

9. Eigenschaften und Anwendungen von Kondensator und Spule

z.T. ohne Grafiken!

9.1. Der Kondensator im Gleichstromkreis

Schaltung 1:

Laden eines Kondensators via Vorwiderstand, Aufzeichnen von Strom und Spannung:

Ergebnis:

- Die Spannung steigt in einer Exponentialfunktion von null auf den Endwert (=Quellspannung)
- Der Ladestrom sinkt in einer Exponentialfunktion auf null.
Der Anfangsstrom wird bestimmt durch die Summe aller Widerstände R im Kreis (vorgeschaltete Widerstände + ev. Innenwiderstand der Quelle + Leitungswiderstand).
- Im ungeladenen Zustand hat der Kondensator den Widerstand null.
- Im geladenen Zustand hat er einen fast unendlich grossen Widerstand.
- Die Ladedauer ist proportional zu R und zur Kapazität C

Schaltung 2:

Entladen des Kondensators über Widerstand, Verlauf von Strom und Spannung:

Ergebnis:

- Die Spannung sinkt in einer Exponentialfunktion auf null.
- Der Entladestrom sinkt in einer Exponentialfunktion auf null.
- Der Anfangsstrom wird bestimmt durch den Gesamtwiderstand R im Entladekreis.
- Die Entladedauer ist proportional zu R und zur Kapazität C

Schlussfolgerung:

- Ein Kondensator sperrt Gleichstrom.
- Lade- und Entladezeit sind nur von R und C abhängig.
Die sogenannte Zeitkonstante in s ist $\tau = R \cdot C$, nach der Zeit τ ist die Funktion auf 63% des Endwerts
Nach **fünf** Zeitkonstanten gelten Lade- bzw. Entladevorgang als beendet.
- Die **Halbwertszeit** beträgt $T_{1/2} = R \cdot C \cdot \ln 2 = R \cdot C \cdot 0.693$

9.1.1 Der Kondensator als Zeitglied

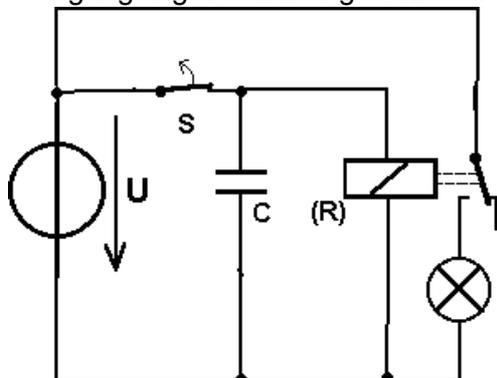
Aus den Schlussfolgerungen ergeben sich erste Anwendungen für Kondensatoren.

Ein Kondensator **C** bildet zusammen mit einem zugehörigen Widerstand **R** ein sogenanntes **Zeitglied**. Ein Zeitglied ist eine **zeitbestimmende** elektronische Schaltung.

Die Zeit ist durch **C** und **R** bestimmt. Wann die Zeit als abgelaufen gilt, hängt von den übrigen Schaltelementen ab (zum Beispiel von der Anzugs- oder Haltespannung eines Relais). Beispiele:

Ausschaltverzögerung:

Ausgangslage: Schalter geschlossen, Relais angezogen, Lampe brennt. Nach dem Öffnen des Schalter erlischt die Lampe erst verzögert. Der Kondensator entlädt sich über der Relaispule. Die zeitbestimmenden Elemente sind C und der Widerstand der Relaispule R.



Versuchs-Beispiel:

Kapazität C:.....

Widerstand der Relaispule:.....

Minimale Haltespannung des Relais:.....

Ladespannung U (doppelte Haltespannung):.....

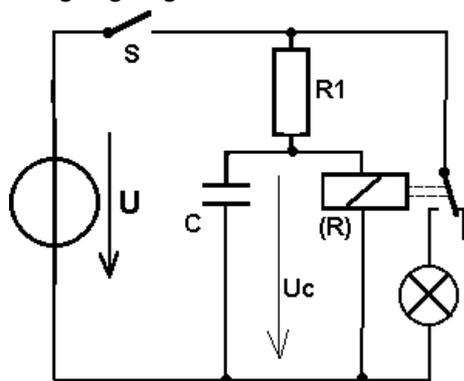
Verzögerungszeit gerechnet:.....

$$(T_{1/2} = R \cdot C \cdot \ln 2 = R \cdot C \cdot 0.693)$$

Verzögerungszeit gemessen:.....

Einschaltverzögerung:

Ausgangslage: Schalter offen, Kondensator entladen, Lampe dunkel.



Da der Kondensator noch ungeladen ist, wirkt er wie ein Kurzschluss, die Spannung U_c ist null, das Relais kann nicht anziehen, die Lampe bleibt dunkel.

Der Kondensator wird über R_1 geladen, damit steigt U_c an. Sobald die Anzugspannung des Relais erreicht ist, schaltet es die Lampe ein. Die maximale Ladespannung des Kondensators ist bestimmt durch den Spannungsteiler aus R_1 und dem Spulenwiderstand R des Relais.

$$U_c = U \cdot R / (R + R_1)$$

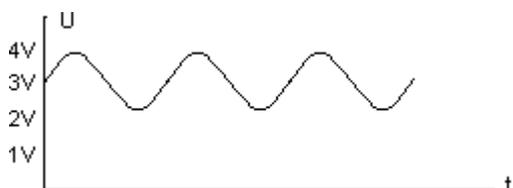
9.1.2 Der Kondensator zum Entkoppeln von Gleichstrom

Da der Kondensator Gleichstrom sperrt, kann man damit aus einem Mischsignal aus Gleichstrom und Wechselstrom den Wechselstromanteil herausfiltern.

