

TECHNIK LEICHTGEMACHT

Für jemanden, der gerne praktisch an die Elektronik gehen möchte, existiert eigentlich genug Literatur. Allerdings befasst sich diese überwiegend mit der Halbleitertechnik. In Form von Lehr-, Anwendungs- oder Bastelbüchern vermitteln sie Kenntnisse über die diskrete und/oder integrierte Technik. **Diskrete Technik** bedeutet die Verwendung einzelner Transistoren oder Röhren, **integrierte Technik** die Zusammenfassung von Schaltungsteilen durch **Chips** bzw. **ICs (integrated circuits)**.

Die meisten sammelnswerten «Radios von gestern» beruhen auf dem Prinzip der Elektronenröhren. Die **Röhrenempfänger** weisen - abgesehen von denen der Anfangsjahre - komplexere Schaltungen auf als die **Transistorgeräte**. Die Verhältnisse zwischen beiden sind nicht grundsätzlich, doch in der Praxis weitgehend verschieden.

Dieses Kapitel ersetzt nicht spezielle Bücher, sondern es erfolgt der Versuch, die wichtigsten Grundprinzipien möglichst einfach darzustellen. Sie können sich soweit informieren, dass Sie die immer wieder auftauchenden Zusammenhänge verstehen, sofern dies nicht bereits der Fall ist. Die in alten Radios verwendeten

Bauteile lassen sich mit diesen Kenntnissen unterscheiden und richtig behandeln. Wenn Sie weitergehende Berechnungen - z.B. für Spulen - vornehmen oder den Selbstbau eines einfachen Empfängers auf Halbleiterbasis realisieren möchten, empfehle ich den Kauf des Taschenbuches **Vom einfachen Detektor bis zum Kurzwellenempfang**, Dieter **Nührmann**, Nr. 162 der **RPB electronic-taschenbücher**, 1984 **Franz-Verlag GmbH**, München [232]. Es ist sehr gut illustriert und ergänzt auf 172 Seiten dieses Kapitel ideal. In [106] finden sich **Nomogramme** für die üblichen Spulenformen.

Bücher über den praktischen Aufbau alter Radios sind vergriffen. Auch antiquarisch kann man sie selten kaufen. Suchen Sie trotzdem danach, falls Sie das Thema sehr interessiert! Titelvorschläge finden Sie im Anhang, doch sollten Sie sich nicht auf diese versteifen. Es existieren andere, oft gleichwertige Unterlagen. Über Funkensender und -empfänger finden Sie weitere Erklärungen im Kapitel über Erfindungen unter dem Abschnitt ab 1900.

