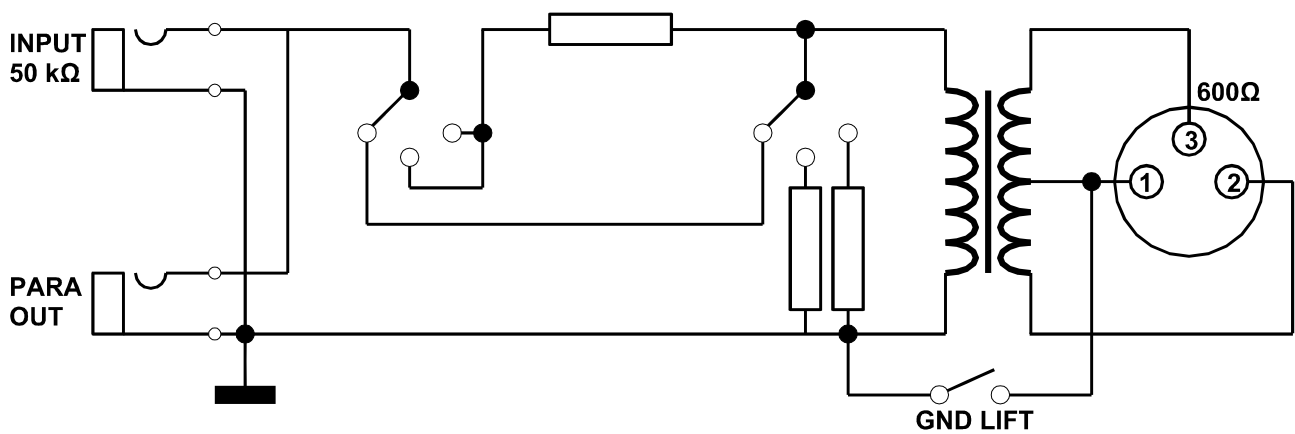


# Elektrotechnische Grundlagen

Version 2.0



©2005 Holger Stolzenburg

SAE-Hamburg

# Inhaltsverzeichnis

1 Wichtige Größen.....	3
1.1 Strom.....	3
1.2 Ladung.....	3
1.3 Potential.....	3
1.4 Spannung.....	3
1.5 Leistung.....	3
1.6 Wirkungsgrad.....	3
1.7 Widerstand.....	4
2 Gleich- und Wechselspannung.....	4
2.1 Gleichspannung.....	4
2.2 Wechselspannungen.....	4
3 Der Umgang mit Strom.....	4
Elektrischer Schlag aus statischer Entladung (Spannung von bis zu einigen 1000 Volt).....	4
Elektrischer Schlag aus der „Steckdose“ (Spannung von 230 Volt).....	4
3.1 Schutzkleinspannungen.....	5
3.2 Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter).....	5
4 Das Ohmsche Gesetz.....	5
5 Reihenschaltung von Widerständen.....	6
5.1 PAD/Attenuation Schaltung.....	6
Ein kleines Beispiel.....	6
6 Parallelschaltung von Widerständen.....	7
7 Der Kondensator.....	7
7.1 Der Kondensator im Gleichstromkreis.....	7
7.2 Der Kondensator im Wechselstromkreis.....	7
8 Die Spule.....	8
8.1 Induktion.....	8
8.1.1 Generatorprinzip.....	9
8.1.2 Selbstinduktion.....	9
8.1.3 Transformator / Übertrager.....	9
8.2 Die Spule im Gleichstromkreis.....	9
8.3 Die Spule im Wechselstromkreis.....	10
9 Passive Filterschaltungen.....	10
9.1 Passive Filterschaltungen aus Kondensator und Widerstand.....	10
9.1.1 Hochpass 1. Ordnung.....	10
9.1.2 Tiefpass 1. Ordnung.....	10
9.1.3 Bandpass 2. Ordnung.....	11
9.1.4 Bandsperre 2. Ordnung.....	11
9.1.5 Filterschaltungen höherer Ordnung.....	11
9.2 Passive Filterschaltungen aus Spule und Widerstand.....	11
9.2.1 Hochpass 1. Ordnung.....	11
9.2.2 Tiefpass 1. Ordnung.....	12
9.2.3 Bandpass, Bandsperre und Schaltungen höherer Filterordnungen.....	12
10 Zeitkonstante ( $\tau$ (tau)).....	12

Dieses Skript ist eine Ergänzung zur Vorlesung „Elektrotechnische Grundlagen“ an der SAE-Hamburg. Eine aktuelle Version dieses Skriptes ist jederzeit unter <http://www.sae.holgerstolzenburg.de> zum Download bereit.

