

5 Elektrotechnik 1

5.1 Elektrische Leiter

Elektrische Leiter	Halbleiter	Isolatoren
<ul style="list-style-type: none"> • Silber • Kupfer 	<ul style="list-style-type: none"> • Silizium 	<ul style="list-style-type: none"> • Glas • Gummi • Kunststoffe(z.B. PVC)

Die Anzahl der Valenzelektronen, also der Elektronen auf der äußersten Schale(→ Bohrsches Atommodell), eines Metalls bestimmt wie viele Paarbindungen es eingehen kann. Wenn eine Paarbindung aufbricht werden Elektronen “frei“, welche dann zum Transport von Ladung benutzt werden können. D.h. gute elektrische Leiter haben viele aufgebrochene Paarbindungen.

5.2 Gleichspannung

5.2.1 Spannung

Elektrische Spannung U ; Einheit: Volt[V]

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

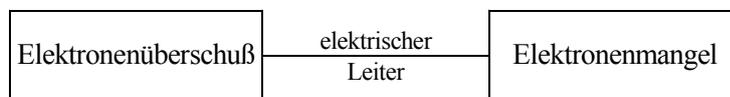


Abb. 1

Wenn zwischen zwei Orten ein Potenzialunterschied besteht spricht man von einer Spannung. Werden diese mit einem elektrischen Leiter verbunden wandern die Elektronen von dem Ort des Elektronenüberschusses zu dem Ort an dem ein Elektronenmangel herrscht. Bei der technischen Stromrichtung wandern die Elektronen definitionsgemäß von plus nach minus. Die physikalische Stromrichtung dagegen ist andersherum, also von minus nach plus.

5.2.2 Batterie

Bei einer Batterie wird eine Spannung durch zwei chemische Stoffe(z.B. Zink und Kohle) zwischen denen ein Potentialunterschied besteht, auch galvanisches Element genannt, erzeugt. Zwischen Zink und Kohle besteht ein Potentialunterschied von 1,5V, wobei Zink einen Überschuss und Kohle einen Mangel an Elektronen hat. Um höhere Spannungen zu bekommen werden in einem 9V-Block z.B. 6 Zink-Kohle Zellen in Reihe geschaltet.

5.2.3 Strom

Elektrischer Strom I ; Einheit: Ampere[A]

$$I = \frac{Q}{t}$$

5.2.4 Widerstand

Elektrischer Widerstand R; Einheit: Ohm[Ω]

$$R = \frac{U}{I}$$

5.2.5 Leitwert

Elektrischer Leitwert G; Einheit: Siemens[S]

$$G = \frac{1}{R}$$

5.2.6 Leistung

Elektrische Leistung P; Einheit: Watt[W]

$$P = U \cdot I$$

5.2.7 Piezo-Kristalle

Bei einem Piezo-Kristall entsteht durch Druck ein Potentialunterschied. Im Audibereich werden diese Kristalle in Tonabnehmern und Hochtonlautsprechern verwendet.

5.3 Wechselspannung

Bei einer Wechselspannung verändern sich Richtung und Betrag kontinuierlich, periodisch.

5.3.1 Netzfrequenz

Frequenz der Wechselspannung f; Einheit: Hertz[Hz]

$$f = \frac{\text{Perioden}}{\text{Sekunde}}$$

In Deutschland beträgt die Netzfrequenz 50Hz.

5.3.2 Induktionsgesetz

Wenn man in einem Magnetfeld einen Leiter bewegt, wird in dem Leiter eine Spannung induziert. Oder andersherum: Wird durch einen elektrischen Leiter ein Strom geschickt entsteht ein Magnetfeld um den Leiter.

5.3.3 Drehstrom

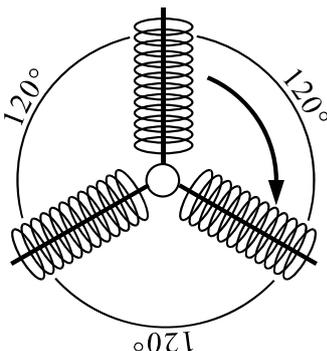


Abb. 2

Bei Dreh- oder Kraftstrom gibt es drei um 120° verschobene Phasen. Die Effektivspannung, gemessen zwischen den Phasen des Drehstroms, beträgt 400V. Die drei Phasen des Drehstroms lassen sich in drei getrennte Stromkreise aufteilen. Wobei jede der Phasen mit 16A belastbar ist.

Beispiel:

Maximale Leistung eines Stromkreises?

$$P_{\max} = 230V \cdot 16A$$

$$P_{\max} = 3680W$$

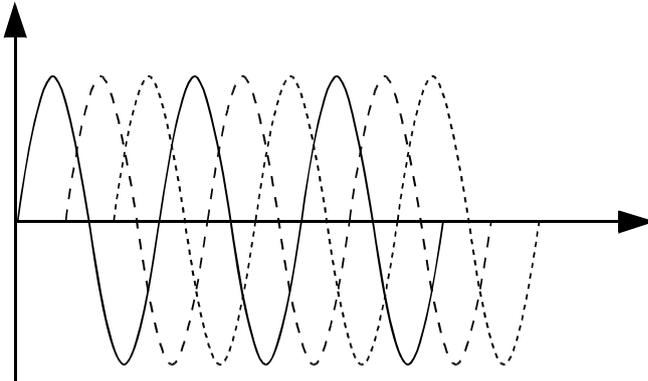


Abb. 3

5.3.4 Schutzklassen

Schutzklasse	Maßnahmen
Schutzklasse 0	<ul style="list-style-type: none"> • Basisisolierung
Schutzklasse I	<ul style="list-style-type: none"> • Basisisolierung • Metallgehäuse ist über den Schutzleiter geerdet
Schutzklasse II	<ul style="list-style-type: none"> • Basisisolierung • Schutzisolierung • Keine Verbindung mit dem Schutzleiter
Schutzklasse III	<ul style="list-style-type: none"> • Benötigen keinen besonderen Schutz, das sie mit sehr geringen Spannungen arbeiten

5.3.5 FI-Schalter

Ein Fehlerstromschutzschalter vergleicht den eingehenden Strom auf der Phase mit dem ausgehenden Strom auf dem Nullleiter, wenn der Unterschied größer als 30mA ist unterbricht der FI-Schalter die Leitung. Es handelt sich dabei um eine Schutzmaßnahme für den Menschen, die jedoch keine normale Sicherung ersetzt, da bei einem Kurzschluss der eingehende Strom trotzdem gleich groß ist wie der ausgehende.

