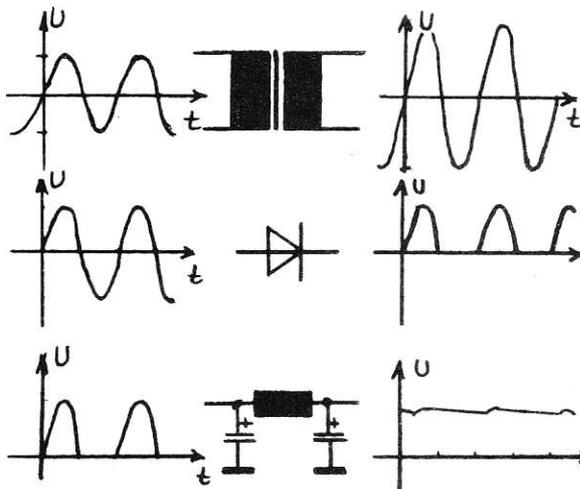
zu 1 Heizspannungen werden mit einer gesonderten Trafowicklung gewonnen. Man schaltet dann die Röhrenheizungen parallel (gleiche Heizspannung für alle Röhren).

Eine zweite Möglichkeit ist die sog. Allstromheizung. Hier werden die Röhrenheizungen hintereinandergeschaltet und die überschüssige Spannung durch einen Vorwiderstand vernichtet (gleicher Heizstrom für alle Röhren).

zu 2 bis 4 Diese Spannungen sind Gleichspannungen und werden i. a. durch Gleichrichtung und anschließende Siebung gewonnen.



Funktion der einzelnen Bauelemente der Schaltung

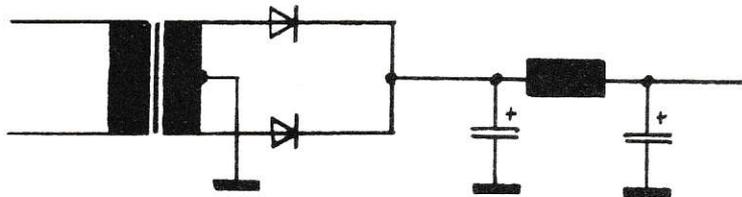


Hier wird die Spannung auf den gewünschten Wert herauf oder herabgesetzt.

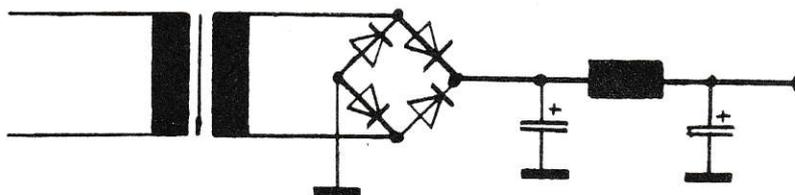
Die Wechselspannung wird gleichgerichtet.

Die Siebkette glättet die pulsierende Gleichspannung zu einer fast reinen Gleichspannung.

Einen höheren Wirkungsgrad als die gezeigte " Einweggleichrichtung " besitzt die " Doppelweggleichrichtung ". Hier werden beide Halbwellen der Wechselspannung ausgenutzt.



Will man die Mittelanzapfung an der Sekundärwicklung des Trafos vermeiden, greift man zur " Graetzschaltung ", bei der vier Dioden verwendet werden.

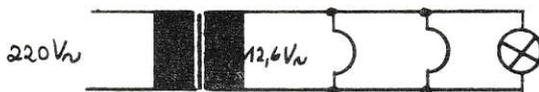


Stromversorgung für Sender und Empfänger eines Röhrengerätes

Ein Sendeempfänger (Transceiver) benötigt folgende Spannungen und Ströme :

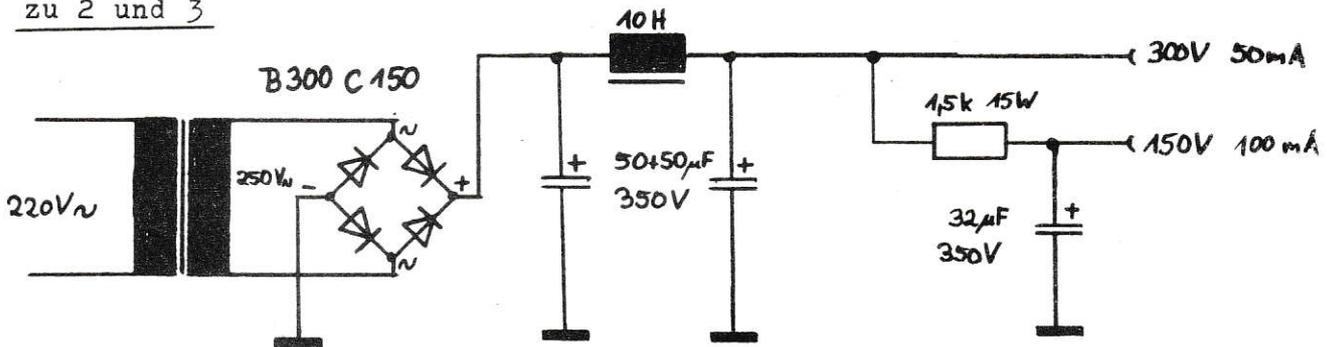
- | | | |
|--|-------------------|--------|
| 1 Heizspannung | $U_H = 12,6V$; | 6 A |
| 2 Anodenspannung | $U_{a1} = 150V$; | 100 mA |
| 3 Anodenspannung | $U_{a2} = 300V$; | 50 mA |
| 4 Anodenspannung | $U_{a3} = 600V$; | 400 mA |
| 5 negative Gittervorspannung
(stabilisiert) | $U_g = -100V$; | 10 mA |

zu 1

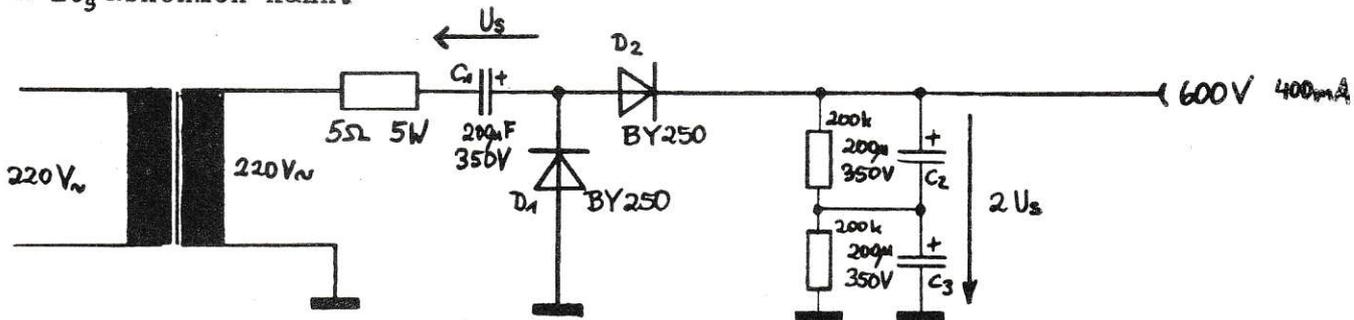


Parallelheizung aus einem Trafo

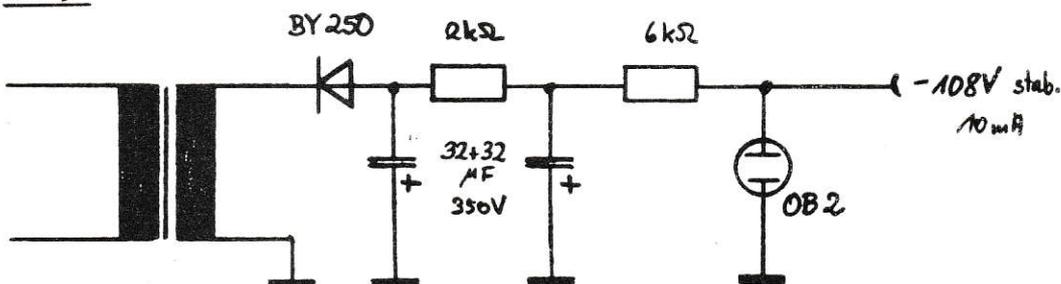
zu 2 und 3



zu 4 Diese hohe Spannung wird durch Spannungsverdopplung gewonnen. Der Kondensator C_1 wird von D_1 auf die Spitzenspannung U_s der Wechselspannung aufgeladen. Dazu addiert sich die durch D_2 gleichgerichtete Spannung der Größe U_s , so daß man an dem Ladekondensator $C_{2,3}$ die Spannung $U = U_s + U_s = 2U_s$ abnehmen kann.



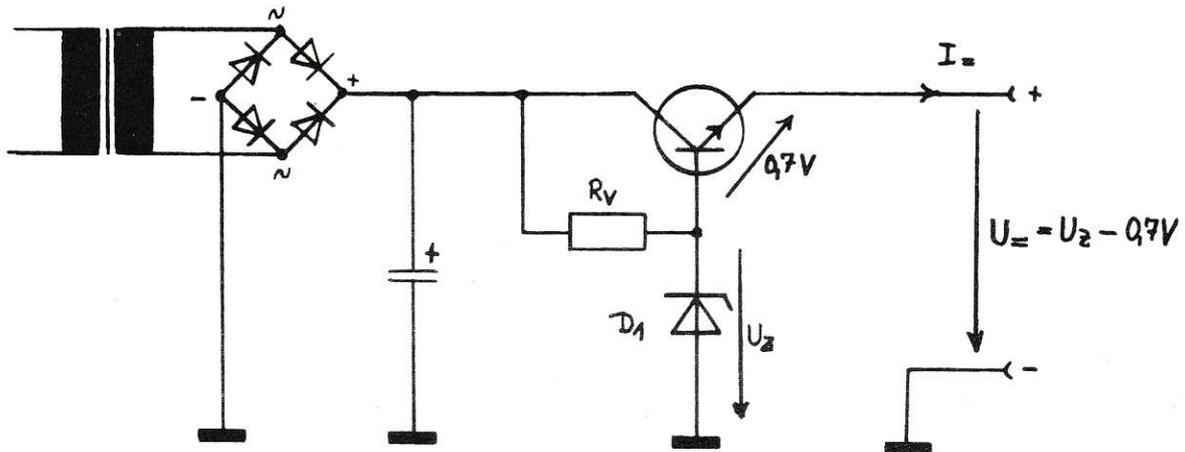
zu 5



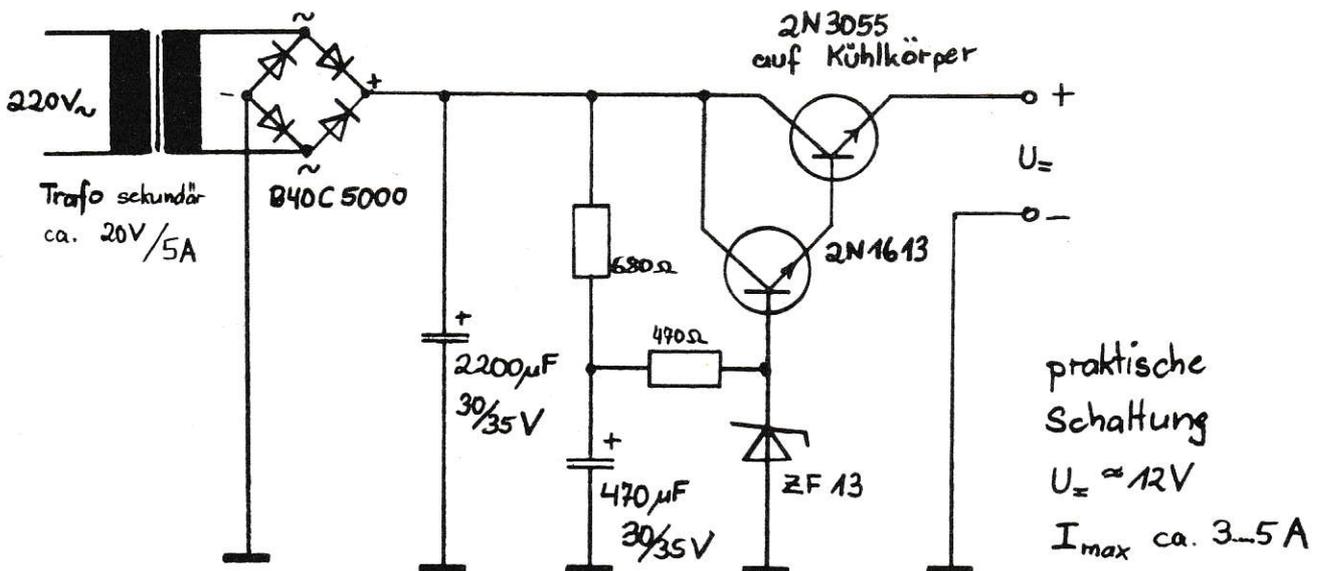
Stromversorgung eines Transistorgerätes

In der Regel benötigt man für Transistorgeräte geringere Betriebsspannungen (6V....40V).Dafür werden aber höhere Anforderungen an Stabilität und Siebung der Spannung gestellt,da Transistoren gegen Überspannungen weitaus empfindlicher sind.Deshalb baut man meistens stabilisierte Netzgeräte, die auf Grund ihrer Regelung automatisch auch eine höhere Brummfreiheit gewährleisten.

Wegen der höheren Ausgangsströme kommt man mit einer einfachen Z - Dioden - Stabilisierung nicht mehr aus.Man erweitert sie mit einem Transistor.

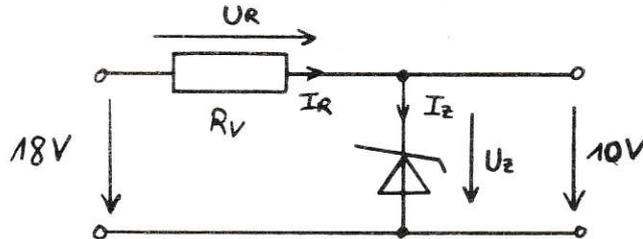


Die Basis des " Längstransistors " wird durch die Z - Dioden - Stabilisierung ($R_V D_1$) auf der konstanten Spannung U_Z gehalten.Die Ausgangsspannung stellt sich auf den Wert U_+ ein.Will durch Erhöhung der Belastung (und damit auch Erhöhung des Stromes I_+) die Ausgangsspannung absinken,so vergrößert sich die Spannungsdifferenz zwischen Basis und Emitter.Dadurch wird der Transistor weiter " geöffnet ",so daß U_+ wieder auf den alten Wert ansteigt.Sinkt die Belastung und will dadurch U_+ ansteigen,verringert sich die Spannungsdifferenz zwischen Basis und Emitter,so daß der Transistor mehr in den " sperrenden Zustand " übergeht.Der Transistor verhält sich in dieser Schaltung wie ein automatisch geregelter Widerstand.Die Regelung ist so schnell,daß Restbrummen von der Gleichrichtung her weitgehend kompensiert wird.



Musteraufgaben (Stromversorgung)

1. Eine Gleichspannung von 18V soll mit einer Z-Diode auf 10V stabilisiert werden. Wie groß muß R_V mindestens sein, damit die Verlustleistung $P_V = 250\text{mW}$ der Z-Diode nicht überschritten wird?



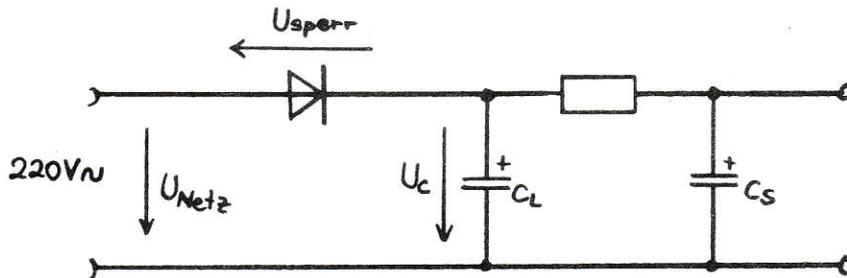
Damit die Diode nicht überlastet wird, darf der Strom maximal

$$I_Z = \frac{P_V}{U_Z} = \frac{0,25\text{W}}{10\text{V}} = \underline{25\text{mA}} \quad \text{betragen.}$$

Der Vorwiderstand berechnet sich nun nach dem Ohmschen Gesetz, da die an ihm abfallende Spannung $U_R = 8\text{V}$ und der durch ihn fließende Strom $I_R = 25\text{mA}$ gegeben sind:

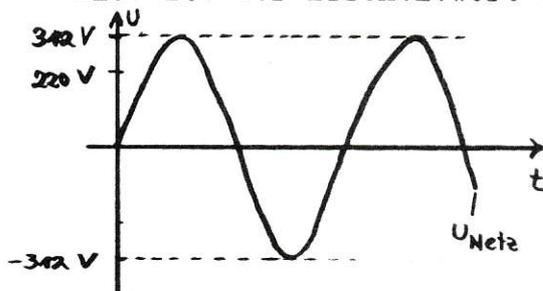
$$R_V = \frac{U_R}{I_R} = \frac{8\text{V}}{25\text{mA}} = \underline{320\Omega} \quad P_{R_V} = U_R \cdot I_R = 8\text{V} \cdot 25\text{mA} = \underline{200\text{mW}}$$

2. Wie groß ist die Spannung am Ladekondensator einer Gleichrichterschaltung, die Sie direkt aus dem Netz (220V) betreiben? Die Schaltung arbeitet im Leerlauf, d.h. es wird kein Strom entnommen. Für welche Sperrspannung müssen Sie den Gleichrichter bemessen?

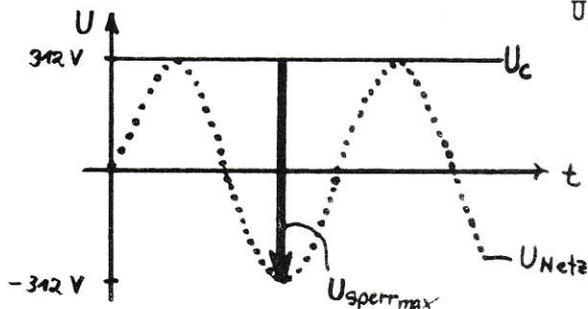


220V ist der Effektivwert der Netzspannung. Der Spitzenwert beträgt:

$$220\text{V} \cdot \sqrt{2} = 220\text{V} \cdot 1,41 = \underline{312\text{V}}$$



Der Ladekondensator C_L lädt sich auf den Spitzenwert der Netzspannung auf. Die maximale Sperrspannung U_{Sperr} , die an der Diode dann anliegen kann, beträgt $2 \cdot 312\text{V} = 624\text{V}$. Dieses sieht man anschaulich hier an nebenstehender Abbildung. Der Abstand zwischen U_{Netz} und U_C gibt U_{Sperr} an.



$$U_{Sperr_{max}} = 2 \cdot 312\text{V} = \underline{624\text{V}}$$

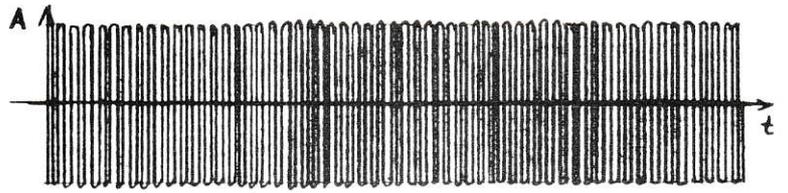
Nachrichtenübertragung durch Hochfrequenz

Sprache oder Musik kann man drahtlos nicht über große Entfernungen übertragen. Man muß dazu hochfrequente Schwingungen (HF) zu Hilfe nehmen (HF etwa ab 50kHz). Da sich jedoch die hörbaren Frequenzen (NF) über den Bereich 20Hz...18000Hz erstrecken, ist eine direkte Übertragung nicht möglich. Man muß deshalb die HF in geeigneter Weise mit Information (NF) versehen. Dieses nennt man " modulieren ".

