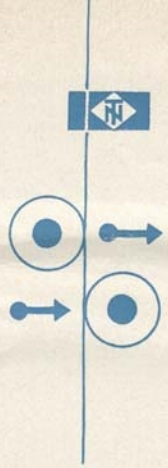

A. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

A.1. EINLEITUNG

Der Mensch erzeugt beim Sprechen einen Schall-Energiestrom, der die zu übertragende Nachricht enthält. Der Energieträger ist die umgebende Luft, die in Schwingungen versetzt wird. Schallschwingungen breiten sich allseitig aus, so daß die übertragene Nachricht von allen Personen aufgenommen werden kann, die sich in einem begrenzten Umkreis von der Energiequelle – dem sprechenden Menschen – befinden.

Die Lautstärke nimmt mit wachsendem Abstand von der Schallquelle schnell ab. Das bedeutet, daß diese Art der Nachrichtenübermittlung nur relativ kleine Entfernungen überbrückt.

Die Fernsprechtechnik ermöglicht es, Nachrichten über alle praktisch vorkommenden Entfernungen nahezu ohne Zeitverzögerung zu übermitteln. Hierzu werden Einrichtungen verwendet, welche am Sendeort die akustischen Vorgänge – Schallwellen – in elektrische Energie umwandeln, diese über geeignete Nachrichtenkanäle zum gewünschten Empfänger weiterleiten und am Empfangsort die übertragene elektrische Energie wieder in Schallwellen umsetzen. Dadurch entsteht zwischen zwei korrespondierenden Personen eine speziell für diesen Fall „durchgeschaltete" Nachrichtenverbindung.

Für den Inhalt einer zu übertragenden Nachricht ist es grundsätzlich unwesentlich, in welcher Form sie vom Nachrichtensender zum Nachrichtenempfänger gelangt, nur muß sie am Ort des Nachrichtenempfängers so vorliegen, daß dieser sie mit Hilfe seiner Sinnesorgane wahrnehmen kann.

Im folgenden werden zunächst die zum Verständnis der Wirkungsweise der Einrichtungen der Fernsprechtechnik notwendigen physikalischen Grundlagen aufgezeigt.

www.GVIT.de

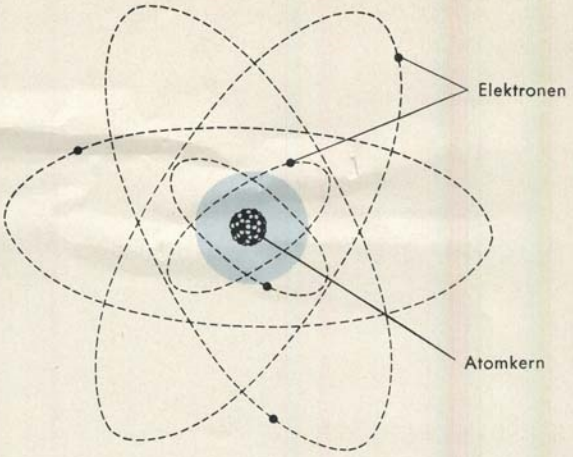

BILD 1 Atommodell

A.2. AUFBAU DER MATERIE

Die natürlichen und künstlichen Stoffe unserer Umgebung setzen sich in ihrer Gesamtheit aus etwa 100 verschiedenen Grundstoffen zusammen. Mit chemischen Mitteln können diese nicht weiter zerlegt werden. Das kleinste Teilchen eines solchen Grundstoffes, das noch dessen chemische Eigenschaften besitzt, wird als Atom bezeichnet.

Die Atome bzw. Atomgruppen fester Körper werden durch Kräfte an ihren Plätzen gehalten. Sie führen um diese Plätze lediglich Schwingungen aus, die mit steigender Temperatur immer stärker werden. Bei genügend hoher Temperatur reißen sich die Atome aus ihren Bindungen und bewegen sich gegen-, mit- und durcheinander. Der feste Körper ist dann flüssig geworden. Weitere Temperatursteigerungen führen dazu, daß einzelne Atome aus der Oberfläche des Körpers austreten. Diesen Vorgang bezeichnet man als Verdampfen.

Das Atom selbst ist nicht unteilbar, wie sein Name ursprünglich besagen sollte. Es besteht vielmehr aus einer Anzahl noch wesentlich kleinerer Bausteine (Bild 1). Der elektrisch positiv geladene Atomkern enthält fast die gesamte Atommasse, obgleich sein Durchmesser mehr als 10000mal kleiner als der Atomdurchmesser ist. Die negativ geladenen Elektronen umkreisen in relativ großen Abständen den Kern mit sehr hohen Geschwindigkeiten und bilden die sogenannten Elektronenschalen. Da sich elektrische Ladungen mit verschiedenen Vorzeichen gegenseitig anziehen, wirken zwischen Kern und Elektronen Anzugskräfte, die die Fliehkraft der Elektronen aufheben. Somit können die Elektronen nicht vom Kern wegfliegen.

www.GVIT.de

Die einzelnen Grundstoffe unterscheiden sich durch ihre verschieden große positive Kernladung voneinander. Jeder Kern eines Atoms wird im allgemeinen gerade von so vielen negativen Elektronen umkreist, daß die positive Kernladung kompensiert wird und das Atom nach außen hin elektrisch neutral erscheint. Auf die Art des Grundstoffes hat die Anzahl der gerade vorhandenen Elektronen jedoch keinen Einfluß. Man kann also den Atomen eines Stoffes Elektronen wegnehmen oder hinzufügen, ohne daß er sich dabei in einen anderen umwandelt.

A.3. ELEKTRISCHE GRUNDBEGRIFFE

A.3.1. Spannung, Strom und Widerstand

Werden den Atomen eines elektrisch neutralen Körpers Elektronen weggenommen, so erscheint er nach außen hin positiv elektrisch geladen, weil die Summe der Kernladungen gegenüber der Summe der verbliebenen Elektronenladungen überwiegt. Entsprechend wird ein elektrisch neutraler Körper, auf den zusätzlich Elektronen gebracht werden, negativ geladen erscheinen. Den Ladungszustand eines Körpers bezeichnet man auch als Potential. Grundsätzlich wird das Potential eines Körpers, der nach außen hin nicht neutral zu sein braucht, durch Hinzufügen oder Wegnehmen von Elektronen mehr in den negativen oder mehr in den positiven Potentialbereich verschoben. Den Potentialunterschied zwischen zwei Punkten bezeichnet man als Spannung.

Der Ladungsausgleich, den die Spannung zwischen den Körpern mit verschieden hohem Potential herbeizuführen sucht, könnte auf zwei Arten bewirkt werden: entweder durch Transport positiver Atomkerne vom Körper mit höherem Potential zu dem mit niedrigerem oder durch Elektronentransport in umgekehrter Richtung. Da aber die den Stoff ausmachenden Atomkerne in festen Körpern fast alle an ihren Platz gebunden sind, scheidet die zuerst genannte Möglichkeit aus. In einer für Ladungsträger durchlässigen Verbindung zwischen den beiden Körpern fließen demzufolge nur Elektronen vom Ort des niedrigeren Potentials, dem negativen Pol, zum Ort mit dem höheren Potential, dem positiven Pol (Bild 2).

Mit dem Andauern des Elektronenflusses nimmt die zwischen beiden Körpern bestehende Spannung ab. Mit ihrem Verschwinden hört auch der Elektronen-

www.GVIT.de

Abstoßkräfte zwischen den Elektronen und dem negativen Pol überwunden werden müssen. Diese also grundsätzlich notwendige Energie wird beim Fließen eines Ausgleichstromes wieder frei. Sie kann dann, wie später noch gezeigt werden wird, in verschiedenen Energieformen in Erscheinung treten.

Es gibt eine ganze Reihe von Anordnungen, die Spannungen erzeugen und aufrechterhalten. Immer aber muß zunächst Energie zur Verfügung stehen, mit deren Hilfe der oben beschriebene Elektronentransport durchgeführt werden kann.

Im galvanischen Element wird chemische Energie in elektrische umgewandelt. In einer einfachen Ausführungsform besteht es aus zwei verschiedenen Metallstücken, die in eine stromleitende Flüssigkeit (Elektrolyt), wie sie wässerige Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen darstellen (Bild 4), eintauchen. Die

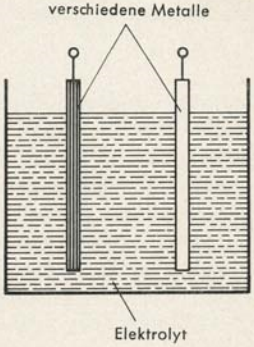

BILD 4
Galvanisches Element

Spannung, die zwischen den Polen eines Elementes dieser Ausführungsform gemessen werden kann, hängt nur von der Art der benutzten verschiedenen Metalle ab, nicht aber von den geometrischen Abmessungen der Metallstücke.

Wird einer solchen Zusammenstellung Strom entnommen, so geht das Metall des negativen Pols langsam in Lösung; das Element verbraucht sich.

Zwei Metalle der folgenden Spannungsreihe ergeben, wenn sie durch einen Elektrolyten verbunden werden, bei Raumtemperatur eine elektrische Spannung in Volt, die gleich dem Unterschied der angegebenen Werte ist (Tafel I). Der Elektrolyt muß dabei pro Liter 1 Mol des wirksamen Ions enthalten.

Der Akkumulator, dessen Funktionsprinzip ebenfalls auf chemischer Basis beruht, muß zunächst aufgeladen werden. Dabei wird elektrische Energie zugeführt und in chemische umgesetzt. In diesem, dem geladenen Zustand, kann die in Form von chemischer Energie gespeicherte elektrische Energie wieder entnommen werden, wobei ein rückläufiger Energieumsetzungsprozeß vonstatten geht. Während des erneuten Aufladevorganges werden die in die

www.GVIT.de

Magnesium	—2,35 V
Aluminium	—1,28 V
Zink	—0,76 V
Chrom	—0,56 V
Eisen	—0,44 V
Kadmium	—0,40 V
Nickel	—0,25 V
Zinn	—0,14 V
Blei	—0,13 V
Wasserstoff	+—0 V
Antimon	+0,28 V
Arsen	+0,30 V
Kupfer	+0,34 V
Silber	+0,81 V
Gold	+1,5 V

TAFEL I

Elektrochemische Spannungsreihe einiger chemischer Elemente und ihre Normalspannungen gegen eine Wasserstoffelektrode

leitende Flüssigkeit eintauchenden Metallplatten wieder in die chemische Form gebracht, die sie vor der Stromentnahme besaßen. Die Richtung des Ladestromes ist der Richtung des Entladestromes entgegengerichtet.

Zwischen verschiedenen Stoffen bestehen arteigene Unterschiede in der Elektronendichte. Bringt man z. B. zwei verschiedene Metalle in Berührung, so fließen Elektronen von dem Metall mit größerer Elektronendichte zu dem mit kleinerer Elektronendichte. Das erste wird sich dabei positiv, das letzte negativ aufladen. Die entstehende Potentialdifferenz verhindert nach einiger Zeit einen weiteren Dichteausgleich der Elektronen.

Den so auf einem Körper erzeugten Ladungsüberschuß des einen bzw. anderen Vorzeichens bezeichnet man als Reibungs- oder Berührungselektrizität. Werden die verschiedenen sich berührenden Körper voneinander getrennt, so bleiben die Ladungszustände der Körper erhalten, und es besteht zwischen beiden eine Spannung. Im sogenannten Bandgenerator, einem Gerät zur Erzeugung hoher Spannungen, wird das Zusammenbringen und Wiedertrennen von zwei Körpern mit verschiedener Elektronendichte mittels eines isolierenden Bandes und einer Metallwalze durchgeführt (Bild 5). Das Band läuft über die Walze und transportiert die erzeugte Ladung nach oben in das Innere einer metallischen Hohlkugel, wo sie sofort auf die Kugeloberfläche abfließt. Ein Ladungsausgleich durch das Band kann nicht eintreten, weil es aus isolierendem Werkstoff besteht.

Mit Hilfe von Thermoelementen kann Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt werden. Ein Thermoelement besteht aus zwei Leitern verschiedener Stoffe, die zu einem Stromkreis zusammengeschaltet sind (Bild 6). Erzeugt man zwischen der meist gelöteten Berührungsstelle und den durch einen

www.GVIT.de

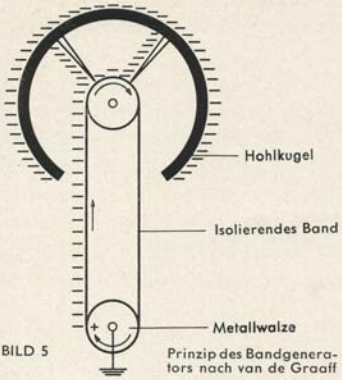

BILD 5 Prinzip des Bandgenerators nach van de Graaff

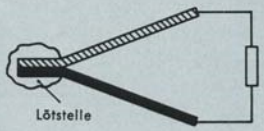

BILD 6 Thermoelement

Verbraucher verbundenen beiden Enden der Leiter eine Temperaturdifferenz (z. B. durch Erwärmen der Lötstelle), so beginnt ein Strom zu fließen. Dieser Strom verdankt seine Entstehung den an den verschieden stark erwärmten Verbindungsstellen herrschenden unterschiedlichen Elektronendichte-Gleichgewichten (Berührungselektrizität). Elemente dieser Art eignen sich zur Temperaturmessung, da die Thermospannung (Tafel II) in einem weiten Bereich der

Wismut	—6,5	Silber	0,67 bis 0,79
Konstantan	—3,47 bis —3,04	Kupfer	0,72 „ 0,77
Kobalt	—1,99 „ —1,52	Stahl (V2A)	0,77
Nickel	—1,94 „ —1,2	Zink	0,6 „ 0,79
Quecksilber	—0,07 „ —0,04	Manganin	0,57 „ 0,82
Platin	+—0	Iridium	0,65 „ 0,68
Graphit	0,22	Gold	0,56 „ 0,8
Kohle	0,25 „ 0,30	Kadmium	0,85 „ 0,92
Tantal	0,34 „ 0,51	Molybdän	1,16 „ 1,31
Zinn	0,4 „ 0,44	Eisen	1,87 „ 1,89
Blei	0,41 „ 0,46	Chromnickel	2,2
Magnesium	0,4 „ 0,43	Antimon	4,7 „ 4,86
Aluminium	0,37 „ 0,41	Silizium	44,8
Wolfram	0,65 „ 0,9	Tellur	50
Rhodium	0,65		

TAFEL II Thermoelektrische Spannungen verschiedener leitender Stoffe, gemessen gegen Platin in mV, wenn zwischen den Berührungsstellen ein Temperaturunterschied von 100° C herrscht

www. GVIT .de

Temperaturdifferenz proportional ist. Hintereinandergeschaltete Thermoelemente, sogenannte Thermosäulen, benutzt man auch zur Stromversorgung von Geräten mit geringer Stromaufnahme.

Licht, das eine besondere Energieform darstellt, kann mit Hilfe von Fotoelementen in elektrische Energie umgewandelt werden. Ein Silicium-Fotoelement z. B. gibt bei Belichtung einen Fotostrom I ab, der bei kleinem Außenwiderstand linear mit der Beleuchtungsstärke E ansteigt (Bild 7). Etwa 10% des auffallenden Lichtes werden in elektrische Energie umgewandelt.

