



AMATEURFUNK-Lizenz

Prüfungsvorbereitungskurs Graz

Basierend auf dem Amateurfunk-Prüfungsfragenkatalog des BMK

Technik



Amateurfunk-Prüfungsfragen des BMK

TECHNIK Bewilligungsklasse 1

**mit eingearbeiteten Antworten, Grundwissen und
vertiefenden Erläuterungen.**

Grundwissen

- Was ist elektrischer Strom? (G1)
- Was ist Spannung? (G2)
- Wie entsteht Spannung? (G3)
- Stromquellen (Kenngrößen) (T6)
- Gleich- Wechselfeldspannung – Kenngrößen (T9)
- Stromkreis. Was ist Widerstand? (G4)
- Was ist Leistung? Verbraucher (G5)
- Bruchteile und Vielfache von Kenngrößen (G6)
- Begriff elektrisches und magnetisches Feld, Abschirmmaßnahmen für das elektrische bzw. magnetische Feld (T86)
- Elektromagnetismus, Induktion, Mikrofon, Lautsprecher (G7)
- Der Begriff Linearität (G8)



Was ist elektrischer Strom?

Strom als Begriff bezeichnet immer eine gerichtete Transportgröße, also wieviel von etwas in einer Zeiteinheit (Sekunde, Stunde, ...) von A nach B transportiert wird, z.B. Verkehrsstrom, Warenstrom, Menschenstrom, Wasserstrom (Fluss), Luftstrom (Windstärke), ...

Elektrischer Strom	bezeichnet den Transport von elektrischen Ladungsträgern.
Ladungsträger	tragen positive oder negative elektrische Ladungen. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.
Elektrische Stromstärke	gibt an, wieviel Ladung pro Sekunde von einem Pol (Quelle) zum anderen Pol (Senke) transportiert wird.
Maßzahl Ampere (A)	Die elektrische Stromstärke wird in Ampere (A) gemessen.
Symbol I	Das Symbol (Kürzel) für den Strom ist I .
Technische Stromrichtung	Aus historischen Gründen nannte man die Quelle den + Pol, die Senke den – Pol. Die technische Stromrichtung ist von + nach –. Das ist verwirrend, weil die physikalische Stromrichtung entgegengesetzt ist.
Physikalische Stromrichtung	Da die häufigsten beweglichen Ladungsträger, die Elektronen, negativ geladen sind, fließt der Elektronenstrom von – nach +.



Was ist Spannung?

Strom kann nur fließen, wenn ein Unterschied (Gefälle) zwischen zwei Niveaus vorhanden ist. Das kann ein Druckunterschied sein, dann kann z.B. Wind wehen. Das kann ein Höhenunterschied sein, dann kann Wasser in die Turbine fließen oder Sand aus dem Kipper. In der Physik verwendet man für das Niveau den Begriff Potential.

Spannung

bezeichnet das elektrische Potentialgefälle zwischen zwei Polen. Das ist die Voraussetzung dafür, dass zwischen den Polen (z.B. Batterieklemmen) Strom fließen kann.

Maßzahl Volt (V)

Die elektrische Spannung wird in Volt (V) gemessen.

Symbol U

Das Symbol (Kürzel) für die elektrische Spannung ist **U**.

Niederspannung

bezeichnet ungefährliche Spannungen bis ca. 50V, wie sie in der Elektronik, KFZ- und Fernmeldetechnik vorkommen.

Hochspannung

ab ca. 1000 V

Gefahren

In Amateurfunkgeräten und an Antennen können sowohl Niederspannung als auch lebensgefährliche Hochspannungen auftreten.



Wie entsteht Spannung?

Normalerweise sind in jedem Material gleich viele + und - Ladungsträger vorhanden. Deren Ladungen kompensieren sich und das Material erscheint nach außen elektrisch neutral. Werden ungleichnamige Ladungen unter Aufwendung von Energie (Überwindung der Anziehung) getrennt, entsteht Spannung.

Ladungstrennung

bezeichnet einen Vorgang, bei dem positive und negative Ladungen räumlich getrennt werden. Das erfordert Energie. Dort, wo + Ladungen überwiegen, spricht man von + Pol, dort, wo – Ladungen überwiegen, spricht man von – Pol.

Physikalische Ladungstrennung

Reibung zwischen verschiedenen Materialien (Reibungselektrizität).

Induktion:

Ein Leiter befindet sich in einem Magnetfeld, das sich mit der Zeit ändert, z.B. durch Bewegung. Grundlage der Stromerzeugung in Generatoren. Grundlage der elektromagnetischen Wellen (*siehe G7*).

Piezoeffekt:

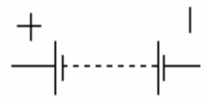




Ladungstrennung durch Verformung eines geeigneten Materials. Grundlage von Mikrofonen und vielen Messfühlern (Sensoren).

Chemische Ladungstrennung

Grundlage von Batterien und Akkumulatoren.



Stromquellen (Kenngrößen)

Primärbatterien	Durch einen chem. Prozess wird eine elektrische Spannung zwischen zwei Polen erzeugt, Strom kann entnommen werden (Entladung). Die Entladung ist nicht umkehrbar.
Sekundärbatterien	Durch einen chem. Prozess wird eine el. Spannung zwischen zwei Polen erzeugt, Strom kann entnommen werden (Entladung). Die Entladung ist umkehrbar (Ladevorgang).
Kenngrößen	Spannung Strombelastbarkeit Kapazität (Fassungsvermögen) in Ah .
Schaltsymbol	Für Primär- und Sekundärbatterien. Die punktierte Linie deutet die Serienschaltung von mehreren Elementen an. 
Beispiele	    Bleiakku, Nickel-Cadmium -, Nickel-Metallhydrid -, Lithium-Ionen Akku, Solarzellen, Piezo-Elemente, ...
230V Steckdose	liefert im Gegensatz zu den Batterien nicht Gleichstrom, sondern 50 Hz Wechselstrom (s. Frage T9).



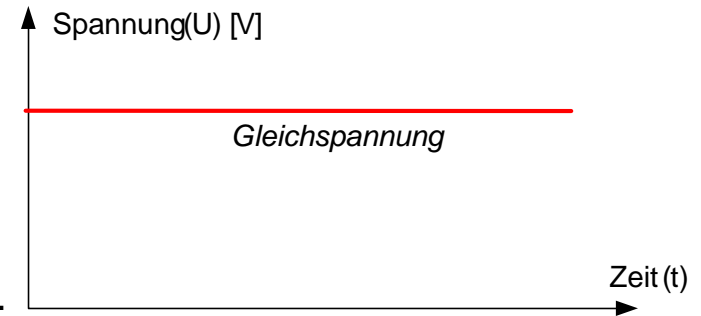
Gleichspannung

Die Spannung ist konstant,
die Polarität verändert sich nicht.
DC (direct current)

Kürzel

Kenngrößen

Spannung
Strombelastbarkeit der Quelle
Kapazität in Ah (Batterien u. Akkus).



Wechselfspannung

Spannung und Polarität ändern sich laufend
der zeitliche Verlauf kann als Kurve dargestellt werden.

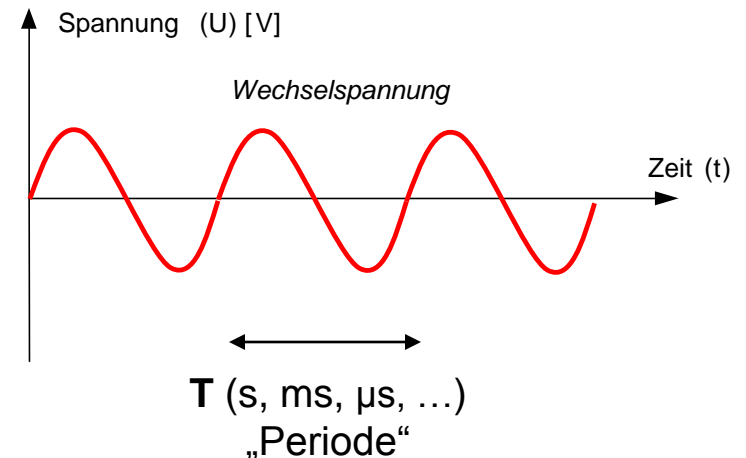
Kürzel

Kenngrößen

Spannung (Amplitude),
Frequenz
Kurvenform (Signalform)
Strombelastbarkeit der Quell

Frequenz

Anzahl der Perioden pro Sekunde
Formelzeichen: $f = 1/T$
Einheit Hertz (**Hz**, **kHz**, **MHz**, ...)





Vertiefung

Effektivwert

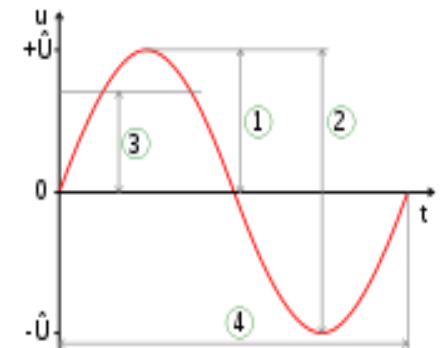
Der quadratische Mittelwert eines zeitlich veränderlichen Signals (U , I). Der Effektivwert (U_{eff} , I_{eff}) gibt denjenigen Wert einer Gleichgröße an, die an einem ohmschen Verbraucher in einer vorgegebenen Zeit die selbe Leistung umsetzt. Der Effektivwert hängt sowohl vom Scheitelwert (Amplitude) als auch von der Kurvenform ab. (Abkürzung **RMS** englisch: root mean square, s. auch G5).

Scheitelwert

Der größte Betrag \hat{u} der Augenblickswerte eines Wechsel-Signals; Bei sinusförmigen Wechselsignalen wird der Scheitelwert auch als **Amplitude** bezeichnet.

Spitze-Spitze-Wert

Die Höhe der Auslenkung vom niedrigsten Wert bis zum höchsten Wert. Bei symmetrischen Wechselgrößen entspricht der Spitze-Spitze-Wert ($U_{\text{ss}} = 2 \cdot \hat{u}$) dem doppelten Scheitelwert (doppelte Amplitude). Der Spitze-Spitze-Wert kann mit dem Oszilloskop gemessen werden (siehe Frage T34) .



- 1 = \hat{u} Scheitelwert, Amplitude
- 2 = U_{ss} Spitze-Spitze-Wert
- 3 = U_{eff} Effektivwert
- 4 = T Periodendauer



Stromkreis, was ist Widerstand?

Stromkreis	Damit Strom fließen kann, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: 1) Zwischen zwei Polen muss eine Spannung vorliegen. Je höher die Spannung, um so mehr Strom kann fließen. 2) Zwischen den Polen muss eine leitende Verbindung vorhanden sein. Je besser die Verbindung leitet, desto mehr Strom kann fließen.
Geschlossener Stromkreis	Wenn beide oben genannten Bedingungen erfüllt sind, spricht man auch von einem geschlossenen Stromkreis. Strom kann nur in einem geschlossenen Stromkreis fließen.
Widerstand	Wenn der Widerstand des Verbrauchers 0 wird, spricht man von Kurzschluss. Dann kann so viel Strom fließen, dass die Leitungen oder die Stromquelle Schaden nehmen (Brandgefahr). Sicherungen trennen bei Kurzschlüssen den Stromkreis von der Stromquelle (Schmelzsicherungen, Sicherungsautomaten).
Kurzschluss	Wenn der Widerstand des Verbrauchers 0 wird, spricht man von Kurzschluss. Dann kann so viel Strom fließen, dass die Leitungen oder die Stromquelle Schaden nehmen (Brandgefahr). Sicherungen trennen bei Kurzschlüssen den Stromkreis von der Stromquelle (Schmelzsicherungen, Sicherungsautomaten).
Strombelastbarkeit	für Kupferleitungen 5 – 20 A/mm ² , je nach Wärmeabfuhr (Verlegeart)
Maßzahl Ohm (Ω)	Fließt bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A, so beträgt der Widerstand des Stromkreises 1 Ohm = 1 Ω .
Symbol R	Das Symbol (Kürzel) für den elektrischen Widerstand ist R (resistor).



Was ist Leistung? Verbraucher

Die zur Ladungstrennung (Spannungserzeugung) aufgewendete Arbeit kann in einem geschlossenen Stromkreis wieder freigesetzt werden, in Form von Wärme, Bewegung, Schall oder elektromagnetischer Strahlung (Licht, Funkwellen).

Maßzahl Watt (W) Die elektrische Leistung wird in Watt (W) gemessen.

Symbol P Das Symbol (Kürzel) für die elektrische Leistung ist P (power).
Je höher die Spannung (U), umso höher die abgegebene Leistung (P).
Je höher der Strom (I), umso höher die abgegebene Leistung (P).

Gesetz $P = U \cdot I$

Verbraucher bezeichnet allgemein den Gegenstand (Widerstand, Glühlampe, Motor, elektronisches Gerät), der den Leitungskreis schließt und der die Leistung in Form von Wärme, Licht, Bewegung, Schall oder Strahlung abgibt.

Nutzleistung ist die durch die Konstruktion beabsichtigte abgegebene Leistung.

Verlustleistung ist unerwünschte, unbeabsichtigte, unvermeidbar abgegebene Leistung.

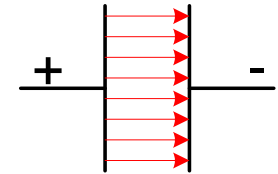


Bruchteile und Vielfache von Kenngrößen

Faktor	Potenz	Kürzel	Symbol	Alltag, Technik	Elektronik-Beispiele
0,000.000.000.001	10^{-12}	Pico	p		pF (Picofarad)
0,000.000.001	10^{-9}	Nano	n	nm (Nanometer)	nF (Nanofarad)
0,000.001	10^{-6}	Mikro	μ	μm (Mikrometer)	μF (MikroFarad) μA (MikroAmpere)
0,001	10^{-3}	Milli	m	mm (Millimeter)	mH (MilliHenry), mV (MilliVolt)
0,01	10^{-2}	Centi	c	cm (Zentimeter)	
0,1	10^{-1}	Dezi	d	Dm (Dezimeter)	
1	10^0				
10	10^1	Deka	da	dag (Dekagramm)	
100	10^2	Hekto	h	hl (Hektoliter)	
1.000	10^3	Kilo	k	km (Kilometer)	k (Kilohm), kW (KiloWatt)
1.000.000	10^6	Mega	M	MB (Megabyte)	M (Megohm), MHz (Megahertz)
1.000.000.000	10^9	Giga	G	GB (Gigabyte)	GHz (Gigahertz)

Elektrisches Feld

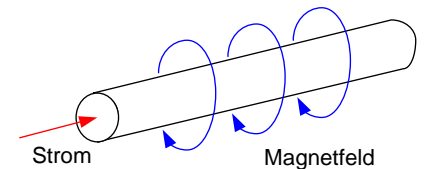
bildet sich zwischen den Platten eines Kondensators aus, wenn Spannung angelegt wird (s. *Frage T3*).
Elektrische Feldstärke (V/m).



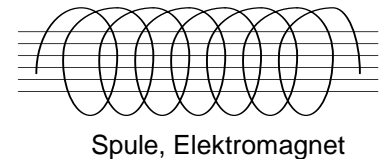
Messgröße

Magnetisches Feld

bildet sich um einen stromdurchflossenen Leiter aus.
Magnetische Flussdichte (Tesla).



Messgröße



Abschirmmaßnahmen

Elektrische Felder können durch „Abschirmung“ am Eindringen bzw. Austreten gehindert werden („Faradayscher Käfig“).
Kenngröße: Schirmfaktor.

Magnetische Gleichfelder können nur unvollständig durch ferromagnetische Stoffe (Kenngröße Permeabilität, s. *Frage T10*) abgeschirmt werden.

Magnetische Wechselfelder können durch leitende Materialien (z.B. Kupferblech) abgeschirmt werden. Beachte: Eine geschlossene Abschirmung ist eine Kurzschlusswicklung (Transformator). Selbst wenn das vermieden wird, entstehen Wirbelstromverluste, s. *G7*).

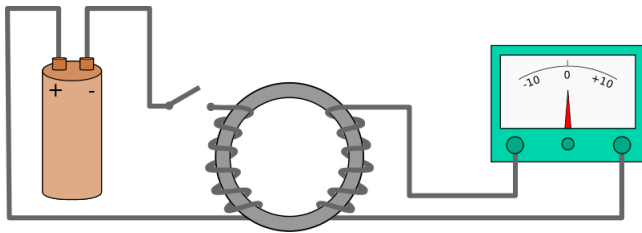


Elektromagnetismus, Induktion

Eine von Gleichstrom durchflossene Spule erzeugt ein zeitlich konstantes Magnetfeld, dessen Stärke sich erhöhen lässt durch einen in die Spule eingebrachten Eisenkern (s. T86).

Faraday legte 1831 einen Grundstein der Wechselstrom-, HF- und Funktechnik mit der Frage:

„Kann ein Magnetfeld zu einem Strom in einem geschlossenen Stromkreis führen?“



Quelle: Wikipedia (CC0 1.0)

Er benutzte die abgebildete Versuchsanordnung, in der ein Stromkreis ein Magnetfeld erzeugt.

In einem zweiten Stromkreis, der vom selben Magnetfeld durchsetzt war, beobachtete er, dass nur dann kurzzeitig ein Strom auftrat, wenn er den ersten Stromkreis schloss oder öffnete, und zwar jeweils in entgegengesetzter Richtung.

Da Strom nur fließt, wenn auch eine Spannung vorhanden ist (s. G4), muss gefolgert werden:

Induktionsgesetz

Jede Änderung eines Magnetfeldes induziert in einem Leiter, der sich in einem Magnetfeld befindet, eine Induktionsspannung, die um so höher ist, je rascher sich das Magnetfeld ändert. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Änderung des Magnetfeldes z.B. durch einen Wechselstrom verursacht wird, oder durch einen Magneten, der sich bezüglich des Leiters bewegt!



Elektromagnetismus, Induktion: Selbstinduktion, Lenzsche Regel

Wir betrachten nun lediglich den ersten Stromkreis des Faraday'schen Versuchs (*siehe Vorseite*)

Selbstinduktion In jedem geschlossenen Stromkreis wird beim Ein- oder Abschalten ein Magnetfeld auf- oder abgebaut. Diese Änderungen des Magnetfeldes rufen ihrerseits auch im verursachenden Stromkreis selbst eine Induktionsspannung hervor. Dieser Vorgang heißt Selbstinduktion.

Lenzsche Regel Jede Induktionsspannung ist so gepolt, dass der durch sie mögliche Induktionsstrom so gerichtet ist, dass die Ursache geschwächt wird.

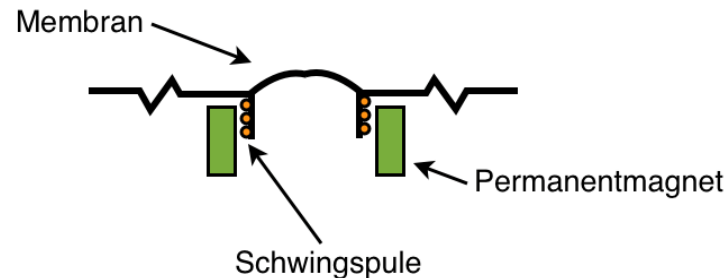
Beachte: Die Lenzsche Regel ist nichts anderes als eine Form des Energiesatzes, der festhält, dass ein Perpetuum Mobile unmöglich ist (volkstümlich: „Von Nichts kommt Nichts“). Sie erklärt, dass Selbstinduktion nicht zu einem lawinenartigen Anstieg der magnetischen Feldstärke, der Induktionsspannung und des Induktionsstromes führen kann.

Wirbelströme Ein magnetisches Wechselfeld induziert in einem Leiter (z.B. Kupferblech) Kreisströme, die auch Wirbelströme genannt werden und die Feldenergie in Wärme umsetzen (Wirbelstromverluste). Wirbelströme sind die Ursache für den Skin-Effekt (s. *Frage T8*). Sie werden technisch genutzt in Tachometern, Stromzählern und in Wirbelstrombremsen.

Elektromagnetismus, Induktion: praktische Anwendungen

Dynamisches Mikrofon

Eine Membran ist mit einer beweglichen Spule (Schwingspule) verbunden. Diese taucht in das Magnetfeld eines Dauermagneten ein. Wenn sich durch Schallwellen die Membran und mit ihr die Spule bewegt, wird in der Spule ein Wechselspannungssignal induziert.



Quelle: Wikipedia (gemeinfrei)

Kopfhörer, Lautsprecher

Eine Membran ist mit einer beweglichen Spule (Schwingspule) verbunden. Diese taucht in das Magnetfeld eines Dauermagneten ein. Wenn in der Spule ein Wechselstrom fließt, bewegt sich die Spule und mit ihr die Membran im Rhythmus der Stromes. Die Bewegung der Membran erzeugt Schallwellen.

Jeder Lautsprecher oder jede dynamische Hörkapsel (Telefonhörer) funktioniert auch als dynamisches Mikrofon. Jedes dynamische Mikrofon kann Schallwellen erzeugen.

Der Begriff Linearität

Linearität ist ein zentraler Begriff in der Elektronik, insbesondere der elektronischen Signalverarbeitung, der Nachrichtentechnik und somit auch der Funktechnik.

Linearität bezeichnet die Eigenschaft eines Systems, auf die Änderung einer Größe stets mit einer dazu proportionalen Änderung einer anderen Größe zu reagieren, z.B.

System	Größe 1	Größe 2
Stromkreis	Spannung (U)	Strom (I)
	Verdoppelung führt zu	Verdoppelung
	Verdreifachung führt zu	Verdreifachung
	Verzehnfachung führt zu	Verzehnfachung

Das Beispiel beschreibt den linearen Zusammenhang zwischen Spannung und Strom in einem Stromkreis (*siehe Frage T1, Ohmsches Gesetz*).

Ein anderes Beispiel ist ein Audio Verstärker, der in weiten Bereichen auf die Änderung der Eingangsgröße (z.B. Mikrofonspannung) mit einer proportionalen Änderung der Ausgangsgröße (z.B. Lautsprecherspannung) reagiert. Dies ist mit realen Verstärkern nicht unbegrenzt möglich.

Abweichungen vom linearen Verhalten („Nichtlinearitäten“) machen sich bei Verstärkern als Verzerrungen des Ausgangssignales bemerkbar. Im Audio-Bereich sind sie hörbar, im HF-Bereich sind sie messbar und führen zu unerwünschten Nebenaussendungen oder schädlichen Störungen.

Elektronik

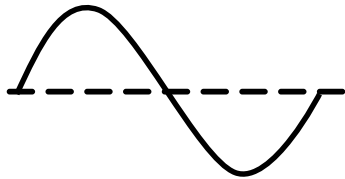
Gleich- und Wechselstromtechnik, passive Bauelemente

- Sinus- und nicht sinusförmige Signale (T7)
- Ohmsches und Kirchhoffsches Gesetz (T1)
- Widerstände als Bauelemente, Kenngrößen (G9)
- Begriff Leiter, Halbleiter, Nichtleiter (T2)
- Wärmeverhalten von elektrischen Bauelementen (T5)
- Was verstehen Sie unter dem Begriff Skin-Effekt? (T8)
- Kondensator, Begriff Kapazität, Einheiten – Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung (T3)
- Was verstehen Sie unter dem Begriff Dielektrikum? (T12)
- Spule, Begriff Induktivität, Einheiten – Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung (T4)
- Was verstehen Sie unter dem Begriff Permeabilität? (T10)
- Begriff elektrischer Widerstand (Schein-, Wirk-, und Blindwiderstand), Leitwert (T14)
- Berechnen Sie den kapazitiven Blindwiderstand eines Kondensators von 500 pF bei 10 MHz (Werte sind variabel) (T16)
- Berechnen Sie den induktiven Blindwiderstand einer Spule mit 30 μH bei 7 MHz (Werte sind variabel) (T15)
- Serien- und Parallelschaltung von R, L, C (T11)
- Wirk-, Blind-, und Scheinleistung bei Wechselstrom (T13)
- Der Transformator - Prinzip und Anwendung (T17)
- Mikrofonarten – Wirkungsweise (T44)



Signal als Begriff bezeichnet allgemein eine wahrnehmbare oder messbare Veränderung einer elektrischen (aber auch akustischen, optischen, oder sonstigen physikalischen Größe). Mit Hilfe von Signalen können Nachrichten übertragen werden.

Sinusförmige Signale



haben einen zeitlichen Verlauf, der exakt einer mathematischen Sinusfunktion entspricht, z.B. die Spannung des Wechselstromnetzes. Nur sinusförmige Signale sind frei von Oberwellen (s.u.).

Nicht sinusförmige Signale

Wechselspannungen mit beliebigem Kurvenverlauf, z.B. Dreiecksignal, Rechtecksignal, Trapezsignal, Sägezahnsignal, Rauschsignal (s. *Frage T40*). Alle diese Signalformen setzen sich aus mehreren Sinussignalen zusammen und weisen daher einen erheblichen Anteil an Oberwellen auf (*siehe Folgeseite*).

Beachte

Für periodische Signale haben sich (nicht ganz zutreffend) auch die Begriffe „Wellen“ oder „Schwingungen“ eingebürgert.

Kenngrößen

Im Gegensatz zur Gleichspannung, die nur eine Kenngröße benötigt, (Spannung), müssen für eine Wechselspannung mindestens drei Kenngrößen angegeben werden (s. *Kapitel Grundwissen, Frage T9*):

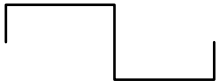
Kurvenform

Scheitelspannung (V)

Frequenz (Hz)

Beispiele

Sinusspannung, häufigste Form (z.B. Netzspannung 230V)



Rechteckspannung, weist nur zwei Spannungswerte auf.
Weit verbreitete Anwendung als digitales Signal in der Digitaltechnik,
Erzeugung und Verarbeitung durch digitale Bauelemente (*siehe Frage T30*)



Dreieckspannung, selten, Anwendung in der Messtechnik.

Oberwellen

Jedes Signal, das von der reinen Sinusform abweicht, weist Oberwellen auf.
Darunter versteht man (rein sinusförmige) Signale mit der 2-fachen, 3-fachen usw,
Frequenz der „Grundschiwingung“ und mit unterschiedlicher Amplitude.

Spektrum

Die Gesamtheit von Grundschiwingung und Oberwellen wird „Spektrum“ genannt.
Oberwellen entstehen immer, wenn nicht-sinusförmige Signale gewünscht sind.
Oberwellen entstehen aber auch, wenn die signalverarbeitende Elektronik nicht linear
arbeitet (Verzerrungen, *siehe auch G8*). Gründe dafür können Defekte,
Konstruktionsmängel oder Fehlbedienung („Übersteuerung“) sein. Nachweis mittels
Spektrumanalysator (Analyse = „Zerlegung“, *siehe T35*).

Signalsynthese

Die Tatsache, dass nicht-sinusförmige Signale ein Spektrum von Grund- und
Oberwellen aufweisen (Beispiel: Musikinstrumente) bedeutet umgekehrt, dass man
jedes beliebige Signal aus Sinussignalen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude
zusammensetzen (= „synthetisieren“) kann, *siehe auch Frage T54 (DDS)*.



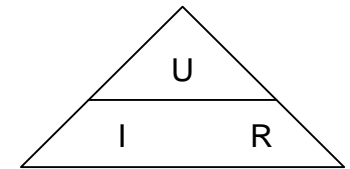
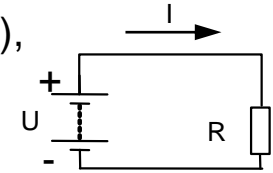
Ohmsches Gesetz gibt den Zusammenhang zwischen einem Widerstand (R), der anliegenden Spannung (U) und dem durch den Widerstand fließenden Strom (I) wieder.

$$U = I \cdot R$$

$$I = U / R$$

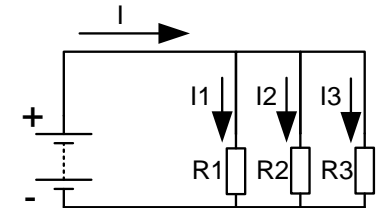
$$R = U / I$$

Merkdreieck



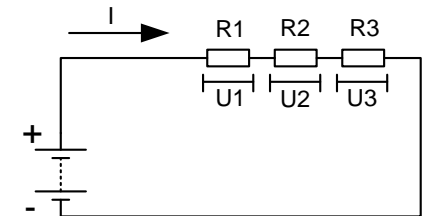
1. Kirchhoffsches Gesetz

Werden Widerstände parallel geschaltet, so ist der Gesamtstrom gleich der Summe der Teilströme.



2. Kirchhoffsches Gesetz

Werden Widerstände in Reihe geschaltet, so ist die Gesamtspannung gleich der Summe der Teilspannungen.



Siehe auch Frage T31.



Ergänzung, Vertiefung

Zusammenhang zwischen Spannung (U), Strom (I) und Leistung (P) :

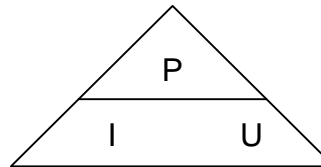
Es gelten die Beziehungen

$$P = I \cdot U$$

$$I = P / U$$

$$U = P / I$$

Merkdreieck



Unter Berücksichtigung des Ohmschen Gesetzes (s.o.)

$$U = I \cdot R \text{ bzw. } I = U / R$$

erhält man durch Einsetzen für U bzw I folgende Beziehungen
für die an einem Widerstand R (Verbraucher) anfallende Leistung.

$$P = I^2 \cdot R \text{ bzw. } P = U^2 / R$$

Je nach Art des Verbrauchers wird diese Leistung abgegeben, in Form von

- Wärme (Widerstand, Heizung),
- Strahlung (Antenne, Scheinwerfer),
- Schall (Lautsprecher) oder
- Bewegung (Elektromotor).

Widerstände als Bauelemente, Kenngrößen

Widerstände gehören zu den häufigsten Bauelementen in der Elektronik.

Kenngrößen

Widerstandswert
Toleranz der Widerstandswertes (in %)
Belastbarkeit (in W)
Widerstandsmaterial

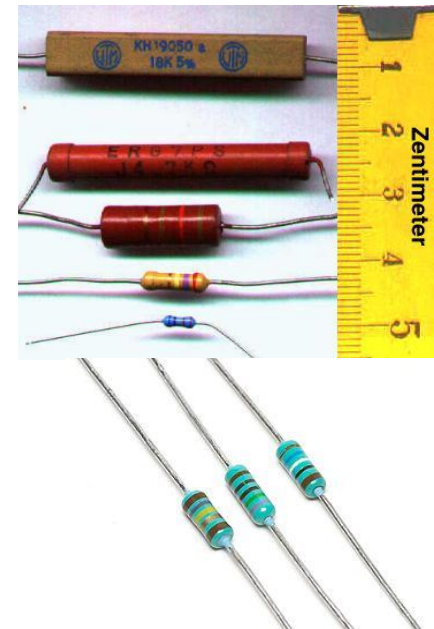
Bauformen

Widerstände aus Vollmaterial
Schichtwiderstände
gewickelte Widerstände
axiale Drahtanschlüsse

Miniaturformen zur Oberflächenmontage
(SMD, surface mounted device)



Variable Widerstände (Potentiometer)



Quelle: Wikipedia



Leiter

Materialien, die den elektrischen Strom sehr gut leiten.

Beispiele: Alle Metalle, Kohle, Säuren, ...

Sehr gute Leiter sind, in der Reihenfolge abnehmender Leitfähigkeit, Silber, Kupfer, Aluminium, Gold, Messing

Halbleiter

Materialien, die ihre Leitfähigkeit aufgrund physikalischer oder elektrischer Einflüsse verändern können, wie Silizium, Germanium, ...

Nichtleiter

Materialien, die den elektrischen Strom sehr schlecht leiten (Isolatoren).

Beispiele: Keramik, Kunststoff, trockenes Holz, ...

Gute Isolatoren sind:

Glas, Keramik, Kunststoff, Pertinax, Glasfaser-Harz, Teflon, Gummi usw.



Alle Metalle und die meisten guten Leiter erhöhen mit steigender Temperatur ihren Widerstand.

Die meisten Halbleiter verringern mit steigender Temperatur ihren Widerstand.

Kenngroße

Temperaturkoeffizient

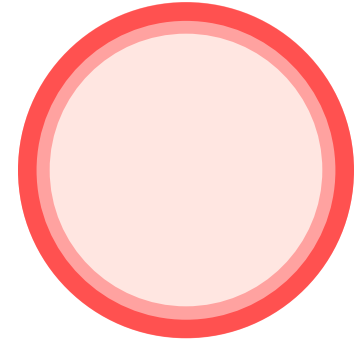
gibt an, um wieviel Ohm der Widerstand sich ändert,
wenn die Temperatur um 1 Grad erhöht wird.
Einheit: Ohm/Grad.

PTC (positive temperature coefficient): Der Widerstand nimmt mit steigender Temperatur zu (Metalle).

NTC (negative temperature coefficient): Der Widerstand nimmt mit steigender Temperatur ab (Halbleiter).



Bei zunehmenden Frequenzen wird der Stromfluss in einem Leiter immer mehr zum Rand hin gedrängt. Der Strom fließt praktisch nur mehr auf der Außenhaut des Leiters (Skin = Haut). Dadurch steigt der Widerstand an, was zu Leistungsverlusten führen kann, die bei Gleichstrom nicht auftreten würden. Deshalb können dicke HF-Leiter (z.B. Spulen in Leistungsverstärkern) auch als Rohre ausgeführt werden.



Abhilfe

- HF-Litze (viele dünne Adern vergrößern die Oberfläche)
- dickere Drähte (wegen der größeren Oberfläche)
- Versilbern der Leiteroberflächen.

Größenordnungen für die Eindringtiefe des Stroms:

- 9,38 mm bei 50Hz,
- 70 μm bei 1 MHz, also das Doppelte der Kupfer-Beschichtung auf Leiterplatten
- 7 μm bei 100 MHz, also ein Zehntel davon!

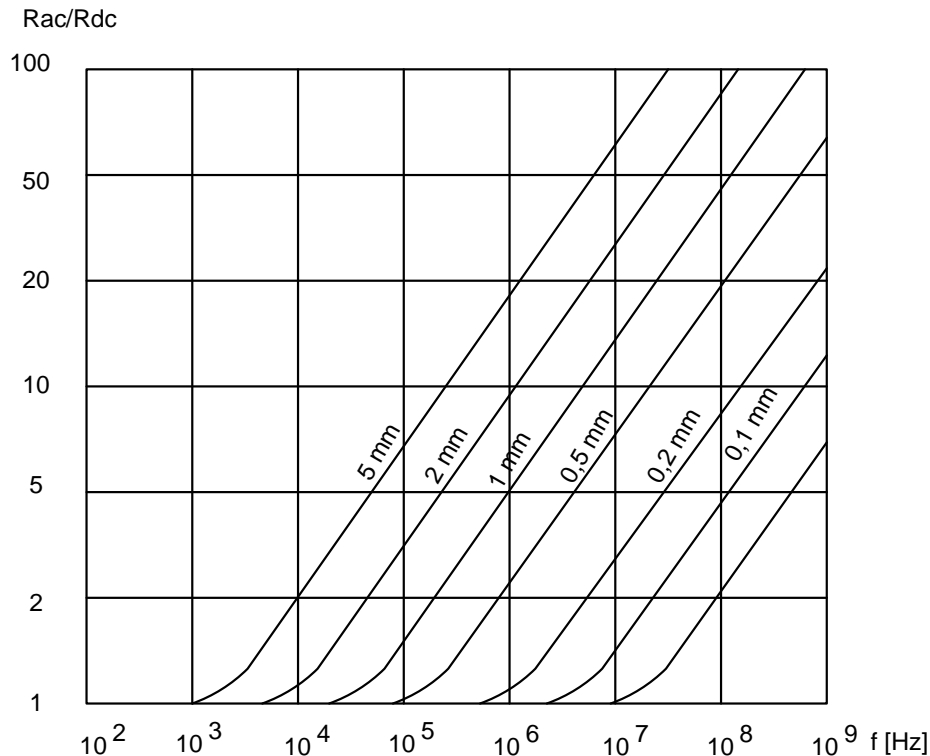


Vertiefung

Ursache

Bei wechselnder Polarität des Stromflusses verändert sich auch das Magnetfeld und induziert im Leitermaterial Wirbelströme, deren Stärke mit der Frequenz steigt. Sie wirken dem Erzeugerstrom entgegen (Lenz'sche Regel, *siehe G7*) und schwächen ihn in der Mittelachse des Leiters.

Diagramm





Ein Kondensator ist ein Ladungsspeicher und besteht aus zwei elektrisch leitenden Materialien, die voneinander durch einen Isolator getrennt sind.

Gleichspannung	An Gleichspannung verhält sich ein Kondensator wie ein Speicher, das heißt, er lädt sich auf und kann später die Ladung wieder an einen Verbraucher abgeben. Es fließt jedoch kein Gleichstrom durch den Kondensator.
Wechselspannung	An Wechselspannung kommt es durch die laufende Umladung, bedingt durch die Polaritätswechsel, zu einem Stromfluss im Leitungskreis (Umladungsstrom), der mit steigender Frequenz zunimmt.
Blindwiderstand	Ein Kondensator verhält sich also gegenüber Gleichspannung wie ein Isolator, gegenüber Wechselspannung wie ein Widerstand, der mit steigender Frequenz abnimmt. Dieser Widerstand wird in Ohm angegeben und als kapazitiver Blindwiderstand (X_c) bezeichnet, z.B. $X_c = 900 \text{ Ohm}$.
Einheit F	Farad (F) für die Kapazität (Speichervermögen) Kleinere Einheiten: Mikrofarad, Nanofarad, Picofarad. $0,000001 \text{ F} = 1 \mu\text{F} = 1000 \text{ nF} = 1\,000\,000 \text{ pF}$ $1 \text{ nF} = 1000 \text{ pF}$
Kürzel C	Das Symbol (Kürzel) für die Kapazität ist C , z.B. $C = 1 \mu\text{F}$

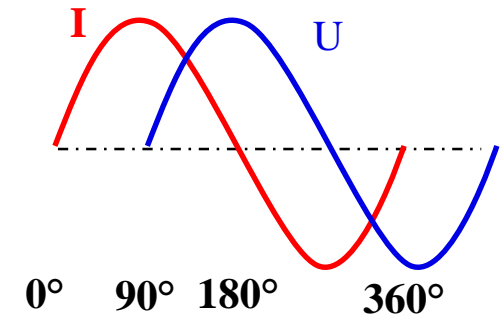


Schaltzeichen



Vertiefung

Bei Wechselspannung fließt zuerst ein Strom, der den Kondensator auflädt, beim Polwechsel wechselt auch der Strom die Richtung. Dadurch entsteht eine „90° Phasenverschiebung“ zwischen Strom und Spannung (Strom vor Spannung). Die gleiche Phase (z.B. Scheitelwert, z.B. Nulldurchgang) tritt beim Strom um eine Viertelperiode (Vollperiode 360°) vor der Spannung ein.