## 1 Wichtige Größen

### 1.1 Strom

Formelzeichen: I  
 Einheit: A (Ampere)

Strom ist Elektronenbewegung (Ladung pro Zeiteinheit)

### 1.2 Ladung

Formelzeichen: Q  
 Einheit: C (Coulomb)

Ladung entsteht, wenn eine gewisse Zeit lang Strom zu einem „Punkt“ fließt. Daraus ergibt sich die zusammengesetzte Einheit „Coulomb“ als Ampere-Sekunde. Die kleinste in der Natur vorkommende Ladung ist die so genannte „Elementarladung“ eines Elektrons ( $1.602 \cdot 10^{-19} \text{As}$ ).

### 1.3 Potential

Formelzeichen:  $\varphi$  (Phi)  
 Einheit: V (Volt)

Das Potential ist ein Maß dafür, wie viel Energie (eigentlich Arbeit) nötig ist (oder zur Verfügung gestellt werden kann), wenn eine positive Ladung von einem Punkt zu einem festen Bezugspunkt bewegt wird. Eine Bewegung von einem positiven Potential zu einem nicht ganz so positiven (oder negativen) Potential stellt Energie zur Verfügung, in umgekehrter Richtung muss Energie zugeführt werden.

### 1.4 Spannung

Formelzeichen: U  
 Einheit: V (Volt)

Spannung ist definiert als Potentialdifferenz. Sie ist gegenüber dem Potential unabhängig von festen Bezugspunkten, daher wird normalerweise Spannung und nicht Potential angegeben.

### 1.5 Leistung

Formelzeichen: P ( $P = U \cdot I$ )  
 Einheit: W (Watt)

Leistung ist ein Maß für Energie, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht (oder zur Verfügung gestellt) wird.

### 1.6 Wirkungsgrad

Formelzeichen:  $\eta$  (Eta)  
 Einheit: - (meist in % angegeben, das ist aber keine Einheit)

$$P_{\text{auf}} = P_{\text{ab}} + P_{\text{Verlust}}$$

Formeln: 
$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{auf}}} \cdot 100 \%$$

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von abgegebener Nutzleistung ( $P_{\text{ab}}$ ) zu aufgenommener Leistung ( $P_{\text{auf}}$ ). Die restliche Leistung wird als Verlustleistung ( $P_{\text{Verlust}}$ ) bezeichnet und im Normalfall als Wärme abgegeben.

## 1.7 Widerstand

Formelzeichen:	R
Einheit:	$\Omega$ (Ohm), $1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$

Die Definition des Widerstandes leitet sich aus dem Ohmschen Gesetz (4) ab. Umgangssprachlich ist der Widerstand ein Maß dafür, wie schwer es der Strom hat, durch ein Bauteil hindurch zufließen.

## 2 Gleich- und Wechselspannung

### 2.1 Gleichspannung

Gleichspannungsquellen sind z.B. Batterien oder Solarzellen, auch eine Wechselspannung kann „gleich gerichtet“ werden.

Bei Gleichspannungen gibt es immer einen definierten Plus- und Minus-Pol, der Strom fließt also immer in einer definierten Richtung.

### 2.2 Wechselspannungen

Das wohl meist verwendete Prinzip eine Wechselspannung zu erzeugen ist das Induktionsprinzip. Es findet Verwendung in Fahrraddynamos, Kern- und Kohlekraftwerken, Wind- und Wasserkraftanlagen, usw.

In einer Schutzkontakt-Steckdose beispielsweise liegt zwischen den zwei Kontakten in den „Löchern“ eine Wechselspannung von ca. 230 Volt an. Der eine Kontakt ist der Null- oder Neutralleiter, er ist normalerweise mit der Erde verbunden, und hat damit ein Potential von 0V. Der zweite Kontakt ist die Phase, sie hat eine Spannung von ca. 230V gegen den Nullleiter. Im Gegensatz zur Gleichspannung hat die Phase allerdings keine eindeutige Polarität zum Nullleiter, sondern wechselt die Polarität regelmäßig. Eine Wechselspannung mit einer Frequenz von 50Hz meint also, dass die Polarität der Phase 50 mal in der Sekunde von + nach – und wieder zurück wechselt. Die Spannung hat einen sinusförmigen Verlauf, der angegebene Spannungswert ist der Effektivwert.

$$(U_{\text{Eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}})$$

Eine Wechselspannung mit einem Effektivwert von 230 Volt hat also eine Spitzenspannung von ca. 325 Volt.