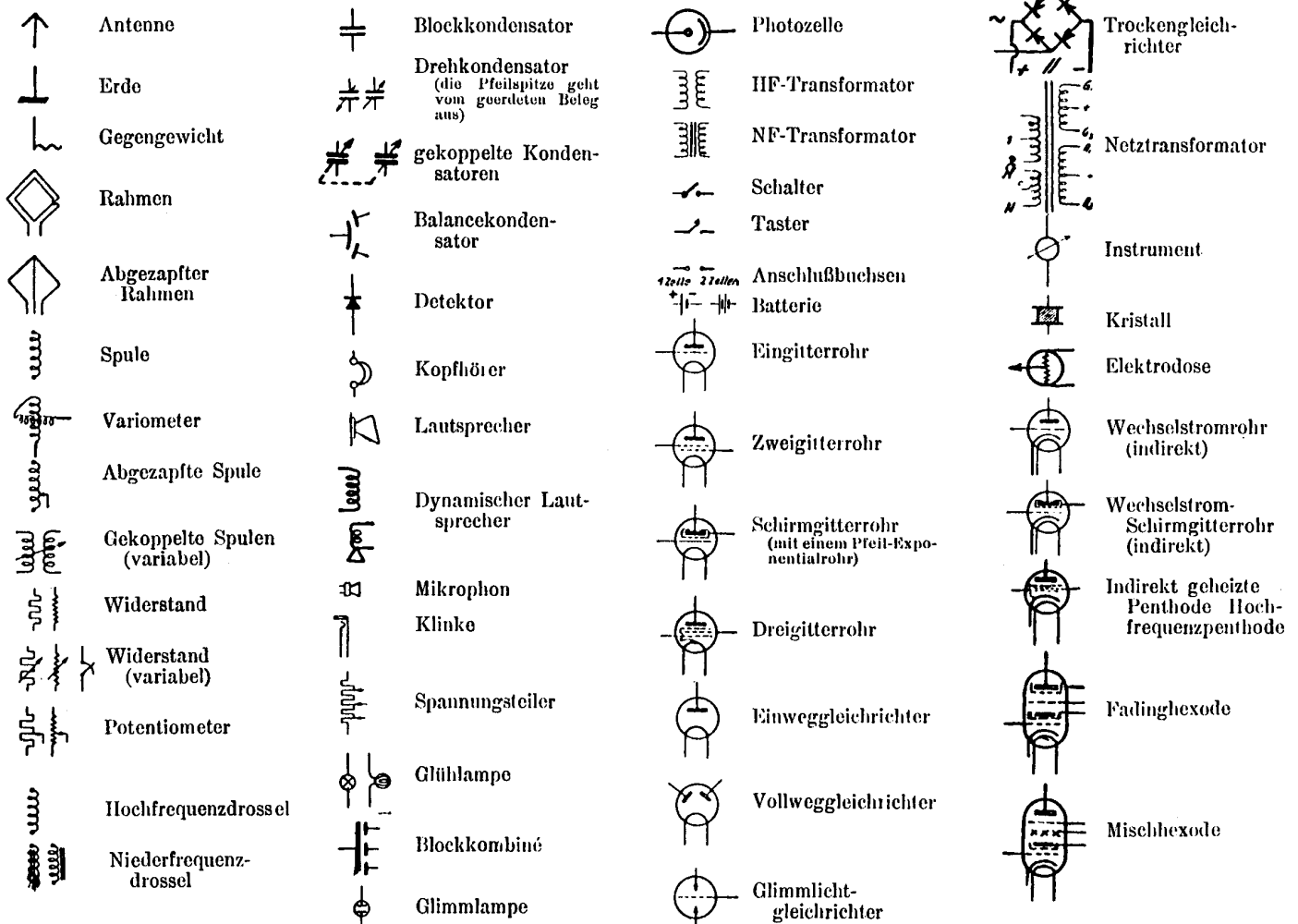


Bild «Z1» T55
Schaltzeichen aus den 20er Jahren. Sie weichen in der Darstellung stark von den modernen Zeichen ab

SCHWINGUNG UND SCHWINGKREIS

Schwingung bedeutet eine regelmässige Bewegung, die sich innerhalb bestimmter Grenzen hin und her vollzieht. Wir beobachten **Schwingungen** beim Pendel, bei Saiten etc., spüren sie als Vibrationen und können sie als Schall wahrnehmen. Wir sehen sie z.B. als Licht, das eine Form der elektromagnetischen Wellen darstellt.

Versuche mit dem Federpendel

Wir nehmen eine Feder, an der ein Gewicht hängt, ziehen daran ein wenig nach unten und lassen los. Das Federpendel vollführt senkrechte, mit der Zeit abnehmende Schwingungen. Befestigen wir am Gewicht eine Schreibvorrichtung und ziehen waagrecht einen breiten Papierstreifen mit konstanter Geschwindigkeit vorbei, zeichnen sich Wellen auf, die in der Schwingungsdauer konstant sind. Ihre **Amplitude (Wellenhöhe)** nimmt jedoch ab. Das Federpendel führt durch die Reibung an der Luft und in sich selbst eine **gedämpfte Schwingung** aus.