Bei jeder Änderung des magnetischen Kraftflusses, der durch eine geschlossene Leiterschleife hindurchtritt (Bild 8), wird in dieser eine Spannung erzeugt. Diese Erscheinung bezeichnet man als elektrische Induktion. Das Vorzeichen

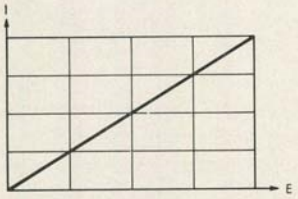

BILD 7
Abhängigkeit der Stromstärke I von der Beleuchtungsstärke E beim Fotoelement

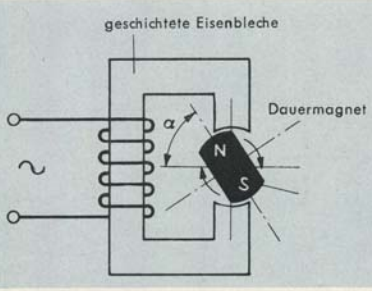

BILD 8
Prinzipbild eines Kurbelinduktors, bei dem zur Wechselspannungserzeugung ein Dauermagnet zwischen den Polschuhen des Eisenkreises einer Spule gedreht wird

dieser Spannung hängt davon ab, ob der magnetische Kraftfluß größer oder kleiner wird. Eine Kraftflußänderung in einer Leiterschleife (Spule) kann u. a. dadurch bewirkt werden, daß ein Magnet an der Leiterschleife oder die Leiterschleife an einem Magneten vorbeibewegt wird. Der dann bei geschlossener Schleife durch die Induktionsspannung bewirkte Induktionsstrom ist immer so gerichtet, daß er die ihn verursachende Bewegung zu hemmen sucht. Zur Aufrechterhaltung der Relativbewegung zwischen Magnet und belasteter Spule ist demzufolge mechanische Energie erforderlich, die mit geringen Verlusten von der Schleife als elektrische Energie an die Last abgegeben wird.

www.GVIT.de

Bei der Deformation von bestimmten Kristallen, wie z.B. Quarz und Seignettesalz, wird mechanische Energie in elektrische umgewandelt. Durch die Deformation des Kristallgefüges wird dabei der Schwerpunkt der negativen Ladung gegenüber dem der positiven Ladung verschoben, so daß zwischen bestimmten Stellen des Kristalls eine Spannung auftritt (Bild 9). Von diesem sogenannten Piezoeffekt macht man besonders bei bestimmten Bauarten von Mikrophonen und Tonabnehmersystemen in Plattenspielern Gebrauch. Es werden dabei Schallschwingungen, also mechanische Energie, in elektrische umgesetzt.

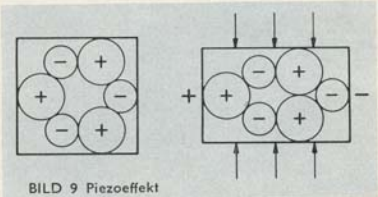

BILD 9 Piezoeffekt

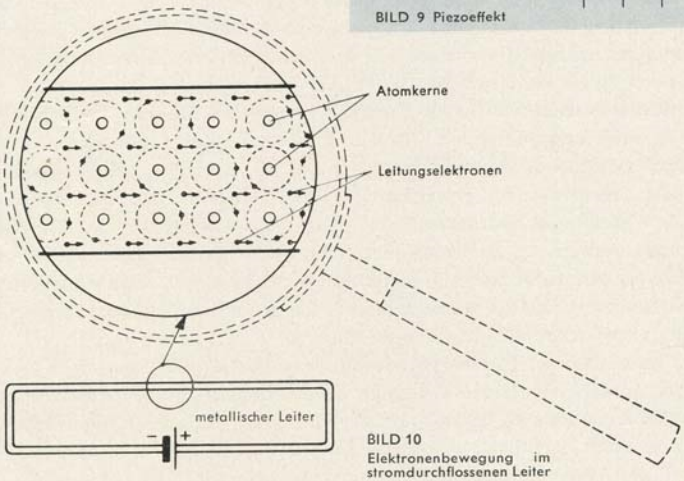

BILD 10
Elektronenbewegung im stromdurchflossenen Leiter

Bewegen sich beliebig geladene elektrische Ladungsträger unter der Wirkung anziehender oder abstoßender elektrischer Kräfte, so spricht man von einem elektrischen Strom. Als Stromrichtung wurde die Richtung vom positiven zum negativen Pol festgelegt. Ströme, die durch Gleichspannungen bewirkt werden, bezeichnet man als Gleichströme und solche, die durch Wechselspannungen verursacht werden, als Wechselströme.

Im stromdurchflossenen metallischen Leiter bewegt sich jedoch lediglich ein

www. GVIT .de

Teil der äußeren Elektronen der Metallatome, also negative Ladungsträger. Da diese frei beweglich sind, wandern sie bei Vorhandensein eines Potentialunterschiedes vom negativen Pol weg zum positiven Pol hin. Während dabei der negative Pol der Spannungsquelle Elektronen an den Leiter abgibt, nimmt der positive Pol Elektronen aus dem Leiter auf (Bild 10).

In wässerigen Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen bedingen die darin enthaltenen Ionen die elektrische Leitfähigkeit. Ionen sind Atome, Moleküle oder Molekülteile, die elektrisch nicht neutral sind. Sie sind entweder positiv oder negativ, je nachdem, ob Elektronenmangel oder -überschuß besteht. Das Kupfersulfatmolekül $CuSO_4$ z. B. zerfällt beim Auflösen in Wasser in das doppelt positiv geladene Cu-Ion und in das doppelt negativ geladene SO_4-Ion.

Wird an eine aus wässeriger Lösung der genannten Art bestehende Leiterstrecke eine Spannung angelegt, so bewegen sich die positiven Ionen auf den negativen Pol zu und nehmen dort so viele Elektronen auf, wie zu ihrer Neutralisation erforderlich sind. Die negativen Ionen wandern zum positiven Pol hin und geben dort ihre überschüssigen Elektronen ab. Der negative Pol der Spannungsquelle liefert also auch hier Elektronen an die Leiterstrecke, während der positive Pol Elektronen von dieser bezieht.

In elektrisch leitenden Gasen bewirken neben den Elektronen vor allem positive Ionen die Leitfähigkeit. Diese Ionen können beim Zusammenstoß von elektrisch beschleunigten Ladungsträgern mit Gasmolekülen oder von Gasmolekülen untereinander entstehen. Auch durch Bestrahlung mit energiereichen Wellen- oder Teilchenstrahlen können Gase ionisiert werden. Bei der Ionisation werden von neutralen Gasatomen oder Gasmolekülen ein oder mehrere Elektronen abgetrennt. Unter der Wirkung einer Spannung, die an die Gasstrecke angelegt wird, wandern die Ionen in die entsprechenden Richtungen wie die Ionen in Flüssigkeiten.

Alle bekannten Materialien setzen dem Stromdurchgang einen mehr oder weniger großen Widerstand entgegen. Zu den Stoffen mit geringem spezifischem Widerstand, also hoher spezifischer Leitfähigkeit, zählen alle Metalle. Ihr Widerstand nimmt mit steigender Temperatur zu, da die Gitterschwingungen der Atome die Beweglichkeit der Elektronen im Leiter behindern.

Isolatoren sind Stoffe, die dem Stromdurchgang einen besonders hohen Widerstand entgegensetzen, wie z. B. Bernstein, Porzellan und die meisten Kunststoffe. Da bei hohen Temperaturen im Isolator Ladungsträger frei werden, die bei niedrigen Temperaturen noch fest an ihren Platz gebunden sind, fällt sein Widerstand mit steigender Temperatur.

Der elektrische Widerstand von wässerigen Lösungen, Salzen, Säuren oder Basen (Elektrolytflüssigkeit) wird im wesentlichen dadurch bestimmt, daß das Lösungsmittel wegen seiner Zähigkeit den Ionen auf ihrem Wege einen be-

www.GVIT.de

stimmten Strömungswiderstand entgegensetzt. Da die Zähigkeit jedoch mit steigender Temperatur abnimmt, wird der Strömungswiderstand und damit auch der elektrische Widerstand mit steigender Temperatur kleiner.

Der Widerstand von Gasen ist nur dann zeitlich konstant, wenn der durch die Gasstrecke hindurchfließende Strom konstant gehalten wird. Im allgemeinen werden stromleitende Gasstrecken wie Glimmlampen und Leuchtstofflampen mit Hilfe von vorgeschalteten Festwiderständen stabilisiert.

Bei niedriger Spannung ist der Widerstand der Gasstrecke relativ groß. Mit steigender Spannung bewegen sich die Ladungsträger jedoch immer schneller, bis sie in der Lage sind, die auf ihrem Weg befindlichen neutralen Gasmoleküle beim Zusammenprall zu zerbrechen und damit zu ionisieren. Damit steigt der Strom an, und der Widerstand fällt, weil dieser durch das Verhältnis Spannung durch Stromstärke ausgedrückt ist. Mit steigender Temperatur wächst die Leitfähigkeit von Gasen im allgemeinen.

Werden mehrere Widerstände hintereinandergeschaltet – auch Reihenschaltung genannt – (Bild 11), so ist der Gesamtwiderstand R_g gleich der Summe der Einzelwiderstände R_n.

Es gilt also:

(Gl. 1) $R_g = R_1 + R_2 + \ldots R_n.$

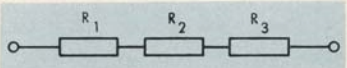

BILD 11 Drei Widerstände in Reihenschaltung

Der Gesamtwiderstand ist bei dieser Schaltweise also immer größer als der größte Einzelwiderstand.

Dagegen ist bei parallelgeschalteten Widerständen (Bild 12) der Gesamtwiderstand immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand, weil sich hierbei die Leitwerte $\frac{1}{R_n}$ der Einzelwiderstände zu dem Gesamtleitwert $\frac{1}{R_g}$ addieren. Der Leitwert ist der reziproke – umgekehrte – Wert des Widerstandes.

Es gilt:

(Gl. 2) $\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots \frac{1}{R_n}.$

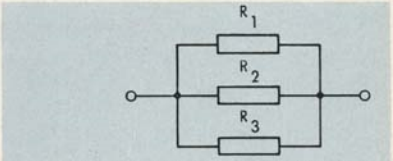

BILD 12 Drei Widerstände in Parallelschaltung

www.GVIT.de

Wenn es sich um nur zwei parallelgeschaltete Widerstände handelt, kann der Gesamtwiderstand R_g nach der Formel

$$\text{(Gl. 3)} \qquad R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

errechnet werden.

Für den Widerstand R eines Leiters mit der Länge l und dem über die Länge konstanten Querschnitt F gilt die Formel:

$$\text{(Gl. 4)} \qquad R = \frac{\rho \cdot l}{F}.$$

Dabei wird R in Ohm [Ω], l in Meter [m] und F in Quadratmillimeter [mm²] angegeben. Der Faktor ρ bezeichnet den spezifischen Widerstand des benutzten Leitermaterials. Es ist dies der Widerstand in Ohm [Ω] eines Drahtes aus diesem Material von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt bei 20° C. Den Kehrwert $\frac{1}{\rho}$ bezeichnet man als spezifische Leitfähigkeit $\varkappa$.

Die folgende Tafel III gibt einen Überblick über die spezifischen Widerstände, Leitwerte sowie die Temperaturkoeffizienten für die Widerstandszunahme bei Temperaturerhöhung um 1° C für die in der Technik häufig verwendeten Leiter- und Widerstandswerkstoffe.

Stoff	ρ_{20} $\frac{\Omega\ mm^2}{m}$	$\varkappa_{20}$ $\frac{m}{\Omega\ mm^2}$	α_{20} $\frac{1}{1°\,C}$
Aluminium	0,028	36	$4 \cdot 10^{-3}$
Blei	0,21	4,8	$4 \cdot 10^{-3}$
Eisen, techn.	0,10 bis 0,15	10 bis 6,7	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Gold	0,023	43,5	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Konstantan	0,49 bis 0,51	2,04 bis 1,96	$0,05 \cdot 10^{-3}$
Kupfer	0,0175	57	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Magnesium	0,043	23,2	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Manganin	0,42	2,4	$0,01 \cdot 10^{-3}$
Messing	0,07 bis 0,08	14,3 bis 12,5	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Nickelin	0,40 bis 0,44	2,5 bis 2,27	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Quecksilber	0,968	1,03	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Resistin	0,475	2,1	$0,01 \cdot 10^{-3}$
Silber	0,016	62,5	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Zink	0,06	16,7	$3,7 \cdot 10^{-3}$

TAFEL III
Spezifischer Widerstand ρ, Leitfähigkeit $\varkappa$ und Temperaturbeiwert α bei 20° C

www.GVIT.de

A.3.2. Das Ohmsche Gesetz und die Kirchhoffschen Regeln

Die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den Größen Spannung U, Stromstärke I und Widerstand R wird durch das Ohmsche Gesetz

$$\text{(Gl. 5)} \qquad I = \frac{U}{R},$$

in eine mathematische Form gebracht. Durch Umformen dieser Gleichung erhält man:

$$\text{(Gl. 6)} \qquad U = R \cdot I$$

und

$$\text{(Gl. 7)} \qquad R = \frac{U}{I}.$$

Mit Hilfe dieser Gleichung kann also jeweils aus zwei bekannten Größen die unbekannte dritte errechnet werden.

In obigen Gleichungen wird die Stromstärke I in der Einheit Ampere [A] angegeben, so wie z. B. die Länge l einer Strecke in Meter [m] angegeben wird. Ein Ampere ist die Stärke eines elektrischen Stromes, der in einer Sekunde aus einer wässerigen Silbernitratlösung 1,118 mg Silber ausscheidet. Die Größe des Widerstandes muß in der Einheit Ohm [Ω] in die Gleichung eingesetzt werden. Diese Einheit wird durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 mm² Querschnitt bei 0° C dargestellt. Die Einheit 1 Volt [V] treibt durch einen Widerstand von 1 Ω einen Strom von 1 A hindurch.

Das Ohmsche Gesetz gilt nicht nur für den Gesamtwiderstand eines Stromkreises, sondern auch für seine einzelnen Abschnitte. Den zwischen den Enden eines Abschnittes auftretenden Potentialunterschied, vom höheren zum tieferen Potential gerechnet, bezeichnet man als Spannungsabfall. Er errechnet sich nach Gleichung 6.

Nach dem ersten Kirchhoffschen Gesetz ist an jedem Verzweigungspunkt mehrerer Leiter die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme. Für einen Knotenpunkt der Schaltung nach Bild 13 gilt also:

$$\text{(Gl. 8)} \qquad I_{ges} = I_1 + I_2.$$

Das zweite Kirchhoffsche Gesetz sagt aus: Die Summe aller Spannungsabfälle in einem in sich geschlossenen Stromkreis ist gleich der Summe der in diesem Kreis vorhandenen elektromotorischen Kräfte. Unter elektromotorischer Kraft versteht man die gesamte von einer Spannungsquelle erzeugte Spannung. Die Klemmenspannung, die bei Belastung der Spannungsquelle tatsächlich

www.GVIT.de

zur Verfügung steht, ist um den Betrag des inneren Spannungsabfalls niedriger als die elektromotorische Kraft (kurz EMK genannt).

Die Summe aller Spannungsabfälle in dem durch die Widerstände R_1 und R_2 im Bild 13 dargestellten Stromkreis muß demzufolge Null betragen, da in diesem Stromkreis keine Spannungsquelle vorhanden ist, die eine elektromotorische Kraft liefert. Wenn R_2 einen größeren Widerstand besitzt als R_1, kann dies aber nur der Fall sein, wenn der Strom in R_2 kleiner ist als der in R_1. In parallelgeschalteten Leitern müssen sich die Ströme also umgekehrt wie die Widerstände verhalten.

