

4.0 Wechselstrom

4.1.0 Widerstand im Wechselstromkreis

4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

4.3.0 Spule im Wechselstromkreis

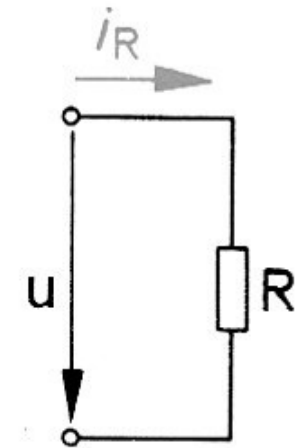
4.4.0 Wirk-, Blind- und Scheinleistung

4.5.0 Der Transformator

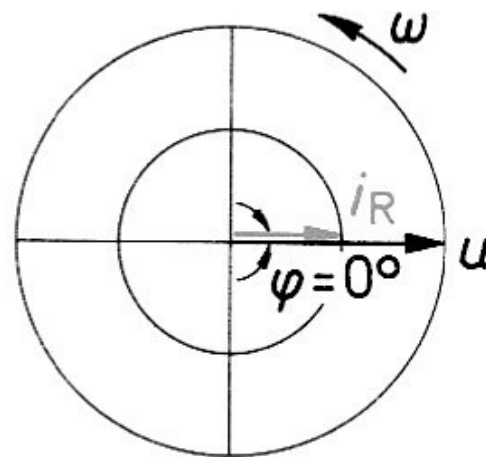
4.6.0 Filter

4.1.0 Widerstand im Wechselstromkreis

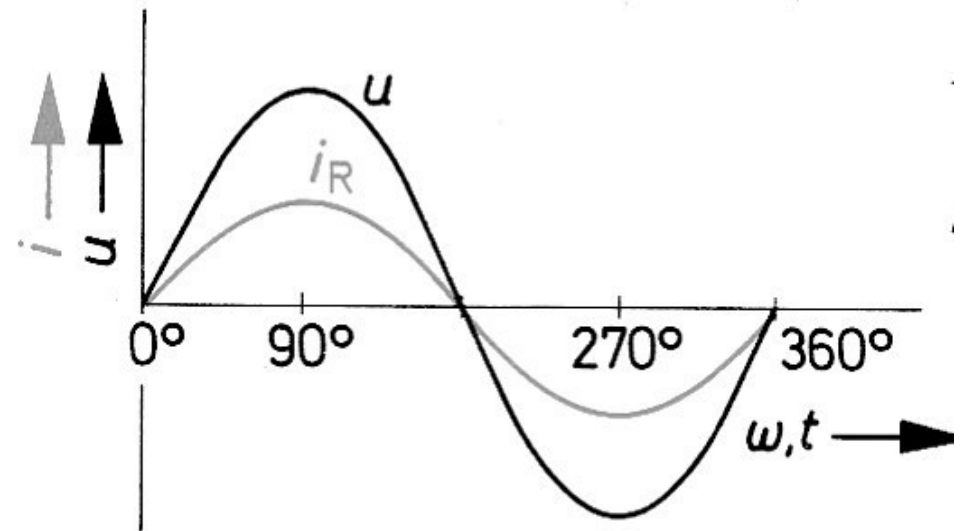
Das Verhalten eines **Ohmschen Widerstandes** ist im Wechselstromkreis identisch mit dem im Gleichstromkreis:



SCHALTUNG



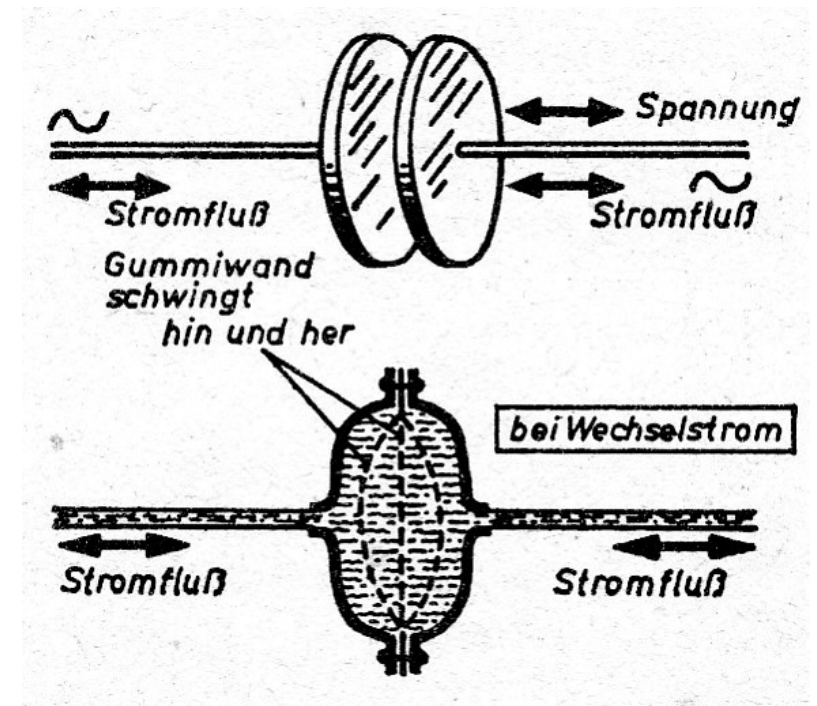
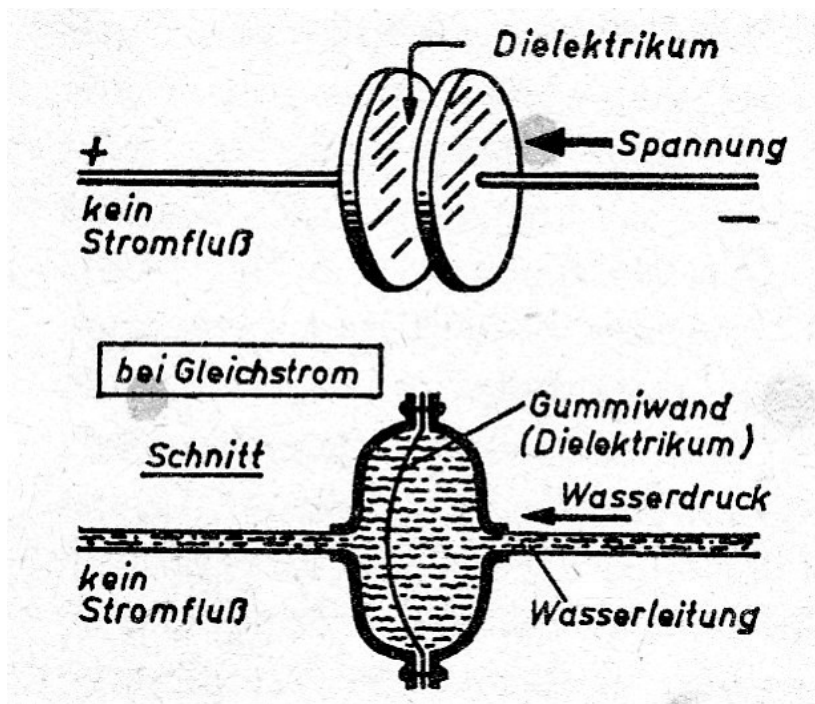
ZEIGERBILD



LINIENBILD

4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

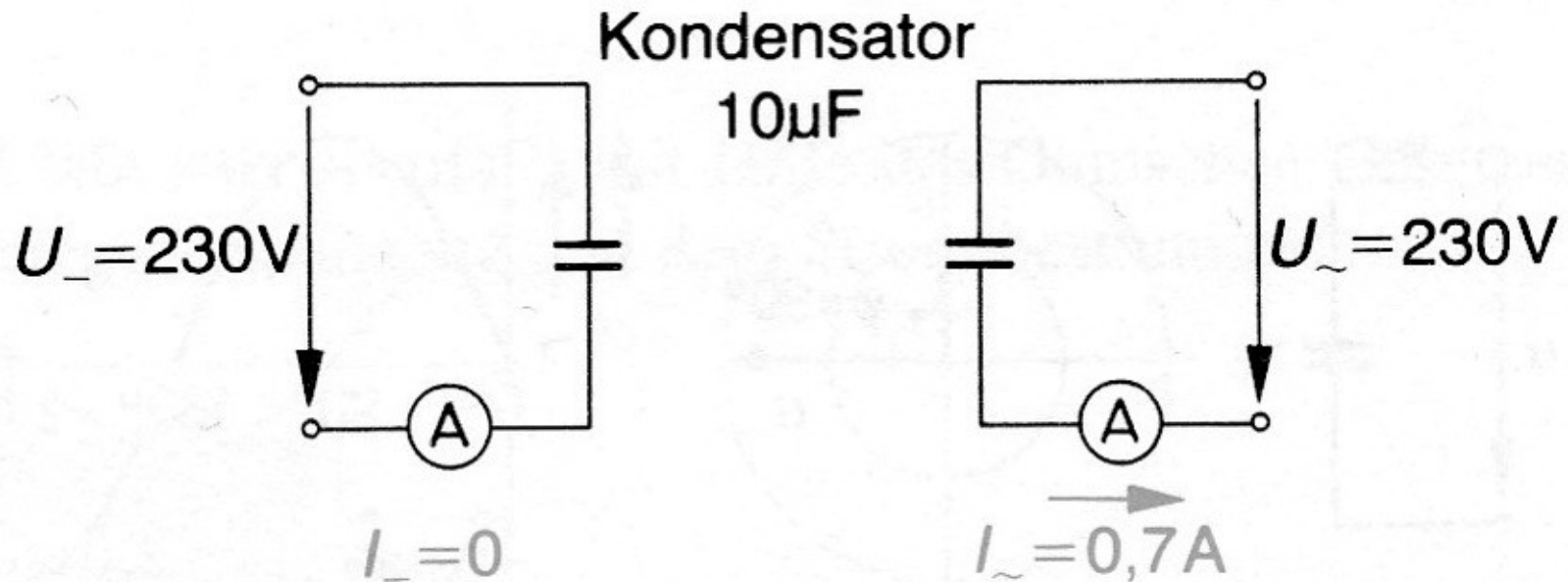
Der Kondensator zeigt im Wechselstromkreis ein anderes Verhalten als im Gleichstromkreis:



Der Wechselstrom fließt scheinbar hindurch.

4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

Ein Kondensator verhält sich im Wechselstromkreis wie ein Widerstand, den man als *kapazitiven Blindwiderstand* X_C bezeichnet.



4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

Den Widerstand eines Kondensators im Wechselstromkreis nennt man Blindwiderstand, weil er keine Leistung erzeugt.

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

X_C in Ohm

f in Hertz

C in Farad

(7.7)

4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

Hier die umgestellte Formel:

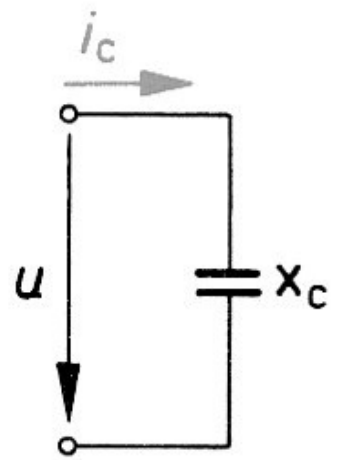
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad [\Omega, \text{Hz}, \text{F}]$$

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

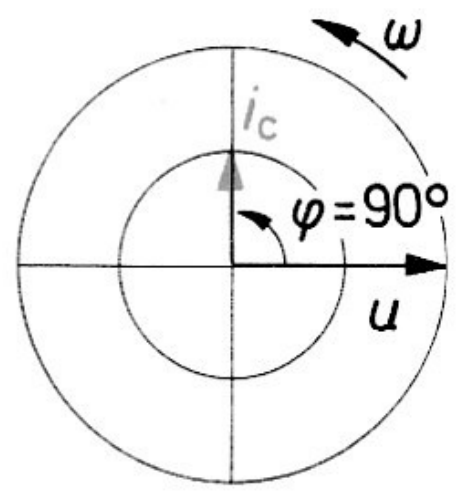
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C}$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}; \quad \omega = \frac{1}{X_C \cdot C}$$

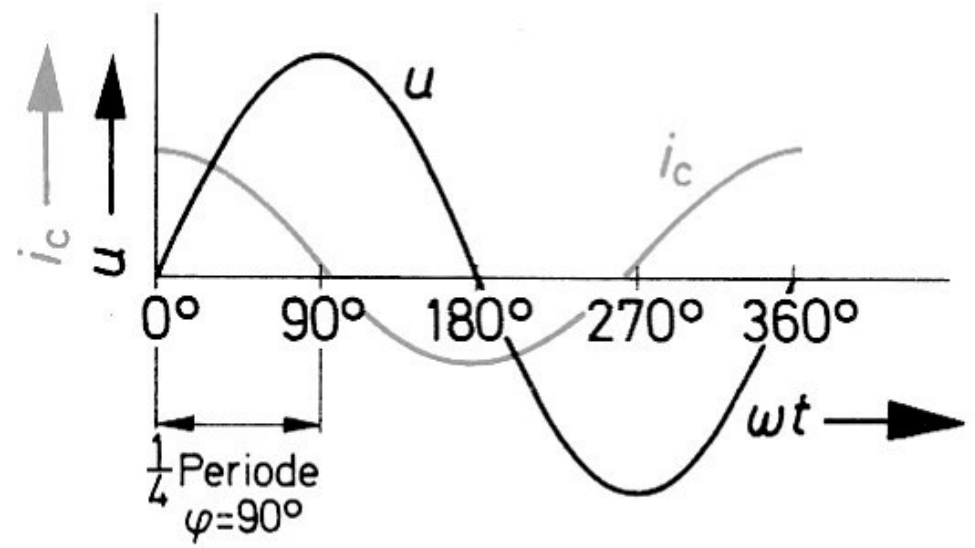
4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis



SCHALTUNG



ZEIGERBILD



LINIENBILD

Am kapazitiven Blindwiderstand (idealer Kondensator) eilt der Strom der angelegten Spannung um 90° ($\frac{1}{4}$ Periode) vor.

Phasenverschiebung

$$\varphi = 90^\circ$$

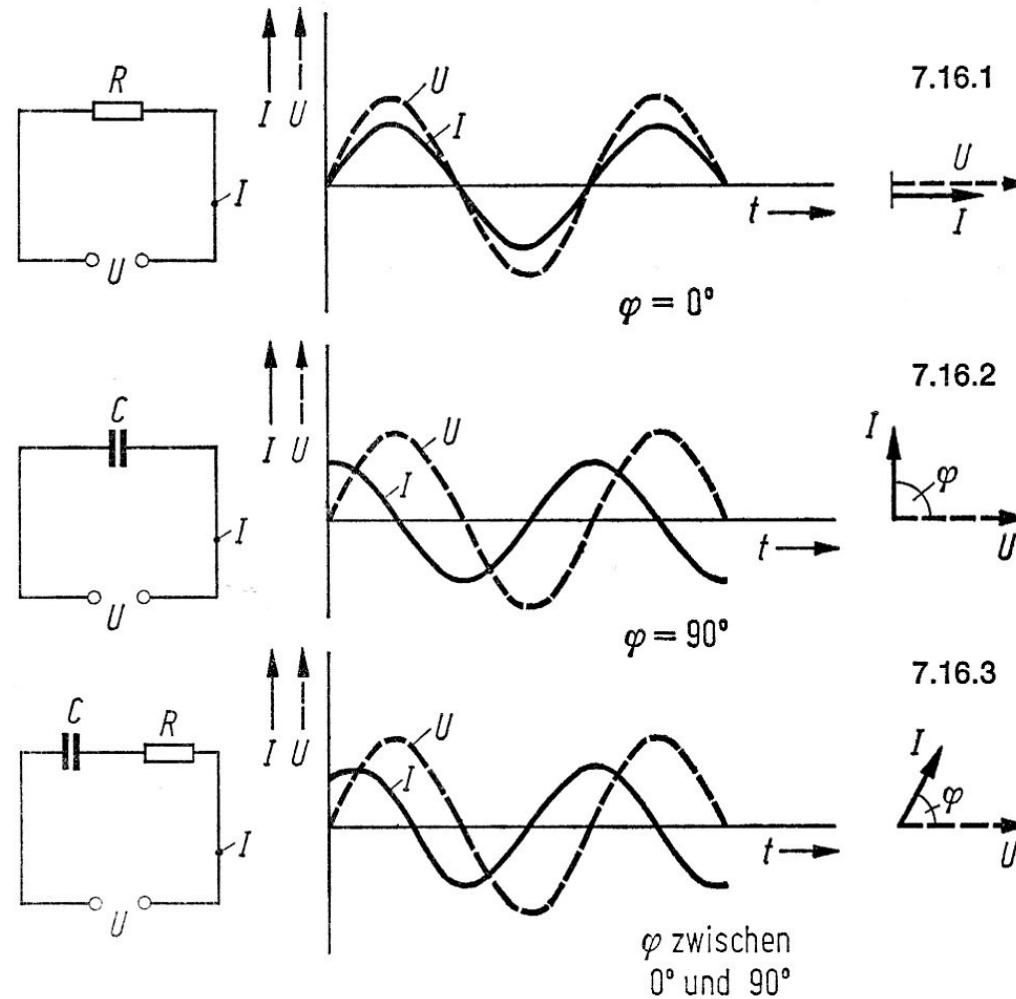
4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

RC-Glied:

- Hier gibt es eine Simulation mit LTSpice -
AC-C_01.asc

4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

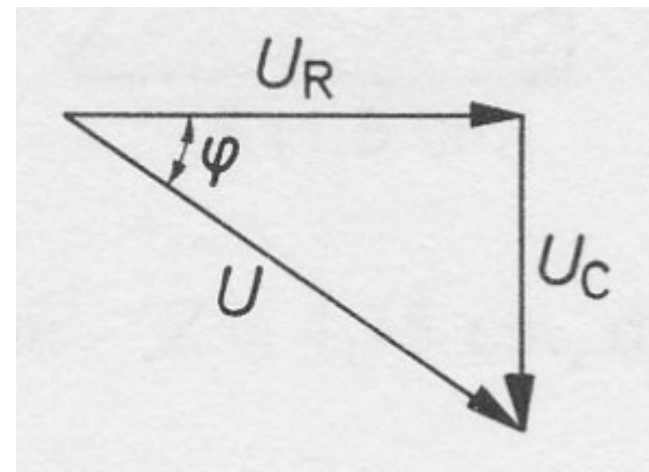
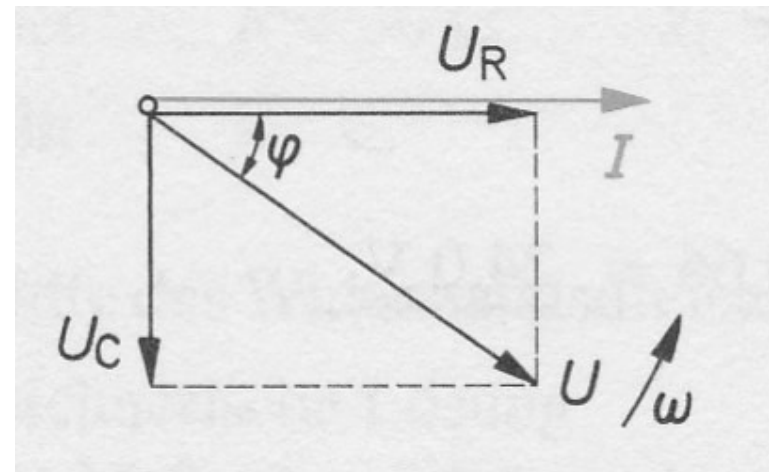
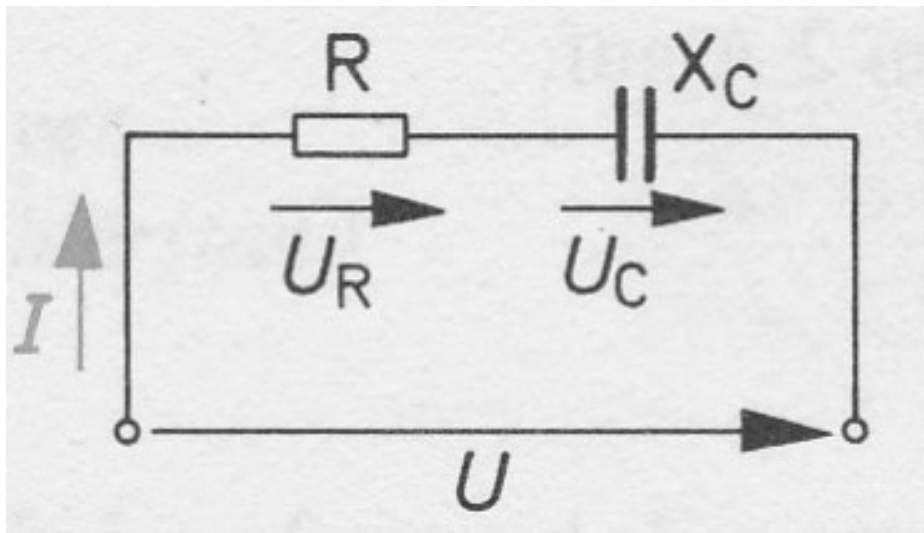
RC-Glied:



4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

RC-Glied:

Der Strom eilt der Spannung um einen Phasenverschiebungswinkel zwischen 0 und 90° vor.