Der Pendel einer laufenden Uhr erhält immer wieder ein wenig

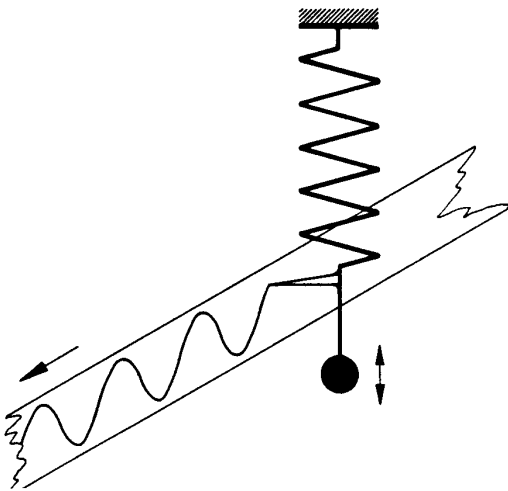


Bild «Z1» T40 [142-6]
Federpendel mit Gewicht und Aufzeichnungsvorrichtung

Energie zur Kompensation der Dämpfung. Dieses Pendel führt ungedämpfte Schwingungen aus. Die Zuführung der Energie hat im richtigen Augenblick und im richtigen Sinne zu erfolgen (vgl. Schiffschaukel).

Ist das Uhrenpendel oben angelangt, hat es Schwerkraft (Energie der Lage) gespeichert. Es steht für einen Moment still, um in die Gegenrichtung zu fallen. Schwingt es durch die Senkrechte, hat es keine Energie der Lage mehr, sondern besitzt die maximale kinetische Energie - «die grösste Fahrt». Beim Schwingen erfolgt eine laufende Umwandlung von Energie zwischen diesen beiden Formen. Beim **Federpendel** ist diese Umwandlung ein örtlicher Wechsel zwischen Feder und Masse. Den Vorgang, in dem das Federpendel von der höchsten zur Nulllage auf die tiefste und wieder zurück zur höchsten Lage schwingt, nennt man **Periode**; die Zeitspanne für diesen Weg **Periodendauer**. **Frequenz** bedeutet die Anzahl von Perioden pro Sekunde. Die Einheit der Frequenz misst man in Hertz (Hz). 1000 Hz bilden ein Kilohertz (kHz), 1000 kHz ein Megahertz (MHz) etc. Die Differenz zwischen der höchsten und der tiefsten Lage heisst auch hier wieder **Amplitude**.

Werfen wir einen Stein ins Wasser, entsteht eine kurz dauernde Anhäufung von Schwingungen (Wellen), die sich in Form von immer grösser werdenden Kreisen vom Erregerzentrum weg bewegen. Bei der Ausbreitung von Wellen bleiben die einzelnen Wassermoleküle quasi am Ort; sie führen lediglich kreisförmige Bewegungen aus. Ein Korken tanzt ohne Weiterbewegung auf der Stelle.

Versuche mit elektrischem Strom

Bevor wir uns mit der elektromagnetischen Schwingung befassen, stellen wir uns die Gegebenheiten beim elektrischen Strom plastisch vor.

Im Innern eines Leiters kommen viele freie, nicht an Atome gebundene **Elektronen** vor. Sie bewegen sich unter dem Einfluss der Wärme willkürlich hin und her. Wenn wir eine Spannung (ein Potential) an den Leiter anlegen, wirkt eine Anziehungskraft auf die Elektronen; die Bewegung erfolgt dann vornehmlich in eine Richtung. Die angelegte Spannung können wir uns so vorstellen, dass ein elektrisches Element (Batterie, Akkumulator) einzelne Elektronen wegsaugt. Die Elektronen haben die Tendenz, alles auszugleichen und nehmen die fehlenden Plätze sofort wieder ein, indem sie nachrücken. Dieses Nachrücken pflanzt sich in unserem gedachten Leiter nach rückwärts mit fast der **Lichtgeschwindigkeit** von 299792,5 km pro Sekunde fort. Die Lichtgeschwindigkeit ist nur im Vakuum zu erreichen; die Geschwindigkeit im Leiter beträgt etwa 95 % davon. Am anderen Ende des Leiters sollen Elektronen nachfolgen können; andernfalls würde kein Strom fliessen, da der Nachschub fehlt. Ein Stromkreis muss durch einen Leiter geschlossen und ein Potential vorhanden sein, damit Energie fliesst.