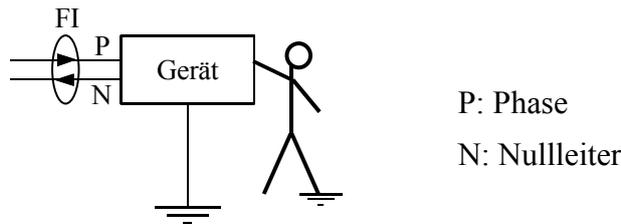


Abb. 4

5.3.6 Erdschleifenbrummen

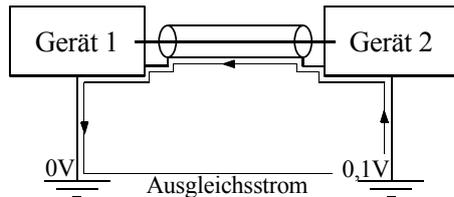


Abb. 5

Ein Erdschleifenbrummen entsteht wenn zwei Geräte, die an zwei unterschiedliche Massen, mit einem voneinander abweichendem 0V Potenzial, angeschlossen sind, durch ein Kabel verbunden werden. Dann nämlich läuft über die Abschirmung des Kabels ein Ausgleichsstrom.

Möglichkeiten der Beseitigung

- Auftrennen der Masseverbindung an einer Seite des Kabels
- Zwischenschalten eines Trenntransformators
- Wenn möglich die zwei Geräte an den gleichen Stromkreis hängen

5.3.7 Frequenzbänder

Deutsch	Englisch	Frequenzbereich
NF = Niederfrequenz	AF = audio frequency	20Hz-20kHz
HF = Hochfrequenz	RF = radio frequency	10kHz-1MHz

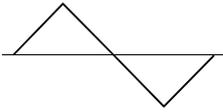
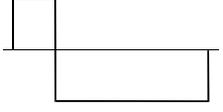
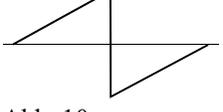
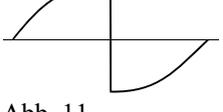
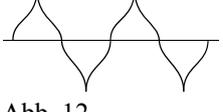
5.3.8 Crestfaktor

Der Crestfaktor ist der Quotient aus Spitzenwert und Effektivwert.

$$C = \frac{U_s}{U_{eff}}$$

5.3.9 Schwingungsformen

Skizze	Name	Crestfaktor	Hinweise
<p>Abb. 6</p>	Sinus-Schwingung	$\sqrt{2}$	<ul style="list-style-type: none"> • Enthält keine Obertöne • Eignet sich als Testsignal

 Abb. 7	Dreiecks-Schwingung	$\sqrt{3}$	
 Abb. 8	Symmetrische Rechteck-Schwingung	1	
 Abb. 9	Unsymmetrische Rechteck-Schwingung	-	
 Abb. 10	Lineare Sägezahn-Schwingung	-	
 Abb. 11	Exponentielle Sägezahn-Schwingung	-	<ul style="list-style-type: none"> • Obertonreichste Schwingung
 Abb. 12	Impuls-Schwingung	bis über 10	

5.3.10 Phantomspeisung

Bei der Phantomspeisung, welche einige Kondensatormikrofone benötigen, kommt ein Mischstrom, also ein Überlagerung von einer Gleichspannung mit einer Wechselspannung, zum Einsatz. Der Gleichstrom wird als Energieversorgung und die Wechselspannung als Nachrichtenstrom genutzt.

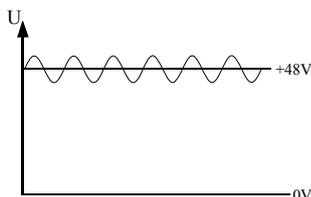


Abb. 14

Die Abweichungen von 48V betragen bei durchschnittlicher Lautstärke $\pm 0,1V$, bei sehr lauten Passagen können sie aber auch bis zu $\pm 1V$ sein.

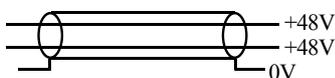
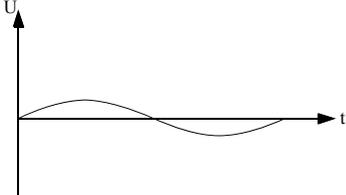
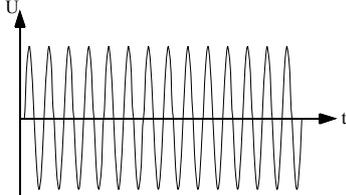
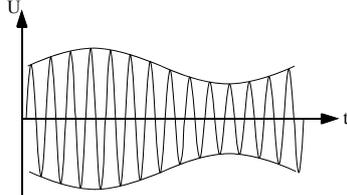


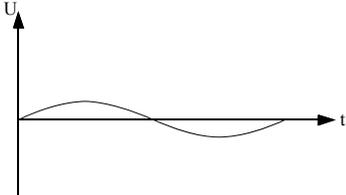
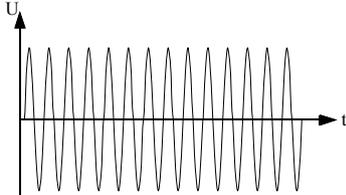
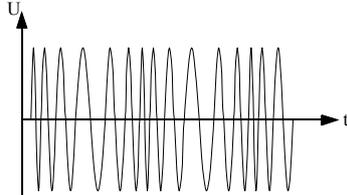
Abb. 13

5.3.11 Amplituden-Modulation

Modulation	Träger	Modulierter Träger
 <p>Abb. 15</p>	 <p>Abb. 16</p>	 <p>Abb. 17</p>

Bei der Amplituden-Modulation(AM) wird die Amplitude des Trägers im Takt der Modulation verändert. Musikalisch wird dies auch Tremolo genannt.

5.3.12 Frequenz-Modulation

Modulation	Träger	Modulierter Träger
 <p>Abb. 18</p>	 <p>Abb. 19</p>	 <p>Abb. 20</p>

Bei der Frequenz-Modulation(FM) wird die Frequenz des Trägers im Takt der Modulation verändert. Musikalisch wird dies auch Vibrato genannt.

5.4 Passive Bauelemente

Passive Bauelemente benötigen im Gegensatz zu Aktiven Bauelementen keine Energieversorgung.

5.4.1 Widerstand

Widerstände setzen Leistung in Wärme um.