Dies wird bei jedem Verstärker am Eingang und am Ausgang gemacht. Wenn man nämlich eine Batterie an den Eingang eines Verstärkers hängt, so kommt am Ausgang kein verstärkter Gleichstrom heraus, sondern nichts.

Eingangssignal

Gleichstrom von 3V (=Mittelwert)
überlagert mit Wechselstrom von 2 Vpp

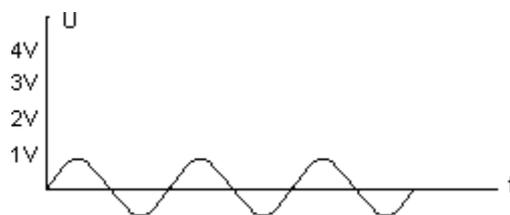


Kondensator



Ausgangssignal

Nur noch Wechselstromanteile

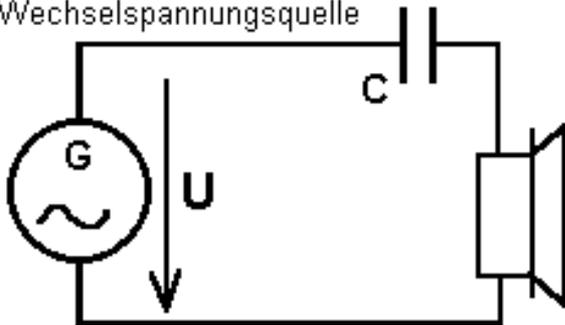


9.2. Der Kondensator im Wechselstromkreis

Versuch:

Ein Lautsprecher wird **in Serie** mit einem Kondensator an ein Radio angeschlossen.

Radio, dargestellt als
Wechselspannungsquelle



Beobachtungen:

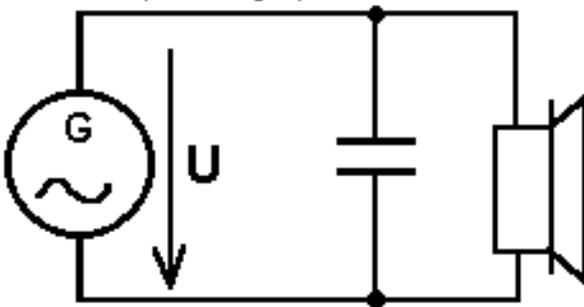
- Bei grosser Kondensatorkapazität C hört man noch fast alles.
- Je kleiner die Kapazität ist, desto **weniger** hört man die **tiefere** Töne. Die **hohen Töne werden besser durchgeleitet**.

Interpretation:

Weil er in Serie zum Lautsprecher liegt, dämpft er die tieferen Töne ab.

Was passiert, wenn wir den Kondensator **parallel** zum Lautsprecher anschliessen?

Radio, dargestellt als
Wechselspannungsquelle



Beobachtungen:

- Bei kleiner Kondensatorkapazität C hört man noch fast alles.
- Je grösser die Kapazität ist, desto **weniger** hört man die **höheren** Töne.

Interpretation:

Auch hier werden die **hohen Töne** vom Kondensator **besser geleitet**, somit besser "kurzgeschlossen", so dass man sie im Lautsprecher **weniger** hört.

Anwendung: Frequenzweichen in Lautsprecherboxen.

- Das obere Schaltbild wird für die Ansteuerung von Hochtonlautsprechern verwendet.
- Das untere Schaltbild kann (in Verbindung mit anderen Komponenten allerdings) zur Ansteuerung von Tieftonlautsprecher verwendet werden.

Folgerung:

Der Kondensator wirkt wie ein frequenzabhängiger Widerstand!

Ein Kondensator "leitet" Wechselstrom umso besser, je höher seine Frequenz ist.
(Gleichstrom sperrt er, Gleichstrom hat die Frequenz null.)

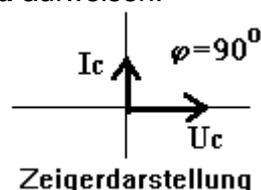
Dieser **frequenzabhängige Widerstand** heisst

Kapazitiver "Blind"widerstand X_C und ist

von C und der Frequenz f abhängig. Er berechnet sich mit

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

Unter 9.1. haben wir gesehen, dass der Kondensator bei voller Ladespannung keinen Strom mehr leitet. Wenn er jedoch ungeladen ist, als seine Spannung null ist, ist der Ladestrom maximal. Daraus ergibt sich, dass im Wechselstrombetrieb bei einem Kondensator der Strom und die Spannung eine **Phasenverschiebung von 90 Grad** aufweisen.



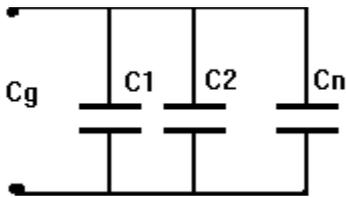
Von **Blindwiderstand** spricht man deshalb, weil aufgrund der Phasenverschiebung beim idealen Kondensator **keine Energie** im Kondensator **umgesetzt** wird! Die Energie wird zwischen Quelle und "Verbraucher", also dem Kondensator, hin- und hergeschoben.