Dem Spiel des Nachfliessens von Elektronen setzt der Leiter selbst einen **Widerstand** entgegen. Ein dünnerer oder schlechterer Leiter, etwa Eisen statt Kupfer, setzt dem Strom höheren Widerstand entgegen. Die «Elektronensaugvorrichtung» hätte einen grösseren Unterdruck zu erzeugen, um gleichviel Strom fliessen zu lassen, was sich Erhöhung der Spannung nennt. Je nach angelegter Spannung lässt unser Leiter mit seinem Widerstand einen grösseren oder kleineren Strom von Elektronen fliessen. Diesen messen wir in Ampere. Mit der Formel Spannung x Strom ist die Gesamtleistung in **Watt** bezeichnet. Diese Leistung fällt als Wärme an. Den Widerstand (R), den eine Anordnung dem Elektronenstrom entgegensetzt, misst man in Ohm (\hat{U}). Beim Fliessen erzeugen die Elektronen auch **magnetische Kräfte**. Wir stellen diese mit **Feldlinien** dar. Zeigen können wir

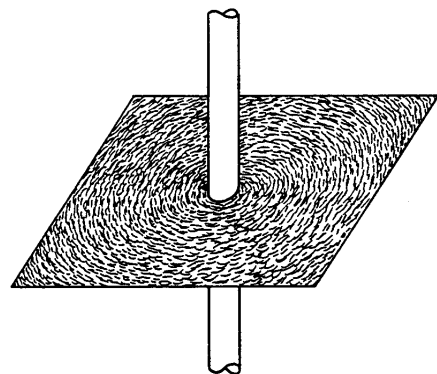


Bild «Z1» T41 [142-17]
Magnetisches Feld um einen stromdurchflossenen Leiter

sie mit Hilfe eines Kartons, durch den wir senkrecht einen Draht stossen. Auf den Karton streuen wir **Eisenfeilspäne**. Die Späne richten sich kreisförmig um den Draht aus, sobald wir durch ihn einen Strom schicken.

Ein Leiter, der immer im gleichen Umdrehungssinn zu einer Spule gewickelt ist, konzentriert die magnetischen Feldlinien und sie zeigen sich verstärkt. Zur Konzentrierung der Feldlinien dienen Materialien, die Eisen, Nickel oder Kobalt enthalten. Diese Anordnung stellt einen **Elektromagneten** dar.

Der Auf- oder Abbau eines magnetischen Feldes induziert in einem benachbarten Leiter wiederum einen Strom. Sind zwei Spulen nebeneinander oder ineinander angeordnet, übertragen (induzieren) sie Wechselströme, jedoch keine Gleichströme. Beim Ein- oder Ausschalten einer Gleichspannung erfolgt dagegen ein Induktionsstoss, da sich das Feld dann für kurze Zeit ändert! Eine solche Zusammenstellung von Spulen heisst **Übertrager** oder **Transformator**. Bei niedrigen Frequenzen konzentriert man die Feldlinien durch eisenhaltige Materialien oder Transformatorbleche, um die Koppelverluste gering zu halten. Mittels unterschiedlicher Anzahl (für Spannungen) und Dicke (für Ströme) der Windungen sowie verschiedenen Kernen (Schnitte, Materialien) lassen sich Transformatoren für jeden Verwendungszweck dimensionieren.

