

ET Script

1 Übersicht

1. Definition Ladung, Strom, Spannung, Potential
2. Grundstromkreis, Darstellung
3. Widerstand Ω Ohmsches Gesetz
4. Mehrteilige Schaltungen
 - 4.1. Stromknoten
 - 4.2. Spannungsmasche
 - 4.3. Superpositionsprinzip
5. Reale Spannungs und Stromquellen
6. Leistung
7. Zeit abhängige Spannungen und Ströme
8. Blindelement L, C

2 Elektronen

Elektronische Ladung Q besteht aus Elektronen

Stets negative Ladung

(Positive Ladung ist Elektronenmangel, setzt Stoff voraus)

1 Elektron hat eine Elementarladung von $e = 1,6 \cdot 10^{-19} A \cdot s$

$Q = A \cdot s$ (A/s Ampere Sekunde) wegen negative: $q = -1,6 \cdot 10^{-19} A \cdot s$

$Q_{Elektron} = -1,6 \cdot 10^{-19} A \cdot s$

Für überschus

Eine Wolke hat eine Ladung von $Q_{wolke} = 1 As$

$Q = n \cdot q$

n ist die Anzahl der E

$n = ?$

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{1 As}{-1,6 \cdot 10^{-19} As}$$

Wir können kürzen:

$$\frac{\cancel{1 As}}{-1,6 \cdot 10^{-19} \cancel{As}} \approx \frac{1}{-1,6} \cdot 10^{19}$$

$$\approx \frac{5}{8} \cdot 10^{19}$$

3 Spannung

Spannung ist ein Zustand

platzhalter bild

Es herrscht eine Spannung U

Oder Wolke 2

Platzhalter bild2

$U > 0$

Wolke3

Platzhalter Bild3

Spannungsrichtung festlegung mit einem Zählpfeile (willkürliche Annahme)
hier Spannung von Erde zur Wolke positive

Einheit der Spannung

Volt, kurz V

Angabe z.B. $U = +230V \leftarrow$ Buchstabe als Einheit

Vorsätze

$$1 = 1$$

$$1000 = 10^3 = k \text{ (kilo)}$$

Übersicht:

$$10^{-12} = p \text{ ("pico")}$$

$$10^{-9} = n \text{ ("nano")}$$

$$10^{-6} = \mu \text{ ("mikro")}$$

$$10^{-3} = m \text{ ("milli")}$$

$$10^{-2} = c \text{ ("centi")}$$

$$10^{-1} = d \text{ ("deci")}$$

$$10^1 = da \text{ ("deca")}$$

$$10^2 = h \text{ ("hecto")}$$

$$10^3 = k \text{ ("kilo")}$$

$$10^6 = M \text{ ("mega")}$$

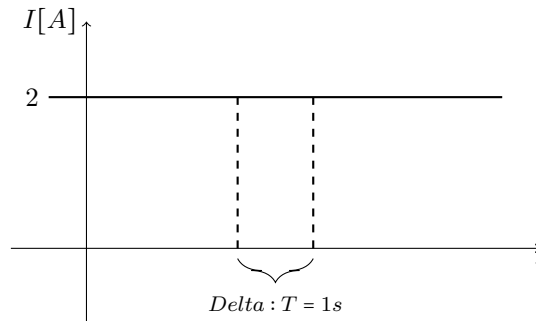
$$10^9 = G \text{ ("giga")}$$

$$10^{12} = T \text{ ("tera")}$$

4 Strom

Strom ist die Bewegung von Elektronen. (d.h "Ladung fließt")

Gleichstrom, Konstanter Elektronenfluß.