Merkwort „Kapstrovor“ (Kapazität Strom voraus)

Wenn ein Techniker von „Kapazität“ spricht, kann gemeint sein:

- die Kapazität eines Kondensators als Maßzahl
- ein Kondensator in einer elektronischen Schaltung
- die Kapazität einer Batterie als Maßzahl

Phase

ist ein Begriff aus der Wellenlehre und setzt den Zeitpunkt, zu dem ein bestimmter Momentanwert (= Schwingungszustand, z.B. Maximum oder Minimum) eines periodischen (= regelmäßig wiederkehrenden) Signals erfasst wird, ins Verhältnis zur Vollperiode (= Periodendauer), *siehe auch T9*.

Beachte: Eine Vollperiode wird häufig mit 360° gleich gesetzt (wegen des Zusammenhangs periodischer Signale mit der Kreisbewegung). Beispiel: Bei einer sinusförmigen Wechselspannung treten während einer Periode zwei „Nulldurchgänge“ auf, der erste zu Beginn der Periode (0°), der zweite nach Ablauf einer halben Periode (180°).



Das Dielektrikum ist die isolierende Schicht zwischen den beiden Platten eines Kondensators. Z.B. Keramik, Kunststoff, Teflon, Aluminiumoxyd etc.

Kenngroße

(relative) Dielektrizitätskonstante

Materialkonstante, die angibt, um wie viel höher die Kapazität gegenüber (= relativ zu) Vakuum ist, wenn dieses Material zwischen den Kondensatorplatten angeordnet wird.

Beispiele

Luft: 1

Aluminiumoxid (Keramik): 7

Papier: 1-4

Teflon: 2

Tantalpentoxid: 27 (!)

Wasser: 80 (destilliertes Wasser ist ein Isolator!)



Vertiefung

Formelzeichen ϵ (Dielektrizitätskonstante)

Die wichtigsten Forderungen an ein Dielektrikum :

- Hohe Dielektrizitätskonstante
- Hohe Spannungsfestigkeit
- Geringe Dicke

Bauformen von Kondensatoren



Keramikkondensator



Blockkondensator



Elektrolytkondensator



Luftkondensator als Trimmer
ausgeführt



Drehkondensator (Luft), Rotor, Stator



Drehkondensator (Folie)



Eine Spule besteht aus einer oder mehreren Windungen eines Leiters, die ggf. auf einem magnetisch leitenden Kern aufgebracht werden. Sie wird auch als Induktivität bezeichnet.

Gleichspannung

Es fließt Gleichstrom, der in der Spule ein Magnetfeld aufbaut, in dem magnetische Feldenergie gespeichert wird.

Wechselspannung

Es fließt Wechselstrom. Bedingt durch die Richtungswechsel des Stromes kommt es zu Richtungswechseln des Magnetfeldes. Diese Wechsel induzieren im Leiter wiederum einen Strom (Induktionsgesetz, Selbstinduktion), der dem verursachenden Strom entgegengerichtet ist (Lenzsche Regel) und ihn um so mehr verringert, je rascher sich das Magnetfeld ändert.

Blindwiderstand

Eine Spule (Induktivität) verhält sich also gegenüber Gleichspannung wie ein (ohmscher) Widerstand, gegenüber Wechselspannung wie ein Widerstand, der mit steigender Frequenz zunimmt. Dieser Widerstand wird in Ohm angegeben und als induktiver Blindwiderstand (X_L) bezeichnet, z.B. $X_L = 900 \text{ Ohm}$.

Einheit

Henry (**H**) für die Induktivität, Kleinere Einheiten: Millihenry, Mikrohenry.
 $0,001 \text{ H} = 1 \text{ mH} = 1000 \text{ } \mu\text{H}$

Formelzeichen

Induktivität: **L**, z.B. $L = 1 \text{ } \mu\text{H}$



Schaltzeichen

oder



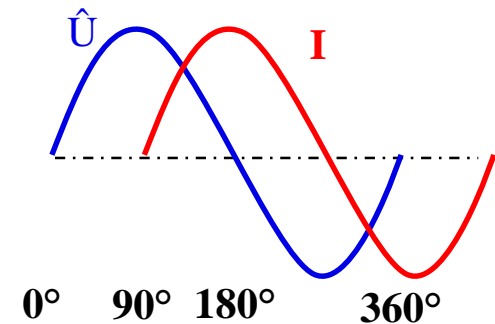
Vertiefung

Bei Wechselspannung wird durch die Ummagnetisierung ein Strom erzeugt, der dem äußeren Strom entgegenwirkt.

Dadurch entsteht eine 90° Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung (Spannung vor Strom).

Phase als Begriff bezeichnet den momentanen Schwingungszustand.

Die gleiche Phase (z.B. Scheitelwert, z.B. Nulldurchgang) tritt beim Strom um eine Viertelperiode (Vollperiode 360°) nach der Spannung ein.



Merksatz Induktivität, Strom zu spät.

Wenn ein Techniker von „Induktivität“ spricht, kann gemeint sein:

- die Induktivität einer Spule als Maßzahl
- eine Spule in einer elektronischen Schaltung



Wird ein Material in eine Spule eingebracht, erhöht dies die Induktivität der Spule. Die Permeabilität gibt ein Maß für die Veränderung der Induktivität gegenüber Vakuum. Das in die Spule eingebrachte Material wird auch als „Kern“ bezeichnet.

Permeabilität Materialkonstante, die angibt, um wie viel höher die Induktivität gegenüber Vakuum ist, wenn dieses Material als Kern in eine Spule eingebracht wird.

Beispiele

- Luft: 1
- Al: 250
- Ni: 600
- Fe: 5000
- Mu Metall: 100.000

Formelzeichen μ (mü)



Vertiefung

Bauformen von Spulen je nach Kernmaterial und -ausführung



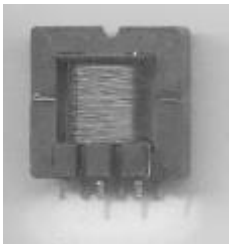
Luftspule



Spule mit variabler Induktivität durch eindrehbaren Eisenkern



Ringkernspule



Mehrlagig gewickelte Spule mit Kern aus geschichteten Eisenlamellen



Die Gleichstromtechnik kennt nur Ohmsche Widerstände.

Ohmscher Widerstand R Zwischen Spannung und Strom besteht keine Phasenverschiebung.
Man spricht von Wirkwiderstand.

Leitwert G Der Leitwert ist der Kehrwert des Ohmschen Widerstandes.
 $G = 1 / R$ Einheit S (Siemens)

In der Wechselstromtechnik (also auch Hochfrequenztechnik) ist zwischen Ohmschem Widerstand (Wirkwiderstand, s.o.), Blindwiderstand und Scheinwiderstand zu unterscheiden.

**Blindwiderstand X_c bzw X_L
Reaktanz** Kondensatoren (C) und Induktivitäten (L) bewirken eine Phasenverschiebung des Stromes gegenüber der Spannung von $+90^\circ$ (C) bzw. -90° (L) . Der frequenzabhängige Blindwiderstand (Einheit: Ohm) wird auch als Reaktanz bezeichnet.

**Scheinwiderstand Z
Impedanz** Schaltungen mit RC- oder RL-Kombinationen ergeben Phasenverschiebungen im Bereich von 0 bis 90 Grad.
Der resultierende frequenzabhängige Gesamtwiderstand bei RC- oder RL- Kombinationen wird auch als Scheinwiderstand oder Impedanz (Einheit: Ohm) bezeichnet.



Formel

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad \text{wobei } f \text{ in Hz, } C \text{ in F}$$

Berechnung

$$C = 500 \text{ pF} = 500 / 1.000.000.000.000 \text{ F}$$

$$f = 10 \text{ MHz} = 10 * 1.000.000 \text{ Hz} = 10.000.000 \text{ Hz}$$

$$X_C = 1 / (2 * 3,14 * f * C) = 1 / (6,28 * 10.000.000 * 500 / 1.000.000.000.000) = \\ = \underline{31,84 \text{ Ohm}}$$

Anmerkung

$$1 \text{ pF (pikoFarad)} = 10^{-12} \text{ F} = 0,000.000.000.001 \text{ F}$$

$$10 \text{ MHz (Megahertz)} = 10 * 10^6 \text{ Hz} = 10^7 \text{ HZ} = 10.000.000 \text{ Hz}$$



Formel

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad \text{wobei } f \text{ in Hz, } L \text{ in H}$$

Berechnung

$$L = 30 \mu\text{H} = 30 / 1.000.000 \text{ H}$$

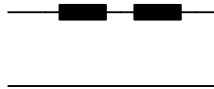
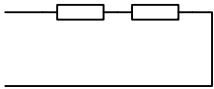
$$f = 7 \text{ MHz} = 7 * 1.000.000 \text{ Hz} = 7.000.000 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} X_L &= 2 * 3,14 * f * L = 6,28 * 7.000.000 * 30 / 1.000.000 = \\ &= \underline{1318 \text{ Ohm}} = \underline{1,3 \text{ kOhm}} \text{ (gerundet)} \end{aligned}$$

Anmerkung

$$1 \mu\text{H (mikroHenry)} = 10^{-12} \text{ F} = 0,000.000.000.001 \text{ F}$$

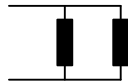
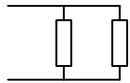
$$7 \text{ MHz (MegaHertz)} = 7 * 10^6 \text{ Hz} = 7.000.000 \text{ Hz}$$



Serienschaltung von Widerständen und Induktivitäten

Der Gesamtwert des Widerstandes (der Induktivität) ist größer als der größte Einzelwert.

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 \quad L_{\text{ges}} = L_1 + L_2$$



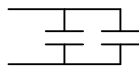
Parallelschaltung von Widerständen und Induktivitäten

Der Gesamtwert des Widerstandes (der Induktivität) ist kleiner als der kleinste Einzelwert.

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

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

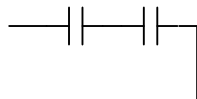
hingegen



Parallelschaltung von Kapazitäten

Der Gesamtwert der Kapazität ist größer als der größte Einzelwert.

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



Serienschaltung von Kapazitäten

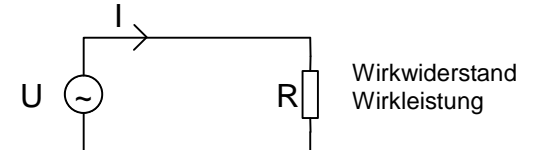
Der Gesamtwert der Kapazität ist kleiner als der kleinste Einzelwert.

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



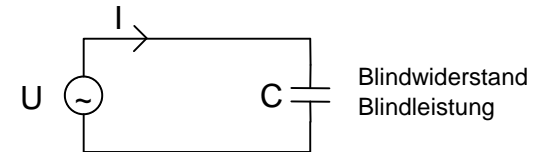
Wirkleistung

tritt auf, wenn im Stromkreis nur rein ohmsche Widerstände vorhanden sind.



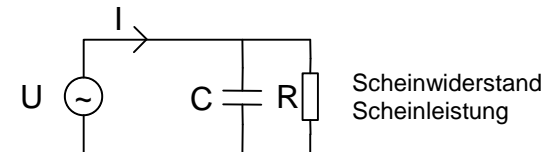
Blindleistung

tritt auf, wenn nur rein kapazitive oder induktive Blindwiderstände im Stromkreis vorhanden sind.



Scheinleistung

tritt auf, wenn im Stromkreis sowohl ohmsche als auch kapazitive oder induktive Widerstände vorhanden sind, deren Kombination als Scheinwiderstand (Impedanz) auftritt.



Beachte

Wirkleistung und Blindleistung können nicht einfach arithmetisch addiert werden, um zur Scheinleistung zu kommen. Das liegt daran, dass Wirkströme und Blindströme nicht gleichphasig sind.



Prinzip

Auf einem gemeinsamen Eisenkern befinden sich zwei Wicklungen (Spulen). Fließt Wechselstrom in einer Spule (Primärspule), so induziert das dadurch erzeugte wechselnde Magnetfeld in der anderen Spule (Sekundärspule) eine Wechselspannung.

Die Wechselspannungen an den Wicklungen verhalten sich proportional zum Verhältnis der Windungszahlen (Windungsverhältnis, Übersetzungsverhältnis).

Anwendung

Auf- oder Abwärtstransformation von Wechselspannungen in der Stromversorgungs-, Niederfrequenz- (NF-) und Hochfrequenz- (HF-) Technik.

Übertrager

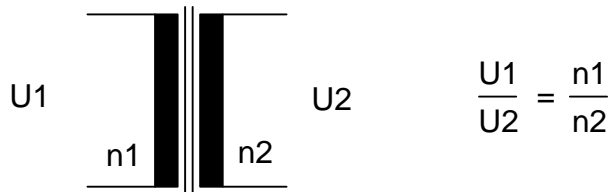
Transformatoren werden auch als Übertrager bezeichnet, da sie Signale übertragen.

Kenndaten

Primär- und Sekundärspannung
Windungszahlen
Übersetzungsverhältnis
maximal übertragbare Leistung
Impedanz

Vertiefung

Schaltsymbol



U_1, U_2 Spannung an der Primär- bzw. Sekundärwicklung
 n_1, n_2 Windungszahl der Primär- bzw. Sekundärwicklung

Eingangs- und Ausgangsspannung des Transformators verhalten sich proportional zu den Windungsverhältnissen.

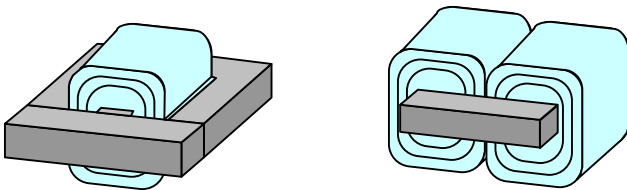
Eingangs- und Ausgangsstrom verhalten sich umgekehrt proportional zu den Windungsverhältnissen.

Eingangs- und Ausgangsimpedanz werden im Quadrat des Windungsverhältnisses transformiert.

allgemeiner Begriff für „Wandlung“ (z.B. Spannungstransformation, Impedanztransformation)

Transformation

Bauformen



Eisenkerne werden zumeist als Stapel aus einzelnen Blechen gefertigt, um Wirbelstromverluste (s. G7) zu minimieren.



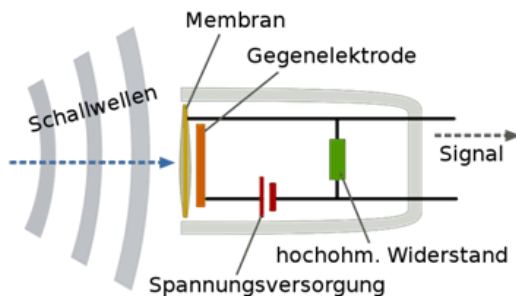
Jedes Mikrofon dient der Umwandlung von Schall in ein elektrisches Signal.

Kohlemikrofon



Eine Membran presst eine Schicht aus Kohlekörnchen zusammen. Beim Besprechen ändert sich dieser Druck und somit der elektrische Widerstand der Kohleschicht im Rhythmus der Schallwellen. Zur Versorgung ist eine Stromquelle nötig. Veraltet, früher in Telefonen verwendet.

Kondensatormikrofon



Eine wenige Mikrometer dicke, elektrisch leitfähige Membran ist dicht vor einer Metallplatte isoliert angebracht und bildet mit dieser einen Kondensator, an den eine Gleichspannung angelegt wird. Schall bringt die Membran zum Schwingen, und verändert den Abstand der Kondensatorplatten und somit die Kapazität. Die Kapazitätsschwankungen führen zu Umladungsströmen, die an einem Widerstand Spannungsschwankungen (das elektrische Signal) hervorrufen. Zur Spannungsversorgung ist eine Stromquelle nötig. Hochwertige Mikrofone in der Studientechnik sind oft Kondensatormikrofone. Teuer.



Elektret-Mikrofon



Ähnlich dem Kondensatormikrofon, allerdings ist hier die Polarisationsspannung in einer Kunststoffolie („Elektret“) „eingefroren“. Um Störungen auf der Mikrofonleitung zu minimieren, muss direkt an der Kapsel ein Verstärker angeordnet sein, der eine Stromversorgung benötigt. Diese Versorgung erfolgt in der Regel vom angeschlossenen Verstärker über das Mikrofonkabel. Andernfalls befindet eine 1,5 V Batterie im Mikrofongehäuse. Hochwertig, klein und preiswert.

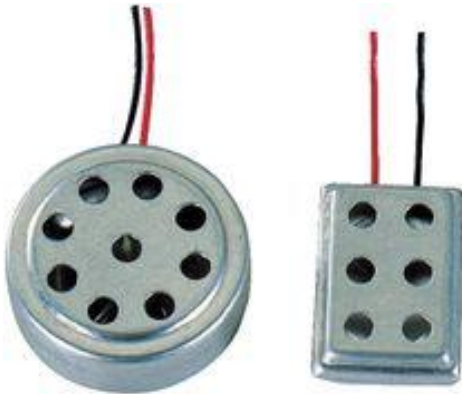
Dynamisches Mikrofon



Eine Membran ist mit einer beweglichen Spule verbunden. Diese taucht in das Magnetfeld eines Dauermagneten ein. Wenn sich durch das Besprechen die Spule bewegt, wird darin ein Wechselspannungssignal induziert. Jeder Lautsprecher oder jede dynamische Hörkapsel (Telefonhörer) funktioniert auch als Mikrofon. Hochwertig, gutes Preis / Leistungsverhältnis.



Kristallmikrofon



Kristalle aus Turmalin und bestimmte Keramiken haben die Eigenschaft, bei mechanischer Verformung eine kleine elektrische Spannung abzugeben (Piezo-Effekt). Eine Membran wird mit dem Kristall verbunden. Beim Besprechen gibt dieser ein Spannungssignal ab.

Zusammenfassung

Kohlemikrofone, Kondensator- und Elektretmikrofone benötigen eine externe Stromversorgung.

Dynamische Mikrofone und Kristallmikrofone erzeugen das elektrische Signal selbsttätig und benötigen keine externe Stromversorgung.

Elektronik

Hochfrequenz- (HF-) schaltkreise

- Der Resonanzschwingkreis - Kenngrößen (T18)
- Der Resonanzschwingkreis - Anwendungen in der Funktechnik (T19)
- Berechnen Sie die Resonanzfrequenz eines Schwingkreise mit folgenden Werten:
 $L = 15 \mu\text{H}$, $C = 30 \text{ pF}$ (Werte sind variabel) (T20)
- Filter - Arten, Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise (T21)



Ein Resonanzschwingkreis (Schwingkreis) ist eine Zusammenschaltung von Kondensator und Spule. Die Zusammenschaltung weist also einen frequenzabhängigen Scheinwiderstand (Impedanz) Z auf.

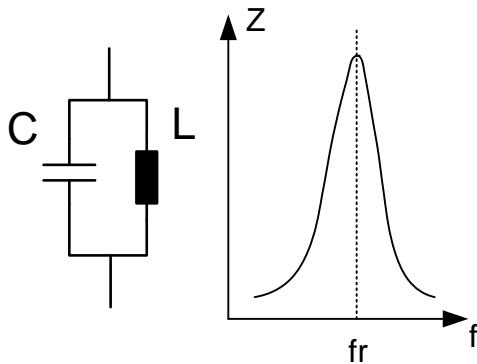
Jedes Element für sich hat einen frequenzabhängigen Blindwiderstand X_C bzw. X_L .
 X_C nimmt mit der Frequenz ab, X_L nimmt mit der Frequenz zu.

Es gibt allerdings eine Frequenz, für die die beiden Blindwiderstände X_C und X_L gleich sind. In diesem Fall heben sich die von C bzw. L verursachten Phasenverschiebungen auf, sodass die Impedanz Z einen rein ohmschen Widerstandswert aufweist.

Kenngrößen

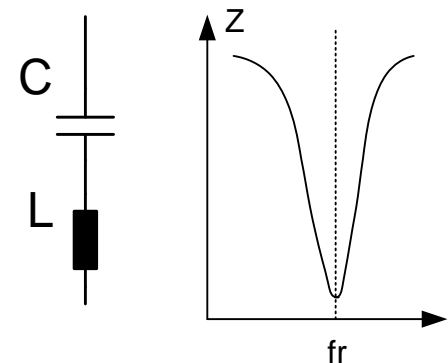
Resonanzfrequenz, das ist die Frequenz f_r , für die die Blindwiderstände von C und L eines Schwingkreises gleich sind und die Impedanz Z ohmsch wird.
Bandbreite, Güte (Q) (s. Vertiefung).

Parallelschwingkreis



C und L sind parallel geschaltet.
 Z weist bei Resonanz ein Maximum auf.

Serienschwingkreis



C und L sind in Serie geschaltet.
 Z weist bei Resonanz ein Minimum auf.



Vertiefung

Resonanzfrequenz Formel zur Berechnung

$$X_C = 1 / (2 * \pi * f * C) = 2 * \pi * f * L = X_L \quad (f \text{ in Hz, } C \text{ in F})$$

durch Umformung erhält man die Resonanzfrequenz

$$f = 1 / 2 \pi \sqrt{L * C} \quad \text{Thomsonsche Formel, wobei } f \text{ in Hz, } L \text{ in H, } C \text{ in F}$$

Technikerformel Diese Formel ist praktischer in der Handhabung

$$f = \frac{159}{\sqrt{L * C}} \quad (f \text{ in MHz, } C \text{ in pF, } L \text{ in uH})$$



Vertiefung

Kenngröße

Die **Bandbreite** B ist ein Maß für die Form („Schärfe“) der Resonanzkurve.
Definition: $B = f_2 - f_1$ (70% Punkte)

Kenngröße

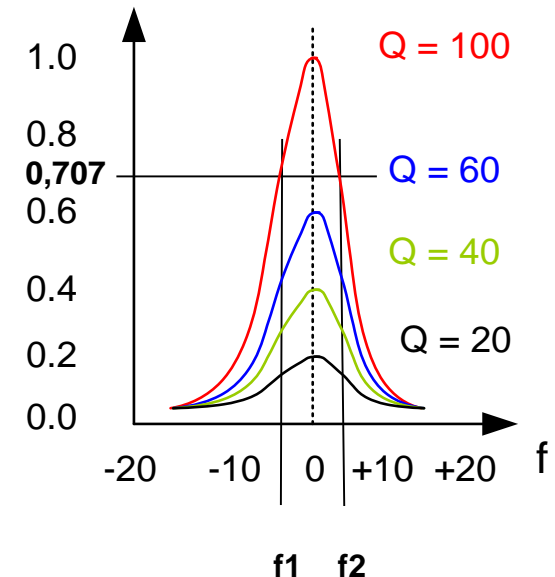
Die **Güte** Q ist eine Maßzahl für die Verluste im Schwingkreis.
Hohe Güte: geringe Verluste!

Zusammenhang

$Q = f / B$
Hohe Güte bedeutet:
geringe Bandbreite
schmale Resonanzkurve
hohes Maximum von Z (Parallelkreis)
tiefes Minimum von Z (Serienkreis)

Zahlenbeispiel

$B = f_2 - f_1$ (70% Punkte)
 $Q = f / B$
 $f = 10.000 \text{ kHz} = 10 \text{ MHz}$
 $B = 100 \text{ kHz}$
 $Q = 10.000 / 100 = 100$ („guter“ Wert in der Praxis)

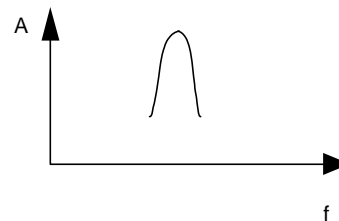
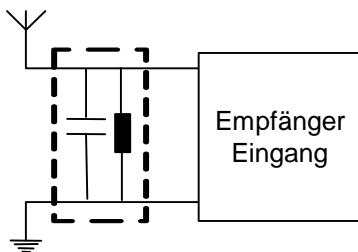




Der Resonanzschwingkreis wird in der Funktechnik als Selektionsmittel (Filter) eingesetzt, um Signale einer bestimmten Frequenz hervorzuheben oder zu unterdrücken. Er findet Anwendung in Eingangsschaltungen von Empfängern, in HF Verstärkern und Oszillatoren.

Parallelschwingkreis

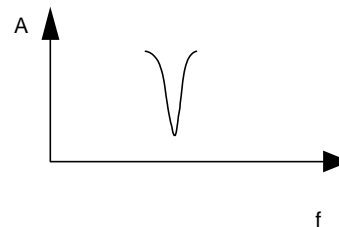
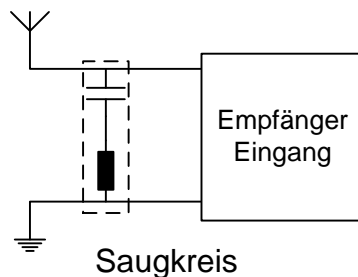
Man nutzt die hohe Impedanz im Resonanzfall.



Nur Signale einer erwünschten Frequenz gelangen in den Empfängereingang, alle anderen werden „kurzgeschlossen“.
(A: Signalamplitude, f: Frequenz)

Serienschwingkreis

Man nutzt die niedrige Impedanz im Resonanzfall.



Nur Signale einer unerwünschten Frequenz werden „kurzgeschlossen“, alle anderen gelangen in den Empfängereingang.
(A: Signalamplitude, f: Frequenz)



Wir verwenden die Technikerformel (*siehe Vertiefung von Frage T18*).

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Achtung Werte: L in μH , C in pF , f in MHz !

Berechnung

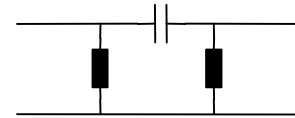
$$f = 159 / \sqrt{L \cdot C} = 159 / \sqrt{15 \cdot 30} = 159 / 21,213 = \underline{\underline{7,495 \text{ MHz}}}$$



Jeder Resonanzschwingkreis kann als einfaches Filter verwendet werden, um Signale auf der Resonanzfrequenz durchzulassen oder zu unterdrücken (s. *Frage T19*). Darüber hinaus kann man durch Kombination von R, L, und C Filter mit speziellen Eigenschaften herstellen.

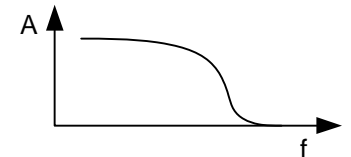
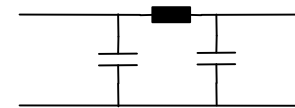
Hochpassfilter

Lässt hohe Frequenzen passieren und sperrt tiefe Frequenzen.



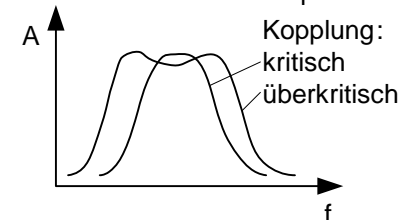
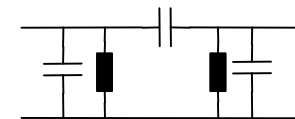
Tiefpassfilter

Lässt tiefe Frequenzen passieren und sperrt hohe Frequenzen.



Bandpassfilter

Größere Bandbreite als ein einfacher Resonanzschwingkreis



Anwendung

Bandpassfilter am Eingang von Empfängern
Oberwellenfilter am Ausgang von Sendeverstärkern

Kenngößen

Grenzfrequenz (untere G. beim Hochpass, obere G. beim Tiefpass)

Bandbreite (beim Bandpass)

Durchlassdämpfung abhängig von der Güte der Bauteile (s. *Frage T20*)

Flankensteilheit abhängig von der Anzahl der Filterstufen

Welligkeit Durchlassdämpfung nicht gleich für alle Frequenzen (s. o. *Bandpass*)

Vertiefung

Quarzfilter

Eine Quarzscheibe (piezoelektrisches Material) zwischen zwei Kontaktflächen verhält sich wie ein Resonanzschwingkreis extrem hoher Güte. Durch Zusammenschaltung mehrerer Quarze lassen sich Bandpassfilter mit kleiner Bandbreite, geringer Durchlassdämpfung, geringer Welligkeit und hoher Flankensteilheit herstellen. Quarzfilter zur Aufbereitung hochfrequenter Signale findet man in Empfängern und Sendern.

Aktive Filter

Filter im NF-Bereich mit Operationsverstärkern. Verwendung zur Aufbereitung von Audio Signalen.

Alle bisher genannten Filter verwenden diskrete Bauteile (Hardware) und wirken direkt auf analoge Signale (Analogfilter).

Digitale Filter

Mit digitalen Signalprozessoren (*DSP*, s. *Frage T55*) können Filter erzeugt werden, deren Kenngrößen Analogfiltern ebenbürtig oder überlegen sind. Sie können über die Software schnell verändert werden und bieten die Zusatzvorteile hoher zeitlicher und thermischer Stabilität und Reproduzierbarkeit.



Elektronik

Halbleiter und aktive Bauelemente

- Was sind Halbleiter? (T22)
- Die Diode – Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung (T23)
- Der Transistor – Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung (T24)
- Die Elektronenröhre – Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung (T25)



Als Halbleiter bezeichnet man

Materialien, deren Leitfähigkeit durch physikalische Einflüsse gesteuert werden können. Ausgangsmaterialien sind kristallines Silizium (Si) oder Germanium (Ge), versehen mit winzigen Verunreinigungen (Dotierung). Die Dotierungsatome nehmen die selben Kristallgitterplätze ein wie die Atome des Grundmaterials. Je nach Dotierungsmaterial entstehen sog. P-Leiter (positive Ladungsträger) oder sog. N-Leiter (negative Ladungsträger). *S. a. Vertiefung (Folgeseiten).*

Beachte

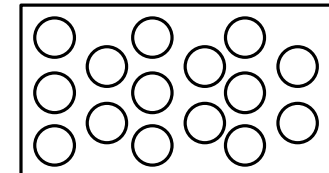
Bauelemente (Dioden, Transistoren etc.), die aus Halbleitern bestehen (*s. Fragen T23, T24*), werden ungenau, aber häufig, ebenfalls als Halbleiter bezeichnet.



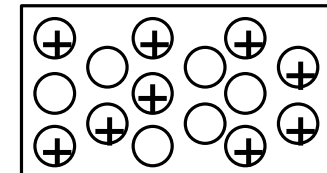
Vertiefung

Wie kommen P-Leiter und N-Leiter zustande?

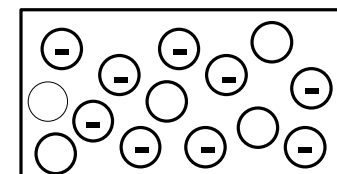
Grundlage Im 4-wertigen Grundmaterial (z.B. Si) dienen alle 4 äußeren Elektronen der Atome der Stabilisierung des Kristallgitters und stehen nicht als freie Ladungsträger zur Verfügung.



P-Leiter Durch Dotierung mit 3-wertigen Stoffen entsteht Elektronen-Mangel im Gitter des Grundmaterials. Diese „Löcher“ sind positive Ladungsträger.



N-Leiter Durch Dotierung mit 5-wertigen Stoffen entsteht Elektronen-Überschuss im Gitter des Grundmaterials. Elektronen sind negative Ladungsträger.





Vertiefung

Die für Halbleiterbauelemente (Dioden, Transistoren etc.) wichtigen Eigenschaften kommen erst dann zustande, wenn P-Leiter und N-Leiter zusammengebracht werden.

Zwei Vorgänge an der Grenzschicht sind dabei von entscheidender Bedeutung.

1 Diffusion

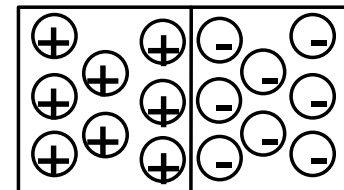
bezeichnet einen durch Wärme unterstützten Vorgang, bei dem Teilchen von einem Gebiet hoher Konzentration (oder hohen Druckes) in ein Gebiet niedriger Konzentration wandern (also aufgrund eines Gefälles), sofern die Grenze zwischen den Gebieten durchlässig ist. Beispiel: Zucker in Wasser (ohne Rühren).

2 Rekombination

bezeichnet einen Vorgang, bei dem + und – Ladungsträger sich verbinden, sodass deren Ladung neutralisiert wird.

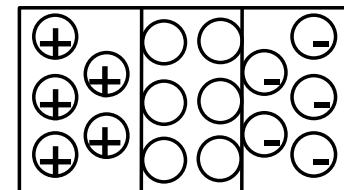
P-N Übergang

Werden p- und n-dotiertes Material zusammengebracht, entsteht ein p-n-Übergang.



Sperrschicht

An der Grenzschicht entsteht durch Diffusion und Rekombination eine ladungsträgerfreie Schicht, die Sperrschicht. Die Sperrschicht isoliert.



Aufbau

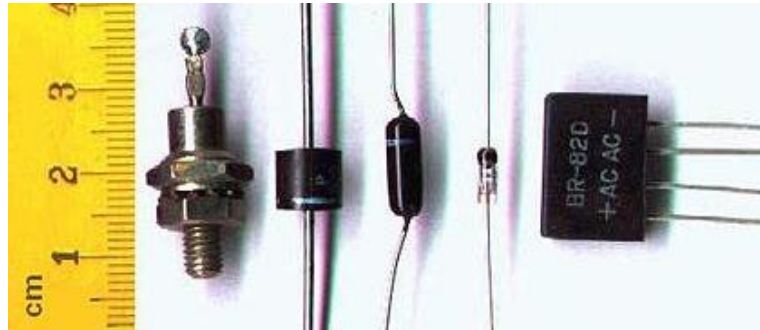
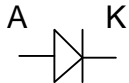
Eine Diode ist ein Halbleiterbauelement mit einem P-N Übergang (s. Frage T22). Die P-Schicht bildet die Anode (s.u.), die N-Schicht bildet die Kathode (s.u.).

Anwendung

Als Gleichrichter, da Strom nur in einer Richtung fließen kann.

Schaltsymbol

Tatsächliches Aussehen (der Ring kennzeichnet die „Kathode“)



Durchlassrichtung

+ Pol der Stromquelle an der Anode (bei Si Dioden mindestens 0,7V)

Sperrrichtung

+ Pol der Stromquelle an der Kathode (gekennzeichnet durch einen Ring)

Kenngößen

Maximale Sperrspannung

Strombelastbarkeit

Die Kenngößen sind aus dem Datenblatt zu entnehmen.

Bauformen

Schraubbefestigung zur besseren Kühlung

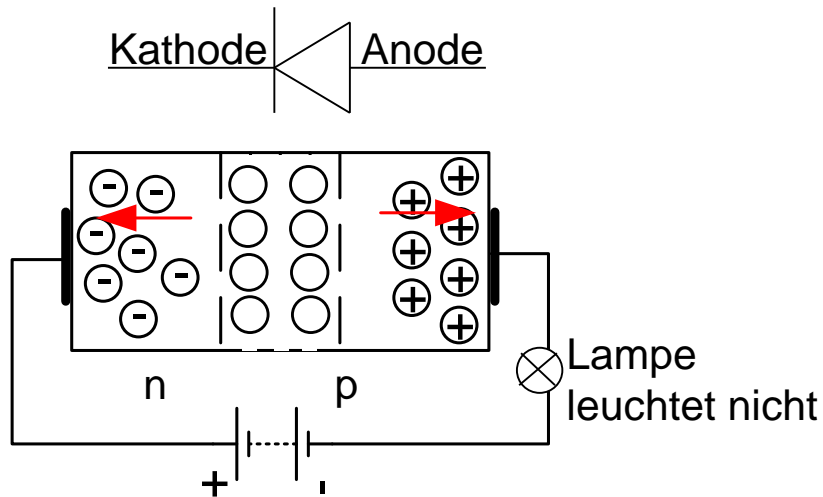
Kunststoffgehäuse

Glasgehäuse

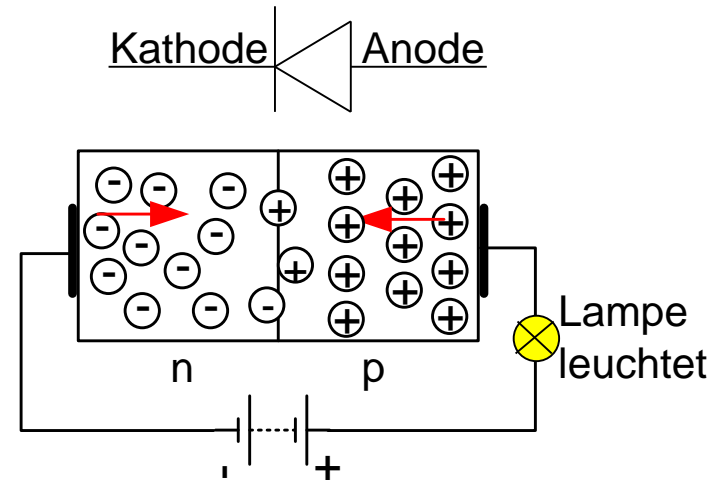
Mehrfachdioden in einem Gehäuse



Vertiefung



Diode in Sperrrichtung



Diode in Durchlassrichtung

Vakuumdioden

Vakuumdioden sind Elektronenröhren (s. Frage T25).

Zenerdiode

Sonderform, dient zur Spannungsstabilisierung.

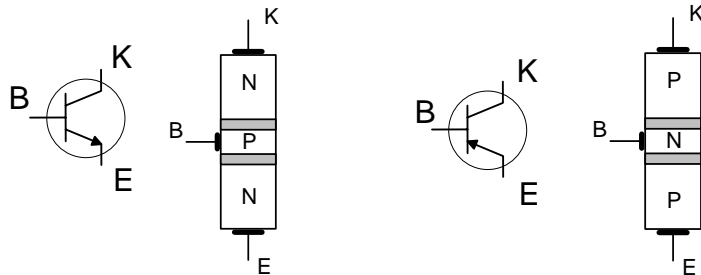
Kapazitätsdiode

Die Sperrschicht (s. Frage T22) stellt einen Kondensator dar. Wird eine Spannung in Sperrrichtung (s.o. links) angelegt, so wird die Sperrschicht breiter, die Kapazität geringer. Die Kapazität lässt sich also durch die Spannung beeinflussen. Anwendung als Abstimmelement in Schwingkreisen.