Auch die **elektrische Komponente** können wir im Experiment zeigen, indem wir in ein Glasgefäss mit Rizinusöl und Griesskörnern zwei Leiter als Platten (Elektroden) eintauchen und an diese eine hohe Gleichspannung legen: Es fliesst kein Strom, weil das Öl isoliert. Dennoch richten sich die Griesskörner sofort in geraden Linien zwischen den beiden Elektroden aus. Haben die Platten eine ausreichend grosse Fläche, halten sie die Körner in Linie, selbst wenn wir schütteln. Dieser Zustand hält solange an, bis die elektrische Ladung abfliessen kann. Ein aufgeladener - von der Spannungsquelle getrennter - Kondensator (Erklärungen folgen) kann einem Menschen einen Stromstoss versetzen. Der Kondensator wirkt als elektrischer Ladungsspeicher [142].

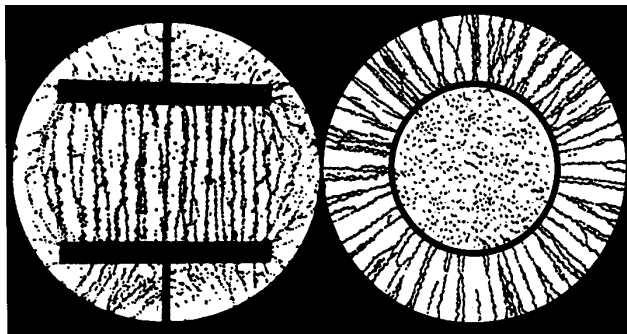


Bild «Z1» T42 [142-18]
Elektrisches Feld in einem Plattenkondensator und in einer coaxialen Anordnung

Nachdem wir mehr über Strom wissen, gehen wir zurück zum Federpendel, um es mit einer schwingfähigen elektrischen Anordnung zu vergleichen. Das Pendel schwingt mit einer Frequenz, die von der Grösse der Masse und der Federkonstante abhängt. Die Bewegungen in der Amplitude (Auslenkung) nehmen auf Grund mechanischer Verluste und Luftreibung stetig ab. Diese **Resonanzfrequenz** demonstrieren wir, indem wir das Federpendel an einem Faden aufhängen. Den Faden bewegen wir mit einem Exzenter oder von Hand rhythmisch auf und ab. Wenn der Rhythmus mit der Resonanzfrequenz übereinstimmt, erhalten wir mit kleinen Bewegungen eine grosse Amplitude. Ist unser Rhythmus zu schnell oder zu langsam, schwingt das Federpendel trotz grossem Aufwand nur

schwach; die Amplitude bleibt klein. Wir könnten auch Gewicht oder Federkraft des Pendels ändern, um es bei einem bestimmten Rhythmus weit ausschlagen zu lassen.

Parallel- und Serienresonanzkreis

Auch in einem elektrischen Schwingkreis finden sich zwei Energiespeicher. Diese sind im Idealfall eine Spule (als «Stromspeicher») und ein Kondensator (als «Spannungsspeicher»), beide mit möglichst kleinen Verlusten. Diese elektrischen Teile kommen meist parallel oder in Serie geschaltet vor.

Im ersten Beispiel verwenden wir einen **Parallelkreis**. Mit einem Schalter können wir den Kondensator von der Spule trennen und an eine Gleichspannungsquelle anschliessen. Wenn wir den Kondensator durch kurzes Umlegen des Schalters geladen haben und wieder zurückschalten (1), treibt der Kondensator Strom durch die Spule.

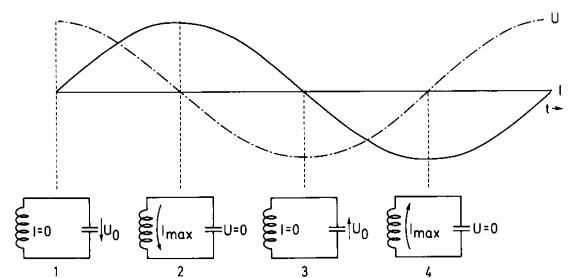


Bild «Z1» T44 [144-39]
Schwingungszustände im Parallelschwingkreis.