9.3. Serie- und Parallelschalten von Kondensatoren

Es lassen sich ähnliche, aber umgekehrte Formeln wie für die Schaltungen von Widerständen herleiten:

9.3.1. Parallelschaltung

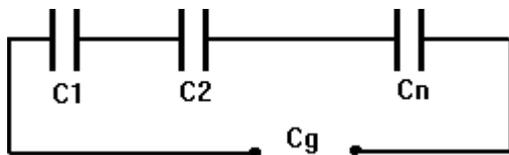
Die **Gesamtkapazität C_g** einer Parallelschaltung aus **n** Kondensatoren ist der **Summe** der einzelnen Kapazitäten:



$$C_g = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

9.3.2. Serieschaltung

Hier gilt die etwas kompliziertere Formel mit den Reziprokwerten (wie für die Parallelschaltung von Widerständen):



$$\frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Bei nur **zwei Kondensatoren** mit C_1 bzw. C_2 gilt die Formel "Produkt geteilt durch Summe":

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Für **n gleichgrosse** Kondensatoren mit der Kapazität **C** gilt vereinfacht:

$$C_g = C / n$$

9.4. Die Spule im Gleichstromkreis

Die Spule zeigt generell ein ähnliches und trotzdem fast gegenteiliges Verhalten wie der Kondensator.

Das Auf- und Entladen beim Kondensator entspricht hier dem Auf- und Abbauen des Magnetfeldes.

Ein neues Phänomen ist die **Selbstinduktion (siehe Kapitel 8!)**, also das Auftreten einer Spannung aufgrund einer **Stromänderung** in der Spule.

Einschalten einer Spule via Vorwiderstand

Aufzeichnen von Strom und Spannung:

Ergebnis:

- Der Strom kann nicht sprunghaft ändern, sondern steigt in einer Exponentialfunktion von null auf den Endwert. Der Endstrom wird bestimmt durch die Summe aller Widerstände R im Kreis (vorgeschalte Widerstände + ev. Innenwiderstand der Quelle + Leitungswiderstand).
- Die Spannung über der Spule sinkt in einer Exponentialfunktion auf null.
- Zu Beginn hat die Spule einen unendlich grossen Widerstand (deshalb ist am Anfang $U = U_q$).
- Wenn das Magnetfeld aufgebaut ist, ist der Spulenwiderstand fast null.
- Die "Lade"dauer ist proportional zu R und zur Induktivität L

Abschalten einer Spule

Nach dem "Aufladen" der Spule, also dem Magnetfeldaufbau, wird die magnetische Energie **nicht gespeichert**, da sie vom **dynamischen Stromfluss** (und nicht wie beim Kondensator von der statischen Spannung) abhängt.

Wird der Stromfluss abgestellt, so muss die Spulenenergie in eine andere Energieform übergehen.

Deshalb gibt es beim **Abschalten einer Spule zwei Möglichkeiten:**

- A) die Spulenenergie wird in einen "Verbraucher" geleitet, der Stromkreis bleibt geschlossen.
- B) der Stromkreis wird geöffnet

A: Abschalten der Spule durch Auf-Null-Stellen der Spannung = Ableiten in Verbraucher:

Ergebnis:

- Die Spannung springt auf einen **negativen** Anfangswert und steigt gegen null.
- Der "Entlade"strom sinkt in einer Exponentialfunktion auf null.
- Die negative Spannungsspitze U_{max} wird bestimmt durch den zuletzt geflossenen Strom I und den Gesamtwiderstand R im Entladekreis: Mit dem Ohmschen Gesetz: $U_{max} = R \cdot I$.**
- Die "Entlade"dauer ist proportional zu R und zur Induktivität L

B: Abschalten der Spule durch Öffnen des Stromkreises:

Im Prinzip passiert das gleiche wie im Fall A.

Öffnen des Stromkreises heisst nun einfach, dass die magnetische Energie nicht mehr in einem Verbraucher umgesetzt werden kann, sondern woanders.

Es bedeutet, dass kein Entladewiderstand vorhanden ist, **R** also **unendlich** gross ist.

Somit wird gemäss der letzten Formel **$U_{max} = R \cdot I$** , auch die Spannungsspitze theoretisch unendlich gross!

In der Realität entlädt sich diese Energie über dem sich öffnenden Schalter in Form einer Funkenstrecke, welche auch die Spannung begrenzt.

Je schneller man den Strom zu unterbrechen versucht, desto höher wird die Selbstinduktionsspannung und desto grösser die Funkenstrecke.

Ergebnis:

- Die Spannung erreicht einen **undefinierten** Spitzenwert und sinkt dann **unregelmässig** gegen null.
- Der "Entlade"strom sinkt **unregelmässig** auf null.
- Die "Entlade"dauer ist abhängig von der **Geschwindigkeit, mit der der Schalter geöffnet wird** und von der Induktivität **L**

Schlussfolgerungen zu 9.4.:

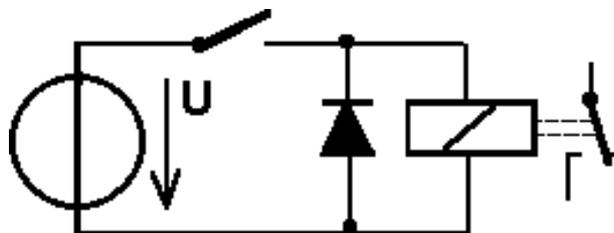
- Eine Spule leitet Gleichstrom.
- Die Magnetfeldauf- und abbauphase ist von R und L abhängig.
Die sogenannte Zeitkonstante in s ist **$\tau = L / R$** ,
nach der Zeit **τ** ist die Exponential-Funktion auf 63% des Endwerts
Nach **fünf** Zeitkonstanten gelten Auf- bzw. Abbauphase als beendet.
- Die **Halbwertszeit** beträgt **$T_{1/2} = \ln 2 \cdot L / R = 0.693 \cdot L / R$**
- Da jedes reale elektrische System eine gewisse Induktivität hat, entsteht bei jedem Ausschaltvorgang ein mehr oder weniger grosser Funke. Und deshalb hat jeder Schalter eine begrenzte Lebensdauer.