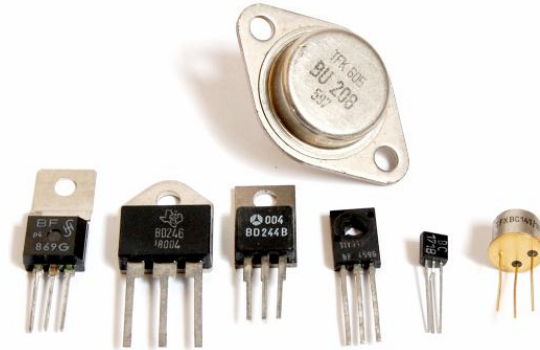


Aufbau Ein Transistor ist ein Halbleiterbauelement, bestehend aus zwei N-Leitern, zwischen denen eine dünne Schicht eines P-Leiters liegt (NPN-Typ, es gibt auch den PNP-Typ). Die mittlere Schicht heißt **Basis**, die äußeren Schichten heißen **Emitter** und **Kollektor**. Jede Schicht trägt einen Anschluss, somit hat ein Transistor 3 Anschlüsse. In digitalen Schaltkreisen werden eine Vielzahl von Transistoren auf einer gemeinsamen Unterlage (Substrat) aufgebracht.

Schaltsymbol und Schichtaufbau NPN, PNP



Bauformen



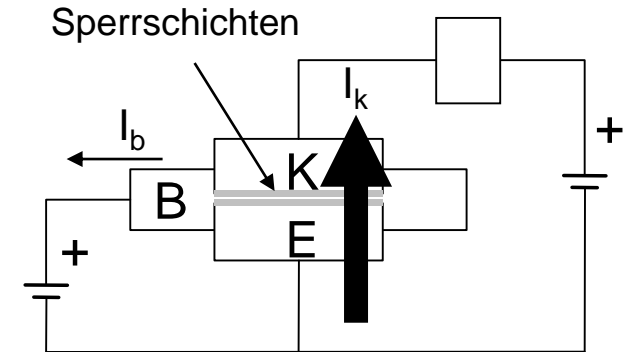
Kenndaten

Typ (NPN oder PNP)
Stromverstärkung
maximale Kollektorspannung
maximaler Kollektorstrom
Grenzfrequenz

Vertiefung

Der bipolare Transistor

Zwischen Basis (B) und Emmitter (E) bzw. Basis und Kollektor (K) bilden sich zwei Sperrschichten (s. *Frage T22*). Weil die Basis sehr dünn und schwach dotiert ist, können die Elektronen bei fließendem Basisstrom I_b auch die B-K-Sperrschicht überwinden und über den Kollektor-Anschluss abfließen.



Damit kann der Kollektorstrom I_k durch einen im Verhältnis dazu kleinen Basisstrom gesteuert werden.

Der Transistor verhält sich wie ein elektrisch gesteuerter, veränderlicher Widerstand zwischen E und K.

Strom zwischen Emmitter und Kollektor fließt erst, wenn Basisstrom fließt, d.h. wenn die Spannung zwischen Basis und Emmitter mindestens +0,7 V (für Si-Transistoren) beträgt (s. *Frage T23*).

Beachte: Die Pfeile geben die physikalische Stromrichtung an!

Beachte: Das Vorhandensein von Sperrschicht setzt die Beteiligung von + (Löchern) und – (Elektronen) Ladungsträgern voraus. Deher die Bezeichnung „bipolarer Transistor“.

Der unipolare Transistor

Diese Form benützt nur eine Art von Ladungsträger, der Strom wird durch ein elektrisches Feld (fast leistunglos) gesteuert. Beispiel: Feldeffekttransistor (FET).

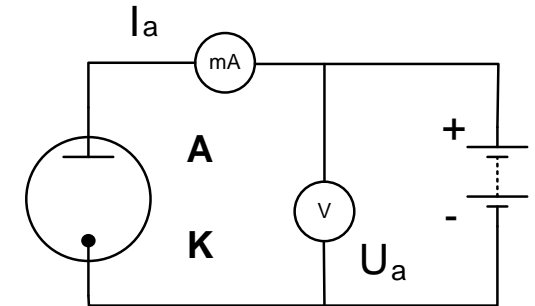
Anwendung von Transistoren

Verstärker für NF und HF, Oszillatoren, Signalerzeugung, Schalter, Regelkreise.

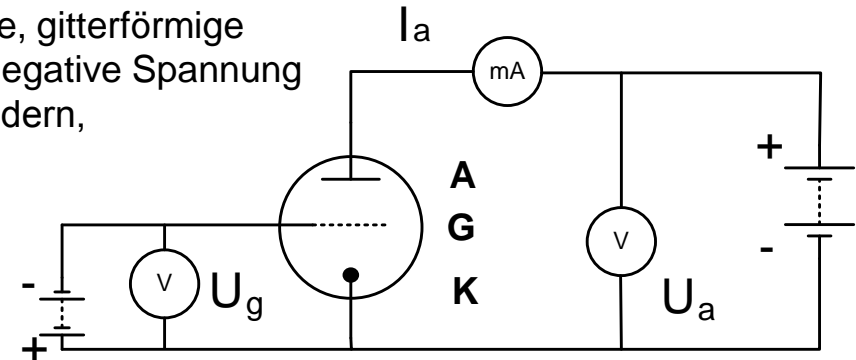


Aufbau und Wirkungsweise

Diode In einem luftleeren Glaskolben befinden sich 2 oder mehr Elektroden. Eine davon, die Kathode (K), wird durch einen Heizfaden zum Glühen gebracht und entlässt dadurch freie Elektronen. Die gegenüberliegende Elektrode heißt Anode (A), sie ist kalt, wird auf eine + Spannung (U_a) gelegt und saugt die Elektronen ab. Strom (I_a) kann daher nur von der Kathode zur Anode fließen.



Triode Zwischen Kathode und Anode wird eine dritte, gitterförmige Elektrode (G) eingebracht. An ihr wird eine negative Spannung („Gittervorspannung“) angelegt um zu verhindern, dass Elektronen über das Gitter abfließen. Mit einer kleinen Spannungsänderung zwischen Gitter und Kathode (U_g) kann eine große Änderung des Anodenstroms (I_a) bewirkt werden.



Anwendung

Dioden als Gleichrichter

Trioden als Verstärker

In der Funktechnik werden Elektronenröhren fast nur noch für HF-Leistungsverstärker (PA, power amplifier) verwendet.

Anmerkungen

Der Glühfaden wird bei der Zählung der Elektroden nicht mitgerechnet.

Fügt man noch „Schirmgitter“ und „Bremsgitter“ hinzu, entsteht die **Pentode**.



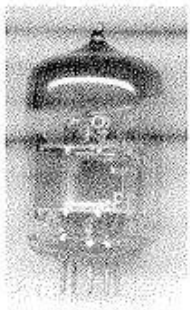
Vertiefung

Leistungslose Steuerung des Anodenstroms

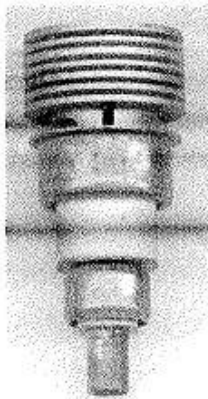
Da die Gitterspannung in der Regel negativ ist, fließt kein Gitterstrom. Daher muss bei Elektronenröhren keine Leistung zur Steuerung aufgebracht werden, im Gegensatz zu Transistoren, bei denen ein Basisstrom fließen muss.

Einige Bauformen

Röhren:



EC 8020
Vorstufenröhre



2 C 39 BA
Sendetriode Metall-Keramik





Elektronik

Stromversorgung

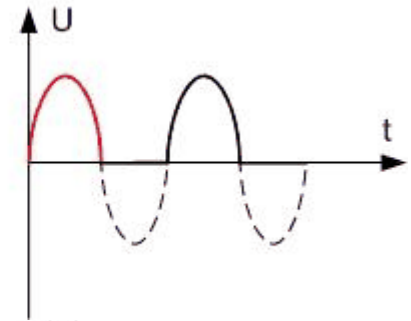
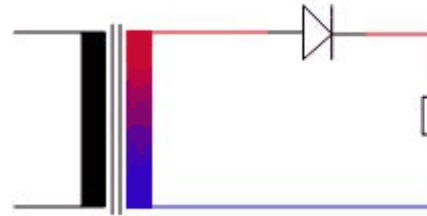
- Arten von Gleichrichterschaltungen – Wirkungsweise (T26)
- Stabilisatorschaltungen (T27)
- Hochspannungsnetzteil – Aufbau, Dimensionierung und Schutzmaßnahmen (T28)



Gleichrichterschaltungen erzeugen aus Wechselspannung Gleichspannung. Die Wirkungsweise beruht darauf, dass Dioden den elektrischen Strom nur in einer Richtung leiten.

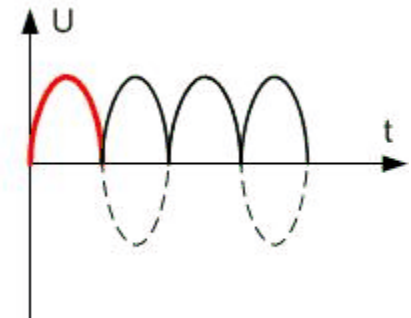
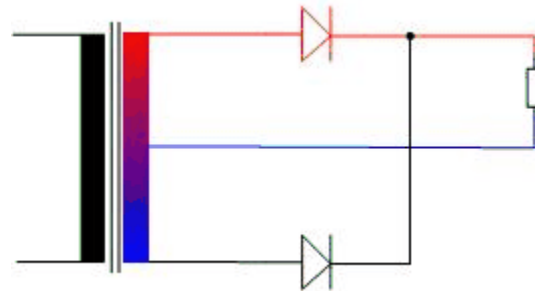
Einweg Gleichrichter

Nur eine Halbwelle der Wechselspannung wird verwendet.
Hohe Restwelligkeit, 50Hz



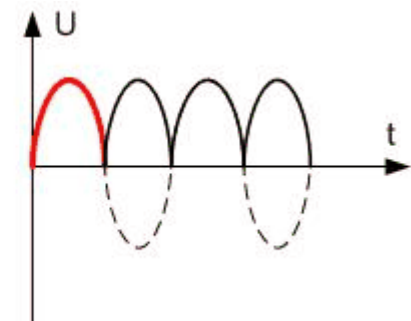
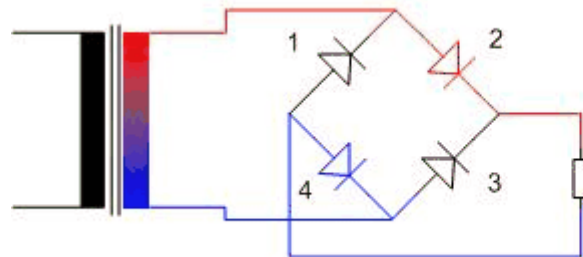
Doppelweg Gleichrichter

Beide Halbwellen der Wechselspannung werden verwendet.
„Mittelanzapfung“ beim Trafo nötig!
Geringere 100Hz Restwelligkeit.



Vollweg- oder Brückengleichrichter

Beide Halbwellen werden verwendet,
Nur eine Trafowicklung ist notwendig.
Geringere 100Hz Restwelligkeit.

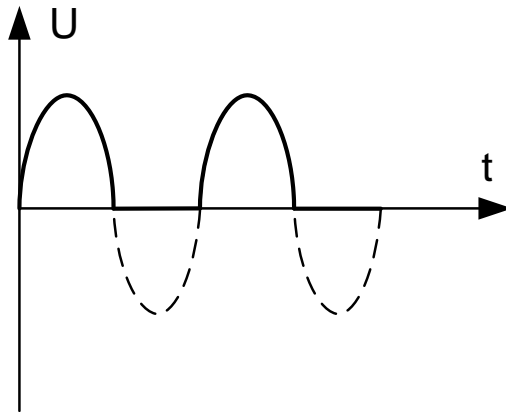
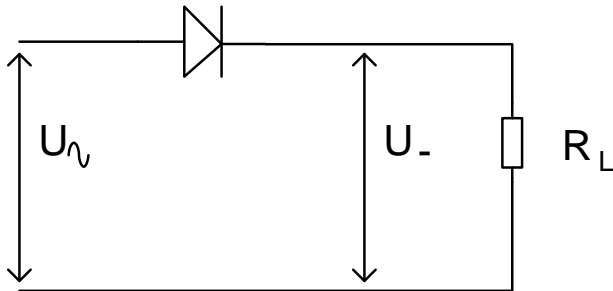




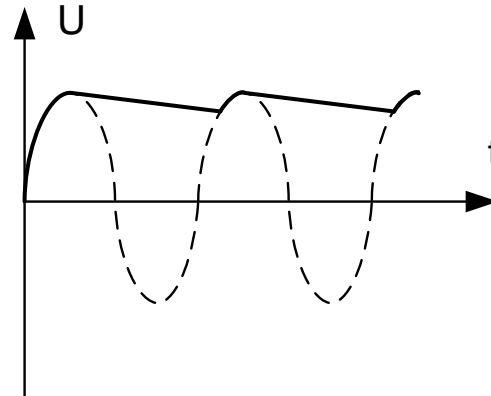
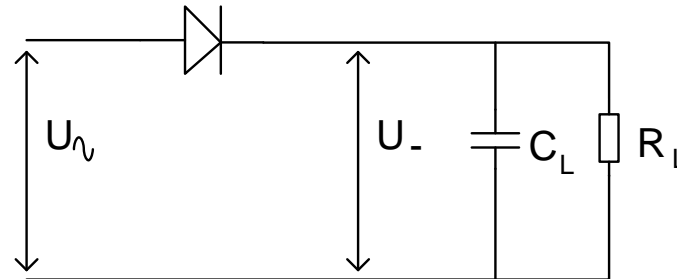
Vertiefung

Glättung der Ausgangsspannung am Beispiel des Einweggleichrichters mit Lastwiderstand R_L

ohne Ladekondensator



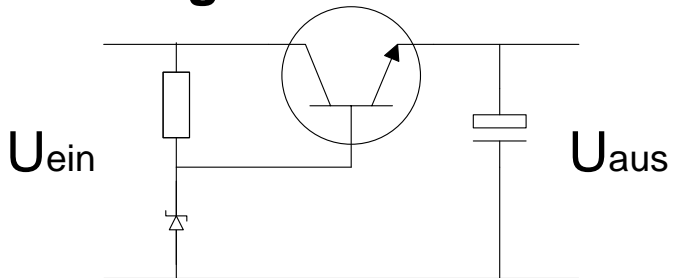
mit Ladekondensator C_L



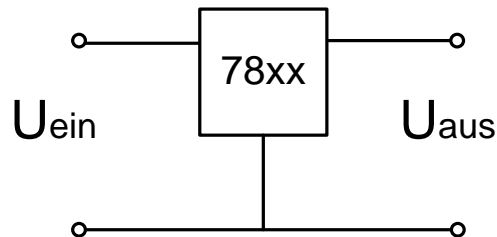


Stabilisatorschaltungen findet man sowohl in freistehenden Stromversorgungsgeräten wie auch in Funkgeräten, Verstärkern und Messgeräten. Sie werden eingesetzt, um Spannungsschwankungen auszugleichen, wie sie aufgrund wechselnder Lastwiderstände auf Grund des immer vorhandenen Innenwiderstandes (s. auch G13) entstehen können. Das geschieht mit Hilfe eines Regelkreises, der den Innenwiderstand der Spannungsquelle verändert, so dass die Klemmenspannung konstant bleibt (s. G13).

Vertiefung



Mit einer Zenerdiode (Referenzspannung) und einem Transistor als steuerbaren (Innen-) Widerstand (Längstransistor) kann ein einfacher Spannungsregelkreis aufgebaut werden. Die Ausgangsspannung ist um die B-E-Spannung kleiner als die Nennspannung der Zenerdiode.



Festspannungsregler sind als integrierte Schaltkreise fertig erhältlich.



Hochspannungsnetzteile werden zur Erzielung hoher Spannungen (500V und mehr) verwendet. Ihr Anwendungsgebiet in der Funktechnik beschränkt sich auf die Versorgung von Leistungsverstärkern, in denen Elektronenröhren eingesetzt sind.

Schaltungstechnik

Sie entspricht der anderer Netzteile (Transformatoren, Gleichrichter und Stabilisierungsschaltungen).

Dimensionierung

Hochspannungsnetzteilen erfordern sorgfältig dimensionierte (spannungsfeste) Bauteile (Transformatoren, Gleichrichter, Kondensatoren, Stecker).

Schutzmaßnahmen

- Gleichspannungen im Bereich von 500 Volt und mehr sind absolut lebensgefährlich!
- Bereits ab 50 V sind Schutzmaßnahmen erforderlich.
Deshalb ist bei Hochspannung perfekter Berührungsschutz zwingend vorgeschrieben. Dieser wird erreicht durch geschlossenen Hochspannungskäfig mit Deckelschalter und Entladewiderständen an den Elektrolytkondensatoren.
- Vor jedem Eingriff in ein Hochspannungsnetzteil ist der Netzstecker zu ziehen und einige Minuten zum Entladen der Kondensatoren abzuwarten.
- *Siehe auch Fragen T103, T104.*



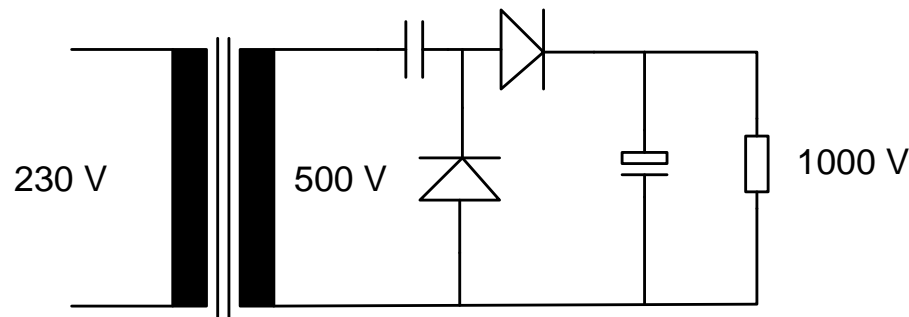
Vertiefung

Spannungsverdoppelung

Wird oft zur Erzielung hoher Spannungen bei der Gleichrichtung verwendet.

Vorteil

Der Transformator braucht nur für die halbe Ausgangsspannung (allerdings für doppelten Strom) dimensioniert werden.





Elektronik

Digitaltechnik

- Was bedeuten die Begriffe „analog“ „und digital“? (G10)
- Welche Arten von digitalen Bauelementen kennen Sie? – Wirkungsweise (T29)
- Was sind elektronische Gatter? – Wirkungsweise (T30)



Was bedeuten die Begriffe „analog“ „und digital“?

Siehe auch „Der Begriff Linearität“ (G8) und „Sinus- und nicht sinusförmige Signale“ (T7).

Analog Ein analoges Signal kann zwischen den Spitzenwerten jeden beliebigen Zwischenwert annehmen. Die getreue Verarbeitung und Wiedergabe analoger Signale setzt Linearität voraus.

Beispiel: Schallwellen oder die von Mikrofonen erzeugten Signale. Auch Lautsprecher bzw. Kopfhörer benötigen analoge Signale.

Analoge Signale sind störanfällig. Wenn Störsignale in den Linearitätsbereich der verarbeitenden Elektronik fallen, werden sie so wie die Nutzsignale verarbeitet.

Digital Digitale Signale weisen nur zwei („binäre“) Spannungszustände auf (logische Zustände 0 oder 1) und keine Zwischenwerte.

Beispiel: Lichtschalter („an“ oder „aus“).

Zur Verarbeitung ist Linearität nicht erforderlich. Nichtlinearität ist sogar von Vorteil: Störungen, sofern sie zwischen die binären Zustände 0 oder 1 fallen, werden nicht verarbeitet und spielen daher keine Rolle.

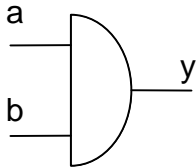
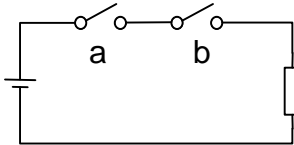
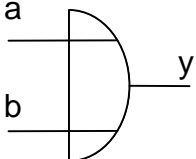
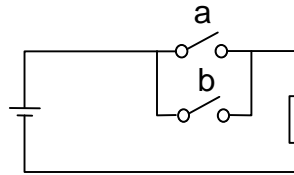


Digitale Bauelemente dienen der Erzeugung und Verarbeitung von digitalen Signalen (*Rechtecksignale, siehe Frage T7*). Digitale Signale weisen nur zwei („binäre“) Spannungszustände auf (logische Zustände 0 oder 1). Digitale Bauelemente werden heute mehrheitlich als integrierte Schaltkreise in großen Stückzahlen hergestellt.

Wirkungsweise	Digitale Bauelemente sind eingangs- wie ausgangsseitig auf die Verarbeitung von digitalen Signalen (s.o.) zugeschnitten. Sie arbeiten daher grundsätzlich „nichtlinear“ als Schalter und können folglich keine Zwischenwerte verarbeiten. Dadurch unterscheiden sie sich grundlegend von „linearen“ Verstärkern.
Vorteile	Die Möglichkeit logischer Verknüpfung digitaler Signale erlaubt Rechenoperationen im binären Zahlenraum. Das Fehlen von Zwischenwerten bringt Vorteile hinsichtlich der Störsicherheit mit sich.
Gatter	Bauelemente zur logischen Verknüpfung (z.B. UND, ODER)
Kippstufen	Bauelemente, die fremdgesteuert (getriggert) oder eigenständig (periodisch) zwischen zwei Zuständen hin- und herschalten, z.B. Blinklichtsteuerung.
Puffer	Bauelemente, die binäre Signalfolgen speichern und wieder ausgeben können.
Zähler	Bauelemente, die die Zahl von Impulsen innerhalb einer vorgebbaren Zeit ermitteln können.
Anzeigen	Bauelemente, die Zahlen und/oder Buchstaben und Symbole grafisch sichtbar machen können (Displays).



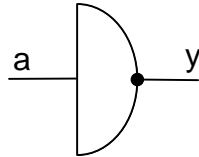
Elektronische Gatter (Tore, Gates) sind die einfachste Form digitaler Bauelemente. Sie verknüpfen zwei oder mehr digitale Eingangssignale mit einem digitalen Ausgangssignal. Gatter kennen nur 2 Zustände, z.B. low oder high, aktiv oder passiv, 0 oder 1.

Name	Symbol	Ersatzschaltbild	Beschreibung
UND (AND)			Nur wenn beide Eingänge „1“ sind, ist der Ausgang „1“.
ODER (OR)			Wenn mindestens ein Eingang „1“ ist, ist der Ausgang „1“.



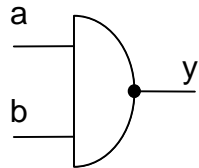
Vertiefung

NOT



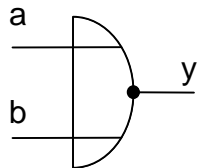
Der Ausgang ist immer „invertiert“ im Vergleich zum Eingang

NAND



Wenn beide Eingänge „1“ sind,
ist der Ausgang „0“ (also „invertiert“ im Vergleich zu AND) .

NOR



Wenn mindestens ein Eingang „1“ ist,
ist der Ausgang „0“ (also „invertiert“ im Vergleich zu OR).

Fachleute verwenden aussagekräftigere Schaltsymbole und sog. „Wahrheitstabellen“, um die Funktionsweise der unterschiedlichen Typen kompakt darzustellen.

Diese Darstellungen gehen auch auf weitere Typen von Gattern ein, z.B. XAND, XOR.



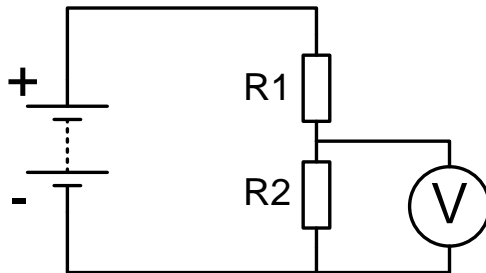
Elektronik

Messtechnik

- Messung von Spannung und Strom am Beispiel eines vorgegebenen Stromkreises (T31)
- Erklären Sie die prinzipielle Funktion eines Griddipmeters (T32)
- Erklären Sie die Funktionsweise eines HF-Wattmeters (T33)
- Erklären Sie die Funktionsweise eines Oszillografen (Oszilloskop) (T34)
- Erklären Sie die Funktionsweise eines Spektrumanalysators (T35)
- Was bedeutet der Begriff "Dezibel"? (G11)



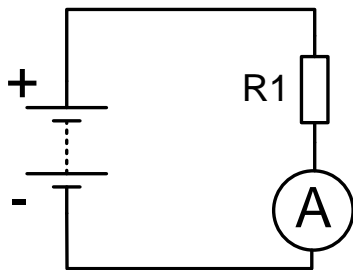
Spannung wird mit einem Voltmeter parallel zum interessierenden Schaltungsteil gemessen.



Das Voltmeter V misst den Spannungsabfall an R_2 .

Der Innenwiderstand des Voltmeters soll möglichst hoch sein, um den Messwert nicht zu verfälschen!

Strom wird durch Auftrennen des Stromkreises mit einem Amperemeter in Reihe gemessen.



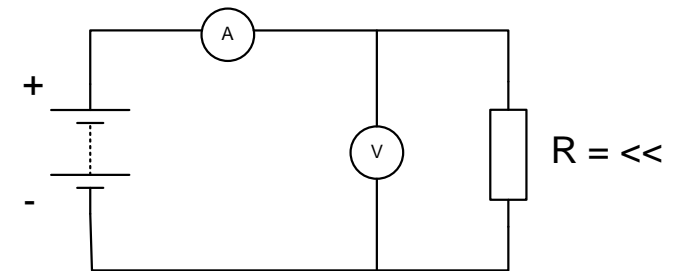
Das Amperemeter A misst den Strom durch R_1 .

Der Innenwiderstand des Amperemeters soll möglichst gering sein, um den Messwert nicht zu verfälschen!

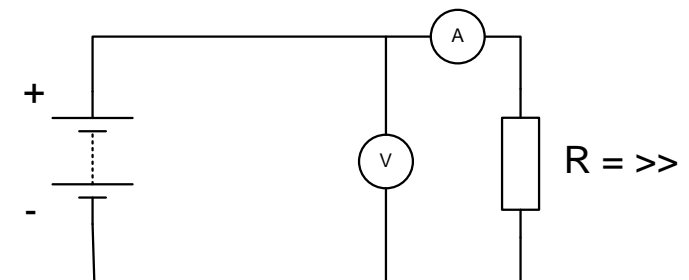
Vertiefung

Was ist zu beachten, wenn in einem Stromkreis Spannung und Strom gleichzeitig gemessen werden sollen?

Wenn der Lastwiderstand klein ist, fließt ein hoher Strom.
Amperemeter vor dem Voltmeter!
Dadurch bleibt der Messfehler durch den Strom, der durch das Spannungsmessgerät fließt, klein.



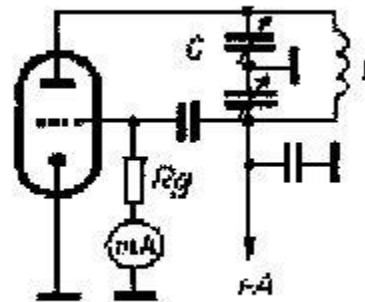
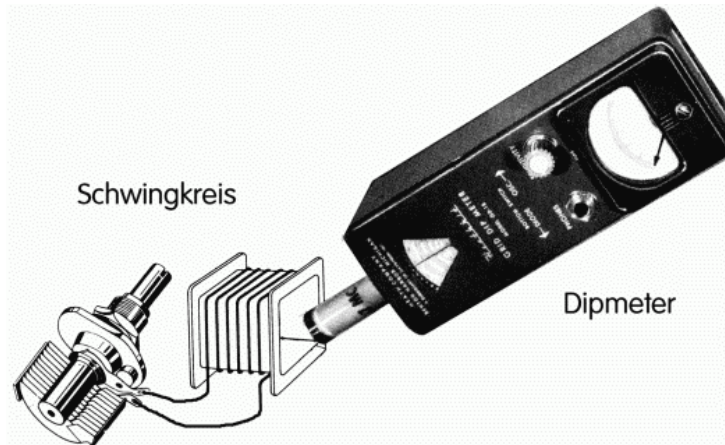
Wenn der Lastwiderstand groß ist, fließt ein geringer Strom.
Amperemeter nach dem Voltmeter!
Dadurch bleibt der Messfehler durch den Spannungsabfall am Strommessgerät klein.





Der Schwingkreis eines Transistor- oder Röhrenoszillators (Griddipmeter) mit veränderlicher Frequenz wird einem unbekannten Schwingkreis genähert.

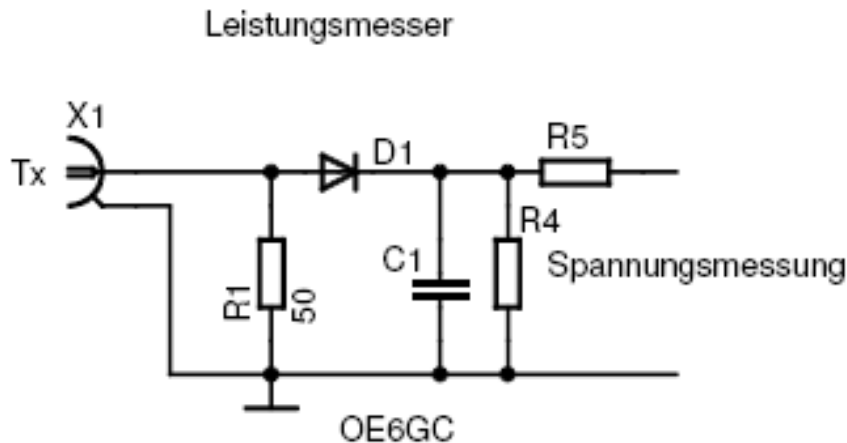
Wenn die beiden Resonanzfrequenzen übereinstimmen, wird dem Oszillator im Griddipmeter Energie entzogen. Das kann an einem Messinstrument (Rückgang des Gitterstroms) abgelesen werden. Somit kann die Frequenz festgestellt werden.



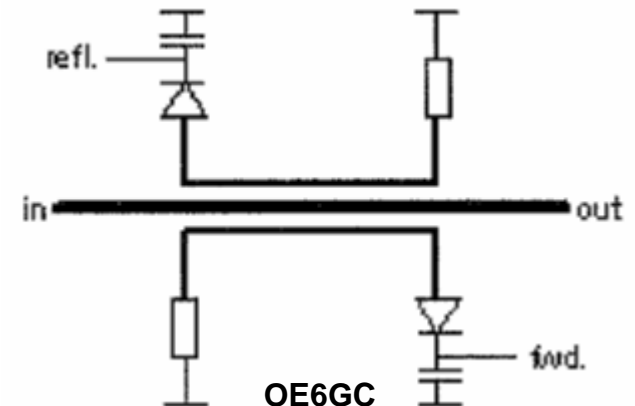
Beispiel eines älteren Griddip-Meters. Da moderne Geräte keine Röhren, somit auch kein Gitter haben spricht man jetzt einfach von einem Dipmeter.



Das hochfrequente Signal wird entweder direkt oder über einen Richtkoppler einem Diodengleichrichter zugeführt. Damit wird praktisch eine Spannungsmessung vorgenommen. Bei konstantem, bekanntem und ausreichend belastbarem Abschlusswiderstand kann die Skala des Messwerks direkt in Watt kalibriert werden.



Auch sog. „Richtkoppler“ (*SWR-Meter, Schaltung rechts*), enthalten immer Leistungsmesser auf der Basis von Diodengleichrichtern, getrennt für fwd (hinlaufende) u. refl (rücklaufende) Welle.

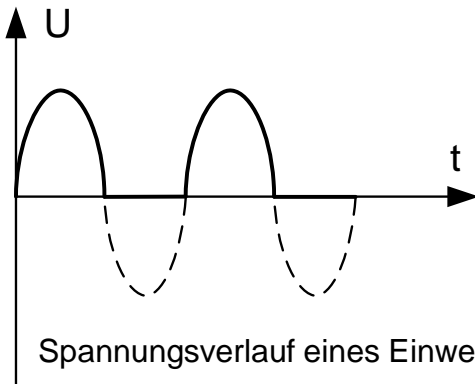




Mittels eines Oszillografen kann der zeitliche Verlauf sinusförmiger oder nichtsinusförmiger Signale (s. T7) dargestellt und gemessen werden (horizontale Achse: Zeit; vertikale Achse: Spannung/Strom).

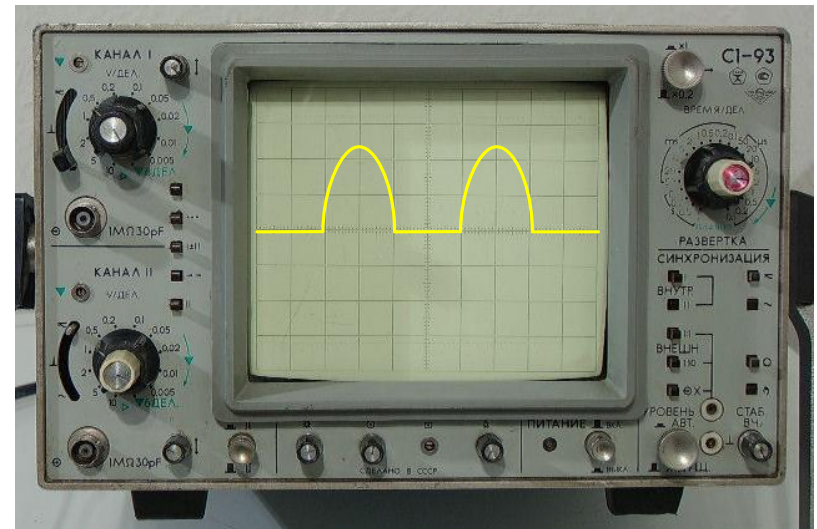
In einer Kathodenstrahlröhre treffen gebündelte Elektronen (Kathodenstrahlen sind Elektronen, s. T25) auf einen Bildschirm und bringen ihn am Auftreffpunkt zum Leuchten. Bei einem Oszillografen wird der Kathodenstrahl immer wieder von einer Seite zur anderen horizontal abgelenkt, dann unterdrückt (abgedunkelt) und sehr viel schneller wieder an die Startposition zurückgeführt.

Die Ablenkfrequenz kann eingestellt und an die Frequenz des darzustellenden Signals angepasst werden. Das zu messende Signal (Eingangssignal) wird verstärkt und lenkt den Kathodenstrahl in senkrechter Richtung ab. Somit kann der zeitliche Verlauf der Eingangsspannung als Leuchtspur dargestellt werden.



Spannungsverlauf eines Einweggleichrichters (s. T26).

- Vertikal ist die Spannung (U) ablesbar.
- Horizontal ist die Periodendauer ablesbar (und daraus die Frequenz zu ermitteln).

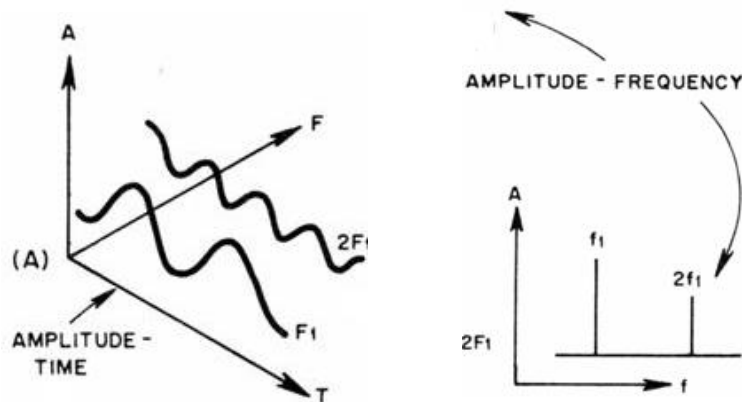




Mittels eines Spektrumanalysators können mehrere Signale mit verschiedenen Frequenzen gleichzeitig in einem wählbaren Frequenzbereich dargestellt werden.

Zur Anzeige dient ein Bildschirm (ähnlich einem Oszillografen, s. *Frage T34*), allerdings zeigt die horizontale Achse die Frequenz. Die vertikale Achse bringt die Amplitude zur Anzeige. Auf dem Bildschirm ist also ein bestimmter Frequenzbereich zu sehen. Ist in diesem Frequenzbereich ein Signal vorhanden, wird dies durch eine der Amplitude entsprechende vertikale Auslenkung des Strahls sichtbar gemacht.

Damit lassen sich ein Frequenzbereich, das Nutzsignal und ev. unerwünschte Aussendungen (s. *Frage T94*) sowie deren Stärke messtechnisch erfassen.



Quelle: DJ4UF





Was bedeutet der Begriff „Dezibel“?

Der Begriff „Dezibel“ ist in Messtechnik und Antennentechnik unverzichtbar (s. auch Frage T75).

Definition Dezibel (dB) ist ein logarithmisches Maß für das Verhältnis von zwei gleichartigen Leistungsgrößen P_1 und P_2 bzw. Spannungsgrößen U_1 und U_2
 $L = 10\lg(P_2/P_1) \text{ dB} = 20\lg(U_2/U_1) \text{ dB}$

Erinnerung Logarithmus bedeutet Hochzahl (Exponent), z.B. $\lg 1000 = \lg 10^3 = 3$

Beispiel Ein Verstärker wird mit 100 Watt angesteuert (P_1) und liefert 400 W (P_2), also beträgt der Verstärkungsfaktor der Leistung 4. Wieviel dB sind das?
 $L = 10\lg(400/100) =$
 $= 10\lg(4 \times 10^2 / 10^2) = 10\lg(4 \times 10^0) = 10\lg(4 \times 1) = 10 \times 0,6 = \underline{6 \text{ dB}}$

Vorteil Erleichterung beim Rechnen mit Zehnerpotenzen, da man nur die dB Werte addieren bzw. subtrahieren muss.