Es gilt:

$$\text{(Gl. 9)} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

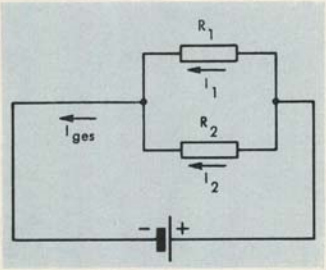

BILD 13
Parallelschaltung von zwei Widerständen in einem Stromkreis

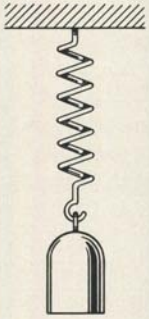

BILD 14
Gleichgewicht zweier Kräfte

A.3.3. Die Begriffe Kraft, Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad

Kraft ist ein Begriff für die Ursache der Beschleunigung eines Körpers. Auf jeden beschleunigten Gegenstand wirkt eine Kraft ein. Aber auch der Ruhezustand eines Körpers kann durch das Vorhandensein mehrerer sich in ihrer Wirkung gegeneinander aufhebender Kräfte gekennzeichnet sein. Zum Beispiel ist im Bild 14 die nach unten wirkende Gewichtskraft des an einer Schraubenfeder hängenden ruhenden Gewichtes ebenso groß wie die Rückstellkraft der auseinandergezogenen Feder.

Das Produkt aus Kraft P[1] und Weg s bezeichnet man in der Mechanik als Arbeit. Da die Kraft in der Einheit Kilopond [kp] und der Weg in der Einheit Meter [m] gemessen wird, ergibt sich die Arbeitseinheit zu Kilopond-

[1] Krafteinheit p = Pond, vom Lat. pondere = wiegen
1 p = 9,80666 g cm/s²

www.GVIT.de

meter [kpm]. Die Elektrotechnik mißt die Arbeit in Wattsekunden [Ws]. Das 3600000fache dieser Einheit bezeichnet man als Kilowattstunde [kWh].

Gespeicherte Arbeit wird als Energie bezeichnet. Sie kann weder vernichtet noch erzeugt werden, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Mit Hilfe von Energie kann also Arbeit verrichtet werden.

Die in der Zeiteinheit verrichtete Arbeit nennt man Leistung. Demzufolge stellt ein Kilopondmeter pro Sekunde $\left[\frac{kpm}{s}\right]$ die mechanische und ein Watt [W] die elektrische Leistungseinheit dar.

Für die Errechnung der elektrischen Leistung N gilt die Formel:

(Gl. 10) $$N = U \cdot I.$$

Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung der Gl. 5 und Gl. 6:

(Gl. 11) $$N = \frac{U^2}{R}$$

und

(Gl. 12) $$N = I^2 \cdot R.$$

Für die Arbeit A ergibt sich:

(Gl. 13) $$A = U \cdot I \cdot t.$$

Wenn in obigen Formeln die Spannung U in Volt [V], die Stromstärke I in Ampere [A] und die Zeit t in Sekunden [s] eingesetzt wird, so erhält man die Leistung N in Watt [W] und die Arbeit A in Wattsekunden [Ws].

Wird eine Energieform in eine andere umgewandelt, so treten mehr oder weniger große Verluste auf. Jedoch handelt es sich dabei nicht um absolute Energieverluste, sondern um die Anteile an zugeführter Energie, die an dem gerade gewünschten Umwandlungsprozeß nicht teilnehmen. Bei einer Glühlampe zum Beispiel will man einen möglichst großen Teil der zugeführten elektrischen Energie in Lichtenergie umwandeln. Der Teil der elektrischen Energie, der sich bei dem Umwandlungsprozeß in Wärme umsetzt, wird als Verlust bezeichnet.

Als Wirkungsgrad η einer Anordnung bezeichnet man das Verhältnis der abgegebenen Leistung N_{ab} zur zugeführten Leistung N_{zu}.

(Gl. 14) $$\eta = \frac{N_{ab}}{N_{zu}}$$

Bei Anwendung dieser Formel ist darauf zu achten, daß die beiden Größen N_{ab} und N_{zu} in den gleichen Maßeinheiten in die Formel eingesetzt werden.

www.GVIT.de

A.3.4. Wirkung des elektrischen Stromes

Elektrische Energie kann leicht in verschiedene andere Energieformen umgewandelt werden. So wird sie zum Beispiel in einem stromdurchflossenen Ohmschen Widerstand (siehe Gl. 10 und Gl. 13) fast vollständig in Wärmeenergie umgesetzt. Die Temperatur des Widerstandes steigt so lange, bis die Wärmeenergie, die pro Zeiteinheit an die Umgebung abgegeben wird, ebenso groß ist wie die in dem Widerstand pro Zeiteinheit in Wärmeenergie umgewandelte elektrische Energie.

In den Fällen, in denen die Temperatur eines stromdurchflossenen Widerstandes auf sehr hohe Werte ansteigt, wie es z. B. in Glühlampen der Fall ist, wird ein Teil der zugeführten Energie in Form von Licht(-Energie) an die Umgebung abgestrahlt. In Glimmlampen und Leuchtstoffröhren gelingt die nahezu vollständige Umsetzung der zugeführten elektrischen Energie in Licht. Es wird hierbei also keine nennenswerte Wärmemenge mehr frei.

Elektrische Energie kann auch in chemische Energie umgewandelt werden. Beim Laden eines Bleiakkumulators zum Beispiel wird das Bleisulfat an der Oberfläche der positiven Platte in Bleisuperoxyd umgesetzt und das an der negativen Platte in Blei. Die dazu notwendige Energie muß dem Akkumulator in Form von elektrischer Energie zugeführt werden.

Im Elektromotor entsteht Bewegungsenergie aus elektrischer Energie. Das Entsprechende geschieht im Antriebsaggregat eines Schrittschaltwählers und im Relais. Bei diesen Umwandlungsprozessen macht man sich die Tatsache zunutze, daß um einen stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld entsteht, das mit anderen magnetischen Feldern in Wechselwirkung treten kann. Grundsätzlich können aber auch die anziehenden bzw. abstoßenden Kräfte zwischen verschieden elektrisch geladenen Körpern dazu benutzt werden, Bewegungsenergie aus elektrischer Energie zu erhalten.

A.4. MAGNETISMUS

Das Ende einer Kompaßnadel, das unter der Wirkung des erdmagnetischen Feldes nach Norden zeigt, bezeichnet man als magnetischen Nordpol, das nach Süden zeigende entsprechend als Südpol. Die Erfahrung zeigt nun, daß gleichnamige Magnetpole einander abstoßen, während ungleichnamige einander anziehen.

Den besonderen Zustand des Raumes um einen Magneten bezeichnet man als dessen magnetisches Feld. Die magnetischen Feldlinien sind immer in sich geschlossen. Sie gehen vom Nordpol aus und münden in den Südpol (Bild 15).

www.GVIT.de

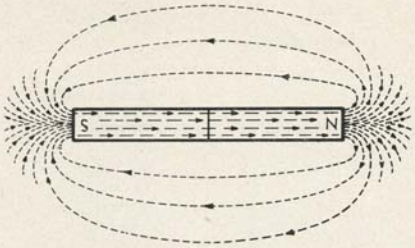

BILD 15
Feldlinienverlauf bei einem Stabmagneten

Die Summe aller Feldlinien, die durch eine Fläche F hindurchtreten (Bild 16), bezeichnet man als magnetischen Fluß Φ. Dieser wird in Maxwell [M] gemessen. Die Zahl der Feldlinien, die durch die Flächeneinheiten durchtreten, heißt Induktion B. Sie wird in Gauß [G] gemessen. 1 G entspricht anschaulich ausgedrückt einer Feldlinie pro 1 cm².

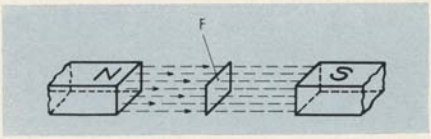

BILD 16
Erläuterung des Begriffs der Feldliniendichte

Stromdurchflossene Leiter besitzen wie Dauermagnete in ihrer Umgebung ein Magnetfeld, dessen Richtung jedoch von der Stromrichtung abhängt. Die Feldlinien bilden um den Leiter konzentrische Kreise in Ebenen senkrecht zum Leiter. Die Feldlinienrichtung kann mit Hilfe der Korkenzieherregel bestimmt werden. Diese lautet: Bohrt man einen Korkenzieher in Stromrichtung, so gibt seine Drehrichtung die Richtung der magnetischen Feldlinien an (Bild 17).

Wenn man einen gestreckten Leiter zu einer Spule mit mehreren Windungen aufwickelt, dann addieren sich die Wirkungen der einzelnen stromdurchflossenen Windungen [w], so daß der magnetische Fluß Φ in der Spule anwächst. Weiter wächst der Fluß mit der Stromstärke I. Mit größer werdendem magnetischem Widerstand R_m wird der magnetische Fluß in und um die Spule kleiner, so daß wir schreiben können:

$$\text{(Gl. 15)} \qquad \Phi = \frac{I \cdot w}{R_m}.$$

www. GVIT .de

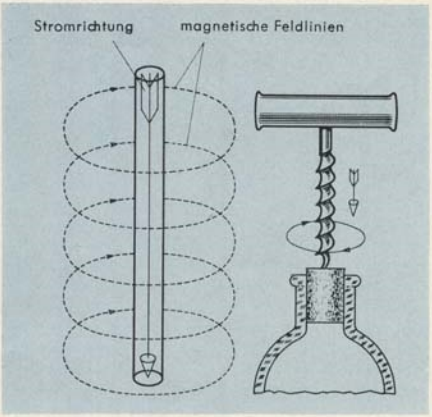

BILD 17
Darstellung der Korkenzieherregel

Der magnetische Widerstand R_m in dieser Gleichung errechnet sich zu:

$$\text{(Gl. 16)} \qquad R_m = \frac{l}{\mu \cdot F}.$$

Der magnetische Widerstand wächst also mit der Länge l des Weges, den die magnetischen Feldlinien zu durchlaufen haben. Er wird kleiner mit wachsendem Flußquerschnitt F und mit wachsender magnetischer Leitfähigkeit μ (Permeabilität) des Stoffes, durch den der Fluß verläuft.

Da die Permeabilität μ im Eisen mehr als 1000mal größer ist als die der Luft, ist der magnetische Fluß Φ in einer Spule mit geschlossenem Eisenkern mehr als 1000mal größer als der von gleichen Spulen ohne Eisen. Die magnetisierende Kraft, die die magnetische Wirkung B hervorruft, bezeichnet man als magnetische Feldstärke H. Sie wird in Oerstedt gemessen [Oe].

Die Zahl, die angibt, wieviel mal größer die Induktion B in Eisen als die Feldstärke H in Luft ist, bezeichnet man als die Permeabilität μ des Eisens. Es gilt also:

$$\text{(Gl. 17)} \qquad \mu = \frac{B}{H}.$$

Da μ in Luft gleich 1 ist, sind B und H in Luft dem Betrage nach gleich.

Die den magnetischen Kraftfluß verstärkende Wirkung des Eisens kommt dadurch zustande, daß unter der Wirkung einer Feldstärke H die in Eisen enthaltenen ungeordneten magnetischen Bereiche (Bild 18), die sich in ihrer Wirkung nach außen aufheben, in eine Richtung orientiert werden. Ihre magnetische Wirkung addiert sich zu der des elektrischen Stromes.

www.GVIT.de

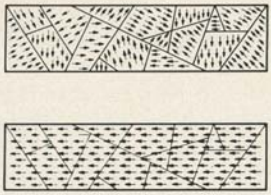

BILD 18
Nicht magnetisiertes und magnetisiertes Eisen

Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß Eisen, bei dem alle Bezirke schon gerichtet sind, keine kraftflußverstärkende Wirkung mehr haben kann. Bild 19 zeigt den Zusammenhang zwischen der magnetischen Induktion B und der Feldstärke H für Eisen (Hystereseschleife). Mit dem Anwachsen der Feldstärke H auf den Wert H_s wächst die Induktion B auf den Wert B_s. Geht H wieder auf den Wert 0 zurück, dann verbleibt eine Induktion von der Größe B_r, da nicht alle magnetischen Bezirke im Eisen wieder durcheinanderfallen und sich so ihre Wirkungen nach außen hin nicht vollständig aufheben. Diesen im Eisen verbleibenden Magnetismus bezeichnet man als Remanenz. Die magnetische Feldstärke $-H_k$, die man aufbringen muß, damit die Induktion wieder auf 0 zurückgeht, nennt man Koerzitivkraft.

Zum bleibenden und vollständigen Entmagnetisieren des Eisens in einer

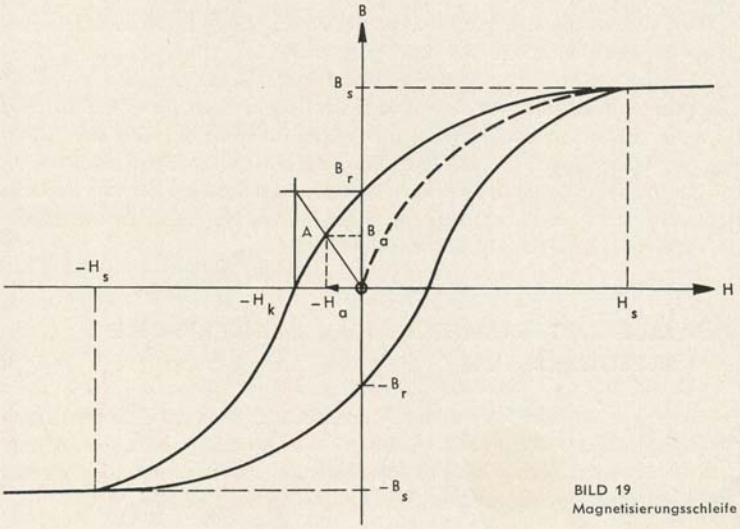

BILD 19
Magnetisierungsschleife

www.GVIT.de

Spule beginnt man mit der Sättigungsfeldstärke H_s und polt mit langsam nach Null gehender Feldstärke fortlaufend die Anschlüsse der Spule um.

Stoffe mit besonders großer Remanenz und besonders hoher Koerzitivkraft bezeichnet man als Dauermagnete. Je größer die beiden genannten Werte sind, um so größer ist die magnetische Energie, die der Magnetwerkstoff enthält.

Der magnetische Zustand eines ringförmig geschlossenen Dauermagneten entspricht dem Remanenzpunkt B_r. Der Remanenzpunkt gibt die Größe der magnetischen Induktion B an, die verbleibt, wenn die Feldstärke H von einem Betrag, der größer als H_s ist, wieder auf 0 zurückgeht. Ist der Ring jedoch durch einen Luftspalt unterbrochen, so wird zunächst der Magnetfluß geschwächt. Diese Schwächung ist als Gegenfeld H_a zu bezeichnen, da es dem im Ring verlaufenden Feld entgegenwirkt. Die Größe der Schwächung des Magneten wird durch das Verhältnis von Luftspaltlänge zu Magnetlänge bestimmt. Trägt man in der Entmagnetisierungskurve (Bild 19) das Gegenfeld $-H_a$ im Luftspalt auf der Abszisse ab, dann gibt der zugehörige Kurvenpunkt A den Arbeitspunkt des magnetischen Systems an. Das Produkt aus B_a mal H_a, der Energieinhalt des Magnetsystems, ist dann am größten, wenn der Arbeitspunkt A mit dem Punkt zusammenfällt, den man erhält, wenn der Schnittpunkt der Parallelen zur Ordinate durch $-H_k$ mit der Parallelen zur Abszisse durch B_r mit dem Koordinatenursprung verbunden wird. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Entmagnetisierungskurve stellt den gesuchten Punkt dar (Bild 19).

Die beschriebene Methode ist ein in der Praxis häufig verwendetes Verfahren, das mathematisch jedoch nicht ganz exakt ist.

Die Fläche, die von der Hystereseschleife umschrieben wird, ist ein Maß für die beim Ummagnetisieren auftretenden Verluste im Eisen. Bei dieser Aussage sind die später noch zu behandelnden Wirbelstromverluste nicht berücksichtigt. Bei Übertragern und bei fast allen anderen elektrischen Einrichtungen, die fortlaufend ummagnetisiert werden, versucht man diese Verluste dadurch möglichst klein zu halten, daß man Eisensorten mit besonders schmaler Hystereseschleife (Dynamoblech) auswählt.