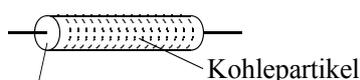
Bauformen von Widerständen

Kohlemassewiderstände

Gemahlene Kohle versetzt mit unterschiedlichen anderen Stoffen

Toleranz: $\pm 20\%$

Kohlefilmwiderstände

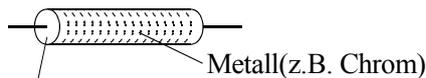


Isolation
(Keramik, Porzellan)

Abb. 21

Toleranz: $\pm 10\%, \pm 5\%$

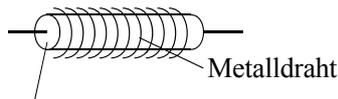
Metallfilmwiderstände



Isolation
Abb. 22

Toleranz: $\pm 2\%$, $\pm 1\%$
→ geringes Rauschen

Drahtwiderstände



Isolation
Abb. 23

Surface Mounted Devices (SMD)

SMD-Widerstände haben sehr geringe Ausmaße und sind zur direkten Montage auf einer Platine. Sie haben keine Drähte als Anschluss sondern lediglich zwei kleine Metallplatten als Kontakte. Sie werden nur von Maschinen verarbeitet.

Beschriftung von Widerständen

Für große Widerstandswerte werden die Kürzel der Vorsilben für Maßeinheiten verwendet.

Beispiel:

$$4k7 \rightarrow 4700\Omega$$

Für sehr kleine Widerstandswerte wird der Buchstabe R als Komma verwendet.

Beispiel:

$$4R7 \rightarrow 4,7\Omega$$

$$R005 \rightarrow 0,005\Omega$$

Farbringsystem

Bei Widerständen mit geringen Ausmaßen wird zur besseren Ablesbarkeit ein Farbringsystem verwendet.

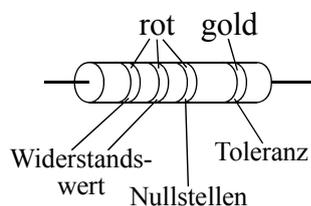


Abb. 24

Beispiel:

$$\text{rot} = 2$$

$$\text{gold} = 5\%$$

$$\rightarrow 2200\Omega / 5\%$$

Reihenschaltung von Widerständen

Für die Reihenschaltung gilt: Je größer der Widerstand, umso größer der Spannungsverlust an dem Widerstand. Sie verhalten sich proportional. Der Gesamtwiderstand ist gleich der Summe der Teilwiderstände. Die Gesamtspannung ist gleich der Summe der an den einzelnen Widerständen abfallenden Teilspannungen. Der Strom durch alle Widerstände ist gleich groß.

$$R_{Ges} = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

$$U_{Ges} = U_1 + U_2 + U_3 \dots$$

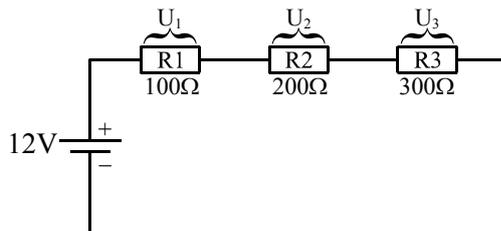


Abb. 33

$$R_{Ges} = 100\Omega + 200\Omega + 300\Omega = 600\Omega$$

$$I = \frac{12V}{600\Omega} = 0,02A$$

$$U_1 = 100\Omega * 0,02A = 2V$$

$$U_2 = 200\Omega * 0,02A = 4V$$

$$U_3 = 300\Omega * 0,02A = 6V$$

$$U_{Ges} = 2V + 4V + 6V = 12V$$

Parallelschaltung von Widerständen

Für die Parallelschaltung gilt: Die Gesamtspannung liegt an allen Widerständen an, d.h. sie ist für alle Widerstände gleich. Die Ströme verteilen sich. Der Gesamtstrom ist gleich der Summe der durch die einzelnen Widerstände fließenden Teilströme. Die Ströme verhalten sich umgekehrt proportional zu den Widerständen.

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$$

$$G_{Ges} = G_1 + G_2 + G_3 \dots$$

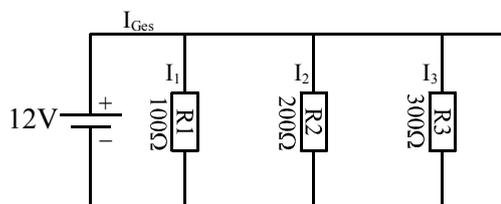


Abb. 34

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{200\Omega} + \frac{1}{300\Omega}$$

$$R_{Ges} = 54,55\Omega$$

E-Reihe

Die Werte von passiven Bauelementen werden nicht in jedem beliebigen Wert produziert, sondern nur in gewissen Abstufungen, welche normiert sind und als E-Reihe bezeichnet werden.

E12 Reihe (10%) {10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82}

E24 Reihe (5%)

E96 Reihe (1%)

5.4.2 Schaltsymbole

Schaltsymbol	Alternativsymbol	Bedeutung
 Abb. 25-1	 Abb. 25-2	Widerstand
 Abb. 26		Erde, Masse
 Abb. 27		Gleichspannungsquelle
 Abb. 28		Schalter
 Abb. 29		Wechselspannungsquelle
 Abb. 30		Elektrisch verbunden
 Abb. 31-1	  Abb. 31-2 Abb. 31-3	Nicht elektrisch verbunden

5.4.3 Blockschaltbild

Ein Blockschaltbild enthält keine Bauteile sondern nur nach ihrer Funktion getrennte Blöcke. Bei sehr großen komplizierten Schaltungen kann es sogar zu einer weiteren Unterteilung kommen.

5.4.4 Stromlaufplan

Der Stromlaufplan enthält die einzelnen Bauteile und deren Werte.

Beispiel:

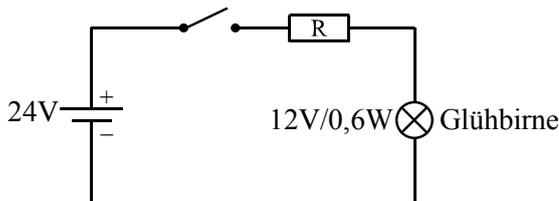


Abb. 32

$$P = U \cdot I$$

$$I = \frac{0,6W}{12V} = 0,05A = 50mA$$

$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{12V}{0,05A} = 240\Omega$$

5.4.5 Impedanz

Impedanz Z ; Einheit: Ohm[Ω]

Eine Impedanz ist die Kombination aus einem Ohmschen Widerstand und einem Scheinwiderstand. Der Ohmsche Widerstand ist frequenzunabhängig (\rightarrow Gleichstrom, Wechselstrom). Scheinwiderstände weisen einen frequenzabhängigen Widerstand auf. D.h. die angegebene Impedanz gilt nur im Arbeitsbereich. Außerhalb davon kann der Widerstand extrem ansteigen.

5.4.6 Serielle und parallele Verkabelung von Boxen

In der Praxis werden Boxen immer parallel verschaltet (\rightarrow parallel out).