Ein Audio-Signal im Mischpult ist nichts anderes als eine Wechselspannung mit variierender Frequenz. Der Spannungswert repräsentiert Lautstärke (z.B. bei +4dB<sub>u</sub> Linepegel entsprechen 1,23V der maximalen Lautstärke) und die Frequenz repräsentiert die Tonhöhe (je niedriger die Frequenz, desto tiefer der Ton).

## 3 Der Umgang mit Strom

Die entscheidende Größe für die Auswirkung von Stromunfällen für den Menschen ist nicht die Spannung, sondern der Strom. Zwar hängen beide Größen miteinander zusammen (erst wenn die Spannung bei gegebenem Widerstand groß genug wird, kann auch ein entsprechender Strom fließen), dennoch kommt es z.B. bei statischer Entladung vor, dass bei Spannungen, die mehrere 1000 Volt betragen können, nur geringe, für den Menschen völlig ungefährliche Ströme fließen.

### **Elektrischer Schlag aus statischer Entladung (Spannung von bis zu einigen 1000 Volt)**

Es besteht zwar eine hohe Potentialdifferenz, mit einem kurzen Stromstoß findet allerdings ein Potentialausgleich statt. Dabei wird nicht besonders viel Ladung bewegt, es fließt also nur geringer Strom. Ist die Potentialdifferenz ausgeglichen, fließt auch kein Strom mehr.

### **Elektrischer Schlag aus der „Steckdose“ (Spannung von 230 Volt)**

Es besteht eine (im Vergleich zur statischen Entladung) geringe Potentialdifferenz, diese wird allerdings durch den Stromfluss nicht ausgeglichen, sondern vom Spannungserzeuger aufrecht erhalten. Es fließt also ein konstanter Strom in einer für den Menschen nicht ungefährlichen Stärke.

### 3.1 Schutzkleinspannungen

Man geht davon aus, dass erst ab einer gewissen Spannung für den Menschen kritische Ströme fließen können.

Spannungen bis 50V Wechsel- und 120V Gleichspannung werden als „unkritisch“ eingestuft, daher dürfen Geräte, die in diesem Bereich arbeiten, unter gewissen Umständen ohne Schutzleiter betrieben werden. Geräte, die mit höheren Spannungen arbeiten **müssen** im Normalfall mit Schutzleiter betrieben werden, dieser darf **auf keinen Fall** entfernt werden, er kann im Störfall **Leben retten!**

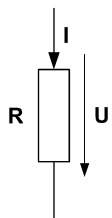
Da die Stromstärke allerdings nicht nur von der Spannung sondern auch vom Widerstand abhängt, und der Körperwiderstand wiederum von verschiedenen Faktoren wie z.B. Hautfeuchtigkeit abhängt kann es unter ungünstigen Umständen auch bei Schutzkleinspannungen zu gefährlichen Stromschlägen kommen. „Bastelarbeiten“, Elektroinstallationen, usw. am Stromnetz sind daher nicht ungefährlich und müssen qualifiziertem Fachpersonal überlassen werden!

### 3.2 Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter)

Der Fehlerstromschutzschalter, kurz FI-Schalter (F für Fehler, I für das Formelzeichen des Stroms), engl. RCD oder „residual current device“ genannt, ist eine Schutzeinrichtung in Stromnetzen, die den angeschlossenen, überwachten Stromkreis vom restlichen Stromnetz abtrennt, wenn Strom den überwachten Stromkreis auf falschem Weg verlässt. Er wird normalerweise im Sicherungskasten, zusätzlich zu den Überstromschutzorganen (Sicherungsautomaten, Schmelzsicherungen, etc.) installiert. Ein üblicher Auslösewert wäre z.B. 30mA. Der FI-Schalter stellt also sicher, dass bei einem Stromunfall kein für den Menschen kritischer Strom fließen kann. Daher sollte man drauf achten, dass „gefährdete Bereiche“ (z.B. Badezimmer, Außensteckdosen, Beschallungsanlagen, ...) mit einem FI-Schalter abgesichert sind. Eine „normale“ Sicherung erfüllt diesen Zweck nicht, sie schützt nur vor Strömen, die zu Kabelbrand führen, Geräte zerstören oder ähnliche Schäden anrichten könnten. Sie sind nicht primär zum Schutz von Menschenleben konzipiert.