Das Potential, das er dank der Batterie erhalten hat, kann jetzt über den geschlossenen Stromkreis abfliessen. Dabei speichert sich die elektrische Energie des Kondensators in die magnetische Energie der Spule um. Im Gegensatz zu einem Kurzschluss kann sich der Kondensator wegen der Trägheit der Spule nicht schlagartig entladen, sondern nur zunehmenden Strom durch die Spule treiben. Ist der Kondensator entladen, endet der Stromfluss für einen Moment. Die gespeicherte Energie befindet sich jetzt in der Spule (2).

Das zusammenbrechende Magnetfeld induziert jetzt eine Spannung in der Spule. Es fliesst Strom, der den Kondensator in umgekehrter Richtung wieder auflädt, bis sich die gesamte Energie im Kondensator befindet (3).

Darauf beginnt der Vorgang mit umgekehrten Vorzeichen von neuem (4) und der Ausgangszustand (1) ist erreicht. Es entsteht eine Schwingung mit der Resonanzfrequenz.

Infolge der Verluste erhalten wir eine gedämpfte, d.h. allmählich abklingende Schwingung. Die Frequenz hängt von der elektrischen Grösse der Spule und des Kondensators ab. Die **Dämpfung** ist bei einem Kreis von «hoher elektrischer Güte» (**Güte** = Q) geringer, als bei einem schlechten Kreis mit hohen elektrischen Verlustwiderständen. Befindet sich in unmittelbarer Nähe ein weiterer Kreis, entzieht dieser durch **Induktion** Energie und bewirkt eine weitere Dämpfung. Energieentzug und Dämpfung sind dann sehr gross und von Bedeutung, wenn zwischen den Kreisen Resonanz herrscht. Die Höhe der Resonanzkurve hängt von der Dämpfung des Kreises ab. Die **Bandbreite** B ist beim Parallelkreis der Frequenzabstand zwischen den beiden Punkten, an denen die Spannung auf die Hälfte seines Wertes bei Resonanzfrequenz abgesunken ist. Dabei ergibt sich die Formel: B gleich Resonanzfrequenz (f_{Res}) dividiert durch Q bzw. Q gleich f_{Res} dividiert durch B .

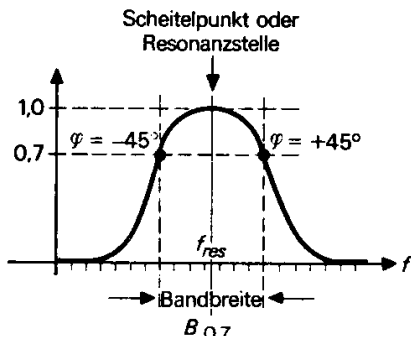


Bild «Z1» T45 [144-41]
Bandbreite eines Schwingkreises

Speisen wir den beschriebenen Kreis mit einer Wechselstromquelle veränderlicher Frequenz, sinkt mit zunehmender Übereinstimmung der Frequenz die Stromstärke, die der Generator abzugeben hat, obwohl sich diese im Kreis selbst stark erhöht; der Kreis ist leicht zu erregen.

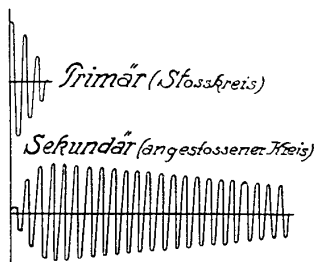


Bild «Z1» T46 [...-93]
Stark und schwach gedämpfter Wellenzug, wie er beim Funkensender mit Resonanzkreis vorkommt

Das Gleiche passiert in der Badewanne, wenn Sie sich rhythmisch darin bewegen. Sind Ihre Bewegungen zu schnell oder zu langsam, spüren Sie einen erhöhten Widerstand des Wassers. Erreichen Sie die **Resonanzfrequenz** der Badewanne, schwappt das Wasser bald über, ohne dass Sie sich besonders anstrengen. Eine längere Badewanne hätte dem entsprechend eine niedrigere Resonanzfrequenz.