Aussage: Gleichstrom: $I = 2 \cdot A$

Zeit als ein interval

Zeit in Allgemeinen als Zeitabschnitt Benutzt, dann T

Definition:

Strom I ist fließende Ladung Q pro Zeit intervall T damit $I[A] = \frac{Q[A \cdot s]}{T[s]}$

Beispiel ergäbe:

$$Q = I \cdot T$$

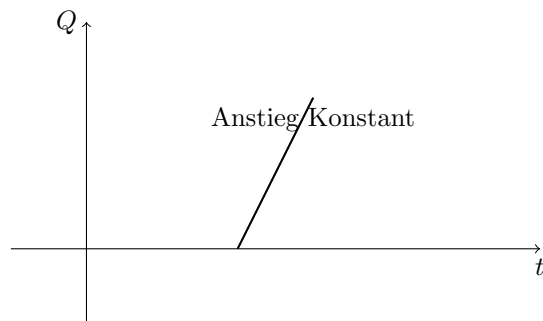
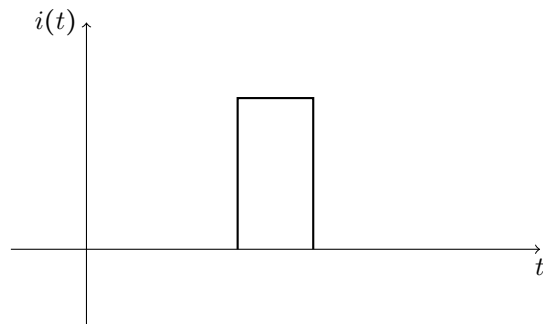
$$\text{Wie} = 2A \cdot 1s = \underline{2As}$$

Üblich: Kurzes Zeit intervall ΔT

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \rightarrow \frac{dQ}{dt} \text{ lim } \Delta \rightarrow 0$$

Beschreiben von Strömlichen veränderung (nicht gleich Strom) diese Gleichung gilt auch für Zeit veränderliche Ströme.

(Ableitung der Steigung nder der Zeit = Anstieg).



Stromrichtung?

Platzhalter Bild Stromrichtung

Elektronenfluß von links nach rechts.

Technische Richtung:

Platzhalter Bild Tech. Stromrichtung

Konsequenz der historihscen Festlegung

Technisch gesehen hat die Spannung das Primat. Damit aus einem Spannung eine Stromfluß resultiert, muss eine Möglichkeit bestehen, meist ein Widerstand.

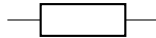
Widerstand ist der Quotient aus Spannung und Strom:

Widerstand $R = \frac{\text{Spannung } U}{\text{Strom } I}$ Einheit $R[\Omega] = \frac{U[V]}{I[A]}$

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

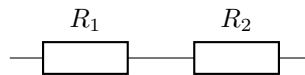
$1\Omega = \frac{1V}{1A}$

Symbol $R[\Omega]$

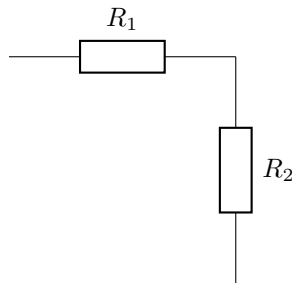


Die Allgemeine Darstellung ist ein Schaltbild, eine Abstraktion, bestehen aus Symbolen.

Der Leiter ist ideal:



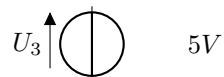
In einem Schaltbild werden die Verbindungen zwischen den Bauelementen als ideal angenommen. (Länge und Leitungsführung spielt keine Rolle)



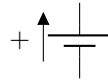
Weitere Symbole:

allgemeine Spannungsquelle:

Polarität erforderlich

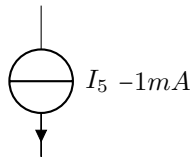
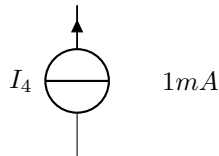


Eingrenz: Batterie Batterie hat eine Eindeutige Zuordnung von + und -.



Wenn nur eine Zahl angeschrieben dann sind es in V .
allgemeine Stromquelle:

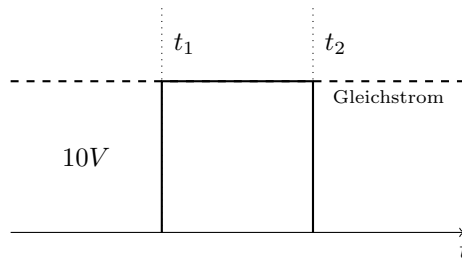
Muss ein Richtung angegeben werden.



5 Zeit abhängige Ströme und Spannungen

Zeit eigentlich Kontinierlich und ständig ablaufend. Gleichstrom und Gleichspannung sind streng genommen Einbildung, müssten ewig dauern

In der Realität geht es immer um Zeitintervalle.