4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

RC-Glied:

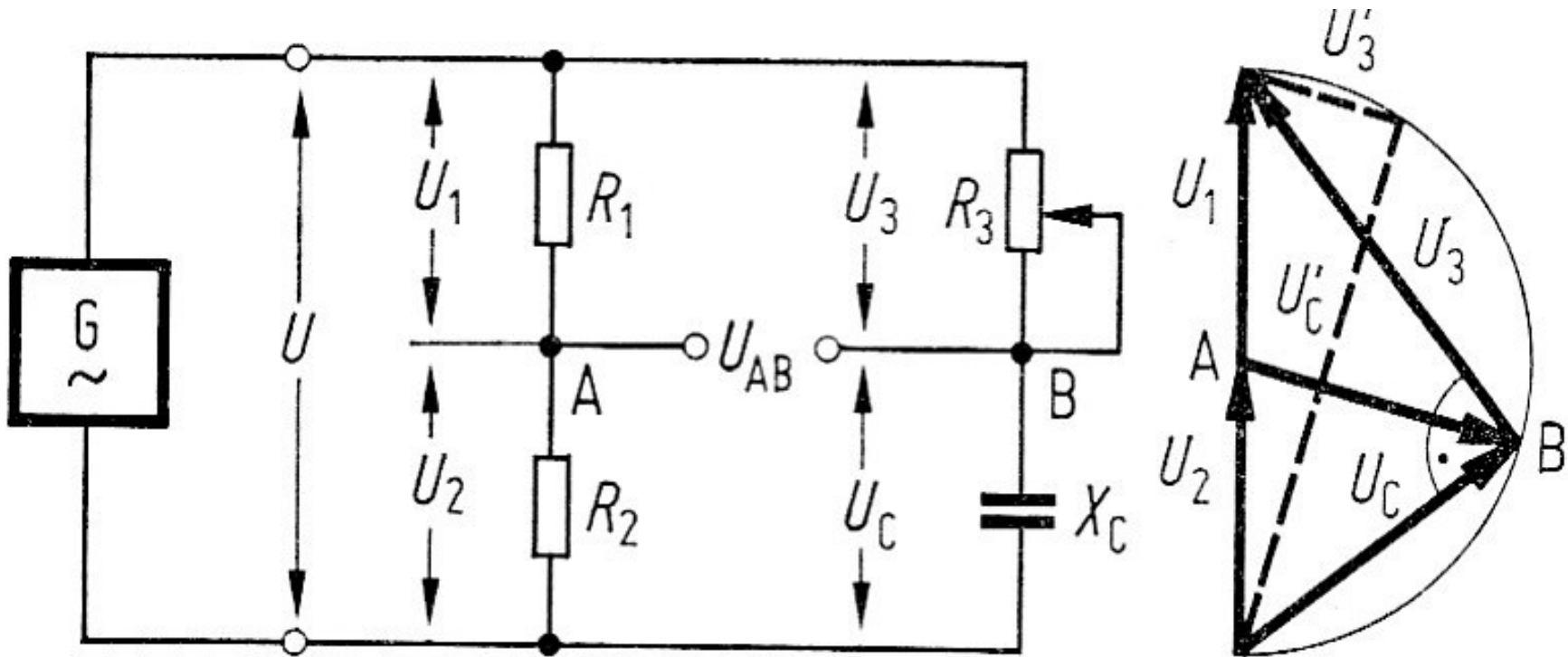
- Hier gibt es eine Simulation mit LTSpice -

Einfluss von R, C und F

AC-RC_01.asc

4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

RC-Glied als Phasenschieber:



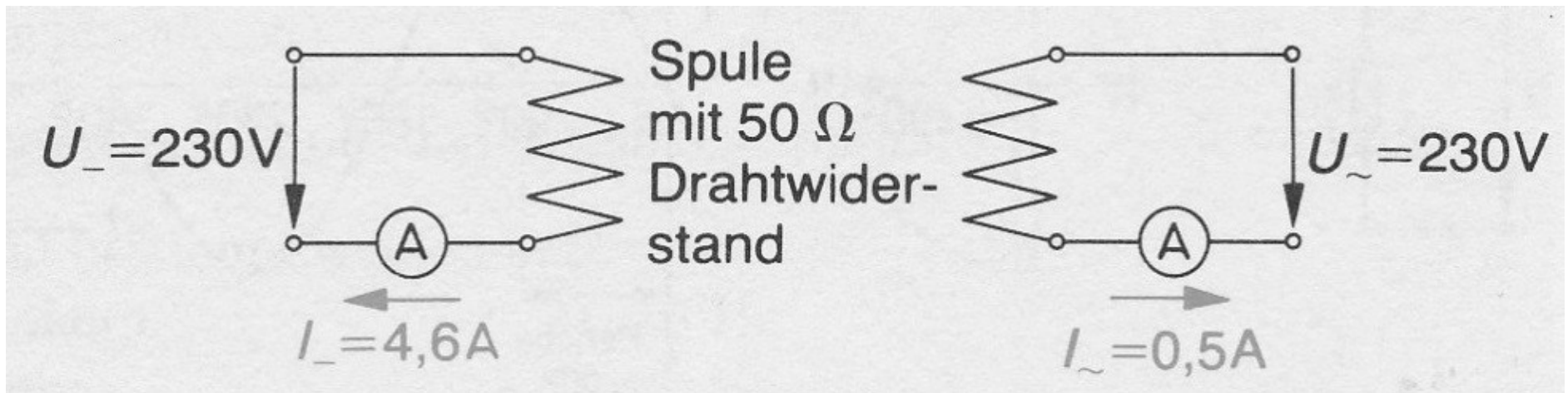
4.2.0 Kondensator im Wechselstromkreis

RC-Glied:

- Hier gibt es eine Simulation mit LTSpice -
Einfluss von R, C und F
AC-Phaseshift_01.asc

4.3.0 Spule im Wechselstromkreis

Auch die Spule verhält sich im Wechselstromkreis anders als im Gleichstromkreis:



Bei der Spule im Wechselstromkreis kommt zum *ohmschen Widerstand* (Drahtwiderstand) noch ein weiterer Widerstand hinzu, der sogenannte *induktive Blindwiderstand* X_L .

4.3.0 Spule im Wechselstromkreis

Der induktive Blindwiderstand beträgt:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \pi f \cdot L$$

X_L in Ohm

f in Hertz

(11.6) L in Henry

Der induktive Widerstand einer Spule ist um so größer, je größer die Induktivität der Spule, je höher die Frequenz ist.

4.3.0 Spule im Wechselstromkreis

Hier die umgestellte Formel:

4.04 Induktiver Widerstand

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \pi \cdot f \cdot L \quad [\Omega, \text{Hz}, \text{H}]$$

$$\omega = \frac{X_L}{L}; \quad f = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2 \pi f}$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega \cdot L}; \quad X_L = \frac{U}{I_L}; \quad \omega \cdot L = \frac{U}{I_L}; \quad \varphi = 90^\circ$$

$$U = I_L \cdot \omega \cdot L; \quad L = \frac{U}{\omega \cdot I_L}$$

X_L = Induktiver Blindwiderstand (Induktanz) [Ω]

L = Induktivität [H]

f = Frequenz [Hz]

auch: [Ω , kHz, mH] [Ω , MHz, μ H] [$\text{k}\Omega$, kHz, H]

ω = Kreisfrequenz (Omega) = $2 \pi f$

I_L = Induktiver Blindstrom

φ = Phasenwinkel

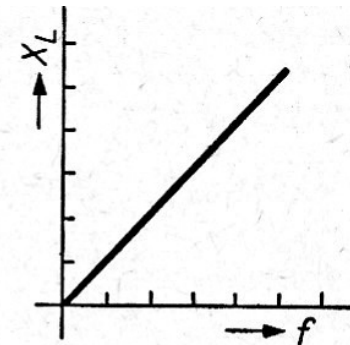
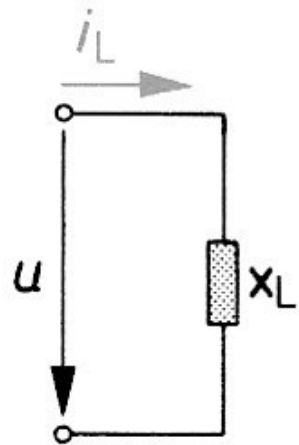
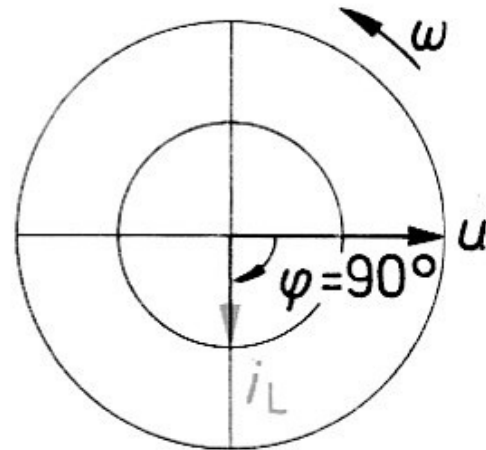


Bild 42

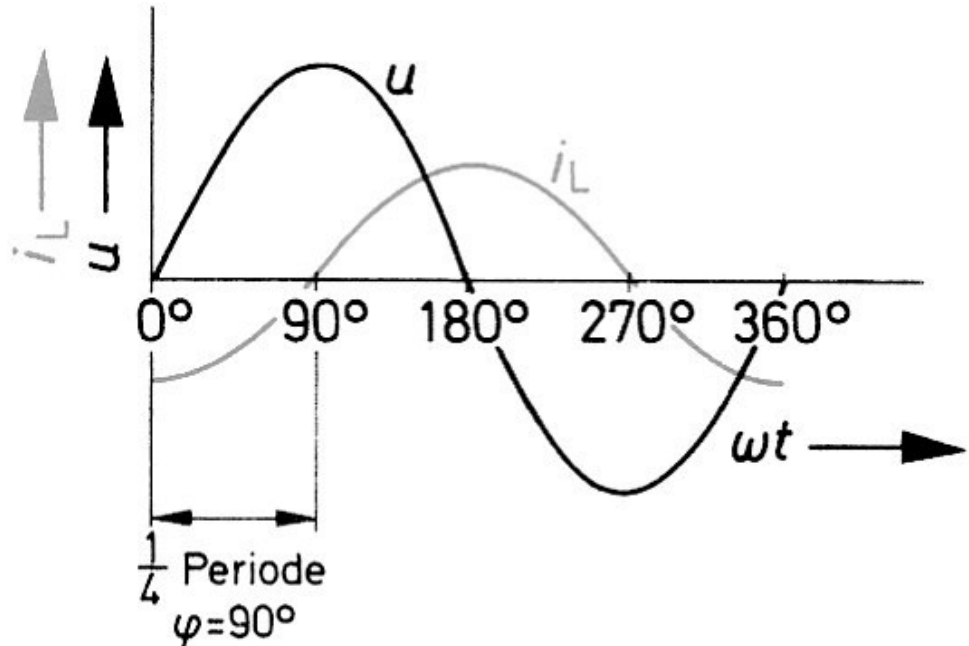
4.3.0 Spule im Wechselstromkreis



SCHALTUNG



ZEIGERBILD



LINIENBILD

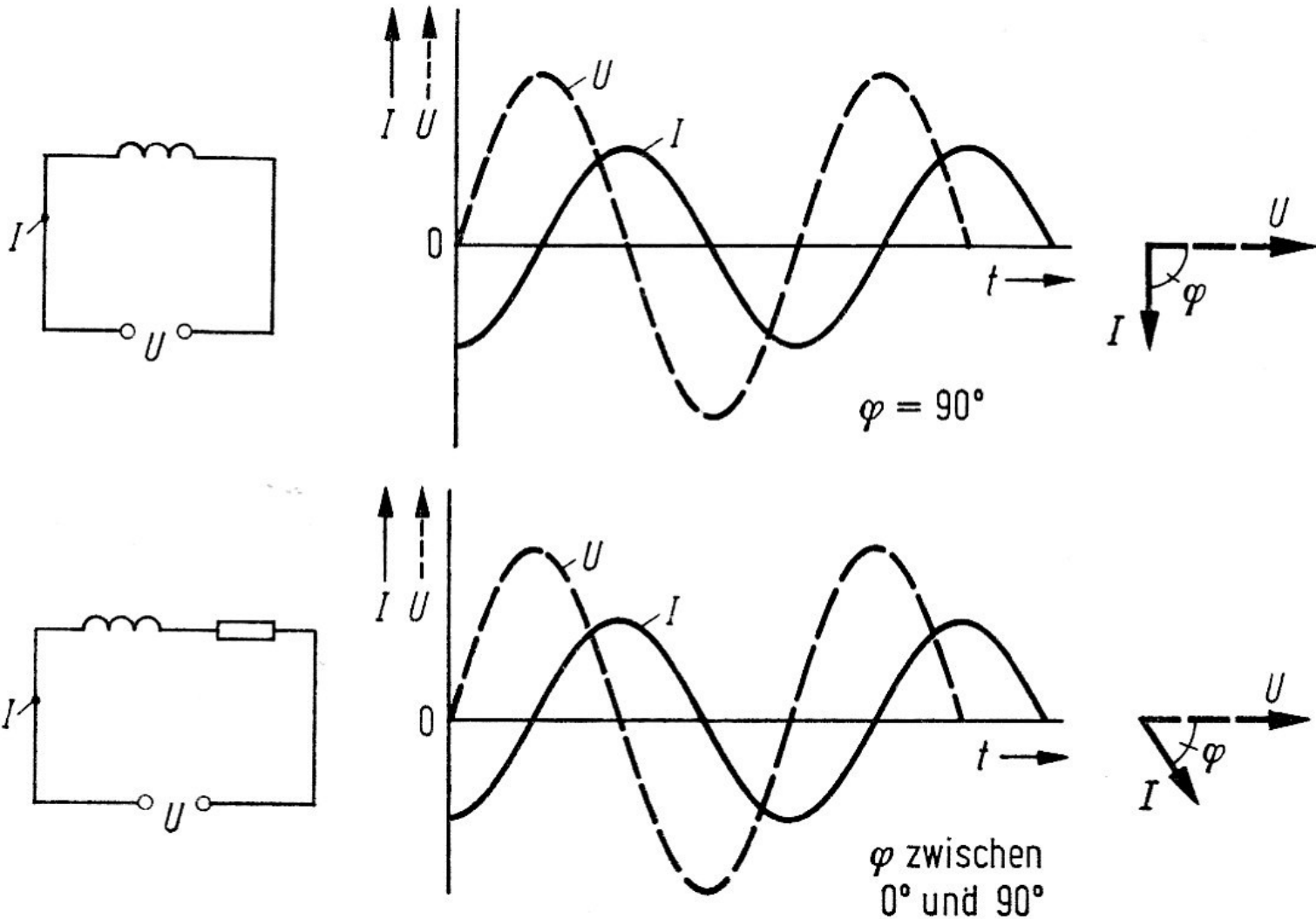
Am induktiven Blindwiderstand (ideale Spule) eilt der Strom der angelegten Spannung um 90° ($1/4$ Periode) nach.

