

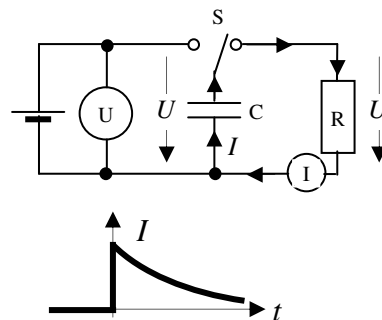
Roter Faden Physik
Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Von Kondensator und Spule zum Rundfunkempfänger
4. Auflage

von

Dr. Ortwin Fromm

Evangelische Schule Frohnau, Berlin

A) Entladung eines Kondensators C über einen Widerstand R
 Nach Aufladung (S links) beträgt die Ladung im Kondensator $Q = C \cdot U$. Durch Umschalten von S entlädt sich C über R und es fließt der Strom $I = -\dot{Q}$, weil Q gemindert wird. Dieser Strom durchfließt R , sodass $I = U/R$ gilt. Daher hat man $-\dot{Q} = U/R$. Ableiten von $Q = C \cdot U$ und Einsetzen ergibt $-C \cdot \dot{U} = U/R$. Das ist eine Differentialgleichung, die man mit dem Ansatz $U(t) = U_0 e^{kt}$ löst. Ableiten, Einsetzen und Kürzen



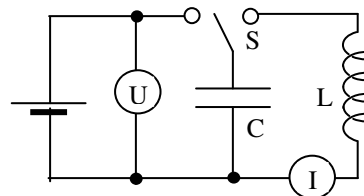
ergibt $k = -1/(RC)$ und damit $U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$, sowie $I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$.

B) Die Spule mit Selbstinduktionkonstante L

An eine Spule mit Eigenwiderstand R wird eine zeitlich veränderliche Spannung U_{Kl} angeklemt. Diese bewirkt einen zeitlich veränderlichen Strom I , welcher eine dazu proportionale Flussdichte B erzeugt. Hierdurch wird die Spannung U_{ind} induziert, welche sich U_{Kl} überlagert, wodurch die tatsächliche Spannung an den Spulenanschlüssen $U_{1 \rightarrow 2} = U_{Kl} + U_{ind}$ beträgt. Diese Spannung bewirkt nach dem Ohmschen Gesetz den Strom $U_{1 \rightarrow 2} = R \cdot I$. Bei einer idealen Spule ist jedoch $R = 0$, wodurch in diesem Falle $0 = U_{Kl} + U_{ind}$ entsteht. Jetzt wissen wir aber, dass die induzierte Spannung ihrer Ursache, der Stromänderung, entgegenwirkt und für $U_{ind} = -L \dot{I}$ gilt. Die von außen angeklemmte Spannung U_{Kl} und die Stromänderung stehen für die ideale Spule daher in der Beziehung $U_{Kl} = +L \dot{I}$. Die (positive) Größe L heißt Selbstinduktionskonstante, sie errechnet sich aus den Spulendaten zu $L = \mu_r \mu_0 n^2 A l$.

C) Der Schwingkreis zur Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen.

Jetzt wird der Widerstand in A) durch die ideale Spule L ersetzt. Umschalten von S nach rechts heißt, dass die Kondensatorspannung $U_C = Q/C$ „von außen an die Spule geklemmt“ wird und U_C damit die Rolle von U_{Kl} übernimmt. Somit haben wir $Q/C = L \dot{I}$. Ableiten dieser Gleichung ergibt $\dot{Q}/C = L \ddot{I}$. Wie



oben bewirkt der einsetzende Strom eine Abnahme der Kondensatorladung, weshalb wieder $\dot{Q} = -I$ ist. Das liefert die Differentialgleichung $-I/C = L \ddot{I}$, in welcher diesmal die zweite Ableitung vorzeichenumgekehrt proportional zur Originalgröße ist. Der Ansatz lautet daher z.B. $I(t) = I_0 \cos \omega t$. Ableiten, Einsetzen und Kürzen ergibt $\omega^2 = 1/(LC)$. Das führt auf die

Thomsonsche Schwingungsformel $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$ und die Stromgleichung $I(t) = I_0 \cos \sqrt{\frac{1}{LC}} \cdot t$.

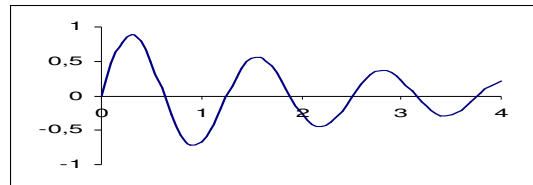
Wegen $Q = -\int I(t) dt = -\frac{I_0}{\omega} \sin \omega t$ gilt für den Spannungsverlauf $U(t) = \frac{Q}{C} = -\frac{I_0}{C \omega} \sin \omega t$.