A.5. MESSINSTRUMENTE FÜR ELEKTRISCHE MESSGRÖSSEN

Man erhält einen Meßwert dadurch, daß die Meßgröße mit einer Maßeinheit verglichen wird. Will man z. B. die Länge einer Strecke messen, so stellt man fest, wievielmal die Längeneinheit innerhalb dieser Strecke enthalten ist. Den Gegenstand, der gemessen wird, bezeichnet man als Meßobjekt.

www.GVIT.de

Im allgemeinen ist ein Meßergebnis mehr oder weniger fehlerhaft, da die zum Messen benutzten Geräte und Instrumente meist nicht völlig genau sind. Nur Messungen, die unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden, führen zum gleichen Ergebnis. Die in der Praxis erhaltenen Ergebnisse mehrerer Einzelmessungen an einem Meßobjekt weichen jedoch oft voneinander ab, da die Meßbedingungen über längere Zeit nicht konstant gehalten werden können. Das arithmetische Mittel aus den Einzelmeßwerten stellt um so wahrscheinlicher den richtigen Wert dar, je größer die Zahl der Meßwerte ist. Dabei wird vorausgesetzt, daß in der Meßanordnung keine systematischen Fehler enthalten sind. Das sind solche, die bei jeder Messung gleiche Größe und gleiche Vorzeichen besitzen.

Beim Messen elektrischer Größen schließt man im allgemeinen aus Wirkungen des elektrischen Stromes, die unseren Sinnesorganen wahrnehmbar sind, auf die zu ermittelnden Meßwerte. In den am meisten benutzten Meßinstrumenten der Elektrotechnik übt der Strom, mittelbar über den Magnetismus, ein Drehmoment auf eine Zeigerachse aus. Dadurch wird eine Feder gespannt, die ein Gegendrehmoment verursacht und den Zeiger beim Abschalten des Stromes wieder in seine Nullstellung zurückführt. Damit der den Meßwert anzeigende Zeiger nicht längere Zeit um seine jeweils neue Soll-Lage pendelt, wird im allgemeinen eine Dämpfung vorgesehen.

Auf der Skala von Meßgeräten ist oft ein Klassezeichen angebracht, das die max. Größe des durch die Unvollkommenheit des Meßwerkes und seiner Eichung bewirkten Fehlers angibt. Bei einem Meßgerät der Klasse 1,0 z. B. beträgt dieser Fehler nicht mehr als $\pm$ 1% des Skalen-Endwertes.

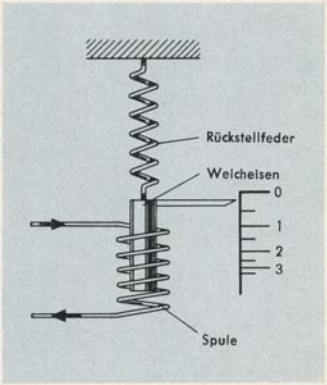

BILD 20
Weicheiseninstrument einfachster Ausführung

www. GVIT .de

Da der Fehlerbetrag gleich einem bestimmten Prozentsatz des Skalenendwertes ist, wird bei Messungen der Meßbereich zweckmäßig so gewählt, daß man im oberen Skalenbereich ablesen kann. Der auf den Meßwert bezogene absolute Anzeigefehler wird dann am kleinsten.

Nach den eingebauten Meßsystemen unterscheidet man im wesentlichen Weicheisen-Meßgeräte und Drehspul-Meßgeräte.

Beim Weicheisen-Meßgerät einfachster Ausführungsform wird eine Spule durch den Meßstrom magnetisiert und zieht ein an einer Feder aufgehängtes Weicheisenstück mehr oder weniger stark an. Der Meßwert wird auf einer Skala durch einen mit dem Eisenstück verbundenen Zeiger (Bild 20) angezeigt. Instrumente der genannten Art sind im allgemeinen sehr überlastungssicher, da die Spule fest gelagert ist und somit aus Draht mit großem Querschnitt gewickelt sein kann.

Das Meßwerk der am meisten benutzten Drehspul-Meßgeräte besteht aus einer rahmenförmig gewickelten Spule (Bild 21), die zwischen den Polen eines Dauermagneten drehbar gelagert ist. Der Kraftlinienweg des Dauermagneten wird durch einen zylindrischen Eisenkern im Inneren der Spule weitgehend geschlossen. Der Zeiger ist starr mit der Spule verbunden. Durch die Wechselwirkung zwischen dem Magnetfeld der stromdurchflossenen Spule und dem

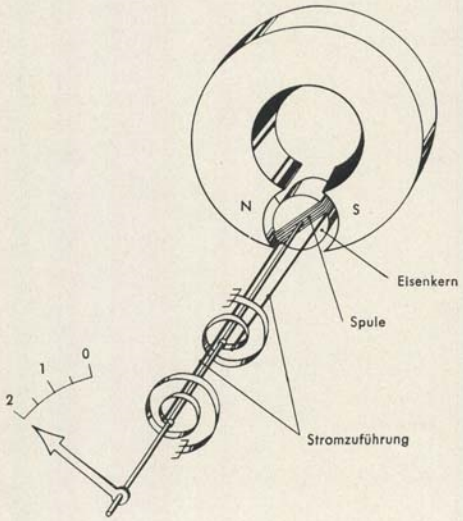

BILD 21
Prinzipieller Aufbau eines Drehspulmeßwerks

www.GVIT.de

des Permanentmagneten entsteht ein der Stromstärke proportionales Drehmoment. Das Gegendrehmoment wird durch Spiralfedern oder durch Torsion eines Aufhängebandes (Spannbandlagerung) bewirkt.

In den Fällen, in denen der Meßbereich eines Strommessers nicht ausreicht, muß der überschüssige Strom über einen Parallelwiderstand am Instrument vorbeigeleitet werden (Bild 22). Nach Kirchhoff verhalten sich dann der Widerstand des Strommessers und der des Parallelwiderstandes umgekehrt wie die hindurchfließenden Ströme. Beträgt z. B. der Meßbereich des Strommessers 100 mA und der zu messende Strom 500 mA, dann müssen 400 mA am Instrument vorbeigeführt werden. Der Parallelwiderstand muß also den vierten Teil des Strommesserwiderstandes betragen.

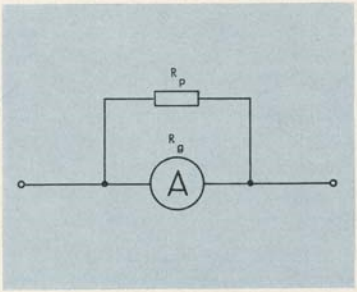

BILD 22
Amperemeter mit Parallelwiderstand

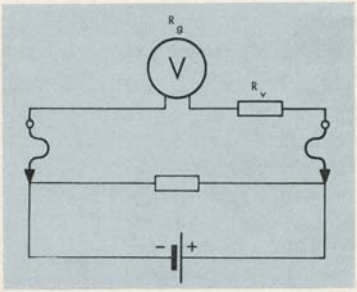

BILD 23
Spannungsmessung mit Vorschaltwiderstand

Wenn der Meßbereich eines Strommessers um den Faktor n erweitert werden soll, dann gilt, wenn der Instrumentenwiderstand mit R_g bezeichnet wird, für den Parallelwiderstand R_p die Formel:

$$\text{(Gl. 18)} \qquad R_p = \frac{R_g}{n-1}.$$

Ein Spannungsmesser muß immer parallel zu dem Schaltelement geschaltet werden, an dem der Spannungsabfall ermittelt werden soll (Bild 23). Damit sein Eigenverbrauch klein bleibt, muß der Innenwiderstand des Meßinstrumentes möglichst groß sein.

Ist die zu messende Spannung größer als der Meßbereich des benutzten Spannungsmessers, dann muß der über den Meßbereich hinausgehende Spannungsabfall durch einen Vorwiderstand vernichtet werden. Sollen zum Beispiel mit einem Instrument, das 100 Volt Endausschlag besitzt, 500 Volt gemessen werden, dann muß der Vorwiderstand so gewählt werden, daß an ihm 400 Volt und am Spannungsmesser 100 Volt abfallen. Da beide Wider-

www. GVIT .de

stände vom gleichen Strom durchflossen werden, und sich die Spannungsabfälle in diesem Fall wie die Widerstände verhalten, muß der Vorwiderstand also viermal größer als der Instrumentenwiderstand sein.

Wenn der Meßbereich eines Spannungsmessers um den Faktor n erweitert werden soll, dann gilt, wenn der Instrumentenwiderstand mit R_g bezeichnet wird, für den vorzuschaltenden Widerstand R_v die Formel:

(Gl. 19) $$R_v = R_g\,(n-1).$$

A.6. TRANSFORMATOR UND DROSSELSPULE

Im Prinzip besteht ein Transformator aus zwei Spulen, von denen die eine, die sogenannte Primärspule, vom Wechselstrom durchflossen wird. Durch den hierdurch erzeugten wechselnden magnetischen Kraftfluß, der durch die dicht neben der ersten angeordneten zweiten Spule hindurchtritt, wird in der zweiten, der sog. Sekundärspule, eine Wechselspannung induziert.

Wie bereits unter A.3.1. „Spannung" gesagt, verursacht jede Änderung des durch eine Leiterschleife hindurchtretenden Kraftflusses in dieser eine Spannung. Solange die Sekundärspule nicht belastet ist, nimmt die Primärspule einen solchen Strom auf, daß der sich ändernde magnetische Fluß in der Primärspule eine Gegenspannung erzeugt, welche die angelegte Spannung gerade kompensiert. Die in der Sekundärspule induzierte Spannung ist um nahezu 180° gegenüber der angelegten Spannung phasenverschoben (Bild 24). Der Primärstrom eilt der angelegten Spannung um fast 90° nach.

Wird nun an die Sekundärspule ein Ohmscher Widerstand als Verbraucher angeschlossen, so beginnt auch in ihr ein Strom zu fließen, der den durch die Spule hindurchfließenden magnetischen Kraftfluß schwächt. Da das Spannungsgleichgewicht auf der Primärseite aber erhalten bleiben muß, muß auch der sich ändernde magnetische Kraftfluß seine ursprüngliche Größe behalten. Dies ist aber nur der Fall, wenn die Stromaufnahme primärseitig entsprechend ansteigt.

Da bei Vernachlässigung auftretender Verluste die vom Primärstromkreis aufgenommene Leistung gleich der vom Sekundärstromkreis abgegebenen ist, und da weiter die in den Spulen induzierten Spannungen den Windungszahlen proportional sind, gilt:

(Gl. 20) $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{U_2}{U_1}.$$

Das Verhältnis der Ströme ist gleich dem umgekehrten Verhältnis der Windungszahlen und ferner gleich dem umgekehrten Verhältnis der Spannungen.

www.GVIT.de

Das Windungszahlenverhältnis eines Transformators bezeichnet man als dessen Übersetzungsverhältnis.

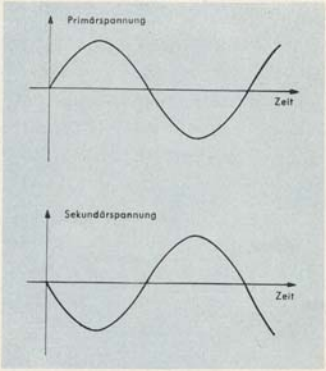

BILD 24
Phasenverschiebung zwischen Primär- und Sekundärspannung eines Transformators

In der Fernmeldetechnik nennt man kleine Transformatoren, die zur magnetischen Kopplung von Sprechkreisen u. ä. dienen, Übertrager. Außer zur Strom- und Spannungstransformation kann man sie auch zur leistungsmäßigen Anpassung einer Wechselspannungsquelle benutzen. Die Leistungsaufnahme aus einer Stromquelle ist nämlich dann am größten, wenn der Verbraucherwiderstand gleich dem Innenwiderstand der Stromquelle ist. Mit Hilfe von Übertragern ist es nun möglich, Widerstände anders erscheinen zu lassen. Ist z. B. das Übersetzungsverhältnis eines Transformators gleich 2:1, dann ist die Sekundärspannung halb so groß wie die Primärspannung, während der Sekundärstrom doppelt so groß ist wie der Primärstrom. Da nach dem Ohmschen Gesetz $R = \frac{U}{I}$ ist, erscheint der auf der Sekundärseite mit R_2 abgeschlossene Transformator an den Primärklemmen als viermal größerer Widerstand R_1.

Aus diesen Überlegungen ist zu erkennen, daß sich der Primärwiderstand R_1 und der Sekundärwiderstand R_2 wie das Quadrat des Übersetzungsverhältnisses verhalten. Es gilt die Formel:

(Gl. 21) $$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2.$$

Durch entsprechende Wahl des Übersetzungsverhältnisses können also verschiedene Widerstände, wie z. B. ein Verstärkerausgang und eine Fernmeldeleitung, einander angepaßt werden.

Die verschiedenen Spulen eines Transformators sind meist auf einen ringförmig geschlossenen Eisenkern aufgebracht (Bild 25), damit möglichst alle

www.GVIT.de

Feldlinien der Primärspule durch die Sekundärspule hindurchtreten. Um das Fließen starker Wirbelströme im Eisenkern zu vermeiden, wird dieser aus gegeneinander elektrisch isolierten Blechen zusammengesetzt oder aus einem Material mit guten magnetischen Eigenschaften (zum Beispiel Ferrit) aufgebaut.

Ein durch eine Spule fließender zeitlich veränderlicher Strom erzeugt einen zeitlich veränderlichen magnetischen Kraftfluß. Dieser induziert in derselben Spule eine Spannung, die nach dem sog. Lenzschen Gesetz so gerichtet ist, daß sie die Ursache ihrer Entstehung zu verhindern sucht. Das heißt, im

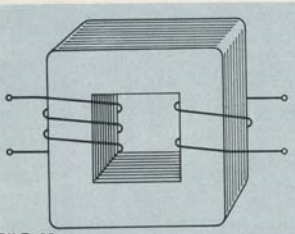

BILD 25
Prinzipieller Aufbau eines Transformators

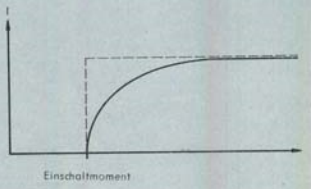

BILD 26
Stromverlauf bei Einschaltung einer Drosselspule

Moment des Einschaltens ist das Vorzeichen der induzierten Spannung dem der außen angelegten Spannung entgegengesetzt. Der sofortige Anstieg des Stromes in der Spulenwicklung auf den Wert, der sich nach dem Ohmschen Gesetz aus Spulenwiderstand und angelegter Spannung ergeben würde (gestrichelte Kurve im Bild 26), wird also zeitlich verzögert.

Beim Ausschalten hat die induzierte Spannung das gleiche Vorzeichen wie die angelegte Spannung. Sie versucht, das Absinken der Stromstärke möglichst lange zu verzögern. Dies kann an der Unterbrechungsstelle zur Ausbildung eines Lichtbogens, dem sogenannten Öffnungsfunken, Anlaß geben. Den beschriebenen Selbstinduktionseffekt kann man mit der Trägheit eines Körpers vergleichen. Ein solcher versucht immer, den gerade bestehenden Zustand der Bewegung oder Ruhe aufrechtzuerhalten.

Die Selbstinduktion L wird durch die Formel

$$\text{(Gl. 22)} \qquad U = -L \frac{di}{dt}$$

definiert. Darin bedeutet U die induzierte Spannung und $\frac{di}{dt}$ das Steigungsmaß der Stromstärke-Zeitkurve. Die Selbstinduktion wird in der Einheit

www.GVIT.de

Henry [H] gemessen. Ein Leiter, in dem bei einer gleichmäßigen Stromstärkeänderung um 1 A in 1 s eine Spannung von 1 V induziert wird, hat 1 H.