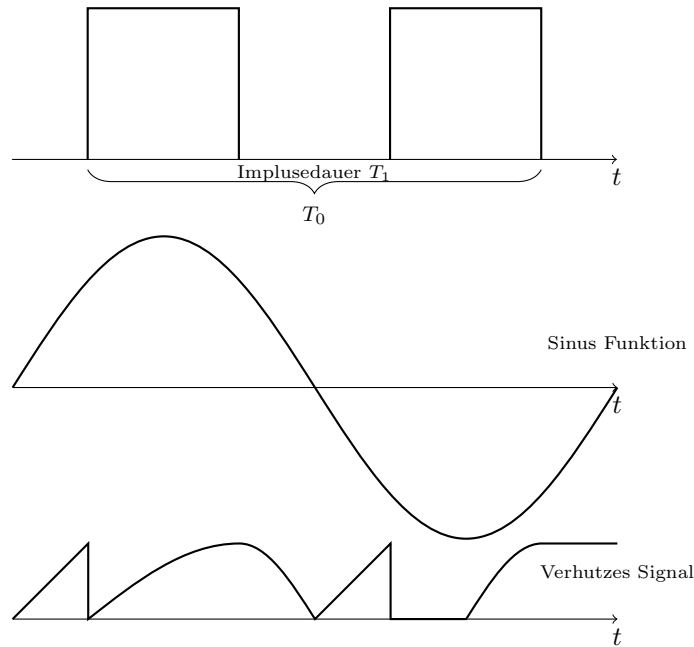


!Üblicher Sprachgebrauch "Gleichspannungs"
aber wenn $t_2 - t_1 = T$

Zeitintervall Impulsdauer Gewisse Willkür insbesondere Wahl Zeitpunkt
Null ist praktisch, aber oft beliebig


In betrachteten Zeitintervall sind auch beliebige Verläufe als Gleichwert
möglich Extremfall: Rauschen stochastisches Verhalten ohne Regelmässigkeit
Auch im betrachteten Zeitintervall kann es Wiederholungen geben

Üblich bei sich wiederholende Vorgängen: Periodendauer T_0
Beispiel:



Bei zeit abhaenigen Spannungen und Strömen kommen die Elemente Kondensator und Induktivität, bei welcher der Spannungs-Strom verhalten nicht mehr durch das ohmsche Gesetz beschrieben werden kann, zur Geltung. (Also: Spannung und Strom beim Kondensator und der Induktivität haben nicht den gleichen Zeit verlauf)

5.1 Schaltzeichen

C_1  Kondesator ($\hat{=}$ Kapazität C , Einheit "Farad")

5.2 Kondensator

Platten Kondensator:



L_1

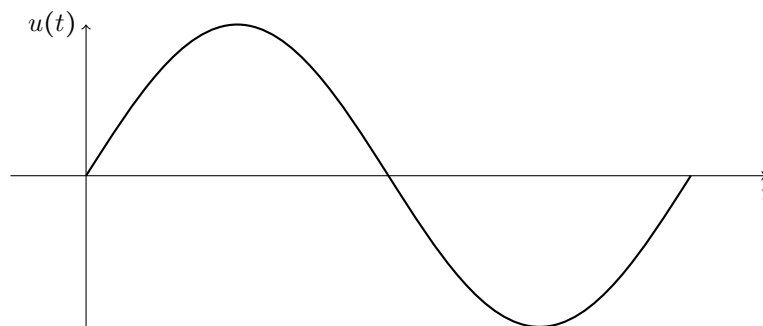
Induktivität (H , Einheit "Henry")

L_1



z.B. in Deutschland gelegentlich

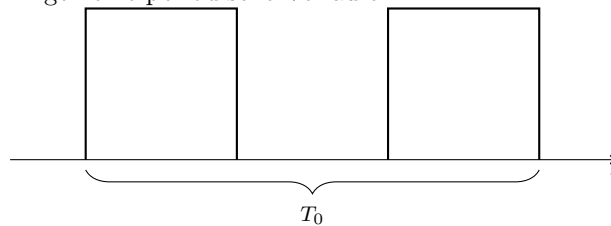
5.3 Wechselspannung und Wechselstrom



Praktisch

Bei der Umwandlung von mechanischer Energie in elektronische Energie ist eine Drehbewegung ("Generator") besonders effektiv. Dabei entsteht eine sinusförmiger Spannungsform. Die gesamte Energieversorgung beruht drauf.