Beispiel 1:

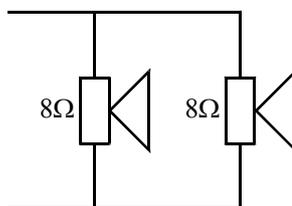


Abb. 35-1

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{8\Omega} + \frac{1}{8\Omega}$$

$$R_{Ges} = 4\Omega$$

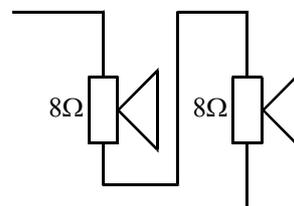


Abb. 35-2

$$R_{Ges} = 8\Omega + 8\Omega = 16\Omega$$

Beispiel 2:

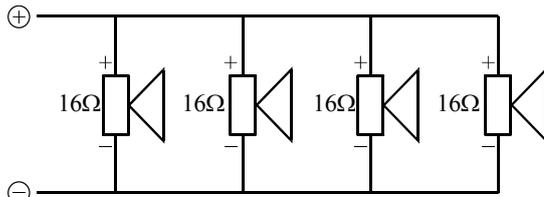


Abb. 36

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{16\Omega} + \frac{1}{16\Omega} + \frac{1}{16\Omega} + \frac{1}{16\Omega}$$

$$R_{Ges} = 4\Omega$$

Beispiel 3:

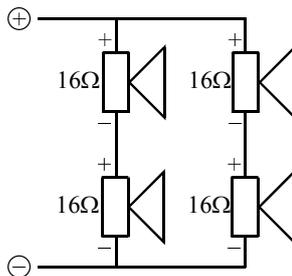


Abb. 37

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{16\Omega + 16\Omega} + \frac{1}{16\Omega + 16\Omega}$$

$$R_{Ges} = 16\Omega$$

Beispiel 4:

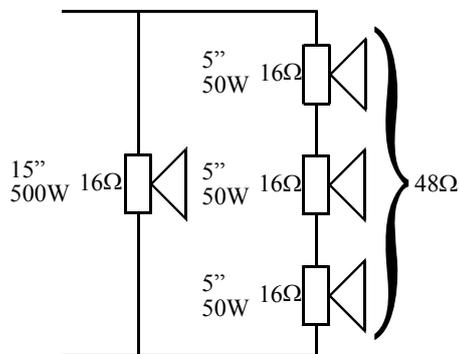
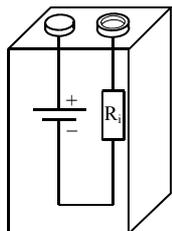


Abb. 38

→ Keine gleichmäßige Leistungsverteilung

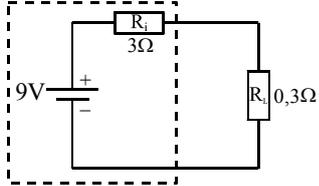
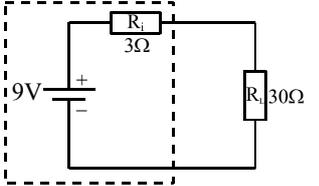
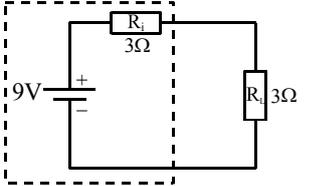
5.4.7 Innenwiderstand



R_i = Quell- oder Innenwiderstand

Abb. 39

5.4.8 Anpassung

Stromanpassung	Spannungsanpassung	Leistungsanpassung
 <p>Abb. 40-1</p>	 <p>Abb. 40-2</p>	 <p>Abb. 40-3</p>
$R_{Ges} = R_i + R_L = 3,3\Omega$ $I = \frac{U_{Ges}}{R_{Ges}} = \frac{9V}{3,3\Omega} = \underline{\underline{2,7A}}$ $U_L = 0,3\Omega \cdot 2,7A = \underline{\underline{0,8V}}$ $P_L = 0,8V \cdot 2,7A = \underline{\underline{2,2W}}$	$R_{Ges} = R_i + R_L = 33\Omega$ $I = \frac{U_{Ges}}{R_{Ges}} = \frac{9V}{33\Omega} = \underline{\underline{0,27A}}$ $U_L = 30\Omega \cdot 0,27A = \underline{\underline{8,2V}}$ $P_L = 8,2V \cdot 0,27A = \underline{\underline{2,2W}}$	$R_{Ges} = R_i + R_L = 6\Omega$ $I = \frac{U_{Ges}}{R_{Ges}} = \frac{9V}{6\Omega} = \underline{\underline{1,5A}}$ $U_L = 3\Omega \cdot 1,5A = \underline{\underline{4,5V}}$ $P_L = 4,5V \cdot 1,5A = \underline{\underline{6,75W}}$
$R_i = 10 \cdot R_{Last}$	$R_{Last} = 10 \cdot R_i$	$R_i = R_{Last}$
Der übertragene Strom ist maximal.	Die übertragene Spannung ist maximal.	Die Übertragene Leistung ist maximal

In der Tonstudioteknik wird bei der Verbindung von Geräten immer die Spannungsanpassung verwendet. Um bei der Mischung von Signalen zu verhindern, dass sich die zu mischenden Kanäle gegenseitig belasten wird dabei Stromanpassung mit $R_L = 0\Omega$ verwendet. Damit wird sichergestellt, dass immer alle Signale vollständig am Masterbus ankommen.

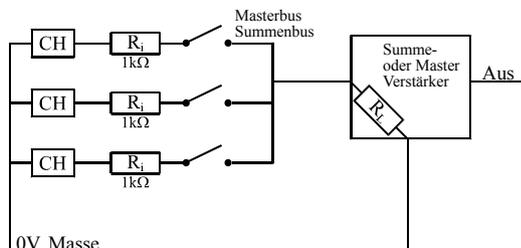


Abb. 41

5.4.9 Spannungsteiler

Ein Spannungsteiler dämpft eine Spannung mit dem Dämpfungsfaktor:

$$D = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Beispiel:

$$U_{Ein} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{Aus} = \frac{5\Omega}{5\Omega + 5\Omega} \cdot 2V = 1V$$

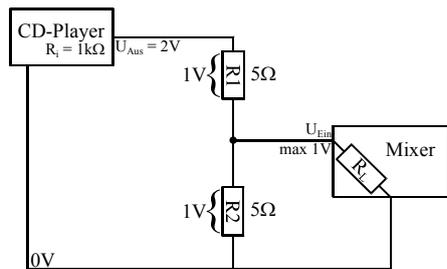


Abb. 42

5.4.10 Potentiometer

Flachbahnpotentiometer

 Abb. 45-1	 Abb. 45-2	Pegelsteller
---------------	---------------	--------------

Bei einem Flachbahnpotentiometer ändern sich R_1 und R_2 nach der Position des Schleifers. Bei sehr hochwertigen Potentiometern (\rightarrow Nevepult) wird anstelle der Kohlebahn ein Leitkunststoff, welcher mit Graphit vermischt ist, verwendet (engl. conductive plastic).