Eine Spule mit hoher Selbstinduktion und geringem Ohmschen Widerstand wird im allgemeinen als Drosselspule bezeichnet. Die Größe der Selbstinduktion einer Spule wächst mit der Windungszahl, weil mit größerer Windungszahl ein stärkeres Magnetfeld erzeugt wird, und außerdem die induzierte Gegenspannung die Summe aus den in den einzelnen Windungen induzierten Spannungen darstellt. Bei ringförmigen Spulen besteht eine quadratische Abhängigkeit zwischen Selbstinduktion und Windungszahl. Weiter hängt die Selbstinduktion L einer Spule von dem magnetischen Widerstand des Kraftlinienweges ab. Je kleiner der magnetische Widerstand wird, um so größer wird die Selbstinduktion. Demzufolge wächst die Selbstinduktion einer Spule ohne Kern, wenn man einen Eisenkern in sie hineinschiebt.

Der Gleichstromwiderstand einer Drosselspule hängt lediglich von der Länge, dem Querschnitt und der Art des Materials ab, aus dem der Spulendraht besteht. Wird Wechselspannung an eine Drosselspule angelegt, dann zeigt sich, daß mit steigender Frequenz immer weniger Strom durch die Spule hindurchfließt. Der Widerstand wächst also mit der Frequenz. Mit Drosselspulen kann man beispielsweise bei pulsierendem Gleichstrom den pulsierenden Anteil drosseln.

A.7. KONDENSATOR

Kondensatoren, wie sie in der Technik gebraucht werden, bestehen meist aus zwei leitenden Platten oder Folien, die durch eine dazwischenliegende Isolierschicht elektrisch voneinander getrennt sind. Bei Rollblockkondensatoren benutzt man als Isolierschicht gewachstes Papier oder Kunststoff-Folien. Die sogenannten MP-Kondensatoren bestehen aus Papier, auf das die Metallbeläge aufgedampft sind. Wenn ein Kondensator dieser Ausführungsform infolge zu hoher Betriebsspannung durchschlägt, so verdampft der Metallbelag um die Durchschlagstelle und unterbricht damit den Kurzschlußstromkreis sofort wieder. Der Kondensator bleibt also betriebsbereit.

Bei Elektrolytkondensatoren besteht der eine Leiter aus Metall, der andere wird durch die elektrolytische Flüssigkeit oder einen festen Elektrolyt dargestellt. Eine dünne isolierende Schicht auf der Metalloberfläche trennt beide Leiter voneinander.

Wird ein Kondensator über einen Widerstand mit einer Gleichspannungsquelle verbunden, dann fließt nur so lange Strom, bis die Spannung zwischen den beiden Kondensatorbelägen gleich der angelegten Spannung ist. Wenn dagegen eine Wechselspannungsquelle angeschaltet wird, dann fließt schein-

www.GVIT.de

bar ein Strom durch den Kondensator hindurch. Es handelt sich dabei jedoch nur um den Auf- und Umladestrom. Ladungsträger gelangen weder im Gleichstrom- noch im Wechselstromfalle von dem einen zum anderen Kondensatorbelag.

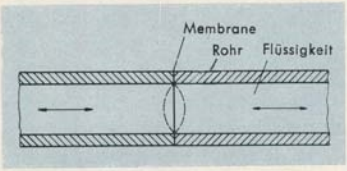

BILD 27
Anschaulicher Vergleich zur Erklärung der Wirkungsweise des Kondensators

Ein anschauliches Beispiel für die Wirkung eines Kondensators im elektrischen Stromkreis ist durch eine Membrane in einem Wasserleitungsrohr gegeben (Bild 27).

Wird an einem Ende des Rohres ein Überdruck erzeugt, dann fließt nur solange Wasser durch das Rohr, bis die Membrane infolge Durchbiegung einen dem Überdruck entsprechenden Spannungszustand erreicht hat. Wenn dagegen die zwischen den Enden des Rohres bestehende Druckdifferenz fortlaufend ihr Vorzeichen ändert, dann ist eine andauernde Strömung wechselnder Richtung in der Rohrleitung zu beobachten, ohne daß Wasserteilchen von der einen Seite der Membrane auf die andere gelangen.

Die Kapazität, das Fassungsvermögen eines Kondensators, wird in der Einheit Farad [F] gemessen. Ein Kondensator hat die Kapazität 1 F, wenn eine Spannungsänderung von 1 V die Ladungsmenge 1 Amperesekunde [As] fließen läßt.

Es gilt die Formel:

$$\text{(Gl. 23)} \qquad C = \frac{Q}{U}.$$

In dieser Formel bedeutet C die in Farad gemessene Kapazität eines Kondensators, Q die in Amperesekunden gemessene Ladungsmenge. Die Spannung U wird in Volt gemessen.

Für die Parallelschaltung von Kondensatoren gilt:

$$\text{(Gl. 24)} \qquad C_g = C_1 + C_2 + \dots C_n.$$

Die Gesamtkapazität C ist also gleich der Summe aller parallelgeschalteten Einzelkapazitäten C_n.

Für die Reihenschaltung von Kondensatoren gilt die Formel:

$$\text{(Gl. 25)} \qquad \frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_n}.$$

www.GVIT.de

Kondensatoren kann man zum Trennen von Gleich- und Wechselströmen benutzen, da sie für Gleichströme undurchlässig sind, Wechselströme genügend hoher Frequenz jedoch gut hindurchlassen.

A.8. WIRK-, BLIND- UND SCHEINWIDERSTAND

Eine Drosselspule setzt Gleichstrom einen Widerstand entgegen, dessen Betrag sich nach Gl. 4 aus der Länge, dem Querschnitt und dem Material des aufgewickelten Drahtes errechnen läßt. Eine verlustfreie Drosselspule – das ist eine gedachte Drossel, die mit einem Draht bewickelt ist, der keinen Widerstand besitzt, und in dessen Eisenkern keine Wirbelströme und keine Ummagnetisierungsverluste auftreten – besitzt wegen der auftretenden Selbstinduktion gegenüber Wechselstrom einen induktiven Blindwiderstand R_L, der mit der Frequenz f und der Induktivität L der Drosselspule anwächst.

Es gilt:

(Gl. 26) $$R_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L.$$

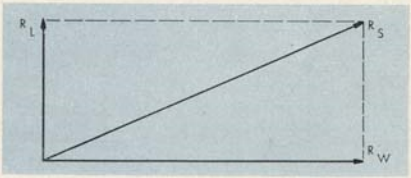

BILD 28
Geometrische Addition von Blind- und Wirkwiderstand bei einer Induktionsspule

Während man den durch immer vorhandene Verluste bedingten Widerstandsanteil einer Drosselspule als deren Wirkwiderstand R_w bezeichnet, nennt man den nach obiger Formel errechneten Widerstandsanteil ihren induktiven Blindwiderstand R_L. Die Verluste setzen sich zusammen aus Kupfer- und Eisenverlusten.

Blind- und Wirkwiderstand geometrisch addiert (Bild 28) ergeben den sogenannten Scheinwiderstand R_s. Das ist der Widerstand, den eine Drosselspule scheinbar gegenüber Wechselstrom besitzt. Nach dem Ohmschen Gesetz errechnet er sich zu

(Gl. 27) $$R_s = \frac{U}{I_s}.$$

Bei einer verlustfreien Drossel ist der Scheinwiderstand R_s gleich dem Blindwiderstand R_L, weil in diesem Fall der Wirkwiderstand R_w gleich Null ist.

Der Gleichstromwiderstand eines verlustfreien Kondensators ist unendlich hoch. Sein kapazitiver Wechselstromwiderstand R_C fällt mit steigender Frequenz f und größer werdender Kapazität C des Kondensators immer mehr ab.

www.GVIT.de

Es gilt:

$$\text{(Gl. 28)} \qquad R_C = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C}.$$

Bild 29 zeigt die Vektordarstellung der Schein-, Blind- und Wirkwiderstände einer Reihenschaltung aus Induktivität L, Kapazität C und Ohmschem Widerstand R.

$$\text{(Gl. 29)} \qquad R_{Bl} = R_L - R_C$$

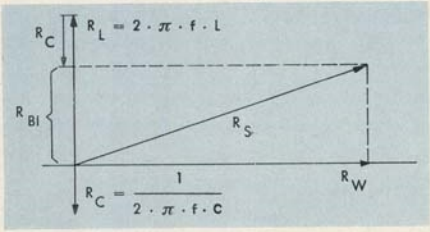

BILD 29
Geometrische Addition von Blind- und Wirkwiderständen in einer Reihenschaltung aus Induktivität, Kapazität und Ohmschem Widerstand

Der Scheinwiderstand R_S dieser Kombination errechnet sich nach der Gleichung:

$$\text{(Gl. 30)} \qquad R_S = \sqrt{(2\,\pi\,f\,L - \frac{1}{2\,\pi\,f\,C})^2 + R^2}.$$

Den Begriffen Wirk-, Blind- und Scheinwiderstand entsprechen die Begriffe Wirk-, Blind- und Scheinleistung. Wirkleistung ist die im zeitlichen Mittel der Stromquelle wirklich entnommene Leistung. Diese wird also für dauernd in eine andere Energieform umgewandelt.

Unter Blindleistung versteht man die Energie, die pro Zeiteinheit zwischen Verbraucher und Generator hin- und herpendelt. Innerhalb eines bestimmten Zeitraumes der Gesamtperiode wird elektrische Energie in magnetische oder elektrostatische Energie umgewandelt; in einem anderen Zeitraum der gleichen Periode läuft der Vorgang in umgekehrter Richtung ab. Bei diesen Vorgängen wird jedoch keine elektrische Energie bleibend in eine andere Energieform umgewandelt.

Unter Scheinleistung versteht man die geometrische Summe aus Blind- und Wirkleistung.

Eine verlustfreie Drosselspule oder ein verlustfreier Kondensator entnehmen einer Wechselspannungsquelle keine Energie, die bleibend in eine andere Energieform, wie z. B. Wärmeenergie, umgewandelt wird. In diesen Fällen ist also die Scheinleistung gleich der Blindleistung.

In Wechselstromkreisen können demzufolge verlustarme Drosselspulen und Kondensatoren als Vorwiderstände benutzt werden, die der Stromquelle fast keine Energie entziehen, an denen aber dennoch ein Spannungsabfall auftritt.

www.GVIT.de

A.9. SCHWINGKREISE UND FILTER

Eine Massekugel am Ende einer eingespannten Blattfeder stellt ein schwingungsfähiges Gebilde dar (Bild 30). Wird die Kugel nach einer Seite hin ausgelenkt und anschließend sich selbst überlassen, so führt sie Schwingungen um ihre Ruhelage aus. Die beim Auslenken gespeicherte potentielle Federenergie setzt sich zunächst in Bewegungsenergie um. Die Kugel kehrt in ihre Ruhelage zurück, schwingt aber über diese hinaus, so daß die Bewegungsenergie der Kugel wiederum als potentielle Energie in der Feder gespeichert wird. Die gespannte Feder setzt die Kugel nunmehr in umgekehrter Richtung

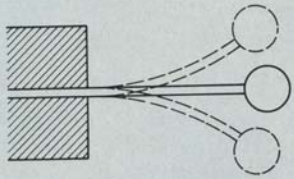

BILD 30
Mechanischer Schwingungsvorgang

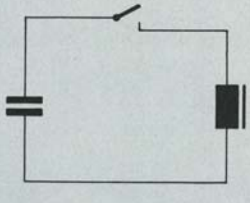

BILD 31
Elektrischer Schwingkreis

in Bewegung, und die beschriebenen Vorgänge wiederholen sich in periodischer Folge so lange, bis alle Energie durch Reibung an der umgebenden Luft und innerhalb des Kristallgefüges der Feder verbraucht ist.

Schalten wir einen geladenen Kondensator parallel zu einer Drosselspule, so kommt eine elektrische Schwingung zustande (Bild 31). Der Kondensator entlädt sich zunächst über die Spule und baut damit in ihr ein Magnetfeld auf. Nachdem der Ladungsausgleich zwischen den beiden Kondensatorbelägen beendet ist, bricht das Magnetfeld zusammen, es ändert sich also. Dadurch wird in der Drosselspule eine Spannung induziert, die den Kondensator mit umgekehrtem Vorzeichen wieder auflädt. Im weiteren Verlauf der Schwingung wandelt sich die elektrische Energie des geladenen Kondensators in magnetische Energie in der Drosselspule um. Diese Vorgänge wiederholen sich, bis durch die immer vorhandenen Verluste die gesamte Energie aufgebraucht ist. Dabei entspricht die elektrische und magnetische Energie der potentiellen und kinetischen Energie mechanischer Schwingungssysteme.

Die Eigenfrequenz eines solchen verlustfreien elektrischen Schwingkreises errechnet sich nach der Thomsonschen Schwingungsformel zu:

www. GVIT .de

$$\text{(Gl. 31)} \qquad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]},$$

L bedeutet in dieser Formel die Induktivität der Drosselspule in Henry [H] und C die Kapazität des Kondensators in Farad [F].

Wird ein Schwingkreis, der aus einer verlustfreien Kapazität mit parallelgeschalteter verlustfreier Induktivität besteht und der die Eigenfrequenz f besitzt, an eine Wechselspannungsquelle mit der Frequenz f_w angeschlossen, dann führt der Kreis erzwungene Schwingungen aus. In dem Fall, in dem $f = f_w$ ist, liegt Stromresonanz vor, und der Schwingkreis besitzt unendlich hohen Widerstand (Bild 32). Der Kreis nimmt also aus der Wechselspannungs-

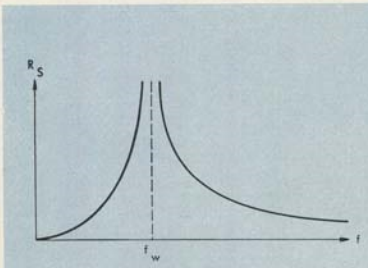

BILD 32
Resonanzkurve einer Parallelschaltung aus verlustfreier Kapazität und Induktivität

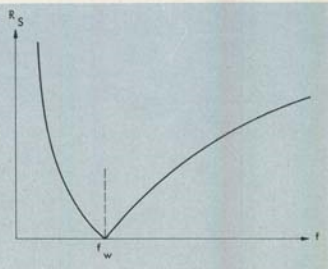

BILD 33
Resonanzkurve einer Reihenschaltung aus verlustfreier Kapazität und Induktivität

quelle keine Energie auf, während in ihm selbst jedoch beträchtliche Ströme fließen.

Wird ein Schwingkreis, der aus einer verlustfreien Induktivität L und einer damit in Reihe geschalteten verlustfreien Kapazität C besteht, an eine Wechselspannungsquelle angeschlossen, dann tritt, wenn die Frequenz der Wechselspannungsquelle gleich der Frequenz des Schwingkreises ist, sogenannte Spannungsresonanz auf. Der Widerstand des Schwingkreises ist in diesem Fall gleich Null (Bild 33). Wenn es sich jedoch nicht, wie es in der Praxis immer der Fall ist, um verlustfreie Induktivitäten und Kapazitäten handelt, dann ist der Resonanzwiderstand im Falle der Spannungsresonanz größer als Null und im Falle der Stromresonanz kleiner als Unendlich.

Beeinflussen sich zwei oder mehr Schwingungskreise gegenseitig, so spricht man von gekoppelten Kreisen. Die gegenseitige Kopplung kann galvanisch oder über das elektrische oder magnetische Feld vorgenommen werden.

Zur Sperrung und zur Aussiebung unterschiedlicher Frequenzen benutzt man Kombinationen aus Induktivitäten und Kapazitäten, sogenannte Filter.

www.GVIT.de

Im wesentlichen unterscheidet man drei verschiedene Filterarten. Der sogenannte Tiefpaß läßt alle tiefen Frequenzen fast ungeschwächt passieren, sperrt aber von einer bestimmten Frequenz ab die darüberliegenden. Der Bandpaß ist für einen mehr oder weniger großen Frequenzbereich durchlässig; Frequenzen über oder unterhalb dieses Bereiches sperrt er. Ein Hochpaß ist für hohe Frequenzen durchlässig, jedoch nicht für Frequenzen unterhalb einer bestimmten Grenze. Einen Hochpaß kann man beispielsweise dazu benutzen, störende induzierte Spannungen aus 50-Hz-Netzen von Leitungen fernzuhalten, die zur Sprachübertragung dienen.