Allgemeine periodische Verläufe



Anzahl der periodischen Vorgänge im Messzeitintervall T_M ($T_M \gg T_0$) zählen und damit die Häufigkeit ausdrücken. Andere Ausdruck für Häufigkeit: Frequenz f

$f = \frac{1}{T_0}$ Einheit kann S^{-1} sein besser Hz.

Damit wird eine Sinusspannung darstellen mit:

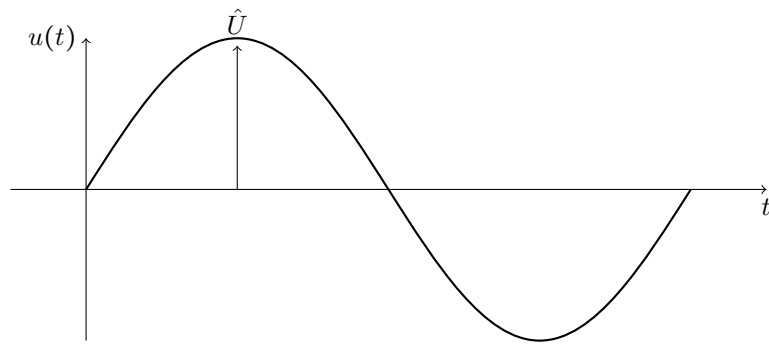
$$u(t) = \hat{U} \cdot \sin(\varphi(t))$$

$= \hat{U} \cdot \sin\left(\frac{t}{T_0} \cdot 360^\circ\right)$ Definition aus Frequenz f und 2π wird die Winkelfrequenz

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

$= \hat{U} \cdot \sin(f \cdot t \cdot 360^\circ)$ Damit wird $\boxed{u(t) = \hat{U} \cdot \sin(\omega t)}$ wichtigste Darstellung oder Kreisfrequenz.

$= \hat{U} \cdot \sin(f \cdot t \cdot 2\pi)$ Bogenmass Wenn der Startpunkt nicht bei Null liegt.



Δt ausdrückbar als Winkel $[\circ]$, Bogenmass oder Zeitmass entspricht, Phasenverschiebung Eingentwinkel Winkel $\varphi \leadsto u(t)(\omega t + \varphi)$ Die Parameter
Darstellung in der Schaltung als Symbol:



$$\hat{U} \sin(\omega t + \varphi)$$

Schaltung mit Sinusspannung und ohmschen Widerständen
 es war $I = \frac{U}{R}$ fest, dann $I \sim U$

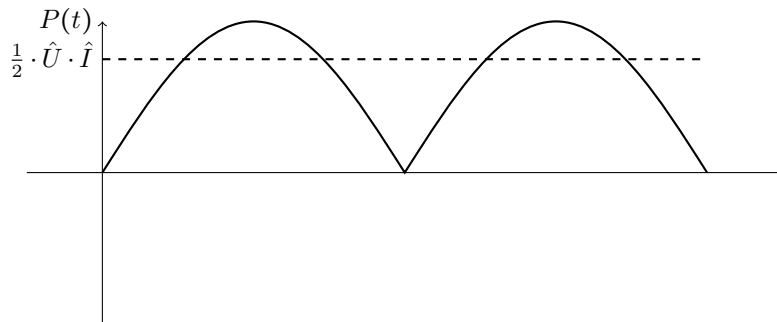


Leistung

momentan: $u \cdot i$ Maximal $\hat{U} \cdot \hat{I}$

Mit $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R} \rightsquigarrow i(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega t) = \frac{\hat{U}}{R} \sin(\omega t)$

$P(t) = \hat{U} \cdot \hat{I} \cdot [\sin(\omega t)]^2$



Dabei entsteht 2ω ! (Frequenzverdopplung)

$[\sin(\omega t)]^2 \cdot \frac{1}{2} [1 - \cos(2\omega t)]$

Die mittlere oder Effektive Leistung ist $\boxed{\frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2} = P_{eff}}$ oder $\frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}} = \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2}$