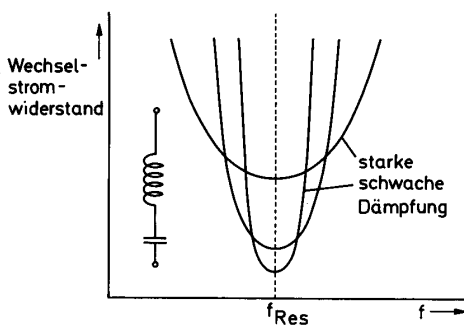


Bild «Z1» T47 [144-41]
Parallelresonanzkreis und sein Frequenzverhalten

Ein paralleler Kreis hat einen sehr hohen **Resonanzwiderstand**; die in ihm fließenden Ströme sind im Idealfall **Blindströme**, die keine Wärmeenergie verursachen. Schaltet man die Spule in Serie zum Kondensator, hat der Generator im Resonanzfall einen hohen Blindstrom zu liefern, da der Widerstand des Serienkreises bei Resonanz im Idealfall Null beträgt. Der Serienresonanzkreis nennt sich aus diesem Grund auch **Saugkreis**. Er findet Verwendung beim Sender oder zur Unterdrückung unerwünschter Schwingungen.

Der bei der Resonanzfrequenz rein ohmsche **Wechselstromwiderstand** eines Schwingkreises erhält bei anderen Frequenzen einen induktiven oder kapazitiven Anteil. Unterhalb der Resonanzfrequenz wirkt der Parallelkreis **induktiv**, der Serienkreis **kapazitiv**. Oberhalb der Resonanzfrequenz sind die Verhältnisse umgekehrt. Kommt ein zweiter Kreis in die Nähe des ersten, erfolgt zwischen beiden eine Energieübertragung.

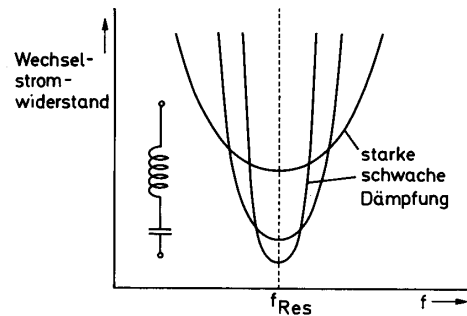


Bild «Z1» T48 [144-41]
Serienresonanzkreis und sein Frequenzverhalten

Diesen Vorgang stellen wir mit zwei durch eine Feder verbundene Uhrpendel dar. Das eine Pendel treiben wir an, das andere schwingt mehr oder weniger mit. Ein fast «reibungsloser» Gleichlauf erfolgt, wenn beide Pendel die gleiche Resonanz aufweisen. Wenn wir Wechselstrom durch einen Transformator mit geöffnetem Eisenblech schicken, können wir aus Distanz mit einer Spule und einem daran angeschlossenen Lautsprecher den induzierten Wechselstrom als «Brumm» hören. Dieser **Brumm** nimmt mit der Entfernung der Spule vom Transformator stark ab. Ist zwischen Spule und Lautsprecher ein Verstärker geschaltet, hören wir den Brumm und andere erzeugte Frequenzen auf etwa zehn Meter Entfernung. Stromführende Leiter in einer Wand sind so zu entdecken. Es besteht eine Übertragung durch direkte magnetische **Induktion** und nicht durch Strahlung. Auch mit Antenne versehen nimmt die Induktion der Anordnung weiterhin mit der zweiten oder dritten Potenz der Entfernung ab [139] und kommt daher für drahtlose Übertragung auf grosse Entfernungen nicht in Frage.