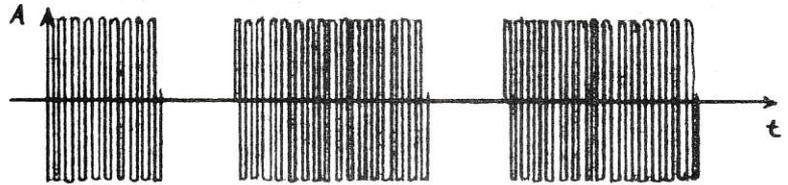
Amplitudenmodulation (AM)

Die Modulation erfolgt durch Veränderung der HF - Amplitude. Diese Veränderung ist je nach Stärke der Modulation mehr oder weniger intensiv.

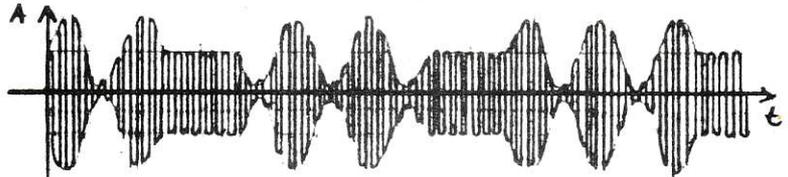
A 0 unmodulierter Träger



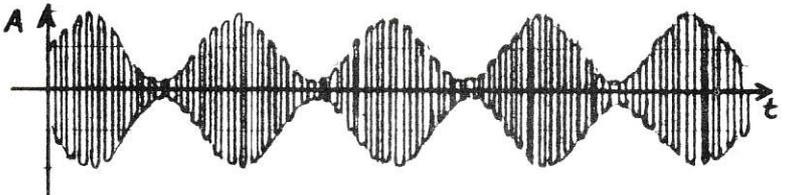
A 1 Telegrafie tonlos



A 2 Telegrafie tönend

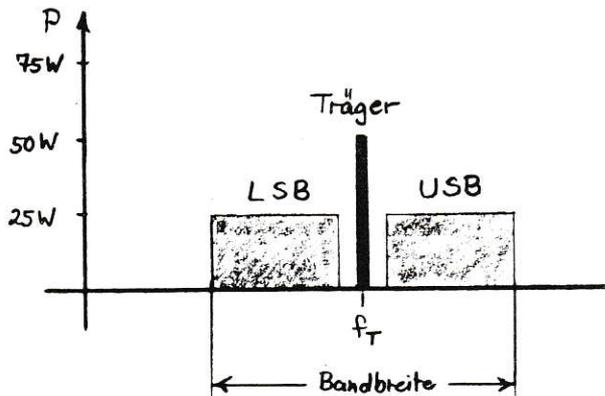


A 3 Telefonie



A 4 Bildfunk

A 5 Fernsehen



$$LSB = f_T - f_{NF-Band}$$

$$USB = f_T + f_{NF-Band}$$

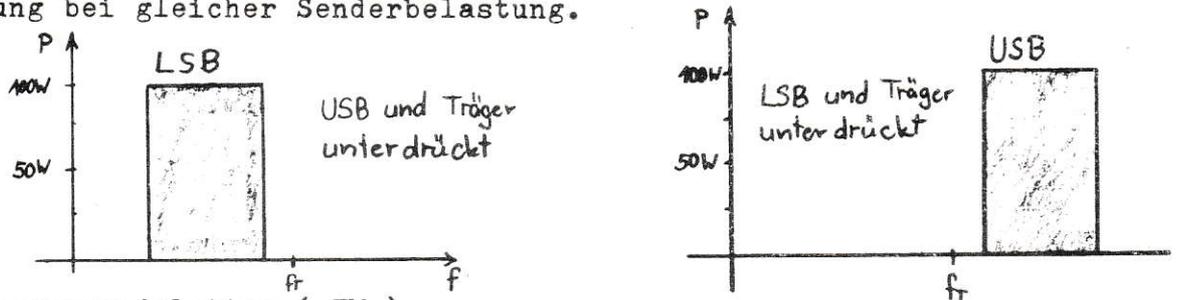
Bei der Amplitudenmodulation entstehen außer der Trägerfrequenz zusätzlich zwei Seitenbänder. Das obere Seitenband (USB = Upper Side Band) liegt um die Modulationsfrequenz höher als die Trägerfrequenz. Das untere Seitenband (LSB = Lower Side Band) liegt um die Modulationsfrequenz tiefer als die Trägerfrequenz. Die Bandbreite eines AM - Signals ist also doppelt so groß wie die höchste Modulationsfrequenz :

$$Bandbreite = 2 \cdot f_{NF \max}$$

Um die Bandbreite möglichst gering zu halten, beschränkt man die NF auf ein Minimum. Für Sprachübertragung reicht ein Band von 300...3000Hz.

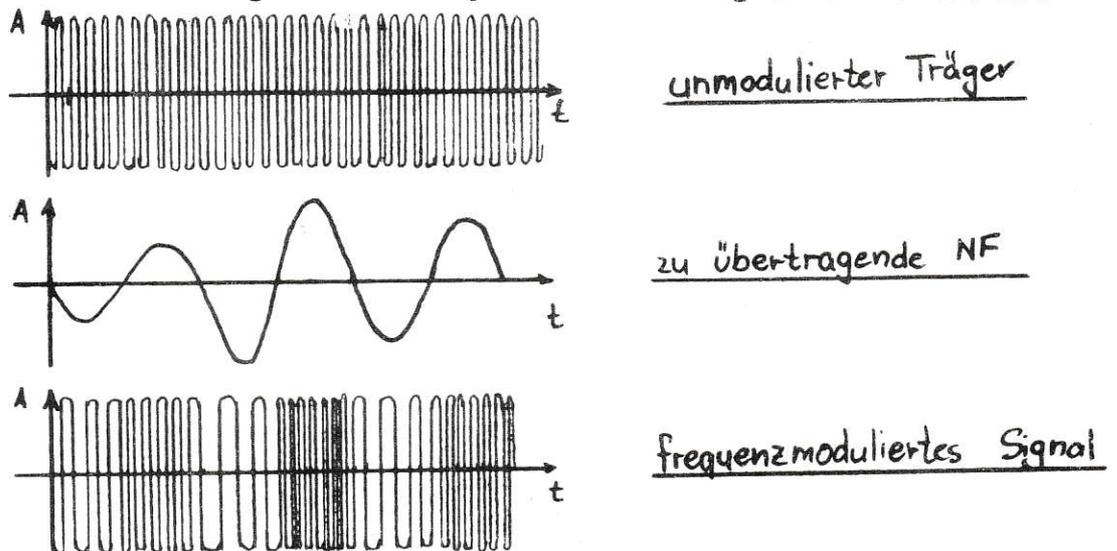
Einseitenbandmodulation, Frequenzmodulation

Da bereits die volle Information in einem Seitenband vorhanden ist, unterdrückt man Träger und das andere Seitenband. So kann man die Sendeleistung vollständig für das informationstragende Signal ausnutzen. Diese Sendart nennt man SSB (Single Side Band). SSB hat weniger als die halbe Bandbreite einer A 3 - Sendung, Dadurch wird der Störanteil bei Empfang geringer. Ferner kann man die bei A 3 für das gesamte Signal aufgewendete Leistung bei SSB auf ein Seitenband konzentrieren. Man erreicht dadurch ca. die vierfache Seitenbandleistung bei gleicher Senderbelastung.



Frequenzmodulation (FM)

Die Modulation erfolgt durch Frequenzveränderung im Takte der NF.



Man unterscheidet wie bei AM verschiedene Sendearten :

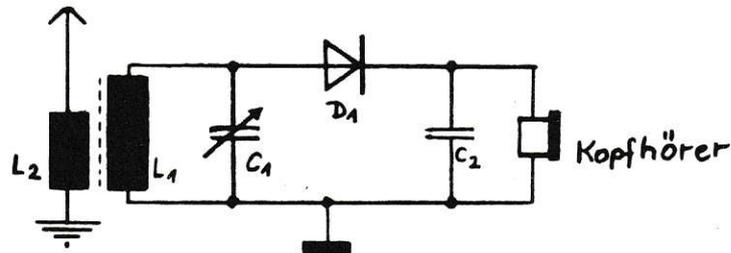
- F 1 Telegrafie (Frequenzumtastung)
- F 2 tonmodulierte Telegrafie
- F 3 Telefonie
- F 4 Bildfunk
- F 5 Fernsehen

Die Sendart F 1 wird bei der Fernschreibtechnik (RTTY) angewendet. Die Information erfolgt durch Frequenzumtastung, d.h. abwechselndes Tasten zweier dicht benachbarter Frequenzen. Jedes Fernschreibzeichen wird so verschlüsselt ähnlich wie ein Morsezeichen dargestellt. Die Frequenzmodulation hat bei Telefonie den Vorzug, daß Störungen in anderen Empfangsanlagen weitgehend vermieden werden (BCI, TVI). Bei einerseits geringem Modulatoraufwand gestattet es die Frequenzmodulation, die Oberstrichleistung des Senders auszunutzen. Störungen im Empfänger, die amplitudenmoduliert sind, können leicht unterdrückt werden (Mobilfunk).

Der Geradeausempfänger

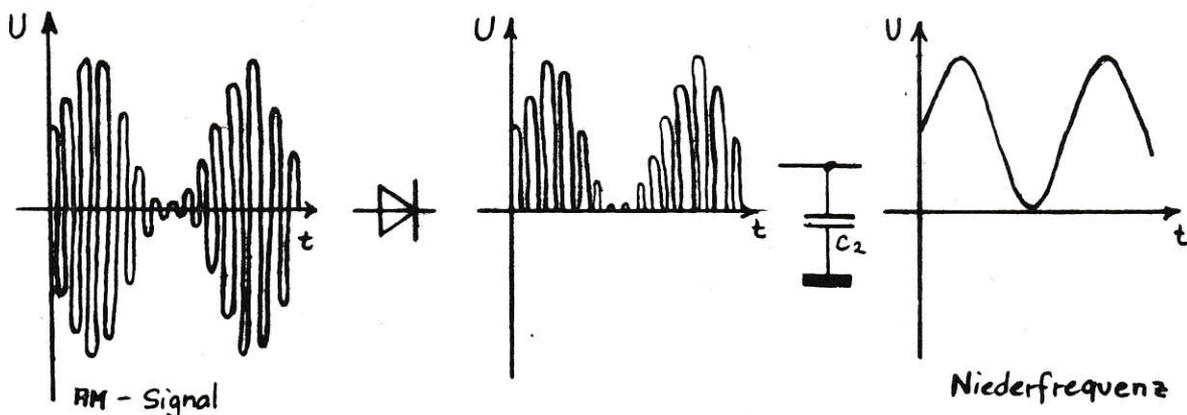
Ein Empfänger hat folgende Aufgaben :

Er muß aus dem Gemisch der Senderfrequenzen (HF), das die Antenne an den Empfängereingang liefert, die gewünschte Frequenz herausuchen. Dann müssen Hochfrequenz und aufmodulierte Niederfrequenz getrennt werden (Demodulation). Anschließend verstärkt man die so gewonnene NF auf den benötigten Wert zum Betrieb eines Kopfhörers oder Lautsprechers.



Alle geforderten Aufgaben erfüllt bei der im Rundfunk gebräuchlichen Sendart A 3 ein Diodenempfänger.

Über die L_2 wird die Hochfrequenz auf den Schwingkreis $L_1 C_1$ gekoppelt. Dieser Schwingkreis hat nur auf seiner Resonanzfrequenz f_{res} einen hohen Widerstand, so daß alle Frequenzen, die nicht f_{res} entsprechen, nach Masse kurzgeschlossen werden. Durch die Einstellung von f_{res} durch den Drehko C_1 ist damit die Senderwahl getroffen. Durch die Diode D_1 wird das Signal demoduliert. C_2 ist so bemessen, daß die restliche HF kurzgeschlossen wird und nur die NF zum Kopfhörer gelangt.

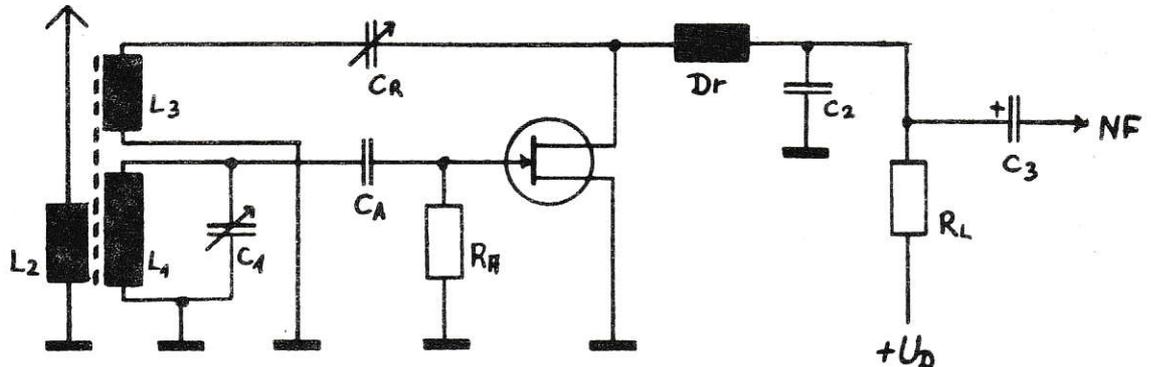


Ein solch einfacher Diodenempfänger hat jedoch wesentliche Nachteile. Ein einziger Schwingkreis erbringt bei weitem nicht die heute erforderliche Trennschärfe. Da die von der Antenne kommende HF überhaupt nicht verstärkt wird, ist dieser Empfänger sehr unempfindlich. Die hinter der Diode anstehende NF reicht unverstärkt auch nur gerade zum Betrieb eines Kopfhörers aus. Ferner ist es nicht möglich, die Sendarten A1, A3j, F1 und F3 zu demodulieren.

Allgemein fällt diese Empfangsschaltung unter die Geradeausempfänger, weil die von der Antenne kommende HF "geradeaus", d.h., ohne Frequenzumsetzung (Mischung) verarbeitet wird. Geradeausempfänger unterteilt man nach der Anzahl ihrer Schwingkreise in Ein-, Zwei- oder Mehrkreiser.

Der Geradeausempfänger

Wesentliche Vorteile erzielt man, wenn an Stelle der Diode eine Audionschaltung zur Demodulation verwendet wird. Mit einem solchen Empfänger ist es auch möglich, A1 und A3j Signale aufzunehmen.



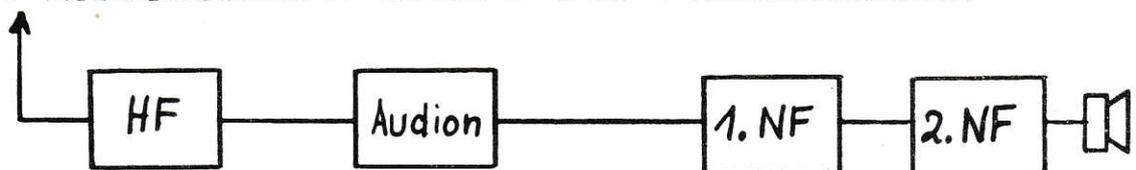
Die HF gelangt über L_2 und den Schwingkreis $L_4 C_A$ durch C_A an das Gate, an dem keine Vorspannung liegt. Die positiven Halbwellen der HF erzeugen also Gatestromstöße, die im Takt der Modulationsfrequenz schwanken. Dieser Strom erzeugt am Gateableitwiderstand R_g Spannungsschwankungen im Takt der Modulationsfrequenz. Diese Spannungsschwankungen am Gate rufen nun entsprechende Drainstromschwankungen hervor. Die Demodulation der HF findet also schon im Gate - Source - Kreis statt, und die so gewonnene NF wird in dem FET bereits verstärkt. Da aber auch verstärkte HF am Drain anliegt, muß diese durch die Drossel D_r und den Kondensator C_2 vom NF - Verstärker ferngehalten werden. Diese HF wird jedoch bei der "Rückkopplung" verwendet. Wie jeder Schwingkreis hat auch der Kreis $L_3 C_A$ Verluste, die Empfindlichkeit und Trennschärfe des Empfängers beträchtlich herabsetzen. Diese Verluste gleicht man aus, indem man einen Teil der verstärkten HF vom Drain über L_3 auf den Gateschwingkreis zurückkoppelt. Den Grad der Rückkopplung stellt man durch C_R ein. Ist die Rückkopplung zu klein, so ist der Schwingkreis noch nicht voll entdämpft und die maximale Empfindlichkeit noch nicht erreicht. Ist die Rückkopplung zu groß, so beginnt das Audion zu schwingen und wirkt selbst als Sender. Die Rückkopplung kann man auch auf andere Art einstellen, z.B. durch Regeln der Drainspannung. Entscheidenden Einfluß auf die Empfindlichkeit haben Gatekondensator C_A und Gateableitwiderstand R_g . In der KW - Technik erhält man gute Ergebnisse mit $C_A = 100\text{pF}$ und $R_g = 10\text{k}\Omega$.

Zur Erzielung einer lautereren Kopfhörerwiedergabe wird vielfach ein einfacher NF - Verstärker hinter das Audion geschaltet.

Bei Funkamateuren ist die Bezeichnungsweise für Geradeausempfänger üblich, wie folgendes Beispiel zeigt :

1 - V - 2

1 HF - Verstärkerstufe - Audion - 2 NF - Verstärkerstufen



Der Superhetempfänger

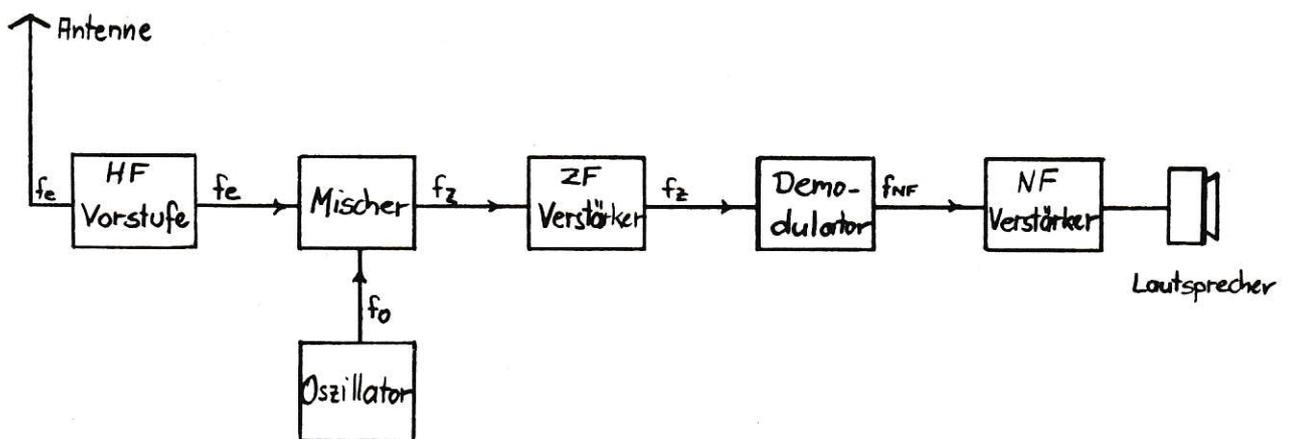
Einen beachtlichen Nachteil des Geradeausempfängers bilden die nicht ausreichende Trennschärfe und die etwas umständliche Bedienung der Rückkopplung. Höchste Trennschärfe gestattet nur der Superhet, der ohne Rückkopplung arbeitet.