Definition der effektiven Spannung $U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$ oder $\hat{U} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$

U_{eff} = Netzspannungsangabe hier 230V und $f = 50Hz$

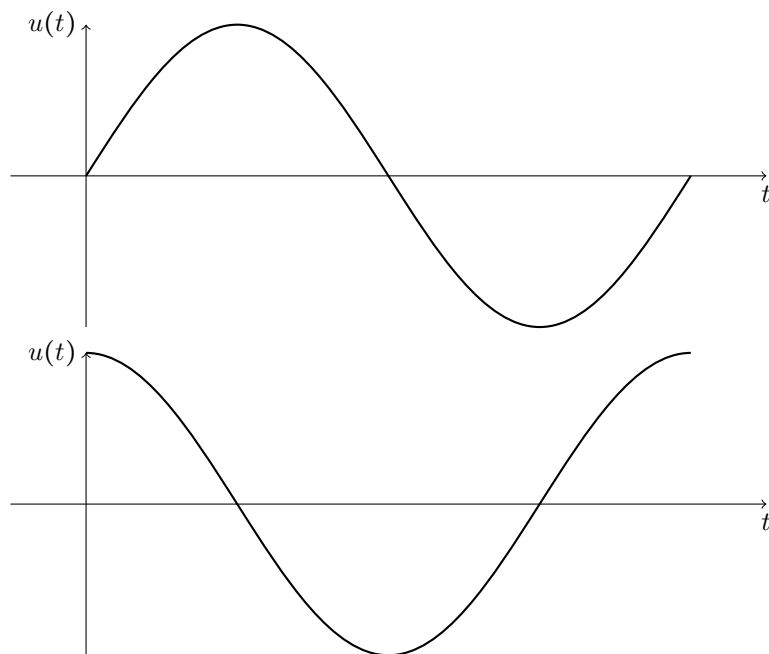
Alle Berechnungen mit Gleichspannung und Gleichströmen sind in Widerstandskreislagen auf Wechselspannungen und -strömen übertragbar.

5.4 Sinusspannungen und Ströme bei L und C

$$C \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array}$$

$$u(t) = \frac{1}{C} \int i(t) \cdot dt$$

$$C \cdot \frac{du(t)}{dt} = i(t)$$



”Im Kondensator geht der Strom vor.”

Das Konzept $R = \frac{U}{I}$ war sehr praktisch. Problem hier?

extreme Änderung über die Zeit bzw. Periode Problem ist die Verschiebung
unzwecksmässiger Versuch

5.5 Imaginäre Zahl j

Der Strom durch den Kondensator hat eine - wenn auch zeitlich verschiebte -
Sinusform. Phasenverschiebung $90^\circ \hat{=} \frac{\pi}{2} \hat{=} \frac{T_0}{2}$

6 Übertragungsverhalten von komplexen Schaltung bei sinförmiger Erregung

Grund: Vierpole

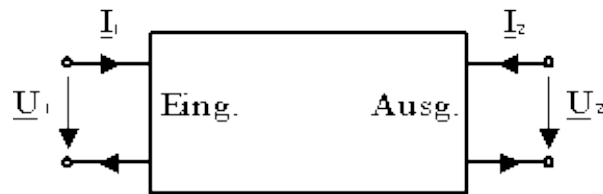


Figure 1: Vierpole

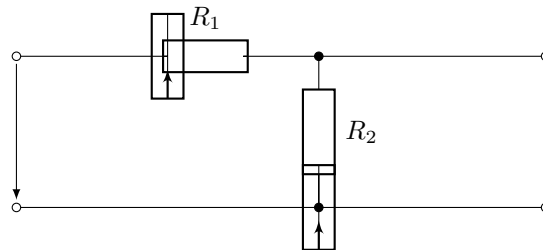
Zuordnung der Richtung per definition (üblich)

Passive Vierpole (ohne Verstärker) haben stets eine kleinere Singalausgangsleistung als Eingangsleistung. Hier in ET1 Beschränkung auf passive Vierpole und nur Spannungsübertragung.