Zwischen Kondensator und Spule baut sich also eine elektrische Schwingung auf. Sind U und Q gleich null, so ist der Strom I maximal und umgekehrt.

Vergleich mit der mechanischen Schwingung und seiner Frequenzformel $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$ zeigt,

dass das stromverzögernde L der trägen Masse m und $1/C$ der Federkonstanten D entspricht. Zunächst wird der zunehmende Ladungsabfluss aus C durch die Induktion gehemmt. Ist der Kondensator weitgehend leer, so versiegt der Entladungsstrom. Dieser Stromabnahme wirkt die Induktion erneut entgegen und verstärkt den Entladungsstrom über das Ziel hinaus, wodurch der Kondensator nun in umgekehrter Polung wieder aufgeladen wird, usw.

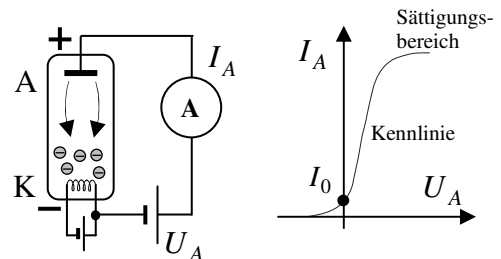
Wegen der vorhandenen Leiterwiderstände ist die Schwingung stets gedämpft. (Ausnahme: Supraleiter). Die Amplitude nimmt bei Dämpfung gemäß einer e -Funktion ab. Für die Frequenz bleibt die Thomson-Formel im Wesentlichen gültig.



Ungedämpfte elektrische Schwingungen erhält man nur, wenn alle Energieverluste *periodisch* aus einer Energiequelle, d.h. aus einer Gleichspannungsquelle, ersetzt werden. Der Nachschub muss daher durch ein *Steuerelement*, eine Triode oder einen Transistor zugeführt werden.

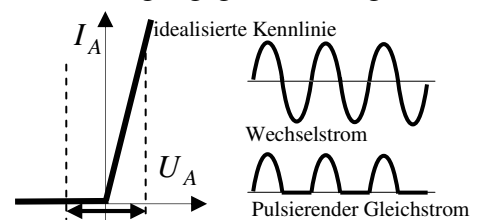
D) Die Diode als Gleichrichter und Vorstufe zur Triode

Die Diode besteht aus einem evakuierten Glaskolben, in welchen zwei Elektroden, die *Anode* und die *Kathode*, eingeschmolzen sind. Die Anode ist aus einer Metallplatte gefertigt, die Kathode aus einer mit i.A. 6,3 V beheizten Glühwendel, welche Elektronen emittiert und somit von einer Elektronenwolke umgeben ist. Im Wesentlichen fallen die Elektronen in die Kathode zurück,



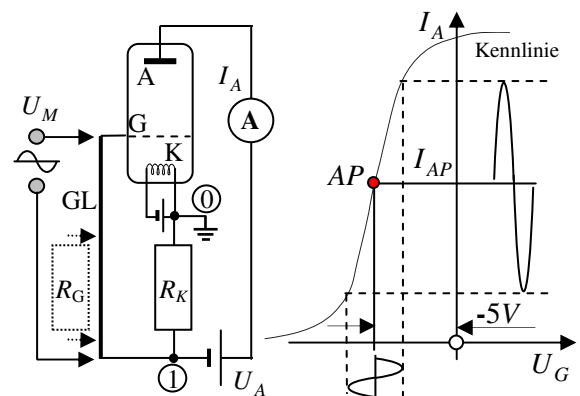
weil sich diese durch die Elektronenabgabe positiv auflädt. Einigen Elektronen gelingt es jedoch die Anode zu erreichen, so dass ein Strom I_0 fließt. Legt man nun die sog. Anodenspannung U_A zwischen Kathode und Anode, so saugt das elektrische Feld in der Röhre die Elektronen der obersten Schicht der Elektronenwolke ab und mit steigendem Wert von U_A fließt der zunehmende Anodenstrom I_A . Die Glühkathode kann nur eine begrenzte Anzahl von Elektronen pro Zeiteinheit abdampfen, sodass bei weiter zunehmendem U_A der Strom I_A letztlich konstant bleibt und die ansteigende Kennlinie in die Sättigungsgerade übergeht.

Die Diode wird als *Gleichrichter* genutzt: Wir idealisieren die Kennlinie gemäß nebenstehender Abbildung. Wird die Gleichspannungsquelle in der Schaltung gegen eine Wechselspannungsquelle ausgetauscht, so fließt während der positiven Halbwellen Strom, während der negativen Halbwellen wird er unterdrückt.