9.4.1 Massnahme gegen hohe Selbstinduktionsspannungen

Das Ausschalten von Spulen kann **hohe Selbstinduktions-Spannungen** hervorrufen, welche **elektronische Schaltungen gefährden**. Der dabei entstehende Funke verursacht zudem **elektromagnetische Störungen**.

Gerade beim Ausschalten von Relaispulen muss oft die Ansteuer-Elektronik geschützt werden. Dabei kommt einem zugute, dass die Selbstinduktionsspannung andersherum gepolt ist als die erwünschte Spannung.

Mit einer sogenannten **Diode, einem elektronischen Ventil**, lässt man die positive Versorgungsspannung unbehelligt, kann aber so die negative Spannungsspitze kurzschliessen, so dass kein Funkenschlag erfolgt und elektronische Bauteile geschützt sind.



9.4.2 Die Spule als Zeitglied

Für die Spule ergeben sich im Prinzip die gleichen Anwendungen wie für den Kondensator (**Kap. 9.1.1**), nämlich als Zeitglied in Verbindung mit einem Widerstand.

Eine Spule L bildet zusammen mit einem zugehörigen Widerstand R ein sogenanntes **Zeitglied**. Wie erwähnt berechnet sich die Zeitkonstante (τ =Tau) in s mit

$$\tau = L / R$$

Nach der Zeit τ ist die Exponential-Funktion auf 63% des Endwerts.

Nach **fünf** Zeitkonstanten gelten Auf- bzw. Abbauvorgang als beendet.

Die **Halbwertszeit** beträgt $T_{1/2} = \ln 2 \cdot L / R = 0.693 \cdot (L / R)$

Die praktischen Anwendungen dafür sind jedoch relativ selten. Der Grund dafür ist, dass eine Spule mit einer gewissen Induktivität sofort eine ansehnliche Baugrösse aufweist und deshalb komplizierter herzustellen ist. Es ist wesentlich einfacher, ein Zeitglied mit Kondensatoren zu machen als mit Spulen.

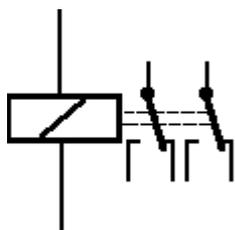
9.4.3 Das Relais. Eine Anwendung der Spule als Elektromagnet

Ein Relais ist ein elektromagnetisch betätigter Schalter. Ein gesteuerter Schalter, der zwei Zustände einnehmen kann: Schalter offen oder Schalter zu. Es ist damit eigentlich ein binäres Element. Im Prinzip lassen sich mit Relais Logikgatter und damit Computer bauen (wie mit Transistoren).

Ein Relais besteht aus einem **Elektromagneten**, der einen oder mehrere **Schalter** "bedient".

Die Funktion ist relativ einfach:

Der bewegliche Teil des Schalters muss so angeordnet und beschaffen sein, dass er von der magnetisierten Spule angezogen werden kann.



Dies ist das Schaltsymbol eines Relais, hier mit **zwei Umschaltern** ausgestattet. Es besteht aus einer **Magnetspule** im linken Teil und den **zwei Umschaltern** im rechten Teil, die meist zeichnerisch untereinander und an die Spule gekoppelt sind. Die Schalter werden in **Ruheposition** gezeichnet, also im **stromlosen** Zustand der Spule. Die Schalter können auch weit entfernt von der Spule gezeichnet sein, jedoch muss immer klar sein, welche Spule zu welchem Schalter gehört.

9.4.3.1 Anwendung: Getrennter Steuerstromkreis und Laststromkreis

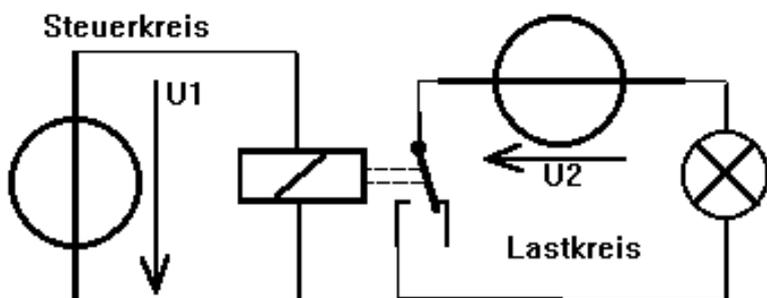


Bild951

Dies ist die **häufigste** Anwendung!

Wirkungsweise der Schaltung:

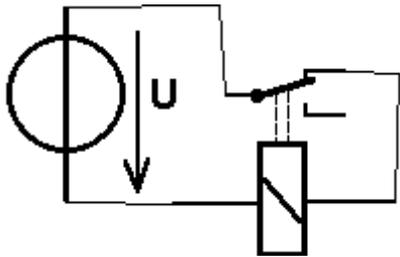
Mit dem Steuerstromkreis wird die Relaispule magnetisiert und der Schalter umgeklappt.