Phasenverschiebung

$$\varphi = 90^\circ$$

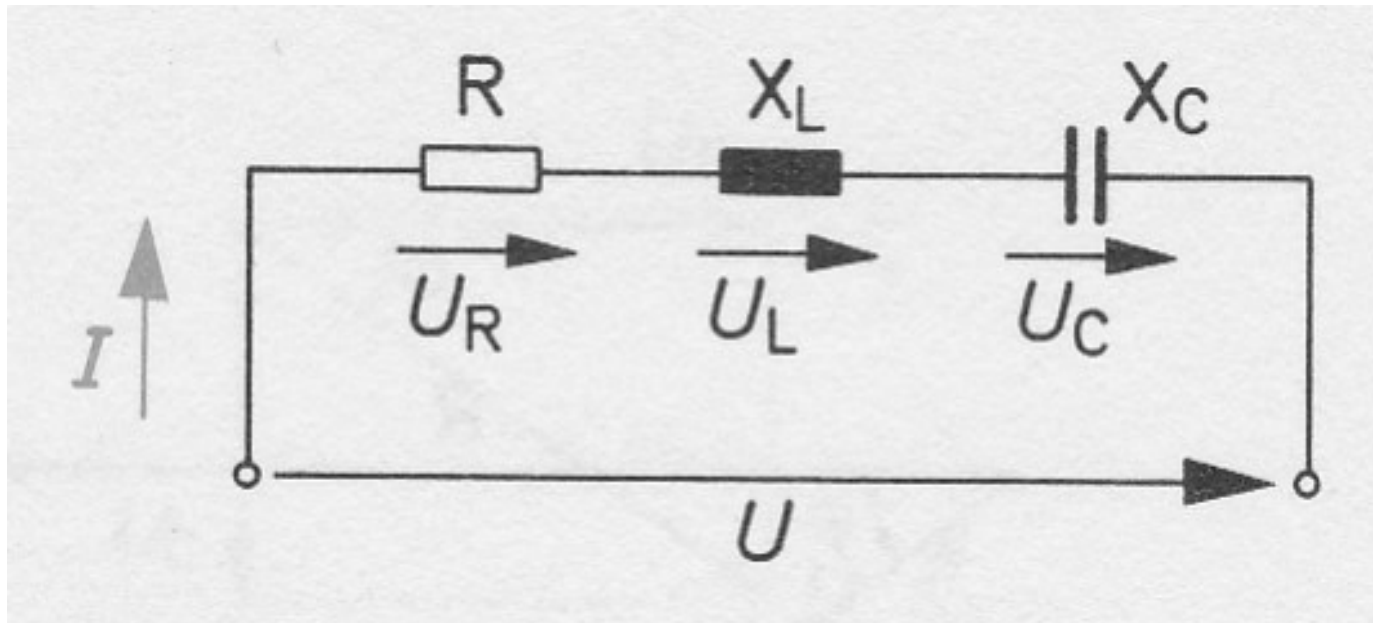
4.3.0 Spule im Wechselstromkreis

RL-Glied:



4.3.0 RLC im Wechselstromkreis

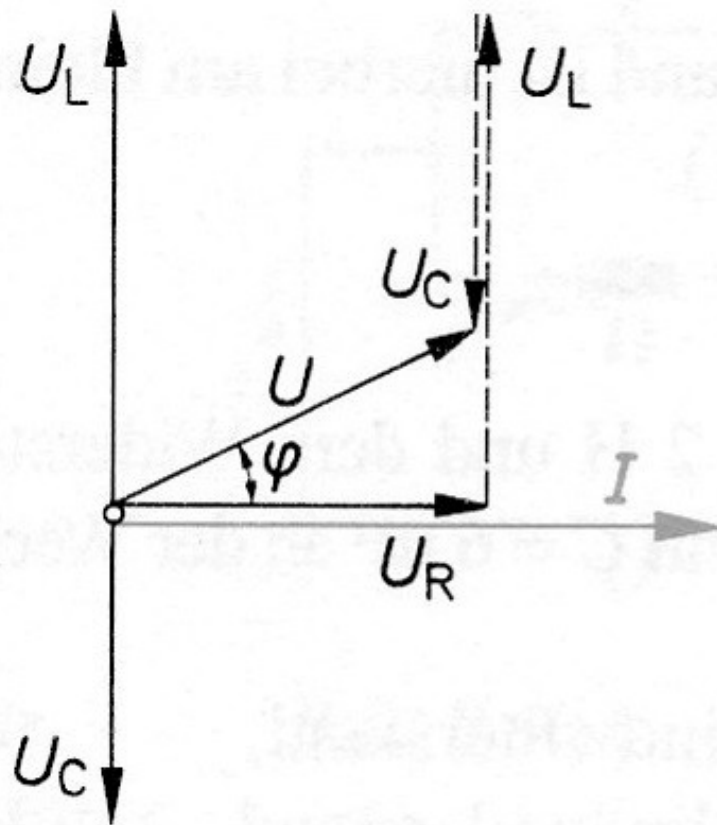
Reihenschaltung von RLC im Wechselstromkreis:



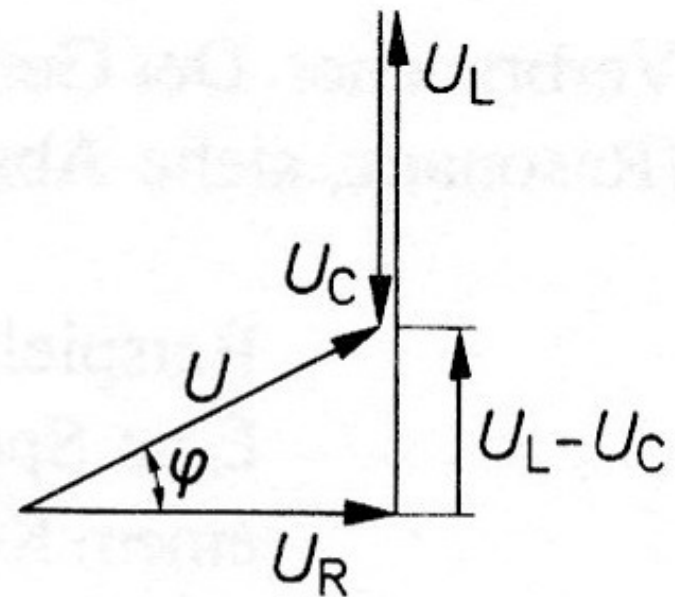
$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

4.3.0 RLC im Wechselstromkreis

Reihenschaltung von RLC im Wechselstromkreis:



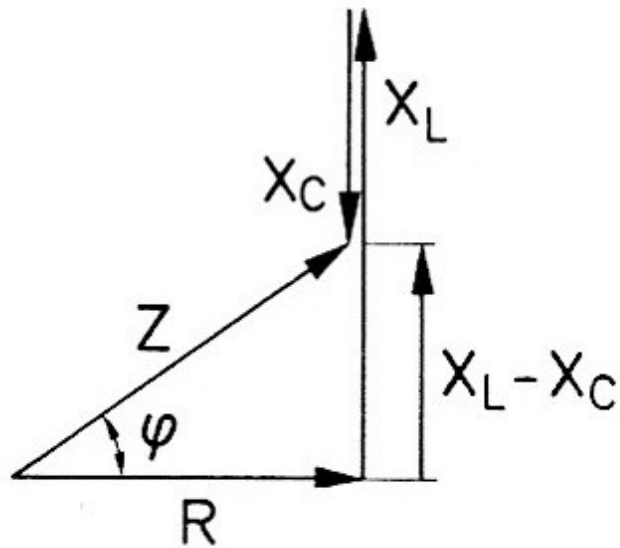
ZEIGERBILD



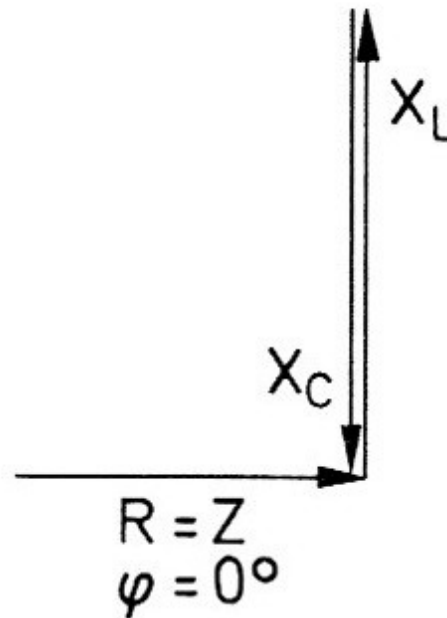
SPANNUNGSDREIECK

4.3.0 RLC im Wechselstromkreis

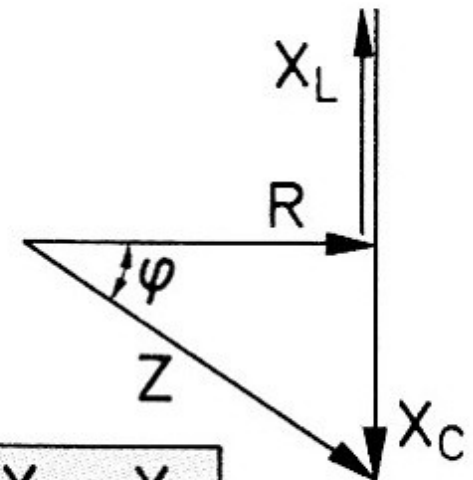
Reihenschaltung von RLC im Wechselstromkreis:



$$X_L > X_C$$



$$X_L = X_C$$



$$X_C > X_L$$

4.4.0 Wirk-, Blind- und Scheinleistung

- **Wirkleistung [P]**

Die Leistung, die an den Ohmschen Widerständen in Wärme umgesetzt wird.

$$P = U * I * \cos \varphi = S * \cos \varphi$$

- **Blindleistung [Q]**

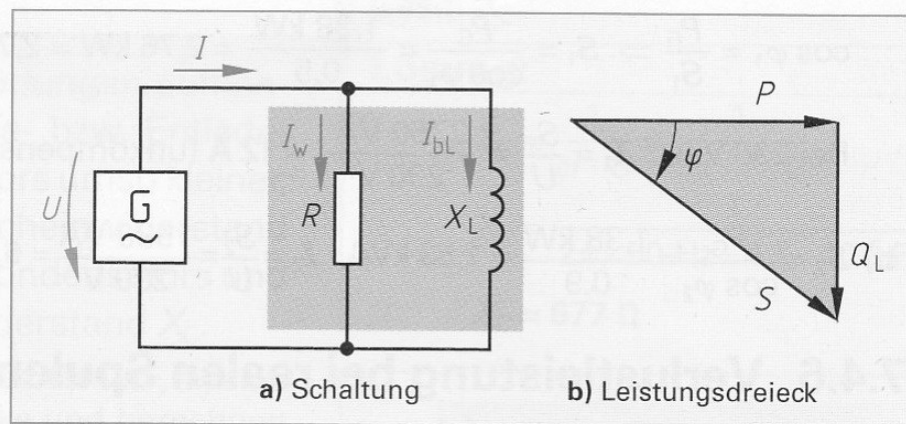
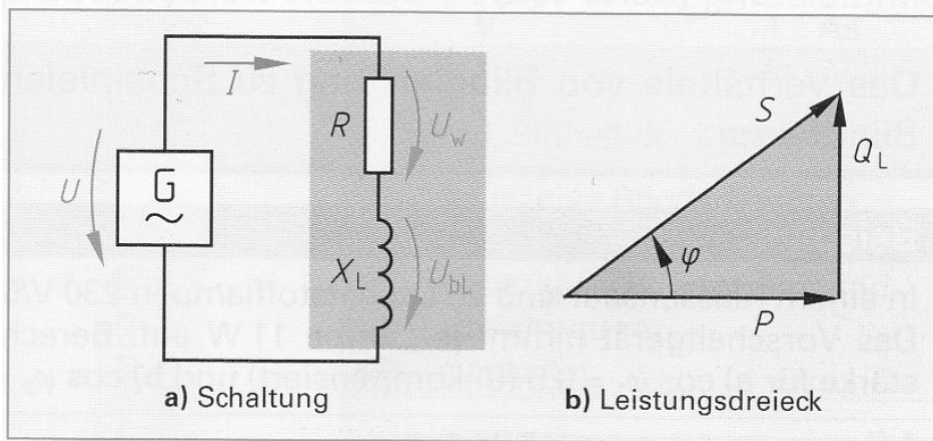
Ist eine Leistung die keine Wirkung zeigt. Kapazitäten und Induktivitäten speichern die Energie und geben sie wieder ab.

- **Scheinleistung [VA]**

Ist die Summe aus Wirk- und Blindleistung.

$$S = U * I$$

4.4.0 Wirk-, Blind- und Scheinleistung



Leistungen bei induktiver Last

$$S^2 = P^2 + Q_L^2 \Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \quad S = U \cdot I$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow P = S \cdot \cos \varphi \quad P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_L}{S} \Rightarrow Q_L = S \cdot \sin \varphi \quad Q_L = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_L}{P} \quad Q_L = P \cdot \tan \varphi$$

S Scheinleistung

$[S] = \text{VA} = \text{W}$

P Wirkleistung

$[P] = \text{W}$

Q_L induktive Blindleistung

$[Q_L] = \text{var}^1 = \text{W}$

φ Phasenverschiebungswinkel

4.4.0 Wirk-, Blind- und Scheinwiderstand

- **Wirkwiderstand $[\Omega]$**

Die ohmschen Widerstände der Schaltung.

- **Blindwiderstand $[X]$**

Die kapazitiven und induktiven Widerstände der Schaltung.

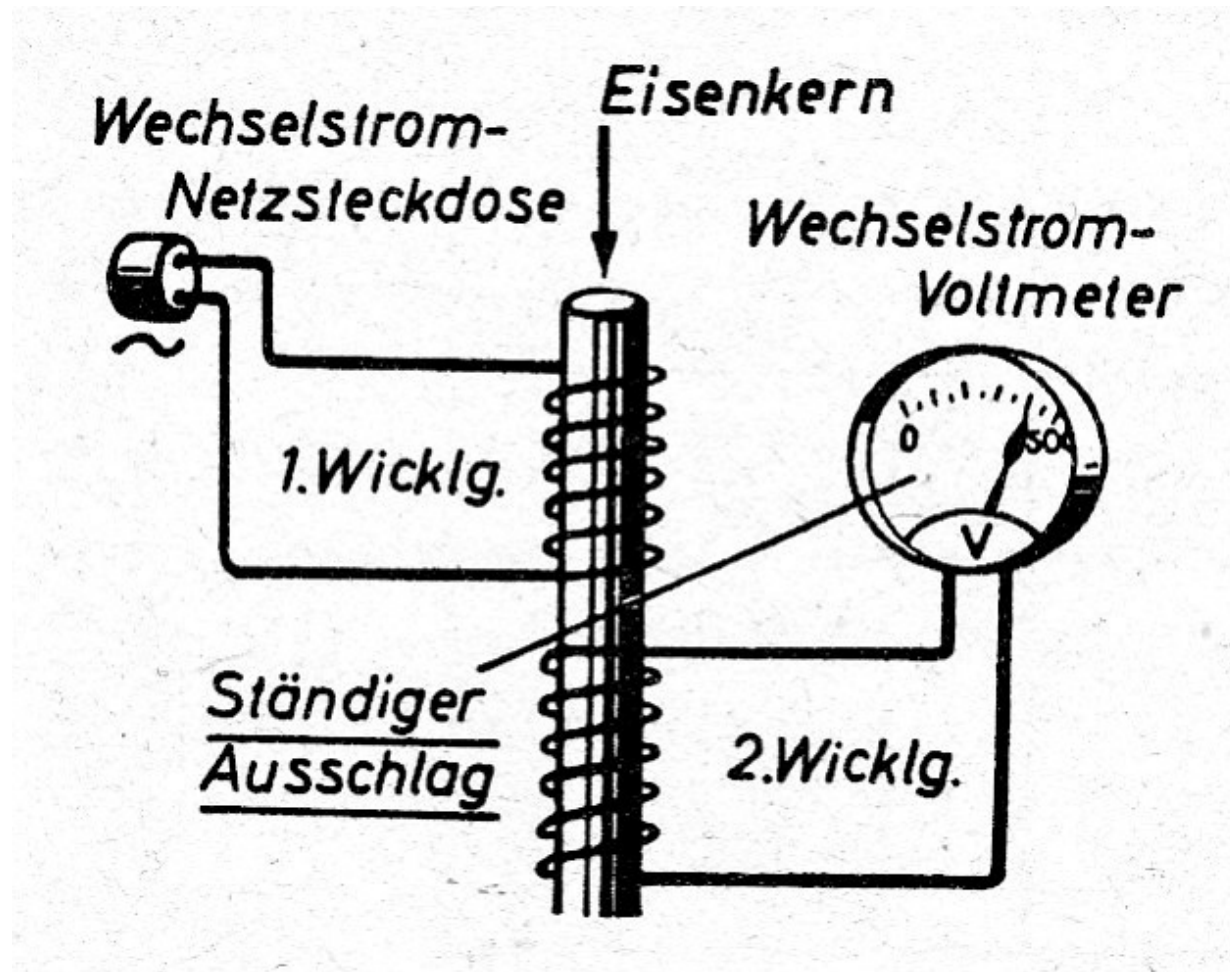
- **Scheinwiderstand $[Z]$**

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

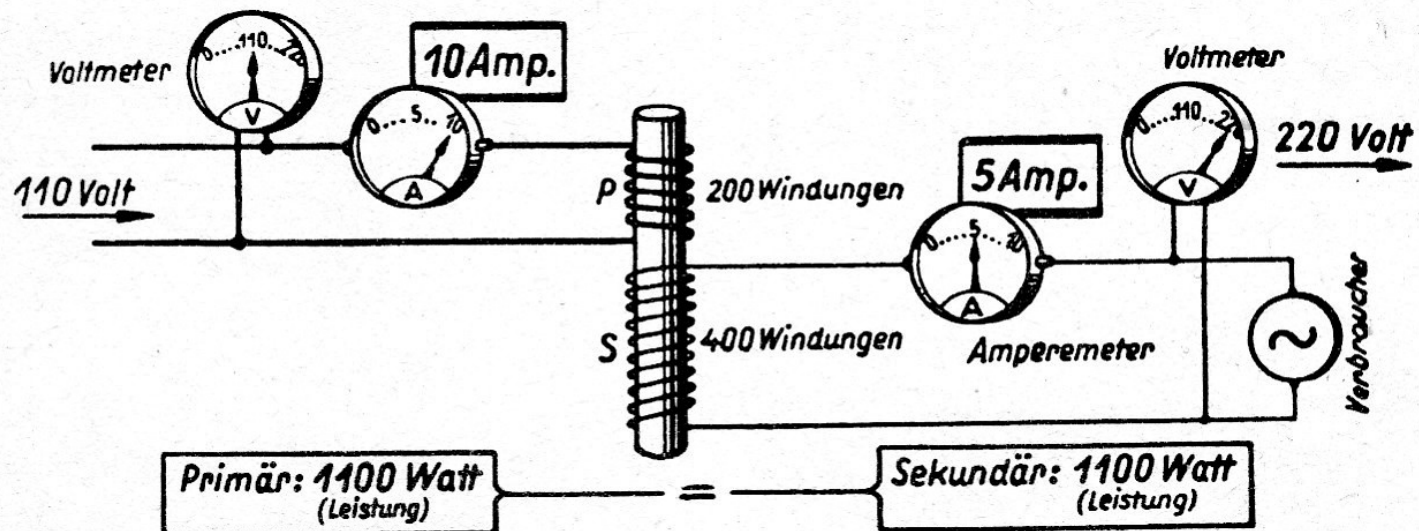
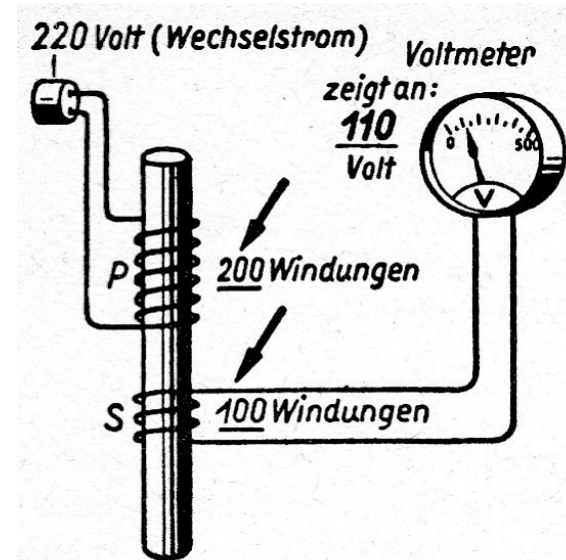
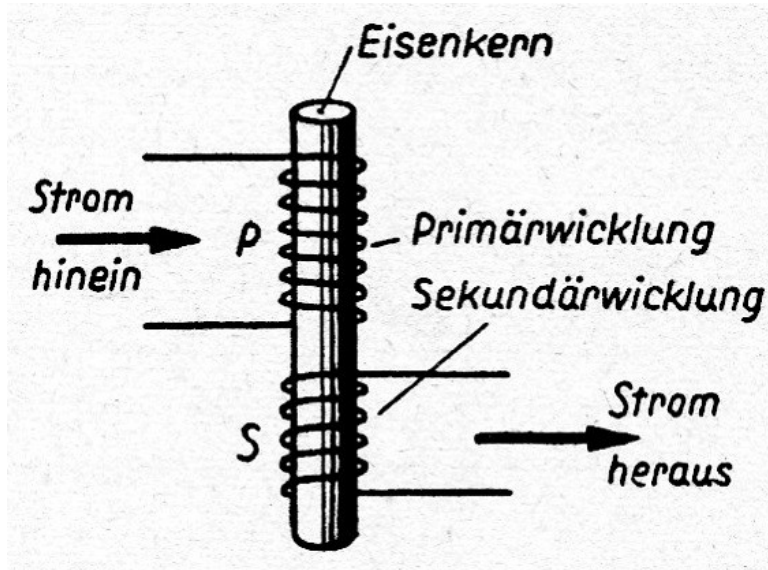
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