Schwingung und Strahlung

Bei der **elektromagnetischen Strahlung** löst sich die Energie in Form von Wellen vom Strahler und wandert in den Raum hinaus. Gemäss der Frequenz dieser Strahlung unterscheiden sich zwei grosse Gruppen elektromagnetischer Schwingungen: Elektromagnetische Schwingungen im weiteren und Licht im engeren Sinne bzw. **vom technischen Wechselstrom** (gewisse Bahnen mit $16 \frac{2}{3}$ Schwingungen oder das Starkstromnetz mit 50 bzw. 60 Hz in verschiedenen Überseeeländern wie USA) bis zu den Millimeterwellen. **Zum Licht** - am unteren Frequenzende - gehören die **Wärmestrahlen**. Nun folgt eine vollständige Aufzählung der elektromagnetischen Schwingungen, von den langsamsten des technischen Wechselstroms bis zu den schnellsten:

Niederfrequenz (NF) mit den Anwendungen von Wechselstrom, drahtgebundenem Nachrichtenverkehr (Tonfrequenz wie bei Telefon), ultralangsamem Wellen zur Kommunikation mit Unterseebooten.

Hochfrequenz (HF) mit Rundfunk, Fernsehen, therapeutisch wirksamen Strahlen, Radar.

Bei den elektromagnetischen Wellen des Rundfunks erfolgt das Abstrahlen durch Öffnung des geschlossenen Kreises. Stellen Sie sich die beiden Pole des Kondensators zu zwei

Drähten auseinandergezogen vor. Das Gebilde heisst **Dipol**. Mit richtiger geometrischer Länge der beiden Drähte oder Stäbe, die horizontal, vertikal, kombiniert oder spiralförmig (**Helix-Antenne**) angeordnet sein können, stellt sich Resonanz bei der vorgesehenen Sendefrequenz ein. Es sind kompliziertere Anordnungen mit Richtwirkung möglich. Die weitverbreitetste Richtantenne ist wohl die von den Japanern Yagi und Uda erfundene **Yagiantenne** (engl. **beam**) mit strahlungsgekoppelten Parasitärelementen (Direktoren und Reflektoren). Sie finden diesen Typ Antenne praktisch immer für TV eingesetzt. Allerdings stimmt dies nicht für Satellitenempfang. Die Satelliten strahlen mit kleinen Leistungen im Mikrowellenbereich (3 - 30 GHz), so dass man zum Empfang **Parabolspiegelantennen** («Schüsseln») einsetzt.

Beim **Marconi-Strahler** bzw. Monopol (Vertikalstrahler) dagegen ist eine Seite meist direkt an die Erde gelegt.

Wärmestrahlen

Licht (infrarot bis ultraviolett), Röntgenstrahlen, Gammastrahlen, Strahlung radioaktiver Stoffe, Strahlen der Teilchenbeschleuniger.

Auszug aus dem Fachbuch «Radios von gestern»
(Ernst Erb)

Wir haben die Seitennummerierung so eingesetzt, dass sie dem Buch entspricht. Damit können sich Leerstellen (zu Beginn oder am Ende) ergeben.

Sie sind eingeladen, Fehler in diesem Buch zu melden oder den fachartikeln Zusätze in Ihrem Namen anzufügen. Dazu können wir Ihnen die Schreibrechte einstellen. Fehlerkorrekturen möchten wir in einem günstigen Arbeitsbuch mit einfließen lassen, sobald die jetzige Form (3.Auflage) ausverkauft ist. Zusatzartikel verbleiben aber hier, da wir die Seiteneinteilung grundsätzlich auch im neuen Buch einhalten wollen.

Benutzen Sie das Feldstecher-Symbol, um Suchbegriffe sofort zu finden.

Kritiken über das Buch finden Sie über www.amazon.de. Bestellen können Sie es direkt bei der Verlagsauslieferung, die täglich per Post gegen Rechnung Bücher ausliefert: HEROLD-Oberhaching@t-online.de oder HEROLD@heroldva.de. Da ist auch der Radiokatalog Band 1 zu haben.

Copyright Ernst Erb

www.radiomuseum.org