Im allgemeinen sind Filter elektrische Vierpole, die aus Induktivitäten, Kapazitäten und Ohmschen Widerständen aufgebaut sind. Es ist auch möglich, Filter aufzubauen, die nur aus Kapazitäten und Ohmschen Widerständen bestehen.

Unter einem Vierpol versteht man eine Schaltanordnung, die zwei Pole am Eingang und zwei Pole am Ausgang besitzt. Neben den Filtern stellen die der Sprachübertragung dienenden Doppelleitungen, Übertrager und Verstärker weitere Vierpole dar. Wenn alle Bauelemente, aus denen sich ein Vierpol aufbaut, von der Stromstärke unabhängig sind, dann spricht man von einem linearen Vierpol. Ein Vierpol, in dem keine Energiequellen enthalten sind, bezeichnet man als passiven Vierpol. Einen solchen, der Energiequellen enthält, nennt man aktiven Vierpol.

A.10. GLEICHRICHTER

Unter Gleichrichtern versteht man Bauelemente mit einem von der Stromrichtung abhängigen Widerstand. Im allgemeinen ist für einen Strom in der einen Richtung der Widerstand eines Gleichrichterelementes sehr niedrig, während er für einen Strom in der anderen Richtung sehr hoch ist.

Mit Hilfe eines Gleichrichters kann nach Bild 34 Wechselstrom in pulsierenden Gleichstrom umgewandelt werden. Die Halbwellen eines Vorzeichens werden dabei nahezu vollständig weggeschnitten (Bild 35).

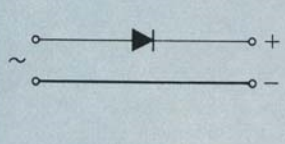

BILD 34
Einweggleichrichterschaltung

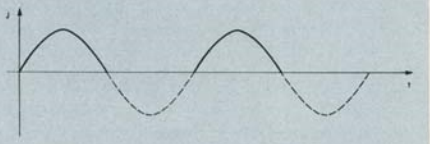

BILD 35
Pulsierender Gleichstrom durch Einweggleichrichtung

www. GVIT .de

Die Mittelpunkt-Gleichrichterschaltung nach Bild 36 und die Graetz-Gleichrichterschaltung nach Bild 37 klappen, anschaulich ausgedrückt, alle Halbwellen in den Bereich eines Vorzeichens und wandeln so Wechselstrom in pulsierenden Gleichstrom um (Bild 38).

In der Fernmeldetechnik werden als Gleichrichterelemente vor allem Vakuumröhren, Plattengleichrichter und Kristalldioden benutzt. Die Vakuum-

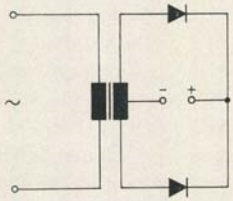

BILD 36
Mittelpunkt-Gleichrichterschaltung

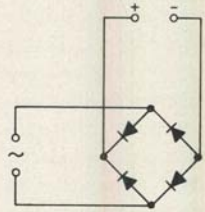

BILD 37
Graetzschaltung

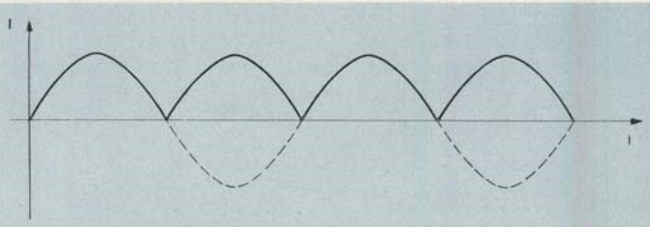

BILD 38 Pulsierender Gleichstrom durch Zweiweggleichrichtung

röhre besteht im wesentlichen aus einem geschlossenen Glasgefäß, aus dem die Luft fast vollständig herausgepumpt worden ist. Ein Draht, der von außen elektrisch aufgeheizt werden kann, bildet die eine Elektrode (Bild 39). Die

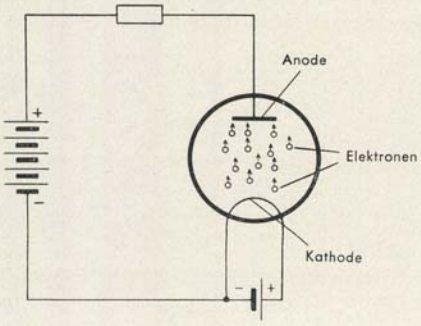

BILD 39
Gleichrichterröhre, die in Durchlaßrichtung betrieben wird

www.GVIT.de

andere Elektrode wird durch eine großflächige Metallplatte dargestellt. Beim Erhitzen des Drahtes wird die mittlere Geschwindigkeit der in ihm enthaltenen freien Elektronen stark erhöht. Ein Teil von ihnen wird dadurch in die Lage versetzt, aus der Drahtoberfläche auszutreten. Liegt nun zwischen den beiden Elektroden eine Spannung derart an, daß der geheizte Draht negatives und die andere Elektrode positives Potential besitzt, dann fließt ein Elektronenstrom von dem geheizten Draht, der Kathode, zu der anderen Elektrode, der sogenannten Anode.

Mit zunehmender Anodenspannung wächst der von der Kathode zur Anode fließende Strom so lange an, bis alle aus der Kathode austretenden Elektronen zur Anode gelangen. Eine weitere Stromverstärkung ist dann nur noch durch Spannungserhöhung und zusätzliches stärkeres Heizen der Kathode möglich. Es werden dann mehr Elektronen pro Zeiteinheit aus der Kathodenoberfläche emittiert, so daß bei entsprechend hoher Anodenspannung auch ein stärkerer Elektronenstrom fließen kann.

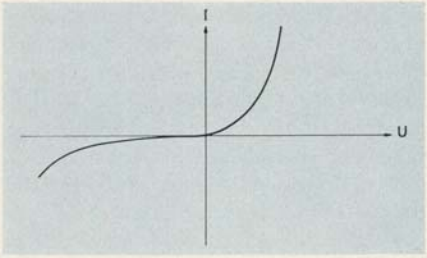

BILD 40
Stromspannungskennlinie eines Selengleichrichters

Wird das Vorzeichen der zwischen Anode und Kathode anliegenden Spannung umgekehrt, dann fließt kein Strom durch die Röhre, da aus der jetzt zwar negativen, aber ungeheizten Anode Elektronen nicht heraustreten können.

Der am meisten zur Anwendung kommende Plattengleichrichter besteht aus einer dünnen, gut leitenden Selenschicht, auf die beidseitig je ein großflächiger metallischer Kontakt aufgebracht ist. Der Kontakt der einen Seite ist als stabile Grundplatte ausgebildet. Die Grenzschicht zwischen dem Selen und dem Selenid an der Oberfläche des zweiten Kontaktes ist in einer Richtung wesentlich besser stromdurchlässig als in der anderen. Im Bild 40 ist der durch einen solchen Selengleichrichter hindurchfließende Strom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung wiedergegeben.

Wenn mit Hilfe von Selengleichrichtern höhere Spannungen gleichgerichtet werden sollen, dann müssen mehrere Platten hintereinandergeschaltet werden, da eine Platte nur Spannungen bis etwa 40 Volt sperrt.

In Schaltanordnungen der Fernmeldetechnik werden in letzter Zeit immer mehr Kristallgleichrichter angewandt. In ihrer einfachsten Ausführungs-

www.GVIT.de

form bestehen diese aus einem Germanium- oder Siliciumscheibchen, auf das eine Leiterspitze aufgesetzt oder aufgelötet ist. Die dabei für die Gleichrichterwirkung verantwortlich zu machenden Vorgänge lassen sich am besten am Germaniumkristall erklären.

Ein idealer Germaniumkristall ist bei Raumtemperatur ein sehr schlechter elektrischer Leiter, da in ihm die für die Stromleitung notwendigen freien Ladungsträger nur in geringer Zahl vorhanden sind. Freie Ladungsträger in großer Menge können aber dadurch in das Germanium gebracht werden, daß man dieses durch ein chemisches Element verunreinigt, das 3 bzw. 5 Valenzelektronen besitzt. Germanium hat 4 Valenzelektronen. Wird ihm nun beispielsweise ein Stoff zugesetzt, der 5 Valenzelektronen besitzt, dann bilden 4 der insgesamt 5 Valenzelektronen des zugefügten Stoffes mit den Valenzelektronen der 4 räumlich benachbarten Germaniumatome Elektronenpaare. Das übrigbleibende fünfte Elektron wird zu einem freien Elektron. Diese verunreinigte Germaniumart bezeichnet man, da freie negative Ladungsträger darin im Überschuß vorhanden sind, als n-leitendes Germanium. Wenn dagegen zum Verunreinigen ein Stoff mit nur 3 Valenzelektronen benutzt wird, dann bilden diese 3 Elektronen mit 3 der 4 räumlich benachbarten Germaniumatome wieder Elektronenpaare. An einer Stelle fehlt nun aber ein Elektron; es besteht ein Mangel an negativer Ladung. Diese als Loch bezeichnete Stelle verhält sich wie ein positiver Ladungsträger. In einem elektrischen Feld bewegt es sich vom positiven zum negativen Pol, indem jeweils von einer benachbarten Stelle ein Elektron in das Loch springt und damit selbst wieder ein räumlich zum negativen Pol hin versetztes Loch hinterläßt. Germanium, in dem die Löcherleitung gegenüber der Elektronenleitung überwiegt, bezeichnet man als p-leitendes Germanium.

Zum Gleichrichten ist eine Grenzschicht zwischen p- und n-leitendem Germanium notwendig. Wenn senkrecht zu dieser Grenzschicht eine elektrische Spannung an den Kristall angelegt wird (Bild 41), und zwar so, daß der positive Pol mit dem n-Bereich verbunden ist, dann werden die Elektronen im n-leitenden Germanium und die Löcher im p-leitenden Germanium von der Grenzschicht weggezogen. Da beide Ladungsträgerarten dann nicht

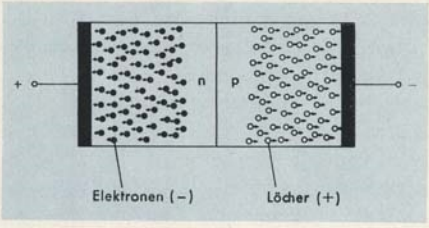

BILD 41
Elektronen- und Löcherleitung im Germaniumkristall

www.GVIT.de

nachgeliefert werden können, besitzt der Kristall in diesem Falle einen sehr hohen elektrischen Widerstand. Wird aber die Polarität der anliegenden Spannung umgekehrt, dann werden die freien Elektronen im n-leitenden Germanium und die Löcher im p-leitenden Germanium aufeinander zugetrieben. In diesem Falle hat der Kristall einen sehr niedrigen Widerstand, da aus der Zuleitung fortlaufend Ladungsträger nachgeliefert werden können.

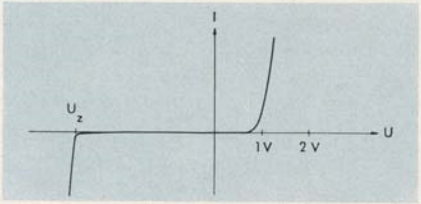

BILD 42 Stromspannungskennlinie einer Silicium-Zener-Diode

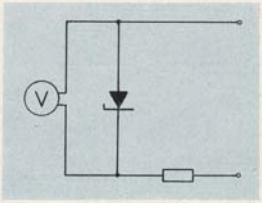

BILD 43 Überspannungsschutz durch Zener-Diode

Im Bild 42 ist die Stromspannungskennlinie einer sogenannten Silicium-Zener-Diode wiedergegeben. Dieser Diodentyp wird in Durchlaßrichtung erst ab Spannungen über ca. 0,7 Volt und in Sperrichtung erst ab der sogenannten Zener-Spannung U_z merklich stromdurchlässig. Zener-Dioden eignen sich besonders gut zum Begrenzen bzw. Konstanthalten von Spannungen. Bild 43 zeigt eine Anordnung, bei der ein Spannungsmesser durch eine parallelgeschaltete Zener-Diode vor Überlastung geschützt wird. Die Spannung am Spannungsmesser kann bei dieser Schaltung die Zener-Spannung nur unwesentlich überschreiten.

A.11. VERSTÄRKER UND SCHALTER

Unter einem Verstärker versteht man in der Fernmeldetechnik im allgemeinen eine Anordnung, bei welcher durch eine zeitlich sich ändernde geringe Leistung eine vergleichsweise hierzu hohe Leistung möglichst verzögerungsfrei so gesteuert wird, daß sie von einem festen Bezugswert in ähnlicher Weise wie die Steuerleistung abweicht. Ein Verstärker stellt somit einen durch äußere Einwirkung veränderbaren Widerstand dar.

Wenn bei einem Verstärker die beiden extremen Widerstandswerte „Null" und „Unendlich" jeweils für längere Zeit bestehen und der durch eine schwache Steuerleistung eingeleitete Übergang zwischen diesen Werten rasch vonstatten geht, dann spricht man von einem Schalter.

Es gibt eine ganze Reihe elektronischer Bauelemente, die sich für Ver-

www.GVIT.de

stärker und Schaltaufgaben verwenden lassen. Die größte Bedeutung im Bereich der Fernmeldetechnik haben Vakuumröhren, Transistoren und magnetische Verstärker erlangt.

Befindet sich in dem von der Kathode zur Anode verlaufenden Elektronenstrom einer Gleichrichterröhre eine mit Durchlaßöffnung versehene dritte Elektrode, ein sogenanntes Steuergitter, dann gelingt es auf einfache Weise, die Stärke des Elektronenstromes zu beeinflussen (Bild 44). Ist das Gitter

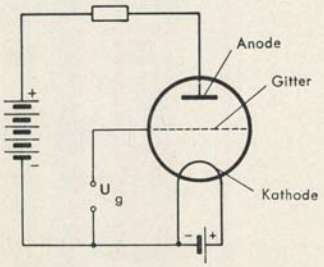

BILD 44
Einfache Röhrenverstärkerschaltung

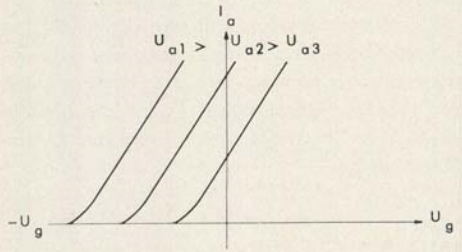

BILD 45
I_a-U_g-Kennlinien einer Triode

gegenüber der Kathode positiv aufgeladen, dann übt es auf die aus der Kathode austretenden Elektronen eine anziehende Wirkung aus und verstärkt damit den Anodenstrom. Ist dagegen das Gitter gegenüber der Kathode negativ aufgeladen, dann wird wegen der abstoßenden Wirkung zwischen gleichnamigen Ladungen der Elektronenstrom geschwächt und bei genügend hoher negativer Gitterspannung ganz unterbunden. Im Bild 45 ist die Abhängigkeit des Anodenstromes I_a von der Gittervorspannung U_g wiedergegeben. Als Parameter ist die Anodenspannung U_a aufgetragen. Wird nun die Anodenspannung so gewählt, daß der geradlinige Teil der Kennlinie im Bereich negativer Gittervorspannung liegt, dann kann die Intensität des Anodenstromes leistungslos gesteuert werden. Am Steuergitter braucht ledig-

www.GVIT.de

lich die Spannung gegen die Kathode verändert zu werden. Bei geeigneter Dimensionierung kann an einem im Anodenstromkreis liegenden Widerstand eine verstärkte Spannung abgenommen werden, die in ihrer zeitlichen Abhängigkeit der am Gitter anliegenden Spannung entspricht. Weiterhin können mit Hilfe einer solchen Röhre Ströme fast verzögerungsfrei ein- und ausgeschaltet werden.