Beispiel Zwei Verstärker liegen hintereinander. Der erste verstärkt die Leistung um den Faktor 2 (3dB), der zweite um den Faktor 4 (6dB). Wie groß ist die Gesamtverstärkung? Antwort: $3 + 6 = \underline{9 \text{ dB}}$.

Beispiel Was bedeutet -20 dB für einen Spannungspegel?
Antwort: $-20 = 20\lg X$, $\Rightarrow \lg X = -1$, $\Rightarrow \underline{X = 0,1}$ (weil $10^{-1} = 0,1$)
Die Spannung wird auf ein Zehntel verringert.

Merkhilfen *Siehe nächste Seite.*



Was bedeutet der Begriff „Dezibel“? Merkhilfen

Merke:

3dB	doppelte Leistung
6dB	vierfache Leistung
10dB	10 fache Leistung
13dB	20 fache Leistung
20dB	100 fache Leistung

Merke: dB kann auch Spannungsverhältnisse beschreiben!

6dB	doppelte Spannung
12dB	vierfache Spannung
20dB	10 fache Spannung

Merke:

positives Vorzeichen bedeutet Verstärkung
negatives Vorzeichen bedeutet Abschwächung

6dB	vierfache Leistung, doppelte Spannung
-6dB	ein Viertel der Leistung, halbe Spannung

Umrechnung: Beispiele

Leistungs- verhältnis	Spannungs- verhältnis	L
10000	100	40 dB
100	10	20 dB
10	$\approx 3,16$	10 dB
≈ 4	≈ 2	6 dB
≈ 2	$\approx 1,41$	3 dB
$\approx 1,26$	$\approx 1,12$	1 dB
1	1	0 dB
$\approx 0,79$	$\approx 0,89$	-1 dB
$\approx 0,5$	$\approx 0,71$	-3 dB
$\approx 0,25$	$\approx 0,5$	-6 dB
0,1	$\approx 0,32$	-10 dB
0,01	0,1	-20 dB
0,0001	0,01	-40 dB



Funktechnik

Nachrichtentechnische Grundbegriffe

- Prinzipieller Aufbau eines Kommunikationssystems.
Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle. (G12)



Prinzipieller Aufbau eines Kommunikationssystems. Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle.

Prinzipieller Aufbau

- Signal-Eingabegerät (z.B. Mikrofon, Tastatur, TV Kamera)
- Sender
- Antennenanpassgerät
- Antenne
- Empfänger
- Signal-Ausgabegerät (z.B. Kopfhörer, Drucker, Bildschirm).

Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle

Die Grundausrüstung wird im wesentlichen von der gewählten Betriebsart bestimmt.

- Beispiele:
- Sprechfunk
 - Packet Radio (und andere digitale Betriebsarten)
 - ATV (amateur television)
 - Satellitenfunk

Details in Tabellenform auf der nächsten Seite.



Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle.

Ausrüstungsgegenstand	Sprechfunk	Telegrafie	Packet Radio 1)	ATV	Satellitenfunk
Mikrofon	x				x
Taste		x			
PC mit Soundkarte	2)	2)	x		3)
Modem/Controller			x		
TV Kamera				x	
Sender/Empfänger	x	x	x	x	x
Leistungsverstärker	4)	4)	4)	4)	4)
Antennentuner	5)	5)			
Sende-/Empfangsantenne	x	x	x	x	6)
Lautsprecher, Kopfhörer	x	x			x
TV Monitor				x	
Mess- und Kontrollgeräte Blitzschutz	7)	7)	7)	7)	7)

- 1) sinngemäß auch für andere digitale Betriebsarten (RTTY, PSK31, Pactor, Winmor etc)
- 2) wahlweise zur Logbuchführung, zur Steuerung der Funkanlage, oder als Bestandteil des Senders/Empfängers (SDR, software defined radio)
- 3) zur Bahndatenberechnung und Steuerung der Frequenz (Kompensation des Dopplereffektes, *siehe auch G14*)
- 4) wahlweise im Rahmen der geltenden Vorschriften
- 5) wahlweise nach Maßgabe der technischen Erfordernisse, vornehmlich auf Kurzwelle
- 6) zirkular polarisiert, gegebenenfalls für zwei Bänder (Crossband-Betrieb), *siehe auch T85 und G14*.
- 7) obligatorisch, nach Maßgabe der geltenden Vorschriften.



Funktechnik

Modulationstechnik

- Erklären Sie den Begriff Modulation (analoge und digitale Verfahren) (T51)
- Prinzip und Kenngrößen der Frequenzmodulation (T49)
- Prinzip und Kenngrößen der Amplitudenmodulation (T50)
- Prinzip, Arten und Kenngrößen der Einseitenbandmodulation (T45)
- Prinzip, Arten und Kenngrößen der Pulsmodulation (T46)
- Erklären Sie die wichtigsten Anwendungen der digitalen Modulationsverfahren (T47)
- Erklären Sie die Begriffe CRC, FEC (T48)



Modulation ist ein zentraler Begriff jeder technischen Form von Nachrichtenübertragung.

Man muss unterscheiden zwischen dem „Träger“, der dauernd ausgesandt wird (z.B. Elektromagnetische Strahlung, Schallwellen) und dem eigentlichen Signal, das mittels des Trägers übertragen werden soll.

Modulation bezeichnet den Vorgang, bei dem einem hochfrequenten „Träger“ ein niederfrequentes Signal aufgeprägt wird.

Analoge Verfahren Wenn das niederfrequente Signal jeden Zwischenwert zwischen höchster und niedrigster Signalstärke (Pegel) annehmen kann (z.B. Sprache, Musik, auch Bildinformation), spricht man von analoger Modulation, und zwar unabhängig davon, ob das analoge Signal auf analogem oder digitalem Wege erzeugt wird.

Digitale Verfahren Wenn das niederfrequente Signal nur 2 Zustände (Ein/Aus, 0/1, zwei Frequenzen) einnimmt, spricht man von digitaler Modulation (Telegrafie, Fernschreiben, Martinshorn), und zwar unabhängig davon, ob das digitale Signal auf analogem oder digitalem Wege erzeugt wird. Nicht zu verwechseln mit analogen Verfahren (s.o.), die mittels Digitaltechnik verwirklicht werden.

Vertiefung

Es gibt zwei Möglichkeiten, mehrere Signale miteinander zu verknüpfen, nämlich **Addition (Superposition)** und **Multiplikation (Mischung)**.

Addition

ist ein „linearer“ Vorgang.
Die ursprünglichen Frequenzen der Ausgangssignale bleiben erhalten.
Es entstehen keine neuen Signale.

Multiplikation (Mischung)

ist ein „nichtlinearer“ Vorgang.
Es entstehen neue Signale mit neuen Frequenzen, die in den Ausgangssignalen nicht enthalten sind („Mischprodukte“).

Mischprodukte

Im Falle der Modulation handelt es sich um „Seitenbänder“, die absichtlich erzeugt werden (s. T45).

Im Falle nichtlinearer Verstärker (z.B. Übersteuerung) handelt es sich um unerwünschte Ausgangssignale (s. Frage T94).

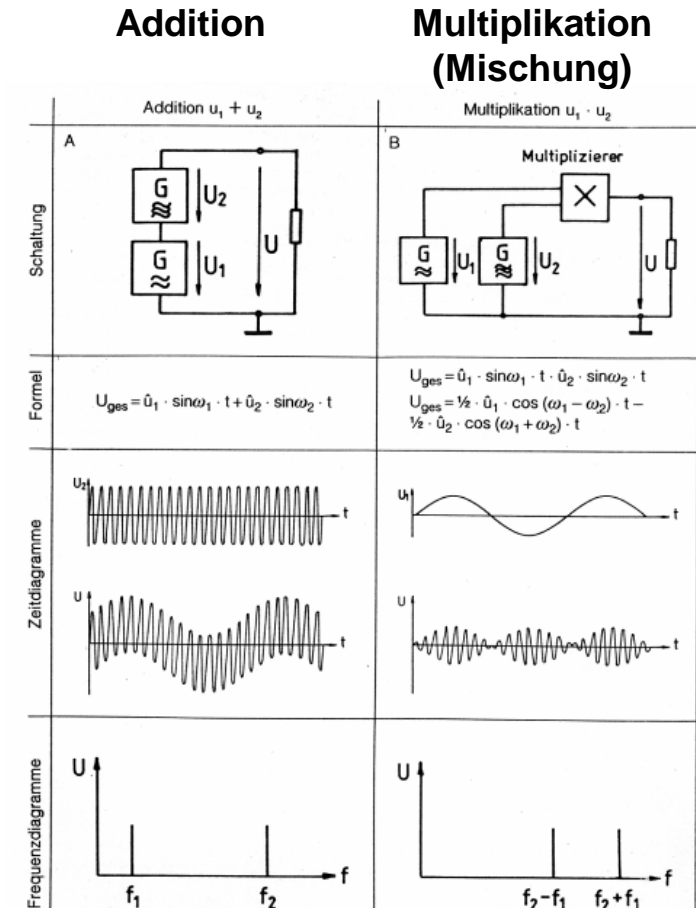


Abb. 3: Addition und Multiplikation von zwei Frequenzen



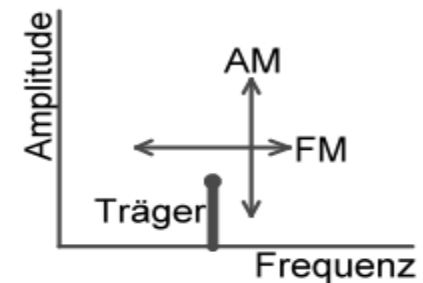
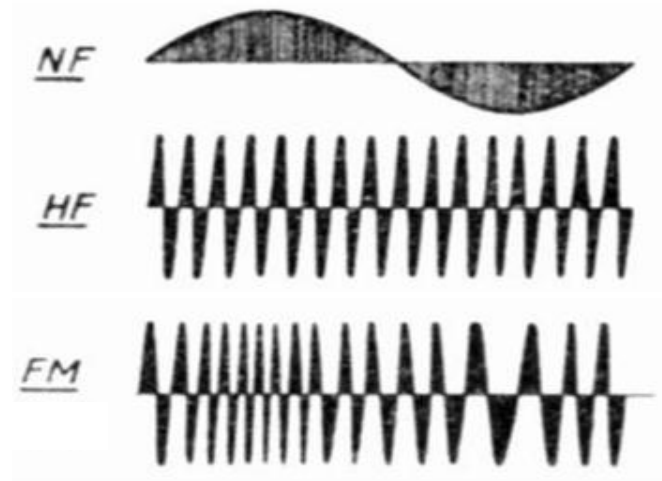
Das niederfrequente Modulationssignal verändert die Grundfrequenz, nicht aber die Amplitude des hochfrequenten Trägersignals. Die Amplitude des Modulationssignals bestimmt den Betrag der Ablenkung von der Trägerfrequenz und damit die Lautstärke.

Kenngrößen

Frequenzhub die maximale Ablenkung der Trägerfrequenz von der Grundfrequenz in kHz, im Amateurfunk: 5 kHz.

Modulationsindex $= \frac{\text{Frequenzhub (kHz)}}{\text{Modulationsfrequenz (kHz)}}$

Im Amateurfunk wird Frequenzmodulation (FM) auf den 2m und 70cm Bändern benutzt. Der Frequenzhub beträgt in der Regel 5 kHz. Die Modulationsfrequenz betrage 3 kHz. Daraus folgt ein Modulationsindex von $5/3 = 1,7$



Q: OE6AAD



Das niederfrequente Modulationssignal verändert die hochfrequente Ausgangsleistung und damit die Lautstärke des Senders (Amplitude). Die Frequenz des Modulationssignals bestimmt die Bandbreite des ausgesandten Signals. Wird der Modulationsgrad von 100% überschritten (übermoduliert), dann kommt es zu Verzerrungen des ausgesandten Signals.

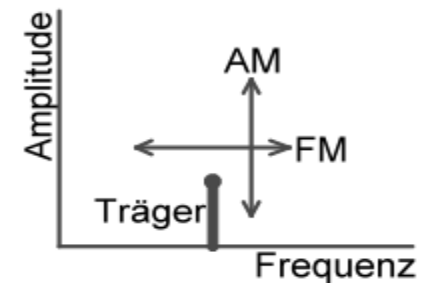
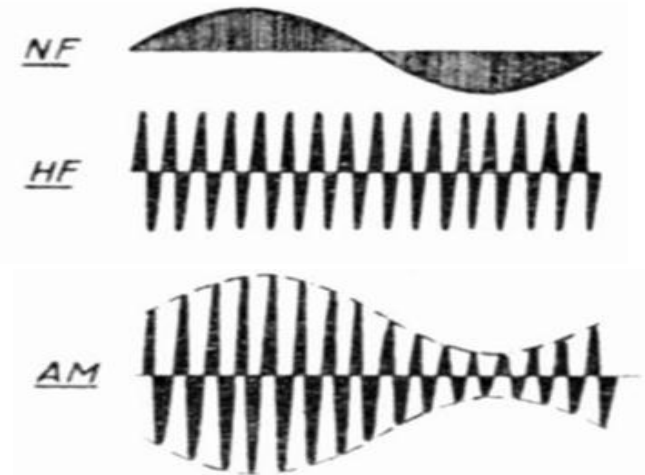
Kenngrößen

Modulationsgrad = $\frac{\text{NF-Amplitude}}{\text{HF-Amplitude}} \times 100 (\%)$

Bandbreite = $2 f_m$, wobei f_m die maximale zu übertragende Frequenz des Modulationssignales ist.

Im Amateurfunk wird Amplitudenmodulation (AM) auf den Kurzwellenbändern benutzt, allerdings in Form der Einseitenbandmodulation (SSB, siehe T45).

(Zur Vertiefung s. Vertiefung der Frage T51.)



Q: OE6AAD



Ausgehend von einem amplitudenmodulierten Signal (AM) werden der Träger und ein Seitenband unterdrückt. Das Ergebnis ist ein Einseitenbandsignal (SSB, single side band). Der Vorteil liegt a) in der weit günstigeren Leistungsausbeute und b) der halben Bandbreite. Beides ergibt eine geringere Störanfälligkeit der Signalübertragung.

Kenngrößen

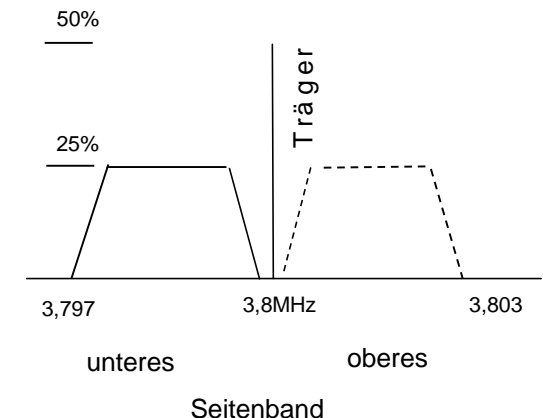
LSB, USB	gibt an, welches Seitenband in Bezug auf die Trägerfrequenz verwendet wird (Lower Side Band, Upper Side Band)
Trägerunterdrückung	wird angegeben in dB (<i>Begriff s. Frage T75</i>)
Seitenbandunterdrückung	wird angegeben in dB (<i>Begriff s. Frage T75</i>)
Spitzenausgangsleistung	PEP (peak envelope power) wird angegeben in Watt (<i>Begriff s. Frage T99</i>)

Im Amateurfunk wird SSB auf allen dafür zugelassenen Frequenzbändern (Kurzwellen und UKW) benutzt. Einer Gepflogenheit folgend: LSB unter 10 MHz, USB oberhalb 10 MHz.

Vertiefung

Veranschaulichung

Die % Angaben betreffen die Ausgangsleistung bezogen auf AM:
Unmoduliertes Trägersignal: max 50%, kein Informationsgehalt.
Pro Seitenband je 25%, jeweils gleicher Informationsgehalt.
„oberes“, „unteres“ beschreibt die Lage des
Seitenbandes bezogen auf die Trägerfrequenz.



Erzeugung

Es gibt 2 Methoden, SSB zu erzeugen, beide sind mit analoger Schaltungstechnik oder digital mit digitalen Signalprozessoren (DSP, s. *Frage T55*) realisierbar.

Filtermethode Mittels eines Filters wird nur ein Seitenband durchgelassen.

Phasenmethode Mittels eines Phasenschieber-Netzwerkes wird ein Seitenband unterdrückt, man nützt aus, dass die Seitenbänder zueinander 90° phasenverschoben sind (*Begriff Phase: s. Vertiefung zu Frage T3*).



Bei der Pulsmodulation werden einzelne Impulse (Pulse) gesendet. Die Information liegt in der Art, wie die Amplitude, der Takt oder die Abfolge der Impulse verändert wird.

Diese Modulationsarten werden, mit Ausnahme der Morsetelegrafie, nur auf sehr hohen Frequenzen, über dem 70cm Band, angewendet!

Der Vorteil liegt in der hohen erzielbaren Übertragungssicherheit.

Arten

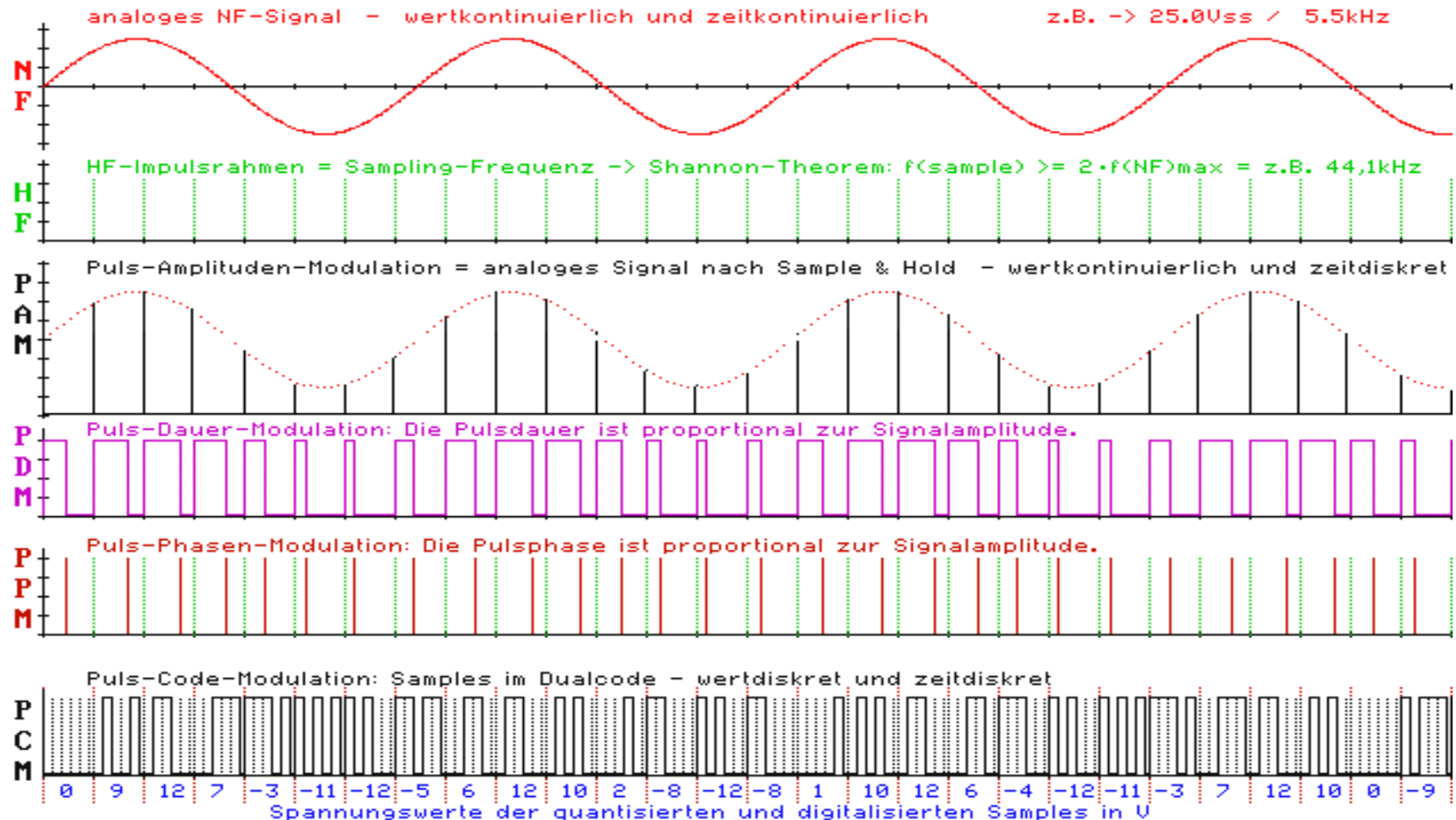
- PAM = Pulsamplitudenmodulation
- PDM = Pulsdauermodulation, z.B. Morsetelegrafie, letztere kombiniert mit PCM (*s.u.*)
- PFM = Pulsfrequenzmodulation (Takt wird entsprechend der Amplitude des Modulationssignals beschleunigt oder verlangsamt)
- PPM = Pulsphasenmodulation (Puls wird entsprechend der Amplitude des Modulationssignals mehr oder weniger verzögert gesendet)
- PCM = Pulscodemodulation: der zu übertragende Wert der Niederfrequenz (Amplitude) wird digital codiert als binäre Zahl gesendet.

Kenngrößen

- Pulsamplitude
- Pulsdauer
- Pulsfrequenzhub: Betrag der maximalen Abweichung des Taktes
- Pulsphasenhub: Betrag der maximalen Voreilung bzw. Verzögerung
- Codierung: eindeutige Regel, was jede Pulsfolge zu bedeuten hat, z.B. Morsetelegrafie.



Vertiefung bzw. Veranschaulichung





- CW** Morsetelegrafie: kombiniert digitale Modulation (ein/aus) mit Pulsdauermodulation (PDM) und Pulscodierung und erlaubt weitgehend störungsfreien Funkverkehr mit kleinsten Leistungen und geringstem technischen Aufwand.
- FSK** Frequenzumtastung (frequency shift keying): z.B. für RTTY (Funkfern schreiben), Packet Radio. Eine Art der Frequenzmodulation. Der Träger wird zwischen 2 fix definierten Frequenzen hin und her getastet, in Kombination mit Codierung.
- PSK** Phasenumtastung (phase shift keying) mit 2 oder 4 möglichen Zuständen: Der Träger wird um 45 oder 90 Grad in der Phase verschoben. Dadurch können in einer HF-Schwingung 2 oder 4 digitale Zustände ausgedrückt werden, z.B. für PSK 31, in Kombination mit Codierung. Erlaubt in Verbindung mit FEC (s. T48) weitgehend automatischen und störungsfreien Verbindungsaufbau, wenn höchste Übertragungssicherheit gefordert ist (Schiffsfunk, Notfunk).
- QAM** Quadratur – Amplitudenmodulation: Eine Kombination von Amplituden- und Phasenmodulation, z.B. für digitales Fernsehen, Datenübertragung. Dabei wird der Träger sowohl in der Amplitude, als auch in der Phase moduliert. So können noch mehr Informationen pro HF-Schwingung übertragen werden, in Kombination mit Codierung.

Bezüglich digitaler Modulationsverfahren s. auch Frage T51.

Bezüglich Impulsmodulation s. Frage T46.



CRC und FEC sind Begriffe, mit denen in der Nachrichtentechnik sogenannte „Fehlerkorrigierende Verfahren“ bezeichnet werden.

CRC Cyclic Redundancy Check. In einer Digitalaussendung wird eine binäre Prüfsumme für die Daten errechnet und mitgesendet. Im Empfänger wird diese aus den empfangenen Daten neu errechnet und mit der empfangenen Prüfsumme verglichen. Stimmen beide nicht überein, fordert der Empfänger automatisch eine Wiederholung des Datenpaketes an, solange bis die Prüfsummen übereinstimmen (ARQ – automatic repeat request).

Beispiele aus dem Amateurfunk: Amtor, Pactor, Winmor, V4Chat.

FEC Forward Error Correction. Bereits bei der Aussendung werden redundante (streng genommen überflüssige) Informationen mitgesendet, die die Korrektur von Übertragungsfehlern beim Empfänger ermöglichen und somit die Fehleranfälligkeit der Decodierung verringern.

Beispiele: unaufgeforderte Wiederholung von Worten, Buchstabieralphabet.



Funktechnik

Empfängertechnik (RX-Technik)

- Erklären Sie den Begriff Demodulation (T36)
- Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers (T37)
- Mischer in Empfängern – Funktionsweise und mögliche technische Probleme (T41)
- Was verstehen Sie unter Spiegelfrequenz und Zwischenfrequenz? (T38)
- Erklären Sie den Begriff des Rauschens – Auswirkungen auf den Empfang (T40)
- Erklären Sie die Kenngrößen eines Empfängers – Empfindlichkeit, intermodulationsfreier Bereich, Eigenrauschen (T39)
- Nichtlineare Verzerrungen – Ursachen und Auswirkungen (T42)
- Empfängerstörstrahlung – Ursachen und Auswirkungen (T43)



Bei der Demodulation wird das niederfrequente Modulationssignal (Sprache oder Daten) aus dem modulierten Hochfrequenzsignal zurückgewonnen.

Demodulator

bezeichnet eine Baugruppe, die der Wiedergewinnung des Modulationssignals (s. *Frage T51*) aus dem empfangenen hochfrequenten Signal dient.

Je nach verwendeter Modulationsart (s. *Fragen T49, T50, T45*) ist der Demodulator unterschiedlich aufgebaut und trägt unterschiedliche Bezeichnungen (*siehe auch Vertiefung*).

FM	Ratiodetektor
AM	Diodendetektor (Gleichrichter)
SSB	Produktdetektor

Vertiefung

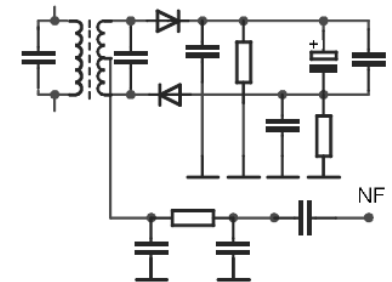
Modulationsart

Detektor

Schaltung

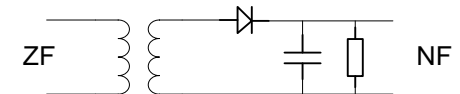
Frequenzmodulation (FM)

Ratio-detektor



Amplitudenmodulation (AM)

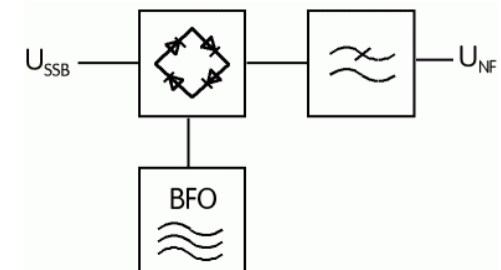
Diodendetektor
(Gleichrichter)



Einseitenband Modulation (SSB)

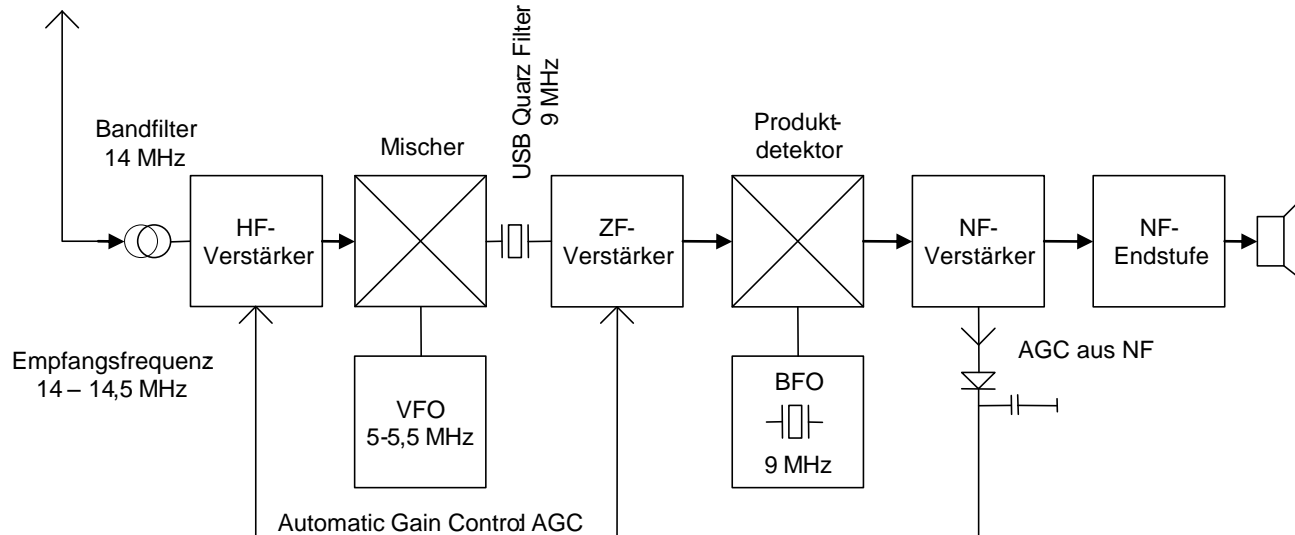
Produktdetektor

Die Bezeichnung deutet bereits darauf hin, dass es sich um einen Mischer handelt:
Mischen = Multiplikation
Ergebnis = Produkt
(s. Frage T51, Vertiefung)





Der Überlagerungsempfänger verdankt seinen Namen dem Begriff „Überlagerung“, mit dem früher der Vorgang der Mischung zweier Signale bezeichnet wurde.



Von der Antenne gelangen alle Empfangsfrequenzen zu einem **Bandfilter**, das das gewünschte Frequenzband durchlässt. Nach Verstärkung im **HF-Verstärker** werden die Empfangssignale im **Mischer** mit dem Signal eines **VFO** (variable frequency oscillator) gemischt. Aus den Mischprodukten (*Summen- und Differenzfrequenz*, s. Fragen T38, T41) wird durch ein **Filter** (im Bild ein Quarz-Filter) die gewünschte Zwischenfrequenz (ZF) herausgefiltert und im **ZF-Verstärker** verstärkt. Im **Produktdetektor** erfolgt eine weitere Mischung mit dem Signal des **BFO** (beat frequency oscillator). Dieses Signal hat die Frequenz des im ersten Mischer auf die Zwischenfrequenzebene gebrachten Trägersignals. Aus den dabei entstehenden neuen Mischprodukten wird nur das niederfrequente Signal weiter verarbeitet. Es wird über den **NF-Verstärker** und die **NF-Endstufe** dem Lautsprecher zugeführt.

Mehr...

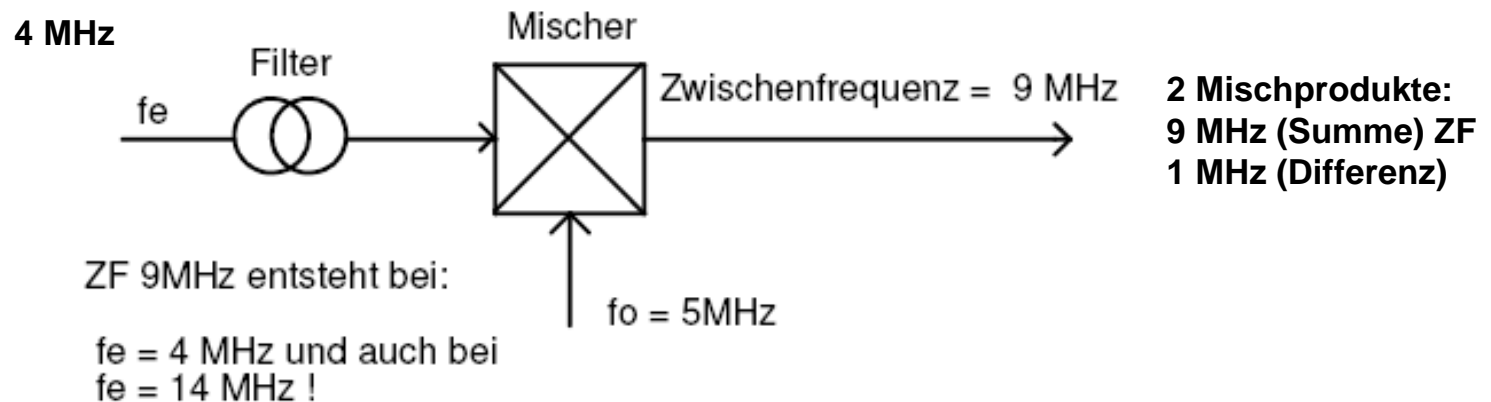


Mehr:

- AGC** (automatic gain control) bezeichnet eine Methode, mit der die Lautstärke des niederfrequenten Ausgangssignals eines Empfängers konstant gehalten wird. Das ist notwendig, da die Amplituden der von der Antenne kommenden Empfangssignale einen Bereich von bis zu 1:1.000.000 (120db) überstreichen können.
- Aus dem NF-Signal wird die Regelspannung (variable Gleichspannung) erzeugt und den HF- und ZF-Verstärkern zugeführt. Damit wird die Verstärkung dieser Stufen an die Stärke des Empfangssignals angepasst (kleines Signal – hohe Verstärkung und umgekehrt). Die Höhe dieser Gleichspannung ist damit proportional der Eingangssignalstärke und wird als Empfangsfeldstärke (S-Wert) am Empfangsgerät angezeigt.
- AFC** (automatic frequency control, in FM Empfängern): Aus dem FM-Demodulator wird eine „Nachstimmspannung“ gewonnen, die zur Nachstimmung der Oszillator-Frequenz (mittels eines VCO, s. *Frage T53*) genutzt wird. Damit werden Schwankungen der Empfangsfrequenz (Doppler-Effekte, s. *Frage T85*), thermische Einflüsse, ausgeglichen.
- Squelch** Rauschsperr: unterdrückt das Rauschen bei FM-Empfängern, wenn kein HF-Signal empfangen wird. Der NF-Verstärker wird „stumm“ geschaltet, wenn das Eingangssignal unter einer gewissen Schwelle (einstellbar am Gerät) liegt.



Der Mischer mischt die Empfangsfrequenz mit einem im Gerät befindlichen Oszillator (VFO, s. auch Frage T37). Dadurch entstehen Mischprodukte mit der Summe und der Differenz der beiden Frequenzen. Falls die unerwünschte Spiegelfrequenz (s. auch Frage T38) nicht schon am Eingang ausgefiltert (unterdrückt) wird, besteht die Gefahr des Spiegelfrequenzempfanges.



Daher darf Filter vor dem Mischer nur das Nutzsignal durchlassen!
Die zweite Frequenz ist unerwünscht (Spiegelfrequenz!)

Quelle: OE6GC

Genauer zum Begriff des Mischens (Multiplikation, Mischprodukte):
Siehe Vertiefung der Frage T51.



Zwischenfrequenz

Wenn man zwei hochfrequente Signale mischt (s. *Fragen T37, T41, s. Vertiefung der Frage T51*), entstehen immer zwei neue Signale, deren Frequenzen sich aus der Summe und der Differenz der Ausgangsfrequenzen ergibt (sog. „Mischprodukte“). Eines der beiden Mischprodukte kann ausgewählt werden (Filter) und weiter verarbeitet als „Zwischenfrequenz“ (ZF) in Überlagerungsempfängern (s. *Fragen T37, T38*).

Spiegelfrequenz

Angenommen, die Zwischenfrequenz (ZF) solle 9 Mhz betragen. Zum Mischen soll eine Oszillatorfrequenz von 5 MHz verwendet werden. Dann führen zwei Signalfrequenzen zur selben Zwischenfrequenz:

Signal 1	14 MHz	nach Mischung entsteht	$ZF = 14 - 5 = 9 \text{ MHz}$
Oszillator	5 MHz		
Signal 2	4 MHz	nach Mischung entsteht	$ZF = 4 + 5 = 9 \text{ MHz}$

Signal 1 und Signal 2 liegen also „spiegelbildlich“ um 5 MHz über bzw. unter der Zwischenfrequenz. Signal 1 wird als „Spiegelfrequenz“ zu Signal 2 bezeichnet, und umgekehrt.

Diese „Spiegelfrequenz“ kann nur durch ein entsprechendes Bandfilter (s. *Frage T37*) im Eingang unterdrückt werden, welches nur die gewünschte Empfangsfrequenz ungehindert durch lässt.

Andernfalls würden beide Signale empfangen (Spiegelfrequenzempfang, s. *auch Frage T41*). Bei extrem starken Signalen kann es trotz Bandfilter zu Spiegelfrequenzempfang kommen.



Unregelmäßige thermische Elektronenbewegungen erzeugen in jedem Bauteil unregelmäßige Stromschwankungen, die als Rauschen (Noise) bezeichnet werden. Je geringer das Rauschen, desto schwächere Signale können noch empfangen werden. Je geringer die Bandbreite, desto niedriger der Rauschpegel.

Eigenrauschen

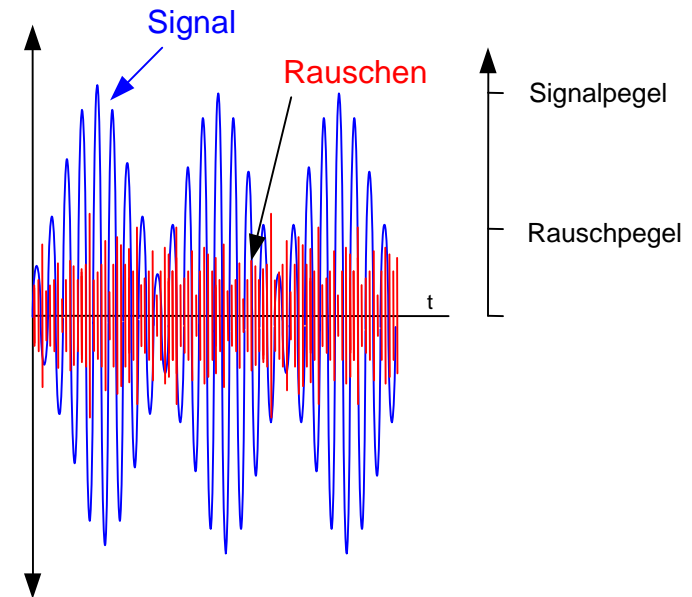
Alle auf Gerätebauteile zurückzuführenden Rauschquellen ergeben das „Eigenrauschen“, das nur durch Verwendung rauscharmer Bauteile oder Kühlung verringert werden kann.