Nach der HF - Vorstufe folgt im Überlagerungsempfänger eine Mischstufe. Dieser Mischstufe wird außer der Eingangsfrequenz f_e eine Hilfsfrequenz f_o zugeführt. Die Hilfsfrequenz erzeugt man in einer eigenen Baustufe, dem Oszillator. Im Ausgangskreis der Mischstufe entstehen nun alle möglichen Kombinationsfrequenzen von f_e und f_o . Eine dieser Kombinationsfrequenzen, die sog. Zwischenfrequenz f_z , wird in den ZF - Stufen weiter verstärkt. Danach folgt der Demodulator, für den in der Regel Diodengleichrichtung gewählt wird. Die entstehende NF führt man einem Niederfrequenzverstärker zu. Bei der Abstimmung wendet man folgendes Prinzip an. Man läßt die Oszillatorfrequenz f_o im konstanten Abstand mit der Eingangsfrequenz f_e mitlaufen. Dieser konstante Abstand ist die Zwischenfrequenz f_z . Es gibt folgende Kombinationen, von denen eine gewählt wird :

$$\begin{aligned} f_z &= f_e - f_o \\ f_z &= f_e + f_o \\ f_z &= f_o - f_e \end{aligned}$$

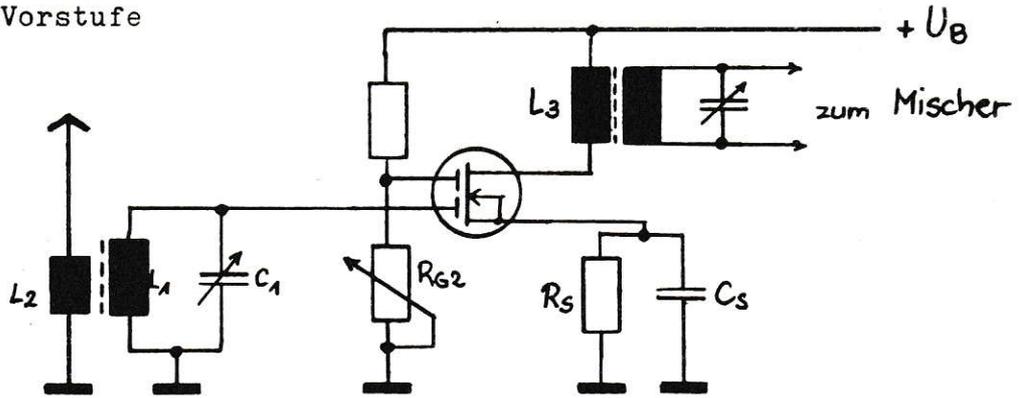
Der nachfolgende ZF - Verstärker braucht nur für die feste Frequenz f_z eingerichtet zu werden. Alle Abstimmkreise werden nur einmal fest eingestellt. Nur die Eingangskreise und der Oszillatorkreis erhalten eine variable Abstimmung. Durch diesen Aufbau erreicht man für alle Eingangsfrequenzen gleiche Verstärkung und Trennschärfe. Die Höhe der Zwischenfrequenz ist prinzipiell gleichgültig. Je niedriger sie ist, desto leichter erreicht man große Verstärkung und Trennschärfe in einer Stufe, jedoch nehmen dann Störungen durch unerwünschte Mischprodukte zu.

Blockschaltbild eines Einfachsupers



Der Superhetempfänger

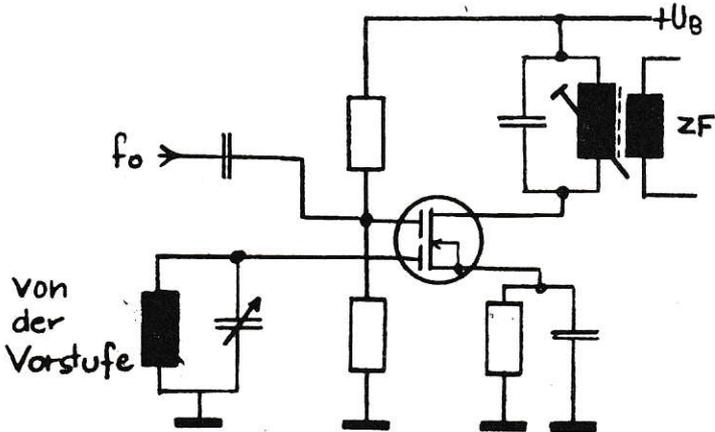
Die HF - Vorstufe



Sie ist wie in einem Geradeempfänger aufgebaut und enthält meist einen Schwingkreis $L_1 C_1$, in den die Antennenenergie durch L_2 gekoppelt wird. Das Gate macht man negativ, indem man Source durch R_S und C_S etwas positiver als Masse macht und Gate 1 über L_1 auf Massepotential belädt. Mit R_{G2} läßt sich die Verstärkung durch Verstellen der Gate 2-Spannung regeln. Ausgekoppelt auf die nächste Stufe wird durch L_3 .

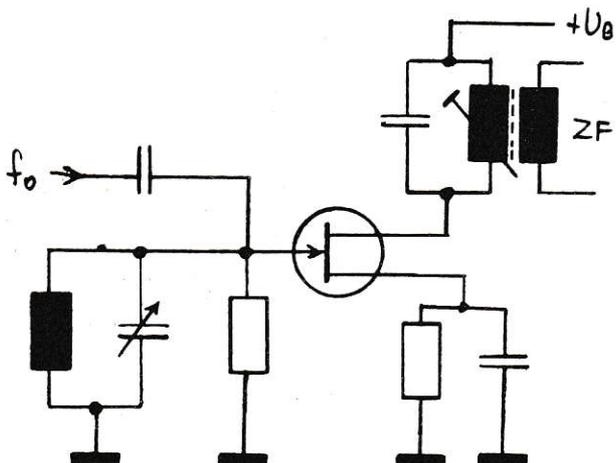
Der Mischer

Dem Mischer werden die Eingangsfrequenz f_e und die Oszillatorfrequenz f_o zugeführt und dort gemischt, um die gewünschte Zwischenfrequenz f_z zu erhalten. Man unterscheidet zwei Arten der Mischung.



1 multiplikative Mischung

f_e und f_o werden zwei verschiedenen Gates eines FETs zugeführt. Im Drainkreis treten dann die Mischprodukte auf. Vorteil ist die geringe Rückwirkung auf den Oszillator.

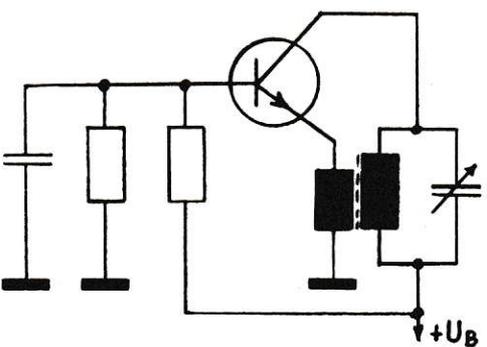


2 additive Mischung

Man führt f_e und f_o demselben Gate zu. Die Mischprodukte erhält man ebenfalls im Drainkreis. Vorteile gegenüber der multiplikativen Mischung sind höhere Verstärkung und geringeres Rauschen. Nachteil ist die größere Rückwirkung auf den Oszillator (Mitnahmeeffekt). Diese Rückwirkung kann man durch lose Ankopplung des Oszillators jedoch sehr gering machen. In KW - Spitzenempfängern nimmt man deshalb meist diese Mischungsart.

Der Superhetempfänger

Der Oszillator

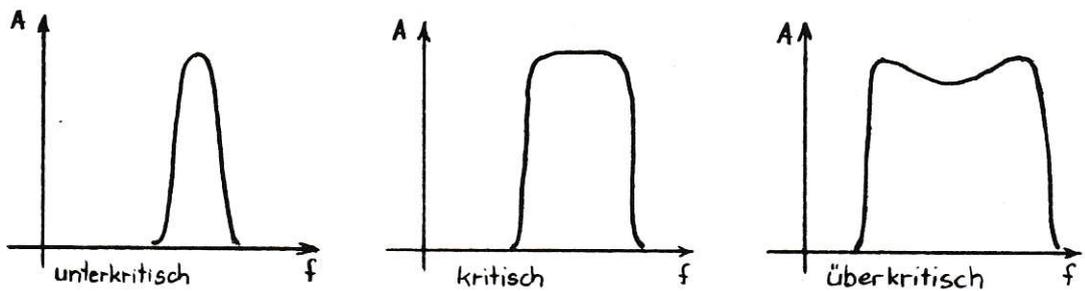


Der Oszillator hat die Aufgabe, die bereits erwähnte Hilfsfrequenz zu erzeugen (f_0). Es handelt sich also um einen kleinen Hilfssender, der sich in der Schaltungstechnik mit dem Senderoszillator deckt. Näheres zur Schaltungstechnik folgt im Kapitel Sender.

Meißner - Oszillator in Basisschaltung

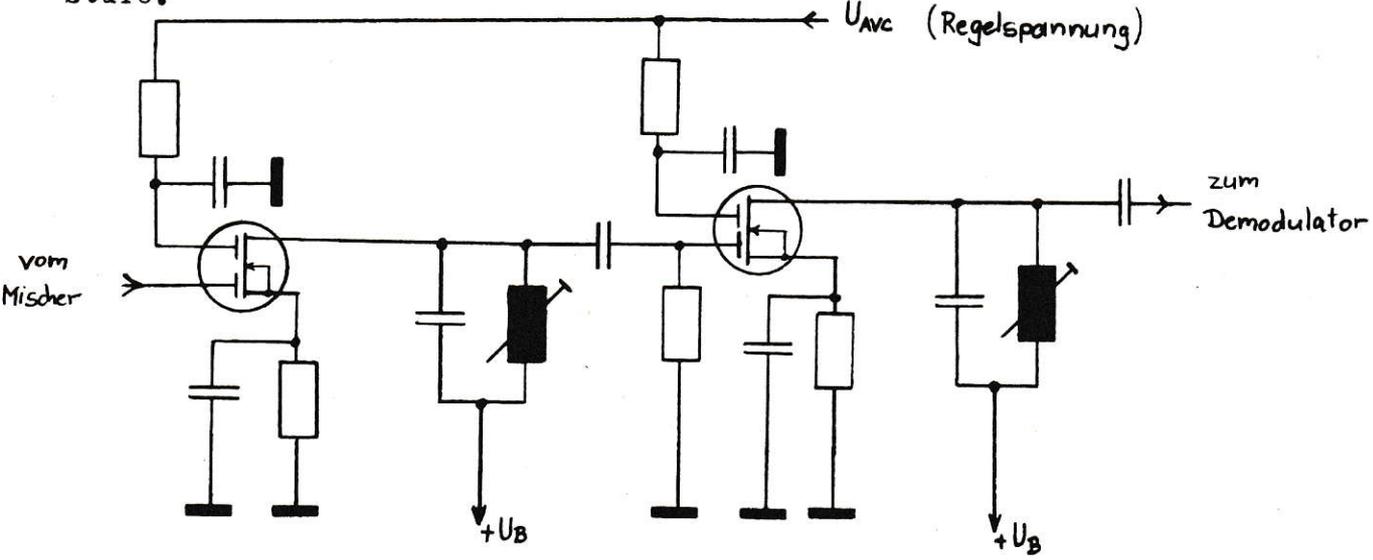
Der Zwischenfrequenzverstärker

Der ZF-Verstärker hat die Aufgabe, die im Mischer zur ZF umgesetzte Eingangsfrequenz auf einen genügend hohen Wert zu verstärken. Die Trennschärfe des ZF-Verstärkers ist hauptsächlich maßgebend für die Gesamttrennschärfe des Empfängers. Da man sowohl schmale Telegrafie- und SSB- als auch breitere AM- und noch breitere FM-Signale aufnehmen will, ist eine umschaltbare Bandbreite wünschenswert. Eine geringe Bandbreite erreicht man durch eine große Anzahl von ZF-Kreisen, die lose gekoppelt sind. Wünscht man große Bandbreite, so koppelt man die ZF-Kreise fester (kritisch oder überkritisch).



Hohe Trennschärfe erreicht man auch durch spezielle Filter (z.B. Quarzfilter, keramische Filter oder mechanische Filter), die von hoher Güte, aber auch sehr teuer sind.

Um am Ausgang des ZF-Verstärkers ein von der Stärke des Eingangssignals unabhängiges ZF-Signal zu erhalten, regelt man den ZF-Verstärker. Am Demodulator gewinnt man eine vom ZF-Signal abhängige negative Spannung. Diese gibt man auf das Gate oder die Basis der ZF-Transistoren. So ändert man die negative Vorspannung und damit die Verstärkung der Stufe.

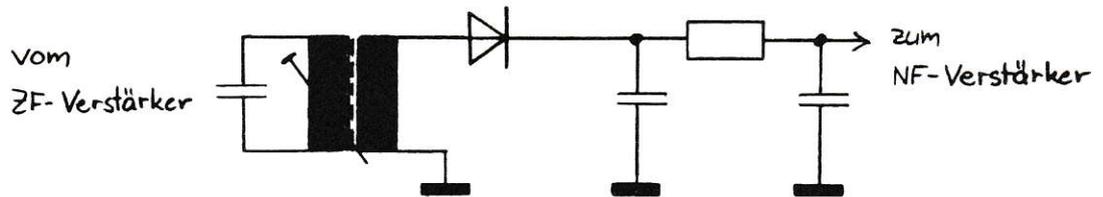


Der Superhetempfänger

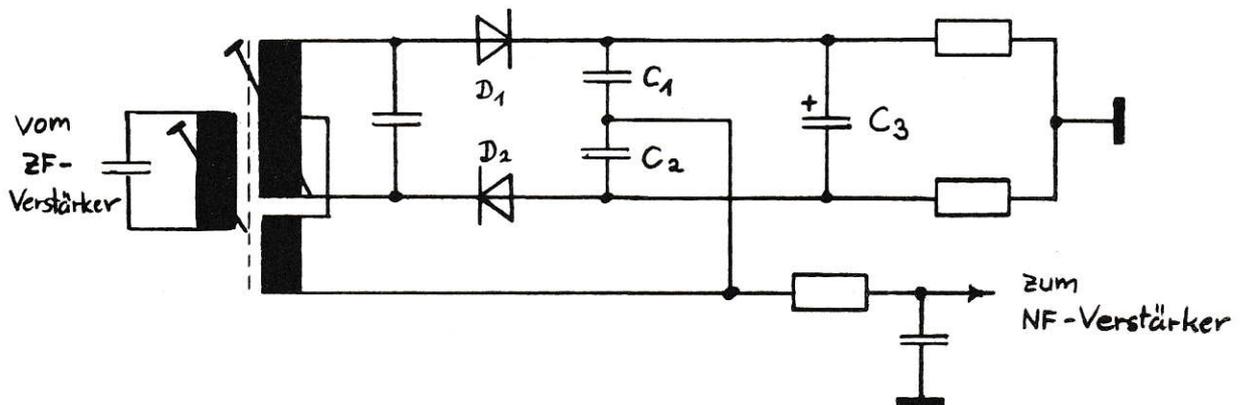
Der Demodulator

Er hat die Aufgabe, das auf die HF aufmodulierte NF- bzw. CW-Signal wieder zurückzugewinnen. Diesen Vorgang nennt man Demodulation.

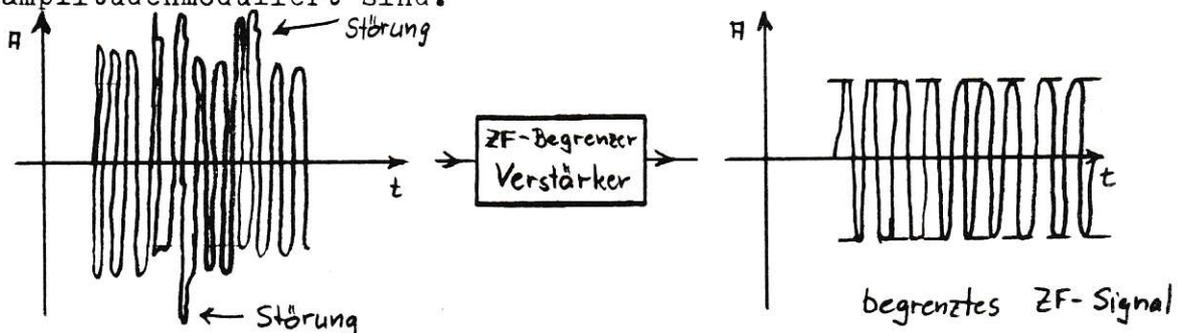
Aufgrund der verschiedenen Sendearten benötigt man auch unterschiedliche Demodulationsschaltungen. Am einfachsten läßt sich ein Demodulator für A2- und A3- Signale aufbauen. Man wendet hier wie beim Diodenempfänger Diodendemodulation an :



Eine verbreitete Schaltung zur Demodulation von F3- Signalen ist der Ratio - Detektor.

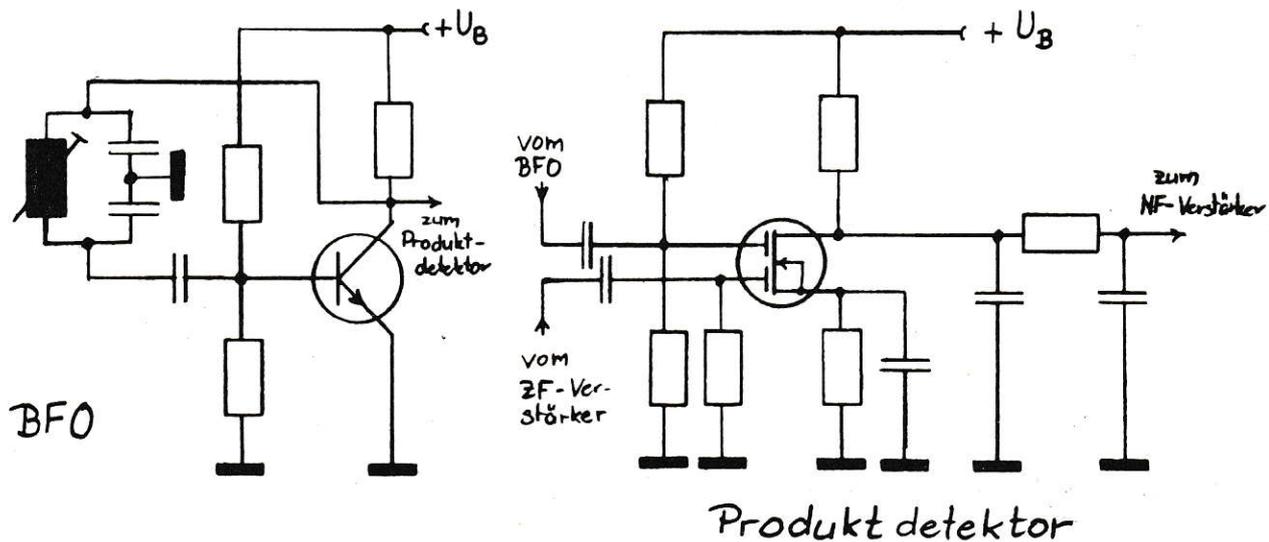


Die Schaltung und ihre Funktion ist für den Newcomer etwas unübersichtlich. Man kann allgemein dazu sagen, daß die NF zurückgewonnen wird durch entsprechendes Aufladen von C_1 und C_2 durch die Dioden D_1, D_2 . Dabei wird die Gesamtspannung über C_1, C_2 durch den Elko C_3 konstant gehalten, so daß sich die NF als Spannungsschwankung am Verbindungspunkt C_1, C_2 ergibt. Bei speziellen FM - Geräten ist außer dem Demodulator auch der ZF - Verstärker etwas anders aufgebaut. Man nimmt dort sog. begrenzende Verstärker, die wesentlich zur Störunterdrückung (Mobilfunk) beitragen, da fast alle Störungen amplitudenmoduliert sind.