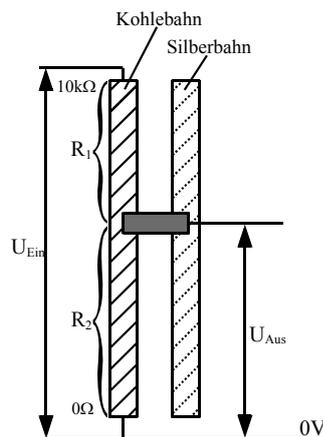
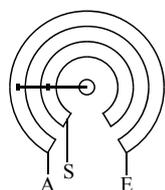


Abb. 43

Drehpotentiometer



Anschlüsse:
 A = Anfang
 S = Schleifer
 E = Ende

Abb. 44

Der Drehwinkel beträgt 300° , seltener auch 270° . Es gibt Ausführungen mit einem Achsendurchmesser von 6mm oder 4mm. Der Widerstandsverlauf ist entweder linear (lin; A) oder logarithmisch (aud; B).

Eine einfache Messmethode, um festzustellen ob ein lineares Poti oder ein logarithmisches Poti vorliegt, besteht indem man das Poti auf Mittelstellung bringt, und zwischen Anfang und Schleifer bzw. zwischen Schleifer und Ende den Widerstand misst. Diese zwei Widerstands-

werte ergeben bei einem linearen Poti ein Verhältnis von 50/50 und bei einem logarithmischen Poti ein Verhältnis von 10/90.

Pan-Potentiometer

Damit das Signal nicht in der Mitte lauter wird und damit näher erscheint, muss ein Pan-Potentiometer das Signal zur Mitte hin dämpfen.

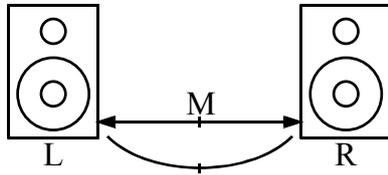


Abb. 46

Einstellung 1: Das Master R-Signal wird komplett nach Masse abgeleitet. Das Signal kommt nur auf Master L.

Einstellung 2: Das Master L-Signal wird komplett nach Masse abgeleitet. Das Signal kommt nur auf Master R.

Mittelstellung: Beide Signale werden gedämpft da ein Teil des Stroms nach Masse abfließt.

Für Pan-Potis werden meistens lineare Potentiometer verwendet.

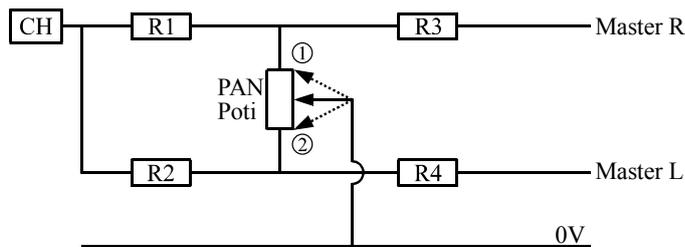


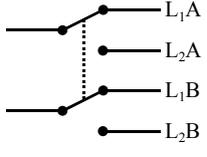
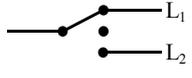
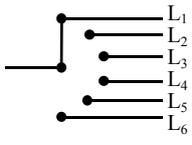
Abb. 47

5.4.11 Schalter

Die Einteilung von Schaltern geschieht in zwei Kategorien. Die elektrische Kategorie unterscheidet nach der elektrischen Funktion des Schalters, die mechanische Kategorie nach der mechanischen Bauform des Schalters.

Elektrische Kategorie

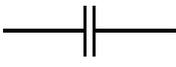
Schaltsymbol	Bedeutung
<p>Abb. 48</p>	Ein/Aus-Schalter
<p>Abb. 49</p>	2-poliger Ein/Aus-Schalter
<p>Abb. 50</p>	Umschalter

 <p>Abb. 51</p>	2-poliger Umschalter
 <p>Abb. 52</p>	Umschalter mit zentraler Ruheposition
 <p>Abb. 53</p>	Stufenschalter mit 6 Positionen
 <p>Abb. 54</p>	Taster/Schließer
 <p>Abb. 55</p>	Taster/Öffner

Mechanische Kategorie

- Wippschalter
- Kippschalter
- Druckschalter
- Drehschalter
- Schiebeschalter

5.4.12 Kondensator

 <p>Abb. 56</p>	Kondensator
 <p>Abb. 57</p>	gepolter Kondensator

Kapazität C; Einheit: Farad[F]

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

A = Fläche der Plattend = Plattenabstand
 ϵ_0 = Dielektrizitätskonstante
 ϵ_r = Dielektrizitätszahl

Bauformen von Kondensatoren

Folienkondensator

Bei einem Folienkondensator wird als Dielektrikum eine Plastikfolie verwendet. Um eine Miniaturisierung zu erreichen werden meistens keine Aluminiumfolien verwendet, sondern das Aluminium nur auf beide Seiten der Folie aufgedampft. Folienkondensatoren sind immer ungepolt, d.h. es ist nicht wichtig in welcher Richtung sie aufgeladen werden.

Kapazitäten: zwischen $0,1 \mu\text{F}$ und $1 \mu\text{F}$
 Spannungsfestigkeit: 50V - 2500V
 Toleranz: $\pm 20\%$ / $\pm 10\%$ / $\pm 5\%$

Elektrolytkondensator („Elko“)

Der Elektrolytkondensator besteht aus einer aufgerauten Aluminiumfolie. Als Dielektrikum dient eine dünne Oxidschicht. Die zweite Platte wird durch den Elektrolyten dargestellt. Bei dieser Bauform handelt es sich immer um gepolte Kondensatoren. Die Alufolie ist immer die positiv geladene Elektrode und das Elektrolyt die negativ geladene Elektrode. Ein gepolter Kondensator darf niemals mit Wechselspannung betrieben werden.