4.5.0 Der Transformator

4.5.0 Der Transformator

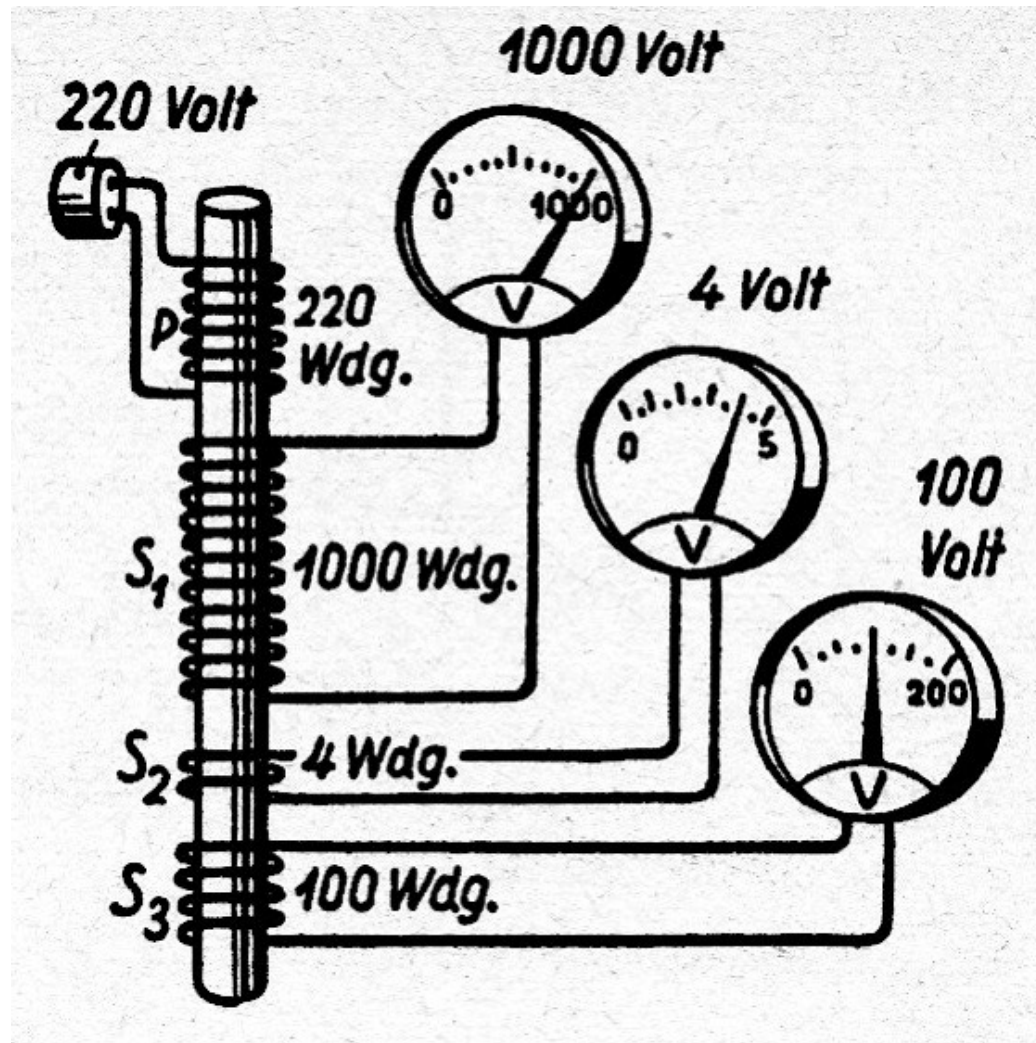


4.5.0 Der Transformator



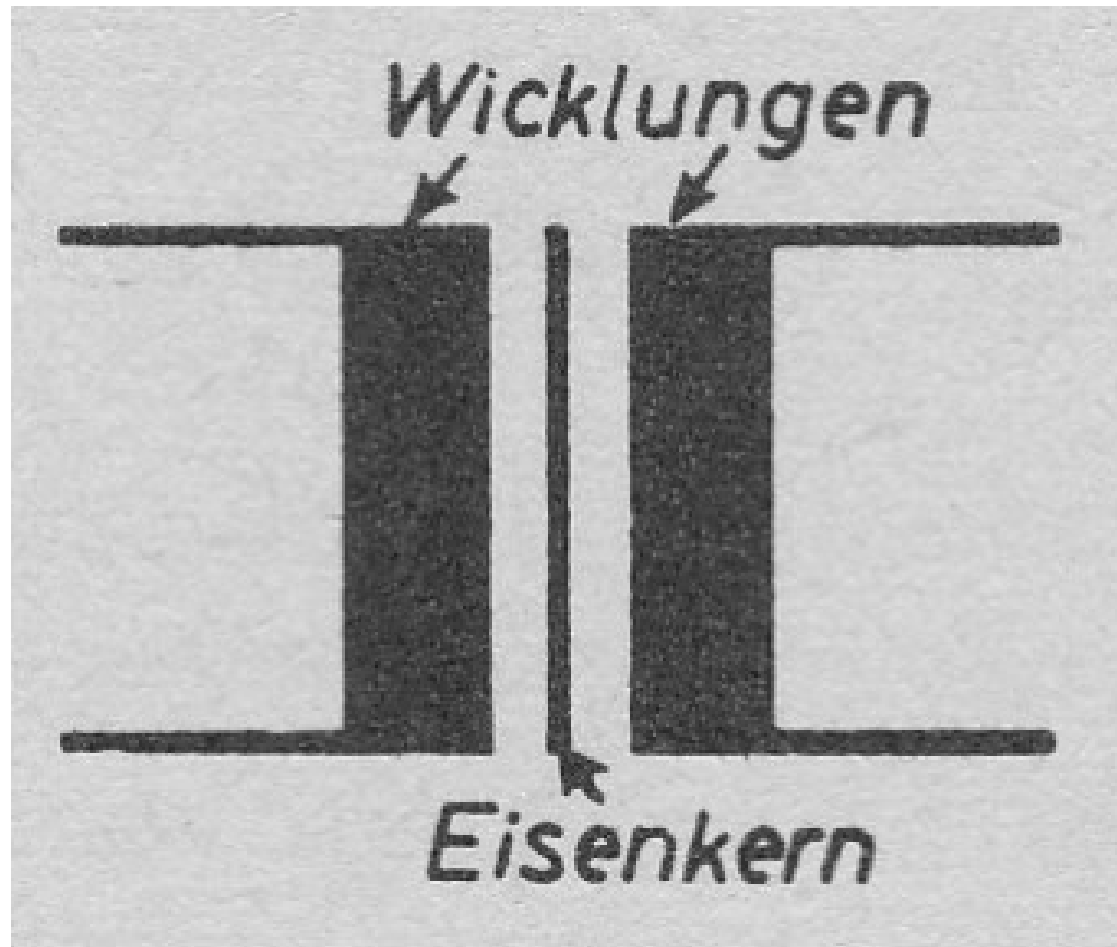
4.5.0 Der Transformator

Mehrere Sekundärwicklungen:



4.5.0 Der Transformator

Schaltzeichen:



4.5.0 Der Transformator

Spannungsübertragung:

Spannungsübersetzung

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

U_1 Primärspannung in V

U_2 Sekundärspannung in V

N_1 Windungszahl der Primärwicklung

N_2 Windungszahl der Sekundärwicklung

Beim Transformator verhalten sich die Spannungen wie die Windungszahlen.

Der Transformator wandelt eine bestimmte Wechselspannung in eine andere Wechselspannung gleicher Frequenz um. Dabei ändert sich gleichzeitig der Strom.

4.5.0 Der Transformator

Stromübertragung:

Stromübersetzung

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

- I_1 Primärstrom in A
- I_2 Sekundärstrom in A
- N_1 Windungszahl der Primärwicklung
- N_2 Windungszahl der Sekundärwicklung

Beim Transformator verhalten sich die Ströme umgekehrt wie die Windungszahlen.

4.5.0 Der Transformator

Widerstandsübertragung:

Widerstands-
übersetzung

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \ddot{u}^2$$

- R_1 Widerstand der Primärseite in Ω
- R_2 Widerstand der Sekundärseite in Ω
- N_1 Windungszahl der Primärwicklung
- N_2 Windungszahl der Sekundärwicklung
- \ddot{u} Übersetzungsverhältnis

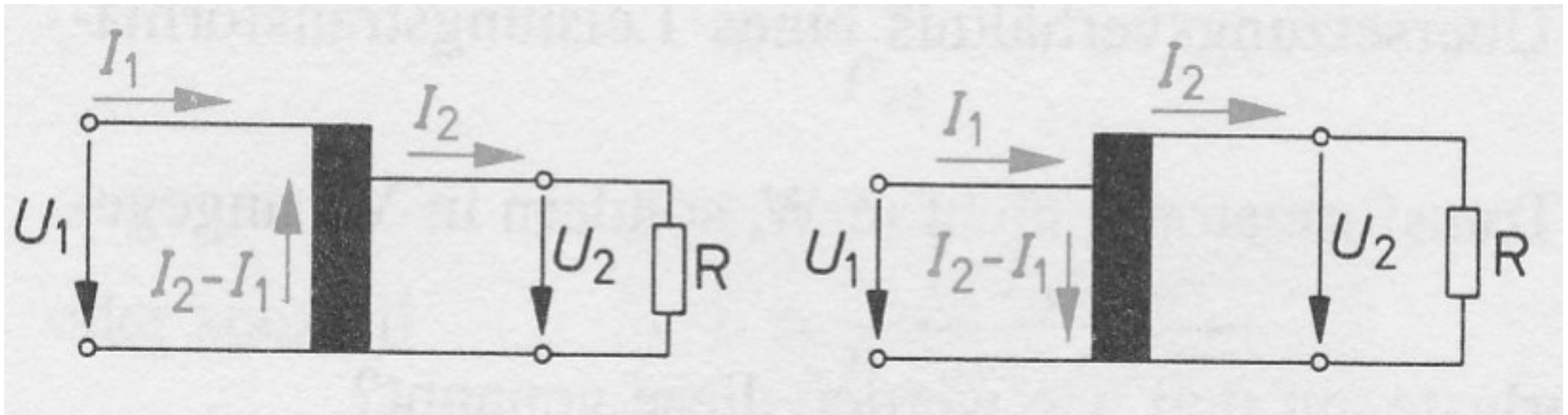
$$R_1 = R_2 \cdot \ddot{u}^2$$

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{R_p}{R_s}}$$

Der Belastungswiderstand R_2 wirkt mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses auf die Primärseite zurück.

4.5.0 Der Transformator

Spartrafo:



Spartransformatoren dürfen zur Erzeugung von Schutzkleinspannung (also als Sicherheitstransformatoren) nicht verwendet werden, da die beiden Stromkreise elektrisch nicht getrennt sind.

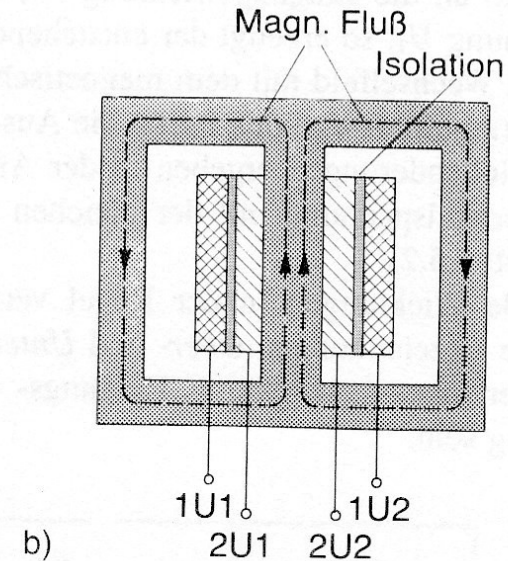
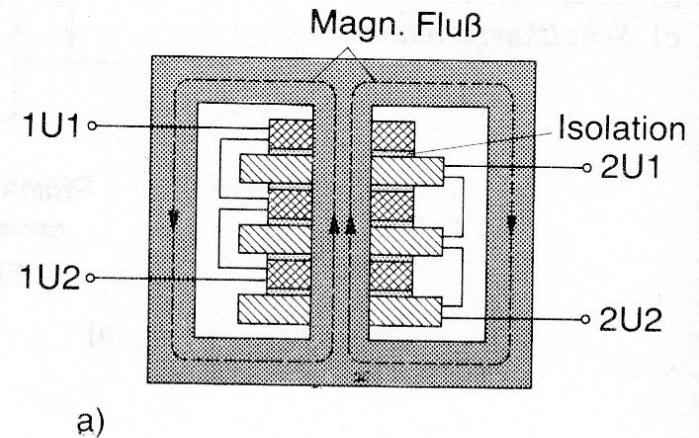
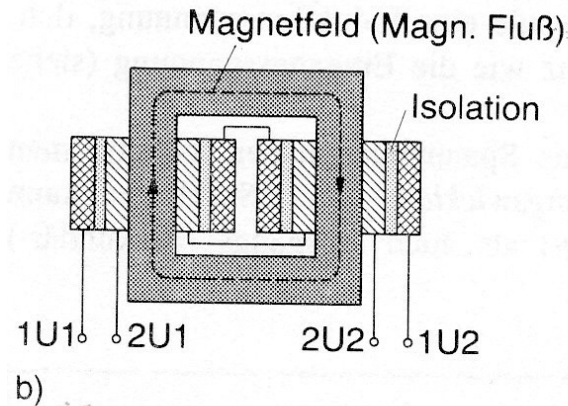
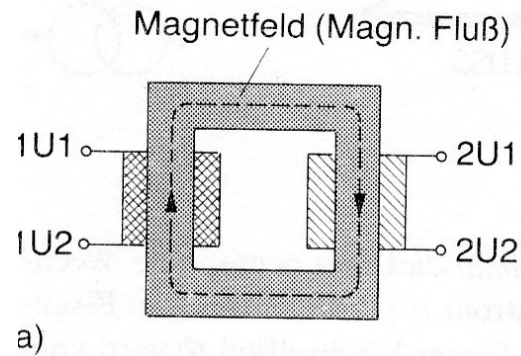
4.5.0 Der Transformator

Einschaltstrom:

Beim Einschalten eines Trafos kann es kurzzeitig zu einem sehr hohen Einschaltstrom kommen. Dieser kann durchaus das 10fache des Betriebsstroms betragen. Das tritt besonders dann auf, wenn beim Einschalten die Spannung 0V beträgt und im Kern noch ein Restmagnetismus vorhanden ist.

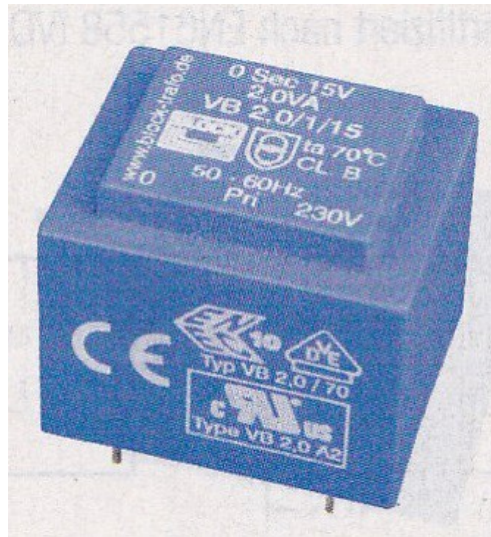
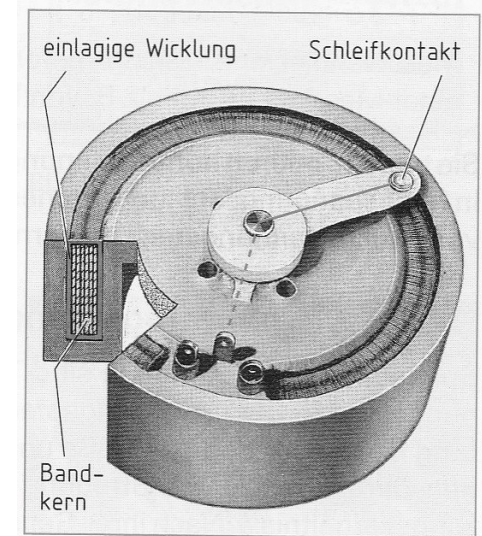
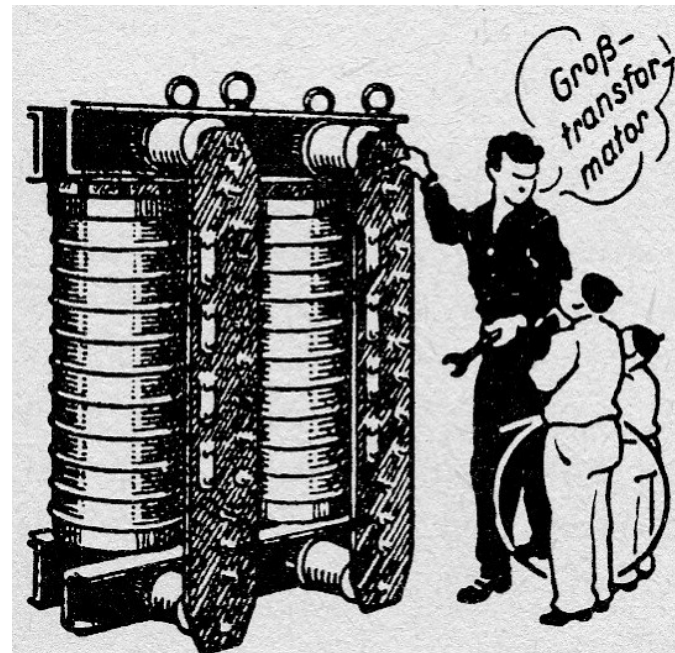
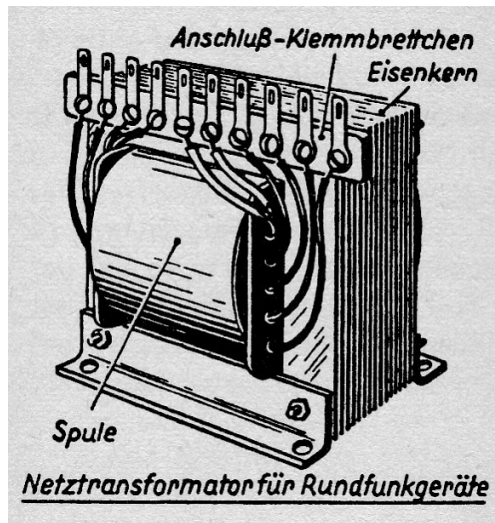
4.5.0 Der Transformator