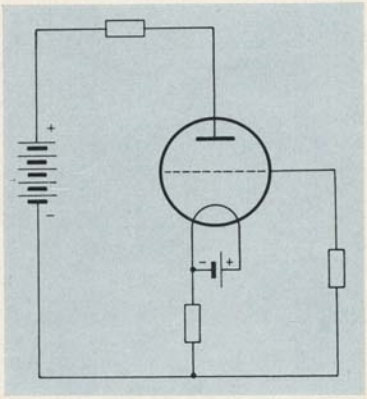

BILD 46
Automatische Gittervorspannungserzeugung durch Kathodenwiderstand im Verstärker

Die notwendige Gittervorspannung, mit deren Hilfe der Arbeitspunkt der Röhre in den negativen Gitterspannungsbereich verschoben wird, erzeugt man bei Röhrenverstärkern im allgemeinen mit Hilfe eines in der Kathodenzuleitung liegenden Widerstandes (Bild 46). Dabei ist das Gitter um den Betrag des Spannungsabfalles an diesem Widerstand negativ gegenüber der Kathode.

Die Verstärkung einer Röhre ist verzerrungsfrei, solange die um den Arbeitspunkt schwankende Gitterspannung nicht über den geradlinigen Teil der Kennlinie hinausgeht.

In den Fällen, in denen das Gitter der Röhre positiv gegenüber der Kathode ist, nimmt es wie die Anode Elektronen auf. Es fließt also ein Gitterstrom. Eine leistungslose Anodenstromsteuerung ist in diesem Bereich nicht mehr möglich.

Einen Transistor kann man sich aus einer p-n-Diode entstanden denken. Er ist gegenüber dieser lediglich um einen dritten Bereich erweitert, und zwar um einen n-Bereich auf der p-Seite oder einen p-Bereich auf der n-Seite der Diode. Im Prinzip stellt ein Transistor also eine Kombination aus zwei Einzeldioden dar, bei denen entweder die beiden p- oder die beiden n-leitenden Schichten zu einer gemeinsamen Schicht zusammenfallen. Die Wirkungsweise eines Transistors kann jedoch nicht durch ein aus zwei getrennten Dioden bestehendes Ersatzschaltbild hergeleitet werden.

www. GVIT .de

Ein Transistor besitzt drei Elektroden, den Emitter, den Collector und die Basis (Bild 47). In einem n-p-n-Transistor bestehen Emitter und Collector aus n-leitendem Germanium und die dazwischenliegende Basiselektrode aus p-leitendem Germanium. Beim p-n-p-Transistor – das ist der am meisten benutzte Transistortyp – ist sinngemäß die Basis n-leitend, Emitter und Collector sind p-leitend.

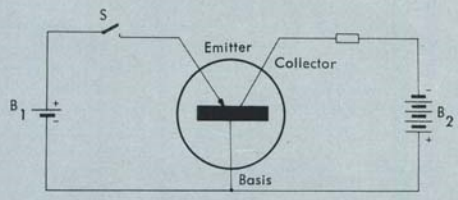

BILD 47
Einfache Transistorverstärkerschaltung

Wenn an die Elektroden eines p-n-p-Transistors nach Bild 47 Potentiale angelegt werden, dann liegt im Kreis Collector–Basis–Batterie B2, anschaulich ausgedrückt, eine Diode, die in Sperrichtung vorgespannt ist. In diesem Kreis kann also kein Strom fließen. In dem Stromkreis, der aus Batterie B1, Emitter und Basis dargestellt wird, fließt dagegen, wenn der Schalter S geschlossen wird, ein Strom. Die Strecke zwischen Emitter und Basis verhält sich nämlich wie eine Diode in Durchlaßrichtung. Wenn dieser Strom zu fließen beginnt, gelangen Ladungsträger in den bis zu diesem Zeitpunkt ladungsträgerfreien Sperrbereich der Collector-Basis-Strecke und machen sie damit leitend. Es kommt ein um so stärkerer Collectorstrom zustande, je stärker innerhalb eines bestimmten Bereiches der Emitterstrom ist. Der Collectorstrom kann also mit Hilfe des Emitterstromes gesteuert werden.

Bei dieser Betrachtung zeigt sich bereits ein prinzipieller Unterschied zwischen der Wirkungsweise einer Röhre und der eines Transistors. Während zur Steuerung des Anodenstromes einer Röhre lediglich eine Spannung benötigt wird, muß bei dem Transistor im Eingangskreis ein Strom fließen. Da ein Strom jedoch nur dann durch einen Widerstand fließt, wenn auch eine Spannung vorhanden ist, kann ein Transistor nicht wie eine Röhre leistungslos gesteuert werden.

Bild 48 gibt die drei Transistorgrundschaltungen wieder. Sie werden jeweils nach der dem Eingangs- und Ausgangsstromkreis gemeinsamen Elektrode Basisschaltung, Collectorschaltung oder Emitterschaltung benannt. Die Emitter-

www.GVIT.de

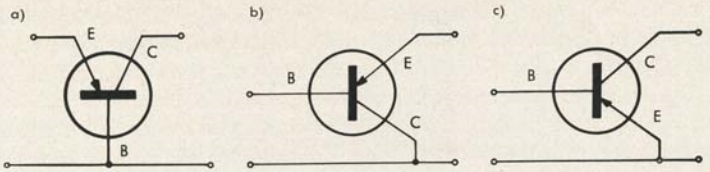

BILD 48
a) Basisschaltung
b) Collectorschaltung
c) Emitterschaltung

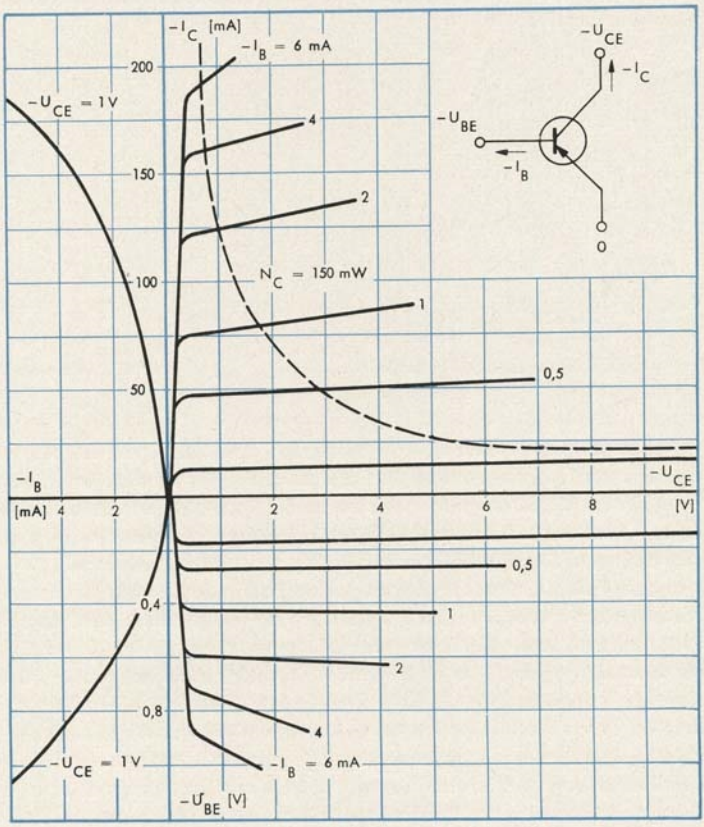

BILD 49
Kennlinienfeld eines Transistors in Emitterschaltung

www. GVIT .de

schaltung hat in der Praxis die weiteste Verbreitung gefunden, da sie eine hohe Strom-Spannungs- und somit auch Leistungsverstärkung besitzt. Im Bild 49 sind die Kennlinien eines Transistors in dieser Schaltung gezeigt.

Wenn ein Transistor als Schalter benutzt wird, d. h. also, wenn die Elektroden so vorgespannt werden, daß einmal ein sehr hoher Collectorstrom und das andere Mal ein sehr niedriger Collectorstrom fließt, dann ist darauf zu achten, daß sich der Übergang von dem einen in den anderen Zustand sehr schnell vollzieht, damit der Transistor sich nicht lange in einem Bereich befindet, innerhalb dessen die zulässige Verlustleistung überschritten wird. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, daß beim Umschalten dieser Bereich überhaupt durchlaufen wird.

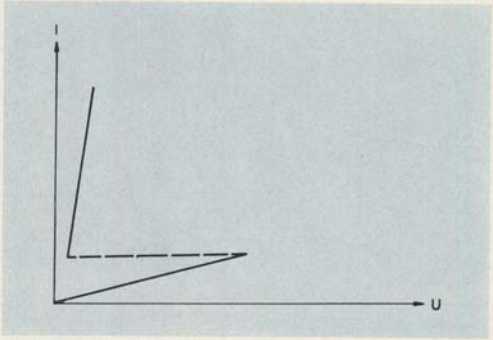

BILD 50
Kennlinie einer n-p-n-p-Diode

Neben den beschriebenen Transistoren mit drei Elektroden läßt sich auch die sogenannte n-p-n-p-Diode für Schaltaufgaben verwenden. Ihre Charakteristik ist im Bild 50 dargestellt. Mit steigender Spannung erreicht diese Diode einen Schwellwert. Oberhalb dessen besitzt sie eine negative Strom-Spannungscharakteristik. Sie verhält sich also ähnlich wie eine Glimmlampe.

In der Tafel IV sind der Eingangswiderstand, der Ausgangswiderstand, die Stromverstärkung, die Leistungsverstärkung und die Phasendrehung eines Transistors in Basis-, Collector- und Emitterschaltung als ungefähre Grenzwerte wiedergegeben. Da es bei einem Transistor nicht notwendig ist, eine Kathode aufzuheizen, damit Elektronen in den freien Raum heraustreten, in dem sie durch die Wirkung eines Gitters beeinflußt werden können, ist der Wirkungsgrad einer Transistorschaltung wesentlich besser als der einer Röhrenschaltung. Die Gesamtstromaufnahme eines Transistorgerätes ist demzufolge auch meist wesentlich geringer als die eines entsprechenden Röhrengerätes. Ein weiterer Vorzug der Transistoren besteht darin, daß sie praktisch keinem Verschleiß unterworfen sind, so daß sich ihre elektrischen Daten

www.GVIT.de

	Ungefähre Grenzwerte		
	Basis-schaltung	Collector-schaltung	Emitter-schaltung
Eingangswiderstand	10...100 [Ω]	2 [kΩ]...1 [MΩ]	300 [Ω]...2,5 [kΩ]
Ausgangswiderstand	200 [kΩ]...2 [MΩ]	50...500 [Ω]	5...100 [kΩ]
Stromverstärkung	0,90...0,99fach	10...120fach	10...150fach
Leistungsverstärkung	2...500fach	3...100fach	50...10000fach
Phasendrehung	0°	0°	180°

TAFEL IV

mit der Zeit nahezu nicht verändern. Die kleinen Abmessungen der Transistoren, verbunden mit deren geringer Stromaufnahme, erlauben es, Transistorschaltungen mit sehr kleinen äußeren Abmessungen aufzubauen.

Die Leitungsvorgänge im Transistorkristall sind in hohem Maße temperaturabhängig. Darauf ist bei der Dimensionierung von Schaltungen besonders zu achten.

Beim magnetischen Verstärker macht man sich die Tatsache zunutze, daß der Wechselstromwiderstand einer Drosselspule von dem magnetischen Widerstand des Kraftlinienweges in der Drosselspule abhängig ist. Wenn man zum Beispiel eine Glühlampe in Reihe mit einer Drosselspule an eine Wechselspannungsquelle schaltet (Bild 51), dann leuchtet die Glühlampe um so heller, je größer der Luftspalt im Eisenkreis wird.

Eine ähnliche Wirkung wie durch das Vergrößern des Luftspaltes erzielt man, wenn man einen Eisenkern ohne Luftspalt mit einer zweiten Spule versieht und durch diese einen so starken Gleichstrom hindurchschickt, daß das Eisen magnetisch gesättigt wird. Dabei wird der Wechselstromwiderstand

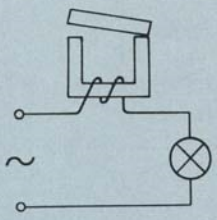

BILD 51
Drosselspule als Vorwiderstand im Wechselstromkreis

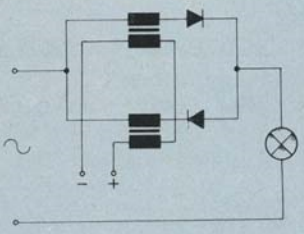

BILD 52
Magnetverstärkerschaltung

www.GVIT.de

der Spule, die in Reihe mit der Glühlampe liegt, so klein, als ob kein Eisenkern in der Spule enthalten wäre. Durch entsprechende Wahl der durch die zweite Spule hindurchfließenden Stromstärke kann der Scheinwiderstand auf jeden beliebigen Wert zwischen zwei Extremwerten eingestellt werden. In einem Extremfall ist die Gleichstromvormagnetisierung Null und damit der Wechselstromwiderstand der Drossel sehr groß. Im anderen Fall erreicht die Gleichstromvormagnetisierung den Sättigungswert des Eisens, so daß der Wechselstromwiderstand sehr klein wird. Man kann solche Anordnungen also zum Schalten und Steuern von Wechselströmen benutzen.

Im Bild 52 ist die Schaltung eines magnetischen Verstärkers gezeigt, wie sie häufig in der Praxis angetroffen wird. Diese Anordnung besteht aus zwei Drosselspulen mit je zwei Einzelwicklungen. Die Gleichstromwicklungen sind dem Wicklungssinn nach gegenläufig in Reihe geschaltet, so daß die in ihnen induzierten Wechselspannungen einander aufheben.

Magnetische Verstärker haben den Vorteil, daß in ihnen nur Bauteile benutzt werden, die praktisch keinem Verschleiß unterworfen sind. Nachteilig ist, daß magnetische Verstärker stark verzerrte Wechselspannungen abgeben, die nur mit Hilfe nachgeschalteter Filter oberwellenfrei und damit sinusförmig gemacht werden können. Weiterhin haben magnetische Verstärker relativ große Ansprechzeiten. Es können Verzögerungen in der Größenordnung von Sekunden auftreten. Die kürzeste Ansprechzeit, die bei einem magnetischen Verstärker erreicht werden kann, liegt im Bereich der Dauer einer Periode der Arbeitswechselspannung. Die obere Grenzfrequenz ist im wesentlichen durch die mit der Frequenz anwachsenden Wirbelstromverluste im Eisenkern des Verstärkers gegeben.

Beim magnetischen Verstärker ist zum Steuern eines Stromes wie beim Transistor am Eingang eine Leistung erforderlich, besonders, da wegen des endlichen Ohmschen Widerstandes der Steuerwicklung eine Spannung vorhanden sein muß, die den Steuerstromfluß in der Wicklung bewirkt.

A.12. ZERHACKER UND SENDER

Wie bereits in einem vorausgegangenen Abschnitt erläutert wurde, führt eine eingespannte Blattfeder, an derem freien Ende eine Kugel befestigt ist (Bild 30), nachdem sie ausgelenkt und wieder losgelassen wird, Schwingungen aus. Wegen der Reibung an der umgebenden Luft und in der Feder selbst nimmt die Schwingungsamplitude mit der Zeit jedoch immer mehr ab.