Der Schalter schliesst dann den Laststromkreis und schaltet den Verbraucher (Lampe) ein.

Oft muss der Steuerstromkreis vom zu schaltenden Stromkreis getrennt werden. Zum Beispiel wenn

- eine grosse Distanz zwischen Schalter und Last besteht
- eine galvanische (=elektrische) Trennung nötig ist (Beispiel: Modem: Onlineschaltung: Trennung des Telefonnetzes und der Stromversorgung des Modems)
- unterschiedliche Spannungs- oder Stromverhältnisse herrschen
- mehrere Schaltstellen auf eine Last wirken sollen

9.4.3.2 Anwendung als so genannte astabile Kippstufe (automatischer Ein-Aus-Schalter, Prinzip der Türglocke)



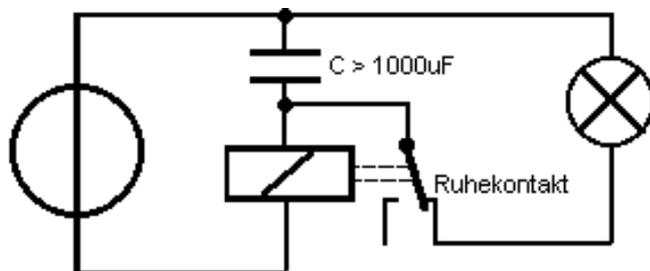
Wirkungsweise der Schaltung:

Die Spannungsquelle bringt über den geschlossenen **Ruhekontakt** des Schalters das Relais zum Umschalten. Damit wird der Schalter aber geöffnet, womit die Spule wieder stromlos wird und den Schalter "fallen lässt", womit er sich wieder schliesst. Siehe Anfang!

Daraus ergibt sich ein schnarrendes Geräusch, weil der Relaischalter relativ rasch auf und zu klappt.

Relais werden dafür eigentlich nicht eingesetzt, jedoch funktioniert nach genau diesem Prinzip die elektrische Türglocke.

9.4.3.3 Anwendung in Verbindung mit einem Kondensator: **Blinklicht**



Wirkungsweise der Schaltung:

Anfangszustand: Der Kondensator sei ungeladen, er leitet den Strom, das Relais zieht an, der Ruhekontakt ist also offen, die Lampe bleibt dunkel. Der Kondensator lädt sich auf, der Stromfluss nimmt exponentiell ab. Deshalb fällt irgendwann das Relais ab, und der Ruhekontakt schliesst sich.

Nun entlädt sich der Kondensator in die Lampe, welche nun aufleuchtet. Da sich der Kondensator entlädt, wird die Lampe wieder dunkler, und der Kondensator beginnt wieder besser zu leiten. Somit zieht das Relais plötzlich wieder an, die Lampe löscht ganz. Der Vorgang wiederholt sich.

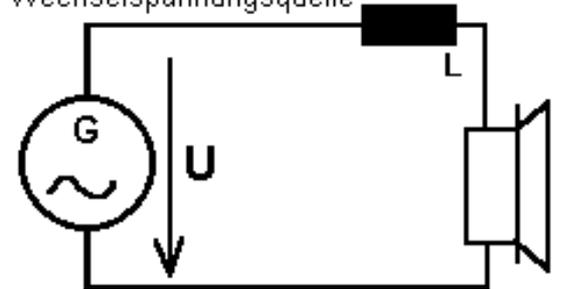
Hier handelt es sich ebenfalls um eine astabile Kippstufe wie im vorherigen Beispiel. Es findet ein automatisches Ein- und Ausschalten statt.

9.5. Die Spule im Wechselstromkreis (Vergleiche Kap. 9.2)

Versuch:

Ein Lautsprecher wird **in Serie** mit einer Spule an ein Radio angeschlossen.

Radio, dargestellt als
Wechselspannungsquelle



Beobachtungen:

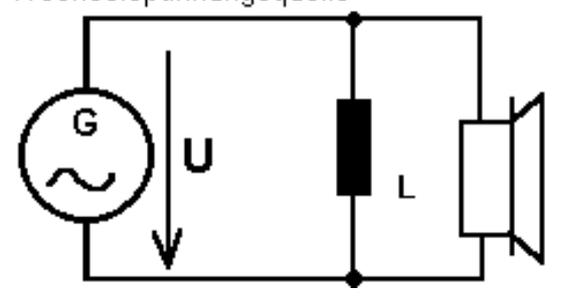
- Die hohen Töne werden leiser.
- Je grösser die Induktivität ist, desto **weniger** hört man die **hohen** Töne gegenüber den tiefen.

Interpretation:

Die **tiefen Töne** werden von der Spule **besser geleitet als die hohen**. Weil er in Serie zum Lautsprecher liegt, dämpft er die hohen Töne ab.

Was passiert, wenn wir die Spule **parallel** zum Lautsprecher anschliessen?

Radio, dargestellt als
Wechselspannungsquelle



Beobachtungen:

- Die tiefen Töne werden leiser.
- Je grösser die Induktivität ist, desto **weniger** hört man die **tiefen** Töne gegenüber den hohen.

Interpretation:

Auch hier werden die **tiefen Töne** von der Spule **besser geleitet** als hohe, somit besser "kurzgeschlossen". Im Lautsprecher hört man also eher die **hohen** Töne noch.

Anwendung: Frequenzweichen in Lautsprecherboxen.

- Das obere Schaltbild wird für die Ansteuerung von Tieftonlautsprechern verwendet.