Kapazitäten: bis zu 1F
 Spannungsfestigkeit: 6V - 500V
 Toleranz: zwischen $+50\%$ und -20%

Der Kondensator im Wechselstromkreis

Betrieibt man ein Kondensator mit Wechselspannung, wird er im Rhythmus ständig von positiv nach negativ und umgekehrt geladen. Je höher die Frequenz, umso schneller wird der Kondensator wieder in entgegengesetzte Richtung umgeladen. Da die Ladekurve aber nicht linear, sondern nach der e-Funktion ansteigt, ist der Stromanstieg zu Beginn am größten. Je höher also die Frequenz, umso höher auch der ladende Strom. Ströme und Widerstände verhalten sich aber umgekehrt proportional, je höher also der Strom umso kleiner scheinbar der Widerstand den der Kondensator dem Stromfluss entgegengesetzt.

Phasenverschiebungen

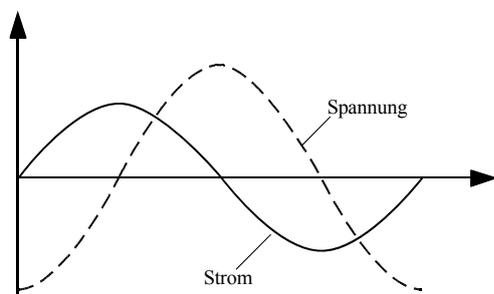


Abb. 58

Liegt an einem idealen Kondensator Wechselspannung an, eilt der Strom der Spannung um 90° voraus. Es muss zunächst Strom fließen, ehe am Kondensator eine Spannung aufgebaut wird. → „Kondensator, Strom eilt vor!“

Scheinwiderstand

Dem Kondensator wird ein so genannter Scheinwiderstand zugeordnet. Der Scheinwiderstand des Kondensators wird mit X_c bezeichnet. X_c lässt sich nachfolgender Formel berechnen.

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

Der Scheinwiderstand wird also mit steigender Frequenz kleiner.

Parallelschaltung von Kondensatoren

Bei der Parallelschaltung werden die Plattenflächen addiert. Daraus ergibt sich, dass die einzelnen Kapazitäten ebenfalls addiert werden können. Die Spannung an allen Kondensatoren ist gleich. In der Praxis werden somit Kapazitäten erzeugt die außerhalb der E-Reihe liegen.

$$C_{Ges} = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

Reihenschaltung von Kondensatoren

Bei der Reihenschaltung wird der Plattenabstand addiert. Der Strom der durch die Kondensatoren fließt ist gleich. Die Reihenschaltung wird z.B. angewendet um eine hohe Spannung auf mehrere Kondensatoren mit geringerer Spannungsfestigkeit zu verteilen.

$$\frac{1}{C_{Ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots$$

Beispiel:

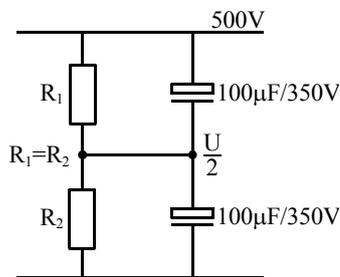


Abb. 59

$$\frac{1}{C_{Ges}} = \frac{1}{100\mu F} + \frac{1}{100\mu F} = \frac{1}{50\mu F}$$

$$C_{Ges} = 50\mu F / 700V$$

Lade und Entladekurve des Kondensators

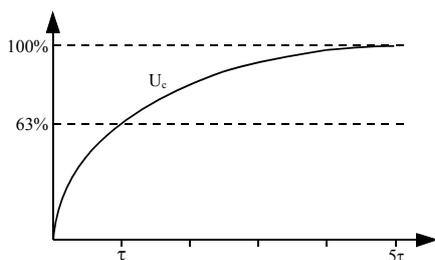


Abb. 60

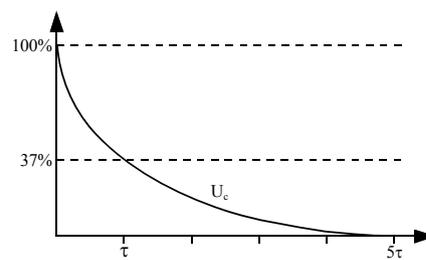


Abb. 61

Abbildung 60 zeigt die Ladekurve eines Kondensators. Sie verläuft nicht linear sondern nach einer e-Funktion. Nach der Zeit τ (Ladezeitkonstante) ist der Kondensator zu 63% der Spannung der ihn ladenden Spannungsquelle geladen. Nach 5τ ist der Kondensator zu praktisch 100% geladen. Die Entladekurve verläuft genau entgegengesetzt (siehe Abb. 61), d.h. nach τ ist der Kondensator nur noch zu 37% geladen.

Zeitkonstante

Die Zeitkonstante τ berechnet sich aus:

$$\tau = R \cdot C$$

Beispiel:

$$\tau = R \cdot C$$

$$\tau = 500k\Omega \cdot 1\mu F = 0,5s$$

5.4.13 Filter

Ein Filter verändert den Frequenzgang eines Signals. Um dies zu realisieren macht man sich z.B. die Frequenzabhängigkeit des Kondensatorscheinwiderstands zu nutze. Ein Filter besteht im einfachsten Fall aus lediglich einem RC-Glied. Die Schaltung kann als Spannungsteiler angesehen werden, der jedoch einen frequenzabhängigen Widerstand enthält. Somit ist die Dämpfung ebenso frequenzabhängig.

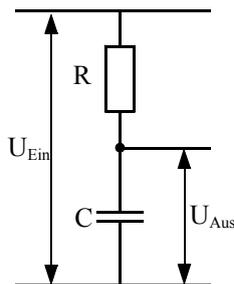


Abb. 62

Daher ergibt sich aus der Spannungsteilerformel

$$U_{Aus} = U_{Ein} \frac{|X_c|}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$$

Grenzfrequenz

Für die Grenzfrequenz f_g gilt

$$R = X_c$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_g C}$$

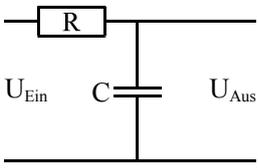
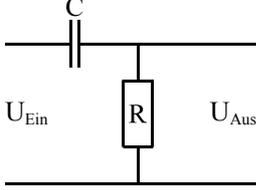
$$\boxed{f_g = \frac{1}{2\pi RC}}$$

Für die Ausgangsspannung gilt

$$U_{Aus} = \frac{U_{Ein}}{\sqrt{2}}$$

Damit wird die Ausgangsspannung um 3dB gedämpft, bzw. die Leistung wird halbiert. In Prozent ausgedrückt bedeutet dies, dass am Ausgang 70,7% der Eingangsspannung liegen.