Äußeres Rauschen

Dazu kommt das „äußere Rauschen“, das sich aus dem atmosphärischen Rauschen, dem galaktischen Rauschen und dem sog. „man made noise“ (technische Rauschquellen) zusammensetzt. Das äußere Rauschen ist frequenz- und standortabhängig.

S/N Verhältnis (Signal to Noise Ratio)

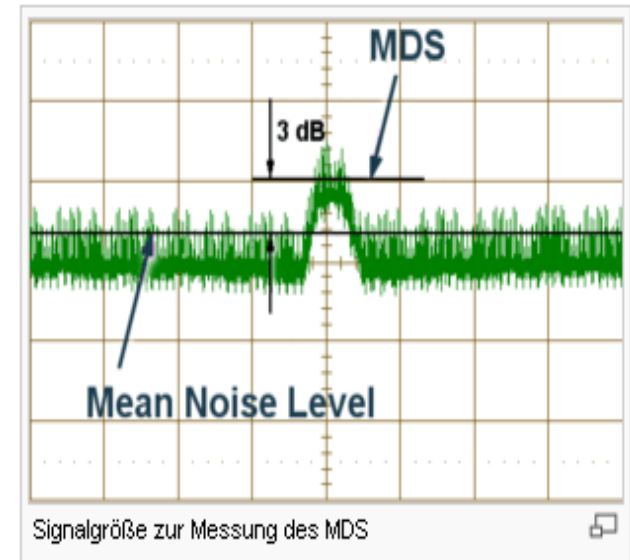
Das Zahlenverhältnis von Signalpegel zu Rauschpegel. S/N wird in dB (s. G11) angegeben und auch zur Messung der Grenzempfindlichkeit von Empfängern benützt (s. Frage T39). z.B. bedeutet ein S/N von 3 dB, dass die Signalamplitude 1,4 mal größer als die Rauschamplitude ist.





Empfindlichkeit

der kleinste Signalpegel, der noch empfangen werden kann. Genauer: Man spricht vom MDS (minimal detectable signal), definiert als das Signal, das mit einem S/N Wert von 3 dB feststellbar ist (s. *Abbildung*, s. auch *Frage T40*). In der Praxis bedeutet das einen Signalpegel von ca. 0,2µV.



Intermodulationsfreier Bereich

ist ein Maß dafür, wie stark zwei gleich starke benachbarte Signale, bezogen auf das Eigenrauschen, sein können, ohne dass es zu Übersteuerung und nichtlinearen Verzerrungen kommt (s. *G8*, *T51*, *T42*). Gute Werte > 90db.

Eigenrauschen

ist ein Maß für das Rauschsignal (noise level), das von allen innerhalb des Empfängers zusammenwirkenden Rauschquellen erzeugt wird, wenn kein Eingangssignal vorhanden ist (s. *Abbildung*: „*Mean Noise Level*“).



In Empfängern

Falls durch starke Signale im Empfangszweig eine Stufe in den nichtlinearen Arbeitsbereich ausgereizt (übersteuert) wird, entstehen durch Mischungsvorgänge Empfangssignale, die am Empfängereingang und im gewünschten Empfangsbereich gar nicht vorhanden sind (Geistersignale). Solche unerwünschten Mischvorgänge aufgrund nichtlinearer Verzerrungen nennt man Intermodulation bzw. Kreuzmodulation. In den meisten Fällen geschieht das im HF-Verstärker (s. *Frage T37*) des Empfängers.

Abhilfe Einschaltung eines „Abschwächers“ (absichtliche Verringerung der Empfindlichkeit).

Abschwächer zwischen Antenne und Empfänger, in manchen Geräten eingebaut und zuschaltbar.



In Sendern

Nichtlineare Verzerrungen und Intermodulation sind auch sehr häufig an Sendern zu beobachten und eine der häufigsten Ursachen von unerwünschten Nebenaussendungen und übermäßigen Bandbreiten. Sie sind fast immer auf unsachgemäße Bedienung (Übersteuerung) des Gerätes zurückzuführen. Seltener sind Konstruktionsmängel oder Defekte.

Abhilfe kann nur der Verursacher (korrekte Bedienung, Reparatur) schaffen (s. *auch Fragen T94, T95, T100*).



Jeder Empfänger enthält einen oder mehr Oszillatoren (VFO, BFO, s. *auch Blockschaltbild zu Frage T37*). Jeder Oszillator ist ein Sender kleiner Leistung und kann störend strahlen.

Abstrahlung über die Empfangsantenne

Der Oszillator muss vom Antenneneingang des Empfängers so gut entkoppelt werden, dass das Oszillatorsignal auf keinen Fall den Weg zum Antenneneingang findet.

Diese Entkopplung erfolgt durch den HF-Vorverstärker und durch Bandfilter (s. *auch Frage T37*), die nur das gewünschte Empfangssignal durchlassen, das Oszillatorsignal jedoch unterdrücken. Die Messung erfolgt mit einem Hilfsempfänger oder Spektrumanalysator (s. Frage T35) am Antenneneingang.

Direktabstrahlung

Die Direktabstrahlung kann durch geeignete Abschirmung des Oszillators unterbunden werden. Die Messung bzw. die Lokalisierung des Strahlungsaustritts erfolgt mit einer Hilfsantenne oder einer kleinen Einkoppelschleife (Spule) am Eingang des Hilfsempfängers oder Spektrumanalysators.



Funktechnik

Sendertechnik (TX-Technik)

- Oszillatoren – Grundprinzip, Arten (T52)
- Erklären Sie den Begriff VCO (T53)
- Erklären Sie den Begriff PLL (T54)
- Erklären Sie den Begriff DSP (T55)
- Erklären Sie die Begriffe sampling, anti aliasing filter, ADC / DAC (T56)
- Merkmale, Komponenten, Baugruppen eines Senders (T57)
- Zweck von Puffer- und Vervielfacherstufen, Aufbau (T58)
- Aufbau einer Senderendstufe, Leistungsauskopplung (T59)



Ein Oszillator erzeugt ein Wechsellspannungssignal („Schwingung“) gewünschter Frequenz und Kurvenform (hier hochfrequent und sinusförmig, s. *auch Fragen T9, T7*).

Grundprinzip

Jeder Oszillator ist ein Verstärker, bei dem ein Teil des Ausgangssignals wieder an den Eingang zurückgeführt wird („Rückkopplung“). Dadurch kommt es zur „Selbsterregung“ (Beispiel: akustische Rückkopplung). Befindet sich im Rückkopplungsweg ein frequenzbestimmendes Bauteil (als Filter), meist ein Schwingkreis (oder ein Quarz), so kann Selbsterregung nur auf dessen Resonanzfrequenz stattfinden.

Arten

VFO (variable frequency oscillator): Variable Frequenz durch einen abstimmbaren Schwingkreis.

X(C)O (xtal (crystal) oscillator): Quarzoszillator: Fixfrequenz, nur in geringem Umfang veränderbar. Ein Quarz weist eine wesentlich höheren Güte und Temperaturstabilität auf als ein Schwingkreis (s. *auch Frage T18*), somit lassen sich wesentlich stabilere Oszillatorfrequenzen erzielen.

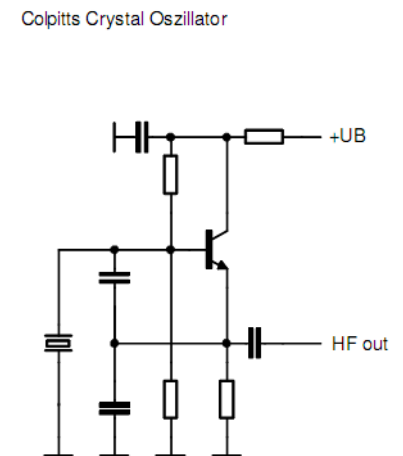
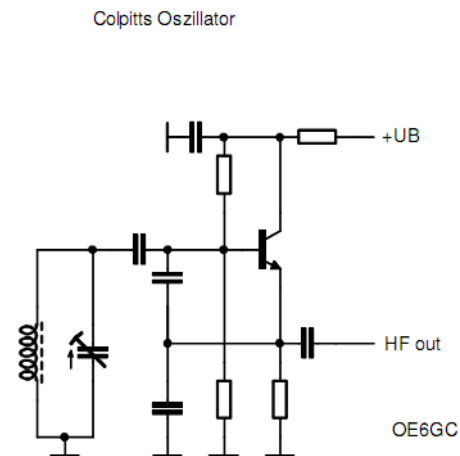
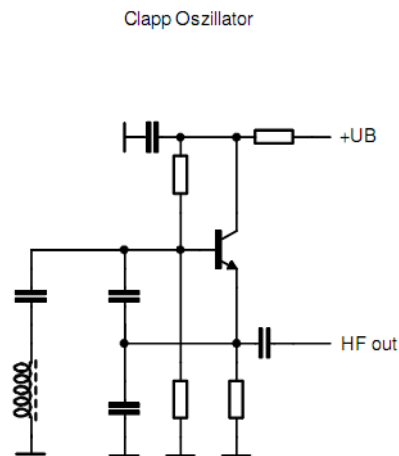
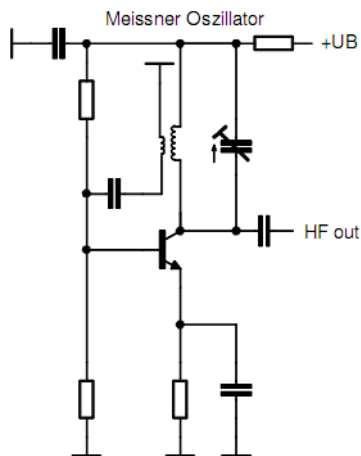
VCO (voltage controlled oscillator): Spannungsgesteuerter Oszillator (s. *Frage T53*).

Vertiefung

Schaltungsvarianten

wurden nach ihren Entwicklern benannt,
z.B. Meißner, Clapp, Hartley, Colpitts, Huth-Kühn, Butler, ...
jeweils mit Schwingkreis oder Quarz ausführbar.

Schaltungbeispiele



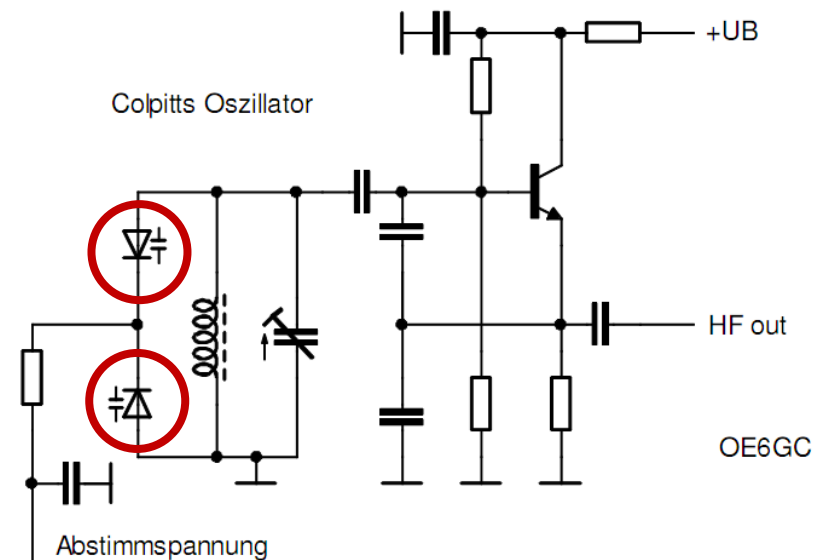


Der Begriff VCO (voltage controlled oscillator) bezeichnet einen spannungsgesteuerten Oszillator. Dem frequenzbestimmenden Resonanzschwingkreis eines Oszillators wird eine Kapazitätsdiode (s. *Frage T23*) parallel geschaltet. An diese Diode wird eine variable Gleichspannung angeschlossen, mit der die Oszillatorfrequenz beeinflusst werden kann.

Genauer

Die Sperrschicht einer Diode stellt einen Kondensator dar (s. *Frage T22*).

Wird eine Spannung in Sperrrichtung angelegt, so wird die Sperrschicht breiter, die Kapazität geringer. Die Kapazität lässt sich also durch die Spannung beeinflussen und auch die Oszillatorfrequenz wird entsprechend verändert.





Der Begriff PLL (phase locked loop) bedeutet „phasenverriegelte Schleife“ und bezeichnet ein Verfahren, das mittels eines geschlossenen Regelkreises (loop) und einem Ist–Soll Vergleich die Frequenz eines Oszillators stets auf einen einstellbaren Sollwert nachstellt.

Vorteil

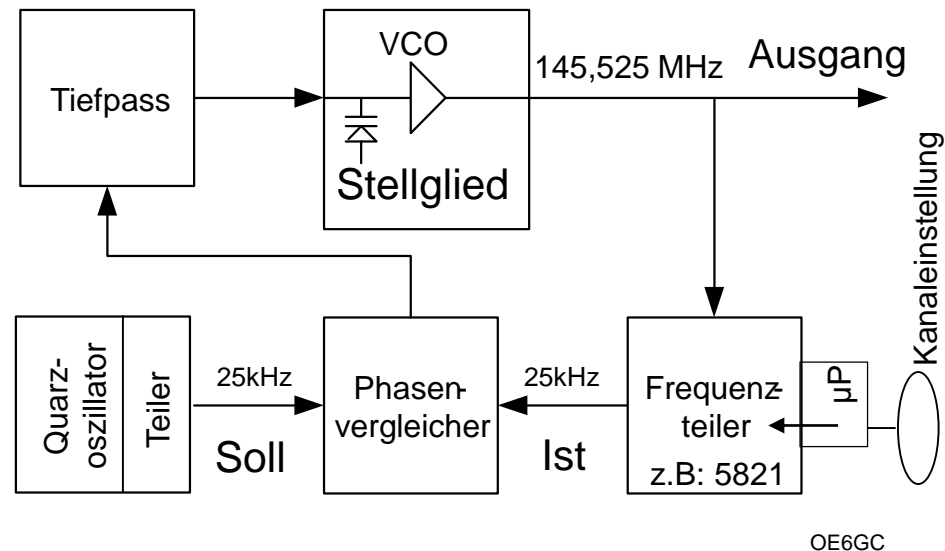
Man bekommt man ein quarzstabiles Signal auch auf wesentlich höheren Frequenzen als es mit herkömmlichen Quarzoszillatoren möglich ist.

Vertiefung

Ist-Wert: Die Ausgangsfrequenz eines VCO (s. Frage T53) wird über einen einstellbaren Frequenzteiler einem Phasenvergleichler zugeführt.

Soll-Wert (Referenzfrequenz): wird von einem Quarzoszillator mit nachgeschaltetem Teiler geliefert.

Ist-Soll Vergleich: Am Ausgang des Vergleichers steht eine veränderliche Gleichspannung zur Verfügung, die die Kapazitätsdiode (Stellglied) des VCO steuert. Somit entsteht ein geschlossener Regelkreis, der die Oszillatorfrequenz stets auf den Sollwert nachstellt.



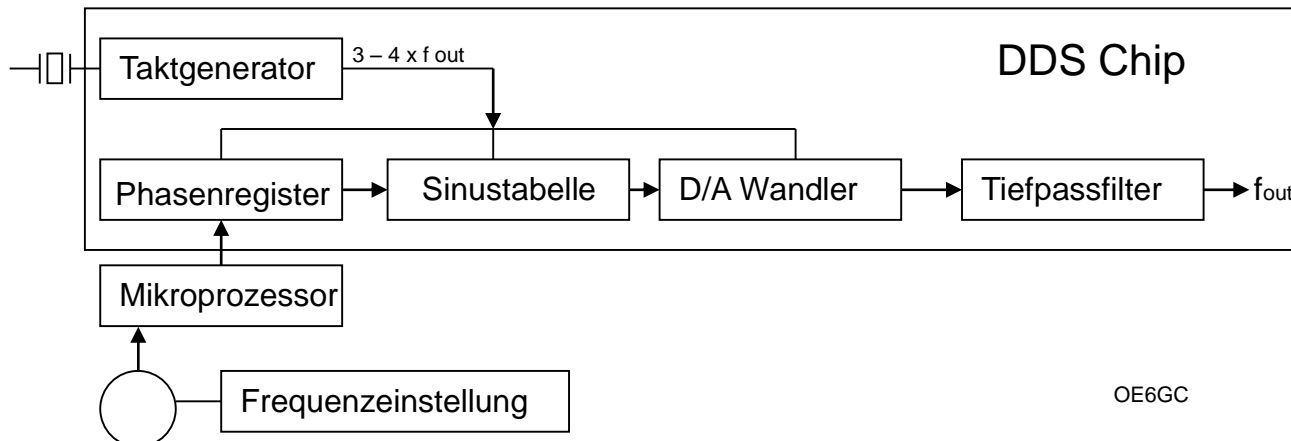


Vertiefung (Neuere Entwicklungen: DDS statt PLL)

Die PLL wird immer häufiger durch eine DDS-Oszillatoraufbereitung (Direct Digital Synthesis) abgelöst, welche die Sinusschwingung auf der erforderlichen Frequenz mit praktisch beliebig feiner Frequenzauflösung in einem einzigen Integrierten Schaltkreis (Chip) erzeugt.

Die Steuerung erfolgt über einen Mikroprozessor (μP).

Die sehr hohe Qualität des Ausgangssignals hängt im Wesentlichen von der Qualität des Taktgenerators und der Genauigkeit des Digital-Analog-Umsetzers ab.



OE6GC



DSP (Digital Signal Processing) bedeutet „Digitale Signalverarbeitung“. Das geschieht mit Hilfe der Mikroprozessortechnik. Damit können viele Aufgaben in Sendern und Empfängern, wie Modulation und Demodulation, Verstärkung, Filterung, Rauschunterdrückung u.a.m., digital erfüllt werden. Das kann in der HF-, ZF- oder NF-Ebene erfolgen.

Beispiel: DSP zur besseren SSB Wiedergabe

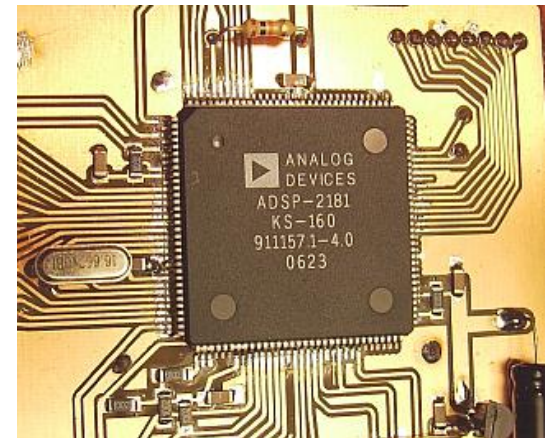


Nach diesem DSP Prinzip existieren bereits komplette HF Transceiver, bei denen A/D und D/A hochfrequente Signale verarbeiten (HPSDR, high performance software defined radio).

Zu den Begriffen A/D, Anti aliasing Filter, D/A s. Frage T56.

ZF-DSP eines Selbstbautransceivers
(Picastar, © G3XJP)

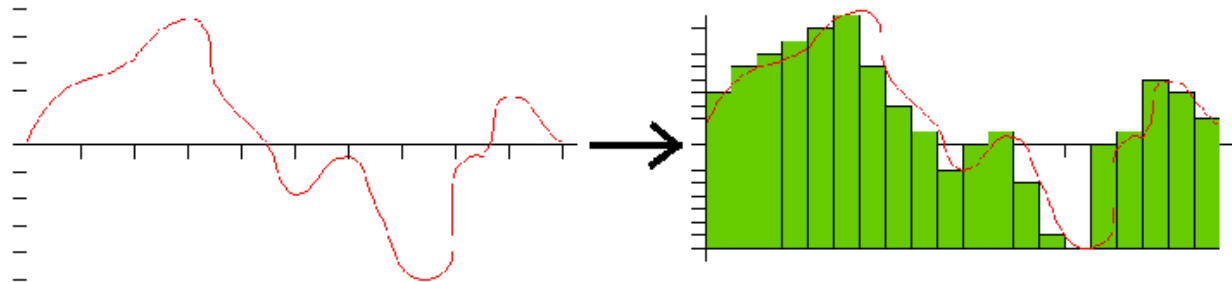
Foto: OE6ZH





Sampling

das analoge Signal wird in regelmäßigen Zeitabständen abgetastet (sampling) und die Momentanwerte einem ADC zugeführt. Die Abtastfrequenz muss mindestens das Doppelte der höchsten im Signalspektrum (s. auch T7) enthaltenen Frequenz betragen (Nyquist-Shannonsches Abtasttheorem). Andernfalls treten nicht mehr korrigierbare Fehler auf, die langsame Signalanteile vortäuschen, welche in Wirklichkeit gar nicht vorhanden sind (Aliasing).



Aliasing

bezeichnet den Vorgang, der zu den Fehlern bei zu langsamer Abtastung führt.

ADC

(Analog/Digital Converter, A/D) die Signalwerte werden in Zahlen verwandelt (digitalisiert) und als Zahlenfolge an den DSP (s. Frage T55) weitergegeben.

Anti aliasing Filter

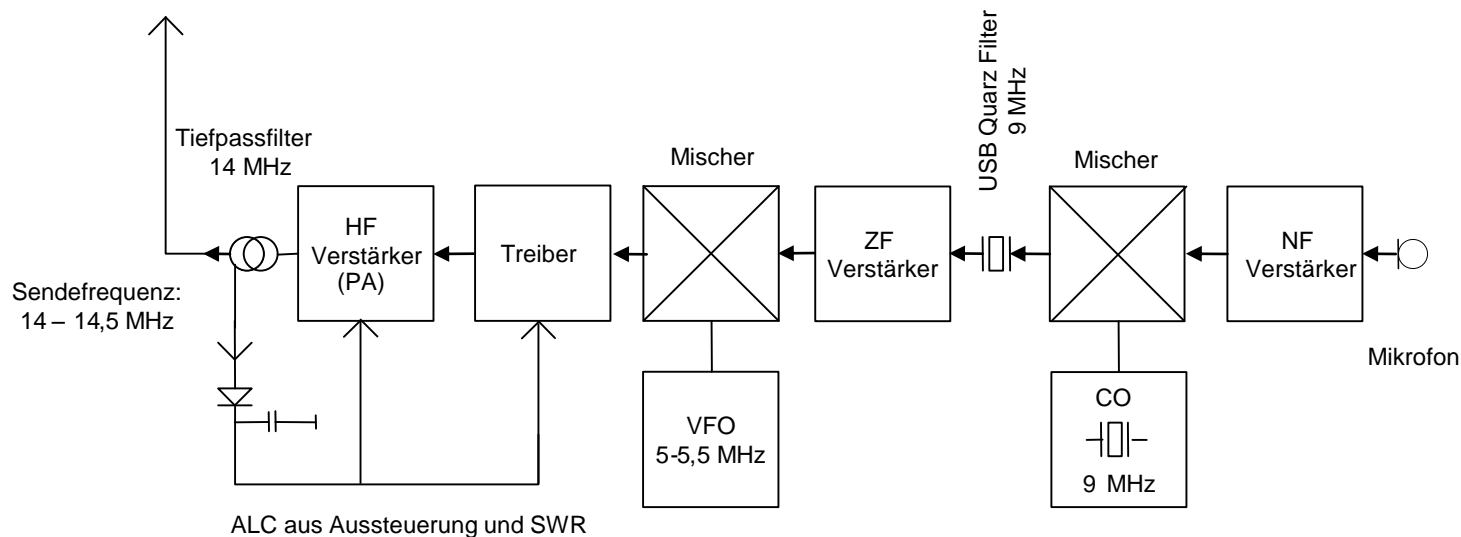
Tiefpassfilter, hält alle Signalanteile, die zu schnell sind, von der Abtastung fern.

DAC

(Digital Analog Converter, D/A) macht aus dem Ergebnis des DSP wieder ein analoges Signal. Zu schnelle Signalanteile („umgekehrte aliasing Produkte“) aus dem D/A müssen ebenfalls wieder mit einem Tiefpassfilter entfernt werden.



Moderne Sender arbeiten nicht mehr nach dem Vervielfacherprinzip (s. Frage T58) sondern meist nach dem Überlagerungsprinzip und haben Verwandtschaft mit Überlagerungsempfängern (s. Frage T37). Allerdings verläuft der Signalweg in umgekehrter Richtung. Da viele Baugruppen (Oszillatoren, Mischer, Filter) für Senden und Empfang nutzbar sind, ist dieses ökonomische Konzept weit verbreitet in Sendeempfängern (Transceiver).



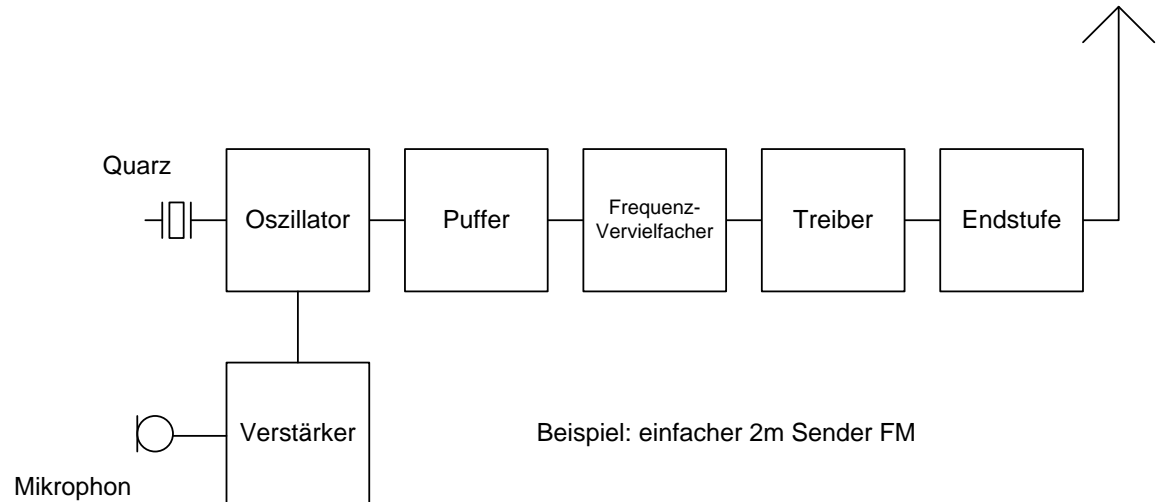
Das Signal des Quarzoszillators wird im Balancemodulator mit dem NF-Signal gemischt zu einer ZF. Mit dem Quarzfilter wird ein Seitenband ausgefiltert. Das SSB-Signal wird mittels Mischer und VFO auf die Sendefrequenz gebracht und über Treiber, Endstufe und Ausgangsfilter zur Antenne geleitet.

ALC Aus dem HF Signal wird eine Regelspannung gewonnen, die eine Übersteuerung der Endstufe vermeidet. Bei zu hohem SWR (s. Frage T72) wird die Ausgangsleistung reduziert.

Ein einfacher Sender besteht aus:

Oszillator (CO oder VFO), Modulator, Pufferstufe, Frequenzvervielfacher, Treiber, Endstufe.

Das **Oszillatorsignal** kann auch frequenzmoduliert werden. Die **Pufferstufe** entkoppelt den Oszillator vom nachfolgenden **Frequenzvervielfacher**, der die gewünschte Sendefrequenz erzeugt, die über den **Treiber** und die **Endstufe** verstärkt und zur Antenne geleitet wird.



Beispiel: einfacher 2m Sender FM

Dieses Bauprinzip ist heute nur noch in einfacheren UKW-FM Sendern und in KW Sendern kleinster Leistung (QRP) für Morsetelegrafie (CW) anzutreffen!

Genaueres auf der Folgeseite!

Genauer

Pufferstufe

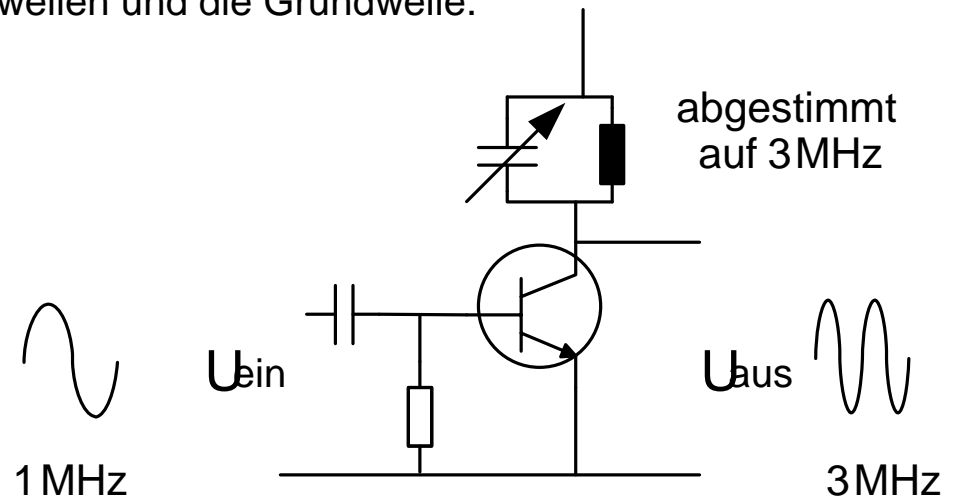
Entkopplung des Oszillators von den nachfolgenden Stufen. Meist als sehr schwach (mit geringer Kapazität) angekoppelter Verstärker aufgebaut. Dadurch werden Rückwirkungen minimiert und ein Stabilitätsgewinn des Oszillatorsignals erzielt.

Vervielfacher

Im Gegensatz zur Pufferstufe wird eine Verstärkerstufe stark übersteuert und erzeugt dadurch viele Oberwellen. Am Ausgang filtert ein Resonanzkreis die gewünschte Oberwelle aus und unterdrückt die unerwünschten Oberwellen und die Grundwelle.

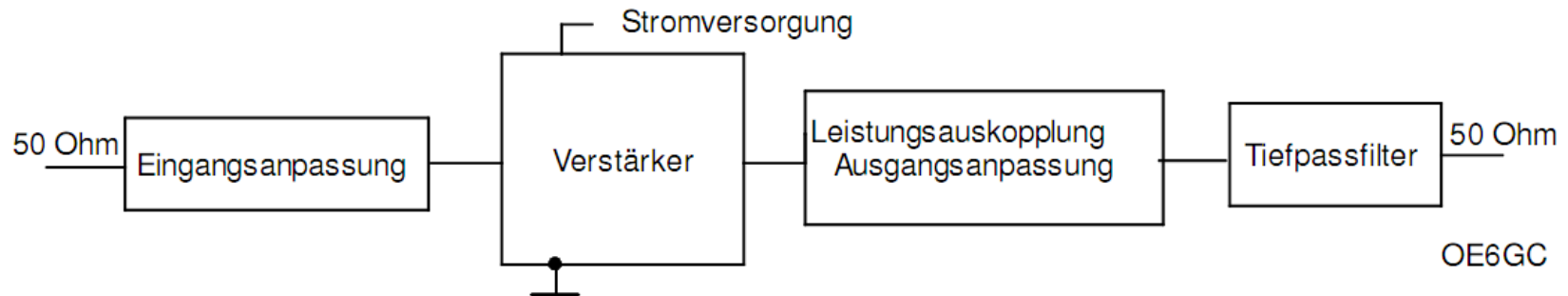
Beispiel

Verdreifacher





Die Senderendstufe (PA, power amplifier) verstärkt das Signal auf die geforderte Sendeausgangsleistung. Die verstärkenden Elemente sind Elektronenröhren oder Transistoren, die einzeln, parallel oder in Gegentakt betrieben werden können.



Mit Hilfe der Leistungsauskopplung wird die Impedanz der verstärkenden Elemente auf die der Senderschnittstelle transformiert - heute typisch 50 Ohm (Normwiderstand) - damit eine optimale Leistungsabgabe an Koaxialkabel (*siehe T74*) sichergestellt wird.

Das Tiefpassfilter dient der Oberwellenunterdrückung.

Kenngößen

Eingangsleistung	(Input Power) Die von der Stromversorgung abgegebene Leistung
Steuerleistung	(Driving Power) Die dem Verstärker zugeführte HF-Leistung
Ausgangsleistung	(Output Power) Die vom Verstärker abgegebene HF-Leistung
Wirkungsgrad	= Ausgangsleistung/Eingangsleistung (in %, typisch sind 50%)
Verstärkung	= Ausgangsleistung/Steuerleistung (in dB, typisch sind 10-20dB)



Funktechnik

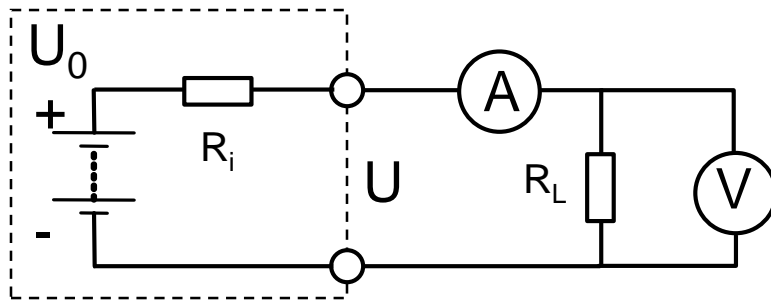
HF-Leistungsübertragung

- Was bedeuten die Begriffe "Anpassung" und "Fehlanpassung"? (G13)
- Anpassung eines Senderausganges an eine symmetrische oder unsymmetrische Antennenspeiseleitung (T60)
- Erklären Sie den Begriff Balun. Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise (T63)
- Der Antennentuner, Wirkungsweise, 2 typische Beispiele (Skizze) (T61)
- Antennenzuleitungen – Aufbau, Kenngrößen (T62)
- Erklären Sie den Begriff Wellenwiderstand (T71)
- Aufbau und Kenngrößen eines Koaxialkabels (T74)
- Stehwellen und Wanderwellen, Ursachen und Auswirkungen (T72)
- Was versteht man unter einem Hohlraumresonator, Anwendung (T90)



Was bedeuten die Begriffe "Anpassung" und "Fehlanpassung"?

Jede Spannungsquelle hat einen sog. „Innenwiderstand“ (R_i), den man sich zwischen der eigentlichen (als ideal gedachten) Spannungsquelle und den Anschlussklemmen vorstellen muss (s. *Abbildung*).



U_0 Leerlaufspannung
 U Klemmenspannung
 R_i Innenwiderstand
 R_L Lastwiderstand (Außenwiderstand)

Hinsichtlich des Lastwiderstandes R_L (Außenwiderstand) sind drei Sonderfälle zu unterscheiden:

Stromanpassung

Im Stromkreis soll der maximal mögliche Strom fließen:

Die Bedingung dafür lautet: $R_L = 0$ (Kurzschluss), $I = U_0 / R_i$, $U = 0$

Spannungsanpassung

An R_L soll die maximal mögliche Spannung anliegen:

Die Bedingung dafür lautet: $R_L \Rightarrow \infty$ (Stromkreis offen), $U = U_0$, $I = 0$

Leistungsanpassung

An R_L soll die maximal mögliche Leistung abgegeben werden:

Die Bedingung dafür lautet: $R_L = R_i$, dann gilt: $U = U_0 / 2$

Uns interessiert die Leistung an R_L , wegen $P = U^2 / R_L$ erhalten wir:

$P = U_0^2 / 4 R_L$ (Mit „Anpassung“ ist i.d.R. Leistungsanpassung gemeint.)

Fehlanpassung

liegt vor, wenn die betreffende Anpassungsbedingung (s.o.) nicht erfüllt ist.



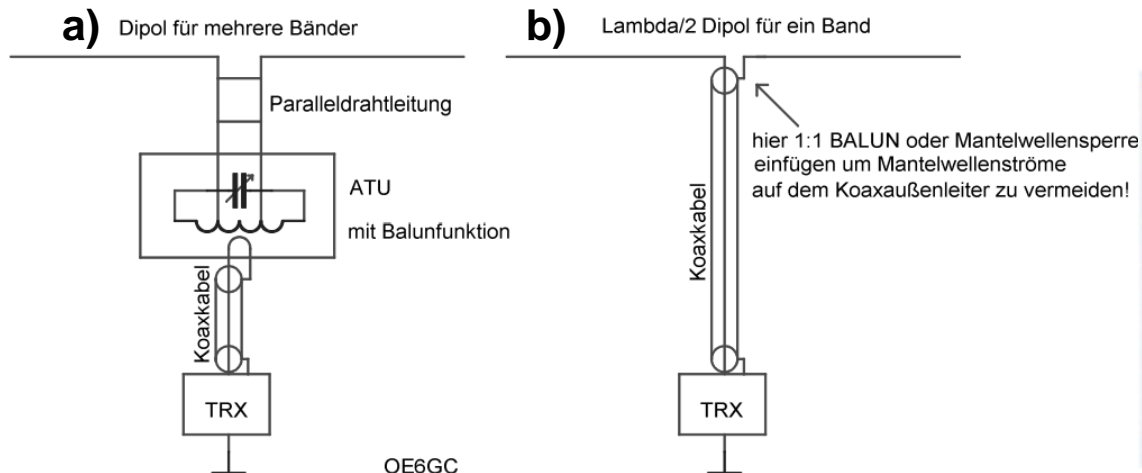
Die Mehrzahl aller Leistungsverstärker für Funkzwecke ist ausgelegt für den Anschluss von Koaxialkabeln (s. *Frage T74*) und weist daher einen unsymmetrischen Ausgang mit einer Impedanz von 50 Ohm auf. Soll eine symmetrische Antennenspeiseleitung (s. *Frage T62*) verwendet werden, so muss in jedem Fall „symmetriert“ werden. In den meisten Fällen wird auch eine Impedanzanpassung (mittels Antennentuner, s. *Frage T61*) notwendig sein.

Begründung

Ohne Symmetrierung treten am Koaxialkabel „Mantelwellen“ auf. Dadurch geht die Schirmwirkung des Koaxialkabels teilweise oder gänzlich verloren und das Kabel wirkt selbst als Antenne. Besonders bei Kabelführung in Gebäuden kann dies Störungen (TVI, BCI, s. *Frage T92*) verursachen.