## 4 Das Ohmsche Gesetz

Die Spannung an einem Bauelement und der Strom, der durch dieses hindurchfließt, verhalten sich zueinander proportional.



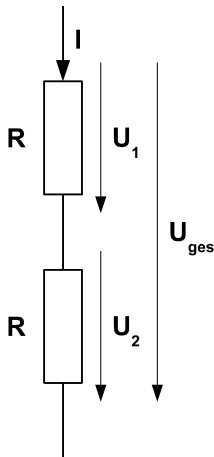
$$U \sim I$$

$$\frac{U}{I} = \textit{konstant}$$

$$U = R \cdot I$$

Den Proportionalitätsfaktor R bezeichnet man als Widerstand. Er ist abhängig vom Material des Bauelements und dessen Beschaffenheit (Länge, Durchmesser, ...).

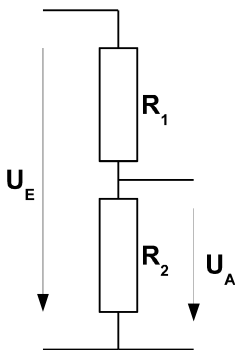
## 5 Reihenschaltung von Widerständen



$$\begin{aligned}
 I &= \textit{konstant} \\
 R_{ges} &= R_1 + R_2 \\
 U_{ges} &= U_1 + U_2 \\
 I &= \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}
 \end{aligned}$$

### 5.1 PAD/Attenuation Schaltung

Eine einfache tontechnische Anwendung der Reihenschaltung von Widerständen ist die so genannte PAD bzw. Attenuation Schaltung, die ein ankommendes Signal um einen festgelegten dB-Wert absenkt.



Um eine Änderung um einen festen dB-Wert in ein Spannungsverhältnis umzurechnen, lässt sich folgende Formel anwenden:

$$p = 20 \cdot \lg \frac{U_A}{U_E} \Rightarrow \frac{p}{20} = \lg \frac{U_A}{U_E} \Rightarrow 10^{\frac{p}{20}} = \frac{U_A}{U_E}$$

Das Verhältnis der Spannungen lässt sich über das Verhältnis der Widerstände festlegen:

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_{ges}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

### Ein kleines Beispiel

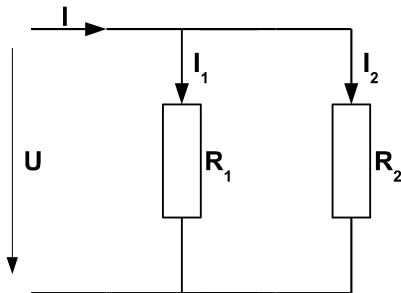
Widerstände für ein -20dB-PAD dimensionieren:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_A}{U_E} = 10^{\frac{-20}{20}} = \frac{1}{10}$$

Einer der Widerstände darf frei erfunden werden, z.B.  $R_2 = 1k\Omega$ . Der andere kann dann berechnet werden.

$$\frac{1k\Omega}{R_1 + 1k\Omega} = \frac{1}{10} \Rightarrow 10k\Omega = R_1 + 1k\Omega \Rightarrow R_1 = \underline{9k\Omega}$$

### 6 Parallelschaltung von Widerständen



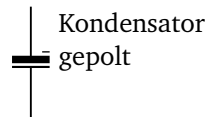
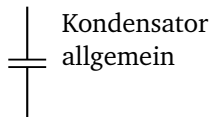
$$U = \text{konstant}$$

$$I_{ges} = I_1 + I_2$$

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

$$U = R_{ges} \cdot I_{ges} = R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

### 7 Der Kondensator



Kapazität:

C

Einheit:

F (Farad)  $1F = 1 \frac{A \cdot s}{V}$

Formeln:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = A \cdot \frac{1}{d} \cdot \epsilon_o \cdot \epsilon_r \quad (A=\text{Plattenfläche, } d=\text{Abstand der Platten})$$

Dielektrizitätskonstante:

$$\epsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$$

Dielektrizitätszahl:

$\epsilon_r$  (Zahl ohne Einheit, für Luft ca.1)

#### 7.1 Der Kondensator im Gleichstromkreis

Wird der Stromkreis geschlossen, und befindet sich der Kondensator im entladenen Zustand, fließt im ersten Augenblick ein sehr hoher Strom, der Kondensator hat also einen geringen Widerstand. Je mehr der Kondensator sich auflädt, desto weniger Strom fließt, bis er letztendlich voll geladen ist, und der Stromfluss zum Erliegen kommt. Mit zunehmender Ladung steigt folglich auch der Widerstand, bis er praktisch unendlich groß ist (geladener Zustand des Kondensators). Die Spannung, die am Kondensator abfällt, beträgt im ungeladenen Zustand (Stromkreis wird geschlossen) 0V und steigt mit zunehmender Ladung des Kondensators.