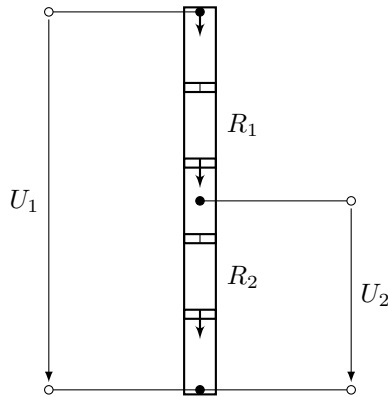
Def: Spannungsverstärkung v_u ist $v_u = \frac{u_2}{u_1}$

weitere Beschränkung Sinusspannung

Beispiel 1:



Kann umgezeichnet werden:
Spannungsteiler



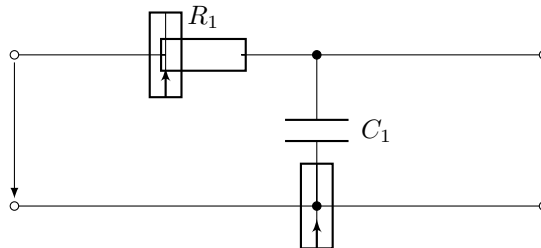
hier sowohl Gleichspannung als $u(t) = \hat{U} \cdot \sin \omega t$

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_2$$

$$v_u = \frac{\text{Teilwiderstand}}{\text{Gesamtwiderstand}} \text{ oder } u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_1$$

$$\leadsto v_u = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Beispiel 2:



Allgemeine Formel:

$$v_u(\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$v_u(\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} \text{ Oben und unten mit } j\omega C \text{ multiplizieren}$$

$$= \frac{1}{R_1 \cdot j\omega C + 1}$$

Wenn die Übertragungsfunktion $v_u(\omega)$ als Real- und Imaginärteil dargestellt werden soll, muss hier Konjugiert Komplexe erweitert werden:

$$\frac{1}{R_1 \cdot j\omega C + 1} = \frac{1 - (R\omega C)j}{[1 - (R\omega C)j]}$$

Erweitern mit negativen j

$$\frac{1-(R\omega C)j}{1+(R\omega C)^2} = \underbrace{\frac{1}{1+(RC\omega)^2}}_{\text{Realteil}} - \underbrace{\frac{R\omega C}{1+(RC\omega)^2} \cdot j}_{\text{Imaginärteil}}$$

Zeigerdarstellung:

$$\begin{aligned} v_u(\omega) &= |v_u(u)| e^{j\varphi(\omega)} \\ |v_u(\omega)| &= \sqrt{\left[\frac{1}{1+(RC\omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{R\omega C}{1+(RC\omega)^2}\right]^2} \\ \varphi(\omega) &= \arctan\left(\frac{\text{Imaginärteil}}{\text{Realteil}}\right) \\ &= \arctan\left[\frac{\left(-\frac{1}{1+(RC\omega)^2}\right)}{\frac{R\omega C}{1+(RC\omega)^2}}\right] \end{aligned}$$

Prinzipielle Berachtung zu

$$v_u(\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}}$$

normal RC fest ("Zeit konstante τ ")

wichtig: gedankliche Frequenzvariation extrem denken:

$$\omega = 0, \omega \rightarrow \infty \quad \left| \frac{v_u(\omega)}{v_u(0)} \right| = 1$$

$$v_u(\omega) \quad \left| \frac{v_u(\omega)}{v_u(\infty)} \right| = 0$$

Andere Stelle

$\omega \cdot RC = 1$ ist der Realbetrag gleich dem Imaginärteil = betrag Diese Frequenzstelle heisst Grenzfrequenz $\leadsto \omega_g \cdot RC = 1$

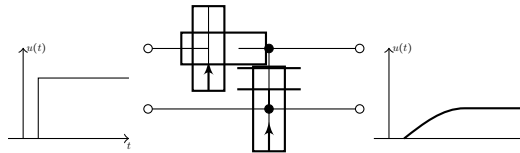
$$\omega_g = \frac{1}{RC} \text{ oder } f_g = \frac{\omega_g}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$$

$$\text{bei } \omega_g \text{ ist } v_u(\omega_g) = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