Tiefpassfilter und Hochpassfilter

Tiefpass	Hochpass
 <p>Abb. 63</p> $U_{Aus} = U_{Ein} \frac{ X_c }{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$	 <p>Abb. 64</p> $U_{Aus} = U_{Ein} \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$

Filter n-ter Ordnung

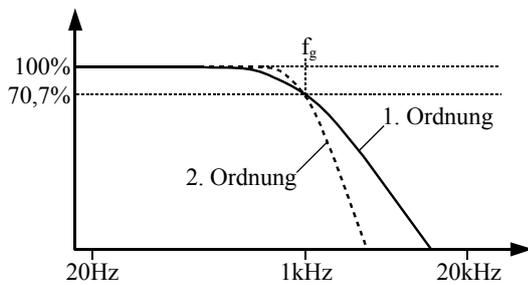


Abb. 65

Bei einem Filter n-ter Ordnung werden z.B. mehrere RC-Glieder in Kette geschaltet. Die Flankensteilheit erhöht sich pro RC-Glied um jeweils 6dB/Oktave. Für einen Filter n-ter Ordnung werden n frequenzabhängige Bauteile benötigt.

Bandpassfilter

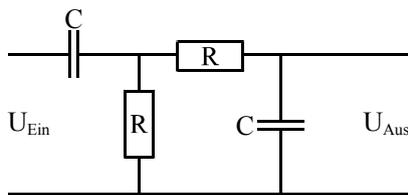


Abb. 66

Ein Bandpassfilter ist im einfachsten Fall aus einem CR-Glied und einem RC-Glied zusammengesetzt.

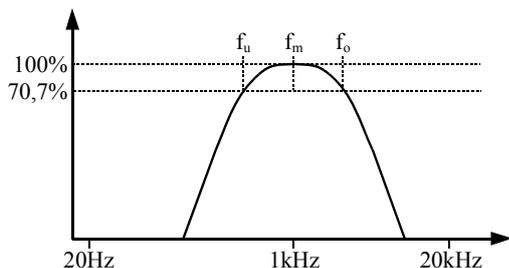


Abb. 67

Bei der oberen und unteren Grenzfrequenz ist der Pegel um 3dB gedämpft. Die Mittelfrequenz ist das geometrische Mittel von f_u und f_o .

$$f_m = \sqrt{f_u \cdot f_o}$$

Die Bandbreite eines Bandpasses ist definiert als $B = f_o - f_u$. Der Güte oder Q-Faktor ist definiert als Resonanzfrequenz zu Bandbreite. Damit entspricht eine große Bandbreite einem kleinen Güte-Faktor und umgekehrt.

$$Q = \frac{f_m}{B}$$

$$Q = \frac{f_m}{f_o - f_u}$$

5.4.14 Spule

		Spule
Abb. 68-1	Abb. 68-2	

Induktivität L; Einheit: Henry[H]

Eine Spule hat die Induktivität 1 Henry, wenn in ihr bei einer Änderung des Stromflusses um 1 Ampere innerhalb einer Sekunde, eine Selbstinduktionsspannung von 1 Vol induziert wird.

$$L = \frac{fn^2 \mu_0 \mu_r A}{l}$$

f = Spulenfaktor, beschreibt die Streufeldverluste ($0 < f \leq 1$)

n = Windungszahl

μ_0 = magnetische Feldkonstante ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs/Am}$)

μ_r = Permeabilitätszahl, Materialkonstante des Spulenkerns

A = Spulenquerschnitt in m^2

l = mittlere Feldlinienlänge in m (bei langen Spulen die Länge der Spule)

Bauformen von Spulen

Eine Spule besteht aus einem Körper, um den ein Kupferlackdraht gewickelt wird. Der Lack isoliert die einzelnen Windungen gegeneinander. Ist der Hohlraum innerhalb der Spule nur mit Luft gefüllt spricht man von Luftspulen. Um die Induktivität einer Spule zu erhöhen wird ein magnetischer Kern z.B. aus Eisen eingefügt.

Die Spule im Wechselstromkreis

Wird eine Spule von Wechselstrom durchflossen wechselt der Strom periodisch seine Richtung. Durch die stetige Stromänderung wird ständig eine Induktionsspannung erzeugt.

Phasenverschiebungen

Liegt an einer Induktivität eine Wechselspannung an, eilt die Spannung dem Strom um 90° voraus. Der Strom kann wegen der induzierten Gegenspannung nur langsam ansteigen. → „Induktivitäten, tun den Strom verspäten!“

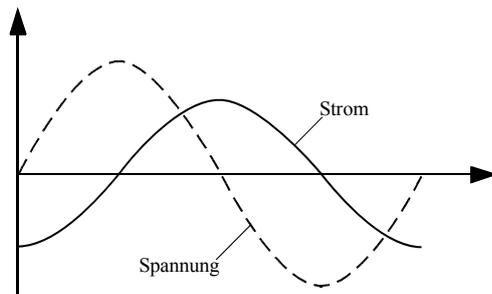


Abb. 69

Scheinwiderstand

Der Spule wird ein so genannter Scheinwiderstand zugeordnet. Der Scheinwiderstand der Spule wird mit X_L bezeichnet. X_L lässt sich nachfolgender Formel berechnen.

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Der Scheinwiderstand steigt also mit steigender Frequenz.

Reihenschaltung von Spulen

Spulen verhalten sich in einer Reihenschaltung entsprechend den Widerständen. D.h. die Einzelinduktivitäten können einfach addiert werden.

$$L_{Ges} = L_1 + L_2 + L_3 \dots$$

Parallelschaltung von Spulen

$$\frac{1}{L_{Ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \dots$$

5.4.15 LC-Parallel-Schwingkreis

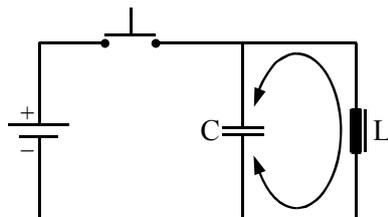


Abb. 70

Nachdem dem Schwingkreis durch betätigen des Tasters elektrische Energie zugeführt wurde, wird die Energie periodisch zwischen Kondensator und Spule ausgetauscht. Die Frequenz mit der dies geschieht wird Resonanzfrequenz genannt. Ist der Kondensator geladen befindet sich die Energie im elektrischen Feld und die Spannung ist maximal. Dann entlädt sich der Kondensator über die Spule, der Strom ist dann maximal und die Energie ist ins Magnetfeld geströmt. Wegen der Trägheit der Spule gegen Stromänderung sorgt die Induktion dafür, dass der Strom nun noch weiter fließt und den Kondensator in umgekehrter Polung wieder auflädt.