Um eine Schwingung mit gleichbleibender Amplitude (Bild 53) zu erhalten, muß der schwingenden Masse im Verlauf einer Periode gerade die Energie wieder zugeführt werden, die während der gleichen Periode durch Reibung

www.GVIT.de

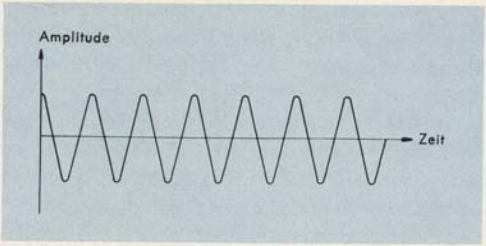

BILD 53
Ungedämpfte Schwingung

verlorengeht. Das schwingende System muß entdämpft werden. Am einfachsten erreicht man dies durch Selbststeuerung oder Rückkopplung. Dabei werden durch das schwingende System selbst jeweils im richtigen Rhythmus Energieimpulse ausgelöst, die einem anderen Energievorrat entnommen werden.

Bei dem Wagnerschen Hammer z. B. (Bild 54) schließt die Feder F eine bestimmte Zeitlang während jeder Schwingungsperiode einen Kontakt K, über den Strom durch die Spule des Elektromagneten E fließt. Dieser Magnet übt

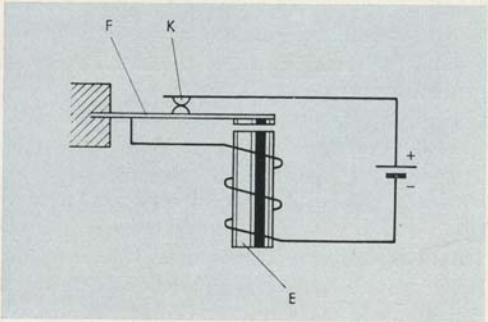

BILD 54
Wagnerscher Hammer

auf die Feder so lange eine anziehende Kraft aus, wie der Stromfluß durch die Spule des Elektromagneten E nicht unterbrochen ist, das heißt, solange die Feder sich in der Lage befindet, in der der Kontakt geschlossen ist. Hierdurch wird der schwingenden Masse an der Feder Energie zur Aufrechterhaltung der Schwingungsamplitude zugeführt. Befindet sich die Feder in der Lage, in der der Kontakt geöffnet ist, übt der Elektromagnet keine Anzugskraft mehr aus, und die Feder kann wieder zurückschwingen. Läßt man einen mit der Feder verbundenen Klöppel an eine Glockenschale anschlagen, so erhält man einen Gleichstromwecker. Durch Anbringen weiterer Kontakte an die schwingende Feder läßt sich die Anordnung auch als Zerhacker benutzen.

www. GVIT .de

Mit Hilfe eines Zerhackers kann Gleichstrom im Rhythmus der Schwingungsfrequenz der Feder in zerhackten Gleichstrom umgewandelt werden. Aus diesem erhält man, wenn man ihn über einen Transformator schickt, einen Wechselstrom entsprechender Frequenz.

So wie es möglich ist, bei einem mechanischen Schwingungssystem durch Selbststeuerung ungedämpfte Schwingungen zu erhalten, so ist es auch möglich, einen elektrischen Schwingkreis, der aus Induktivität, Kapazität und Ohmschem Widerstand besteht, ungedämpft schwingen zu lassen. Bild 55 zeigt eine Anordnung, bei der ein elektrischer Schwingkreis in der Anodenzuleitung einer Verstärkerröhre liegt. Auf die Induktionsspule ist eine zweite Wicklung aufgewickelt, in der im Rhythmus der Eigenfrequenz des Schwingkreises Spannungen induziert werden, die über das Gitter der Röhre den Anodenstrom ein- und ausschalten. Hierdurch wird der Schwinganordnung über die Röhre im Verlaufe jeder Periode gerade die Energie wieder zugeführt, die sie im gleichen Zeitraum durch Verluste verliert. Die Röhre entspricht damit in etwa dem Kontakt K des Wagnerschen Hammers.

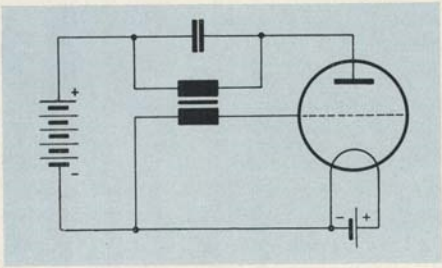

BILD 55
Einfache Schwingungserzeugerschaltung

Mit Hilfe solcher Anordnungen ist es möglich, sehr hohe Schwingungsfrequenzen zu erzeugen, da Röhren nahezu verzögerungsfrei schalten.

Wird an das eine Ende des Schwingungskreises eine Antenne angeschaltet und wird weiterhin das andere Ende mit der Erde verbunden, dann bildet sich zwischen Erde und Antenne ein hochfrequentes elektrisches Wechselfeld aus, das Energie als elektromagnetische Welle an den Raum abgibt. In einem zweiten mit Antenne und Erde versehenen Schwingkreis, der in einem bestimmten Abstand von dem ersten aufgestellt ist, wird nun ebenfalls eine Schwingung induziert. Sie ist dann besonders stark, wenn die Eigenschwingungsfrequenz des zweiten Kreises gleich der Eigenschwingungsfrequenz des ersten Kreises ist. Es ist nun möglich, die vom ersten Schwingkreis, dem Sender, abgestrahlte Energie in einem bestimmten Rhythmus zu unterbrechen oder die Schwingungsamplitude des ausgesandten Frequenzzuges in einem bestimmten Rhythmus zu ändern. Im gleichen Rhythmus werden sich dann die

www.GVIT.de

vom zweiten Schwingkreis, dem Empfänger, aufgenommenen Signale ändern. Man kann damit die Gesamtanordnung zur drahtlosen Nachrichtenübertragung benutzen.

Die vom Sender erzeugte hochfrequente Schwingung wird als Trägerfrequenz bezeichnet. Bei manchen Morsetelegrafiesystemen wird eine Träger-

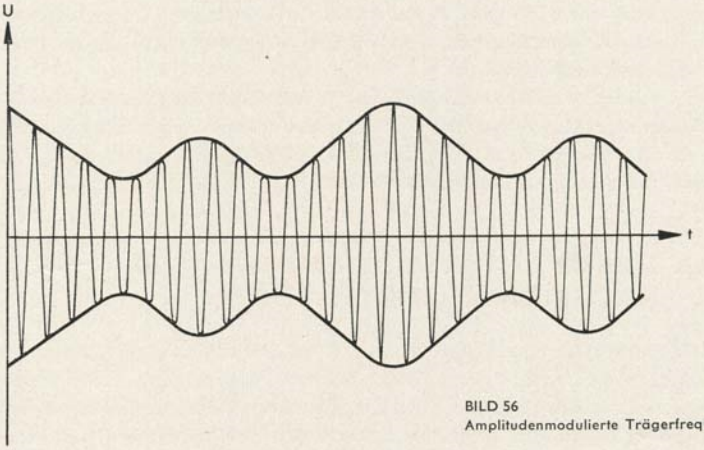

BILD 56
Amplitudenmodulierte Trägerfrequenz

frequenzspannung auf der Senderseite im Rhythmus der Morsezeichen ein- und ausgeschaltet. Sprache kann leicht dadurch übertragen werden, daß man die Amplitude der vom Sender gelieferten Trägerfrequenzspannung im Rhythmus der Sprache verändert (Bild 56). Auf der Empfangsseite wird dann das ankommende Signal durch Gleichrichten demoduliert, so daß man eine

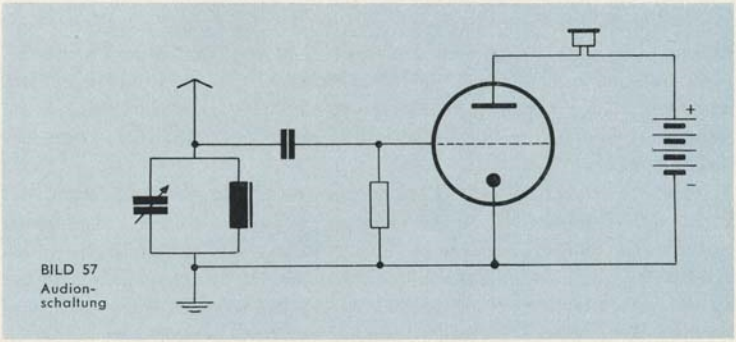

BILD 57
Audion-
schaltung

www. GVIT .de

niederfrequente Wechselspannung erhält, deren Frequenz genauso groß ist wie die der Trägerfrequenz auf der Sendeseite aufmodulierte.

Bild 57 zeigt eine Empfängerschaltung, bei der eine Röhre die ankommenden amplitudenmodulierten Signale gleichzeitig gleichrichtet und verstärkt. Man bezeichnet diese Schaltung als sogenannte Audionschaltung.

Im Bereich sehr kurzer Wellen ändert man zum Zwecke der Sprachübertragung auf der Sendeseite in vielen Fällen an Stelle der Trägerfrequenzamplitude die Sendefrequenz selbst im Sprachrhythmus. Man spricht dann von Frequenzmodulation.

Vom Sender zum Empfänger wird Energie mit relativ schlechtem Wirkungsgrad übertragen. Die Nachricht selbst besitzt jedoch keinen Energieinhalt, sie existiert nur in Form einer zeitlichen Änderung des vom Sender zum Empfänger verlaufenden Energiestromes.

A.13. NACHRICHTENÜBERTRAGUNG UND NACHRICHTENSPEICHERUNG

Soll eine Nachricht, z. B. Sprache, von einem Ort zum anderen übertragen werden, so muß sie auf einen Träger gebracht werden. Beim Nachrichtenträger kann es sich dabei um einen Energiestrom handeln, der in bestimmter Weise entsprechend der zu übertragenden Nachricht verändert wird. Weiterhin ist es möglich, die Nachricht beispielsweise auf Papier aufzuschreiben oder in eine Schallplatte einzuschneiden. In den beiden zuletzt angeführten Fällen wird die Nachricht zunächst also gespeichert und der Nachrichtenträger, z. B. als Brief vom Ort des Nachrichtensenders zum Ort des Nachrichtenempfängers gebracht.

Die Spannungs-, die Strom- und damit auch die Leistungsamplitude einer elektromagnetischen Welle, die als nichtspeichernder Nachrichtenträger dient, nimmt mit zunehmender Entfernung vom Nachrichtensender wegen der auftretenden Verluste immer mehr ab. Dabei spielt es keine Rolle, ob sich die Welle im Raum oder in Form von Wechselstrom durch Draht ausbreitet. Man bezeichnet diesen Vorgang als Dämpfung. Durch Verstärken kann die auf einer Übertragungsstrecke auftretende Dämpfung jedoch wieder kompensiert werden.

Die Amplitude einer Wechselspannung in einem Kabel nimmt wegen des Ohmschen Widerstandes der Leitung und wegen der immer vorhandenen geringen Leitfähigkeit des Dielektrikums mit der Länge des Kabels exponentiell ab. Da die Stärke der Abnahme durch die Blindwiderstandsanteile des Kabelwiderstandes meist frequenzabhängig ist, werden nichtsinusförmige Schwingungen, wie z. B. Sprachlaute, mehr oder weniger stark verzerrt. Durch

www.GVIT.de

besondere zusätzliche Maßnahmen können diese Verzerrungen jedoch meist klein gehalten werden.

Für Angaben über die Leistungs-, Spannungs- und Stromverhältnisse längs einer Übertragungsstrecke wird der Begriff Pegel verwendet. Vergleicht man den Pegelwert an einer Meßstelle mit dem entsprechenden Wert an einer anderen Stelle der Übertragungsstrecke, dann erhält man einen relativen Pegel. Wird dagegen der Wert an einer Meßstelle mit einem besonders vereinbarten Bezugswert verglichen, dann liegt ein absoluter Pegel vor.

Wenn als logarithmisches Maß der Pegelverhältnisse das Neper [N] bzw. das Dezibel [db] eingeführt wird, dann gilt für den relativen Leistungspegel p_L:

$$\text{(Gl. 32)} \qquad p_L = \frac{1}{2} \ln \frac{N_x}{N_0} \text{ [N]}$$

bzw.

$$\text{(Gl. 33)} \qquad p_L = 10 \log \frac{N_x}{N_0} \text{ [db].}$$

Aus diesen Gleichungen ergibt sich für den relativen Spannungspegel p_U:

$$\text{(Gl. 34)} \qquad p_U = \ln \frac{U_x}{U_0} \text{ [N]}$$

bzw.

$$\text{(Gl. 35)} \qquad p_U = 20 \log \frac{U_x}{U_0} \text{ [db].}$$

Dabei ist N_x die an der Meßstelle gemessene Leistung, N_0 die Leistung an der Vergleichsstelle, U_x die Spannung an der Meßstelle und U_0 die Spannung an der Vergleichsstelle der Übertragungsstrecke.

Zur Festlegung des absoluten Pegels werden die Bezugswerte für den Leistungspegel, den Spannungspegel und den Strompegel vereinbarungsgemäß durch einen Normalgenerator geliefert, der einen Innenwiderstand von 600 Ohm besitzt und der an einen leistungsmäßig richtig angepaßten Belastungswiderstand die Leistung 1 mW abgibt. Damit ist 1 mW als die Leistung beim Leistungspegel „Null" festgelegt. Die Spannung am Spannungspegel „Null" beträgt demzufolge 0,775 V und der Strom am Strompegel „Null" 1,29 mA.

Nachrichten können u. a. durch Niederschreiben, durch Einschneiden in Schallplatten und durch Aufnahme auf magnetisierbare Drähte oder Bänder gespeichert werden. Einfache Ja-Nein-Entscheidungen kann man in allen Anordnungen speichern, die mehr als einen Zustand bleibend einnehmen können. In der Praxis benutzt man hierzu vielfach Ringkerne aus Eisensorten mit hoher Remanenz (Bild 58). Solche Kerne eignen sich besonders zum Speichern von Ziffern des dualen Zahlensystems. Unter dualem oder binärem Zahlensystem versteht man ein Zahlensystem, das beliebige Zahlen durch Kombinationen von zwei Ziffern, 1 und 0, darstellt. Dem einen

www.GVIT.de

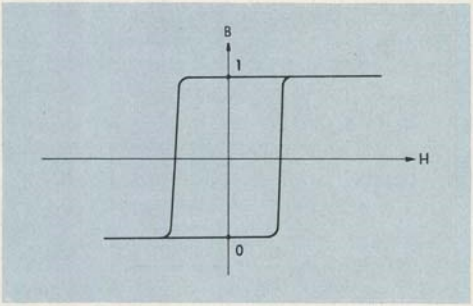

BILD 58
Magnetisierungskennlinien für Speicherkerneisen

Remanenzpunkt wird dabei die binäre Ziffer „Eins" und dem anderen Remanenzpunkt die binäre Ziffer „Null" zugeordnet. Um festzustellen, in welchem der beiden Zustände sich ein Speicherkern befindet, wird durch eine auf ihn aufgebrachte Wicklung ein genügend starker Stromimpuls geleitet, der den Kern in den Zustand „Null" zu bringen sucht. Hat sich der Kern im Zustand „Eins" befunden, dann entsteht beim Ummagnetisieren in einer zweiten Wicklung eine hohe Induktionsspannung, da sich der magnetische Fluß in einer kurzen Zeit um einen großen Betrag ändert. Wenn sich dagegen der Kern bereits im Zustand „Null" befand, dann kann an den Enden der zweiten Wicklung nur eine sehr kleine Spannung abgenommen werden, die der entsprechend kleineren Flußänderung entspricht.

Ein Ja-Nein-Informationselement bezeichnet man als 1 bit (binary digit). Aus n solcher Elemente können 2^n Kombinationen gebildet werden. Die Vereinbarung über die Bedeutung jeder Kombination wird als Code bezeichnet. In der Fernmeldetechnik werden zur Speicherung solcher einfachen Ja-Nein-Informationselemente vielfach auch Relais verwendet, die bekanntlich ebenfalls zwei stabile Zustände einnehmen können. Dekadische Zahlen können auch mit Wählern gespeichert werden, ohne daß sie zuvor in duale Zahlen umgewandelt werden müssen.

www.GVIT.de