Folgerung:

Auch die Spule wirkt wie ein frequenzabhängiger Widerstand!

Eine Spule **leitet Wechselstrom** umso **schlechter**, je **höher seine Frequenz** ist.

(Gleichstrom leitet sie maximal, Gleichstrom hat die Frequenz null.)

Dieser **frequenzabhängige Widerstand** heisst

Induktiver "Blind"widerstand X_L und ist

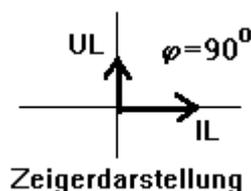
von der Induktivität L und der Frequenz f abhängig. Er berechnet sich mit $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$

Unter 9.4. haben wir gesehen: Wenn der Strom durch die Spule noch null ist, so ist die Spannung über der Spule maximal. Umgekehrt bei aufgebautem Magnetfeld: Der Strom wird maximal geleitet, die Spannung ist null. Daraus ergibt sich, dass bei einer Spule am (sinusförmigen) Wechselstrom die Spannung und der Strom eine **Phasenverschiebung von 90 Grad** aufweisen.

Aber beachte: Hier herrschen genau umgekehrte Verhältnisse wie beim Kondensator.

Bei der Spule eilt die Spannung dem Strom zeitlich voraus, die Spannung ist vor dem Strom.

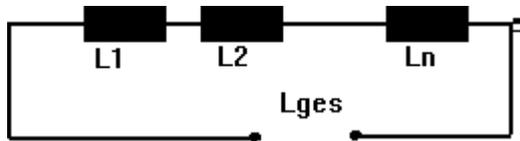
(Beim Kondensator ist der Strom vor der Spannung.)



9.6. Serieschalten von Spulen

Hier gilt das Gleiche wie für Widerstände!
(Bei den Kondensatoren war es umgekehrt.)

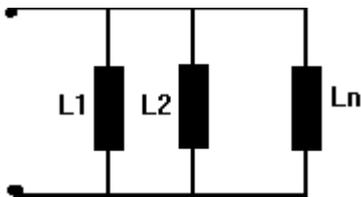
Die **Gesamtinduktivität L_{ges}** einer Serieschaltung aus **n** Spulen ist der **Summe** der einzelnen Induktivitäten:



$$L_{ges} = L1 + L2 + \dots + Ln$$

9.7 Parallelschaltung von Spulen

Hier gilt die etwas kompliziertere Formel mit den Reziprokwerten (wie für die Parallelschaltung von Widerständen):



$$\frac{1}{L_g} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \dots + \frac{1}{Ln}$$

Bei nur **zwei Spulen** mit den Induktivitäten L1 bzw. L2 gilt die Formel "Produkt geteilt durch Summe":

$$L_g = \frac{L1 \cdot L2}{L1 + L2}$$

Für **n gleichgrosse** Spulen mit der Induktivität **L** gilt vereinfacht:

$$L_g = L / n$$

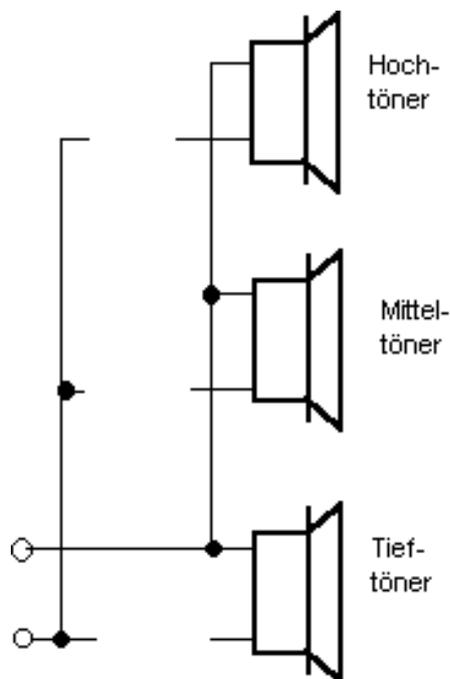
9.8. Spule und Kondensator: Bandfilter und Schwingkreis

Sowohl Spulen wie Kondensatoren lassen sich mit Widerständen zu Zeitgliedern oder elektrischen **Filtern** zusammenbauen. Eine Anwendung dieser Filter haben wir schon erwähnt: Die Frequenzweichen in Lautsprecherboxen.

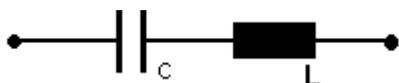
Beim Mitteltöner haben wir dabei eine neue Kombination, nämlich von Spule und Kondensator.

Diese Kombination hat die Aufgabe, nur die mittleren Töne durchzulassen, und die hohen sowie die tiefen zu sperren.

Signaleingang



Eine Serieschaltung von Spule und Kondensator wirkt als sogenannter **Bandpass**. Das heisst, diese Schaltung lässt ein bestimmtes Frequenzband besser passieren als alles andere, ihr **Widerstand ist dort am kleinsten**.

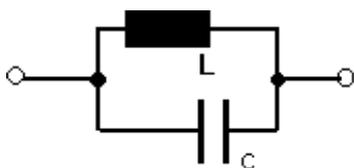


Bandpass

Durchlasscharakteristik

"Widerstand"

Die Parallelschaltung wirkt umgekehrt, nämlich als **Bandsperr**. Das heisst, diese Schaltung lässt alles durch, dämpft aber in einem bestimmten Frequenzband sehr stark (hoher Widerstand).