E) Die Triode als Schalter und Verstärker

Die Triode hat als zusätzliche Elektrode das *Gitter*, welches zwischen K und A liegt. Durch das Gitter lässt sich I_A steuern. U_A wird hier *fest* auf Maximalwert eingestellt. Die nebenstehende Kennlinie $I_A(U_G)$ zeigt, dass zunehmend *negative* Gitterspannung den Anodenstrom vom *Sättigungswert* bis auf *null* herunter drückt. U_G muss nun so *voreingestellt* werden, dass I_A einen mittleren Wert hat. Der voreingestellte Punkt heißt *Arbeitspunkt (AP)*. Die Einstellung des AP erreicht man durch einen Widerstand R_K im Anodenstromkreis, denn mit diesem wird U_A nach dem Spannungsteilerprinzip auf die *Röhre* und R_K aufgeteilt. Beträgt $U_A = 100V$, so liegen z.B. 95V an der Röhre und $U_{R_K} = 5V$ am Widerstand. Leitet man diese, im Vergleich zu Punkt ①



negative Spannung vom Punkt ① über die Gitterleitung GL zum Gitter, so hat man bei geeignetem R_K den richtigen AP eingestellt. Nun soll die kleine Wechselspannung U_M , welche z.B. von einem Mikrofon kommt $-U_{R_K}$ überlagern. Würde man U_M jedoch einfach an die Gitterleitung GL anschließen, so käme es im Mikrofon zum Kurzschluss. Deshalb muss der

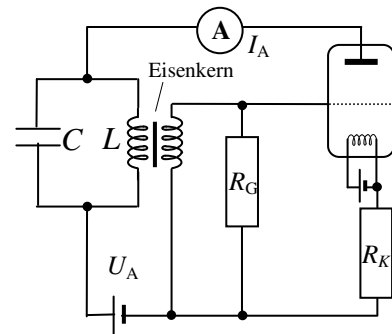
Widerstand R_G in GL eingefügt werden. Da das Gitter aber kalt ist und keine Elektronen emittiert, fließt von G nach K kein Strom: $i_G = 0$. Daher erfolgt an R_G auch kein Spannungsabfall, welcher die Gittervorspannung $-U_{R_K}$ verfälschen und den AP verschieben könnte:

$u_G = R_G \cdot i_G = 0$. Wegen $P_G = u_G \cdot i_G = 0$ erfolgt die Stromsteuerung der Triode leistungslos.

F) Die MEIßNERSche Rückkopplungsschaltung.

Diese Schaltung erzeugt *ungedämpfte* elektrische Schwingungen. Dazu wird die Steuerspannung für das Gitter *nicht* von außen eingespeist, sondern über Transformatorwirkung von der Schwingkreisspule abgegriffen. Dadurch wird der Anodenstrom im Rhythmus des Schwingkreises gesteuert und verstärkt den Spulenstrom jeweils im richtigen Moment, sodass die Verluste ausgeglichen werden.

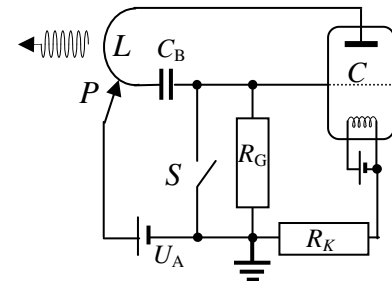
Wir verwenden $R = 10\Omega$, $R_G = 10k\Omega$ und $2 \times 12000Wdg$



G) UKW-Sender in Dreipunktschaltung.

Die Meißnerschaltung funktioniert nur für Frequenzen bis ca. 50 kHz . Für gute Sendeleistungen sind jedoch höhere Frequenzen erforderlich. Man verwendet deshalb die sogenannte *Dreipunktschaltung*, die ebenfalls nach dem Rückkopplungsprinzip arbeitet. Als Induktivität L für den Schwingkreis dient hier nur der Bügel zwischen Anode und Gitter, als Kapazität C nur der Raum zwischen Anode und Gitter. Beide sind daher extrem klein, so dass die Frequenz gemäß der THOMSONschen Formel bis in den MHz -Bereich kommt. Der optimale Anschlusspunkt P der Anodenspannung am Bügel muss durch Probieren ermittelt werden.

Der Kondensator $C_B \approx 10\mu F$ vor dem Gitter ist notwendig, um die positive Anodenspannung vom Gitter fernzuhalten und nur auf die Anode zu leiten, er beeinflusst den $C \approx 1pF$ Wert des Schwingkreises nur unwesentlich. Die Widerstände haben die oben beschriebene Funktion. Bei Schwingungsbetrieb schnüren sich vom Anodenbügel elektromagnetische Wellen (Radiowellen) ab. Sie zeigen sich als Empfangsstörung in einem UKW-Empfänger oder als Ausschlag an einem entfernt stehenden Voltmeter. Schließt man den Schalter S , so wird die Gittersteuerspannung kurzgeschlossen. Die Röhre kann den Anodenstrom nicht mehr takten, der Schwingkreis erhält keinen Energienachschub und die Sendeleistung sinkt auf null. Der Schalter dient somit als Morsetaster für den An- Aus-Betrieb..