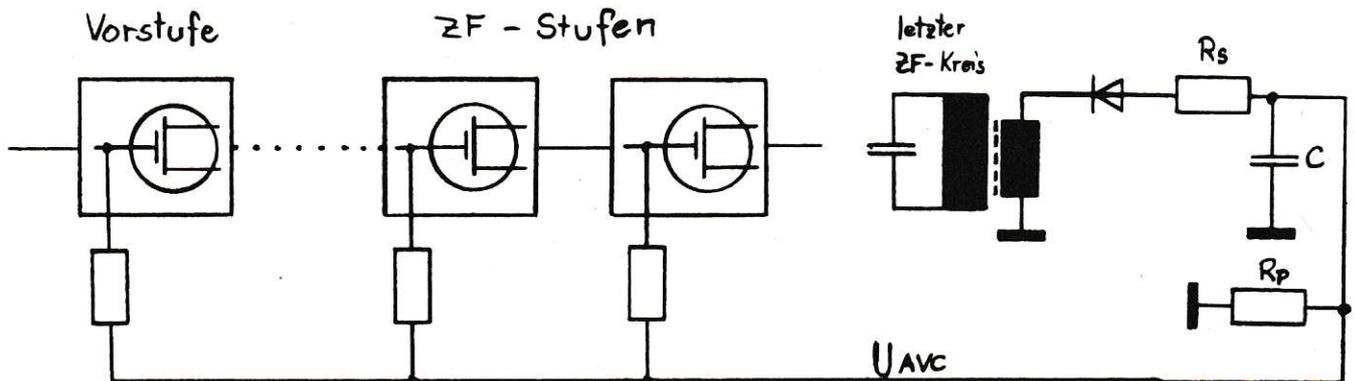
Der Superhetempfänger

Etwas aufwendig ist die Schaltung zur Demodulation von A1- und A3j- Signalen. Man muß dabei bedenken, daß dem A1- bzw. A3j- Signal im richtigen Frequenzabstand ein Träger zugemischt wird. Dazu benötigt man einen Trägeroszillator (BFO = Beat Frequency Oscillator) und eine Mischstufe (Produkt-detektor). Am Ausgang des Produkt-detektors erhält man bei A1 einen Ton, der der Differenz von BFO - Frequenz und Zwischenfrequenz entspricht. Bei A3j steht dort bereits die fertige NF an.



Die automatische Regelung (AVC)

Um bei kleinen und großen Feldstärken eine nahezu gleichgroße Wiedergabelautstärke zu erreichen, vermindert man bei starken Signalen die Verstärkung der HF- und ZF- Stufen durch die AVC = Automatic Volume Control. Diese Verstärkungsregelung erfolgt automatisch durch eine negative Spannung, die nach der letzten ZF- Stufe gewonnen wird. Diese Spannung gibt man auf Basis oder Gate der zu regelnden Stufen. Je größer die Feldstärke ist, desto größer ist die ZF - Spannung nach der letzten ZF - Stufe, desto negativer ist die gewonnene AVC - Spannung und desto mehr wird die Verstärkung heruntergeregelt.



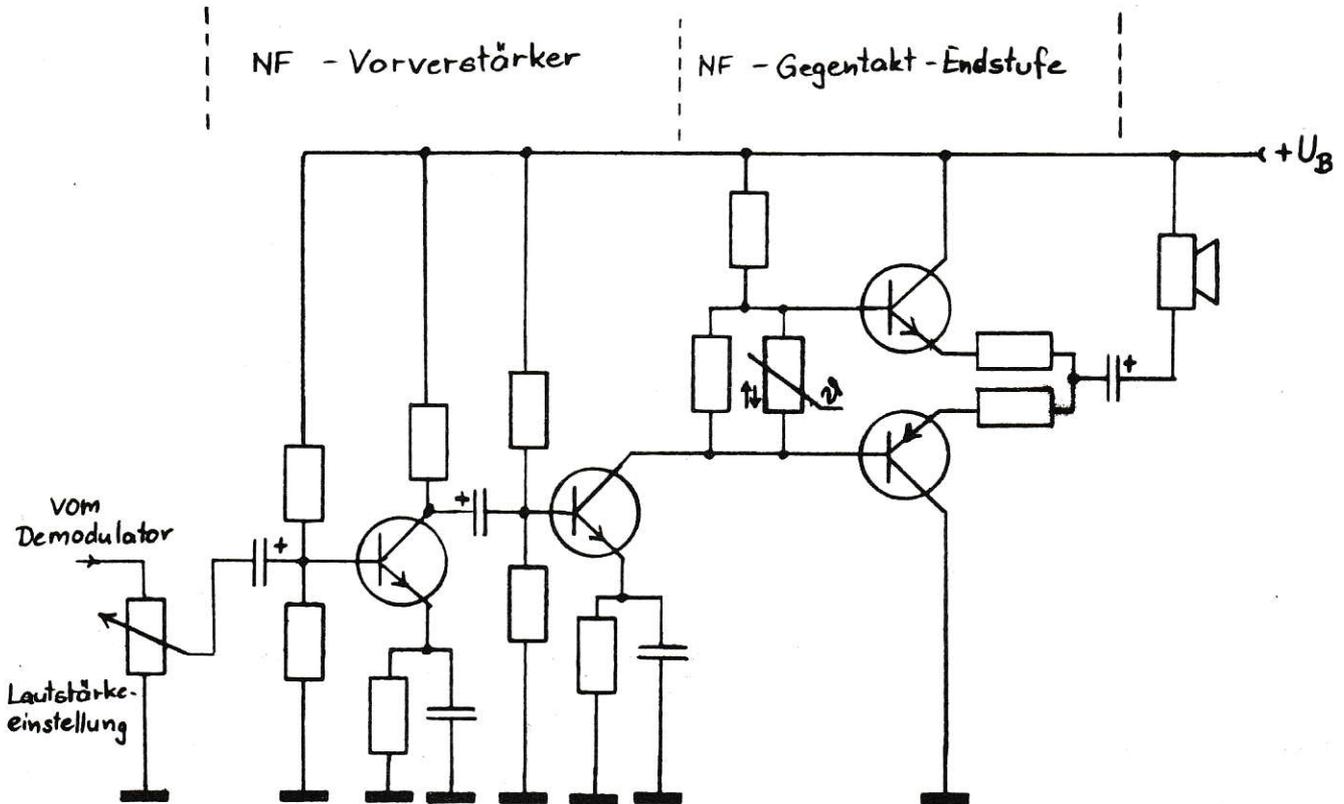
R_s bestimmt die Ansprechgeschwindigkeit der Regelung

R_p bestimmt die Anhaltezeit der Regelung

Der Superhetempfänger

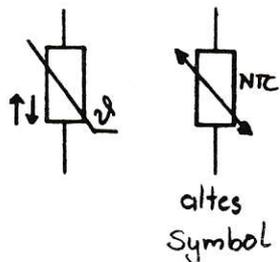
Der NF - Verstärker

Das vom Demodulator kommende NF - Signal wird hier auf die benötigte Lautsprecherstärke gebracht. Bei Amateurgeräten genügt in der Regel eine Leistung von 1...2 W. Um diese zu erzeugen, baut man Transistorverstärker mit Gegentakt - Endstufen.

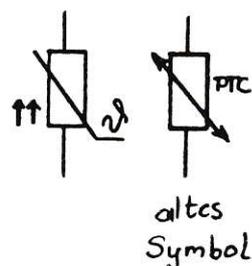


Auf einen zweistufigen Spannungsverstärker, der keine Besonderheiten gegenüber bisher erwähnten Schaltungen aufweist, folgt die Gegentakt - Endstufe. Heutzutage verwendet man dazu fast ausschließlich Komplementärtransistoren. Das ist ein Pärchen Transistoren, das aus einem NPN- und einem PNP- Transistor mit genau gleichen Daten besteht. Diese Transistoren sind als Emitterfolger (Kollektorschaltung) geschaltet. Die vom Vorverstärker gelieferte NF steuert mit ihrer positiven Halbwelle nur den NPN - Transistor auf und mit ihrer negativen Halbwelle nur den PNP - Transistor. Durch diesen Schaltungstrick spart man den sonst bei Gegentaktverstärkern notwendigen Ausgangstrafo mit Mittelanzapfung. Der recht niederohmige Lautsprecher (4...8Ω) ist an diese Schaltung ohne Schwierigkeiten angepaßt. Der Widerstand mit dem Doppelpfeil ist ein NTC - Widerstand, der seinen Wert bei Temperaturerhöhung verkleinert. Er dient zur Stabilisierung des Arbeitspunktes.

NTC - Widerstand



PTC - Widerstand



Der Superhetempfänger

Frequenzplan eines Superhet

Empfangen werden soll das 80 m - Band.

$$f_e = 3,5 \dots 3,8 \text{ MHz}$$

Die Zwischenfrequenz ist durch ein Quarzfilter auf 9 MHz festgelegt.

$$f_z = 9 \text{ MHz}$$

Daraus ergibt sich für die Oszillatorfrequenz :

Bandanfang :

$$f_o = f_z + f_e$$

$$f_o = 9 \text{ MHz} + 3,5 \text{ MHz} = 12,5 \text{ MHz}$$

Bandende :

$$f_o = f_z + f_e$$

$$f_o = 9 \text{ MHz} + 3,8 \text{ MHz} = 12,8 \text{ MHz}$$

Der Oszillator muß also einen Abstimmbereich haben von :

$$f_o = 12,5 \dots 12,8 \text{ MHz}$$

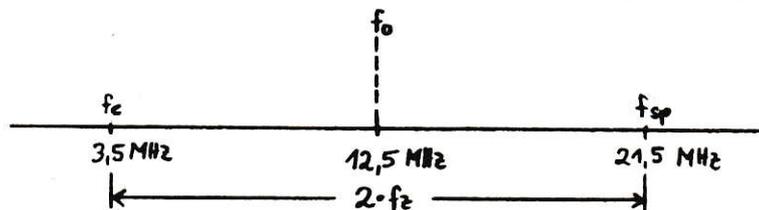
Bei einem Empfänger, der nach diesem Schema aufgebaut ist, können folgende Störungen auftreten :

1. Spiegelfrequenzen.

Nicht nur die Eingangsfrequenz $f_e = 3,5 \dots 3,8 \text{ MHz}$ ergibt zusammen mit f_o die ZF, sondern auch die Eingangsfrequenz $f_{sp} = 21,5 \dots 21,8 \text{ MHz}$ aufgrund folgenden Mischproduktes :

$$f_z = f_{sp} - f_o = \begin{array}{l} 21,5 \text{ MHz} - 12,5 \text{ MHz} \\ 21,8 \text{ MHz} - 12,8 \text{ MHz} \end{array} = 9 \text{ MHz}$$

Die Skizze verdeutlicht den Ausdruck " Spiegelfrequenz " :



Man vermeidet diese Störungen durch möglichst hohe Trennschärfe im HF - Vorverstärker.

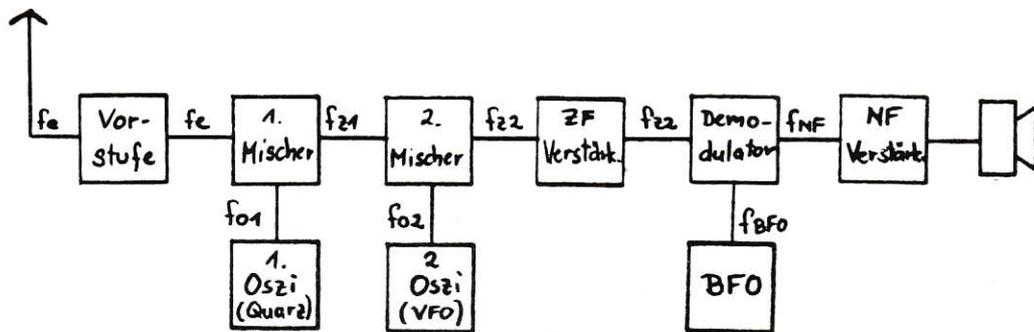
2. Eine weitere Störmöglichkeit ist durch Sender im Bereich der ZF gegeben, die durch Vor- und Mischstufe durchschlagen. Dieses verhindert man durch Einbau von Saugkreisen (Leitkreise) am Antenneneingang.

3. Starke Sender, die dem Eingangssignal benachbart sind, können Kreuz- oder Intermodulation hervorrufen oder sogar den Empfänger völlig "zustopfen". Diese Störungen sind bedingt durch die gekrümmten Kennlinien der Transistoren und durch Übersteuerung. Solche Störungen sind nur durch Verminderung des Empfängereingangspiegels zu verhindern.

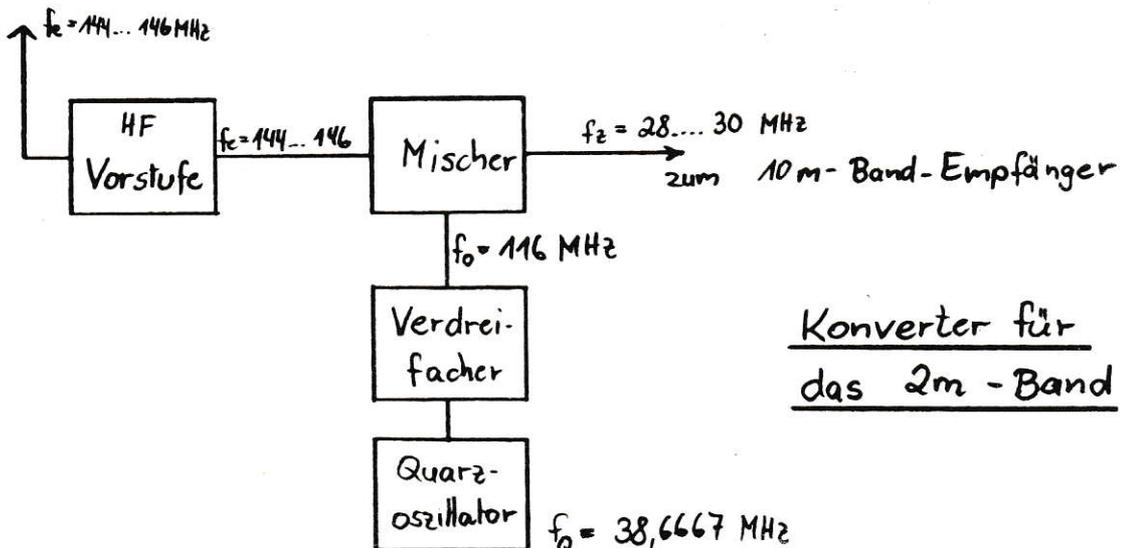
Mehrfachsuper und Konverter

Obwohl sich der Einfachsuper durchzusetzen beginnt, wird auch heute noch viel das Doppelsuperprinzip angewendet. Im Doppelsuper wird zunächst auf eine hohe ZF umgesetzt. Dadurch erreicht man einen großen Spiegelfrequenzabstand, d.h., eine hohe Spiegelfrequenzsicherheit. Man erreicht eine hohe Frequenzstabilität, wenn man den ersten Oszillator als Quarzoszillator ausführt und den zweiten durchstimmbaar macht. Oszillatoren sind nämlich bei niedrigen Frequenzen frequenzstabiler als bei hohen. Da beim Umschalten der Bänder nur der Quarzoszillator umgeschaltet wird, bleibt die Skaleneichung für alle Bänder gleich. Die niedrigere zweite ZF gewährleistet hohe Trennschärfe und Verstärkung bei geringer Anzahl von Kreisen und Verstärkerstufen. Ein Doppelsuper hat jedoch entscheidende Nachteile. Zunächst verlangt er einen höheren technischen Aufwand als ein Einfachsuper. Durch die doppelte Mischung erhöht sich die Gefahr, daß Fehlmischungen und Pfeifstellen auftreten. Drei- und Mehrfachsuper sind kaum gebräuchlich, da sie gegenüber einem Doppelsuper kaum noch Vorteile bringen. Man wendet sich heute wieder mehr dem Einfachsuper mit hoher ZF (9MHz) zu. Die erwünschte Trennschärfe erreicht man dann z.B. durch ein Quarzfilter.

Blockschaltbild eines Doppelsupers :



Will man z.B. mit einem 10m-Band-Empfänger das 2m-Band empfangen, so benötigt man dazu einen Konverter, der die Eingangsfrequenz 144...146MHz umsetzt auf 28...30MHz. Ein Konverter gleicht in seinem Aufbau den ersten Stufen eines Superhets. Die hohe Oszillatorfrequenz wird durch Verdreifachung aus einem Quarzoszillator gewonnen.

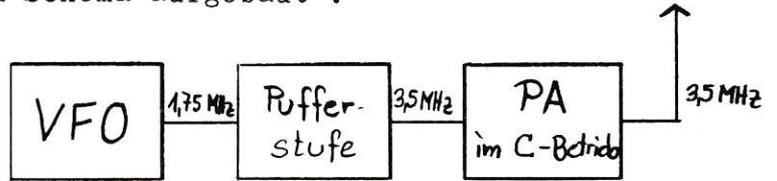


Konverter für
das 2m - Band

Der Sender

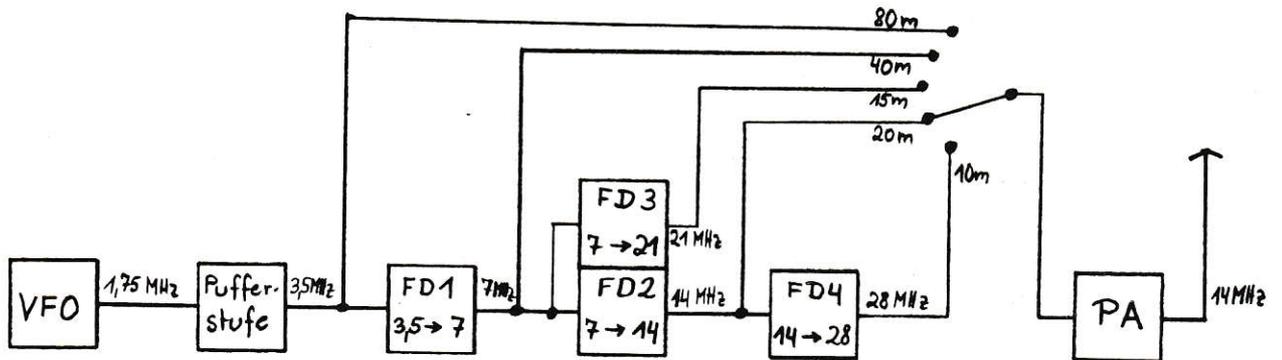
Für die Betriebsarten A1, A2, A3, sowie F1 und F3 ist ein Amateurfunksender meist nach folgendem Schema aufgebaut :

Sender für ein Band :



Die erste Stufe dieses Senders ist der VFO (Variable Frequency Oscillator). Er erzeugt eine in der Frequenz einstellbare Schwingung z.B. auf 3,5...3,8MHz. Vorteilhaft für Stabilität und Rückwirkungsfreiheit ist es jedoch, den VFO auf der halben Frequenz laufen zu lassen und dann die Frequenz in der Pufferstufe zu verdoppeln. Die Pufferstufe hat außerdem die Aufgabe, den VFO weitgehend von der übrigen Schaltung abzuschirmen bezüglich Belastungsschwankungen und anderen Rückwirkungen. Die Endstufe (PA = Power Amplifier) soll die HF auf die gewünschte Ausgangsleistung verstärken.