#### 7.2 Der Kondensator im Wechselstromkreis

Wird der Kondensator in einem Wechselstromkreis betrieben, so ist sein Widerstand abhängig von der Frequenz der Wechselspannung.

Ist die Frequenz hoch, ändert sich auch die Polarität der Spannung häufig. Bei jedem „Umladevorgang“ wird daher nur wenig Ladung auf dem Kondensator zwischengespeichert, sein Widerstand ist folglich gering.

Je niedriger die Frequenz der Wechselspannung wird, desto mehr Ladung wird bei jedem Umladevorgang auf dem Kondensator zwischengespeichert. Der Widerstand steigt mit sinkender Frequenz bis er bei einer Frequenz von 0Hz (Gleichspannung) praktisch unendlich hoch ist.

Den frequenzabhängigen Widerstand nennt man Blindwiderstand. Er kann beim Kondensator nach folgender Formel errechnet werden:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (X_c = \text{Kapazitiver Blindwiderstand})$$

### 8 Die Spule



Induktivität: L  
 Einheit : H (Henry),  $1\text{H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$

Formeln:  $L = A \cdot n^2 \cdot \frac{1}{l} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r$  (A= Leiterquerschnitt, n= Windungszahl, l= Länge)

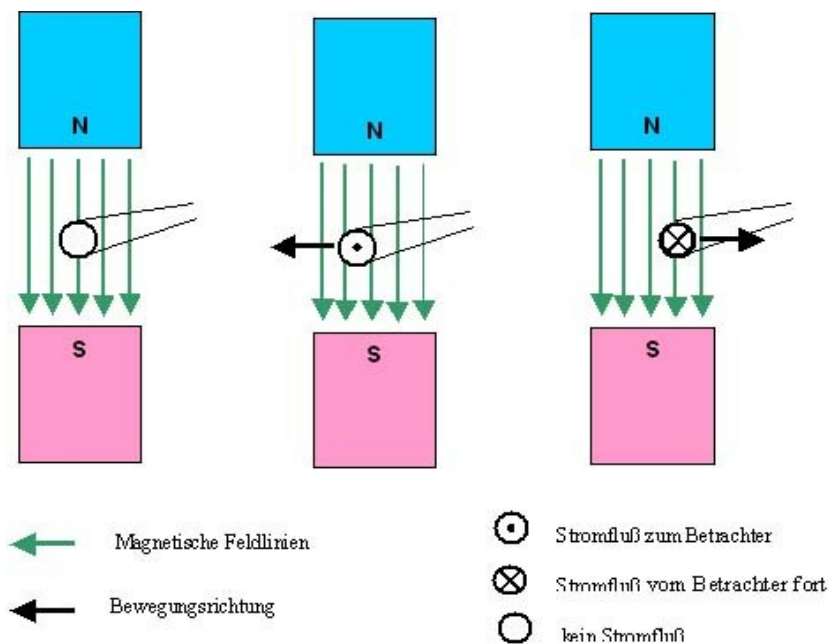
Magnetische Feldkonstante:  $\mu_0 \approx 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$

Permeabilitätszahl:  $\mu_r$  gibt die magnetische Leitfähigkeit an.

$\mu_r$  ist (auch für einen Werkstoff) nicht konstant, sondern hängt vom Magnetisierungszustand ab.

#### 8.1 Induktion

Wenn man einen Leiter in einem Magnetfeld bewegt, wird in diesen Leiter eine Spannung induziert. Diese Induktionsspannung ist am Größten, wenn man den Leiter senkrecht zum Magnetfeld bewegt. Durch die Bewegungsrichtung wird bestimmt, welche Polarität die Induktionsspannung hat.