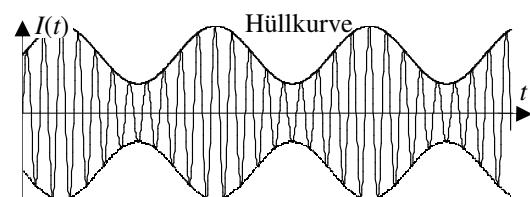


H) Modulation der HF-Schwingung mit einem NF-Signal

Der Schalter S kann den Sender nur AN und AUS schalten. Dabei wird die Amplitude der Hochfrequenzschwingung auf die Werte „0“ und „1“ gesetzt (digitale Steuerung). Verändert man den Amplitudenwert kontinuierlich, so lassen sich auch analoge Audiosignale übertragen. Diese Vorgehensweise heißt *Amplitudenmodulation* (AM). Als weitere Modulationsmöglichkeit kann man die Frequenz des HF-Signal im Rhythmus der NF-Information variieren, wobei die Amplitude konstant bleibt. Diese Technik nennt man *Frequenzmodulation*(FM).

a) Amplitudenmodulation (AM)

Ein amplitudenmoduliertes HF-Signal hat etwa nebenstehenden zeitlichen Verlauf. Seien f_{HF} und f_{NF} die HF- und NF-Frequenz. Dann gilt z.B. für die Stromstärke der unmodulierten Schwingung $I(t) = I_{HF} \cdot \sin(2\pi f_{HF} t)$. Durch die Modulation



wird die feste Amplitude I_{HF} durch die zeitabhängige Amplitude $I_{HF} + I_{NF} \sin(2\pi f_{NF} t)$

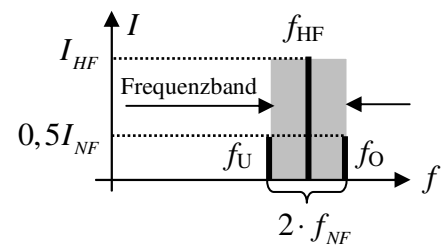
ersetzt, sodass der Strom gemäß $I(t) = (I_{HF} + I_{NF} \sin(2\pi f_{NF} t)) \cdot \sin(2\pi f_{HF} t)$ verläuft.

Ausmultiplizieren ergibt $I(t) = I_{HF} \sin(2\pi f_{HF} t) + I_{NF} \sin(2\pi f_{NF} t) \cdot \sin(2\pi f_{HF} t)$.

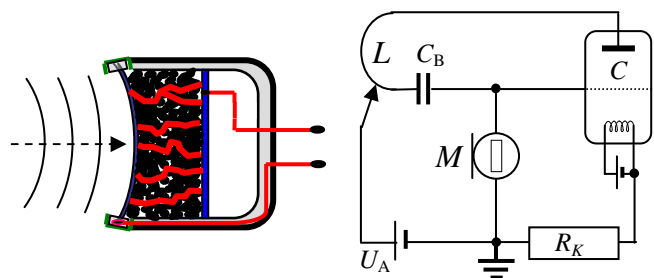
Der zweite Summand lässt sich per Additionstheorem umschreiben:

$$I(t) = I_{HF} \sin(2\pi f_{HF} t) + 0,5 \cdot I_{NF} \cos(2\pi(f_{HF} - f_{NF})t) - 0,5 \cdot I_{NF} \cos(2\pi(f_{HF} + f_{NF})t)$$

Diese Form zeigt, dass die modulierte Welle eine Überlagerung von *drei* reinharmonischen Wellen mit den Frequenzen f_{HF} , $f_U = f_{HF} - f_{NF}$ und $f_O = f_{HF} + f_{NF}$ ist. (Vergleiche: Die Summe zweier ähnlicher Sinusschwingungen führt zur Schwebung). Für die Trägerfrequenz $f_{HF} = 500 \text{ kHz}$ und eine maximal zu übertragende Tonfrequenz von $f_{NF} = 10 \text{ kHz}$ weichen die Seitenfrequenzen somit um 2% von der Trägerfrequenz ab und der Abstand zum nächsten Sender muss mindestens 20 kHz betragen, um überlappungsfreie Übertragung zu ermöglichen.