Sender für die fünf Kurzwellenbänder :

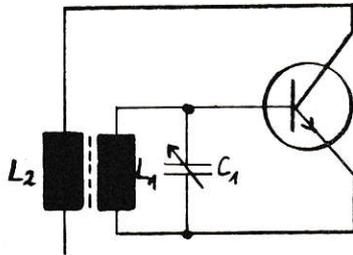


In diesen Sender sind zwischen Pufferstufe und PA weitere Vervielfacherstufen eingefügt. Es fällt besonders auf, daß aus dem 80m-Band (3,5...3,8MHz) das 40m-Band (7,0...7,1MHz) durch Verdoppeln der Frequenz hervorgeht. Das geschieht im ersten Verdoppler FD 1. Aus dem 40m-Band gewinnt man wiederum durch Verdoppeln das 20m-Band (14,0...14,35MHz) im Verdoppler FD 2 bzw. durch Verdreifachen das 15m-Band (21,0...21,45MHz) im Verdreifacher FD 3. Das 10m-Band (28,0...29,7MHz) geht wiederum durch Verdoppeln aus dem 20m-Band hervor (FD 4).

Die Frequenzvervielfacher erzeugen keine nennenswerte HF-Leistung. Sie dienen nur zum Vervielfachen. Bei Betrieb im 80m-Band werden sie in diesem Sender nicht benötigt. Bei 40m-Betrieb nur FD 1. Bei 20m-Betrieb braucht man FD 1 und FD 2 als Verdoppler, bei 15m-Betrieb ist FD 1 als Verdoppler und FD 3 als Verdreifacher geschaltet. Bei 10m-Betrieb arbeiten FD 1, FD 2 und FD 4 als Verdoppler

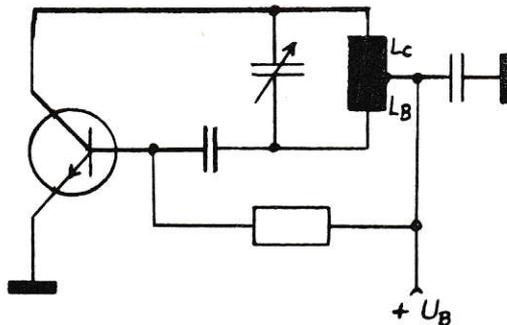
Der Sender

Der VFO (Oszillator)



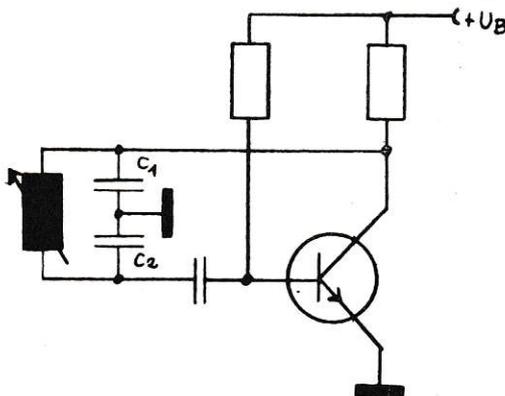
Ein Oszillator dient zur Erzeugung elektrischer Schwingungen. Diese erhält man durch Anwendung des Rückkopplungsprinzips. Die im Basiskreis $L_1 C_1$ entstehende Schwingung ruft im Kollektorkreis einen entsprechend größeren Wechselstrom hervor, der über die Rückkopplungsspule L_2 wieder eine Wechselspannung im Basiskreis induziert, die phasenrichtig zur Basiswechselspannung liegen muß. Auf dieses Prinzip lassen sich alle folgenden Oszillatorbauformen zurückführen.

1. Hartley-Oszillator



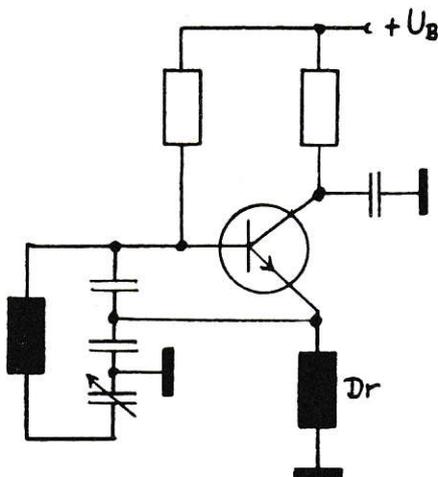
Die Induktivität des Schwingkreises setzt sich aus der Kollektorkreisinduktivität L_c und der Basiskreisinduktivität L_b zusammen. Die Spulenzapfung wird HF-mäßig auf 0-Potential (Masse) gelegt. Dadurch ergibt sich die phasenrichtige Lage von $U_B \sim$ und $U_C \sim$. Der Grad der Rückkopplung wird durch die Lage der Zapfung bestimmt.

2. Colpitts-Oszillator



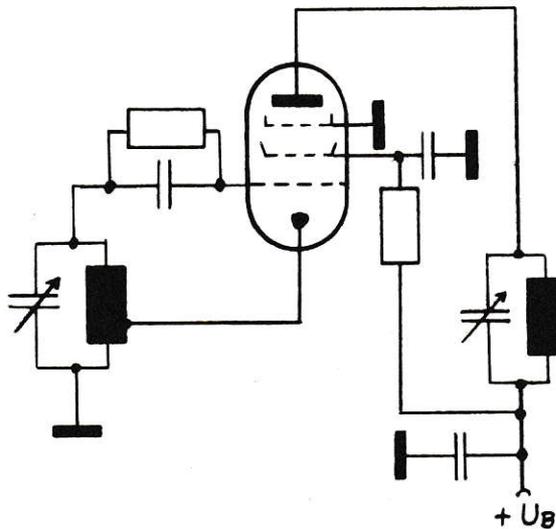
Beim Colpitts wird die Rückkopplungsspannung durch eine kapazitive Spannungsteilung hergestellt. Der Rückkopplungsgrad wird durch das Kapazitätsverhältnis $C_1 C_2$ bestimmt. Die Abstimmung erfolgt durch Verschieben des Spulenkerns (Variometer).

3. Clapp-Oszillator

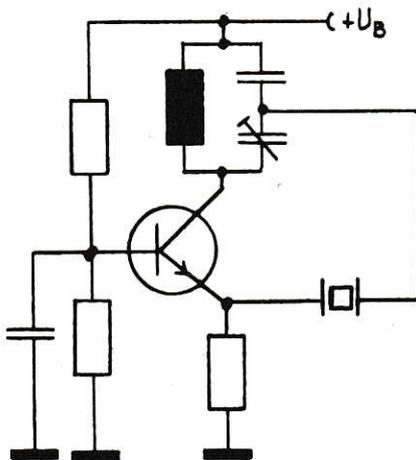


Dieser Oszillator ist ähnlich aufgebaut wie ein Colpitts-Oszillator. Die Abstimmung erfolgt jedoch hier durch einen zusätzlich eingefügten Drehkondensator. Außerdem erfolgt die Rückkopplung über den Emitter.

Der Sender

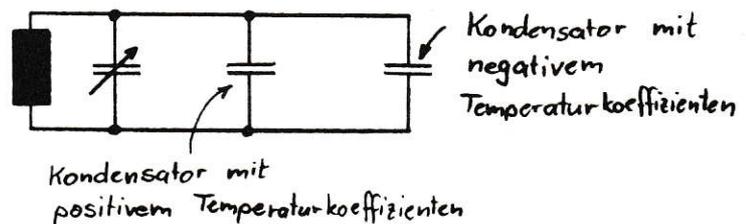


4. Eco (Elektronengekoppelter Oszillator)
 Beim Aufbau eines Eco verwendet man eine Pentode mit herausgeführtem Bremsgitter. Der Gitterkreis schwingt als Hartley in Kathodenrückkopplung. Das Schirmgitter liegt HF-mäßig auf 0-Potential und dient als Hilfsanode. Der größte Teil der Elektronen fliegt jedoch weiter zur Anode und baut am Anodenschwingkreis eine entsprechende Resonanzspannung auf. Steuergitter- und Anodenkreis sind nur durch den Elektronenstrom gekoppelt (Eco). Daher sind die Rückwirkungen gering, so daß die Schaltung sehr stabil arbeitet. Die Verstärkung der Röhre kommt voll zum Tragen. Außerdem sind die Oberwellen verhältnismäßig stark ausgeprägt.



5. Quarzoszillator
 Frequenzbestimmendes Bauelement ist hier der Quarz, der sich wie ein Serienresonanzkreis verhält. Er liegt im Rückkopplungszweig eines Oszillators und schwingt auf einem ungradzahligen Vielfachen seiner Grundfrequenz (Oberton). Auf diesen Oberton muß der Schwingkreis abgestimmt werden, um den Oszillator zum Schwingen zu bringen. Quarzoszillatoren zeichnen sich durch sehr hohe Frequenzkonstanz aus.

Temperaturkompensierter Schwingkreis

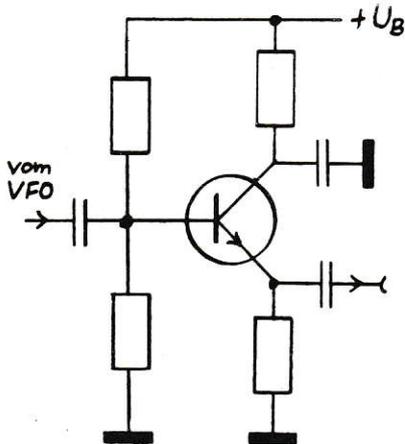


Frequenzkonstanz

Für die Frequenzkonstanz des Senders ist ausschließlich der Oszillator verantwortlich. Wird kein Quarzoszillator verwendet, sondern ein VFO, so muß man diesen besonders sorgfältig aufbauen. Mechanische Stabilität ist ebenso wichtig, wie eine gute Stabilisierung der Betriebsspannungen. Ferner ist zu beachten, daß z.B. Kondensatoren bei Temperaturerhöhung ihre Kapazität vergrößern (positiver Temperaturkoeffizient) oder verkleinern (negativer Temperaturkoeffizient). Das führt zu Frequenzverschiebungen. Daher muß man den VFO entweder in einen Thermostaten einbauen oder durch Verwendung von Kondensatoren verschiedener Temperaturkoeffizienten mit einer Temperaturkompensation versehen. Rückwirkungsfreie Auskoppelung gewährleistet eine Pufferstufe. Zusätzliche Sicherheit erreicht man durch Verblockung aller nicht betriebsmäßig HF-führenden Leitungen.

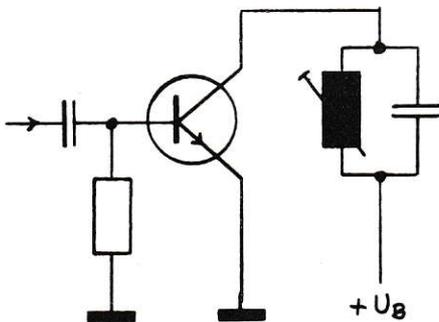
Der Sender

Die Pufferstufe



Sie hat die Aufgabe, Rückwirkungen auf den VFO durch Belastungsänderungen zu verhindern. Man fordert keine besondere Verstärkung von ihr. Dazu eignet sich eine Stufe in Kollektorschaltung. Sie ist i. a. aperiodisch aufgebaut, d. h. sie enthält keine frequenzbestimmenden Bauteile (Schwingkreise).

Der Frequenzvervielfacher



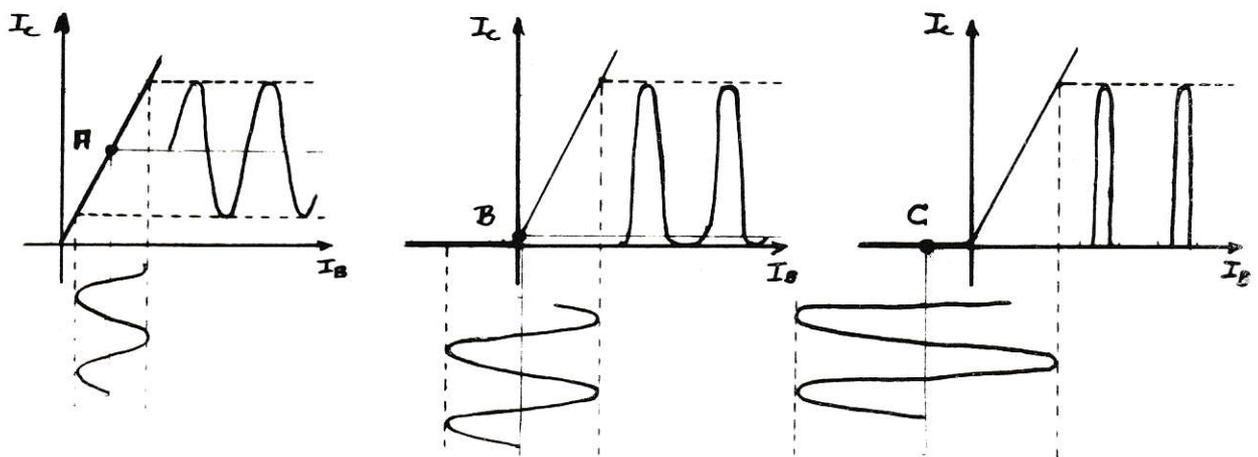
Die Frequenzvervielfachung macht von der Tatsache gebrauch, daß jede nicht reine Sinusschwingung zerlegt werden kann in eine Reihe von Sinusschwingungen, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Frequenz der ursprünglichen Schwingung sind. Eine Frequenzvervielfacherstufe erzeugt durch Verzerrung der Eingangsspannung Oberschwingungen, aus denen man sich die gewünschte durch den entsprechend abgestimmten Kollektorschwingkreis aussieht. Daher eignen sich hier besonders B- und C-Verstärker.

Um das deutlich zu machen, soll der Verstärkungsprozess in den drei Betriebspunkten noch einmal genau erläutert werden.

A- Betrieb: Der Arbeitspunkt liegt in der Mitte des geradlinigen Teils der Steuerkennlinie. Übersteuerungen werden vermieden. Der Kollektorwechselstrom ist ein unverzerrtes Abbild des Basiswechselstroms. Der Wirkungsgrad beträgt ca. 50%.

B- Betrieb: Der Arbeitspunkt liegt im unteren Kennlinienknick. Im Gegensatz zum A-Verstärker ist die Ansteuerung unsymmetrisch. Es entstehen verzerrte Kollektorstromschwankungen. Wirkungsgrad ca. 70%.

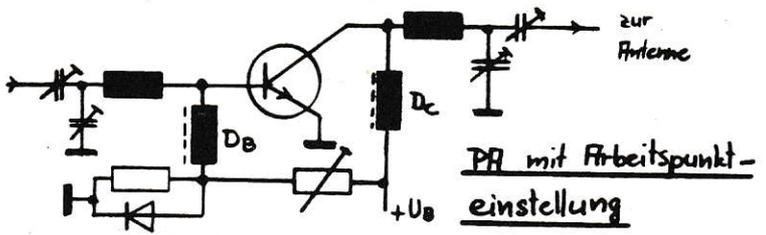
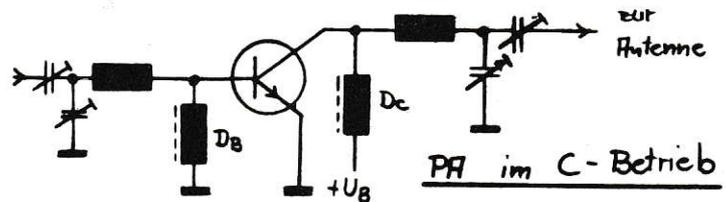
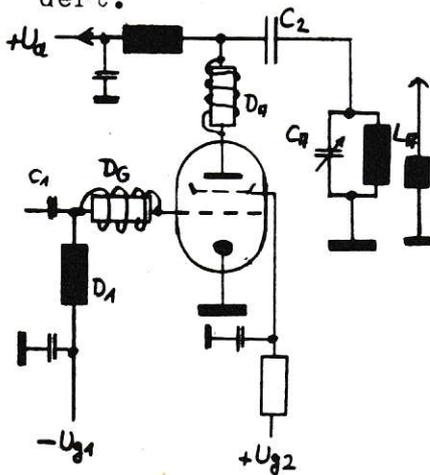
C- Betrieb: Der Arbeitspunkt liegt noch weiter als beim B-Betrieb im negativen Bereich. Die Verzerrung der Kollektorstromschwankungen ist noch größer. Wirkungsgrad ca. 80%.



Der Sender

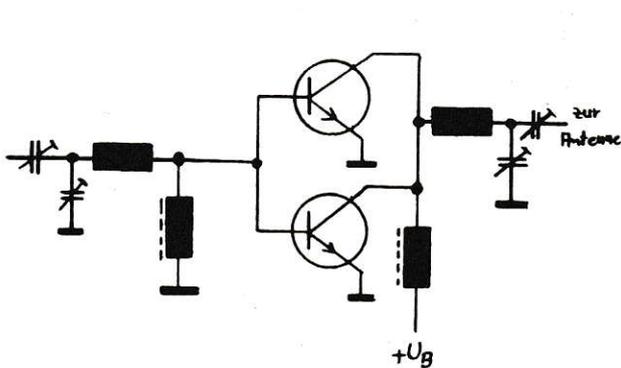
Die Endstufe (PA)

Die PA ist ein Hochfrequenzleistungsverstärker. Bei Ausgangsleistungen bis ca. 100W wird der Transistor als verstärkendes Bauelement benutzt, für höhere Leistungen jedoch behauptet sich auch heute noch die Elektronenröhre. Beste Leistungsverstärkung ergeben Stufen in Emitter-schaltung bzw. Kathodenbasisschaltung. Als Röhren bevorzugt man Tetroden und Pentoden, die mit einer geringen Steuerleistung auskommen. Die HF wird über C_1 dem Gitter der Endstufe zugeführt. Die negative Gittervorspannung zur Arbeitspunkteinstellung gelangt über die Drossel D_1 , die das Abfließen der HF verhindert, an das Steuergitter. Ausgekoppelt wird über C_2 auf den gleichstromfreien Schwingkreis $C_R L_R$. Durch die Drosseln D_G und D_R werden "wilde UKW-Schwingungen" verhindert.