### 8.1.1 Generatorprinzip

Wenn man eine Spule in einem Magnetfeld dreht, wird auch in sie eine Spannung induziert. Das Magnetfeld, das sich (aus Sicht der Spule) durch die Drehung ständig umpolt (Nord-Süd nach Süd-Nord und umgekehrt) bewirkt gleichzeitig eine Änderung der Polarität der Induktionsspannung. Wenn also die Spule mit gleich bleibender Geschwindigkeit gedreht wird ist die Induktionsspannung eine sinusförmige Wechselspannung.

### 8.1.2 Selbstinduktion

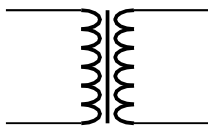
Wenn Strom durch eine Spule fließt, bildet sich um diese ein Magnetfeld. Ändert sich der Stromfluss durch die Spule, ändert sich damit auch das Magnetfeld. Auch in diesem Fall kommt es zu einer Induktionsspannung in der Spule. Die Polarität dieser Induktionsspannung ist der Polarität ihrer Erzeugerspannung stets entgegen gerichtet.

$$U_{ind} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Eine abrupte Änderung des Stromflusses durch die Spule erzeugt also eine hohe Induktionsspannung in der Spule. Technisch wird die Selbstinduktion in vielfacher Weise benutzt.

Störende oder gefährliche Spannungsveränderungen in der Leitung, zum Beispiel durch Ab- oder Zuschalten großer Verbraucher oder durch Blitzeinschlag, können durch Einbau einer Drossel-Spule abgedämpft werden.

### 8.1.3 Transformator / Übertrager



Ein einfacher Transformator besteht aus zwei Spulen, der Primär- und der Sekundär-Spule. Legt man eine Spannung an die Primärspule an, baut sich ein Magnetfeld um diese auf, welches bei Änderung des Stroms eine Spannung in die Sekundär-Spule induziert. Es kommt also nur bei Wechselspannungen zu einer Induktion, Gleichspannungen werden nicht mit übertragen.

Der Übertragungsfaktor ( $\ddot{u}$ ) gibt das Verhältnis der Windungen beider Spulen zueinander an:

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}$$

Das Verhältnis der Spannungen an beiden Spulen und der Ströme, die fließen wird auch bestimmt durch den Übertragungsfaktor:

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Diese Formel zeigt, dass die Leistung an beiden Spulen ( $P_1$  und  $P_2$ ) nicht vom Übertragungsfaktor abhängt, sondern gleich ist. Für den idealen Transformator kann man sagen:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Leftrightarrow U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Leftrightarrow P_1 = P_2$$

Da immer ein Teil der Leistung in Wärme umgewandelt wird, gibt es zwar keinen idealen Transformator, man kann die Verluste aber so gering halten, dass diese nicht mehr ins Gewicht fallen.

## 8.2 Die Spule im Gleichstromkreis

In dem Moment, in dem der Stromkreis geschlossen wird, baut sich ein Magnetfeld um die Spule auf. Für einen kurzen Moment kommt es zur Selbstinduktion. Wenn das Magnetfeld „steht“, kann der Strom ungehindert die Spule passieren. Der Widerstand der Spule beschränkt sich auf den reinen Drahtwiderstand.

### 8.3 Die Spule im Wechselstromkreis

Wird die Spule in einem Wechselstromkreis betrieben, sorgt die sich ständig ändernde Polarität für ein sich ständig änderndes Magnetfeld um die Spule. Eine höhere Frequenz der Spannung bedingt mehr Änderungen im magnetischen Feld pro Zeit, also kommt es auch zu einer größeren Induktionsspannung. Die Polarität der Induktionsspannung stellt sich der Polarität der Erzeugerspannung entgegen. Damit steigt der Widerstand der Spule mit der Frequenz der Spannung an.

Auch die Spule hat also einen frequenzabhängigen Widerstand. Man errechnet ihn über die Formel:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (X_L = \text{Induktiver Blindwiderstand})$$

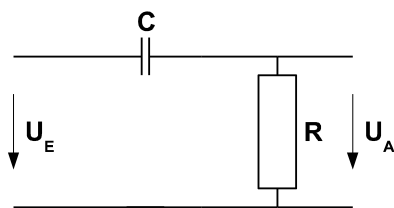
## 9 Passive Filterschaltungen

Aus Widerstand und Kondensator bzw. Widerstand und Spule kann man einfache, passive Filterschaltungen zusammensetzen. Diese werden auf Grund der Formelzeichen für Widerstand (R) und Kondensator (C) auch „RC-Glieder“ genannt.