Bandsperr

Durchlasscharakteristik

"Widerstand"

L-C-Kombinationen sind **schwingfähig**. Da beide Elemente Energiespeicher darstellen, können sie sich gegenseitig Energie zuschieben oder eben hin- und herschieben = schwingen. Sie heissen deshalb **Schwingkreis**. Gerade bei der Mittenfrequenz der Filter ist diese Eigen-Schwingfähigkeit maximal, man spricht von der **Resonanzfrequenz** f_r .
$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Bei der Resonanzfrequenz ist nur eine kleine Anregung nötig, um die Schwingung aufrecht zu erhalten. Ohne Anregung pendelt die Schwingung aus.

Anwendung:

Abstimmrichtungen oder Tuner aller Art: Radio-, TV-, Funk-, Radarempfänger und -sender. Wenn man an einem (analogen) Radio den Sender sucht, dreht man an einem einstellbaren Kondensator, der Teil eines Schwingkreises ist. Die Resonanzfrequenz des Schwingkreises im Empfänger wird auf die Frequenz des Senders eingestellt. Durch die elektromagnetischen Wellen in der Luft und über die Antenne wird der Schwingkreis angeregt und fängt die Senderenergie ein.

9.9. Störung und Entstörung durch Kondensatoren und Spulen

A. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Elektromagnetische Verträglichkeit **EMV** ist heute eines der wichtigsten und teils genormten Qualitätsmerkmale elektronischer Geräte.

Sie bedeutet, dass ein Gerät sich günstig verhält in Bezug auf die elektrischen und magnetischen Felder, und umfasst vor allem zwei Eigenschaften:

- **Störimmunität:** Möglichst grosse Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen von aussen.
- **Störemission:** Möglichst geringe Abstrahlung von störenden Feldern.

Viele Geräte stören einander, z.B.:

- Handy stört empfindliche Elektronik (Flugzeuge)
- Computer stört Radioempfang
- Transformator oder elektrische Leitung stört Bildschirm
- Bildschirm stört Telefon

Schuld daran sind elektromagnetische Felder. In Kapitel 7 und 8 (Elektrisches Feld und Magnetisches Feld) haben wir festgehalten, dass man elektrische und magnetische Felder abschirmen kann. **Das Abschirmen** ist denn auch die einfachste Methode zur Erreichung der EMV. Abschirmen stösst aber an Grenzen:

Erstens bedeutet Abschirmen meist die Verwendung von recht massivem Metall, was aus Kosten- und Gewichtsgründen selten möglich ist.

Zweitens sind Geräte selten völlig abschirmbar; irgendwo sind ja auch Schnittstellen, Kabelein- und -ausführungen oder Bedienelemente vorhanden, welche eine Störung durch die Abschirmung hindurch transportieren können.

Um eine möglichst gute EMV zu erlangen, muss bereits bei Design (Schaltungsart) und Auslegung (Layout) eines elektronischen Geräts und des Gehäuses grosse Sorgfalt angewendet werden.

B. Beeinflussung von Leitungen

Eine Leitung besteht aus mindestens zwei Adern. Jede Leitung hat bekanntlich einen gewissen Widerstand, der proportional zu Länge ist. Jede Leitung hat aber auch eine Kapazität und eine Induktivität, die proportional zur Länge ist. Daraus folgt, dass man sich ein Modell einer Leitung machen kann, wo sich die Eigenschaften

Widerstand, Induktivität und Kapazität

mit der Länge addieren. Das Modell hat also

- **seriengeschaltete Widerständen und Spulen** sowie
- **parallelgeschaltete Kondensatoren.**

Modellartige Vorstellung einer Leitung:

Entlang der Leiteradern Widerstände R und Spulen L , **zwischen** den Leitern Kondensatoren C .

Werden also zwei oder mehr Leitungen nebeneinander verlegt sind, so ergeben sich durch die nebeneinanderliegenden Spulen lauter kleine "Transformatoren". Diese "Transformatoren" bewirken das sogenannte **Übersprechen oder Einstreuen** von einer Leitung auf die andere:

Ein Signal in einer Leitung kann also von einer danebenliegenden "mitgehört" werden.

Auch starke Felder von weiter her (vor allem Energieleitungen) können auf die Leitung einwirken. Die Störungen des elektrischen Energienetzes sind eigentlich überall vorhanden.

Abhilfe:

Diese Beeinflussung ist in den meisten Fällen unerwünscht und muss unterbunden werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- räumliche Trennung von Energie- und Informationsleitungen
- räumliche Trennung verschiedener Leitungen (selten und nur bei wenigen Leitungen möglich)
- Abschirmen der Leitungen, bzw. Verwenden von abgeschirmten Leitungen (Koaxialkabel) (z.B. Mikrofonkabel, Audiokabel)
- Verdrillen der Leitungsadern: damit wirken eingestreute Störfelder einander entgegen (z.B. Telefonleitungen, LAN-Kabel).
- Verwendung von Lichtwellenleitern (LWL, z.B. Glasfasern)

C. Gezieltes Filtrieren von Störungen

Relativ einfach ist das Erlangen der Elektromagnetischen Verträglichkeit EMV, wenn die Störung eine völlig **andere Frequenz** hat als das Nutzsignal. Hierbei kann man mit Spulen und/oder Kondensatoren **Filter** bauen (siehe Abschnitt 9.7 und 9.8). und sie geeignet in die Stromkreise integrieren.