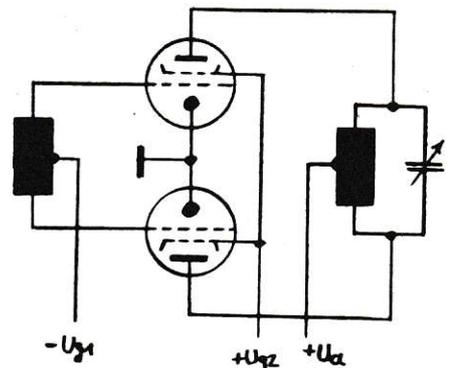


Das Hauptproblem bei Transistorleistungsstufen ist es, den überaus niedrigen Eingangs- und Ausgangswiderstand eines HF-Leistungstransistors an die übrige Schaltung anzupassen. Dazu baut man einfach die Schwingkreise in etwas abgewandelter Form und mit sehr kleinen Spuleninduktivitäten und entsprechend größeren Kondensatorkapazitäten auf. Über D_C wird die Betriebsspannung zugeführt. Über D_B speist man den für den gewählten Arbeitspunkt entsprechenden Basisstrom ein. Außerdem muß man beachten, daß die Verlustwärme der Transistoren über ausreichend große Kühlkörper abgeführt wird.

Um höhere Leistungen zu erreichen, kann man in der Endstufe mehrere Röhren oder Transistoren parallel schalten. Dabei tritt jedoch eine Erhöhung der Gesamtröhren- bzw. Gesamttransistorkapazität sowie eine Verringerung des Ausgangswiderstands auf. Deshalb wird oft auch eine Gegentaktschaltung gewählt, die diese Nachteile nicht aufweist, dagegen jedoch Probleme bei der Symmetrierung aufwirft.



Parallelschaltung

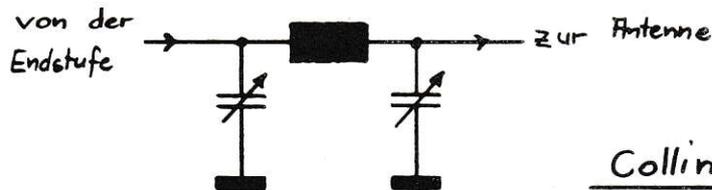


Gegentaktschaltung

Der Sender

Ankopplung der Antenne

Die in der PA erzeugte HF-Leistung soll möglichst ohne Verluste zur Antenne transportiert und da abgestrahlt werden. Dieses ist gewährleistet, wenn die Antenne optimal an die Speiseleitung und diese wiederum optimal an den Sender angepaßt ist. Dadurch erreicht man, daß ein Minimum von Leistung reflektiert und damit die PA am geringsten belastet wird. Die Ankopplung der heute meist niederohmigen (50 - 75 Ohm) Speiseleitungen erfolgt i.a. induktiv über eine Koppelspule oder über ein selektives Anpassungsnetzwerk (z.B. Collinsfilter). Dadurch werden die Abstrahlung von Oberwellen, sowie störende Ausstrahlungen der Speiseleitung auf ein Minimum reduziert.



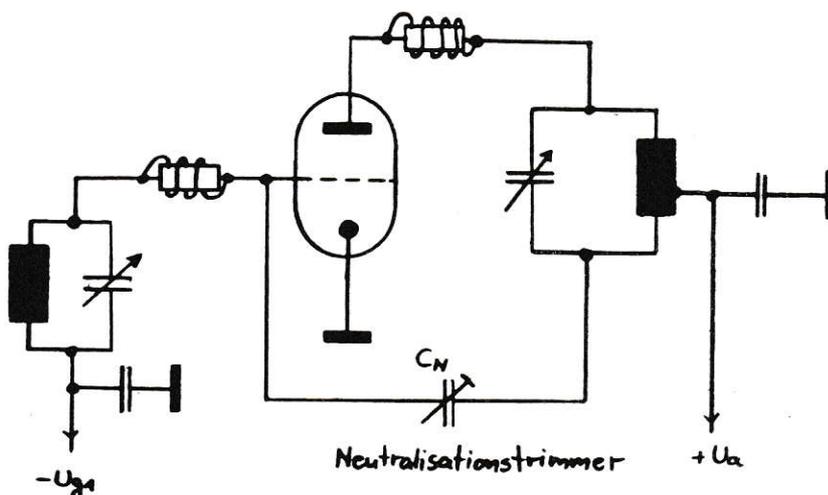
Collins - oder Pi - Filter

Leistungsbilanz: Die von der PA erzeugte HF-Leistung (Output) ist maßgebend für die Stärke des Senders. Da die Schaltung Verluste hat, geht die zugeführte Gleichstromleistung (Input) nicht vollständig in HF-Leistung über. Die nicht in HF umgeformte Eingangsleistung geht in der Röhre oder im Transistor als Wärme verloren. Die maximale Leistung, die eine Röhre bzw. ein Transistor als Wärme aufnehmen kann, ist die vom Hersteller angegebene Anoden- bzw. Kollektorverlustleistung, die in Amateursendern durch postalische Bestimmungen begrenzt ist.

$$\text{Input} = \text{Output} + \text{Anodenverlustleistung}$$

$$\text{Wirkungsgrad der Endstufe} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

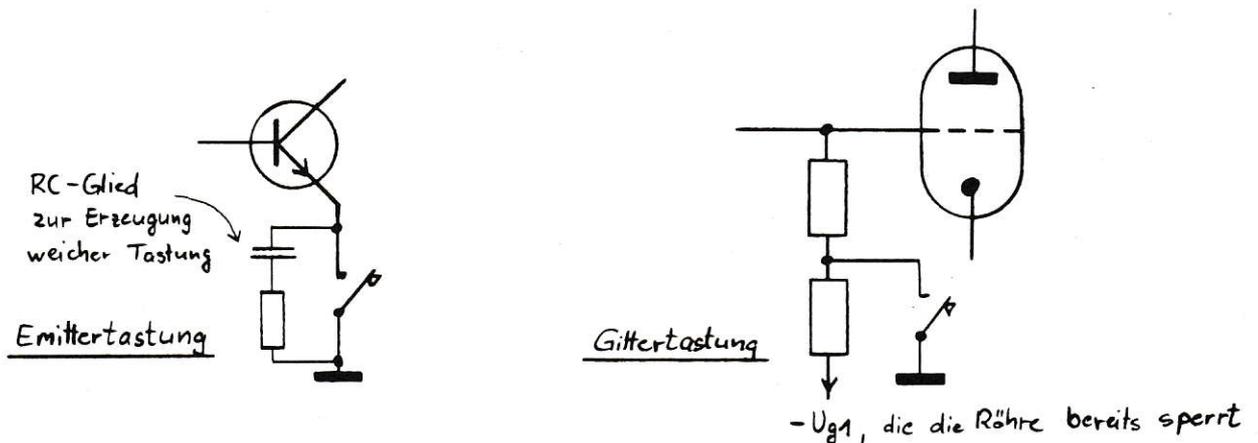
Neutralisation: In Senderendstufen ist besonders bei hochverstärkenden Röhren die Neigung zur Selbsterregung vorhanden. Die ungewollt zum Gitter gelangende Rückkopplungsspannung muß durch eine gleichgroße Spannung entgegengesetzter Phasenlage neutralisiert werden. Diese Neutralisationsspannung gewinnt man im Anodenkreis und führt sie z.B. über einen Trimmkondensator dem Gitter zu.

neutralisierte
PA

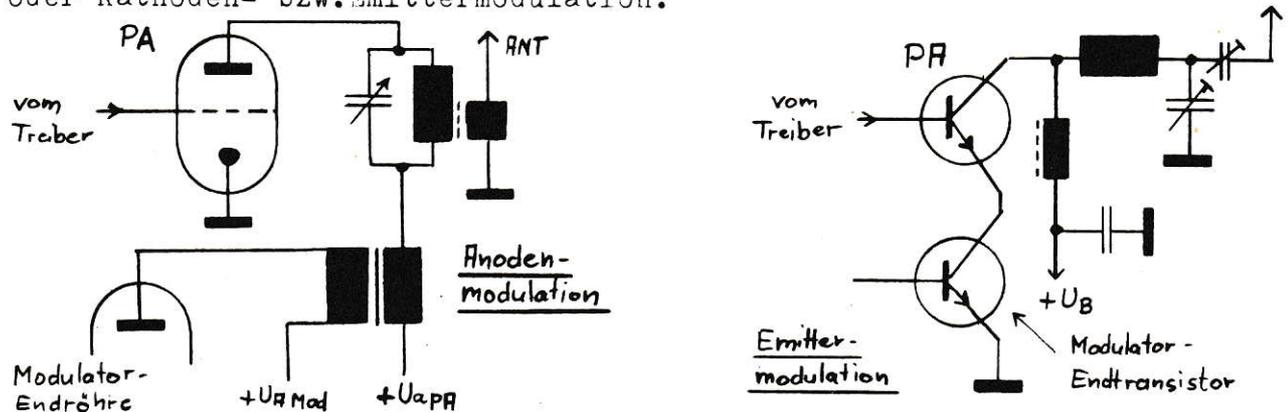
Der Sender

Tastung und Modulation

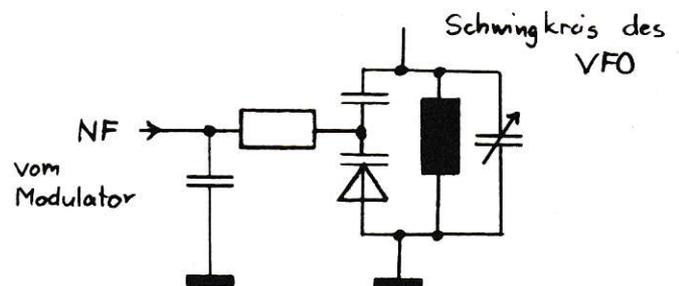
A 1 : Um die HF im Rhythmus der Morsezeichen vom Sender auszustrahlen, muß man den Sender tasten. Dieses geschieht, indem man eine einzelne Stufe des Senders im Rhythmus der Morsezeichen ein- und ausschaltet. Aus Stabilitätsgründen wird jedoch auf keinen Fall der VFO getastet. Man kann grundsätzlich an jeder Elektrode einer Röhre oder eines Transistors eine Tastung vornehmen. Ausgenommen ist wegen ihrer Trägheit die Röhrenheizung. Um Störungen zu vermeiden, ist auf eine weiche Tastung mit abgerundeten Zeichenflanken zu achten.



A 2, A 3 : Um diese Betriebsarten durchführen zu können, benötigt man einen Modulator. Modulatoren sind NF-Verstärker, die je nach Modulationsart und Leistung des Senders verschiedene Ausgangsleistungen haben. Die Amplitudenmodulation erfolgt i. a. in der PA. Dazu bietet sich grundsätzlich jede Elektrode der Röhre oder des Transistors an. Zu bevorzugen ist jedoch Anoden- bzw. Kollektormodulation oder Kathoden- bzw. Emittermodulation.



F 1, F 3 : Da bei diesen Modulationsarten die Frequenz verändert wird, muß der Modulator an den VFO oder einen anderen Oszillator im Sender angeschlossen werden. Es reicht eine geringe Modulatorleistung aus.

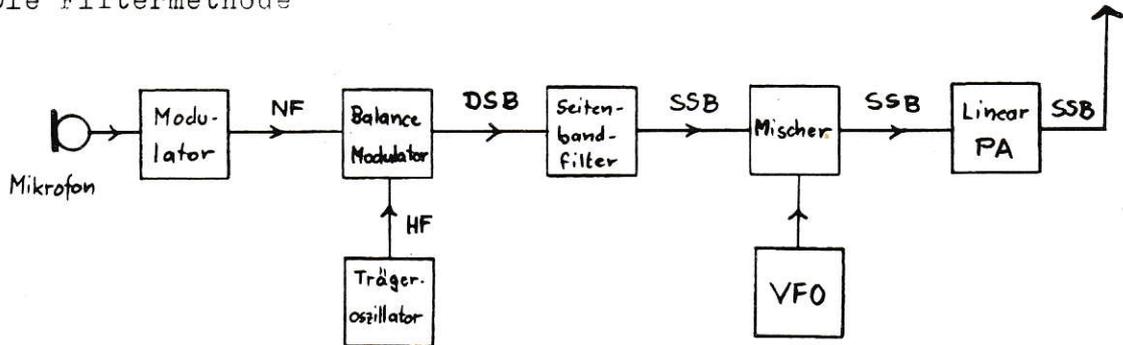


FM-Modulationsschaltung

Der S S B - Sender

Ein SSB-Signal besteht nur aus einem Seitenband eines AM-Signals, d.h. der Träger und das andere Seitenband sind unterdrückt. Zur Erzeugung eines SSB-Signals gibt es im wesentlichen zwei Möglichkeiten.

Die Filtermethode



Dem sogenannten Balance-Modulator wird die vom Modulator stammende NF und die vom Trägerschwingung stammende HF zugeführt. Im Balance-Modulator wird die HF moduliert und gleichzeitig der Träger unterdrückt, so daß am Ausgang des Balance-Modulators ein Doppelseitenbandsignal vorliegt. Das darauffolgende Filter hat die Aufgabe, eines dieser beiden Seitenbänder zu unterdrücken, d.h., das Filter muß sehr schmalbandig sein. Hinter dem Filter liegt das fertige SSB-Signal vor, das nun noch auf die gewünschte Ausgangsfrequenz gemischt wird. Es folgt ein Senderendverstärker. Da dieser jedoch verzerrungsfrei arbeiten muß, darf man ihn nur im A-Betrieb arbeiten lassen. Da nur bei Besprechen des Mikrofons Seitenbänder entstehen und damit bei SSB ein HF-Signal vorliegt, wird auch nur dann in der PA größere Energie aufgenommen und als HF abgestrahlt. Die PA wird also nur stoßweise belastet, und man kann die Leistungsgrenze bedeutend höher setzen als z.B. bei AM oder FM, wo PA-Röhre oder PA-Transistor durch den Träger dauerbelastet werden.

Die Phasenmethode

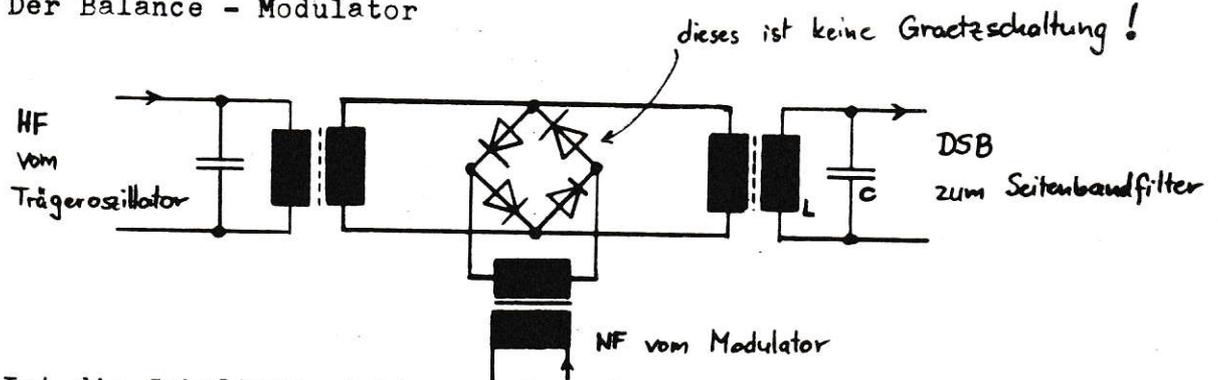
Die SSB-Aufbereitung nach der Phasenmethode ist komplizierter als bei der Filtermethode. Man benötigt zwei Balance-Modulatoren und - das ist das Hauptproblem - ein 90 Grad Phasenschiebernetzwerk für die NF. Man spart dafür jedoch das Quarzfilter. Heute arbeitet man fast ausschließlich nach der Filtermethode.

Die SSB-PA

Sie muß, wie erwähnt, im A-Betrieb arbeiten, da sonst untragbare Verzerrungen das SSB-Signal unbrauchbar machen. Die Schaltungstechnik ist dieselbe wie bei bereits bekannten PA-Schaltungen. Man muß nur die Gittervorspannung entsprechend dem A-Betrieb einstellen. Außerdem hat es sich bewährt, besondere Sorgfalt auf die Stabilität der U_{g1} und U_{g2} zu legen.

Der SSB - Sender

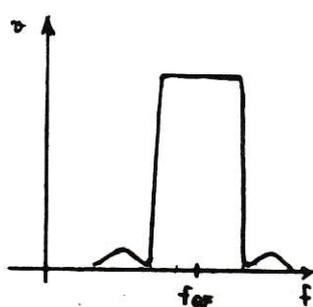
Der Balance - Modulator



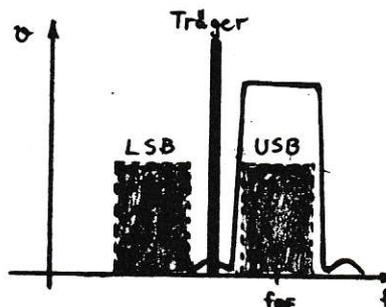
Ist die Schaltung exakt symmetrisch aufgebaut, so wird die HF - Spannung am Schwingkreis LC zu Null. Wird NF zugeführt, so stört man das Gleichgewicht an den Dioden. Dadurch entstehen am Schwingkreis LC unterschiedliche Spannungen aus HF + NF (oberes Seitenband) und HF - NF (unteres Seitenband).

Das Seitenbandfilter

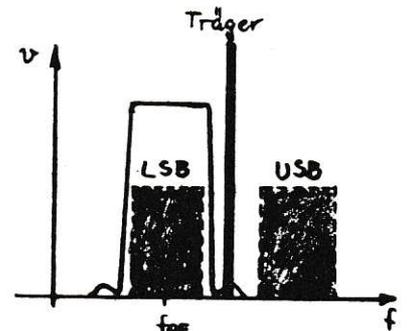
Um ein Seitenband unterdrücken zu können, müssen sehr steilflankige Filter verwendet werden. Will man mit dem oberen Seitenband senden, so muß man die Trägerfrequenz etwas unterhalb des Durchlaßbereichs legen. Soll das untere Seitenband ausgestrahlt werden, so liegt die Trägerfrequenz oberhalb. Der Trägeroszillator muß also zwei umschaltbare Oszillatorfrequenzen haben.



Durchlaßkurve des Seitenbandfilters



Lage des Trägers und der Seitenbänder bei Ausstrahlung des oberen Seitenbandes



Lage des Trägers und der Seitenbänder bei Ausstrahlung des unteren Seitenbandes

P E P

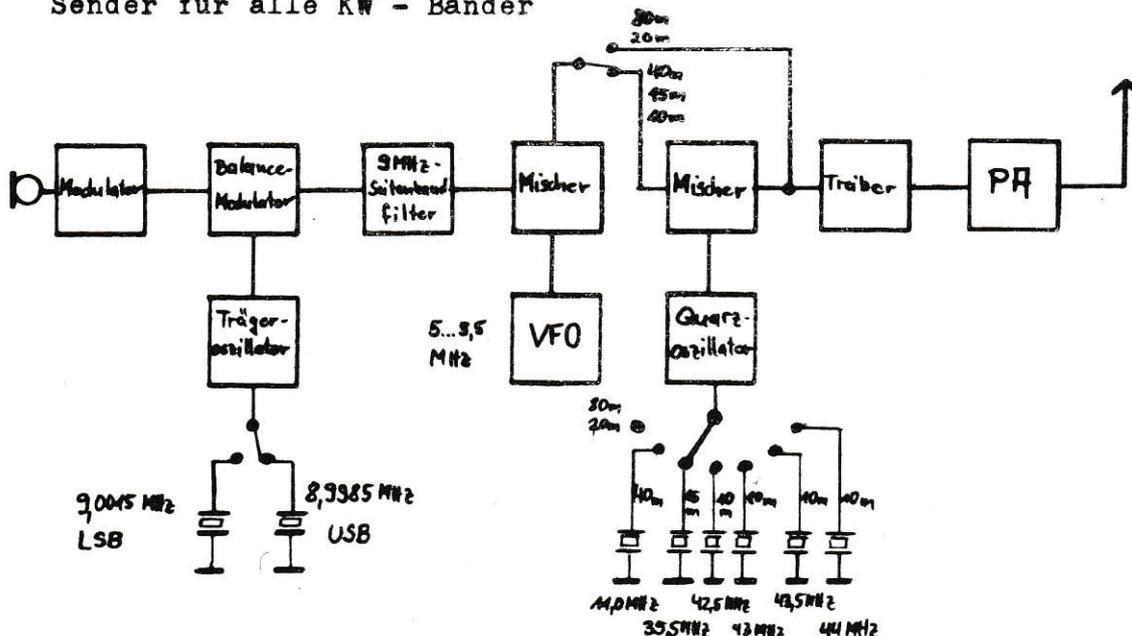
PEP heißt Peak Envelope Power. Das ist die in den Modulationsspitzen von der PA aufgenommene Gleichstromleistung. Es ist das gebräuchliche Leistungsmaß für SSB-Sender. Zum Vergleich : Ein 100W A3-Sender macht bei 100%iger Modulation 400W PEP.