„Passiv“ bedeutet, es kommen nur passive Bauelemente zum Einsatz, also nur Bauteile, die keine zusätzliche Betriebsspannung benötigen. Dieses bringt die Eigenschaft mit sich, dass passive Filter die Eingangssignale - im Gegensatz zu aktiven Schaltungen - nur bedämpfen können. Die Ordnungszahl einer Filterschaltung gibt ihre Flankensteilheit an. Ein Filter erster Ordnung hat eine Flankensteilheit von 6dB pro Oktave. Filter zweiter Ordnung haben eine Flankensteilheit von 12dB pro Oktave und Filter mit der Ordnungszahl N haben eine Flankensteilheit von N•6dB pro Oktave. Die Grenzfrequenz ist definiert als diejenige Frequenz, bei der der Pegel am Ausgang um 3dB unterschiedlich zum Eingang ist.

### 9.1 Passive Filterschaltungen aus Kondensator und Widerstand

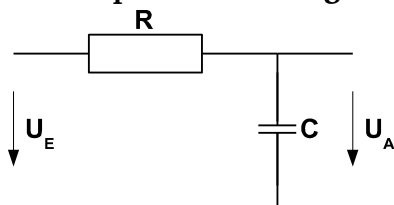
#### 9.1.1 Hochpass 1. Ordnung



Flankensteilheit: 6dB pro Oktave  
 Grenzfrequenz:  $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$

Bei dieser Schaltung wird ein Spannungsteiler mit einem Ohmschen und einem kapazitiven Widerstand aufgebaut. Für tiefe Frequenzen hat C einen hohen Widerstand gegenüber R, ein Großteil der tieffrequenten Spannungsteile fallen an ihm ab. Für hohe Frequenzen hat R einen hohen Widerstand gegenüber C, der Großteil der hochfrequenten Signalanteile fallen an ihm und damit am Ausgang der Schaltung ab.

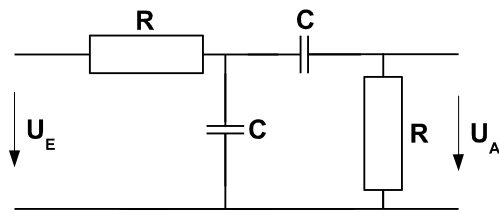
#### 9.1.2 Tiefpass 1. Ordnung



Flankensteilheit: 6dB pro Oktave  
 Grenzfrequenz:  $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$

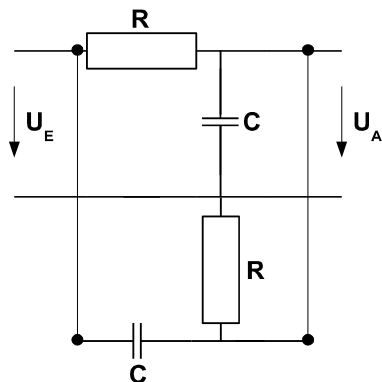
In dieser Schaltungsvariante fällt die Ausgangsspannung an C ab, die Situation dreht sich um. Ein Großteil der tieffrequenten Signale fällt am Ausgang der Schaltung ab, während der Großteil der hochfrequenten Signale herausgefiltert wird.

### 9.1.3 Bandpass 2. Ordnung



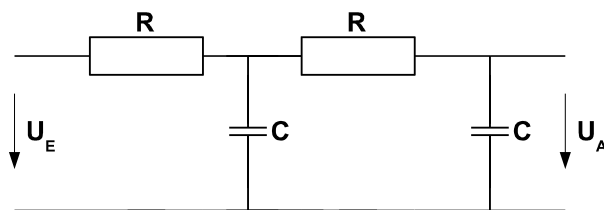
Um einen Bandpass-Filter zu realisieren, werden ein Tiefpass- und ein Hochpass-Filter hintereinander in Reihe geschaltet.

### 9.1.4 Bandsperre 2. Ordnung



Für eine Bandsperre werden ein Hochpass- und ein Tiefpass-Filter zueinander parallel geschaltet. Der Hochpass bestimmt die obere und der Tiefpass die untere Grenzfrequenz.