Netzfilter

Verbreitet sind sogenannte Netzfilter. Das sind einfache Schaltungen aus Spulen und Kondensatoren, welche hochfrequente Störungen auf Netzleitungen abblocken, aber die Stromnetzfrequenz (50 Hz) nicht beeinflussen. Auch Spannungsspeaks können damit gedämpft werden.

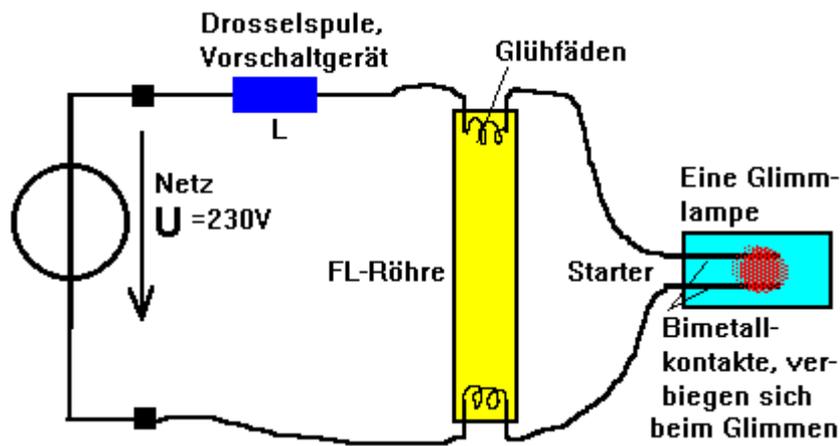
Ein Netzfilter:

Netzfilter sind in vielen Geräten enthalten, die komplexe Elektronik enthalten. Auch jeder PC hat solche Filter am Eingang des Netzteils.

Sowol das Netzteil wie auch die PC-Komponenten erzeugen hochfrequente Störsignale. Mit dem Netzfilter wird verhindert, dass sich diese Störungen via Netzkabel ausbreiten können, und auch dass gewisse Störsignale in den PC eindringen können.

Nebst Kondensatoren und Spulen können in Netzfiltern auch weitere Bauelemente verwendet werden, zum Beispiel solche, die bei plötzlichen, hohen Spannungen sehr gut leiten und damit die Spannungsspitzen kurzschliessen (spannungsabhängige Widerstände, Schutzdioden, Gasableiter).

9.10. Spulenanwendung: Startvorrichtung für Leuchtstofflampen



Schema einer Leuchtstofflampe (Leuchtmittel = Neonröhre oder Sparbirne)

Nebst dem eigentlichen Leuchtmittel besteht eine Leuchtstofflampe noch aus einem Starter und einer Spule, die irgendwo im Lampengehäuse untergebracht sind.

Funktionsprinzip

- Beim Einschalten des Stromes fließt der Strom über Spule und Glühfäden der Röhre zum Starter. Die Röhre selber leitet noch keinen Strom, sie hat noch nicht gezündet. Der Starter ist eine Glimmlampe, ein gasgefüllter Glaskörper mit zwei Elektroden. Die Netzspannung bringt das Gas an den Glimmelektroden zum Leuchten. Die Elektroden biegen sich durch diese Erwärmung gegeneinander. Es fließt nur ein sehr kleiner Strom.
- Die Elektroden machen Kontakt und schliessen den Stromkreis ganz. Die Glimmlampe selber erlischt dadurch natürlich. Durch die Drossel und die Glühfäden fließt ein wesentlich grösserer Strom. Das Glühen in der Enden der FL-Röhre ist von aussen zu erkennen.
- Da die Glimmlampe erloschen ist, kalten die Elektroden ab und biegen sich wieder auseinander.
- Durch das Öffnen der Starterkontakte bricht der Stromkreis kurzzeitig zusammen. Da die Spule auch abgeschaltet wird, erzeugt sie die bekanntlich sehr hohe Selbstinduktionsspannung (siehe Kap. 9.4). Das Netz als Quelle und die Spule als Quelle sind nun in Serie geschaltet. Die hohe Spannung liegt somit auch an den Glühfäden der FL-Röhre. Damit erfolgt nun die Zündung der Röhre, also das erstmalige Leiten des Gases.
- Nun leitet das Röhrengas und der Stromkreis ist über die Drossel und die Röhre geschlossen, die Lampe brennt. Die Brennspannung der Röhre ist wesentlich tiefer als die Zündspannung. Der parallelliegende Starter glimmt deshalb nicht mehr und schliesst sich nicht wieder. Würde er wieder schliessen, würde die Lampe löschen und der Vorgang von Neuem beginnen.

Fehlermöglichkeiten

Obwohl Leuchtstofflampen eine längere Lebensdauer haben als Glühlampen und einen wesentlich besseren Wirkungsgrad, sind auch sie mal defekt. Wenn der Schaden nicht sofort entdeckt wird, ist es ratsam, bei Reparatur Röhre **und** Starter auszuwechseln.

Symptom	mögliche Ursachen
Röhre bleibt dunkel	- Starterkontakte schliessen nicht, Starter defekt - Glühfäden der Röhre defekt - Drossel defekt (selten)
Röhre glimmt an den Enden	Starterkontakte öffnen nicht mehr, Starter defekt
Röhre flackert	- Brennspannung der Röhre zu hoch oder Glimmspannung des Starters zu tief, Starter zündet immer wieder.
Verschiedene Symptome: - Flackern - Starkes Brummen - Gestank	Drossel defekt (selten)

Sparlampen haben heute meist elektronische, zuverlässigere Starteinrichtungen.