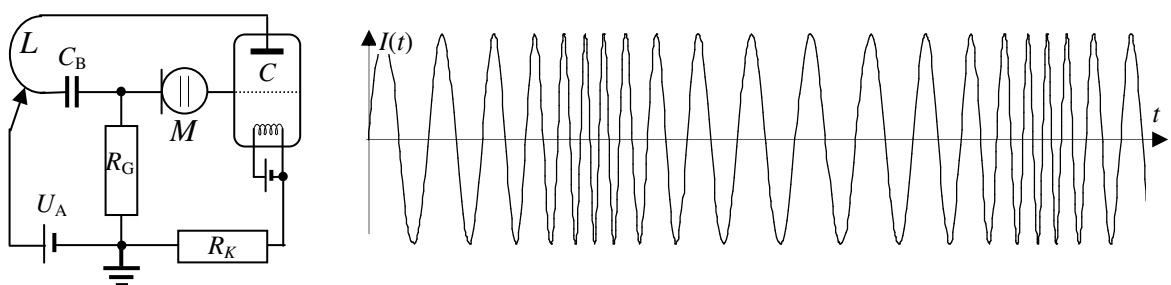
Technisch gelingt die Amplitudenmodulation der HF-Schwingung z.B. durch Ersetzen des Gitterwiderstandes R_G durch ein Kohlemikrofon. Der Schalldruck komprimiert über die Membran Graphitpulver im Rhythmus der Tonfrequenz, wodurch sich



der Widerstandswert des Pulvers entsprechend ändert. Dadurch wird ein mehr oder weniger großer Teil der Steuerspannung des Gitters kurzgeschlossen. Dies beeinflusst die Amplitude der HF-Schwingung entsprechend. Die AM kommt im Mittel- und Langwellenbereich zur Anwendung. Da auch atmosphärische Störungen auf die Amplitude des Funksignals wirken, ist die AM störanfällig. Man hört Knacken und Rauschen.

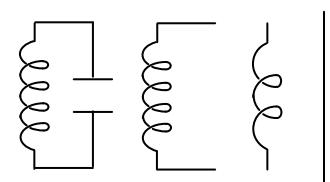
b) Frequenzmodulation (FM)

Die Frequenzmodulation (FM) wird ab dem UKW-Bereich genutzt. Bei ihr wird die *Frequenz* der HF-Schwingung im Rhythmus des NF-Signals variiert. Bei 100 MHz HF und 20 kHz NF beträgt die Frequenzschwankung weniger als 1/1000 Promille, sodass die relative Bandbreite gering ist und die Sender dicht bei einander liegen können. Technisch erreicht man die Frequenzänderung z.B. durch ein Kondensatormikrofon im Schwingkreis, denn eine Änderung der Schwingkreis Kapazität wirkt sich direkt auf die HF-Frequenz aus.



1) Die Antenne des Rundfunksenders.

Um die Sendeleistung optimal abzustrahlen, koppelt man die Schwingkreispule mit einer Antenne. Die Antenne ist in Wirklichkeit auch ein Schwingkreis, der lediglich aufgebogen und langgezogen wurde. Der Schwingkreis zwingt der Antenne nun seinen Rhythmus auf, so dass die Elektronen erzwungene Schwingungen ausführen. Von der Stabform lösen sich die elektromagnetischen Wellen leichter ab, als von der geschlossenen Ringform.



Vom geschlossenen Schwingkreis zur Stabantenne.

J) Die elektromagnetische Welle und ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit.

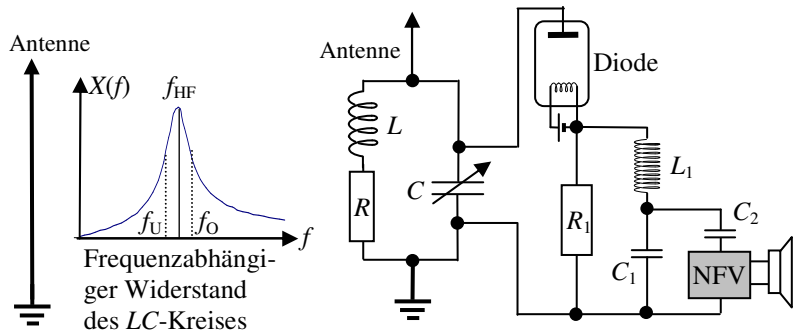
Man kann vermuten, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetische Welle durch die elektrische und die magnetische Feldkonstante $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ und $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$ bestimmt wird. Bildet man das Produkt $\epsilon_0 \cdot \mu_0 = 1,115 \cdot 10^{-17} \text{ s}^2/\text{m}^2$, so erhält man als Maßeinheit den Kehrwert des Quadrates einer Geschwindigkeit. Die Maßeinheit von $\sqrt{1/\epsilon_0 \cdot \mu_0}$ ist also m/s . Tatsächlich gilt $\sqrt{1/\epsilon_0 \cdot \mu_0} = 299500 \text{ km/s}$, was genau die Lichtgeschwindigkeit c ist. Dies war ein Hinweis: Auch Licht ist eine elektromagnetische Welle.