A L C

ALC heißt Automatic Level Control = Automatische Pegelregelung. Sie verhindert die bei SSB sehr schädlichen Übersteuerungen der PA, indem die Verstärkung der Vorstufen herabgesetzt wird. Man gewinnt die ALC-Spannung in der PA in ähnlicher Weise wie im Empfänger die AVC und führt sie den Vorstufen zur Regelung zu.

Der SSB - Sender

Sender für alle KW - Bänder



Das Blockschaltbild zeigt einen SSB-Sender mit einem 9MHz Quarzfilter. Daraus ergeben sich die Frequenzen des Trägeroszillators jeweils 1,5kHz ober- bzw. unterhalb. Nach dem Mischen des 9MHz SSB-Signals mit der VFO-Frequenz 5...5,5MHz erhält man entweder

$$9\text{MHz} + 5...5,5\text{MHz} = 14...14,5\text{MHz} \quad 20\text{m} (14,0...14,35\text{MHz})$$

$$\text{oder } 9\text{MHz} - 5...5,5\text{MHz} = 3,5...4,0\text{MHz} \quad 80\text{m} (3,5...3,8\text{MHz})$$

Die restlichen Amateurbänder erhält man durch nochmaliges Mischen mit Quarzfrequenzen :

$$11,0\text{MHz} - 3,5...4,0\text{MHz} = 7...7,5\text{MHz} \quad 40\text{m} (7,0...7,1\text{MHz})$$

$$35,5\text{MHz} - 14...14,5\text{MHz} = 21...21,5\text{MHz} \quad 15\text{m} (21,0...21,45\text{MHz})$$

$$42,5\text{MHz} - 14...14,5\text{MHz} = 28...28,5\text{MHz} \quad 10\text{m} (28,0...29,7\text{MHz})$$

Treiberstufe und PA werden einfach auf das gewünschte Band abgestimmt.

Das Abstimmen eines SSB-Senders

SSB-Sender sind heute in der Regel industriemäßig gefertigte Geräte, die eine möglichst einfache Bedienung erlauben. Trotzdem ist für das Abstimmen des Senders einige Aufmerksamkeit erforderlich. Man geht dabei folgendermaßen vor :

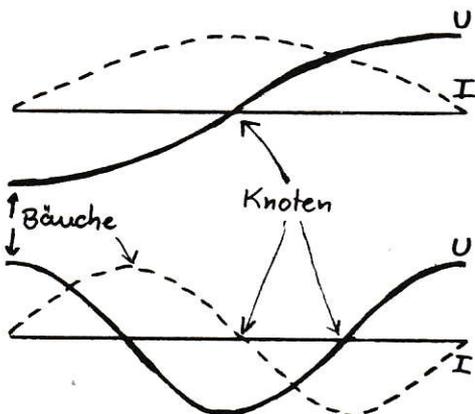
1. Gerät ca. 10 Minuten warmlaufen lassen
2. Mit dem Empfänger die gewünschte Frequenz einstellen
3. Sender in " Einpfeifstellung " auf dieselbe Frequenz ziehen (bei Tranceivern ist dieses automatisch gegeben)
4. Meßinstrument in Stellung " Anodenstrom " bzw. " Kathodenstrom " der PA
5. Sender auf " Abstimmen " bzw. " Tune " schalten
6. Treiberstufen (" Grid " oder " Drive " oder " Preselektor ") auf Anodenstrommaximum abstimmen
7. PA-Drehkos (meist Pi-Filter) auf Anodenstromminimum (Dip)
8. Betriebsart einstellen (AM, CW, USB, LSB)

Achtung! Niemals ohne Antenne abstimmen, da sonst der gesamte Input in der PA in Wärme umgesetzt wird und sie zerstören kann.

Die Antenne

Die Antenne dient dazu, die HF-Energie des Senders gut abzustrahlen und bei Empfang ein starkes Signal bei minimalem Störpegel an den Empfänger zu liefern. Sie ist ein schwingfähiges Gebilde ähnlich wie ein geschlossener Schwingkreis. Im Gegensatz zum Schwingkreis strahlt sie jedoch die HF-Energie als elektromagnetische Welle ab. Die Antenne hat eine Resonanzfrequenz. Um in Resonanz zu kommen, muß die Länge der Antenne ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge ($\lambda/2$) sein. Wird eine Antenne von einem Sender erregt, so bildet sich längs der Antenne eine ganz bestimmte Strom- und Spannungsverteilung aus. Punkte, an denen Strom oder Spannung Maximalwerte erreichen, nennt man Bäuche, an denen sie Null sind, Knoten. Sowohl Strombauch und Spannungsknoten als auch Spannungsbauch und Stromknoten fallen stets zusammen.

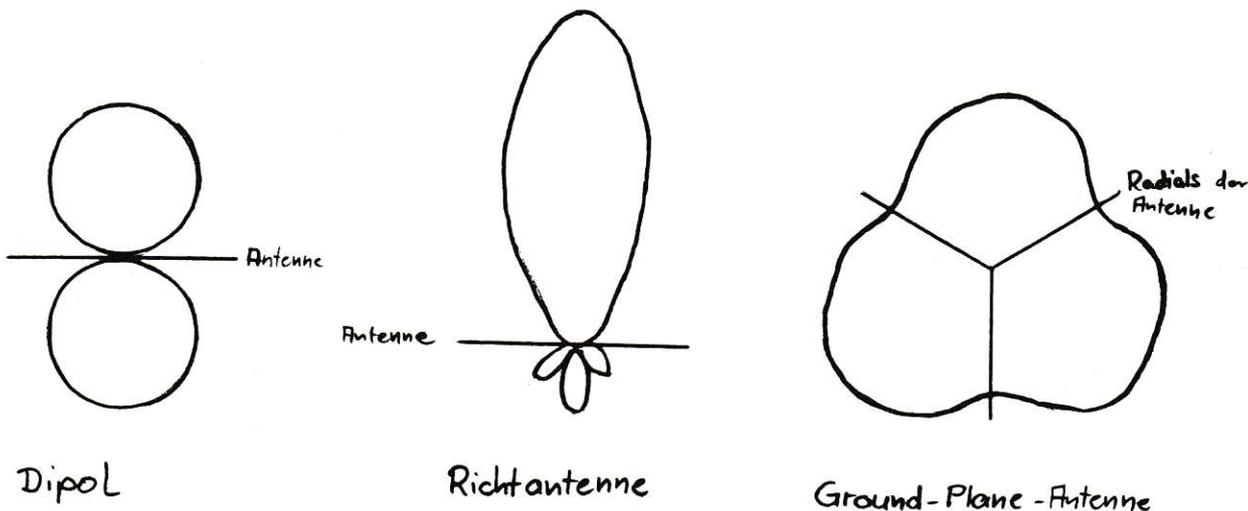
U - I Verteilung auf einem Dipol



Erregung eines $\lambda/2$ -Dipols
(40m lang) im 80m-Band

Erregung desselben Dipols
(20m lang) im 40m-Band

Je nach Art der Ankopplung unterscheidet man verschiedene Antennenformen, die sich wie ein Dipol verhalten. Hochohmig im Spannungsbauch angekoppelt sind " Fuchs- " und " Zepelin-Antenne ", niederohmig im Strombauch eingekoppelt ist der Dipol selbst. Es gibt auch Antennen für mehrere Bänder, z.B. die " Windom-Antenne " oder die " W3DZZ ", die jedoch beide nur einen Kompromiß darstellen. Antennen strahlen ihre Energie nicht in alle Richtungen gleichmäßig ab, sondern bevorzugen bestimmte. Auskunft darüber gibt das Strahlungsdiagramm:



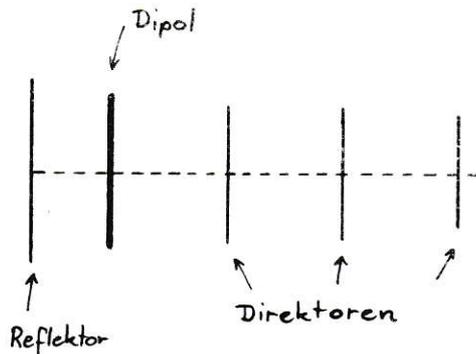
Dipol

Richtantenne

Ground-Plane-Antenne

Die Antenne

Richtantennen



Um die Abstrahlung eines Dipols in eine Richtung zu konzentrieren, bringt man in $\lambda/4$ -Abstand hinter dem Strahler einen ähnlichen Antennendraht als Reflektor an. Eine weitere Erhöhung der Richtwirkung erreicht man durch vor dem Strahler angebrachte Direktoren (Abstand zum Strahler und zueinander ca. $\frac{3}{8}\lambda$). Wegen der großen Ausmaße werden solche Antennenformen hauptsächlich auf höherfrequenten Bändern benutzt. Eine solche Antenne nennt man Yagi.

Die Eigenschaften einer Richtantenne werden beschrieben durch Antennengewinn, Vor/Rück-Verhältnis und Halbwertsbreite. Der Antennengewinn gibt den Spannungsgewinn in Strahlungsrichtung einer Yagi gegenüber der Spannung eines einfachen $\lambda/2$ -Dipols an (in dB). Das Vor/Rück-Verhältnis ist das Verhältnis der Nutzspannung in Strahlungsrichtung zur Spannung in Rückwärtsrichtung (in dB). Die Halbwertsbreite kennzeichnet die Breite der Strahlungskeule.

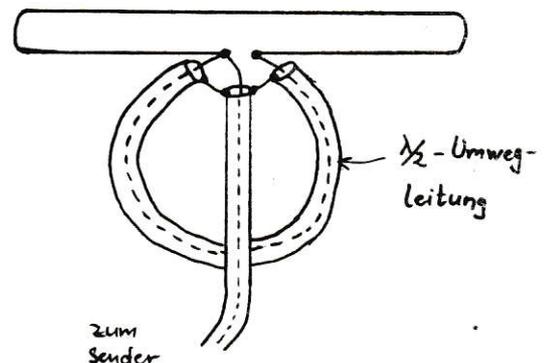
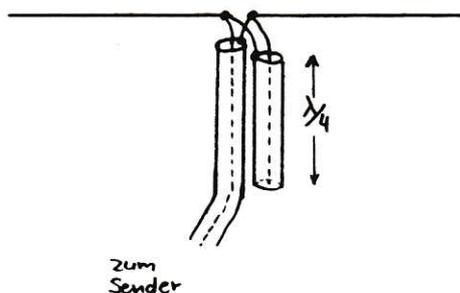
Anpassung von Antennen

Die Antennenzuführung ist richtig an die Antenne angepaßt, wenn der Fußpunktwiderstand der Antenne mit dem Wellenwiderstand der Speiseleitung übereinstimmt. Das erreicht man durch entsprechende Anpassungsschaltungen, auch Balun genannt.

Beispiel

Ein offener $\lambda/2$ -Dipol, symmetrisch, soll angepaßt werden an ein 60Ω Koaxkabel. Der Fußpunktwiderstand beträgt 60Ω . Dann sieht das Symmetrierglied z.B. folgendermaßen aus :

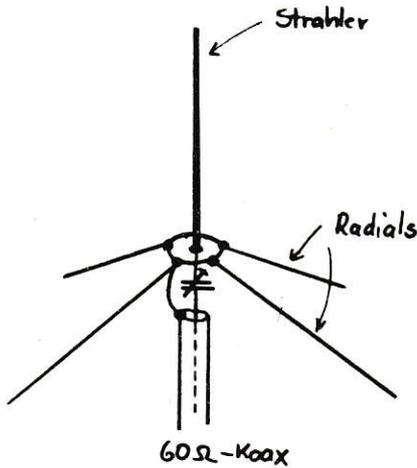
Der Fußpunktwiderstand eines Faltdipols beträgt 240Ω . Er soll an eine 60Ω Koaxkabelspeiseleitung angepaßt werden. Hier sieht das Symmetrierglied folgendermaßen aus :



Koaxialkabel ist aufgrund seines Aufbaus unsymmetrisch

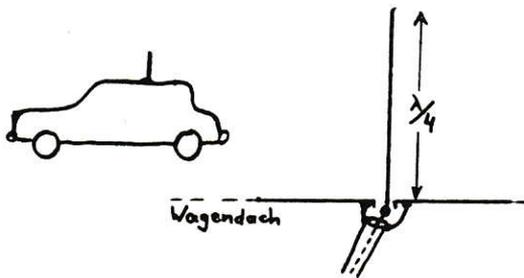
Die Antenne

Rundstrahlende Antennen



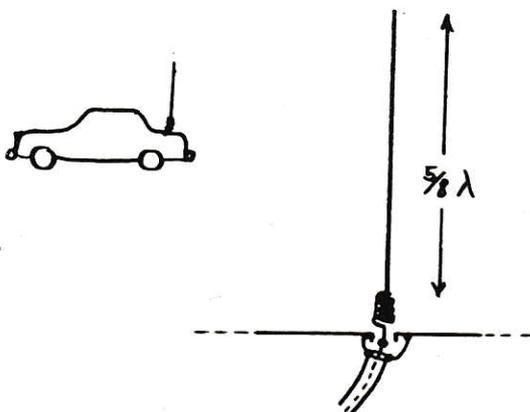
Eine der bekanntesten Rundstrahler für stationären Betrieb ist die Groundplane-Antenne (GPA). Sie besteht aus einem senkrechten $\frac{1}{4}$ Strahler mit einer künstlichen Erde. Diese besteht aus mehreren $\frac{1}{4}$ langen Drähten, die vom Fußpunkt des Strahlers aus radial verspannt werden. Diese sogenannten Radials sind am Fußpunkt miteinander verbunden, aber vom Strahler isoliert. Bei geeigneter Anpassung kann eine Groundplane mit 60Ω -Koaxkabel gespeist werden. Die Groundplane zeichnet sich durch flache Abstrahlung aus. Sie ist daher für DX besonders geeignet. Andere ebenfalls gebräuchliche Rundstrahler sind der senkrechte Dipol, die J-Antenne und die Sperrtopf-Antenne, die auch im kommerziellen Bereich gern verwendet wird.

Mobilantennen



Da ein Auto während der Fahrt oft die Richtung wechselt, sind für Mobilbetrieb i. a. nur rundstrahlende Antennen zu gebrauchen. Die einfachste und unauffälligste Antenne ist der $\frac{1}{4}$ -Strahler. Das ist ein Metallstab, der ein Viertel der Wellenlänge mißt und einen Fußpunktwiderstand von 60Ω hat. Zur guten Abstrahlung benötigt er ein Gegengewicht, das durch das metallene Fahrzeug gegeben ist. Beste Ergebnisse erzielt man bei Montage der Antenne in Wagendachmitte.

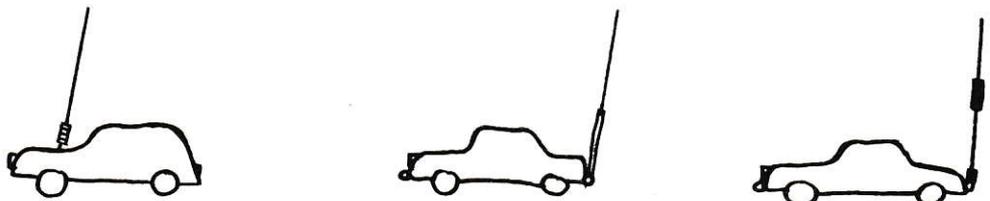
Montage und Anschluß einer $\frac{1}{4}$



Ebenfalls 60Ω Fußpunktwiderstand weist die $\frac{5}{8}\lambda$ -Antenne auf. Sie besteht aus einem $\frac{5}{8}\lambda$ -langen Metallstab und einer entsprechend bemessenen Verlängerungsspule und eignet sich auch zur Montage am Heck des Fahrzeugs.

Montage und Anschluß einer $\frac{5}{8}\lambda$

KW-Mobilantennen



$\frac{1}{4}$ - und $\frac{5}{8}\lambda$ -Antennen lassen sich leicht verwirklichen im 70cm-, 2m- und 10m-Band. Auf den niederfrequenten Bändern werden die Ausmaße jedoch zu groß ($\frac{1}{4}$ von 80m ist 20m). Hier verlängert man die Antenne elektrisch durch sogenannte Verlängerungsspulen. Der Wirkungsgrad solcher Mobilantennen ist jedoch wesentlich geringer als der einer vollausgespannten Antenne.

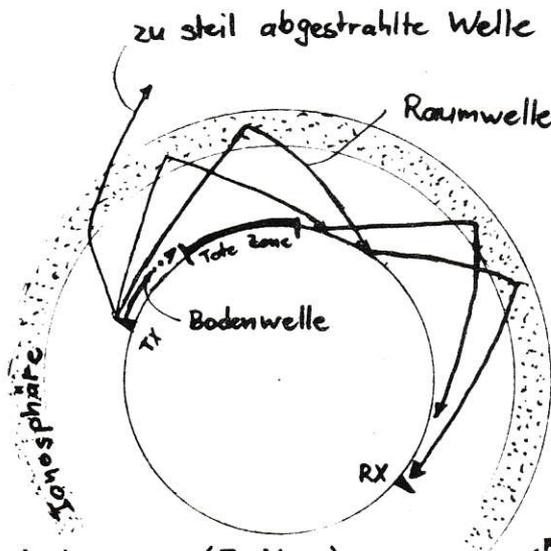
Ausbreitung von kurzen Wellen

Auf dem Weg vom Sender zum Empfänger unterliegen die elektromagnetischen Wellen Beeinflussungen, die je nach Wellenlänge verschieden sind. Die wichtigsten Erscheinungen bei Kurzwellen sind: Bildung von Boden- und Raumwellen

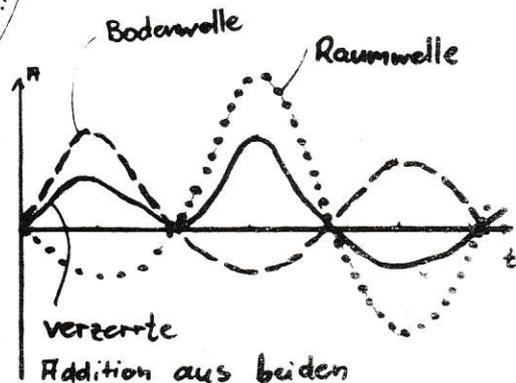
Die Bodenwelle geht den direkten Weg vom Sender zum Empfänger am Erdboden entlang. Da sie hier jedoch vielen Dämpfungen durch Gebäude usw. unterliegt, ist ihre Reichweite gering. Die nach oben abgestrahlte Raumwelle wird von einer geladenen Atmosphärenschicht, der Ionosphäre in 100 bis 500km Höhe reflektiert. Die Ionosphäre besteht aus mehreren Einzelschichten (D-Schicht, 40...70km hoch, E-Schicht, 90...170km, F1-Schicht, 200...300km, F2-Schicht, 300...500km). Der Ionisationsgrad nimmt von unten nach oben zu. Er ist abhängig von der Sonneneinstrahlung und damit sowohl tages- als auch jahreszeitabhängig. Ferner hat die Sonnenfleckenhäufigkeit einen starken Einfluß. Je höher die Frequenz der Welle und je geringer der Ionisationsgrad der einzelnen Schichten, desto schlechter ist die Reflexion. Wellen, die von einer Schicht nicht mehr reflektiert werden, erfahren durch sie eine Dämpfung (Tagesdämpfung der 80m-Welle durch die D-Schicht). Nachts reicht oft z.B. die Ionisation der F2-Schicht nicht mehr zur Reflexion der 20m-Wellen aus. Das Band ist dann " tot ". Die Grenzwellenlänge, bei der noch reflektiert wird, liegt im günstigsten Fall bei ca. 10m. Alle kürzeren Wellen durchdringen die Ionosphäre und gehen im Raum verloren. Wellen unterhalb der Grenzwellenlänge können jedoch auch mehrfach reflektiert werden (Skizze). Günstig für DX-Verkehr ist eine flach abstrahlende Antenne (z.B. GPA).

