

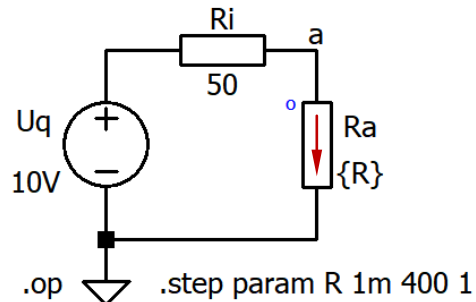



## Lastfälle im Grundstromkreis (BE im Original)

### 1) Schaltung zeichnen:

- a) Bauelemente platzieren:  
 [...] Voltage für  $U_q = 10\text{ V}$   
 [Misc] EuroResistor für  $R_i = 50\ \Omega$   
 [Misc] EuroResistor für  $R_a = \{R\}$  (variabel)  
 b) Ground setzen   
 c) Elemente verbinden 



Zum Zählpfeil des Stromes:

LTSPICE stellt eine Quelle im Verbraucher-Zählpfeilsystem dar (Strom in Richtung der Spannung). Der Strom durch einen Widerstand wird mit einem „internen“ Richtungspfeil vom Pin 1 (o) zum Pin 2 dargestellt. Diese Richtung wird leider im Symbol nicht mit angegeben. Als Hilfe dient eine Stromzange, die sich im Symbol des Bauelementes meldet, wenn der Cursor aufgesetzt wird. 

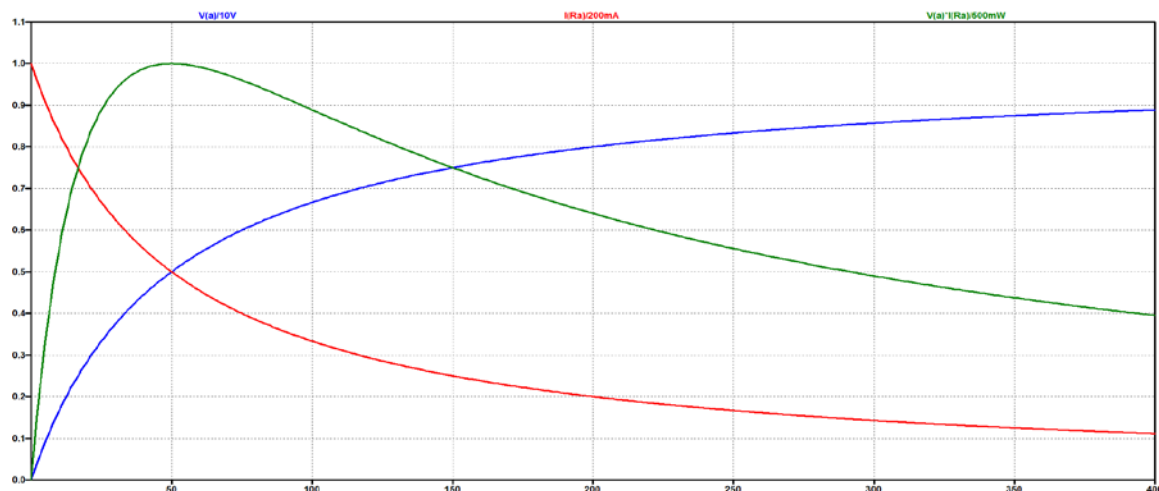
### 2) Analyseart einstellen:

- Kommando **.step param R start stop schritt** im Texteditor  eingeben und platzieren.
- Analyse > DC op pnt < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.op** platzieren.

### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktionen in normierter Form  $\{y\} = y / y_{\max}$  eingeben:

a)  $\{U\} = V(a)/10\text{V}$                       b)  $\{I\} = I(R_a)/200\text{mA}$                       c)  $\{P\} = V(a)*I(R_a)/500\text{mW}$



- Bei Bedarf ändern:

- Farbe der Plots (Anklicken eines Plotnamens – oben) und Color ändern
- Einteilung der Grids (Anklicken einer Achse und Tick ändern)

Link auf [LB 1.3](#)

## Lastfälle im Grundstromkreis (BE nach DIN)

### 1) Schaltung zeichnen:

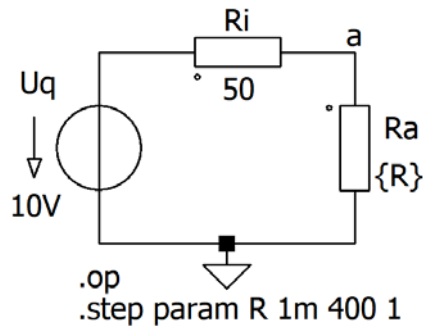
a) Bauelemente (DIN) platzieren:

- [...] volt\_Pfeil\_Ose für  $U_q = 10\text{ V}$
- [...] EuroRes\_Ose für  $R_i = 50\ \Omega$
- [...] EuroRes\_Ose für  $R_a = \{R\}$  (variabel)

b) Ground setzen



c) Elemente verbinden



Link auf [LB 1.3 EU](#)

*Zum Zählpfeil des Stromes:*

Der Strom durch einen Widerstand wird jetzt über einen Richtungssinn am Pin 1 (kleiner Kreis am Bauelement) gekennzeichnet. Beim Drehen (Strg & R) sowie beim Spiegeln = Mirror (Strg & E) dreht sich dieser Kreis mit und zeigt in jeder Lage die Position von Pin 1 an.

*Zur Darstellung einer Quelle:*

Die Quelle erhält einen Zählpfeil (von + nach –). Damit entfällt die bisherige Angabe der Polarität.

Mit den neuen Symbolen können Sie jetzt die Bauelemente nach Ihren Vorstellungen platzieren. Am Ergebnis einer Simulation ändert sich nichts. Wir haben ja nur die grafische Erscheinungsform eines Symbols verändert.

Die im Ordner „LTspice“ vorliegenden Projekte wurden mit den neuen Symbolen erstellt.

*Zur Eingabe der Funktionen:*

Nach einer erfolgreichen Simulation können Sie die Grundeinstellungen des Plots speichern:

- RMT = Kontextmenü

- File → Save Plot Settings . Die Daten werden dann unter \*.plt abgelegt.

Leider führt LTSPICE bei einigen Simulationen trotzdem ein „Autoscale“ durch. Dann ist es bei Bedarf erforderlich, die Grids neu festzulegen.

*Zur Archivierung von Simulationsergebnissen:*

Ein Simulationsergebnis (Plot und auch fertige Schaltung) können Sie zur weiteren Auswertung nach WORD (usw.) übertragen. Dazu sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Bildschirm maximieren

- Tools → Copy bitmap to Clipboard




- WORD öffnen und mit > Strg < & > V < den Inhalt der Zwischenablage einfügen
- Größe nach Bedarf ändern


## Gleichstromnetzwerk (Anzeige in der OP-Liste)

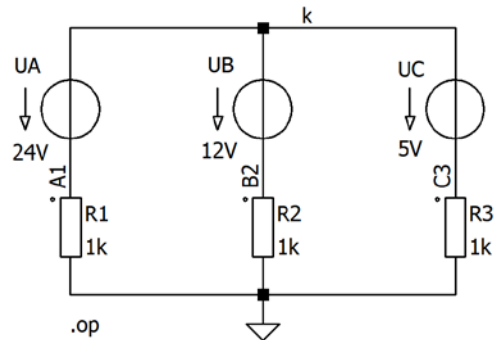
### 1) Schaltung zeichnen:

- a) Bauelemente (DIN) platzieren:  
 [...] volt\_Pfeil\_Ose für UA ; UB ; UC  
 [...] EuroRes\_Ose für R1 ; R2 ; R3

b) Values eingeben

c) Ground setzen 

d) Elemente verbinden 



Link auf [LB 1.2](#)

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC op pnt < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.op** platzieren.