K) Empfänger, Demodulation

Die Demodulation dient der Rückgewinnung des ursprünglichen NF-Signals. Es gibt viele Demodulationstechniken. Hier wird nur die Grundfunktion erklärt.

a) AM - Demodulation

Der Empfang der elektromagnetischen Wellen erfolgt durch eine Stabantenne, welche den freien Raum mit dem Erdboden verbindet. Die Wellen der verschiedenen Sender bewirken ein hochfrequentes

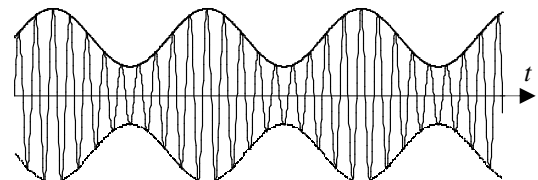


„Durcheinander“ zwischen Antennenspitze und Bodenende, welches einen entsprechenden Strom fließen lässt. In diesen Stromfluss wird nun ein LC-Kreis mit Widerstand R geschaltet, welcher für den HF-Strom als frequenzabhängige Impedanz (frequenzabhängiger Widerstand) $X(f)$ wirkt. Für die Eigenfrequenz f des LC-Kreises ist der Impedanzwert maximal, so dass nach dem Spannungsteilerprinzip für diese Frequenz der größte Teil der Feldspannung am Schwingkreis abfällt, während die Ströme der übrigen Frequenzen zum Boden durchgeleitet und damit kurzgeschlossen werden. Dadurch filtert die, um den LC-Kreis ergänzte Antenne genau *eine* Frequenz aus dem „Wellensalat“ heraus. Mittels des Drehkondensators lässt sich die gewünschte Empfangsfrequenz einstellen. Der Widerstand R im LC-Kreis verbreitert die Resonanzkurve. Dies ist erforderlich, um das gesamte Frequenzband des eingestellten Senders von $f_{HF} - f_{NF}$ bis $f_{HF} + f_{NF}$ einzufangen. Ist die Resonanzkurve zu schmal, so geht die NF-Information des Signals verloren (Siehe H)a).

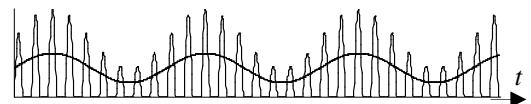
Zwischen den Platten des Kondensators C des LC-Kreises liegt also die amplitudenmodulierte Hochfrequenzspannung, welche der eingestellte Sender abgestrahlt hat.

Jetzt folgen drei weitere *Spannungsteiler*.

- 1) Der erste Spannungsteiler besteht aus einer Diode und dem Widerstand R_1 . Für positive Spannungswerte beträgt der Diodenwiderstand etwa null und die gesamte Spannung fällt am Widerstand ab. Ist die Spannung hingegen negativ, so liegt die Gesamtspannung an der Diode, weil deren Widerstand nun gegen unendlich geht. Für den Spannungsanteil an R_1 bleibt jetzt also nur null übrig. Deshalb liegt an R_1 eine gleichgerichtete NF-modulierte HF-Spannung.
- 2) Der zweite Spannungsteiler besteht aus L_1 und C_1 . Der Wechselstromwiderstand eines Kondensator beträgt $X_C = 1/\omega C$. Er geht für hohe Frequenzen gegen null und für niedrige gegen



NF-modulierte HF-Schwingung am Kondensator C des Empfängerschwingkreises.

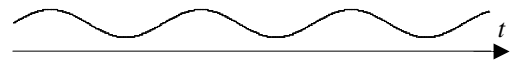


Gleichgerichtete NF-modulierte HF-Schwingung am Widerstand R und ihr Mittelwert.

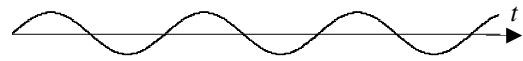
unendlich. Bei der Spule ist es umgekehrt:

$X_L = \omega L$. Somit fällt die HF-Spannung an der Spule L_1 und die NF-Spannung, inklusive Gleichspannungsanteil, am Kond. C_1 ab.

- 3) Der dritte Spannungsteiler besteht aus dem Kondensator C_2 und dem Verstärker NFV, dessen Eingang man als Widerstand ansehen kann. Der noch vorhandene Gleichspannungsanteil wird von C_2 abgeblockt, sodass das anfängliche NF-Signal am Verstärkereingang wieder hergestellt ist.