Die Tote Zone

Oft kommt es vor, daß in ein Gebiet die Bodenwelle aufgrund der Dämpfung nicht mehr hineinreicht und die Raumwelle noch nicht wieder von der Ionosphäre zurückgeworfen wird. Dieses Gebiet nennt man Tote Zone. Sie ist besonders nachts sehr ausgeprägt.



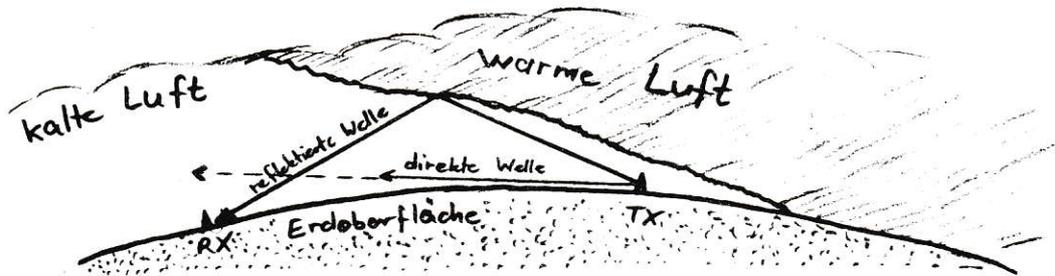
Schwunderscheinungen (Fading)
Geraten Boden- und Raumwelle auf dieselbe Antenne, so kann dieses zu Empfangsschwund führen. Dieses Fading erklärt sich durch Laufzeitunterschiede und damit Unterschiede in der Phasenlage der Wellen zueinander, die zu Verzerrungen und im ungünstigsten Fall zu völliger Auslöschung führen können.



Ausbreitung von ultrakurzen Wellen

Wellen unter 10m Wellenlänge (UKW, VHF, UHF, SHF, EHF) werden nicht von der Ionosphäre reflektiert. Ihre Nutzbarkeit ist deshalb auf den Bereich der Bodenwelle und anschließende geringe Streustrahlung beschränkt, Vorteilhaft jedoch ist die größere Reflexion durch Gebäude usw.

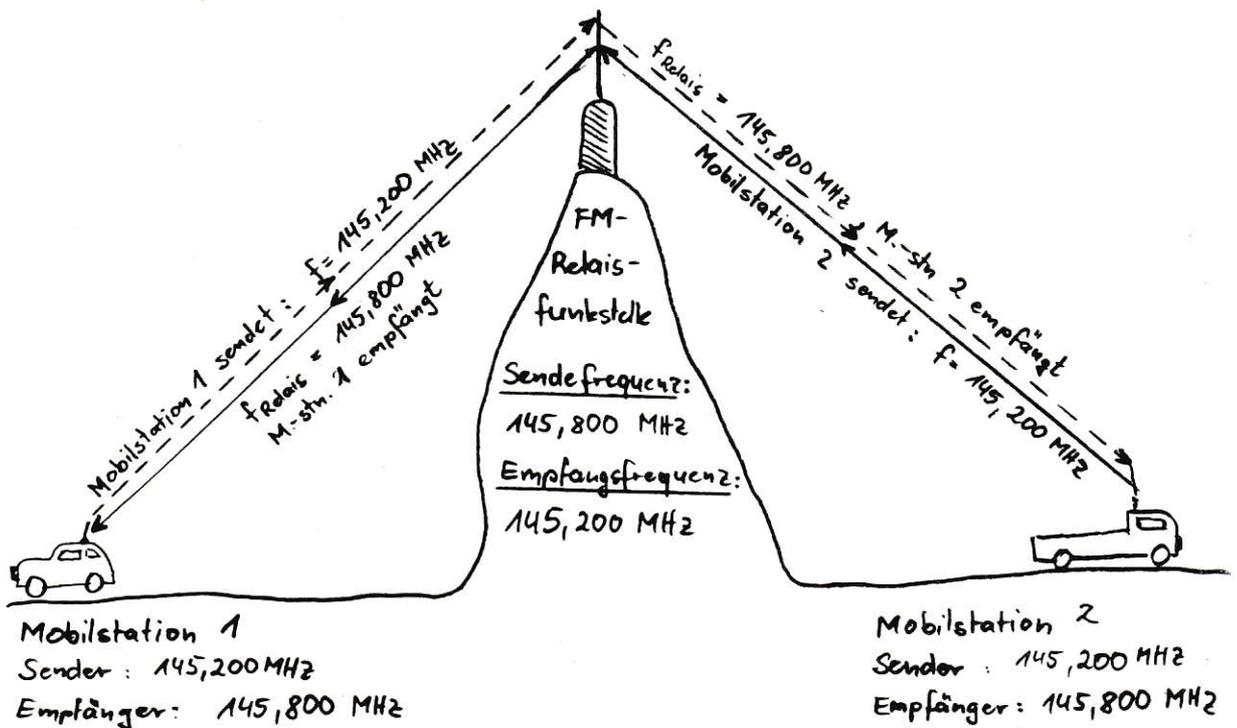
Unter bestimmten Voraussetzungen können sich Ultrakurzwellen wesentlich über die Grenzen der optischen Sicht ausbreiten. Verantwortlich sind dafür z.B. Schichten verschiedener Dichte, Temperatur oder Feuchtigkeit, an deren Grenzen die Reflexion stattfindet.



Eine andere Möglichkeit ist durch den "Aurora"-Effekt gegeben. Darunter versteht man Reflexionen von UKW an Ionisationsfeldern beim Auftreten von polaren Nordlichtern.

Eine künstliche Reichweitenverbesserung auf UKW erreichen Funkamateure durch die Relaisfunkstellen. Sie dienen vorzugsweise Mobilstationen zur besseren Verbindung und benutzen daher in der Mehrzahl die Sendart F3.

Ein UKW-FM-Relais empfängt auf einer Frequenz in Bandmitte (z.B. 145,200MHz) und strahlt das Empfangene auf einer Frequenz am oberen Bandende (z.B. 145,800MHz) gleichzeitig wieder ab. Da FM-Relais meist an guten Standorten aufgebaut sind, ist störungsfreier Mobilfunkverkehr über größere Entfernung möglich. Der Mobil-OM setzt das Relais i.a. durch einen F2-Rufton (1750Hz) in Betrieb



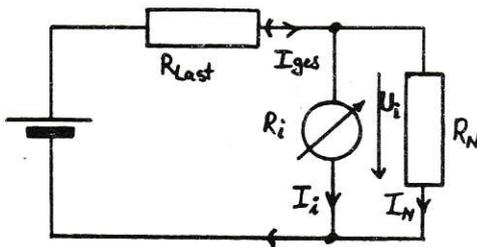
Standardmeßgeräte

Für die Messung von Strom-, Spannungs- und Widerstandswerten kann man bei geeigneter Schaltung ein Meßinstrument benutzen.

1. Strommessung

Der Strommesser muß direkt in den Stromkreis geschaltet werden. Der Ausschlag des Instruments ist abhängig von der Größe des Stromes. Da das Instrument den Stromfluß nicht behindern soll, muß sein Innenwiderstand sehr klein sein.

Soll ein Strommesser mit 10mA Endausschlag für eine Messung von maximal 100mA benutzt werden, so müssen 90mA am Instrument durch einen Parallelwiderstand R_N (Shunt) vorbeigeleitet werden. R_N läßt sich bei bekanntem Innenwiderstand R_i des Instruments nach Kirchhoff berechnen.



$R_i = 10 \Omega$

$$\frac{R_i}{R_N} = \frac{I_N}{I_i} \implies R_N = \frac{R_i \cdot I_i}{I_N}$$

$$R_N = \frac{10 \Omega \cdot 10 \text{ mA}}{30 \text{ mA}} = 1,1 \Omega$$

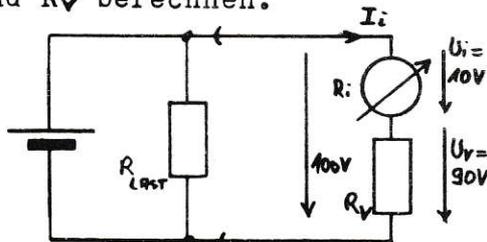
2. Möglichkeit nur mit dem ohmschen Gesetz:

$$U_i = R_i \cdot I_i = 10 \Omega \cdot 10 \text{ mA} = 0,1 \text{ V}$$

$$R_N = \frac{U_i}{I_N} = \frac{0,1 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = \frac{0,1 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = 1,1 \Omega$$

2. Spannungsmessung

Der Spannungsmesser muß parallel zu der zu messenden Spannung geschaltet werden. Da das Instrument die Spannungsquelle nicht belasten soll, muß es einen hohen Innenwiderstand haben. Will man mit einem Spannungsmesser von 10V Maximalausschlag eine Spannung von 100V messen, so muß man 90V mit einem Vorwiderstand R_V auffangen. Kennt man den bei Vollausschlag durch das Instrument fließenden Strom, z.B. 1mA, so kann man nach dem ohmschen Gesetz den Vorwiderstand R_V berechnen.



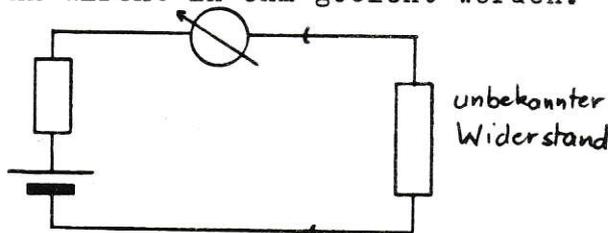
$$R_V = \frac{U_v}{I_i} = \frac{90 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 90 \text{ k}\Omega$$

Ist statt I_i der Innenwiderstand R_i gegeben, so berechnet man I_i aus: ($R_i = 10 \text{ k}\Omega$)

$$I_i = \frac{U_i}{R_i} = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA}$$

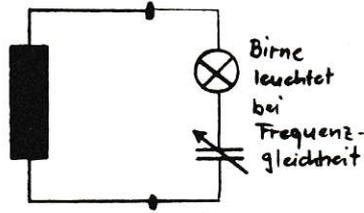
3. Widerstandsmessung

Für die Widerstandsmessung benutzt man dieselbe Schaltung wie für die Strommessung. Man legt eine bekannte Spannungsquelle, z.B. eine Batterie, in den Stromkreis. Dann zeigt das Instrument bei verschiedenen in den Stromkreis geschalteten Widerständen einen entsprechenden Ausschlag (großer Widerstand = kleiner Ausschlag). Die Instrumentenskala kann direkt in Ohm geeicht werden.



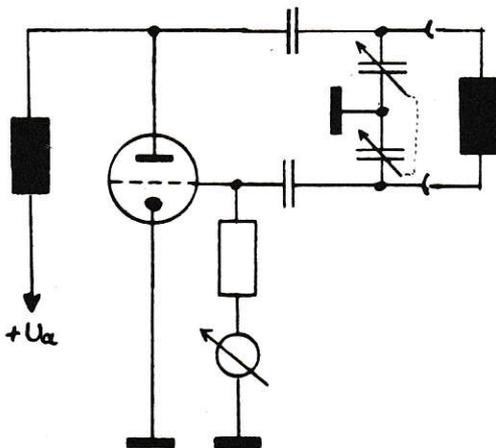
Diese Meßmöglichkeiten findet man häufig in einem Vielfachmeßinstrument vereinigt, bei dem die Meßbereiche umgeschaltet werden können.

Diese Spule wird in die Nähe des zu messenden Schwingkreises gebracht.



Absorptionsfrequenzmesser

Beim Absorptionsfrequenzmesser beruht die Wirkungsweise auf der Tatsache, daß ein Schwingkreis, der mit einem anderen gekoppelt ist, diesem Energie entzieht, wenn beide auf dieselbe Frequenz eingestellt sind. Man kann damit also die Grundfrequenz von Sendern ermitteln, Verdopplerstufen abgleichen und andere Frequenzmessungen an schwingenden Kreisen vornehmen.



Grid - Dip - Meter

Den großen Nachteil, daß der zu untersuchende Kreis in irgendeiner Weise erregt sein muß, wenn man eine Messung vornehmen will, vermeidet man mit einem Grid-Dip-Meter. Es handelt sich hierbei um einen normalen Oszillator, der eine genaue Frequenz liefert. Zur Messung bringt man die Spule des Grid-Dippers in die Nähe des zu messenden Kreises. Im Falle der Resonanz beider Kreise wird dem Grid-Dipper-Kreis Energie entzogen. Das zeigt sich durch Rückgang des Gitterstroms, der am Gitterstrominstrument einen Dip hervorruft. Beim Messen schwingender Kreise erfolgt der Dip in entgegengesetzter Richtung.

Eichgenerator (Quarznormal)

Ein 100kHz-Eichgenerator erzeugt aufgrund der Oberwellen alle 100kHz einen Eichpunkt, mit dem Empfängerskalen überprüft werden können. Wegen der Quarzsteuerung ist ein Eichgenerator sehr genau. Die Genauigkeit wird durch eine Zahl und eine Zehnerpotenz angegeben (z.B. $5 \cdot 10^{-6}$).

Rechenbeispiel: Gegeben: Frequenz $f = 145 \text{ MHz}$, Genauigkeit $2 \cdot 10^{-5}$
 Gesucht ist die maximale Abweichung Δf von der Sollfrequenz f .

$$\Delta f = 145 \text{ MHz} \cdot 2 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta f = 145 \text{ 000 000,0 Hz} \cdot 2 \cdot 10^{-5}$$

(10^{-5} bedeutet : 5 Nullen abstreichen bzw. das Komma 5 Stellen nach links rücken)

$$\Delta f = 145 \text{ 000 000,0 Hz} \cdot 2$$

$$\Delta f = 1450,0 \text{ Hz} \cdot 2$$

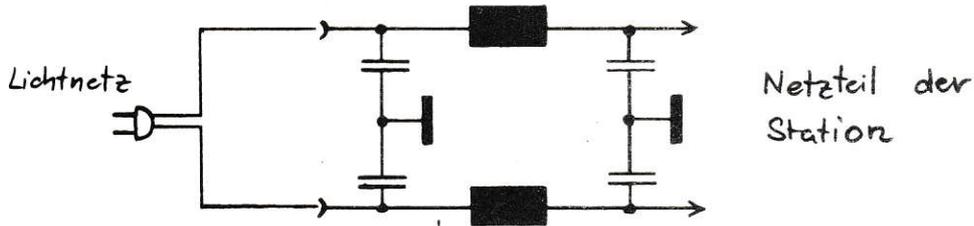
$$\Delta f = 2900 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = 2,9 \text{ kHz}$$

Die maximale Abweichung Δf (nach oben oder unten) von der Sollfrequenz $145,0 \text{ MHz}$ beträgt $2,9 \text{ kHz}$.

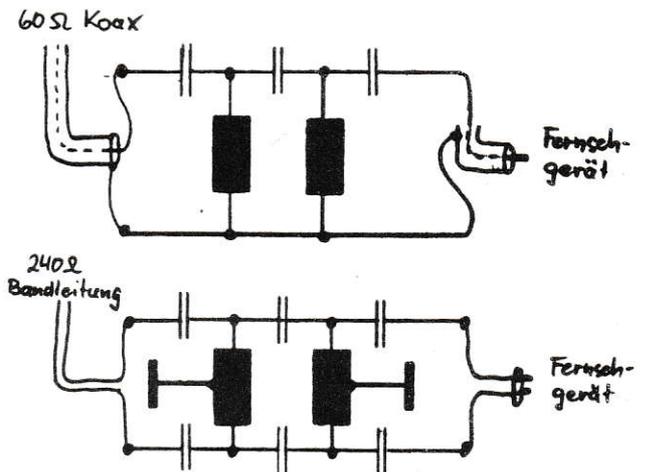
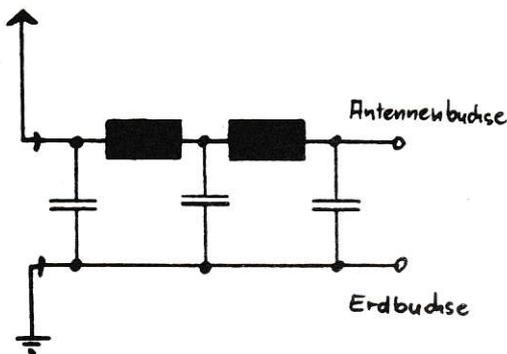
Störungen

Rundfunk- und Fernsehstörungen entstehen meist durch HF-Energie, die auf irgendeinem Wege in benachbarte Empfänger gelangt. Einer der Hauptwege ist das Lichtnetz. Diesen Weg versperrt man durch Einbau eines HF-Entstörfilters zwischen Sendernetzteil und Lichtnetz. Ein solches Filter sieht folgendermaßen aus :



Unerwünschte Ausstrahlung von Oberwellen der Sendefrequenz vermeidet man durch ein Antennenfilter (z.B. das bereits besprochene Pi-Filter). Außerdem sollte man möglichst eine nicht strahlende Antennenspeiseleitung verwenden. Damit sind alle senderseitigen Entstörmaßnahmen getroffen. Sollten trotzdem noch Störungen auftreten, so kann man diese nur empfängerseitig beseitigen. Hierbei bietet sich die Möglichkeit, die unerwünschten Einstrahlungen durch Filter zu unterdrücken.

Rundfunkentstörung (Tiefpass) , Fernsehentstörung (Hochpass)



Ist trotz aller dieser Maßnahmen die Aussendung des A3- oder A3j-Senders aus dem Lautsprecher eines Stereo- oder Fernsehgerätes zu hören, so erklärt sich dieses durch direkte Einstrahlung der HF in das NF-Teil dieses Gerätes. Hier wird die HF z.B. durch Transistoren, oxidierte Kontakte oder ähnliche Übergänge gleichgerichtet, verstärkt und wiedergegeben. Abhilfe schafft man durch Abblocken mit Kondensatoren, Verdrosseln und Abschirmen der NF-Eingangsstufen und Zuleitungen sowie der Lautsprecherleitungen.