### 3) Simulation starten:

- Es meldet sich eine Liste mit den Analyseergebnissen:

--- Operating Point ---

V(k):	13.6667	voltage
V(a1):	-10.3333	voltage
V(b2):	1.66667	voltage
V(c3):	8.66667	voltage
I(R3):	0.00866667	device_current
I(R2):	0.00166667	device_current
I(R1):	-0.0103333	device_current
I(Uc):	0.00866667	device_current
I(Ub):	0.00166667	device_current
I(Ua):	-0.0103333	device_current

#### Erklärung:

Punkt k → ⊥  
 Punkt A1 → ⊥  
 Punkt B2 → ⊥  
 Punkt C3 → ⊥  
 Strom durch R3 (↓)  
 Strom durch R2 (↓)  
 Strom durch R1 (↑)  
 Strom von UC (↓)  
 Strom von UB (↓)  
 Strom von UA (↑)


Auswertung: Der Strom durch R1 fließt hier gegen den Zählpfeil von UA.


## Gleichstromnetzwerk (Anzeige in der Schaltung)

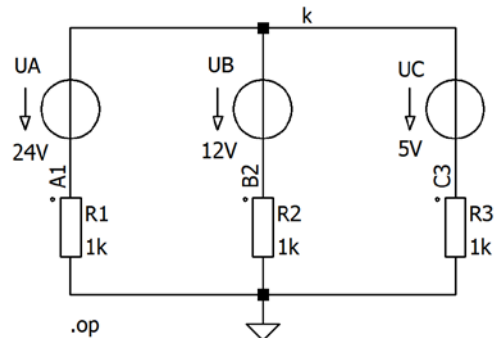
### 1) Schaltung zeichnen:

- a) Bauelemente (DIN) platzieren:  
 [...] volt\_Pfeil\_Ose für UA ; UB ; UC  
 [...] EuroRes\_Ose für R1 ; R2 ; R3

b) Values eingeben

c) Ground setzen 

d) Elemente verbinden 



Link auf [LB 1.2.a](#)

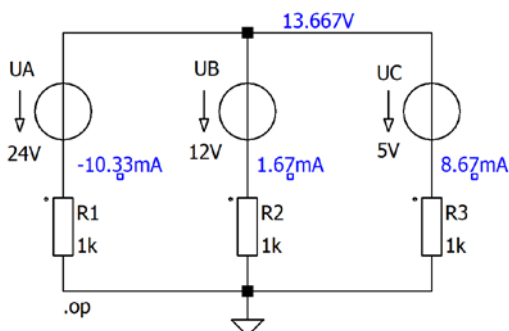
### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC op pnt < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.op** platzieren.

### 3) Simulation starten:

- Es meldet sich die Liste „Operating Point“ mit den Analyseergebnissen. Nach dem Schließen dieser Liste können die Potentiale ausgewählter Knoten in der Schaltung angezeigt werden:

- Klick (RMT) auf eine Leitung: Kontextmenü „**88** Place .op“ anklicken = Anzeige Potential.
- Potential anklicken (RMT): Fenster „Displayed Data“ wird geöffnet.
- Platzhalter \$ löschen und Strom auswählen = Anzeige Strom.
- Nachkommastellen können mit  $\text{round}(I(R1)*1000)/1000$  unterdrückt werden.
- eine horizontale Ausrichtung wird durch Verschieben der Anzeige erreicht.



Auswertung: Der Strom durch  $R_1$  fließt hier gegen den Zählpfeil von  $U_A$ .

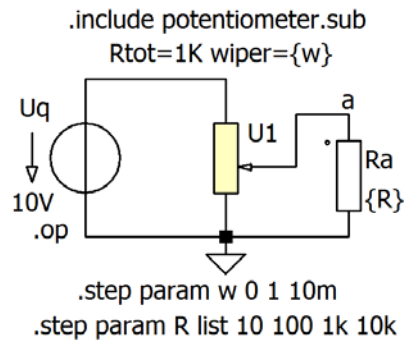
## Belasteter Spannungsteiler

### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:


- [...] volt\_Pfeil\_Ose für  $U_q = 10\text{ V}$
- [...] Pot\_Ose für  $R_S = R_{\text{tot}} = 1\text{ k}\Omega$   
wiper={w} (variabel)
- [...] EuroRes\_Ose für  $R_a = \{R\}$  (variabel)

b) Ground setzen      c) Elemente verbinden



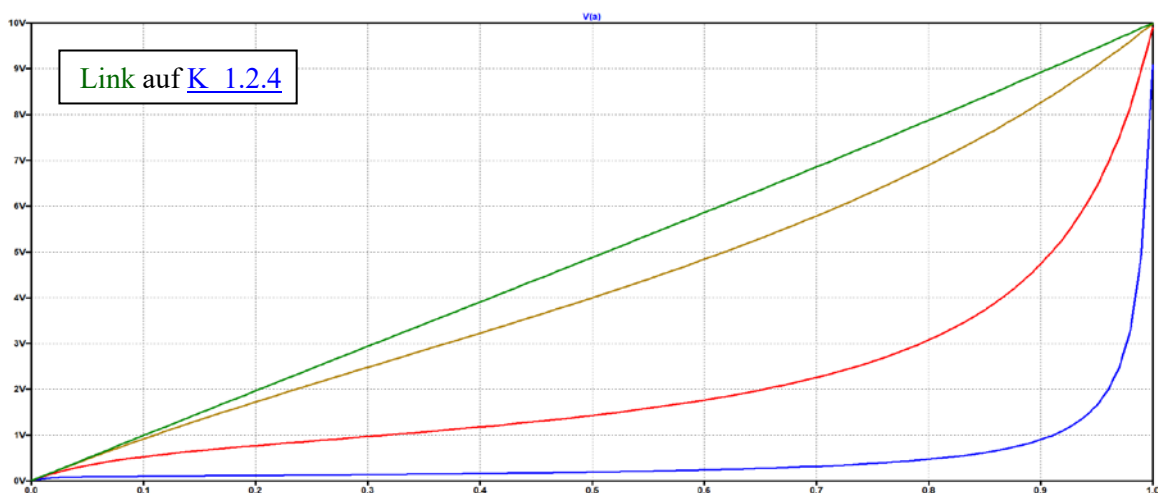
Das Bauelement U1 (Pot) wurde aus dem Internet importiert und in seiner grafischen Erscheinung an die Symbole nach DIN angepasst. Die Bezeichnungen wurden nicht verändert:  $R_{\text{tot}}$  ( $R_{\text{total}}$ ) =  $R_S$  und wiper (Wischer / Schleifer) =  $SS$  (Schleiferstellung). Die subcircuit-Datei muss in den Ordner „/sub/“ (Unterordner von „/lib/“) des Hauptverzeichnis „LTspiceXVII“ kopiert werden.

### 2) Analyseart einstellen:

- Kommando **.step param w start stop schritt** im Texteditor  eingeben und platzieren.
- Kommando **.step param R list Ra1 Ra2 Ra3 Ra4** im Texteditor eingeben und platzieren.
- Kommando **.include potentiometer.sub** im Texteditor eingeben und platzieren.
- Analyse > DC op pnt < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.op** platzieren.

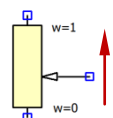
### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion auswählen:  $V(a)$       oder:  $-I_x(U1:B)$       [hier nicht dargestellt]  
 $V(a) = U_a$        $-I_x(U1:B) = \text{Querstrom } I_2 (\downarrow) \text{ von } SS \text{ nach } w = 0.$



Anmerkung:

Der Schleifer  $SS$  bewegt sich bei  $0 < w < 1$  vom kürzeren Anteil des Widerstandssymbol zum gegenüberliegenden Ende. Die Ströme werden mit  $I_x(U1:A)$ ,  $I_x(U1:B)$  und  $I_x(U1:C)$  bezeichnet.  $I_x(U1:A)$  ist der Strom vom Schleifer  $SS$  durch den Lastwiderstand  $R_a$ .