Wicklungsarten:



4.5.0 Der Transformator

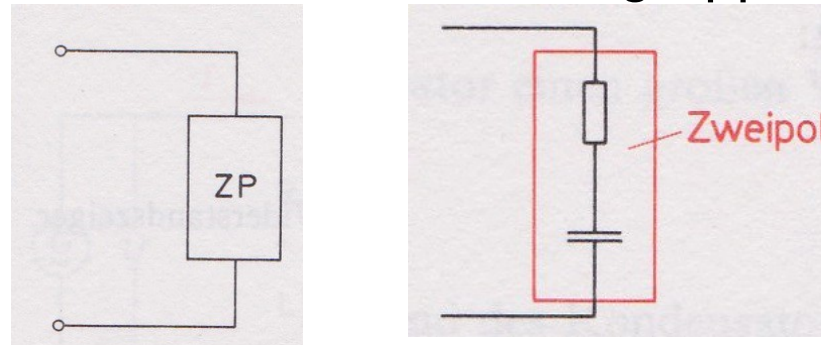
Bauformen:



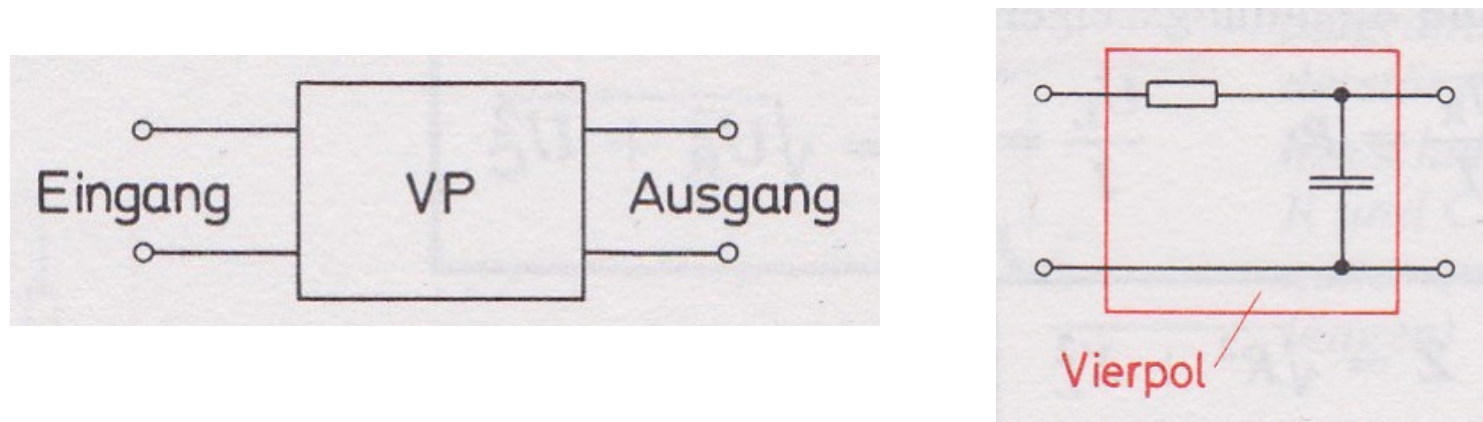
4.6.0 Filter

2- und 4-Pole:

Als 2-Pol bezeichnet man eine Funktionsgruppe mit 2 Anschlüssen.



Als 4-Pol bezeichnet man eine Funktionsgruppe mit 4 Anschlüssen.

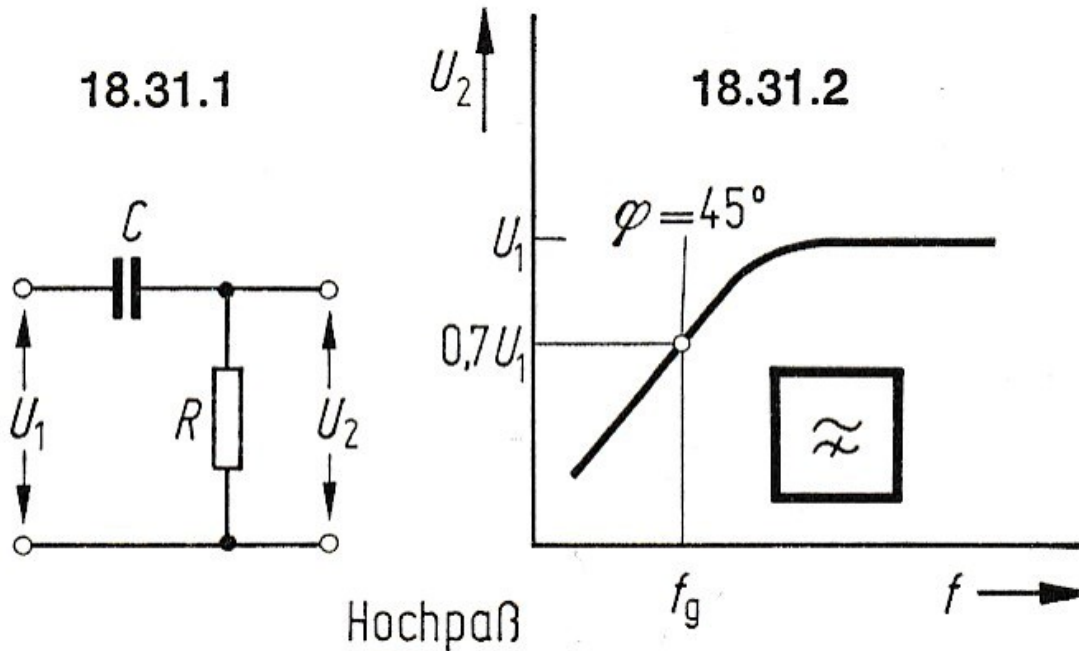


Dabei ist die interne Schaltung nicht interessant, sondern die Funktion.

4.6.0 Filter

RC-Hochpass:

Der Hochpass lässt hohe Frequenzen durch und sperrt niedrige.

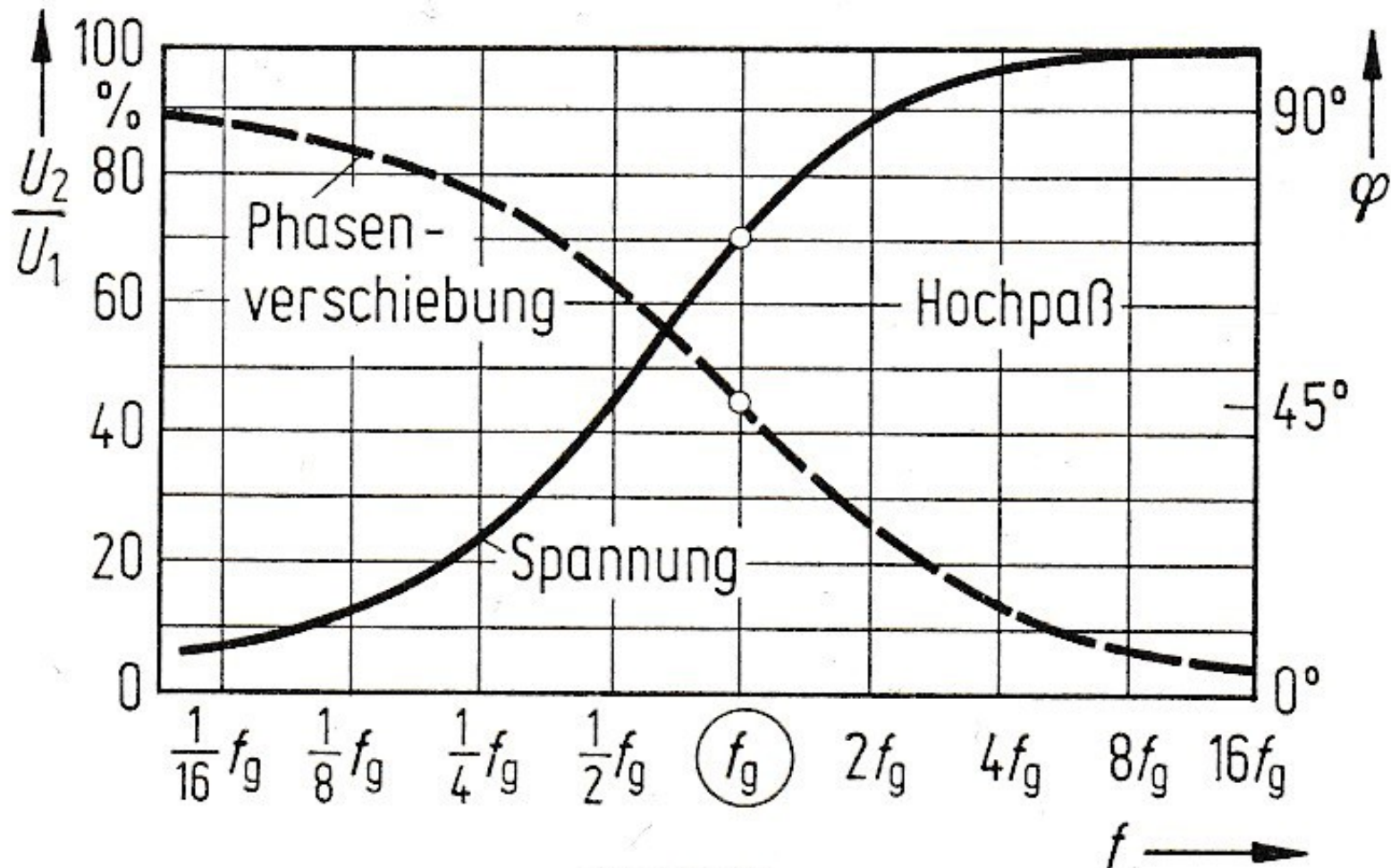


$$R = \frac{1}{2 \pi f_g C} \quad \begin{array}{l} f \text{ in Hz} \\ R \text{ in } \Omega \\ C \text{ in F} \end{array}$$
$$f_g = \frac{1}{2 \pi R C}$$

Abb. 18.31 RC-Hochpaß

4.6.0 Filter

RC-Hochpass:



18.32.2

4.6.0 Filter

RC-Tiefpass:

Der Tiefpass lässt niedrige Frequenzen durch und sperrt die hohen.

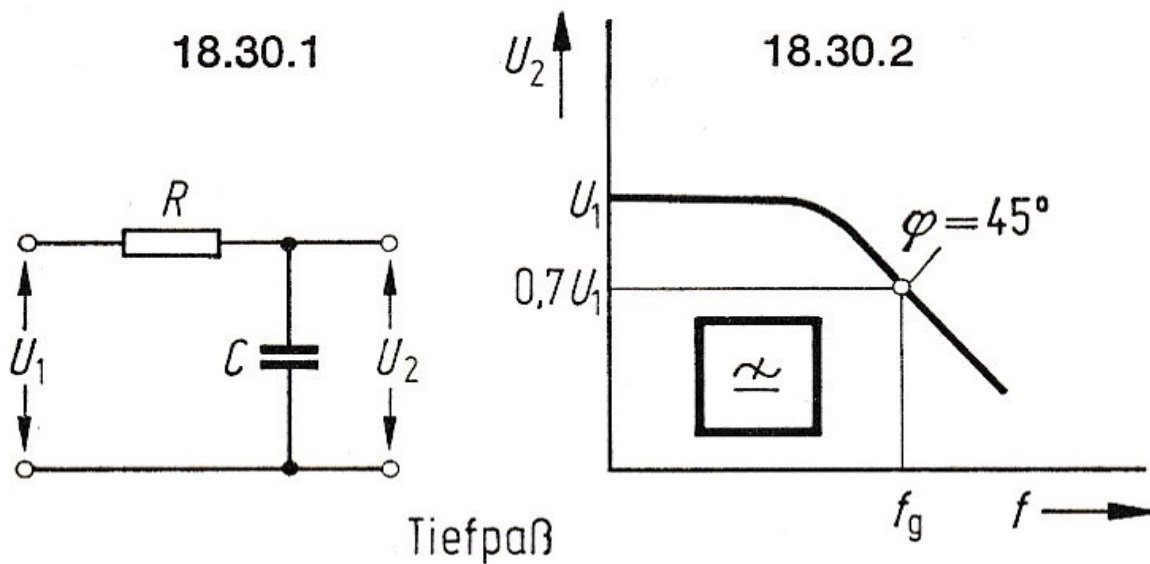
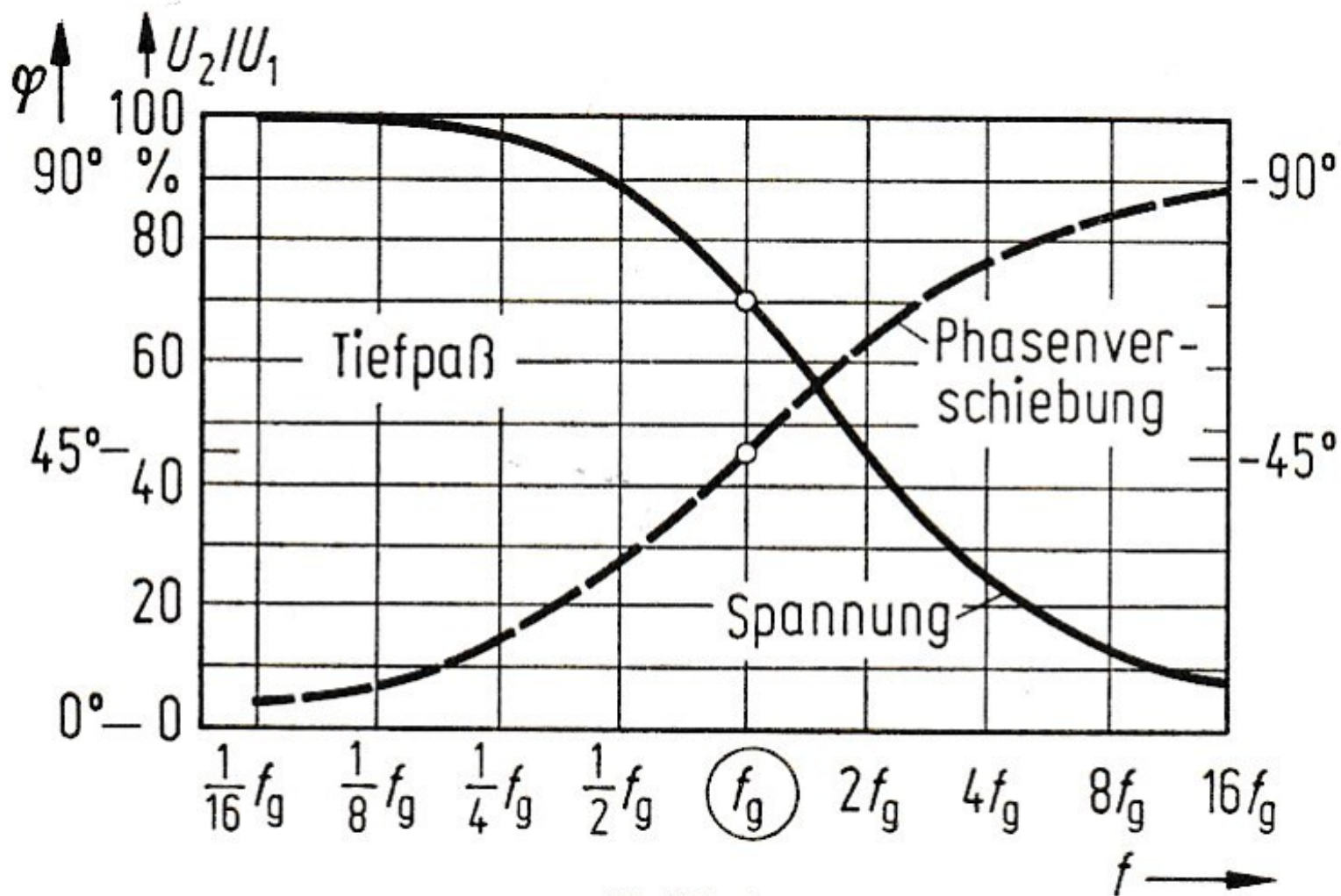


Abb. 18.30 RC-Tiefpaß

$$R = \frac{1}{2 \pi f_g C} \quad \begin{array}{l} f \text{ in Hz} \\ R \text{ in } \Omega \\ C \text{ in F} \end{array}$$
$$f_g = \frac{1}{2 \pi R C}$$

4.6.0 Filter

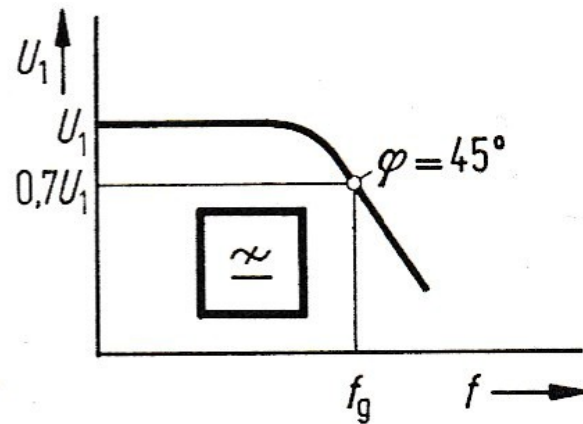
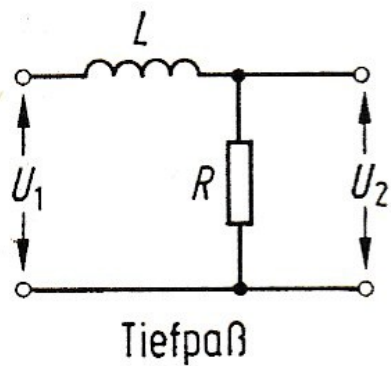
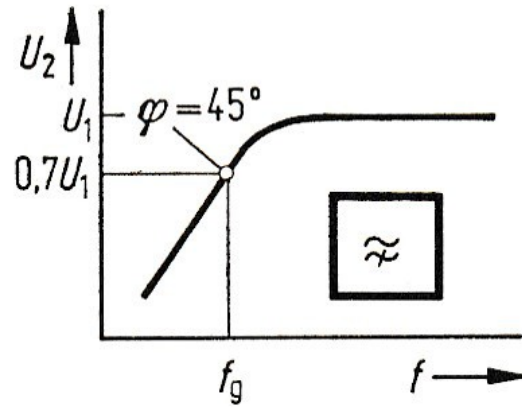
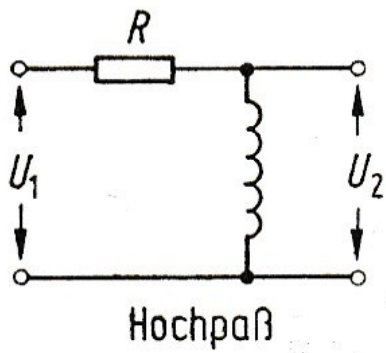
RC-Tiefpass:



18.32.1

4.6.0 Filter

LC-Hoch-und Tiefpass:



$$f_g = \frac{R}{2 \pi L}$$

f in Hz
 R in Ω
 L in H

4.6.0 Filter

RC-Bandpass:

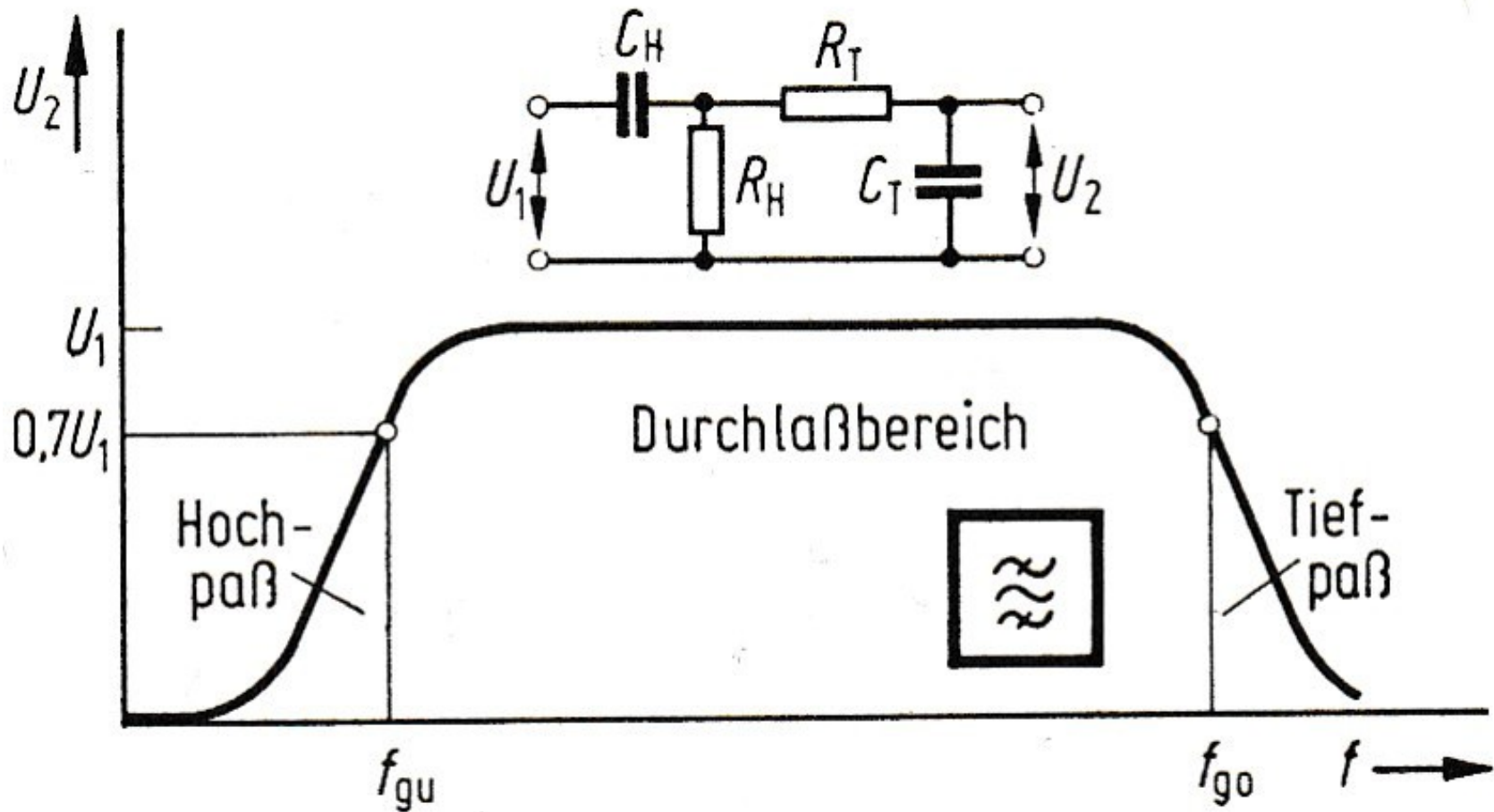
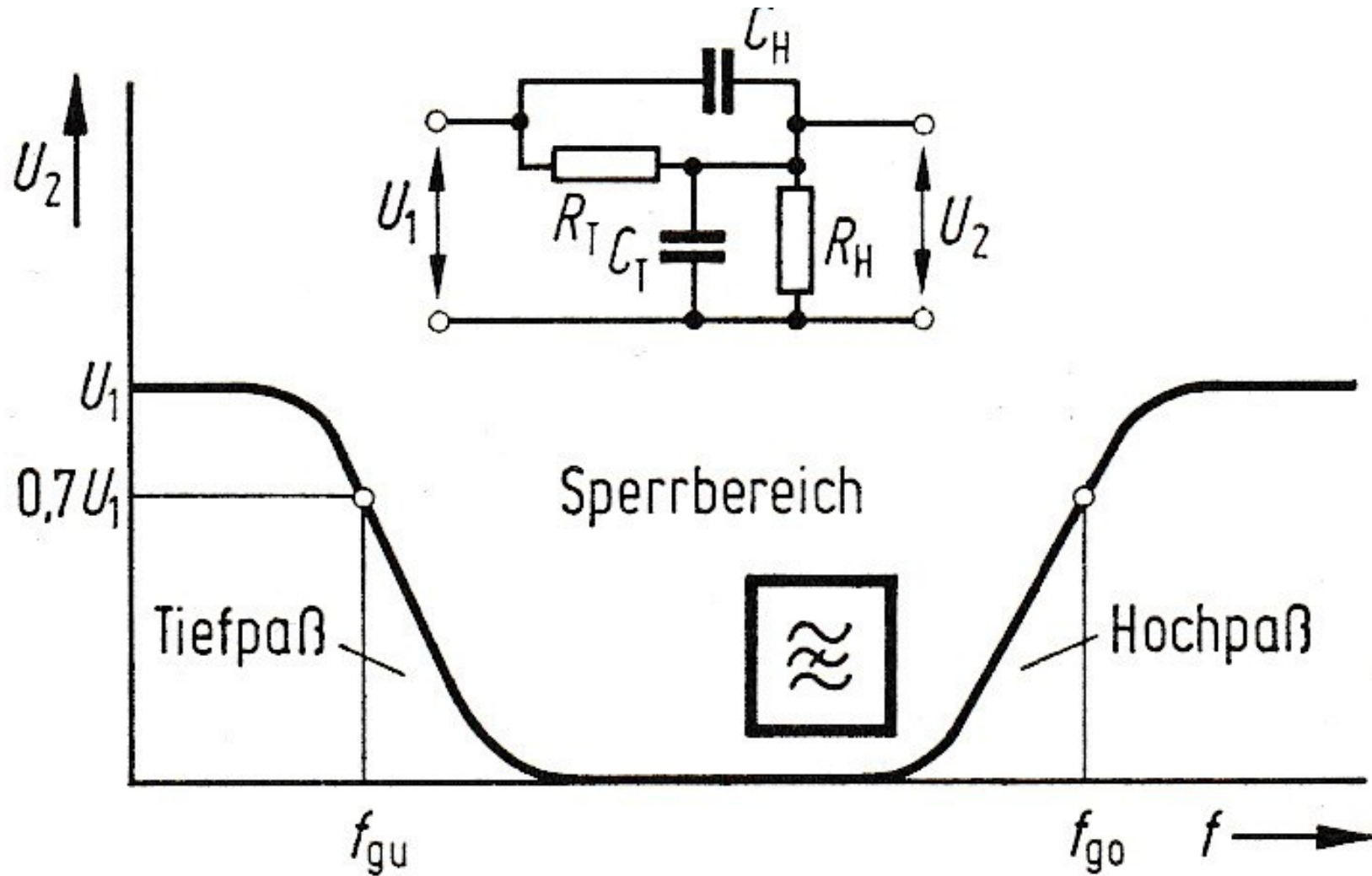


Abb. 18.34 Bandpaß

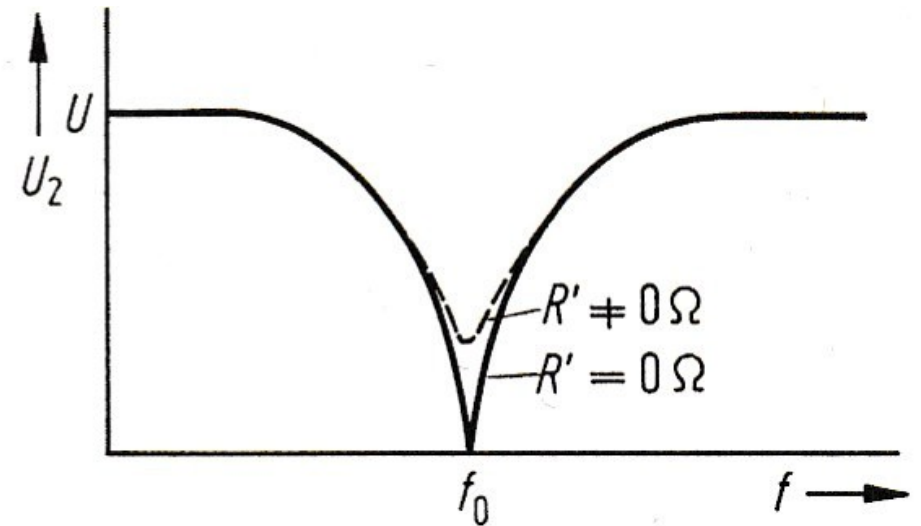
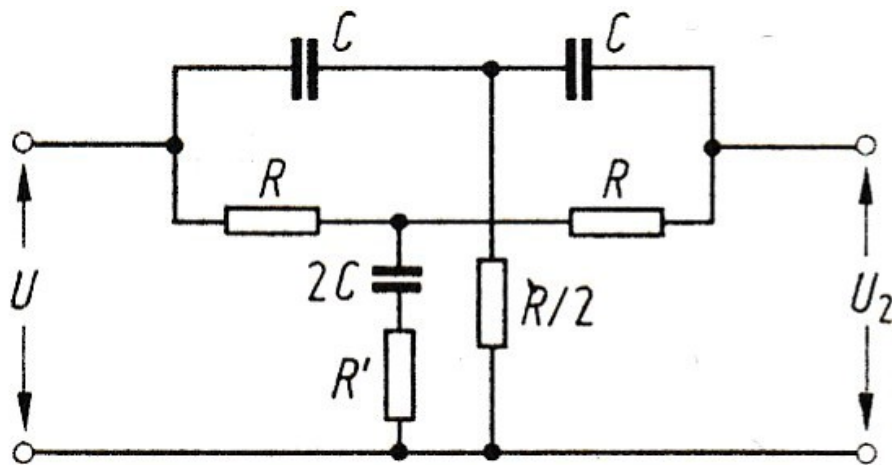
4.6.0 Filter

RC-Bandsperre:



4.6.0 Filter

Doppel-T-Filter:



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

f in Hz

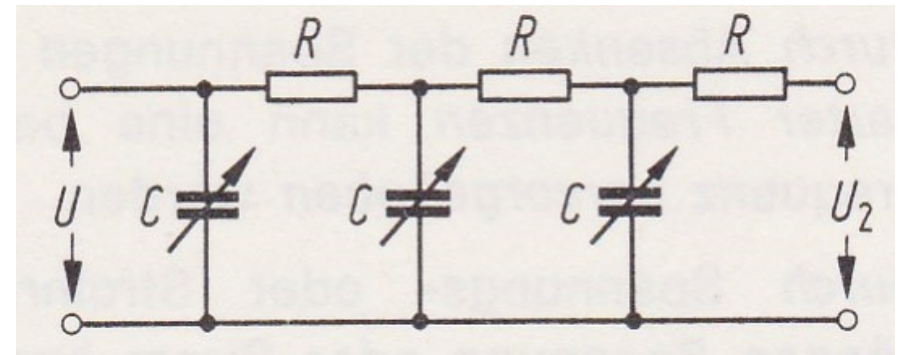
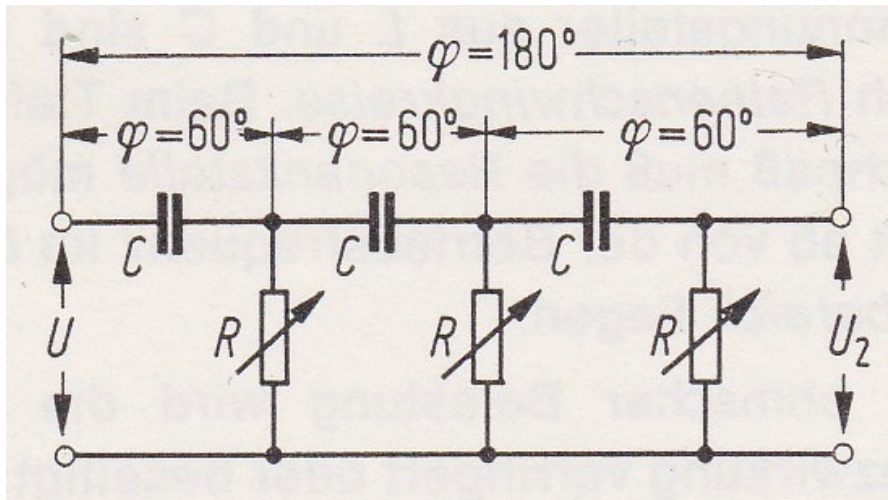
R in Ω

C in F

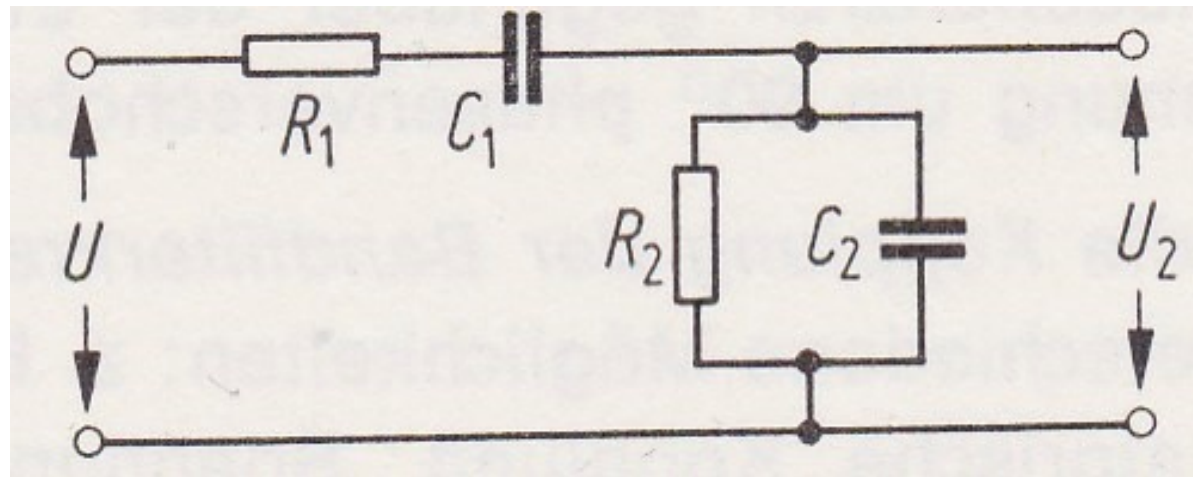
$$f_g = \frac{1}{2\pi R C}$$

4.6.0 Filter

Phasenschieber:

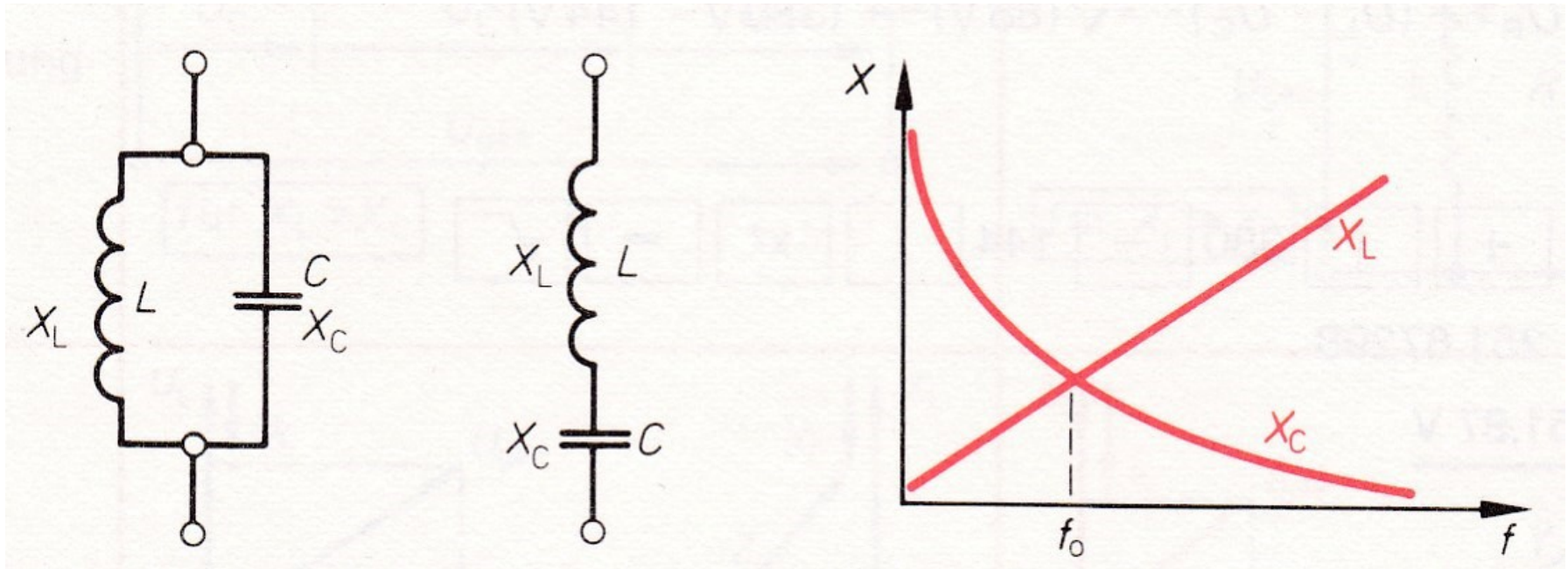


$$\varphi = 0^\circ$$



4.6.0 Filter

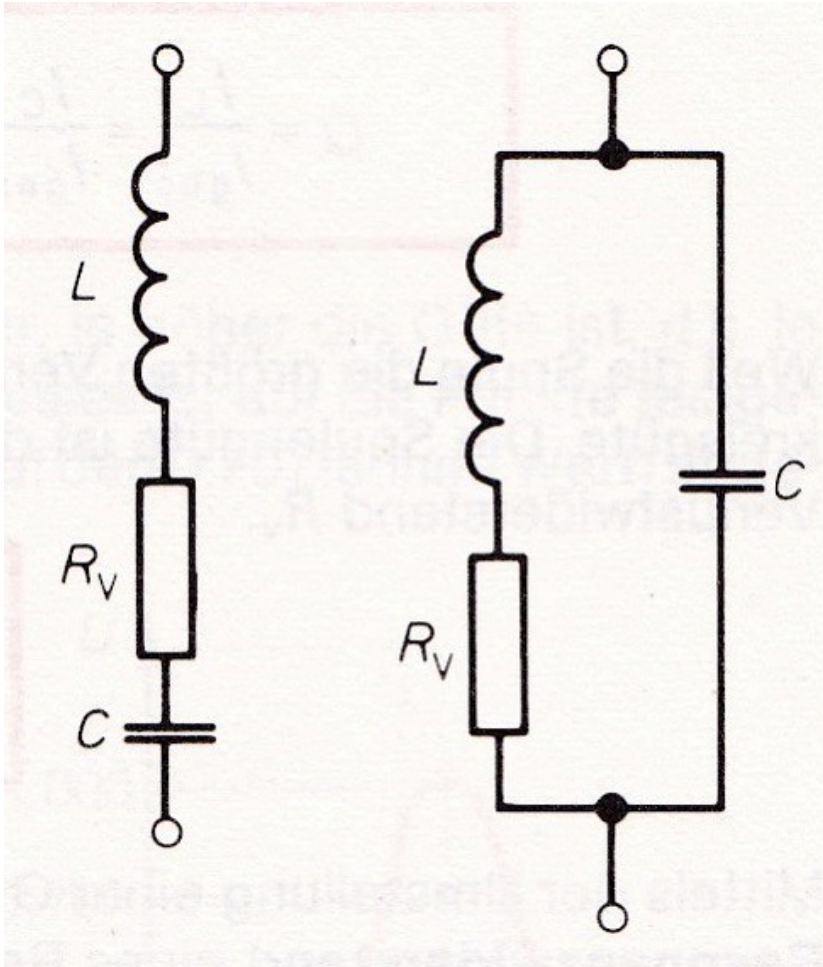
Schwingkreis (LC-Parallel-/Reihenschaltung):