Optionen

a) symmetrischer Antennentuner, b) Balun (s. *Frage T63*) oder c) Mantelwellensperre.



c)

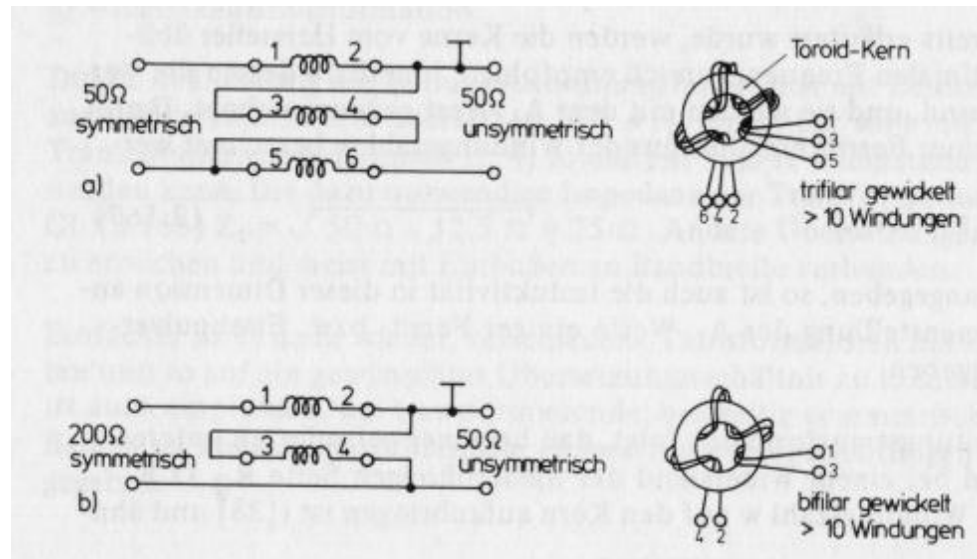


Ein Balun oder eine Mantelwellensperre ist auch dann erforderlich, wenn ein $\lambda/2$ Dipol im verbauten Gebiet nicht vollkommen frei und symmetrisch errichtet werden kann, oder das Koax nicht senkrecht nach unten weggeführt werden kann!



Balun ist ein Kunstwort aus dem Englischen: balanced to unbalanced. Ein Balun kann eine symmetrische Last an eine unsymmetrische Last anpassen und umgekehrt.

Aufbau



Verwendung

an der Schnittstelle einer unsymmetrischen Antennenleitung (Koaxialkabel) und symmetrischen Antennenformen (z.B. Dipol, s. *Frage T60*). Zur Impedanztransformation nur zu empfehlen, wenn sichergestellt ist, dass nur reelle (ohmsche) Impedanzwerte auftreten.

Wirkungsweise

unsymmetrische Ströme, die die Ursache von Mantelwellen (strahlende Speiseleitungen) sind, werden unterdrückt.



Der „echte“ Antennentuner (Anpassung) sitzt idealerweise unmittelbar an der Antennenschnittstelle und dient der Transformation der Kabelimpedanz auf die Impedanz des Antennenspeisepunktes (gegebenenfalls auch der Symmetrierung, s. *Frage T60*).

Meist wird jedoch ein Anpassgerät an der Schnittstelle Senderausgang – Antennenkabel verwendet, um dem Sender die geforderte Nennimpedanz (heute meistens 50 Ohm) anzubieten. Das ist die Voraussetzung für die Leistungsanpassung des Senders (s. *G13*).

Viele Geräte haben ein automatisch arbeitendes Anpassgerät (ATU, automatic Tuner) eingebaut, das häufig (ungenau) als Antennentuner bezeichnet wird.

Bei Fehlanpassung regelt die Schutzschaltung moderner Sender die Sendeleistung zurück!

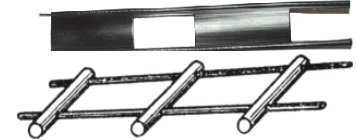
Beispiele





Symmetrische Speiseleitungen

Zweidrahtleitungen (Bandkabel und Paralleldrahtleitung)
2 Leiter werden durch isolierende Abstandshalter
geführt.



Unsymmetrische Speiseleitungen

Koaxialkabel
Konzentrische Anordnung von Innenleiter, Dielektrikum,
Außenleitergeflecht, Außenisolation



Hohlleiter

Im GHz Bereich eingesetzt, Verwandtschaft
mit Lichtleitern durch das Prinzip der Totalreflexion.
Rechteckige oder runde Rohre ohne Innenleiter. Der Querschnitt hängt von
der Wellenlänge ab. Material: Kupfer, Aluminium, versilberte Werkstoffe.

Elektrische Kenngrößen

- Impedanz (Wellenwiderstand; Kabelkennwert, unabhängig von Länge und Frequenz),
- Dämpfung (frequenzabhängig, längenabhängig),
- Verkürzungsfaktor (Kabelkennwert, unabhängig von Länge und Frequenz),
- Belastbarkeit (Kabelkennwert, unabhängig von Länge und Frequenz)

Mechanische Kenngrößen

- Durchmesser
- Gewicht
- Krümmungsradius (für einfach geschirmte Koaxialkabel gilt der 5-fache Kabeldurchmesser, bei doppelt geschirmten der 10-fache als kleinster Krümmungsradius)
- Zugfestigkeit
- etc.



Der Wellenwiderstand (Impedanz, Z_0 , in Ohm) ist eine charakteristische Kenngröße von HF-Speiseleitungen. Er gibt an, mit welchem Ohmschen Widerstand eine Leitung abgeschlossen werden muss (an beiden Enden), damit Leistungsanpassung (s. G13) über einen großen Frequenzbereich herrscht.

Erläuterung

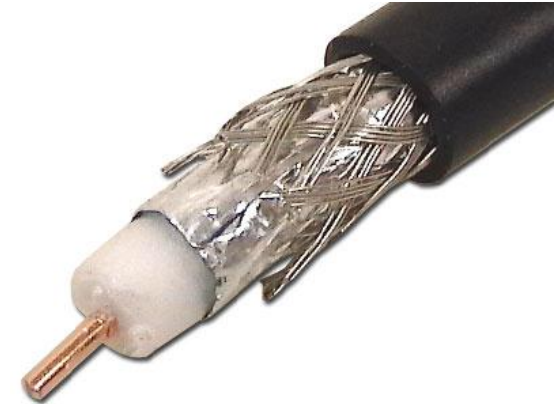
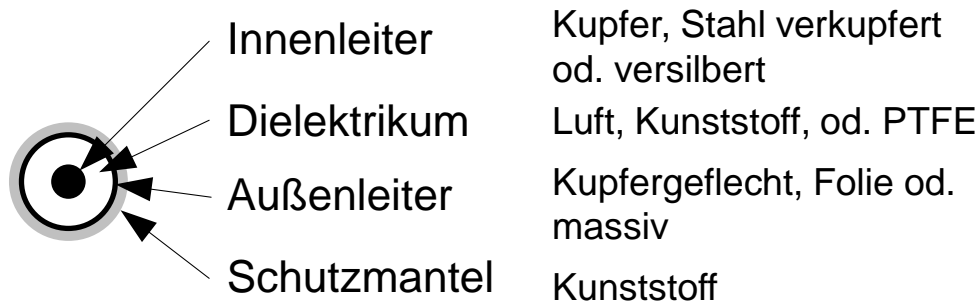
Eine HF-Speiseleitung kann man sich als eine fortgesetzte Kombination von Parallelkapazitäten und Reiheninduktivitäten vorstellen. Wäre diese Leitung unendlich lang, ergäbe sich dadurch ein charakteristischer Wert des Wellenwiderstandes. Eine reale Leitung endlicher Länge muss mit diesem Wert abgeschlossen werden, um Leistungsverluste durch Fehlanpassung zu verhindern.

Praktische Werte

- Koaxialkabel: je nach Modell 50, 75 oder 93 Ohm, am häufigsten: 50 Ohm
- Zweidrahtspeiseleitungen: 70 bis 800 Ohm, je nach Modell, je größer der Leiterabstand im Verhältnis zum Leiterdurchmesser, um so höher die Impedanz.



Aufbau



Elektrische Kenngrößen

- Wellenwiderstand (Impedanz) Z_0 (in Ohm), s.auch T71
- Dämpfung (in dB/100m; frequenzabhängig)
- Schirmungsfaktor
- Spannungsfestigkeit
- Leistungsbelastbarkeit

Mechanische Kenngrößen

- kleinster zulässiger Biegeradius (für einfach geschirmte Koaxialkabel gilt der 5-fache Kabeldurchmesser, bei doppelt geschirmten der 10-fache als kleinster Krümmungsradius)
- Zugfestigkeit
- etc.



Wanderwellen	Ist eine HF-Speiseleitung beidseitig (z.B. an Senderausgang und Antennenspeisepunkt) impedanzrichtig abgeschlossen, treten auf der Leitung nur Wanderwellen auf und der Leistungstransport erfolgt nur in einer Richtung, zum Verbraucher (Antenne).
Stehwellen	<p>Bei Fehlanpassung wird ein Teil der Leistung am fehlangepassten fernen Ende reflektiert, läuft zurück und wird am nahen Ende teilweise reflektiert (weil dieses, vom fernen Ende her gesehen, ebenfalls fehlangepasst ist!), läuft wieder zum fernen Ende, wird dort teilweise reflektiert, läuft zurück, wird wieder teilweise am nahen Ende reflektiert, usw. usw.*</p> <p>Die Überlagerung von hin- und rücklaufenden Wellen führt zu Stehwellen (stehende Wellen, Spannungs- bzw. Strommaxima in Abständen von $\lambda/2$).</p>
Kenngröße	Stehwellenverhältnis (SWR), gemessen mit einem SWR Meter.
Auswirkungen	<p>Durch Fehlanpassung kommt es</p> <ol style="list-style-type: none">1) zu einer Überlastung der Endstufe (mangelhafte Leistungsanpassung, <i>siehe G13</i>) und2) zu einem zusätzlichen Leistungsverlust auf der fehlangepassten Leitung**.

* ** *Siehe Vertiefung auf der Folgeseite.*

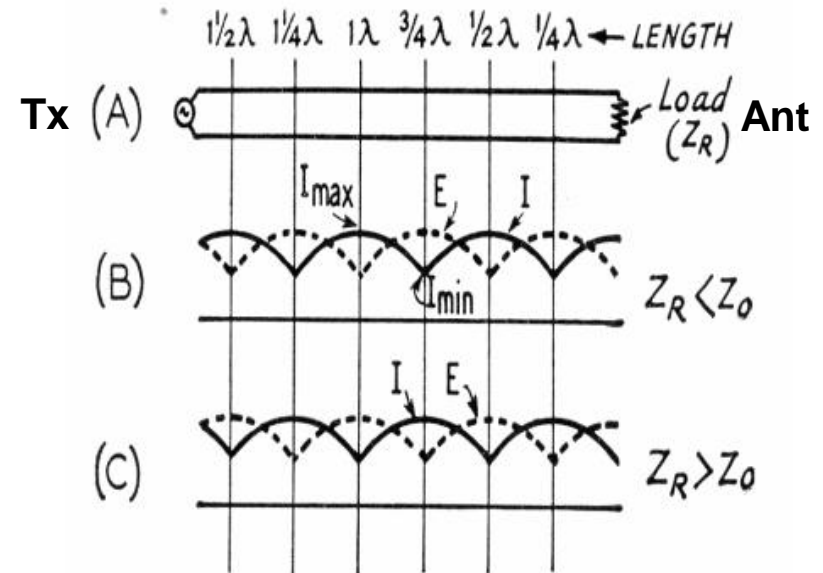
Vertiefung

* Die Mehrfachreflexion an beiden Enden, selbst wenn das nahe (senderseitige) Ende impedanzrichtig angeschlossen ist, ist nur zu verstehen, wenn man weiß, dass HF-Leitungen, ähnlich Transformatoren, auch Impedanzen zwischen dem einen und dem anderen Ende transformieren.

Eine Fehlanpassung an einem Ende bedeutet deshalb in der Regel auch Fehlanpassung und teilweise Reflexion am anderen Ende!

Die HF durchläuft deshalb die Leitungslänge mehrmals!
Dadurch treten Verluste auf, die ein Vielfaches der Verluste betragen, die im reflexionsfreien (angepassten) Fall aufträten!

** Die „Reflexionsverluste“ (wie sie oft unzutreffend bezeichnet werden) bei hohem SWR sind also in Wahrheit Verluste auf realen Leitungen! Mit verlustfreien Leitungen gäbe es selbst bei hohem SWR keine „Reflexionsverluste“! Allerdings hätte man es nach wie vor mit Verlusten durch mangelhafte Leistungsanpassung der Endstufe (*siehe G13*) zu tun.





Ein Hohlraumresonator ist ein rechteckiger oder runder Hohlzylinder mit einer geeigneten HF-Ankopplung. Durch die Abmessungen ergibt sich Resonanz im GHz-Bereich und er kann als Schwingkreis oder Filter verwendet werden.

Da das Einbringen von Leitern oder Nichtleitern die Resonanzfrequenz eines derartigen Gebildes verändern kann, werden zur Feinabstimmung oft Schrauben verwendet, die mehr oder weniger weit in den Hohlraum hineinragen.

Beispiel

Mikrowellenherd

Vergleichsbeispiele aus der Akustik

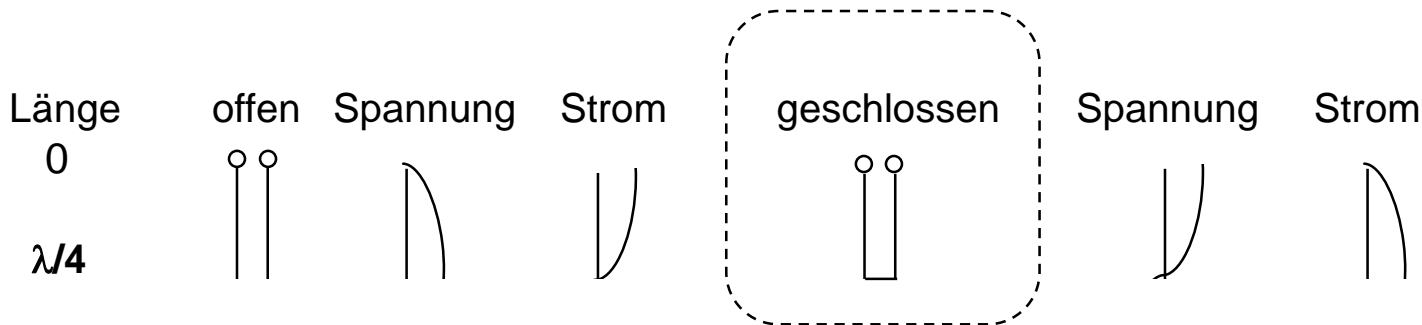
- Blasinstrumente
- Orgelpfeifen
- „Heulen“ von Kaminen bei Sturmwind.

Verständnisgrundlage

Stehende Wellen in HF Leitungen (*siehe vertiefende Folgeseite*).

Vertiefung

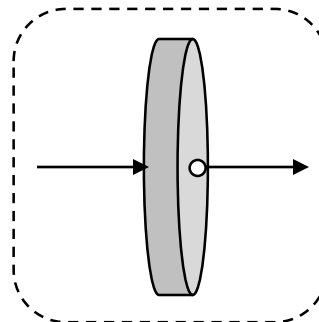
Als Verständnisgrundlage betrachten wir Stehwellen auf einer HF-Leitung der Länge $\lambda/4$ und Spannung bzw. Strom (je horizontale Achse) entlang der Leitung (vertikale Achse) .



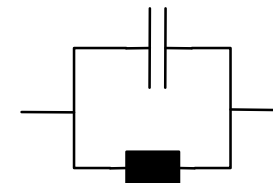
Eine geschlossene $\lambda/4$ Leitung verhält sich wie eine Unterbrechung! Am offenen Ende fließt kein Strom, die geschlossene $\lambda/4$ Leitung gleicht einem Parallelschwingkreis.

Nun lassen wir die Leitung um eine horizontale Achse rotieren, die durch das offene Ende geht. Es entsteht ein zylindrischer Hohlkörper aus Metall (Dose) mit den Eigenschaften eines Parallelschwingkreises.

Dieser Hohlraumresonator mit dem Radius $\lambda/4$ bildet für HF der Frequenz $f = c / \lambda$ einen Sperrkreis mit sehr hoher Impedanz in Pfeilrichtung.



Ersatzschaltbild



Antennentechnik

- Erklären Sie den Begriff elektromagnetisches Feld, Kenngrößen (T85)
- Abstrahlung, Ausbreitung, Hindernisse, bewegte Funkstationen (G14)
- Erklären Sie den Begriff Dezibel am Beispiel der Anwendung in der Antennentechnik (T75)
- Der Dipol – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T64)
- Dimensionieren Sie einen Halbwellendipol für $f = 3.6 \text{ MHz}$; $V = 0.97$ (Werte sind variabel) (T78)
- Erklären Sie den Begriff Trap, Aufbau und Wirkungsweise (T89)
- Verkürzte Antennen, Mobilantennen (G15)
- Langdrahtantennen – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T81)
- Welche Kenngrößen von Antennen kennen Sie und wie können sie gemessen werden? (T77)
- Strahlungsdiagramm einer Antenne (T67)
- Die Vertikalantenne – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T65)
- Zweck von Radials / Erdnetz bei Vertikalantennen – Dimensionierung (T82)
- Was versteht man unter Richtantennen – Anwendungsmöglichkeiten (T76)
- Die Yagi Antenne – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T68)
- Gekoppelte Antennen – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T66)
- Die Parabolantenne – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T70)
- Breitbandantennen – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften (T69)
- Prinzipieller Aufbau einer Relaisfunkstelle und einer Bakenfunkstelle (T97)



Die Entstehung des elektromagnetischen Feldes und seine Fortpflanzung von Ort zu Ort mit Lichtgeschwindigkeit beruht auf folgender Gesetzmäßigkeit (Maxwellsche Gesetze):

Wenn sich ein elektrisches Feld ändert, wird ein magnetisches Feld erzeugt.

Wenn sich ein magnetisches Feld ändert, wird ein elektrisches Feld erzeugt.

Je nach Antennenform wird dabei zuerst die elektrische oder die magnetische Komponente des Feldes angeregt bzw. ausgenützt.

Beachte: Die Maxwellschen Gesetze setzen voraus, dass ein Wechselstromkreis existiert!
Folglich muss man jede Antenne als geschlossenen Stromkreis betrachten!

Das elektromagnetische Feld wird per Definition durch das Verhalten der elektrischen Feldkomponente charakterisiert (s. auch Frage T86).

Kenngrößen

- Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = 300.000 \text{ km/sec}$
- Ausbreitungsrichtung
- Wellenlänge ($\lambda \text{ [m]}$), gibt an, wie weit die Welle nach einer Schwingungsperiode gekommen ist
- Polarisation (Schwingungsebene des elektrischen Feldanteils, bezogen auf die Erdoberfläche (vertikal, horizontal, zirkular (drehend)))
- Feldstärke (V/m)

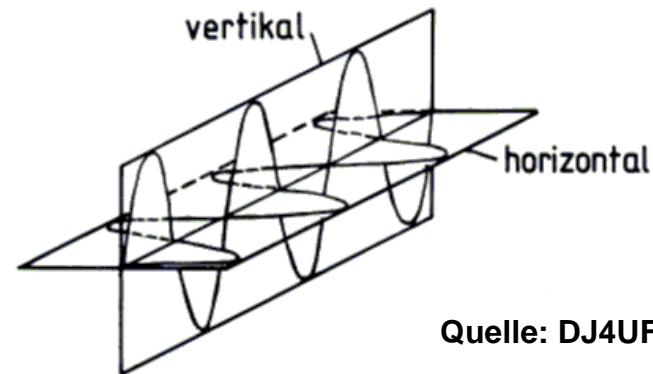
Zusammenhang

$\lambda = c/f$ (f Frequenz, c Ausbreitungsgeschwindigkeit s.o.)

Vertiefung

Polarisation

Bei der Wellenausbreitung spricht man von horizontaler und vertikaler Polarisation. Hierbei wird die Richtung des elektrischen Feldes (E-Feld) als Bezug genommen (Erdoberfläche = horizontal).



Quelle: DJ4UF

Die Polarisationsebene bleibt bei feststehender Sendeantenne nur bei Freiraumstrahlung immer und überall gleich.

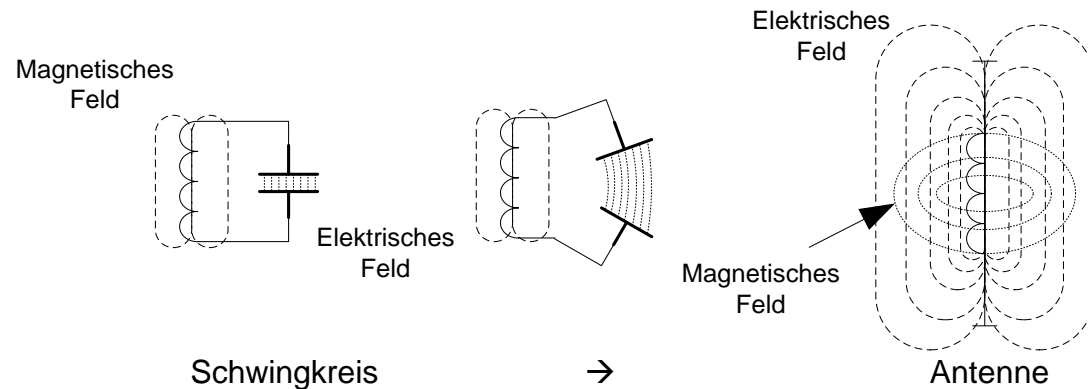
In der Praxis findet an allen Hindernissen eine Drehung der Polarisationsebene statt, insbesondere an den E- und F-Schichten, die den Kurzwellen-Weitverkehr möglich machen.

Eine Drehung der Polarisationsebene findet ebenfalls statt, wenn die Antenne auf einem Satelliten montiert ist, der nicht geostationär und lagestabilisiert ist.

Der Drehung der Polarisationsebene kann man mit zirkular polarisierten Antennen Rechnung tragen.

Abstrahlung, Ausbreitung, Hindernisse, bewegte Funkstationen

Abstrahlung



Ausbreitung erfolgt immer geradlinig, mit Lichtgeschwindigkeit (300.000 km/sec).

Freiraumstrahlung liegt vor, wenn zwischen den Funkstationen Sichtverbindung besteht.

Hindernisse Objekte, die die geradlinige Ausbreitung behindern, durch Schwächung (Absorption, Dämpfung, z.B. D-Schicht) oder durch Reflexion (Erdboden, Gebäude, E-, F-Schichten). *Siehe auch Betriebstechnik.*

Bewegte Funkstationen sind anzutreffen in Kraftfahrzeugen, Schiffen, Flugzeugen, Satelliten.

Dopplershift Scheinbare Frequenzänderung, wenn sich Funkstationen gegeneinander bewegen. Bedeutung für den Satellitenfunk (Änderungen bis zu +/- 10 kHz).

Polarisationsdrehung entsteht durch Reflexion oder sich drehende Antennen (Satellitenfunk).



Siehe auch Kapitel Messtechnik „Was bedeutet der Begriff Dezibel“? (s. G11)

Die dimensionslose Größe Dezibel beschreibt immer das Verhältnis zweier Leistungen (oder Spannungen) und wird in der Antennentechnik bei Vergleichen angewandt.

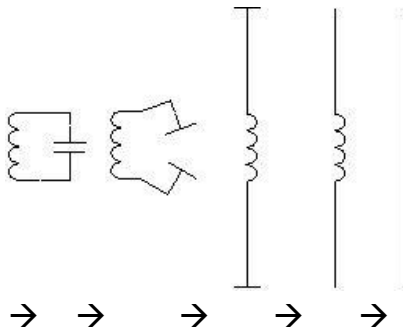
Beispiel	Eine Antenne mit 6 dB (=3+3dB) Gewinn über Dipol strahlt in ihrer Hauptstrahlrichtung die 4-fache Leistung als ein $\lambda/2$ -Dipol in seiner Hauptstrahlrichtung ab. Bei 13dB (=10+3dB) Gewinn die 20-fache Leistung!
Isotroper Strahler	Ein idealisierter Strahler ohne Vorzugsrichtung (Punktquelle), dient als Bezugsantenne.
dB_i	Der Gewinn einer Antenne (in Hauptstrahlrichtung) gegenüber einem isotropen Strahler. Ein isotroper Strahler hat definitionsgemäß einen Gewinn von 0 dB _i .
dB_d	Der Gewinn einer Antenne in Hauptstrahlrichtung gegenüber einem $\lambda/2$ -Dipol in Hauptstrahlrichtung. Im obigen Beispiel ist von dB _d die Rede! Ein $\lambda/2$ -Dipol hat einen Gewinn von 2,15 dB _i oder definitionsgemäß 0 dB _d . 2,15 dB _i bedeutet: 1,64 fache Leistung.

Zusammenhang dB_i und dB_d

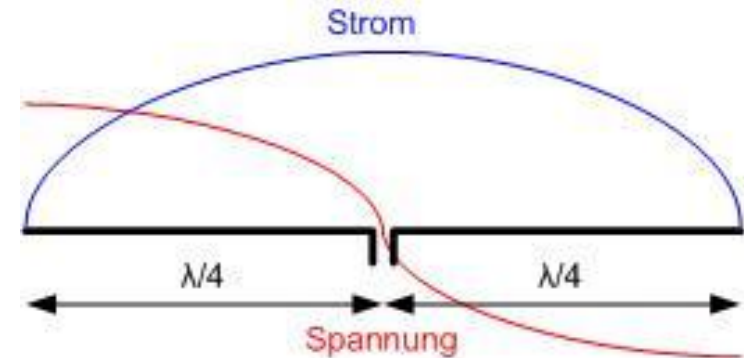
Angaben in dB_i sind also um 2,15 dB zu verringern, um zu dB_d zu kommen. Gewinnangaben in dB (z.B. in Prospekten) ohne Angabe der Bezugsantenne haben keine Aussagekraft!



Unter einem Dipol versteht man eine aus zwei gleich langen Leiterhälften bestehende Antenne, die in der Mitte (Strombauch) gespeist wird. Bei einer elektrischen Gesamtlänge von einer halben Wellenlänge spricht man von einem Halbwellendipol oder $\lambda/2$ -Dipol.



Entwicklungsschritte vom Schwingkreis zum Dipol



Strom- und Spannungsverteilung an einem $\lambda/2$ -Dipol
In der Mitte befindet sich ein „Strombauch“ und ein „Spannungsknoten“. An den Enden befinden sich „Spannungsbäuche“ und „Stromknoten“.
Bauch = Maximum, Knoten = Minimum.

Kenngrößen und Eigenschaften

Wellenwiderstand im Speisepunkt :

ca. 50 Ohm, Speisung mit Koaxialkabel und Balun (s. Frage T63) .

Strahlungsdiagramm: (s. Frage T67),

hat die Form einer Acht, d.h. Strahlungsmaxima quer zur Antennenachse, axiale Minima.

Gewinn: 2,15 dBi in Hauptstrahlrichtung.

Im Amateurfunk häufig verwendet: gestreckte Dipole und abgewinkelte Dipole („Inverted Vee“).



Aus dem Zusammenhang (s. Frage T85)

$$\lambda = c / f$$

λ (Lambda) ist das Symbol für die Wellenlänge,
 c ist die Lichtgeschwindigkeit (300.000 km/sec)
 $f = 3,6 \text{ MHz}$

erhält man unter Verwendung handlicher Maßeinheiten (l [m], f [MHz]) die Praktikerformel

$$\lambda [\text{m}] = 300 / f [\text{MHz}]$$

Die Antennenlänge l soll $\lambda / 2$ betragen, der Verkürzungsfaktors $V = 0,97$ (s.u.) :

$$l = V * 300 / (2 * f) = V * 150 / f = 0,97 * 150 / 3,6 = \underline{40,41 \text{ m}}$$

Beachte: Der Verkürzungsfaktor V hängt
von der Drahtstärke ab (je dicker desto kleiner)
und vom etwaig verwendeten Isoliermantel (kleiner).

Die Tabelle enthält Anhaltswerte:
 $\lambda/2$ Dipole für die KW-Amateurfunkbänder,
Längen in m.

Frequenz	Band	$\lambda/2$ -Dipol
1,9 MHz	160m Band	83 m
3,5 MHz	80m Band	41 m
7 MHz	40m Band	20 m
14 MHz	20m Band	10 m
21 MHz	15m Band	7 m
28 MHz	10m Band	5 m



Trap heißt „Falle“. Ein Dipol kann mit Traps zu einer Mehrbandantenne gemacht werden.

Aufbau

Ein Trap ist ein Parallelschwingkreis (s. Frage T18).

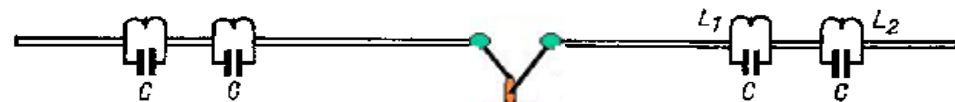
Wirkungsweise

Traps werden als Sperrkreise eingesetzt, um einen Ast der Antenne für die Resonanzfrequenz des Sperrkreises „abzutrennen“. Für tiefere Frequenzen dominiert die Induktivität, der Trap wirkt als Verlängerung. Für höhere dominiert die Kapazität, er wirkt als Verkürzung des betreffenden Antennenastes.



Anwendung

Mehrbandantennen (Elemente mit mehreren Traps, Prinzip s.u.), z.B.



- W3DZZ Antenne (Dipol)
- Mehrband Yagi Antennen verschiedener Hersteller (es gibt allerdings auch Ausführungen mit voller Elementlänge („full size Antennen“))

Vorteile

gleiche Impedanz im Speisepunkt (für Koaxialkabel geeignet) auf allen Bändern

Nachteile

Verluste in den Sperrkreisen, Alterung der Bauteile durch Witterungseinflüsse

Verkürzte Antennen, Mobilantennen

Verkürzte Antennen

Das Prinzip der Verkürzung einer Antenne lässt sich am Besten zeigen, wenn man die Entwicklungsschritte des Dipols aus dem Schwingkreis (s. *Frage T64*) zurückverfolgt, vom Dipol zum Schwingkreis, unter Berücksichtigung der wahren Größenverhältnisse.

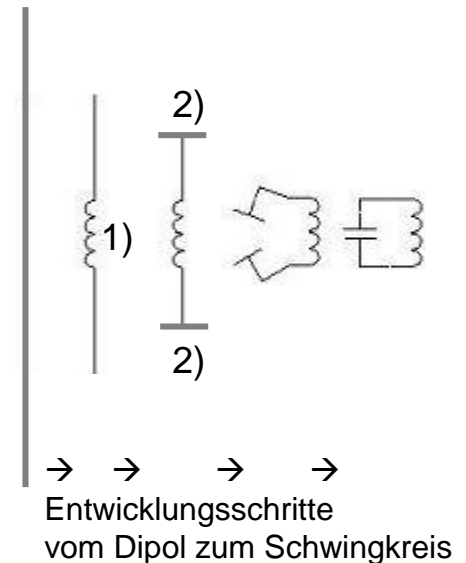
Es zeigt sich, dass die Verkürzung der Strahlerlänge auf zwei Arten kompensiert werden kann so, dass die Resonanzfrequenz gleich bleibt:

- 1) durch eine Induktivität („Verlängerungsspule“) an Stellen mit hohem Strom, s. *Frage T64*.
- 2) durch Kapazitäten an Stellen mit hoher Spannung („Endkapazitäten“) in Form von Drahtkreuzen oder Metallscheiben an Stellen mit hoher Spannung, s. *Frage T64*.

Generell sinkt der Wirkungsgrad bei Verkürzung, wobei die kapazitive Verlängerung günstiger ist, aus konstruktiven Gründen (Windlast) wird jedoch meist die induktive Verlängerung gewählt.

Mobilantennen

Mobilantennen bestehen in der Regel (s. *Vertikalantenne, T65*) nur aus einer Dipolhälfte, die fehlende Hälfte wird durch die Fahrzeugkarosserie ersetzt (Gegengewicht). Im UKW Bereich ist die Verlängerung nicht nötig, im KW Bereich findet man vorwiegend induktiv verlängerte Antennen.





Langdrahtantennen sind lineare Antennenformen (z.B. Drahtantenne), die länger als eine Wellenlänge sind. Mit der Länge steigt der Gewinn gegenüber einem Halbwellendipol allmählich an und das Strahlungsdiagramm zeigt zunehmend Vorzugsrichtungen, die sich immer mehr der Antennenachse nähern.

Kenngrößen

- Länge
- resonant (nicht unbedingt nötig) oder nichtresonant
- Ausrichtung (horizontale Spannrichtung, vertikal eher selten)
- Art der Einspeisung, z.B. am Ende (Zeppelin-Antenne) oder in der Mitte

Zeppelin-Antenne

Unsymmetrische Form, sie entsteht, wenn man einen Halbwellendipol am Ende (hohe Impedanz) mit einer Zweidrahtspeiseleitung versieht. Diese Leitung ist mit einem Leiter an das Ende des Strahlers angeschlossen, das andere Ende bleibt frei.

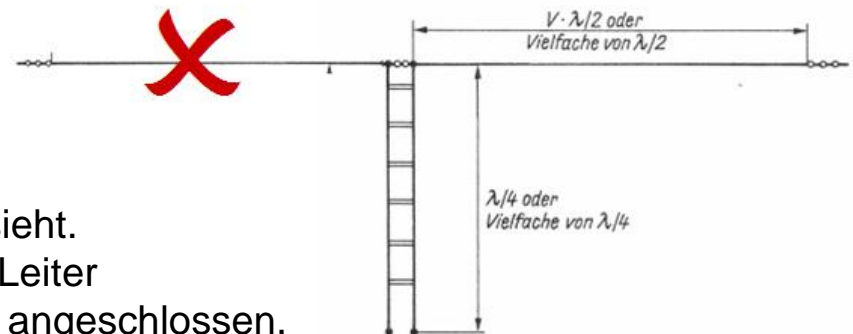


Bild 10.6
Die Zeppelin-Antenne

Gestreckter Dipol

Symmetrische Form, beide Äste sind gleich lang („Doppelzepp“ durch Hinzufügen eines zweiten Astes), Speisung über eine offene Speiseleitung in einem Strom- oder Spannungsbauch.

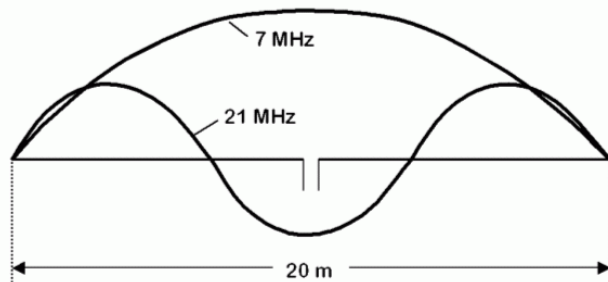
Beide Formen erfordern einen Antennentuner (s. Frage T61).



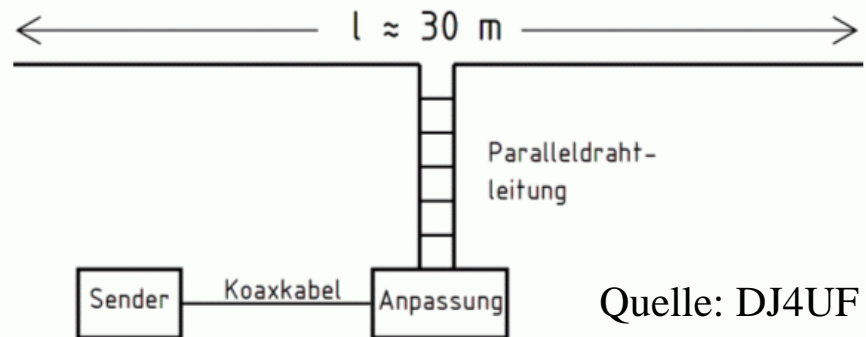
Vertiefung

Merke

Ein Antennendraht darf grundsätzlich beliebig lang sein und muss nicht in Resonanz sein. Soll die Antenne allerdings ohne Zusatzanpassung mit einem Koaxialkabel gespeist werden, kommen nur bestimmte Längen in Bezug auf die Wellenlänge in Frage (weil die Speisung in einem „Strombauch“ mit niedriger Impedanz von ca. 50 Ohm erfolgen muss). Der Halbwellendipol mit Mitteleinspeisung ist nur in solchen Fällen die optimale Lösung.



Stromverteilung auf einem für 7 MHz bemessenen $\lambda/2$ Dipol bei 7 und bei 21 MHz. Strombauch im Einspeisepunkt bei 7 MHz und bei 21 MHz!



Quelle: DJ4UF

Universaldipol mit z.B. 30m Länge (Doublet).
Beispiel einer nichtresonanten Antenne.

Merke

Am „freien“ Ende einer Antenne liegt immer ein Spannungsbauch. Der Abstand zum nächsten Strombauch beträgt $\lambda/4$, zum nächsten Spannungsbauch $\lambda/2$. Das gilt auch entlang einer Speiseleitung. Damit lässt sich schnell angeben, ob am senderseitigen Ende der Speiseleitung „Spannungsanpassung“ oder „Stromanpassung“ erforderlich ist.



Die wichtigsten Kenngrößen sollten den Datenblättern der Hersteller zu entnehmen sein. Über Ihre Messung bzw. Herkunft (für den Selbstbau) gibt die folgende Tabelle Aufschluss.

Kenngröße	Messung bzw. Herkunft	Meßgröße	Hinweis
Resonanzfrequenz	Dipmeter	MHz	s. Frage T32.
Fußpunktwiderstand	Impedanzmessbrücke	Ohm	
Gewinn und Strahlungsdiagramm	Messsender, Pegelmessgerät, Referenzantenne	dBd dBi	s. G11, s. Fragen T75 und T67. Heute findet man häufig nur Computer-Simulationen, da diese Messungen sehr aufwendig sind!
Bandbreite	Stehwellenmessgerät (SWR-Meter)	kHz	s. Fragen T18 und T33.
Maximal zulässige Leistung	Stärke und Material der Elemente und Bauteile	Watt	Datenblätter der Hersteller

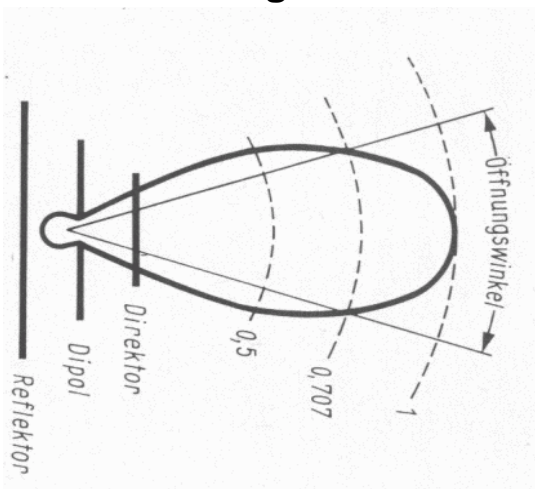


Das Strahlungsdiagramm einer Antenne zeigt die räumliche Verteilung des abgestrahlten Feldes um die Antenne. Beim terrestrischen Funk stellt die Erdoberfläche die Bezugsfläche dar. Das räumliche Diagramm kann meist ausreichend durch das „Horizontaldiagramm“ (Strahlungsverteilung parallel zur Erdoberfläche, „Azimuth“) und das „Vertikaldiagramm“ (Strahlungsverteilung senkrecht zur Erdoberfläche, „Elevation“) charakterisiert werden.