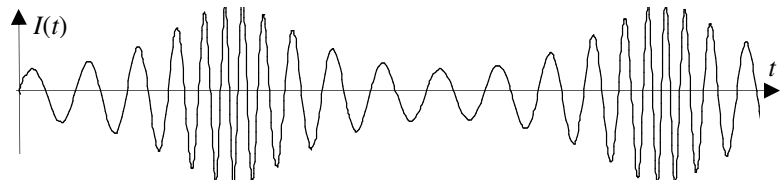
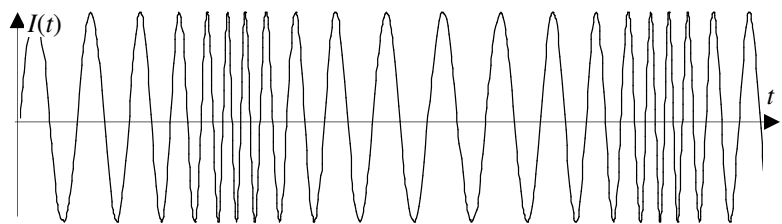
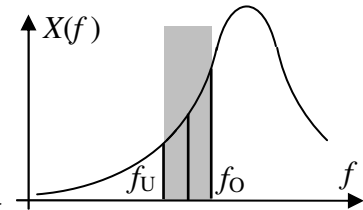
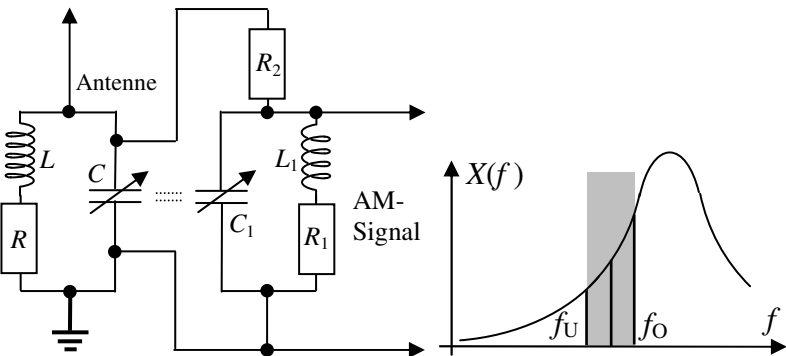
Am Kondensator C_1 bleibt nur der niederfrequente Mittelwert der vormaligen HF-Spannung übrig.



Der Kondensator C_2 blockt den Gleichspannungsanteil ab. Am Verstärkereingang liegt so die ursprüngliche NF-Wechselspannung.

b) FM - Demodulation

Das gewünschte HF-Signal wird wieder durch eine Antenne mit integriertem LC-Kreis aus dem „Wellensalat“ herausgefiltert. Wie oben sorgt R für den Empfang des gesamte Frequenzbandes von f_U bis f_O . Am Kondensator C steht deshalb das FM-modulierte Signal des eingestellten Senders zur Verfügung. Dieses wird auf einen Spannungsteiler, bestehend aus dem Widerstand R_2 und dem $L_1 C_1 R_1$ -Kreis, geleitet. Die Drehkondensatoren der beiden Kreise sitzen auf einer gemeinsamen Achse und werden somit jeweils gleich eingestellt. Die Spule L_1 hat jedoch ein paar Windungen



weniger als L , sodass die Resonanzfrequenz des zweiten Kreises minimal höher liegt, als die des Eingangskreises. Dadurch fällt das HF-Signal auf die linke Flanke der Resonanzkurve $X(f)$ des zweiten Kreises. Hier stellt sich den höheren Frequenzen aber ein größerer Widerstand entgegen, sodass die höheren Frequenzen mit einer höheren und die niedrigeren Frequenzen einer geringeren Spannung an den Abgriffen abgenommen werden. Damit ist die FM-Modulation in eine AM-modulierte FM-Modulation überführt und kann entsprechend weiter AM-demoduliert werden.

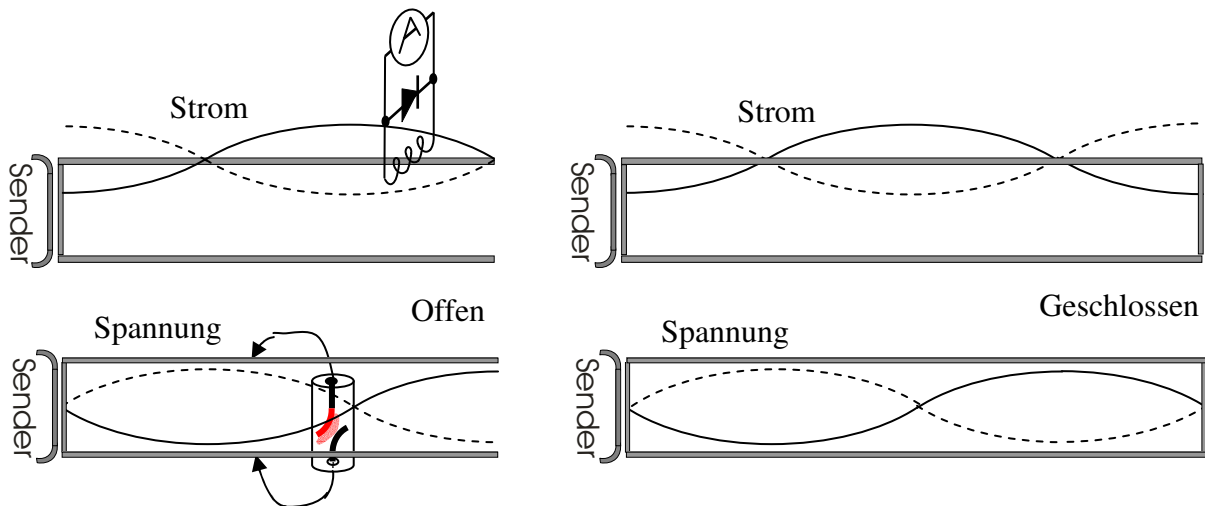
L) Stehende elektromagnetische Wellen, das Lechersystem