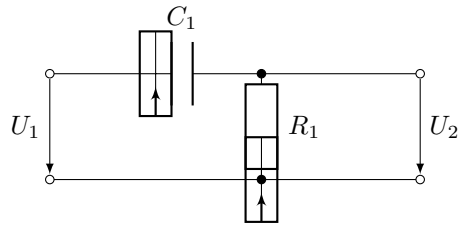
$$\varphi(\omega_g) = -45^\circ \hat{=} \underbrace{-\frac{\pi}{4}}_{\text{Bogenmass}}$$

Tiefpass

Gesamtberachtung: Tiefenpass 1.Ordnung



Beispiel 3



$$v_u(\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

$$\omega \rightarrow 0 \rightsquigarrow v_u(\omega) = 0$$

$$\omega \rightarrow \infty \rightsquigarrow v_u(\omega) = 1$$

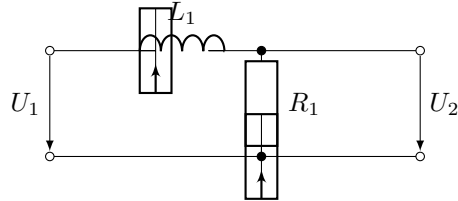
$$\text{Grenzwert } \omega_g = \frac{1}{RC}$$

Hochpass 1. Ordnung

Abtrennung oder Unterdrückung von Gleichspannungen bezüglich Signalanteilen

Beispiel 4

$$v_u(\omega) = \frac{R}{R + j\omega L}$$



$$\left. \begin{array}{l} v_u(\omega) \Big|_{\omega \rightarrow 0} = 1 \\ v_u(\omega) \Big|_{\omega \rightarrow \infty} = 0 \end{array} \right\} \text{ Tiefpass 1. Ordnung}$$

Grenzfrequenz wo Real und Imaginärteil

$$\rightsquigarrow R = \omega_g \cdot L$$

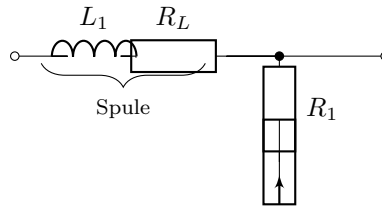
$$\omega_g = \frac{R}{L}$$

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

Zweck: Gleichspannungsversorgung, bei welcher störende Wechselspannung unterdrückt werden

Beispiel 5

Realität "Spule hat Reihen Wderstand" Tiefpass 1. Ordnung

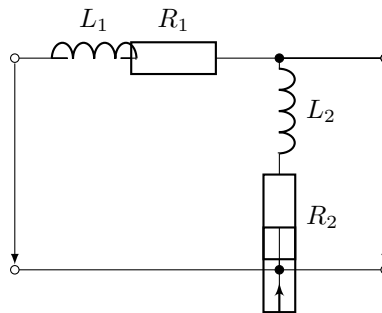


$$v_u(\omega) = \frac{R}{j\omega L + R_L + R}$$

$$\omega_g = \frac{(R_L + R)}{L}$$

Beispiel 6

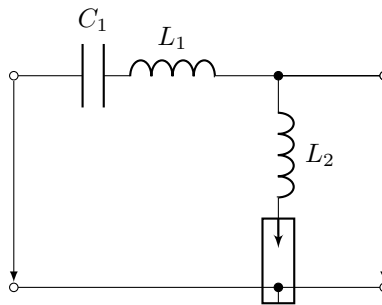
$$v_u(\omega) = \frac{R_2 + j\omega L_2}{R_1 + R_2 + j\omega(L_1 + L_2)} = \frac{R_2 + j\omega L_2}{R_1 + j\omega + R_2 + j\omega L_2}$$



$$v_u(\omega) \Big|_{\omega \rightarrow 0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$v_u(\omega) \Big|_{\omega \rightarrow \infty} = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

Beispiel 7



Leistung

bei $u(t), i(t)$

damit $p(t)$ Zeit abhaenig.

Def $p(t) = u(t) \cdot i(t) [W]$

mittle Leistung

Die "Mittlere" Leistung kann auf beliebige Verläufe von u, i ueber die Zeit benutzt werden.

$i(t) = \frac{u(t)}{R}$ damit $p(t) = \frac{[u(t)]^2}{R}$ periodisch fortgesetzt