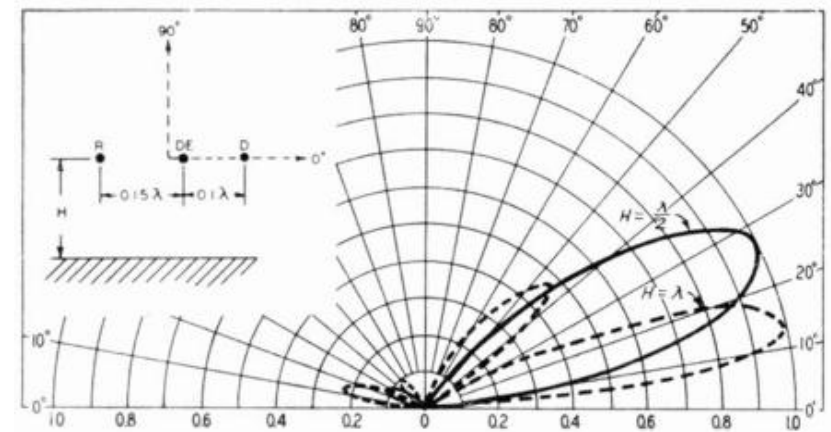
Kenngrößen

- horizontaler Öffnungswinkel (Grad)
- vertikaler Erhebungs-/Abstrahlwinkel (Grad)
- „3 dB-Winkel“ oder „Öffnungswinkel“ (horizontal, Grad)
- Hauptkeule(n), Nebenkeulen
- Vor-Rückwärtsverhältnis (dB).

Horizontaldiagramm



Vertikaldiagramm





Vertikalantennen sind senkrecht zur Erdoberfläche angeordnete Antennen, deren Strahlung vertikal polarisiert ist. Das ist im einfachsten Fall ein vertikal errichteter $\lambda/2$ -Dipol (s. T64).

Aufbau

Sehr verbreitet (aus mechanischen Gründen) sind „Viertelwellenstrahler“, die aus einem Element („Monopol“) bestehen. Die zum Dipol fehlende Hälfte muss durch ein Erdnetz oder sog. „Radials“ (s. T82) ersetzt werden („Gegengewicht“).

Eigenschaften

Im Resonanzfall zeigen Viertelwellenstrahler einen Fußpunktwiderstand von etwa 30 Ohm. Das horizontale Strahlungsdiagramm (s. Frage T67) zeigt die Charakteristik eines Rundstrahlers, die vertikale Charakteristik ist stark von den umgebenden Untergrundeigenschaften abhängig.

Verwendung

als Mobilantennen („Peitschenantennen“). Das Fahrzeug stellt das erforderliche Gegengewicht dar (s. auch G15).

Kenngrößen

Frequenz, Gewinn, vertikal. Abstrahlwinkel, Bandbreite, Bauhöhe, Gegengewicht

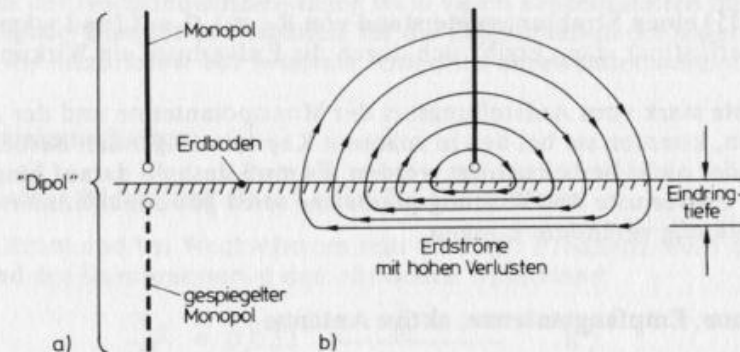
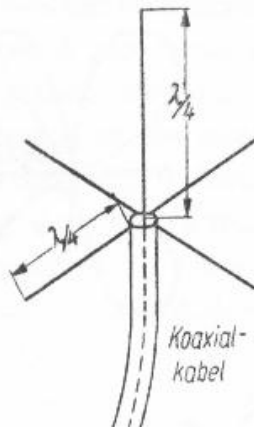


Abb. 2.30 a) Ergänzung der Monopolantenne durch Spiegelung zur Dipolantenne
b) Feldlinienverlauf unter einer kurzen Monopolantenne [14]



Zweck von Radials ist, bei Vertikalantennen eine fehlende Dipolhälfte zu ersetzen. Das ist notwendig, damit jede Antenne zum geschlossenen Stromkreis wird (s. *Fragen T85, T65*).

Als Ersatz kann man statt eines metallischen Leiters einen möglichst gut leitenden Untergrund (Salzwasser, Erdboden) oder eine Kombination Untergrund/Leiter heranziehen.

Erdnetz, Radials	Dazu werden im Boden eine Vielzahl radial verlaufender (sternförmig verlegte) Drähte eingegraben, die im Zentrum verbunden sind und an einen Pol der Speiseleitung angeschlossen werden. Der andere Pol wird an einen (in der Regel) vertikalen Viertelwellenstrahler („Monopol“, s. <i>Frage T65</i>) angeschlossen, der direkt am Erdboden auf sitzt.
Dimensionierung	Anzahl der Radials: je mehr, desto besser, bis zu 20 oder mehr, Länge ca $\lambda/4$
Vorteile	Vertikalantennen dieser Art zeichnen sich durch besonders flache Abstrahlwinkel aus, sofern sie über Salzwasser aufgebaut und auch weiträumig von Salzwasser umgeben sind. Über normalem Erdboden sind sie dem horizontalen Dipol im KW Weitverkehr unter Umständen und nur dann überlegen, wenn der Dipol in geringer Höhe ($< \lambda/2$) errichtet wurde.
Nachteile	Da der Stromkreis über den schlecht leitenden Untergrund geschlossen wird, kommt es zu Widerstandsverlusten, die durch eine hohe Zahl von Radials nur gemindert werden können. Aufwendiges Erdnetz, Platzbedarf.



Unter Richtantennen versteht man Antennen, die eine oder mehrere Vorzugsrichtungen (horizontal oder vertikal) im Strahlungsdiagramm (s. *Frage T67*) aufweisen.

Anwendung

- Zur gezielten Bündelung der abgestrahlten Leistung in eine gewünschte Richtung. Die Bündelung führt zu einem Gewinn in dieser Richtung.
- Im Empfang zur Anhebung der Signale aus einer erwünschten Richtung und zur gleichzeitigen Schwächung unerwünschter Signale/Störungen aus anderen Richtungen.
- Richtantennen können fix oder drehbar aufgebaut werden. Im Amateurfunkdienst dominieren drehbare Richtantennen.

Bauformen und Kenngrößen: s. *Vertiefung*

Vertiefung

Bauformen

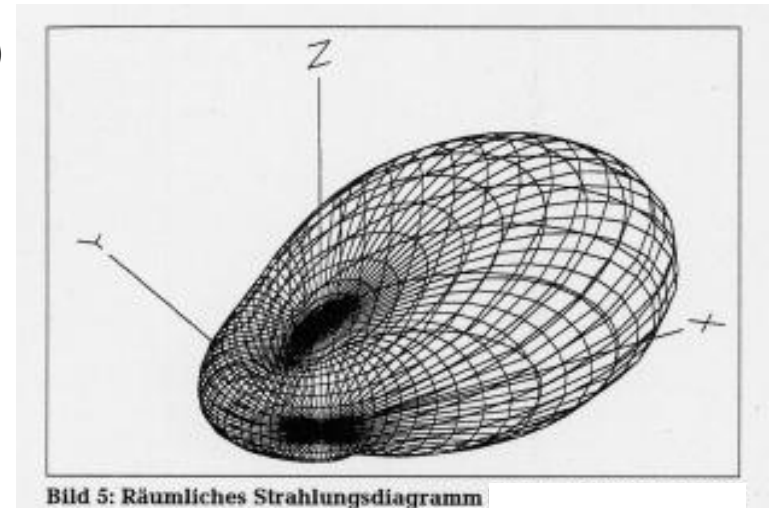
- Yagiantenne (s. auch Frage 68, s. Abbildung auf nächster Seite)
- Quad Antenne (s. Abbildung auf nächster Seite)
- Dipolzeilen, Dipolflächen (Arrays, Gruppenantennen, s. auch Frage T66)
- Logarithmisch periodische (LP) Antennen
- Langdrahtantennen (s. auch Frage T81)
- V-Antennen, Rhombic Antennen

Kenngroßen

- Strahlungsdiagramm (s. Abbildung und Frage T67)
- Frequenz(bereich)
- Gewinn in dBd oder dBi (s. T75)
- (3 dB) Öffnungswinkel
- Rückdämpfung
- Seitendämpfung
- Nebenkeulen
- vertikaler Abstrahlwinkel

Abstrahlwinkel

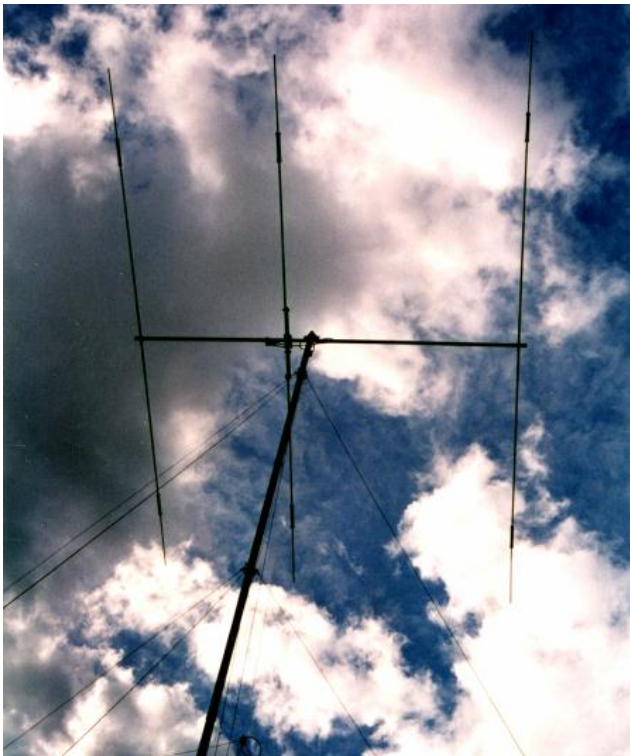
Generell gilt: Je höher, umso flacher. Höhe ist durch nichts zu ersetzen.





Vertiefung

Mehrband 3-Element Yagi
mit Traps



Quad-Antenne
Ganzwellenschleife mit Reflektor



Fotos: OE6MY



Die Yagi Antenne ist eine weitverbreitete Form der Richtantenne im KW und UKW Bereich.

Aufbau

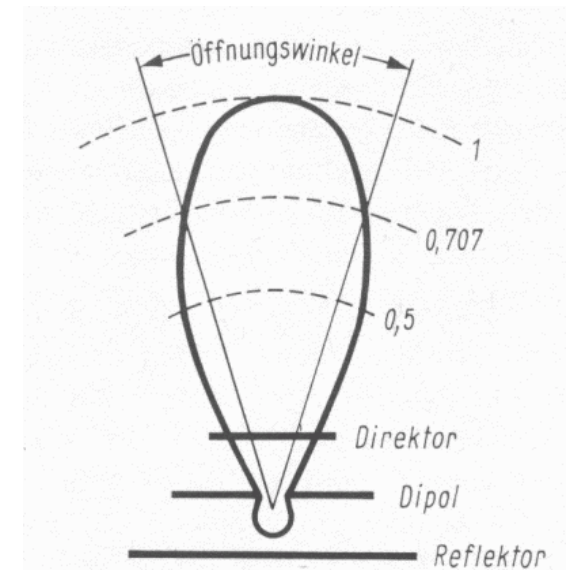
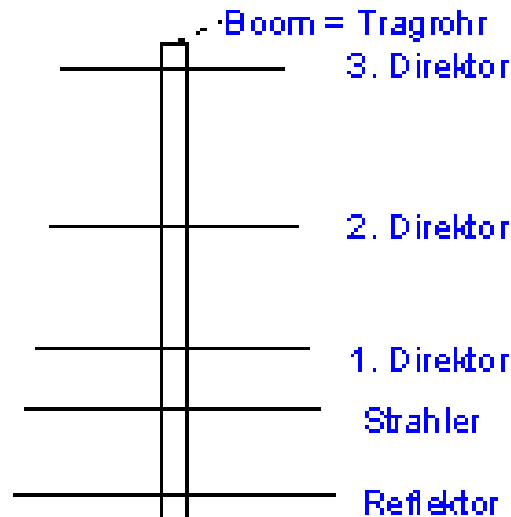
Ein resonanter Halbwellendipol („Strahler“) wird durch zwei oder mehrere Elemente ähnlicher Länge ergänzt (s. *Abbildungen*). Das geringfügig längere Element wird als „Reflektor“ bezeichnet, das kürzere als „Direktor“. Neben einem Reflektor kann man keinen, einen oder mehrere Direktoren verwenden. Es gibt auch Bauformen ohne Reflektor, mit einem Direktor.

Eigenschaften

Die Yagi Antenne zeigt eine einseitige Richtwirkung. Die Bündelung erfolgt in Richtung der kürzeren Elemente. Je mehr Direktoren, desto größer die Richtwirkung, sie ist jedoch nicht unbegrenzt steigerbar.

Kenngrößen

- Frequenz(bereich)
- (Fußpunkt-) Impedanz
- Strahlungsdiagramm (s. *Frage T67*)
- Gewinn (in dBd oder dBi, s. *Frage T75*)
- Vor/Rückverhältnis (in dB)





Gekoppelte Antennen (auch „Gruppenantennen“) gehören zu den Richtantennen, die im Amateurfunk vor allem im UKW Bereich, seltener im KW Bereich anzutreffen sind.

Aufbau

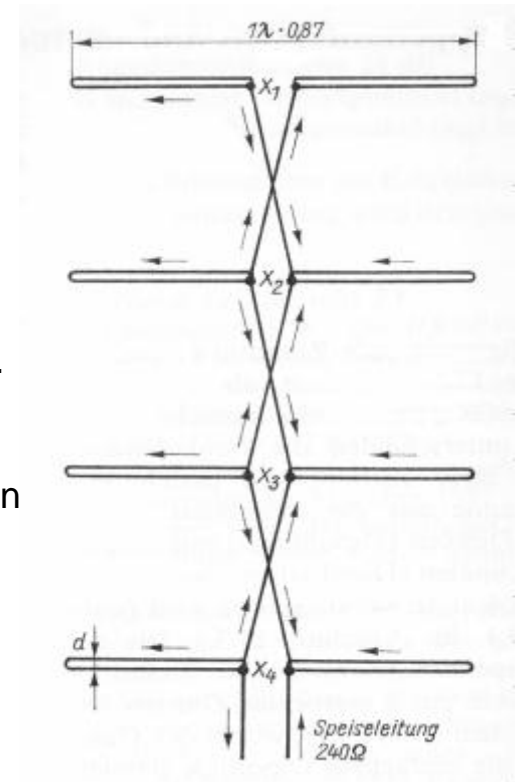
Mehrere Ganzwellendipole übereinander werden über Koppelleitungen so verbunden, dass alle mit gleicher Phase (im jeweils gleichen Schwingungszustand) abstrahlen. Dadurch entsteht die sog. „Gruppenantenne“ (s. Abb.).

Eigenschaften

Leistungsfähige Antenne mit ausgeprägter Richtwirkung und hohem Gewinn. Der Gewinn verdoppelt sich (+3dB) mit jeder Verdoppelung der Dipolanzahl. Ein Reflektor hinter dieser Gruppenantenne erhöht den Gewinn weiter. Abmessungen und mechanische Anforderungen machen die Konstruktion sehr anspruchsvoll, im KW Bereich nur für Rundfunksender realistisch.

Kenngrößen

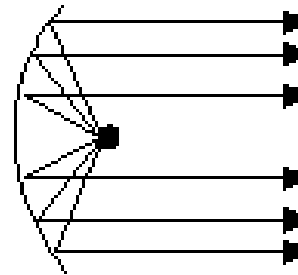
Neben den mechanischen Kenngrößen (Abmessungen, Windlast etc.) sind die Kenngrößen die gleichen, die für alle Richtantennen (s. Frage T76) anzugeben sind.





Die Parabolantenne benützt als Reflektor einen Hohlspiegel. Das Prinzip ist das eines Scheinwerfers. Die Verwendung beschränkt sich auf den UKW- und UHF Bereich.

Aufbau Hinter einem Strahler ist ein Parabolspiegel aus Metall oder Metallnetz (feinmaschig gegenüber der Wellenlänge) angebracht. Der Durchmesser des Spiegels muß gegenüber der Wellenlänge groß sein. Der Strahler wird im Brennpunkt des Spiegels angebracht. Oft ist der Strahler selbst eine Richtantenne, die auf den Spiegel zeigt und ihn „ausleuchtet“.



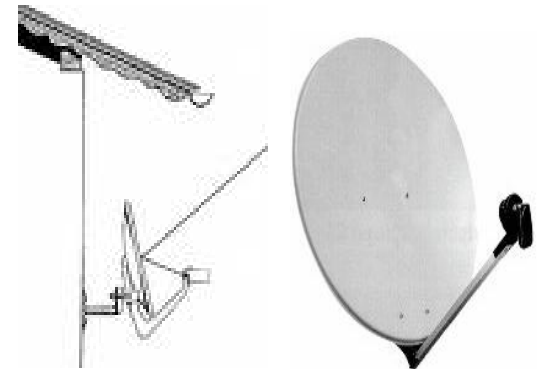
Eigenschaften Die Parabolantenne zeigt eine sehr ausgeprägte Richtwirkung. Die Strahlungskeule ist oft nur ein Winkelgrad oder sogar viel weniger breit, daher muss die Ausrichtung auf die Gegenstelle sehr präzise sein, evtl. mit automatischer Nachführung.

Kenngrößen

Die Kenngrößen sind die gleichen, die für alle Richtantennen (s. Frage T76) anzugeben sind. Gewinnwerte liegen über 30dBi.

Beispiel SAT Antenne

Bei SAT-Antennen wird vorzugsweise eine asymmetrische Anordnung verwendet (Offset)!



Breitbandantennen sind dadurch gekennzeichnet, dass sich innerhalb eines definierten Frequenzbereiches die Antenneneigenschaften nicht wesentlich ändern.

Aufbau

Das breitbandige Verhalten wird realisiert durch:

- dicke Antennenelemente in Rohr- oder Reusenform (mechanische Grenzen!),
- „Bedämpfung“ der Antennen durch Widerstände
- ausgeklügelte Kopplung unterschiedlich langer Elemente, z.B. logarithmisch-periodische Richtantennen“ (LP, Log Periodic).

Eigenschaften

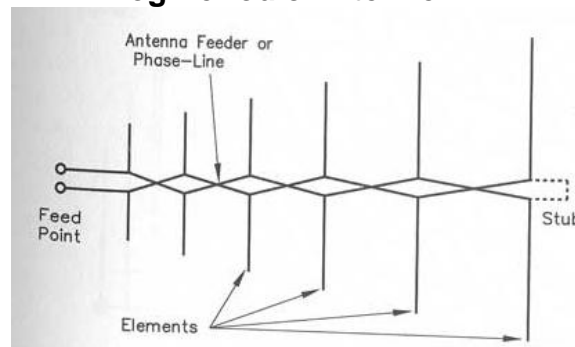
Im Vordergrund steht der Fußpunktwiderstand (Impedanz im Speisepunkt).

- Je nach Bauformen und Aufwand sind Bandbreiten von 1:2 bis über 1:10 bei gleichbleibendem Fußpunktwiderstand erzielbar.
- Verluste bis 50 % (Gewinneinbußen) zu Gunsten der Breitbandigkeit.

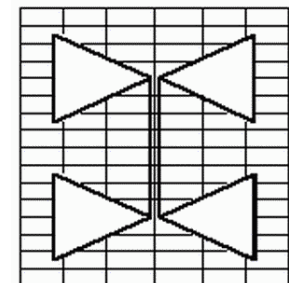
Kenngrößen

Die Kenngrößen sind die gleichen, die für alle Antennen (s. Frage T76, T77) anzugeben sind.

Log Periodic Antenne



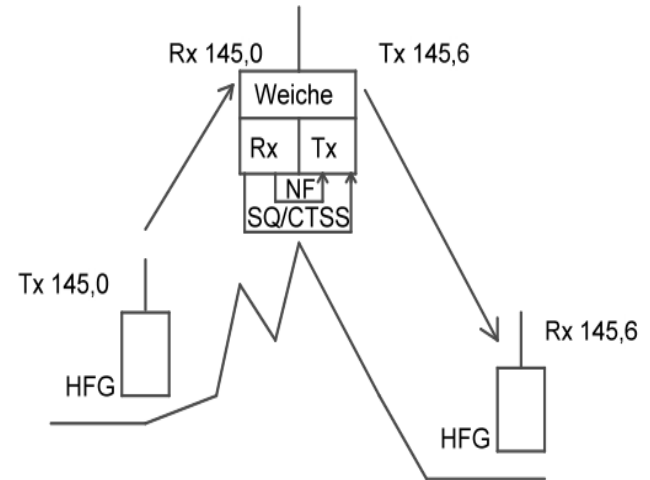
Breitbandantenne
vor Reflektorwand





Relaisfunkstelle

Sender und Empfänger arbeiten auf zwei unterschiedlichen Frequenzen, meist an einer gemeinsamen Antenne an einem hochgelegenen Standort. Das Empfangssignal moduliert den Sender. So kann auch der UKW-Amateur große Reichweiten erzielen. Senderauftastung durch Squelch oder einen tiefen Pilotton (CTCSS, Continuous Tone Coded Subaudio Squelch oder Continuous Tone Coded Squelch System).
s. *Abbildung rechts* (HFG = Handfunkgerät)



Bakenfunkstelle

Sender an einem hochgelegenen Standort mit Rundstrahlantennen, automatischem Rufzeichengeber in CW und festgelegten Sendeintervallen. Dient zur Beobachtung der Ausbreitungsverhältnisse.

Weltweites DX Bakennetz (20, 17, 15, 12, 10m):

<http://www.ncdxf.org/beacons.html>

s. *Abbildung rechts*: Antenne der Bake VE8AT des DX-Bakennetzes.





Elektromagnetische Verträglichkeit

- Strahlungsfeld einer Antenne, Gefahren (T73)
- Definieren Sie den Begriff Sendeleistung (T98)
- Definieren Sie den Begriff Spitzenleistung (T99)
- Was bedeutet der Begriff „Strahlungsleistung“? (G16)
- Bestimmen Sie die effektive Strahlungsleistung bei folgenden Gegebenheiten: Sendeleistung: 200 Watt; Dämpfung der Antennenleitung: 6 dB/100 m; Kabellänge: 50 m; Gewinn 10 dB (Werte sind variabel) (T79)
- Bestimmen Sie die effektive Strahlungsleistung bei folgenden Gegebenheiten: Sendeleistung: 100 Watt; Dämpfung der Antennenleitung: 12 dB/100 m; Kabellänge: 25 m; Rundstrahlantenne mit einem Gesamtwirkungsgrad von 50% (Werte sind variabel) (T80)
- Erklären Sie den Begriff EMVU und deren Bedeutung im Amateurfunk (T88)
- Erklären Sie den Begriff EMV und deren Bedeutung im Amateurfunk (T87)
- Funkentstörmaßnahmen bei Beeinflussung durch hochfrequente Ströme und Felder (T92)
- Funkentstörmaßnahmen im Bereich Stromversorgung der Amateurfunkstelle (T91)
- Definieren Sie den Begriff Interferenz in elektronischen Anlagen, beschreiben Sie Ursachen und Gegenmaßnahmen (T101)



Gefahrenpotential durch elektromagnetische Felder besteht insbesondere im Strahlungsfeld einer Sendeantenne.

Funkamateure sind zur Beachtung der einschlägigen Vorschriften der Europäischen Union und der darauf Bezugnehmenden nationalen Normen und Rechtsvorschriften insbesondere der OVE-Richtlinie R23-1 (vormals ÖVE/ÖNORM E 8850) verpflichtet, welche die Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder (EMF) festlegen.

Kenngroße	Elektrische Feldstärke E [V/m], ist abhängig von Strahlungsleistung und Abstand
Exposition	wird durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren bestimmt: <ul style="list-style-type: none">- Feldstärke- durchschnittliche Einschaltdauer des Senders- durchschnittliche Verweildauer im Strahlungsfeld
Sicherheitsabstand	kann an Hand der Grenzwerte und der Strahlungsleistung berechnet werden, Richtwert s. <i>Frage T88</i> (EMVU)

Technische Grundlagen

Zur Einschätzung des Gefahrenpotentials und der Wirksamkeit geeigneter Maßnahmen unter Berücksichtigung von Grenzwerten bedarf es einiger technischer Grundlagen. Sie werden in den folgenden Fragen ausführlich und an Hand von Beispielen behandelt:

- Begriff Sendeleistung (s. *Frage T98*)
- Begriff Spitzenleistung (s. *Frage T99*)
- Begriff Strahlungsleistung (enthält den Antennengewinn! *Siehe G16*)
- Beispiele (s. *Fragen T79, T80, siehe auch Vertiefung zu Frage T88*)



Gemäß Amateurfunkverordnung – AFV §1

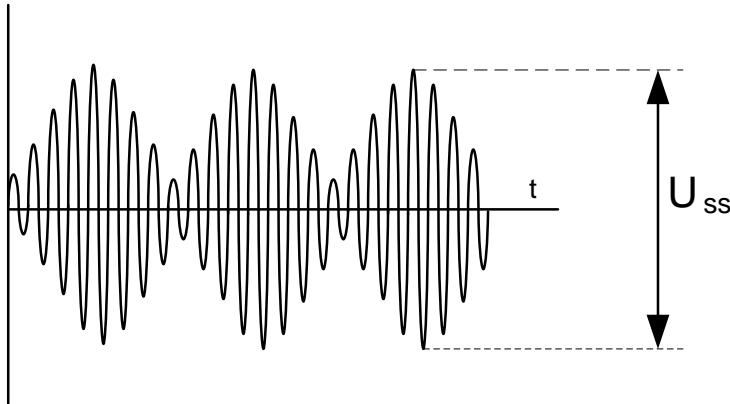
Sendeleistung ist die der Antennenspeiseleitung zugeführte Leistung.

Messgröße ist Watt (W).



Die Spitzenleistung ist die Effektivleistung, die ein Sender während einer Periode der Hochfrequenzschwingung während der höchsten Spitze der Modulationshüllkurve unverzerrt der Antennenspeiseleitung zuführt.

Diese Spitzenleistung ist identisch mit dem Begriff PEP (peak envelope power) .



Aus U_{ss} kann bei Kenntnis des Lastwiderstandes die Spitzenleistung berechnet werden (s. *Vertiefung*).

Vertiefung

Beispiel

Bei einem SSB-Sender wurde bei Zweitonaussteuerung ein Spitze-Spitze-Wert der Hüllkurve (s. *Abb. auf der Vorseite*) von $U_{ss} = 283 \text{ V}$ an einem $50\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand gemessen. Wie groß ist die PEP-Leistung?

Es wird zunächst der Effektivwert der Spannung am höchsten Punkt der Hüllkurve berechnet.

Der Spitzenwert \hat{u} (Scheitelwert) ist die Hälfte von 283 V (s. *Frage T9*).

$$\hat{u} = U_{\max} = 283 / 2 = 141,5 \text{ V}$$

Der Effektivwert der Spannung ist $U = 0,707 \times \hat{u} = 0,707 \times 141,5 \text{ V} = 100 \text{ V}$.

Daraus ergibt sich an $50\text{-}\Omega$ die Leistung $PEP = U^2 / R = 100 \times 100 / 50 = 200 \text{ Watt}$ (s. *Vertiefung zu T1*).

Dies entspricht Lizenzklasse B.

Formel

$$PEP = (0,707 \times U_{ss}/2)^2 / R_0 \quad (\text{siehe G5, T1; } R_0 \text{ Ausgangsimpedanz (ohmsch)})$$



ERP

Die Effektive Strahlungsleistung (ERP, auch effektiv abgestrahlte Leistung, engl. effective radiated power, in Watt) ergibt sich aus der in eine Sendeantenne eingespeisten Leistung, vermehrt um den Antennengewinn (gegenüber einem Halbwellendipol).

- Beachte**
- ERP bezieht sich per Definition auf einen Halbwellendipol, also ist der Antennengewinn in dBd zu berücksichtigen (s. *Frage T75*).
 - Wenn keine Richtung angegeben wird, gilt der Wert für die Hauptstrahlrichtung der Sendeantenne, in der gleichzeitig ihr Antennengewinn am größten ist. Insbesondere bei UKW Richtantennen mit hohem Gewinn kann es zu Strahlungsleistungen kommen, die die Sendeleistung (s. *Frage T98*) weit übersteigen!
 - Zur Ermittlung der in die Sendeantenne eingespeisten Leistung muss die Sendeleistung (s. *Frage T98*) um die Kabelverluste vermindert werden.

EIRP

Bezieht man den Antennengewinn auf den Isotropstrahler (s. *Frage T75*), so spricht man von EIRP (in Watt). Es gilt: $EIRP = ERP \times 1,64$



Vertiefung

Beispiel

Sendeleistung: 10 W

Kabelverlust: -3db, das entspricht einem Leistungsverhältnis von 0,5 (*siehe G11*)

Antennengewinn: 6 dBd, das entspricht einem Leistungsverhältnis von 4,0 (*siehe G11*)

Da der Antennengewinn in dBd angegeben ist, berechnen wir ERP.

$$\text{ERP} = 10 \text{ W} - 3 + 6 \text{ dB} = 10 \times 0,5 \times 4,0 = 20 \text{ W}$$

oder $10 \text{ W} + 3 \text{ dB}$ entspricht $10 \times 2,0 = 20 \text{ W}$

Die Strahlungsleistung beträgt also $\text{ERP} = 20 \text{ Watt}$.

EIRP kann nun ebenfalls berechnet werden:

$$\text{EIRP} = 20 \times 1,64 = 32,8 \text{ Watt}.$$



Sendeleistung: 200 Watt

Dämpfung der Antennenleitung: - 6 dB/100m

Kabellänge: 50 m

Antennengewinn: 10 dBd

Da der Gewinn in dBd angegeben ist, berechnen wir ERP (*siehe G16*).

Die Kabeldämpfung nach 50m ist $-6 * (50 / 100) = -3 \text{ dB}$,

das ist ein Leistungsfaktor von 0,5 (*siehe G11*)

also wird an der Antenne die halbe Leistung = $200 / 2 = 100 \text{ Watt}$ ankommen.

Der Antennengewinn ist 10 dB, das ist ein Leistungsfaktor von 10 (*siehe G11*)

Damit ergibt eine effektive Strahlungsleistung von ERP = 100 x 10 = 1000 Watt.

Für EIRP ergibt sich $\text{EIRP} = 1640 \text{ Watt}$.



Sendeleistung: 100 Watt

Dämpfung der Antennenleitung: - 12 dB/100m

Kabellänge: 25 m

Antennenwirkungsgrad: 50%

Da nicht angegeben wurde, ob der Wirkungsgrad sich auf einen isotropen Strahler oder einen Dipol bezieht, nehmen wir an, er beziehe sich auf einen isotropen Strahler. Dann ist also EIRP (*siehe G16*) zu berechnen. Gegenüber einem Dipol wird dieser Wert zu hoch ausfallen, was wir aus Sicherheitsgründen akzeptieren.

Die Kabeldämpfung nach 25m ist $-12 * (25 / 100) = -3 \text{ dB}$,
das ist ein Leistungsfaktor von 0,5 (*siehe G11*),
also wird an der Antenne die halbe Leistung $= 100 / 2 = 50 \text{ Watt}$ ankommen.

Der Antennenwirkungsgrad ist 50%, das ist ein Leistungsfaktor von 0,5.

Damit ergibt eine effektive Strahlungsleistung von $\text{EIRP} = 50 \times 0,5 = 25 \text{ Watt}$.

Für ERP ergäbe sich $\text{ERP} = 25 / 1,64 = 15,2 \text{ Watt}$.



EMVU steht für „Elektromagnetische Umweltverträglichkeit“

Darunter versteht man das Verhalten biologischen Gewebes gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, wobei die mögliche Gefährdung des Menschen im Vordergrund steht.

Grundsätzlich erwärmt sich biologisches Gewebe durch Absorption der Feldenergie (kontrollierte medizinische Anwendung: Diathermiegeräte in eigens zugewiesenen Frequenzbereichen, kontrollierte Anwendung im Haushalt: Mikrowellenherde), wobei es in Abhängigkeit von der Frequenz von Wechselfeldern sogar zu Resonanzeffekten kommen kann (bildgebende Magnetresonanzgeräte in der med. Diagnostik). Die Erwärmung von Gewebe durch hohe Feldstärken im Nahfeld von Mobiltelefonen ist nachweisbar.

Bedeutung im Amateurfunk

- Exposition im Strahlungsfeld von Sendeantennen (*siehe auch Frage T73*).

Kritische Kenngrößen

- Abstand zur Strahlungsquelle (sinkt mit λ , Richtwert 2,5 m bei $\lambda = 10$ m und 100W)
- Strahlungsleistung (s. G16)
- Frequenz

Maßnahmen zur Minderung der Exposition

- Vergrößerung des Abstandes zur Antenne (Anordnung der Antennen)
- Absenkung oder Vermeidung der Emission (z.B. Leistungsreduktion; Abschalten)
- Beschränkung der Aufenthalts-/ Expositionsdauer



Unter der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) versteht man das Verhalten eines elektrischen/elektronischen Gerätes gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Bedeutung im Amateurfunk

- Beeinflussung anderer Kommunikationsanlagen, z.B.
 - Telefonanlagen (Tonstörungen, Fehlfunktionen)
 - Signalanlagen (Fehlfunktionen der Steuerungs- und Überwachungselektronik)
 - Betriebsfunkanlagen (Signalstörungen)
 - Behördenfunkanlagen (Signalstörungen)
- Beeinflussung von elektrischen und elektronischen Geräten und Anlagen, z.B.
 - Türmelder und Klingelanlagen (Fehlfunktionen)
 - Audio Verstärker (Tonstörungen)
 - Lautsprecheranlagen (Tonstörungen)
 - Fernsehgeräte (Ton- und/oder Bildstörungen)
 - Rundfunkgeräte (Tonstörungen)
 - KFZ-Elektronik (Fehlfunktionen der Steuerungs- und Überwachungselektronik)

Eine Beeinflussung wird meist als störend bewertet, da sie die bestimmungsgemäße Funktion der beeinflussten Anlagen bzw. Geräte beeinträchtigt.



Entstörmaßnahmen bei Beeinflussung durch hochfrequente Ströme und Felder müssen situationsgerecht erfolgen. Nur dann sind sie erfolgversprechend. Voraussetzung dafür ist eine differenzierte Kenntnis der Ursachen und Wege der Beeinflussung.

Ursachen und Wege der Beeinflussung

Einstrahlung bzw. Einströmung

Selbst bei nebenwellenfreier Aussendung (*siehe Frage T94*) können störende Beeinflussungen auftreten, die nur am beeinflussten Gerät zu beheben sind. Genauer s. *nächste Seiten*.

Stromnetz

Wenn Netzteile und andere mit dem Stromnetz verbundene Komponenten nicht fachgerecht gegen das Austreten oder Eindringen von Hochfrequenz geschützt sind, kann Hochfrequenz über das Stromnetz in benachbarten Geräten Störungen aller Art verursachen. Abhilfe schafft man durch korrekte Verdrosselung und Abblockung der Netzleitungen (Line-Filter), s. *auch Frage T91*.

Antennen und –speiseleitungen

Wenn im erzeugten Sendesignal auch unerwünschte Oberwellen oder Nebenwellen enthalten sind, so gelangen sie auch zur Abstrahlung und können benachbarte Funkdienste oder Rundfunkempfänger empfindlich stören. Diese Störungen sind nur durch korrekten Aufbau des Senders und / oder Anwendung eines Tiefpassfilters in den Speiseleitungen abzustellen.

Einstrahlung

Die Störsignale finden ihren Weg direkt in die elektronischen Komponenten des gestörten Gerätes



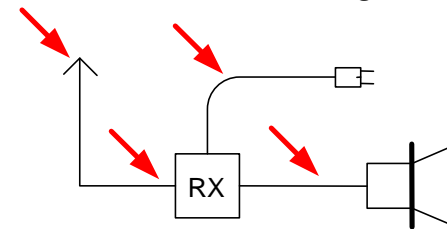
Entstörmaßnahmen

- Einbau des beeinflussten Gerätes in ein Abschirmgehäuse.