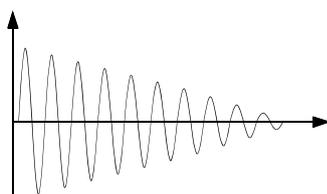
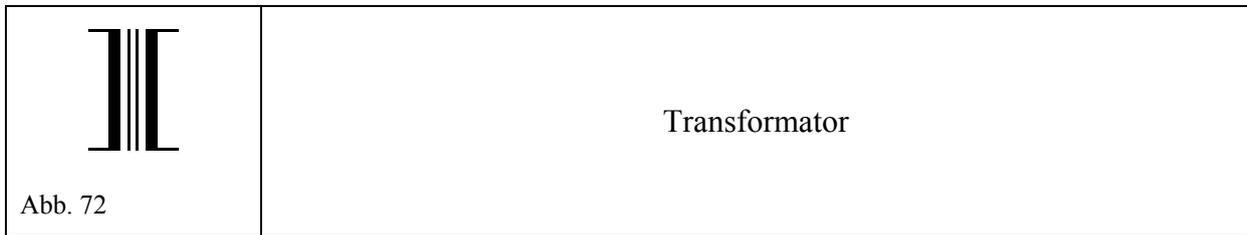


Abb. 71

Durch den ohmschen Widerstand des Schwingkreises geht dem System Energie verloren und die Schwingung wird gedämpft.

5.4.16 Transformator



Ein Transformator besteht aus zwei Drahtspulen mit gemeinsamem Eisenkern. Mit Hilfe von Transformatoren lassen sich elektrische Wechselspannungen herauf oder herunter transformieren. Das Übersetzungsverhältnis ist abhängig von der Windungszahl der Spulen.

$$\ddot{U} = \frac{N_{\text{Primär}}}{N_{\text{Sekundär}}}$$

$$\ddot{U} = \frac{U_1}{U_2}$$

Die Leistung bleibt im Idealfall (keine Verluste) gleich. Damit verhalten sich die Ströme umgekehrt wie die Windungszahlen

$$\ddot{U} = \frac{10}{1}$$

$$P_{\text{Primär}} = 230V \cdot 1A = 230W$$

$$P_{\text{Sekundär}} = 23V \cdot 10A = 230W$$

$$\ddot{U} = \frac{I_2}{I_1}$$

Die Widerstände werden im Quadrat des Übertragungsfaktors übersetzt.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{I_1} \div \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}$$

$$\ddot{U}^2 = \frac{R_1}{R_2}$$

Verluste entstehen z.B. durch den Ohmschen Widerstand der Spulen und durch Streuverluste. Mit steigender Leistung des Transformators sind bessere Wirkungsgrade realisierbar. (100W: ca. 90%; 300W-400W: ca. 97%)

Bauformen von Transformatoren

2-Kammer-Mantelkern-Transformator

Bei einem 2-Kammer-Mantelkern-Transformator werden die beiden Spulen auf einen gemeinsamen Kunststoffkörper gewickelt. In diesen wird dann ein E-förmiger Eisenkern gesteckt, der mit einem I-förmigen Eisenteil zusammen die Magnetfeldlinien so eng wie möglich an die Spule bindet. Trotzdem entstehen besonders an den Ecken Streuverluste.

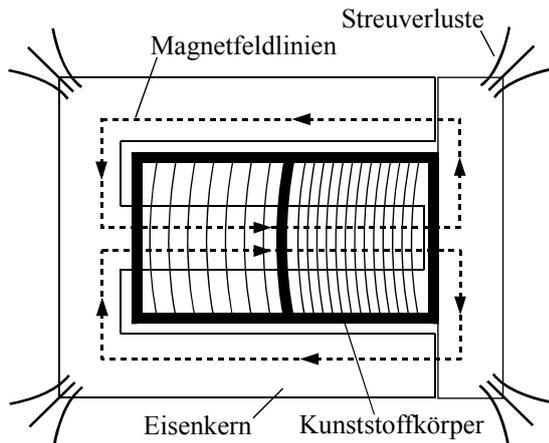


Abb. 73

Ringkern-Transformator

Ringkerntransformatoren haben einen besonders hohen Wirkungsgrad, da durch den Ringkern Streuverluste minimiert werden und der Weg den die Magnetfeldlinien zurücklegen müssen besonders gering ist.

Line-Trennübertrager

Bei einem Trenntransformator trennt die elektrisch leitende Verbindung zwischen den Geräten auf. Die Übertragung läuft nur über eine magnetische Kopplung. (→ Galvanische Trennung) Da das Signal weder verstärkt noch gedämpft werden soll hat ein Trenntransformator den Übertragungsfaktor 1:1.

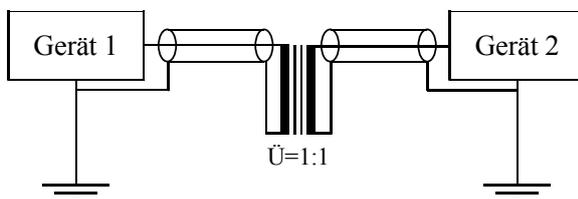


Abb. 74

Passive DI-Box

Eine passive DI-Box wandelt ein LINE-Signal in ein Mikrofonsignal um. Sie besteht aus einem Transformator mit einem Übertragungsfaktor von 10:1. Oft ist noch ein Spannungsteiler mit z.B. -30dB vor den Transformator geschaltet. Der Groundlift-Schalter verbindet bei Geräten ohne Erdung das Gerät mit der Mischpulterde.

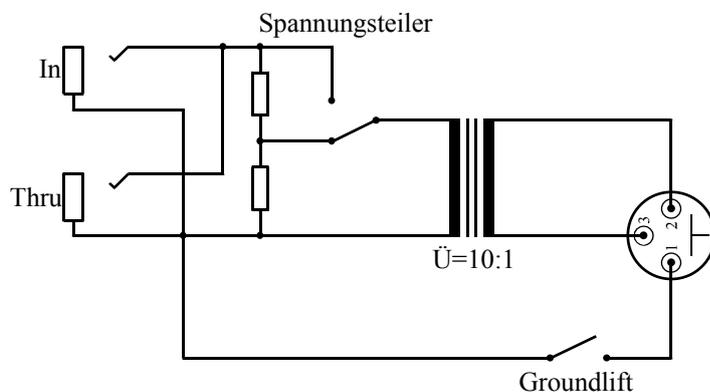


Abb. 75

Eingang	Ausgang
<ul style="list-style-type: none">• Unsymmetrisch• einige $10\text{k}\Omega$• Instrumentenpegel $\approx 300\text{mV}$	<ul style="list-style-type: none">• Symmetrisch• ca. 200Ω• Mikrofonpegel $\approx 30\text{mV}$