$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

4.6.0 Filter

Resonanzwiderstand:



Serienschwingkreis:

$$Z_0 = R_V$$

Parallelschwingkreis:

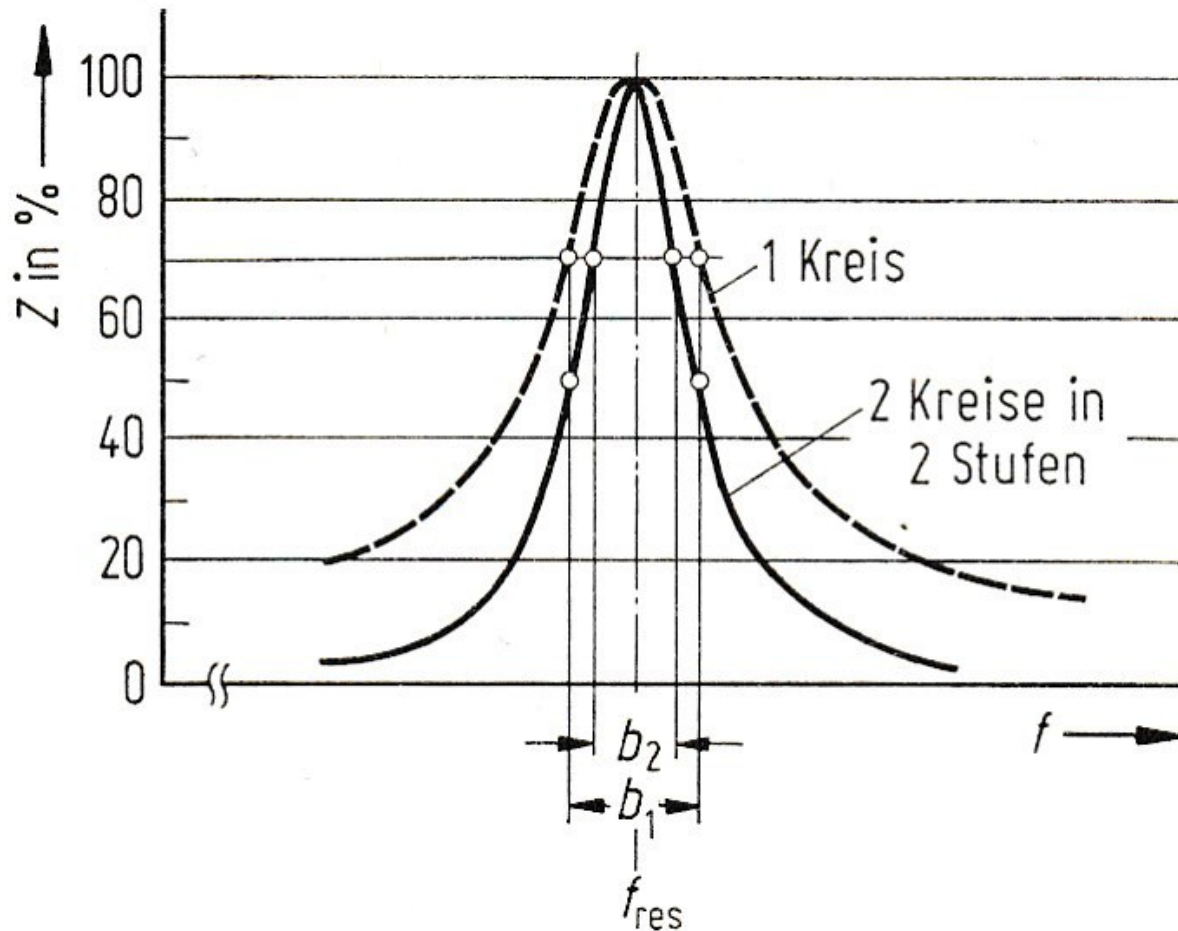
$$Z_0 = \frac{L}{C \cdot R_V}$$

Für beide gilt:

$$Z_0 = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}}$$

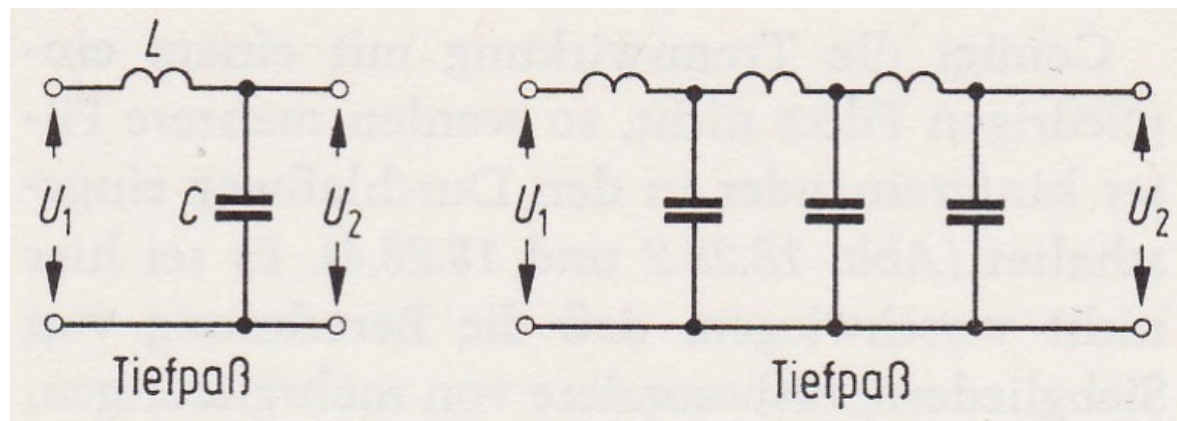
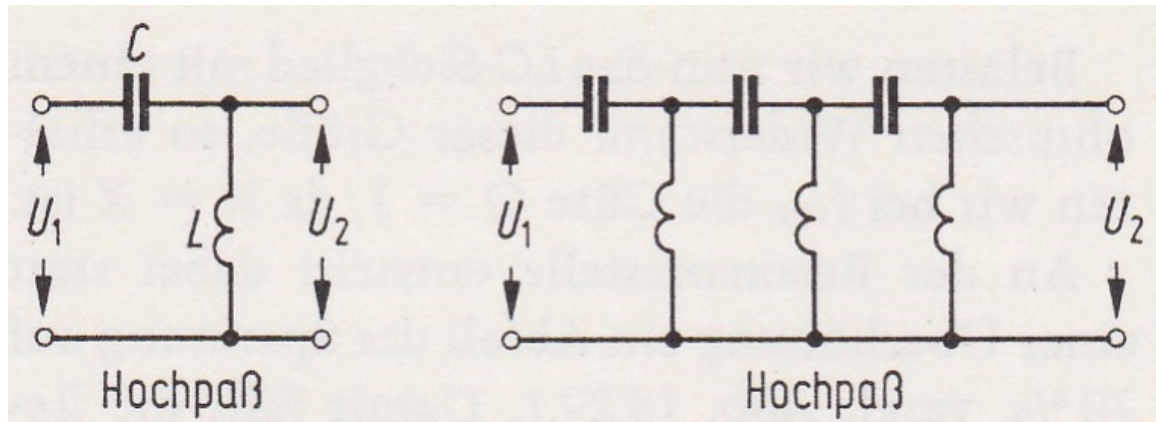
4.6.0 Filter

Durchlasskurve des Schwingkreis:



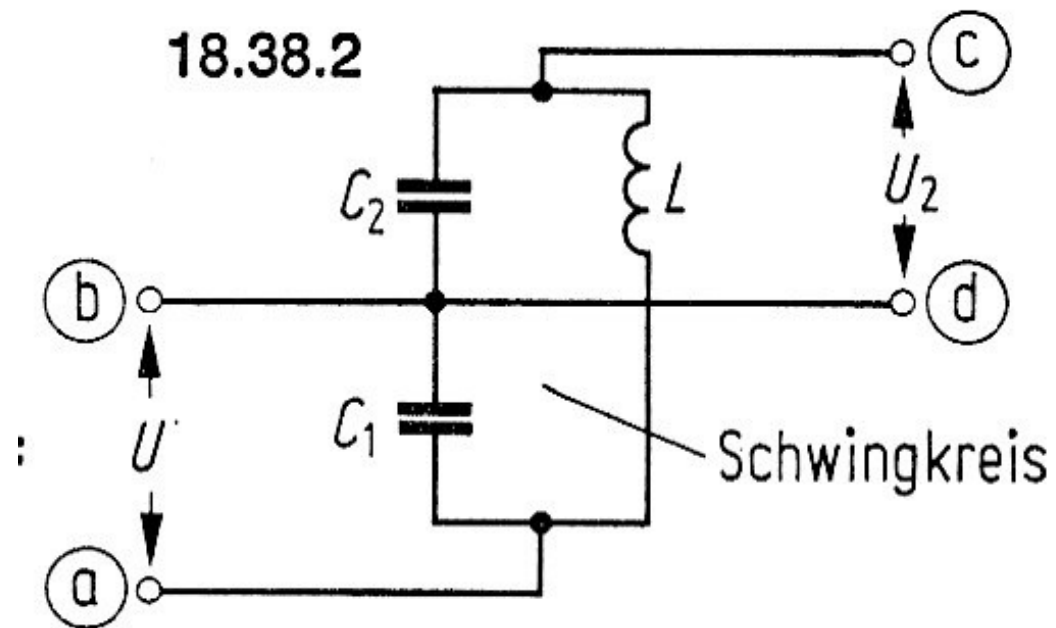
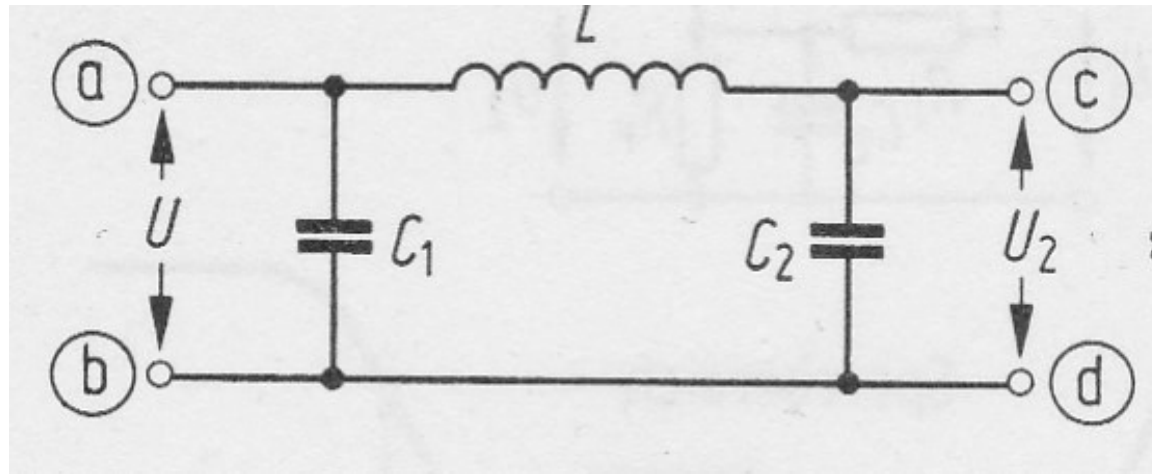
4.6.0 Filter

LC-Hoch- und Tiefpass:



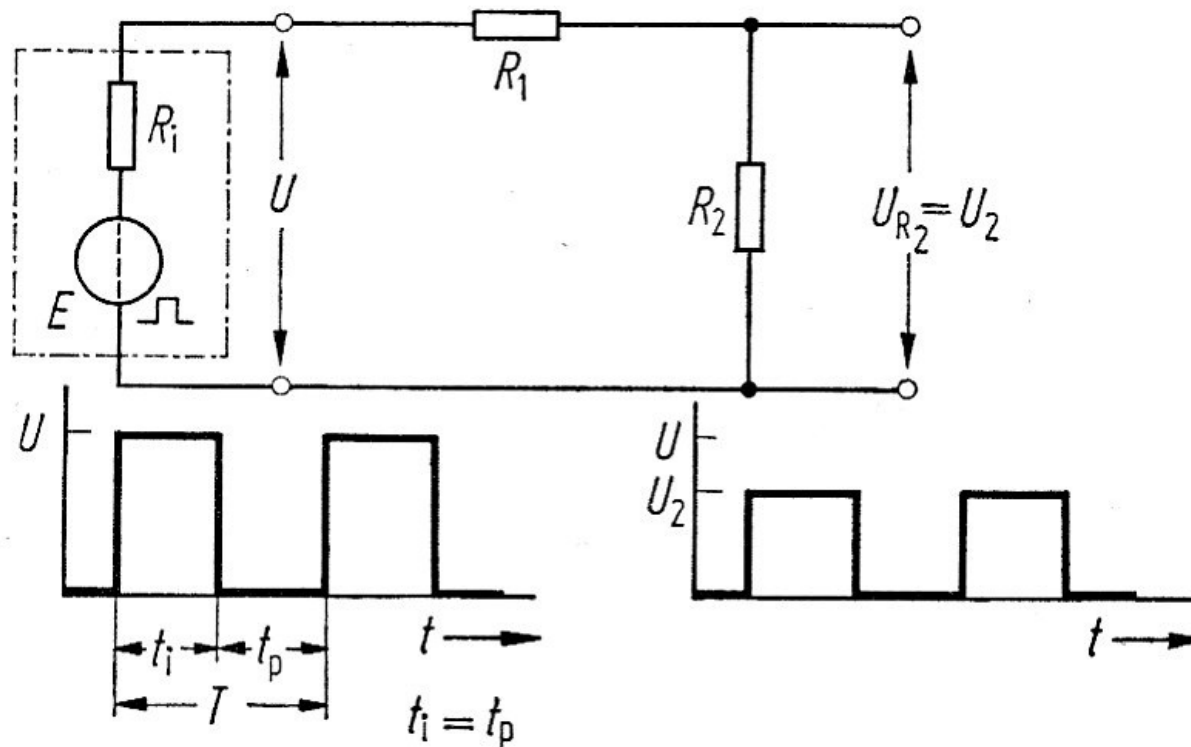
4.6.0 Filter

PI-Filter:



4.6.0 Filter

Impulse an RC-Gliedern:

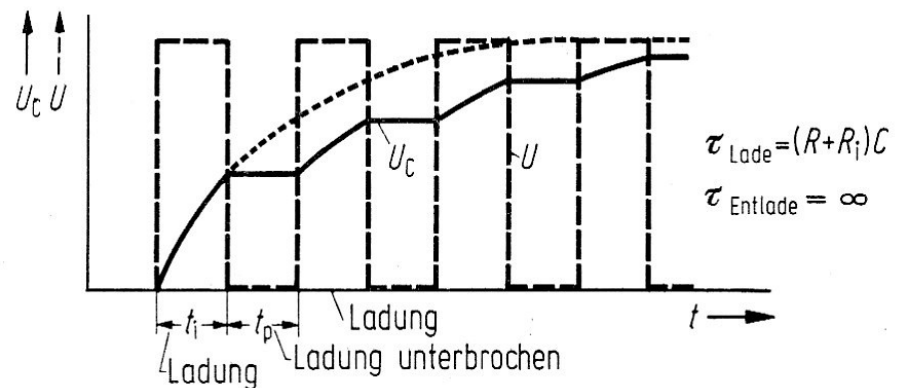
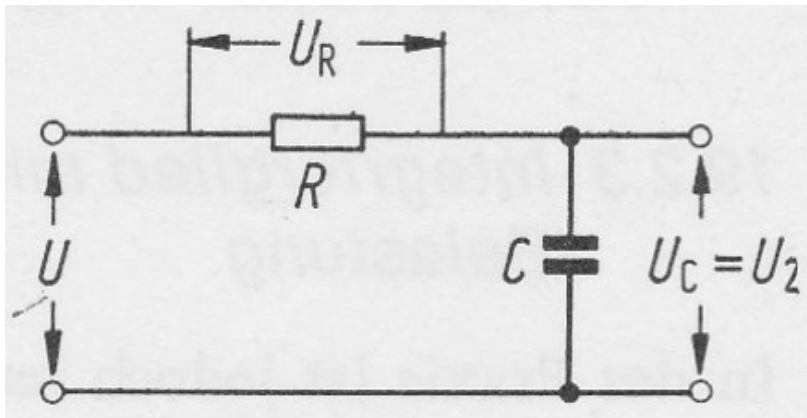


Am Spannungsteiler aus Widerständen bleibt die Spannungsform erhalten.