Einströmung

Die Störsignale finden ihren Weg in das gestörte Gerät über dessen Verkabelung:

- Antennenkabel
- Lautsprecherkabel
- Verbindungskabel zwischen Geräten
- Stromversorgungskabel



Entstörmaßnahmen

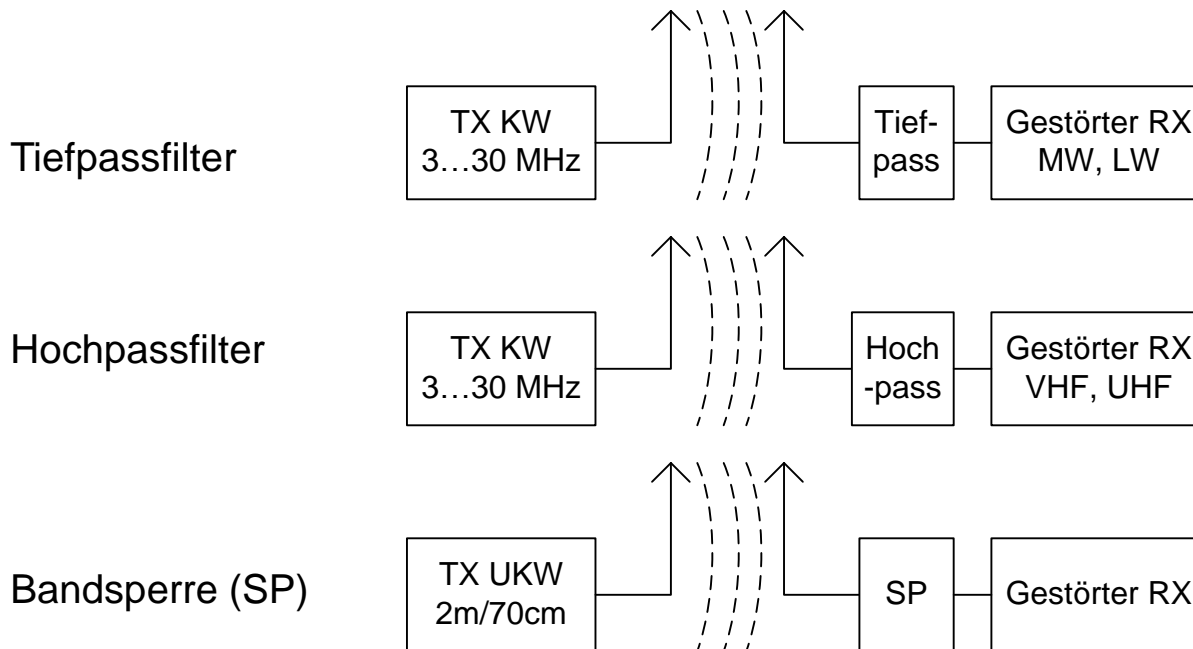
- Entkopplung der Antennen,
- Einbau von Hochpass- oder Tiefpass-Filtern,
- Verhinderung von HF-Einströmung in Lautsprecher- und NF-Leitungen durch Ferritdrosseln

Beispiele *siehe nächste Seiten!*



Einströmung bei nebenwellenfreier (s. Frage T94) Ausstrahlung

Beseitigung von störenden Beeinflussungen bei Einströmung über die Antennenzuleitung.

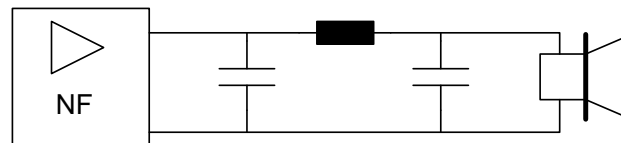




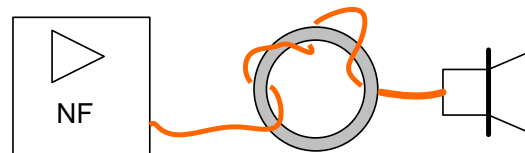
Einströmung bei nebenwellenfreier (s. Frage T94) Ausstrahlung

Beseitigung von störenden Beeinflussungen bei Einströmung über Lautsprecherleitungen.

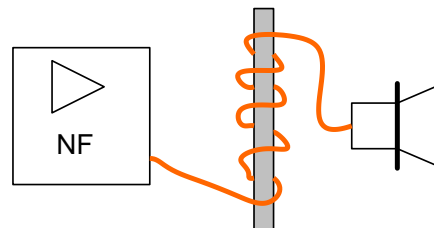
Tiefpassfilter



Ringkerndrossel

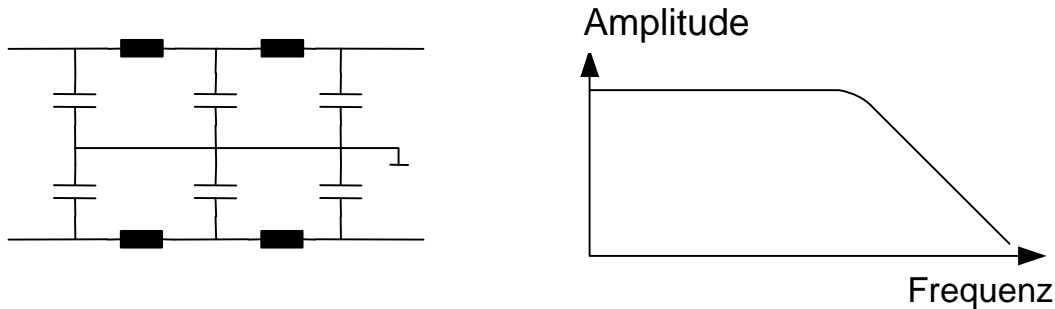


Ferritstabdrossel





Durch korrekte Verdrosselung und Abblockung der Netzzuleitungen kann das Abfließen von HF in das Stromnetz verhindert werden.



Schaltung und Durchlassbereich eines Breitbandnetzfilters (Tiefpassfilter).

Typische Werte

- Induktivitäten im Bereich 10 - 50 mH
- Kapazitäten im Bereich 10 - 100 nF



Der Begriff Interferenz bedeutet Überlagerung bzw. Störung (engl. interference).

Ursachen der Interferenz in elektronischen Anlagen (nicht Kommunikationsanlagen) sind im Zusammenhang mit dem Thema EMV zu diskutieren: *siehe Frage T87*.

Gegenmaßnahmen (Funkentstörmaßnahmen) bei Beeinflussung durch hochfrequente Ströme und Felder: *siehe Fragen T91, T92*.



Schädliche Störungen

und störende Beeinflussungen im Funkverkehr

- Erklären Sie den Begriff schädliche Störungen (T96)
- Erklären Sie die Begriffe: Unerwünschte Aussendungen, Ausserbandaussendungen, Nebenaussendungen (spurious emissions) (T94)
- Definieren Sie den Begriff belegte Bandbreite (T100)
- Was sind Tastclicks, wie werden sie vermieden? (T93)
- Erklären Sie den Begriff: Splatter – Ursachen und Auswirkungen (T95)
- Erklären Sie die Begriffe Blocking, Intermodulation (T102)



Gemäß Amateurfunkverordnung – AFV §1

Eine schädliche Störung ist eine Störung, welche die Abwicklung des Funkverkehrs bei einem anderen Funkdienst, Navigationsfunkdienst, Sicherheitsfunkdienst gefährdet oder den Verkehr bei einem Funkdienst, der in Übereinstimmung mit den für den Funkverkehr geltenden Vorschriften wahrgenommen wird, ernstlich beeinträchtigt, ihn behindert oder wiederholt unterbricht.

Beachte

Amateurfunk ist ein Funkdienst, der in Übereinstimmung mit den für den Funkverkehr geltenden Vorschriften wahrgenommen wird. Somit kann auch Amateurfunk von schädlichen Störungen betroffen sein.



Unerwünschte Aussendungen

Gemäß Amateurfunkverordnung – AFV §1:

Die der Antennenspeiseleitung am Ausgang des Sende-Empfängers (bei der Verwendung von Leistungsverstärkern am Ausgang von diesem) zugeführten Störsignale auf jeder anderen Frequenz als der Trägerfrequenz samt den zugehörigen Seitenbändern, die sich aus dem Modulationsprozess ergeben.

Ausserbandaussendungen

sind alle unerwünschten Aussendungen die nicht in die für den Funkverkehr zugelassenen Frequenzbänder fallen. Sie entstehen z.B. durch Oberwellen, die nicht vorschriftsmäßig unterdrückt sind.

Nebenaussendungen (spurious emissions)

liegen vor, wenn z.B.

- das Sendesignal durch einen Mischvorgang gebildet wird und das unerwünschte Mischprodukt nicht korrekt ausgefiltert wird
- durch Selbsterregung einer der Verstärkerstufen im Sender.



Gemäß Amateurfunkverordnung – AFV §1:

„Belegte Bandbreite“ (bezeichnet) die Frequenzbandbreite, bei der die unterhalb ihrer unteren und oberhalb ihrer oberen Frequenzgrenzen ausgesendeten mittleren Leistungen 0,5% der gesamten mittleren Leistung einer gegebenen Aussendung betragen.

Kenngroße kHz

Beachte 0,5% der gesamten mittleren Leistung entspricht
1/200 der gesamten mittleren Leistung,
also 1/100 (-20dB) und davon die Hälfte (-3dB), *siehe auch G11*,
somit -23 dB, bezogen auf die gesamte mittlere Leistung.

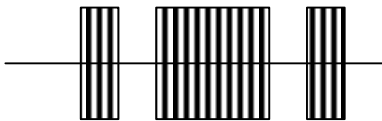
Beachte Die oberen und unteren Frequenzgrenzen ergeben sich aus dem
Modulationsprozess (Seitenbänder, *siehe auch Frage T51*).



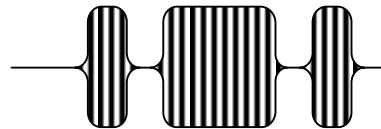
Tastklicks ist die Bezeichnung für Störsignale auf Grund übermäßig belegter Bandbreiten von Telegrafie-Sendern.

Ursachen	Wenn die Sendertastung eines Morsesignals ganz hart, also rechteckförmig erfolgt, entsteht eine Vergrößerung der belegten Bandbreite.
Auswirkungen	Störungen des Funkverkehrs auf Frequenzen, die der Verkehrsfrequenz benachbart sind.
Vermeidung	Durch RC-Glieder kann die Tastung weicher gestaltet werden, damit entsteht eine kleinere belegte Bandbreite.

Sendertastung zu hart



richtig (Verrundung der Flanken)





Splatter ist die Bezeichnung für Störsignale auf Grund übermäßig belegter Bandbreiten von AM- oder SSB-Sendern.

Ursachen

Übermodulation bei AM- und SSB-Sendern, in der Regel durch Fehlbedienung, seltener durch Fehlkonstruktion oder technische Defekte. Bei Sendern bzw. Leistungsverstärkern wird der lineare Arbeitsbereich (*siehe G8*) überschritten.

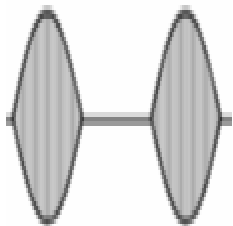
Auswirkungen

Störungen des Funkverkehrs auf Frequenzen, die der Verkehrsfrequenz benachbart sind. Splatter gehen in der Regel auch mit Intermodulation (*s. Frage T42*) einher. Das hat schlechte Sprachverständlichkeit zur Folge.

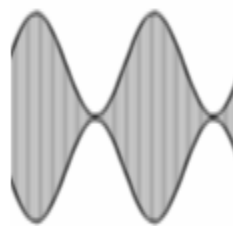
Vermeidung

Korrekte Bedienung, Reparatur.

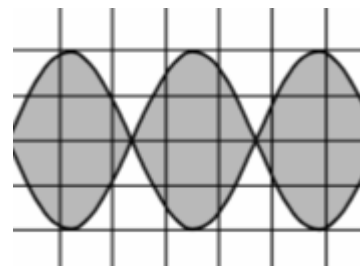
AM übermoduliert



AM 100% moduliert



sauberes SSB 2Ton-Signal





Blocking

ist ein Vorgang, bei dem ein abseits von der Empfangsfrequenz liegendes extrem starkes Fremdsignal eine Empfänger-Vorstufe derart übersteuert, dass ein Empfang schwächerer Signale unmöglich ist (Zustopfen).

Intermodulation

wird grundsätzlich durch nichtlineare Verzerrungen hervorgerufen, *siehe Frage T42*.

In Empfängern

Die unbeabsichtigte Mischung in nichtlinear betriebenen Empfängerstufen (mit zu starken Signalen) erzeugt unerwünschte Mischprodukte, die Signale vortäuschen, die gar nicht existieren.

In Sendern

Die unbeabsichtigte Mischung in nichtlinear betriebenen Verstärkerstufen kann unerwünschte Nebenaussendungen erzeugen, *siehe auch Fragen 94, 95*.



Gefahrenquellen

- Sicherheitsabstände bei Antennen (T84)
- Welche Gefahren bestehen für Personen durch den elektrischen Strom? (T103)
- Was ist beim Betrieb von Hochspannung führenden Geräten zu beachten? (T104)
- Definieren Sie die Gefahren durch Gewitter für die Funkstation und das Bedienpersonal, beschreiben Sie Vorbeugemaßnahmen (T105)
- Blitzschutz bei Antennenanlagen (T83)



Sicherheitsabstände im Strahlungsfeld von Antennen: *Siehe Fragen T73, T88 (EMVU).*

Im Folgenden geht es um die grundlegende Sicherheit von Antennenanlagen, auch wenn keine elektromagnetische Felder abgestrahlt werden, also auch wenn die Antennenanlage nur zu Empfangszwecken benutzt wird (!).

Die gesamte Anlage muss so ausgeführt sein, dass elektrische und mechanische Sicherheit gewährleistet ist. Der Errichter ist für alle Schäden haftbar.

Mehrere Antennenanlagen auf einem Dach dürfen sich gegenseitig nicht behindern. Auf ausreichende Abstände zu stromführenden Leitungen ist zu achten.

Blitzschutz: *siehe Frage T83.*



Ein Stromschlag kann Verbrennungen, Herzflimmern und Herzstillstand verursachen.

Der menschliche Körper besitzt eine je nach Hautfeuchtigkeit mehr oder weniger gute Leitfähigkeit. International werden Spannungen über 50 V (Effektivwert) als gefährlich eingestuft, da bereits bei diesen Spannungen gefährliche Ströme durch den Körper fließen können. Deshalb muss unbedingt verhindert werden, dass Personen in einen elektrischen Stromkreis geraten können.



Alle Hochspannung führenden Geräteteile müssen in einen allseitig geschlossenen Hochspannungskäfig mit Deckelschalter eingebaut werden.

Vor Entfernen eines Deckels unbedingt Netzstecker ziehen und einige Minuten abwarten. So können sich auch die Hochspannungs-Kondensatoren entladen, die mit Entladewiderständen überbrückt sein müssen.

Niemals an Hochspannungsgeräten im eingeschalteten Zustand arbeiten!

Linke Hand in die Hosentasche und isolierte Sitz- oder Standfläche (Vermeidung eines Stromflusses von Hand zu Hand über das Herz).



Durch die meist hoch angebrachte Antennenanlage ist die Gefahr eines Primärblitzschlages gegeben. Das bedeutet, der Blitz schlägt direkt in eine Antenne ein und kann die angeschlossene Funkstation beschädigen.

Ein Sekundärblitzschlag ist dann der Fall, wenn der primäre Einschlag z.B. in die 230 Volt Leitung erfolgt und durch induktive Spannungsspitzen angeschlossene Geräte beschädigt werden.

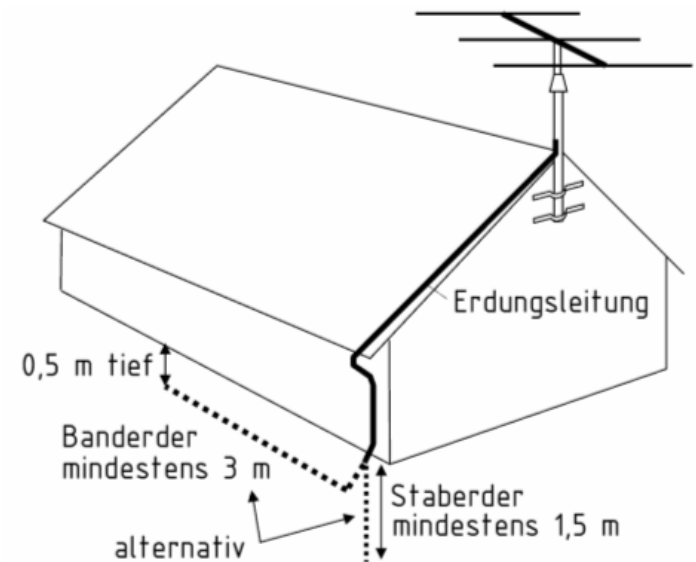
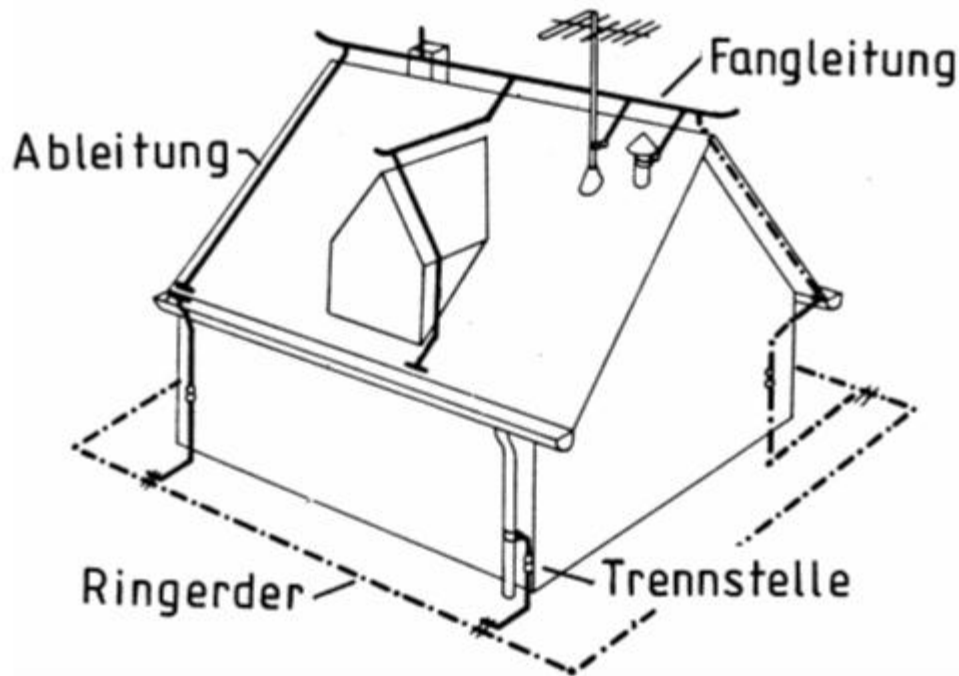
Personen sind bei Blitzschlag gefährdet, da es zu hohen Strömen (direkt oder durch Induktion) im Körper kommen kann, die zu Verbrennungen, Herzstillstand und Tod führen können.

Vorbeugemaßnahmen

- Funkbetrieb einstellen
- Funkgeräte vom Netz trennen
- Antennenkabel vom Gerät trennen und erden
- bei Herannahen eines Gewitters alle Antennen erden
- Korrekter Blitzschutz, *siehe Frage T83.*



Das Standrohr von Außenantennen und deren Ableitungen (Antennenkabel) müssen über geeignete Komponenten an den Blitzschutz angeschlossen bzw. für sich blitzschutzmäßig geerdet werden. Diese Arbeiten müssen von einer konzessionierten Blitzschutz-Firma ausgeführt werden. Die Betriebserde dient der Schutzmaßnahme (für FI-Schalter, Nullung etc.) und darf nicht für die Blitzableitung verwendet werden!



Quelle: DJ4UF



Formeln, Größen und Symbole

- Wichtige Formeln
- Wichtige Größen und Einheiten
- Wichtige Symbole für elektronische Bauteile 1
- Wichtige Symbole für elektronische Bauteile 2
- Wichtige Symbole für elektronische Bauteile 3



Wichtige Formeln

Widerstand kapazitiv:

$$X_c = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)$$

wobei $\pi = 3,14$, $f = \text{Hz}$,
 $C = \text{Farad}$, $L = \text{Henry}$

Widerstand induktiv:

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

$$\text{Wellenlänge } \lambda_{(m)} = 300/f \text{ (MHz)}$$

Serienschaltung ohmsch:

$$R_{\text{ges.}} = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

R_{ges} wird größer!

Parallelschaltung ohmsch:

$$1/R_{\text{ges.}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots \quad R_{\text{ges}} \text{ wird kleiner!}$$

Serienschaltung induktiv:

$$L_{\text{ges.}} = L_1 + L_2 + L_3 \dots$$

L_{ges} wird größer!

Parallelschaltung induktiv:

$$1/L_{\text{ges.}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 \dots \quad L_{\text{ges}} \text{ wird kleiner!}$$

Serienschaltung kapazitiv:

$$1/C_{\text{ges.}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \dots \quad C_{\text{ges}} \text{ wird kleiner!}$$

Parallelschaltung kapazitiv:

$$C_{\text{ges.}} = C_1 + C_2 + C_3 \dots \quad C_{\text{ges}} \text{ wird größer!}$$

Schwingkreis (Technikerformel):

$$f = 159/\sqrt{L \cdot C}$$

wobei: $L = \mu\text{H}$, $C = \text{pF}$, $f = \text{MHz}$

Dezibel, Erhöhung um dB ergibt:

3dB = 2 fache Leistung

6dB = 2 fache Spannung bzw. 4 fache Leistung

10dB = 10 fache Leistung

12dB = 4 fache Spannung bzw. 16 fache Leistung

20dB = 10 fache Spannung bzw. 100 fache Leistung

Schwingkreisgüte:

$$Q = f/B$$

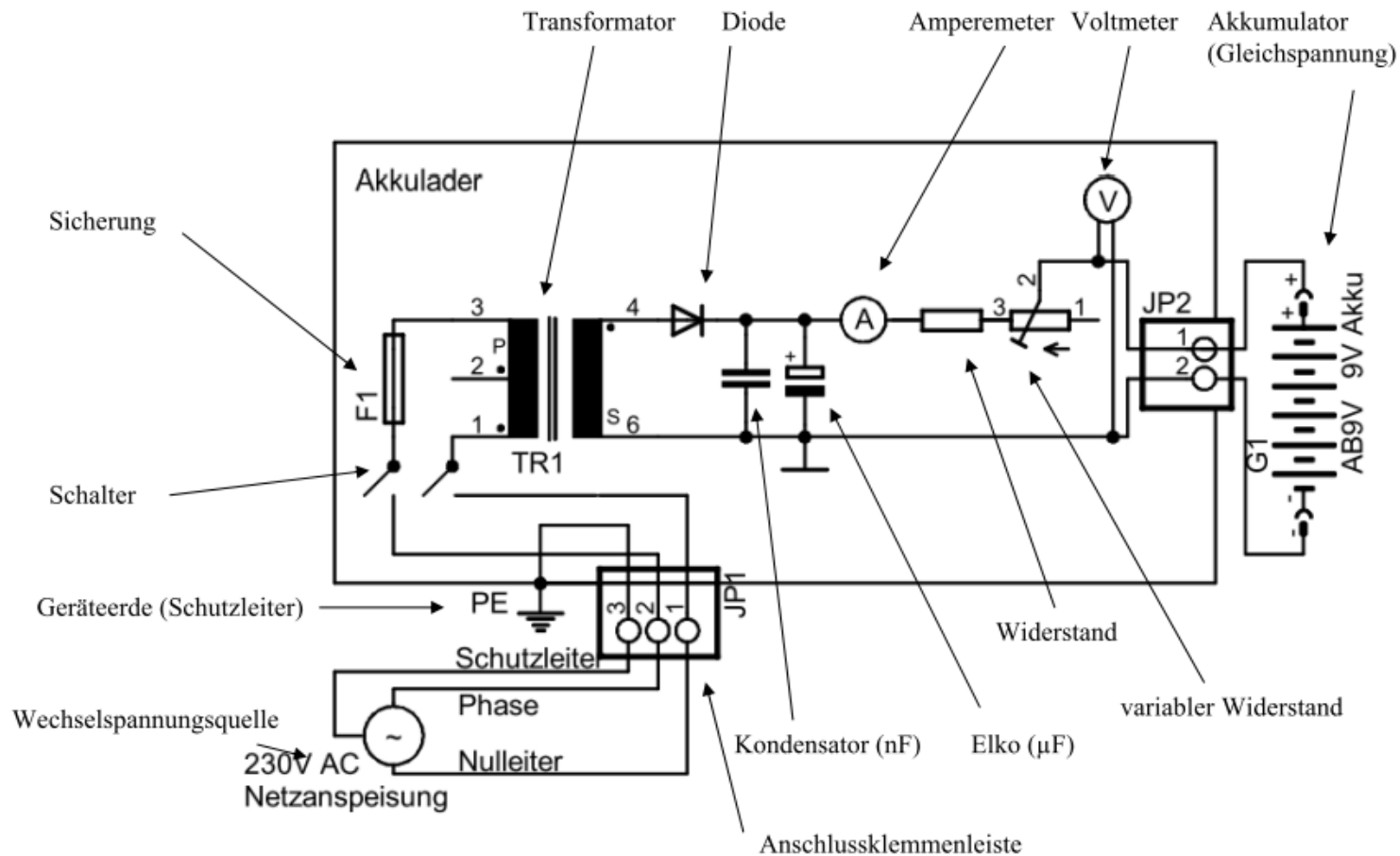
f Resonanzfrequenz (kHz)

B Bandbreite (kHz)

Größe	Bezeichnung	Maßeinheit		Bemerkung
Spannung	U	V	Volt	
Strom	I	A	Ampere	auch "Stromstärke"
Widerstand	R	Ω	Ohm	
Leitwert	G	S	Siemens	$G = 1 / R$
Leistung	P	W	Watt	$P = U \times I$
Kapazität	C	F	Farad	
Induktivität	L	H	Henry	
Kapazitiver Blindwiderstand	X_c	Ω	Ohm	wird auch "Reaktanz" genannt
Induktiver Blindwiderstand	X_l	Ω	Ohm	wird auch "Reaktanz" genannt
Scheinwiderstand	Z	Ω	Ohm	wird auch "Impedanz" genannt
Frequenz	f	Hz	Hertz	
Periodendauer	T	sec	Sekunden	$T = 1 / f$
Phasendifferenz	ϕ	°	Grad	auch "Phasenverschiebung"
Wellenlänge	λ	m	Meter	wird auch "Lambda" genannt
Elektrische Feldstärke	E	V / m	Volt pro Meter	

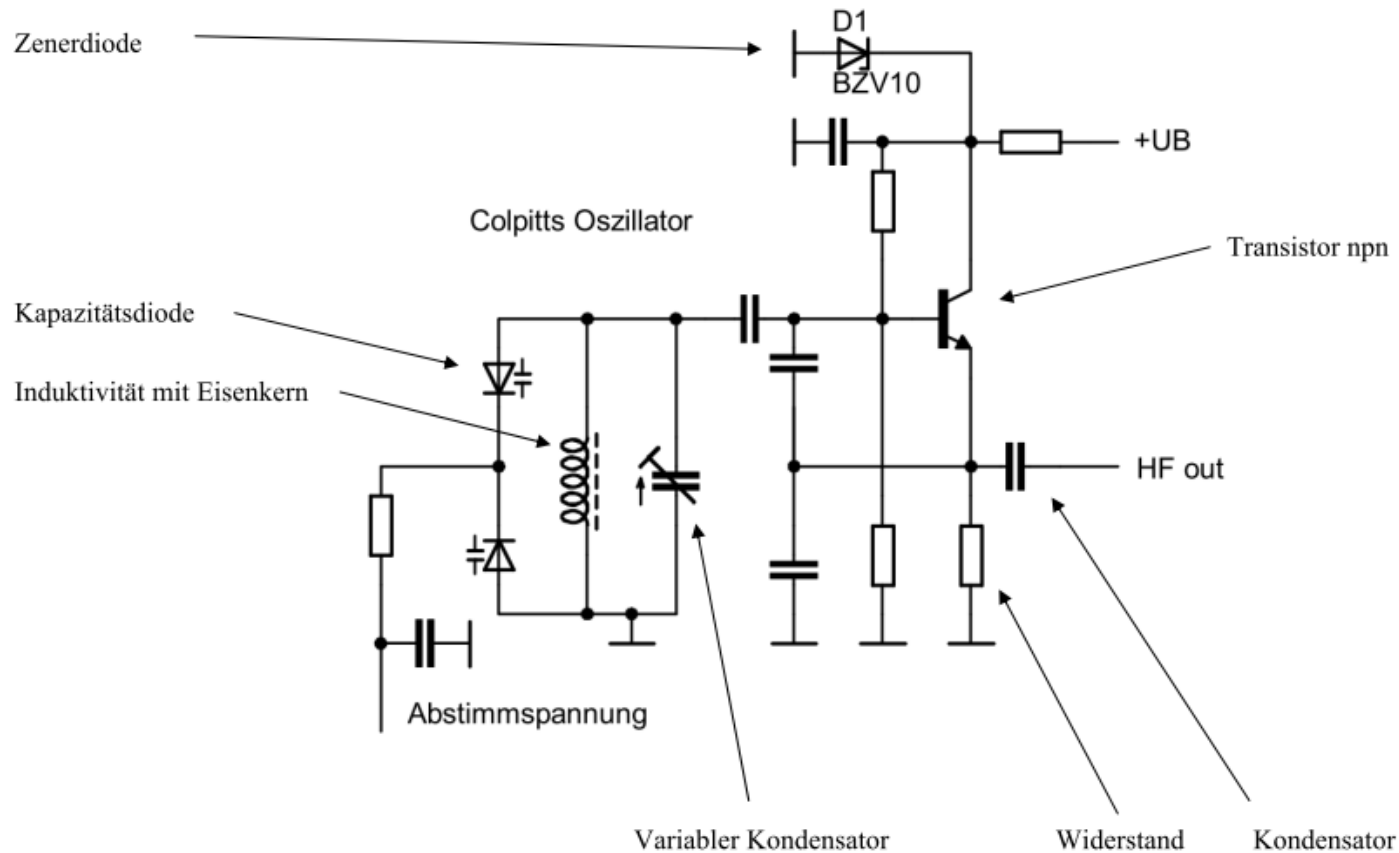


Wichtige Symbole für elektronische Bauteile 1:





Wichtige Symbole für elektronische Bauteile 2

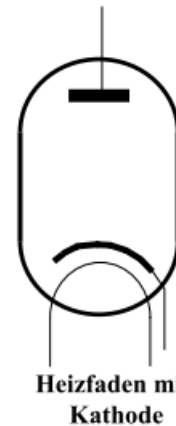
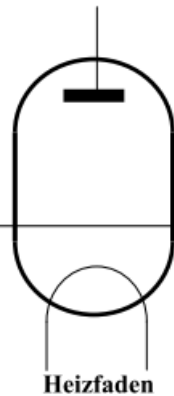




Wichtige Symbole für elektronische Bauteile 3

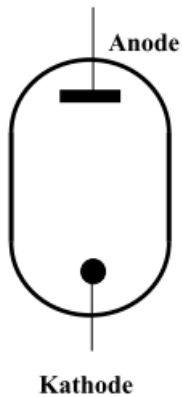
Hochvakuumröhren

Grundsatzunterscheidung zwischen
direkt
und indirekt
geheizten Röhren:

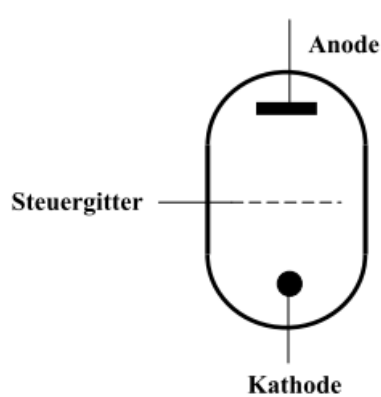


Unterscheidung nach Funktion:

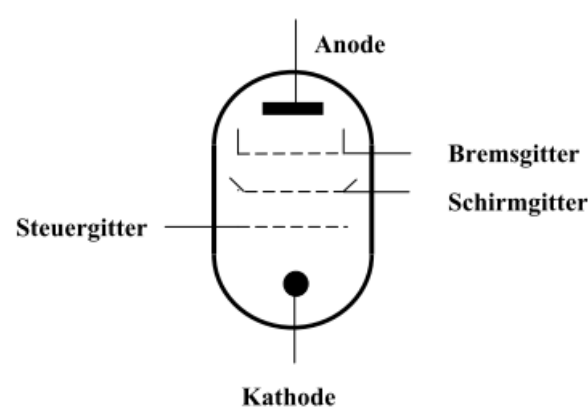
Diode:



Triode:



Pentode:





Diese Unterlagen des Bereichs Technik beruhen auf folgenden Quellen:

- Ausbildungsunterlage für die Amateurfunkprüfung -
Bewilligungsklasse 1 (CEPT) für das Fachgebiet TECHNIK,
Stand September 2020, Herausgeber: AFU Kurs Graz.
- Ausdrücklich genannten Quellen, dafür liegen Einwilligungen vor:
DJ4UF, <http://www.didactronic.de/>, OE6GC, OE6MY, OE6AAD, OE6ZH
- Ungenannten Quellen, darunter auch Wikipedia, die auf Grund der zahlreichen, auch von anderen
vorgenommenen Ergänzungen (*siehe Versionshinweise*) nicht mehr identifizierbar sind.

Aus diesen Gründen wurde dieser Lernbehelf

- ausschließlich als persönliches Exemplar
- ausschließlich im Rahmen des "AFU-Lizenz - Prüfungsvorbereitungskurs LV6"
- ausschließlich zur persönlichen Nutzung für die KursteilnehmerInnen angefertigt.

Jede anderweitige Nutzung, Kopieren, Weitergabe, in elektronischer oder in Papierform, auch in Teilen, ist nicht gestattet.



Frage	Wortlaut	Seite
G1	Was ist elektrischer Strom?	5
T1	Ohmsches und Kirchhoff'sches Gesetz	22f
G2	Was ist Spannung?	6
T2	Begriff Leiter, Halbleiter, Nichtleiter	25
G3	Wie entsteht Spannung?	7
T3	Kondensator, Begriff Kapazität, Einheiten - Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung	29f
G4	Stromkreis, was ist Widerstand?	11
T4	Spule, Begriff Induktivität, Einheiten - Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung	33f
G5	Was ist Leistung? Verbraucher	12
T5	Wärmeverhalten von elektrischen Bauelementen	26
G6	Bruchteile und vielfache von Kenngrößen	13
T6	Stromquellen (Kenngrößen)	8
G7	Elektromagnetismus, Induktion	15ff
T7	Sinus- und nicht-sinusförmige Signale	20f
G8	Der Begriff Linearität	18
T8	Was verstehen Sie unter dem Begriff Skin-Effekt?	27f
G9	Widerstände als Bauelemente, Kenngrößen	24
T9	Gleich- und Wechselspannung - Kenngrößen	9f
G10	Was bedeuten die Begriffe „analog“ „und digital“?	72
T10	Was verstehen Sie unter dem Begriff Permeabilität?	35f
G11	Was bedeutet der Begriff „Dezibel“?	83f
T11	Serien- und Parallelschaltung von R, L, C	40
G12	Prinzipieller Aufbau eines Kommunikationssystems. Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle.	86f
T12	Was verstehen Sie unter dem Begriff Dielektrikum?	31f

Frage	Wortlaut	Seite
G13	Was bedeuten die Begriffe "Anpassung" und "Fehlanpassung"?	123
T13	Wirk- Blind- und Scheinleistung bei Wechselstrom	41
G14	Abstrahlung, Ausbreitung, Hindernisse, bewegte Funkstationen	137
T14	Begriff elektrischer Widerstand (Schein- Wirk- und Blindwiderstand), Leitwert	37
G15	Verkürzte Antennen, Mobilantennen	142
T15	Berechnen Sie den induktiven Blindwiderstand einer Spule mit 30 μ H bei 7 MHz (Werte sind variabel)	39
G16	Was bedeutet der Begriff „Strahlungsleistung“?	162f
T16	Berechnen Sie den kapazitiven Blindwiderstand eines Kondensators von 500 pF bei 10 MHz (Werte sind variabel)	38
T17	Der Transformator - Prinzip und Anwendung	42f
T18	Der Resonanzschwingkreis - Kenngrößen	48ff
T19	Der Resonanzschwingkreis - Anwendungen in der Funktechnik	51
T20	Berechnen Sie die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises	52
T21	Filter – Arten, Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise	53f
T22	Was sind Halbleiter?	56ff
T23	Die Diode - Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung	59f
T24	Der Transistor - Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung	61f
T25	Die Elektronenröhre - Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung	63f
T26	Arten von Gleichrichterschaltungen - Wirkungsweise	67f
T27	Stabilisatorschaltungen	68



Frage	Wortlaut	Seite
T87	Erklären Sie den Begriff „EMV“ und dessen Bedeutung im Amateurfunk	167
T88	Erklären Sie den Begriff „EMVU“ und dessen Bedeutung im Amateurfunk	166
T89	Erklären Sie den Begriff „Trap“, Aufbau und Wirkungsweise	141
T90	Was versteht man unter einem Hohlraumresonator, Anwendung	132f
T91	Funkentstörmaßnahmen im Bereich Stromversorgung der Amateurfunkstelle	172
T92	Funkentstörmaßnahmen bei Beeinflussung durch hochfrequente Ströme und Felder	171ff
T93	Was sind Tastklicks, wie werden sie vermieden?	178
T94	Erklären Sie die Begriffe: „Unerwünschte Aussendungen“, „Ausserbandaussendungen“, „Nebenaussendungen“ (spurious emissions)	176
T95	Erklären Sie den Begriff: „Splatter“ - Ursachen und Auswirkungen	179
T96	Erklären Sie den Begriff „schädliche Störungen“	175
T97	Prinzipieller Aufbau einer Relaisfunkstelle und einer Bakenfunkstelle	156
T98	Definieren Sie den Begriff „Senderleistung“	159
T99	Definieren Sie den Begriff „Spitzenleistung“	160f
T100	Definieren Sie den Begriff „belegte Bandbreite“	177

Frage	Wortlaut	Seite
T101	Definieren Sie den Begriff „Interferenz in elektronischen Anlagen“; beschreiben Sie Ursachen und Gegenmassnahmen	173
T102	Erklären Sie die Begriffe „Blocking“, „Intermodulation“	180
T103	Welche Gefahren bestehen für Personen durch den elektrischen Strom?	183
T104	Was ist beim Betrieb von Hochspannung führenden Geräten zu beachten?	184
T105	Definieren Sie die Gefahren durch Gewitter für die Funkstation und das Bedienpersonal, beschreiben Sie Vorbeugemassnahmen	185



funk-elektronik
HF Communication

www.funkelektronik.at

Grazerstrasse 11, 8045 Graz-Andritz

Tel. 0720 / 270013

E-Mail: verkauf@funkelektronik.at

Vertrieb von Communicationsgeräte und Zubehör

Distributor of FlexRadio Systems Products

Beratung – Verkauf – Service – Reparatur – Garantie