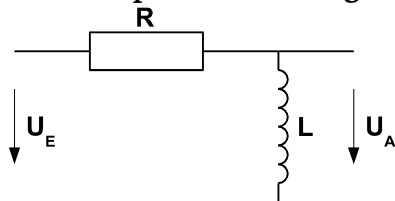
### 9.1.5 Filterschaltungen höherer Ordnung



Im einfachsten Fall werden zwei gleiche Filter erster Ordnung hintereinander geschaltet. Dabei verschiebt sich allerdings auch die Grenzfrequenz und ist nicht mehr so einfach zu berechnen.

## 9.2 Passive Filterschaltungen aus Spule und Widerstand

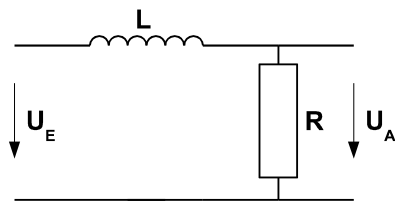
### 9.2.1 Hochpass 1. Ordnung



Flankensteilheit: 6dB pro Oktave  
 Grenzfrequenz:  $f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$

Bei dieser Schaltung wird ein Spannungsteiler mit einem Ohmschen und einem induktiven Widerstand aufgebaut. Für tiefe Frequenzen hat R einen hohen Widerstand gegenüber L, ein Großteil der tieffrequenten Spannungsteile fallen an ihm ab. Für hohe Frequenzen hat L einen hohen Widerstand gegenüber R, der Großteil der hochfrequenten Signalanteile fallen an ihm und damit am Ausgang der Schaltung ab.

### 9.2.2 Tiefpass 1. Ordnung



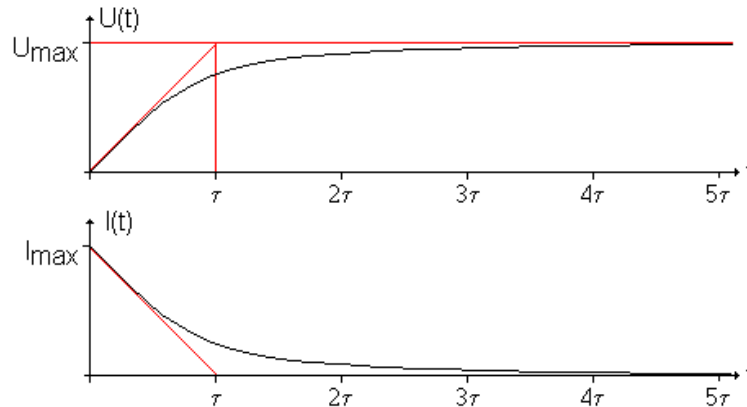
Flankensteilheit: 6dB pro Oktave  
 Grenzfrequenz:  $f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$

In dieser Schaltungsvariante fällt die Ausgangsspannung an R ab, die Situation dreht sich um. Ein Großteil der tieffrequenten Signale fällt am Ausgang der Schaltung ab, während der Großteil der hochfrequenten Signale herausgefiltert wird.

### 9.2.3 Bandpass, Bandsperre und Schaltungen höherer Filterordnungen

Andere Filtervarianten können aus Hoch- und Tiefpass-Filtern genauso zusammengesetzt werden, wie bei den Schaltungen aus Kondensator und Widerstand.

## 10 Zeitkonstante ( $\tau$ (tau))



Man kann die Grenzfrequenz von Filterschaltungen auch durch die so genannte Zeitkonstante eines RC-Gliedes angeben. Man erhält sie, wenn man den Spannungs- und Stromverlauf für den Ladevorgang eines Kondensators im Gleichstromkreis graphisch darstellt und im Nullpunkt eine Tangente an den Graphen anlegt. Man „linearisiert“ also den Vorgang und nimmt an, dass der Strom linear weiter fällt, bzw. die Spannung linear weiter steigt. Die Zeitkonstante sagt demnach aus, wann der Kondensator bei einem linearen Spannungsverlauf voll geladen wäre. Die Zeitkonstante für einen Kondensator, der über einen Widerstand geladen wird (RC-Glied) berechnet man über die Formel:

$$\tau = R \cdot C \quad (\tau = \text{Zeitkonstante})$$

Real ist ein Kondensator bei  $1 \cdot \tau$  zu 63,2% geladen, bzw beim Entladen liegen noch 36,8% der Spannung an.

Auch für eine Kombination aus Widerstand und Spule kann eine Zeitkonstante errechnet werden, hier gilt:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Für eine Zeitkonstante von  $50 \mu s$  gilt also:

$$\tau = 50 \mu s \quad f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \mu s} \approx 3183,3 \text{ Hz}$$