4.6.0 Filter

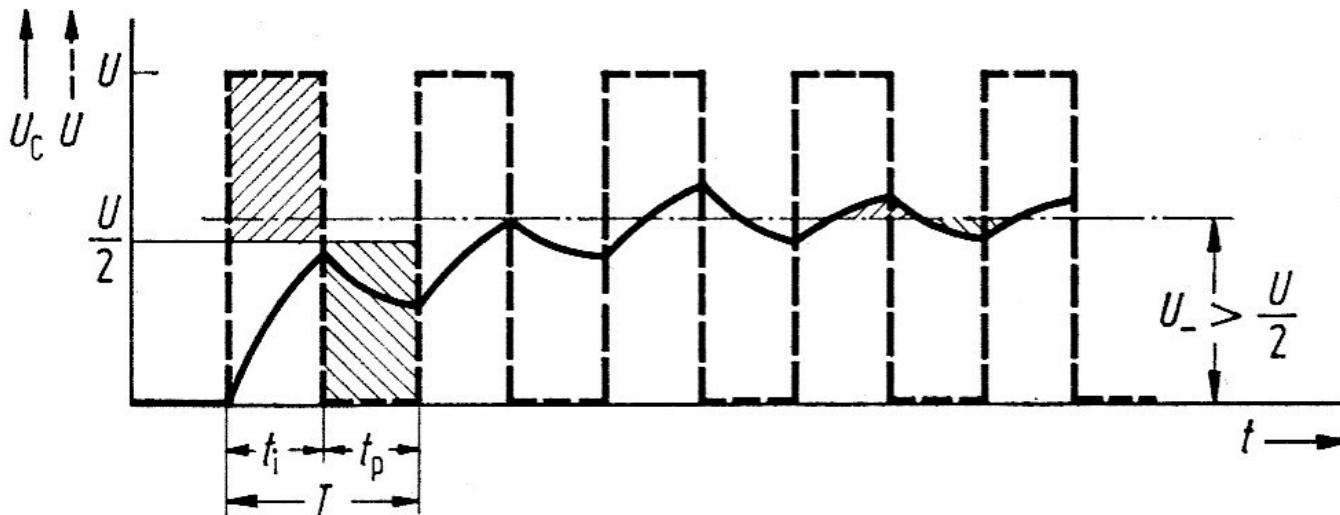
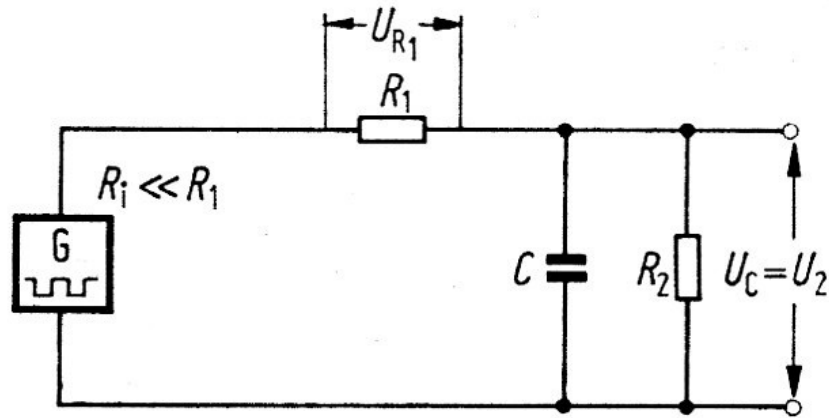
Integrierglieder:

Ein unbelastetes RC-Glied verhält bei einer Impulsförmigen Gleichspannung wie bei einer reinen Gleichspannung, nur die Aufladung erfolgt in Etappen:



4.6.0 Filter

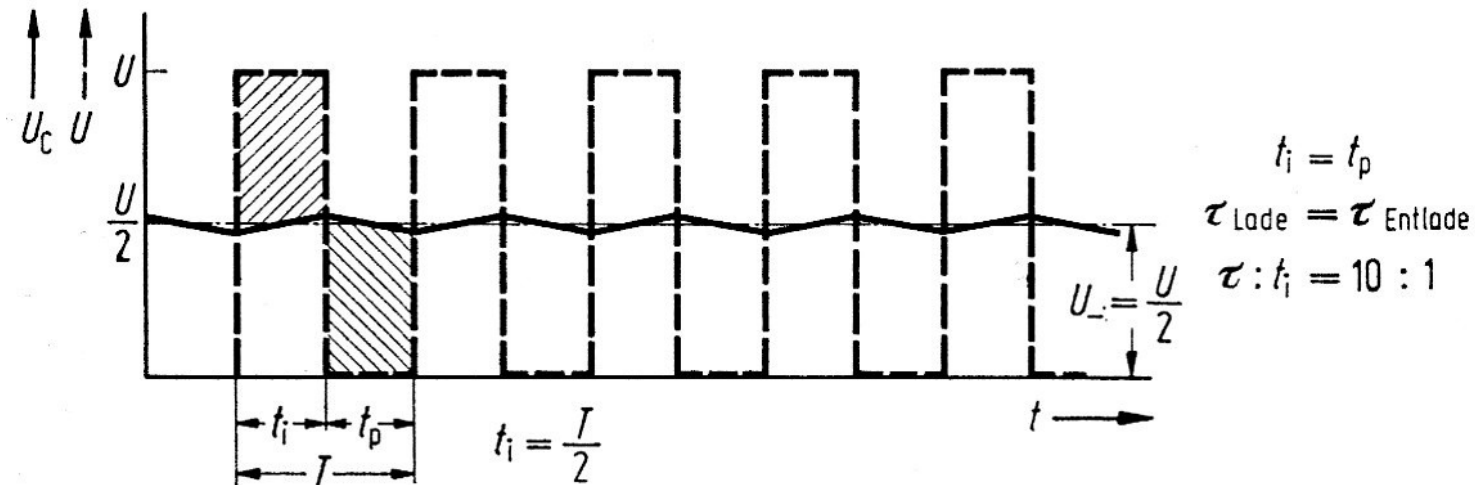
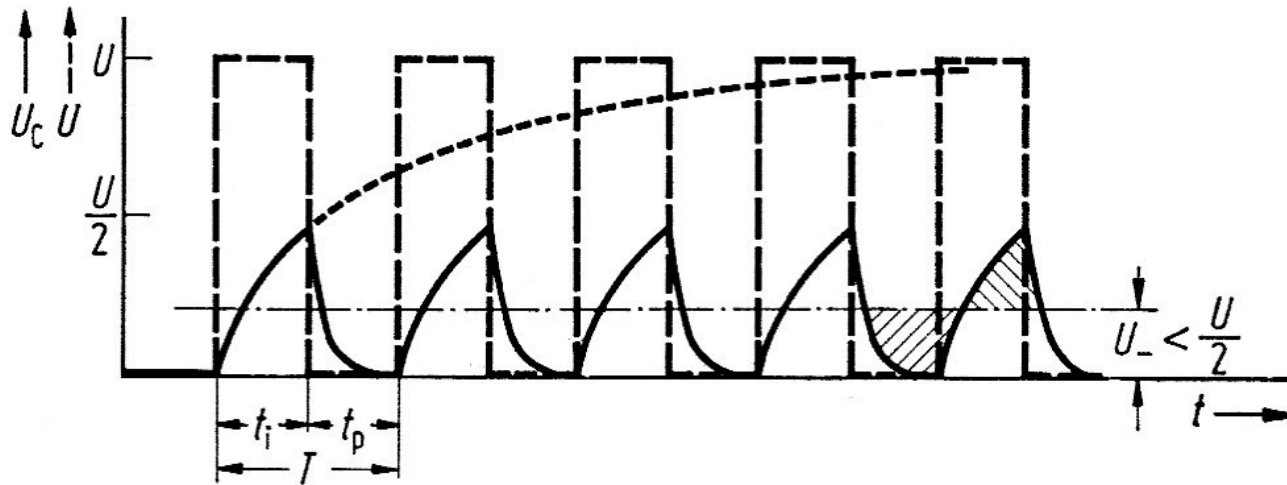
Integrierglieder:



$$t_i = t_p$$
$$\tau_{\text{Lade}} < \tau_{\text{Entlade}}$$

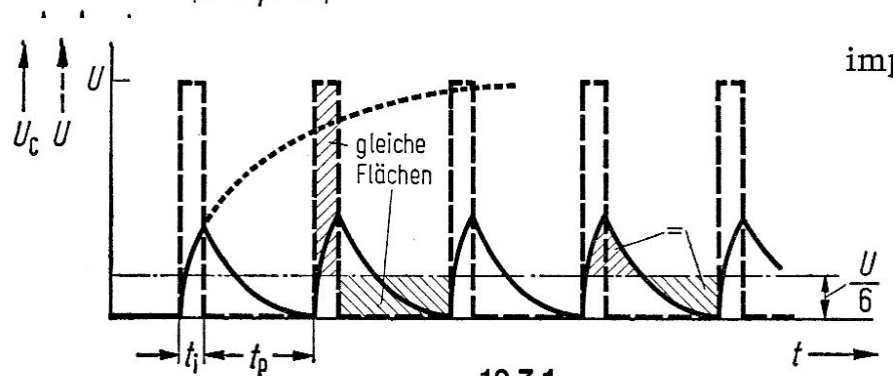
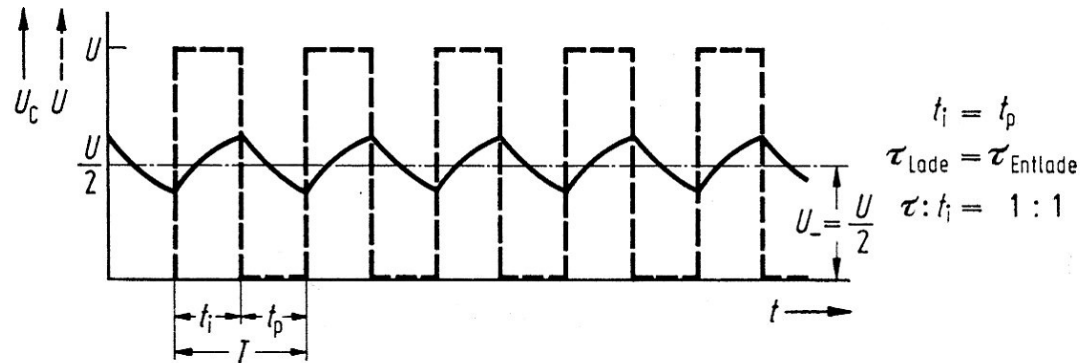
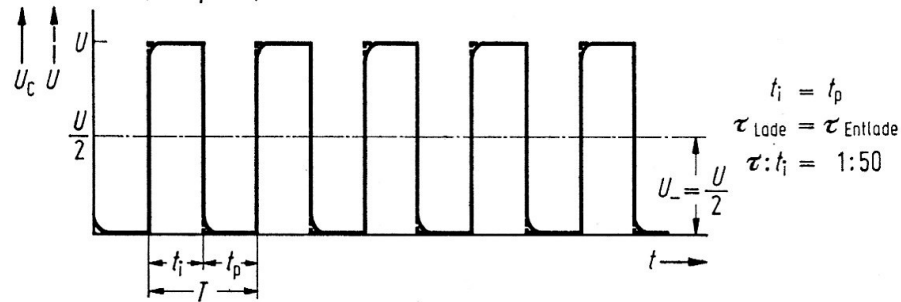
4.6.0 Filter

Integrierglieder:



4.6.0 Filter

Integrierglieder:

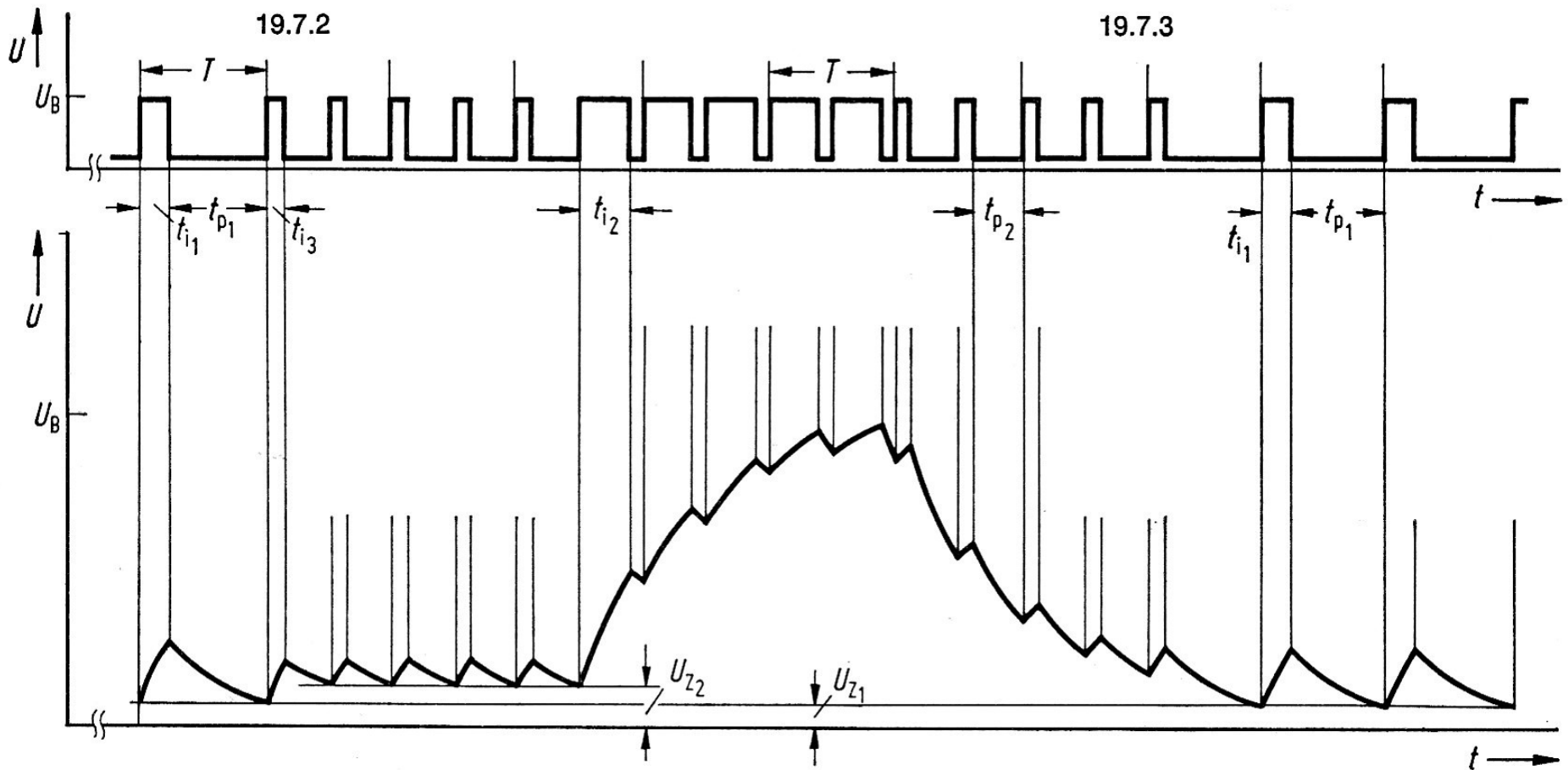


$$t_i : t_p = 1:5$$

$$\tau_{\text{Lade}} = \tau_{\text{Entlade}}$$

4.6.0 Filter

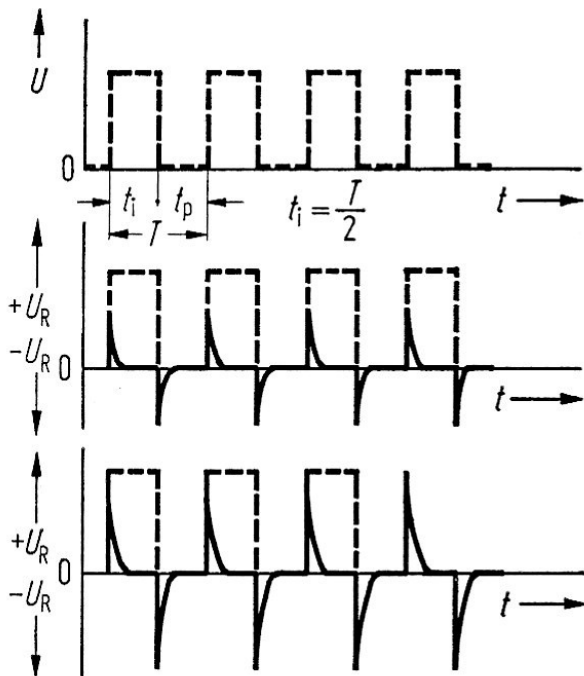
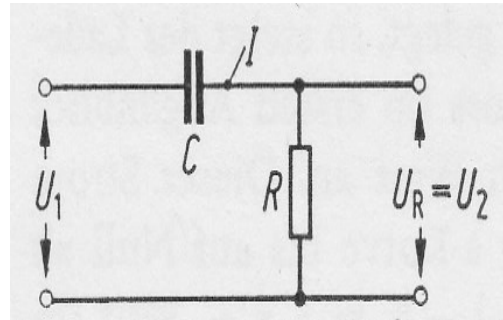
Integrierglieder:



TV-Vertikal-Synchronsignal-Erzeugung

4.6.0 Filter

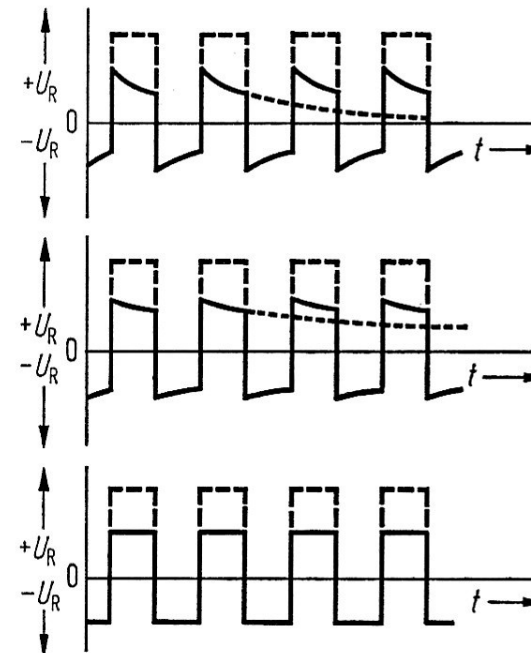
Differenzierglieder:



$$\tau : t_i = \frac{1}{50} : 1 \text{ oder } \tau = \frac{1}{50} t_i$$

$$\tau \ll t_i$$

$$\tau : t_i = \frac{1}{10} : 1$$



$$\tau : t_i = 1 : 1$$

$$\tau : t_i = 10 : 1$$

$$\tau \gg t_i$$

$$\tau : t_i = 100 : 1 \text{ oder } \tau = 100 t_i$$

4.6.0 Filter

RL-Glieder ergeben bei der Ansteuerung mit Impulsen Signalformen, die für die Ansteuerung von Farbfernsehbildröhren interessant waren. Sonst kommen RL-Glieder nur sehr selten vor. Deshalb werden sie hier nicht näher betrachtet.