Ältere Fernsehantennenkabel bestehen aus zwei parallelen in Kunststoff eingebetteten Drähten, einem sog. Lecherleiter. Wir untersuchen solch ein Doppelleitersystem, bei welchem die Drähte an einem Ende U-förmig verbunden sind. Dieses Verbindungsstück dient einem Dezimeterwellensender als Antenne. Am anderen Ende können die Drähte entweder offen bleiben oder ebenfalls verbunden werden. Die vom Sender kommende elektromagnetische Welle läuft dann über das Leitersystem und wird auf der Gegenseite reflektiert, wodurch sich durch Überlagerung eine stehende elektromagnetische Welle mit Strombäuchen und -knoten, sowie Spannungsbäuchen und -knoten ausbildet. Die Strombäuche weist man induktiv mit Glühlämpchen oder Milliampereometer nach, die Spannungsbäuche mit einem Glimmlämpchen.

Stehende Wellen kennen wir vom Seil. Auch dort führt die Reflexion an *offenen* bzw. *geschlossenen* Ende zu unterschiedlichem Verhalten am Ende.

Entsprechendes gilt für die stehende elektromagnetische Welle:

Verhalten am Ende	Phasensprung		Knoten / Bauch	
	Spannung U	Strom I	Spannung U	Strom I
geschlossen	π	0	Knoten	Bauch
offen	0	π	Bauch	Knoten



Beim offenen System passen 3, 5, 7, ..., $(2n+1)$ Viertelwellen auf die Leiterlänge.

Beim geschlossenen System passen 2, 4, 6, ..., $2n$ Viertelwellen auf die Leiterlänge.

Das Lechersystem dient, analog dem Kundt'schen Rohr in der Akustik, zur λ -Bestimmung. An den Strombäuchen ist der Leiter maximal von Magnetfeldlinien umgeben, welche in der rechtwinklig *angehaltenen* Messspule einen Sekundärstrom induzieren.

Bei den Spannungsbäuchen ist die elektrische Feldstärke *zwischen* den Leitern maximal, sie kann mit einer Glimmlampe nachgewiesen werden.

Aufgaben.

- 1) Erkläre das Zustandekommen von gedämpften Schwingungen am elektrischen Schwingkreis in physikalischer Fachsprache.
- 2) Stelle die Differentialgleichung für den Schwingkreisstrom auf.
Leite so die Thomson'sche Schwingungsgleichung her.
- 3) Erläutere die Funktionsweise von Diode und Triode. Erkläre die Triodengrundschialtung.
- 4) Wozu dient die Meißner-Schialtung. Erläutere ihre Wirkungsweise.
- 5) Erläutere die Wirkungsweise der Dreipunkt-Schialtung. Wozu dient der Blockkondensator? Wo befindet sich der Schwingkreis? Berechne die Eigenfrequenz für den Anodenbügel mit $L = 5 \mu H$ und die Gitter-Anode-Kapazität $C_{GA} = 0,8 nF$. Wie groß ist die Wellenlänge λ der abgestrahlten Welle? Welcher Wellenbereich liegt vor: LW, MW, KW oder UKW? Mit welchen Antennenlängen ist guter Empfang möglich?
- 6) Inwiefern erhält man allein aus der Kenntnis der elektrischen und magnetischen Grundkonstanten ϵ_0 und μ_0 einen Hinweis, dass auch Licht eine elektromagnetische Welle ist?
- 7) Wie können AM und FM am Dreipunktsender technisch realisiert werden?
- 8) Erkläre das Zustandekommen der Seitenfrequenzen und des Frequenzbandes bei der AM.
- 9) Erläutere, wie die Empfängerantenne aus dem „Wellensalat“ *eine* Frequenz herausfiltert.
- 10) Erkläre das Gleichrichten und Glätten bei AM-Empfänger.
- 11) Erkläre Methode der FM-Flanken-Demodulation.
- 12) Erläutere das Lecher-System und gib an, wie damit eine unbekannte Senderfrequenz gemessen werden kann. Wie funktionieren der Strom- und Spannungsnachweis?