## Spannungen und Ströme im Dreiphasensystem (unsymmetrische Last als Sternschaltung)

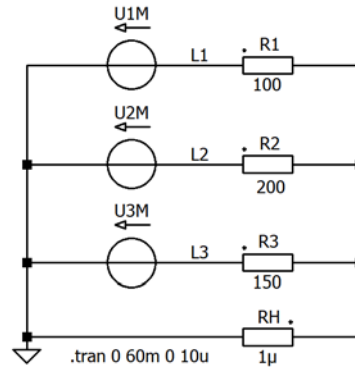
### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

[...] volt\_Pfeil\_Ose als / Sine /  
 für  $U_{xM} = 325 \text{ V}$  ( $f = 50 \text{ Hz}$ )  
 mit:  $\varphi_{xM}$  ( $0^\circ / 240^\circ / 120^\circ$ )

[...] EuroRes\_Ose für R1 / R2 / R3

b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Jede der drei Quellen / Sine / muss neu eingestellt werden:

- Amplitude[V]      • Freq[Hz]      • Phi[deg]      ... Rest = [0]

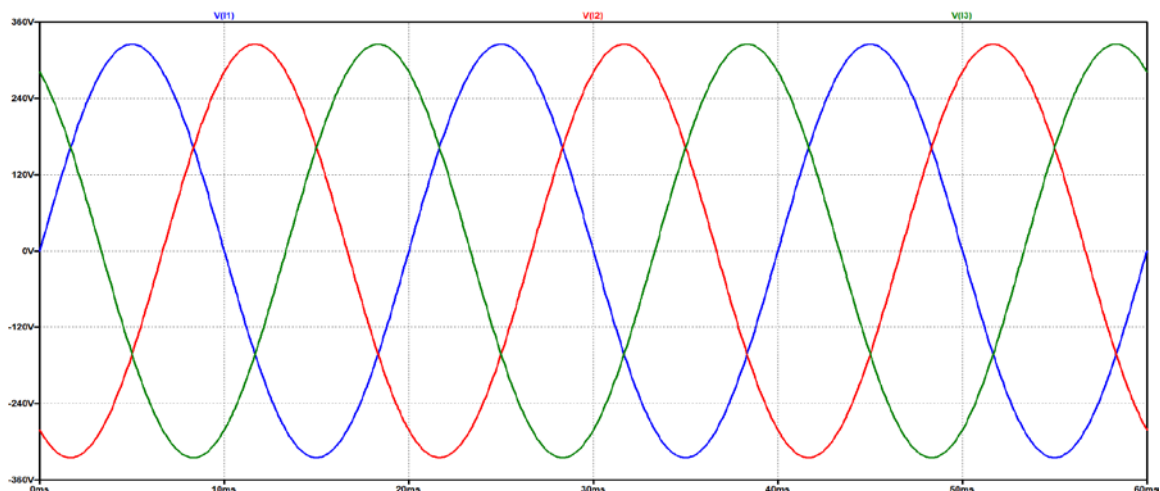
Bei einer Frequenz von 50 Hz ( $T = 20 \text{ ms}$ ) benötigt man zur Darstellung von drei Perioden einer Schwingung eine Simulationszeit (Stop time) von 60 ms.

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > Transient < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.tran** platzieren.

### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion auswählen: V(L1) V(L2) V(L3) = Generator-Strangspannungen  $U_S$   
 V(L1,L2) V(L2,L3) V(L3,L1) = Leiterspannungen  $U_L$  [hier nicht dargestellt]  
 I(R1) I(R2) I(R3) I(RH) = Ströme  $I_x$  [hier nicht dargestellt]



V(L1): Der Leiter L wird im Plot mit einem Kleinbuchstaben angegeben.  
 Das sieht dann leider wie ein ,I' aus.

Link auf [LB 1.5](#)

## FFT (Fast FOURIER Transform)



### 1) Schaltung zeichnen:

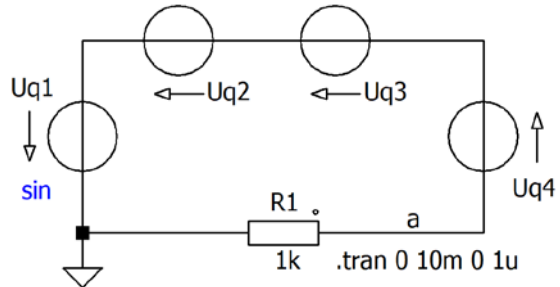
a) Bauelemente platzieren:

[...] volt\_Pfeil\_Ose als 4 x / Sine /

[...] EuroRes\_Ose für R1

b) Ground setzen      c) Elemente verbinden



Die Quellen / Sine / werden wie folgt eingestellt:

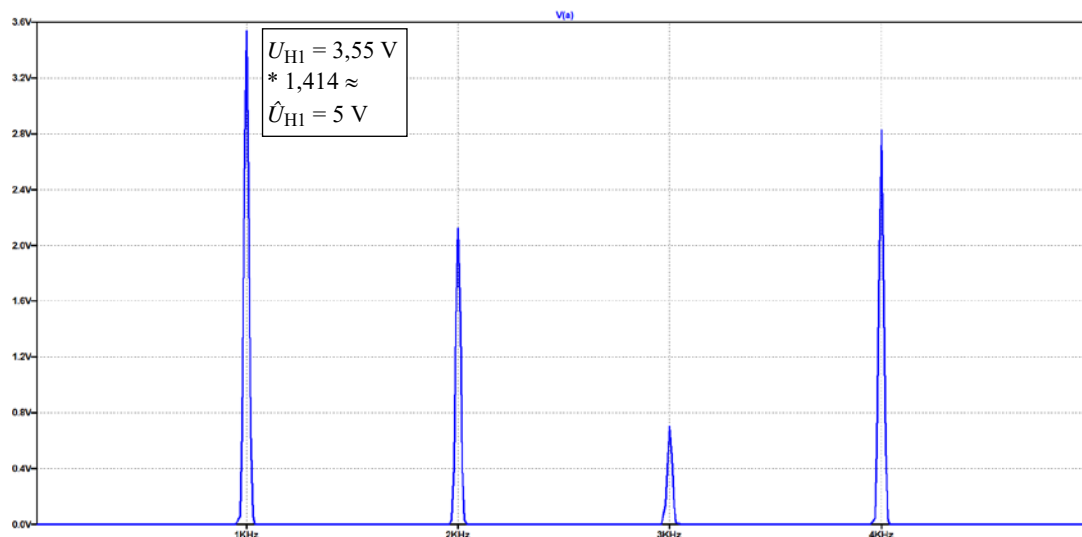
- Uq1: 5 V / 1 kHz      • Uq2: 3 V / 2 kHz      • Uq3: 1 V / 3 kHz      • Uq4: 4 V / 4 kHz

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > Transient < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.tran** platzieren.
- Der Sweep läuft über einen Zeitraum von 10 ms. Durch eine Vergrößerung des Analysezeitraumes auf z.B. 100 ms werden die Spektrallinien klarer abgebildet (Fußverbreiterung wird kleiner).

### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion auswählen: V(a) und Zeitfunktion darstellen
- FFT aufrufen über: RMT auf Zeitfunktion = Kontextmenü: > View < → > FFT <
- ⇒ Plot umschalten (falls erforderlich) auf: Y-Achse und X-Achse auf Linear
- ⇒ Achsen:    Y = 0 ... 5 V                      und:    X = 0 ... 5 kHz (das geht nur bedingt!)



Das Simulationsergebnis zeigt das Amplitudenspektrum mit den Effektivwerten der aus V(a) [als Überlagerung von V(Uq1) bis V(Uq4)] resultierenden Komponenten.

Link auf [K 1.3.3](#)

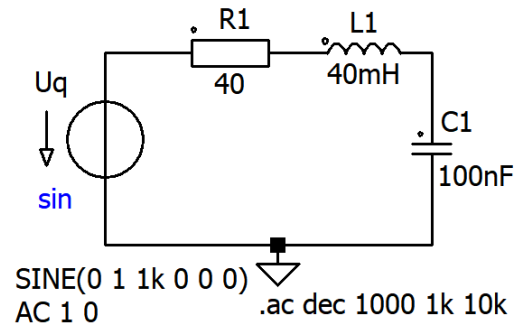
## Reihenschwingkreis

### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

- [...] volt\_Pfeil\_Ose als / Sine /
- [...] EuroRes\_Ose für R1
- [...] ind\_Ose für L1
- [...] cap\_Ose für C1

b) Ground setzen                      c) Elemente verbinden



Die Quelle / Sine / wird wie folgt eingestellt:

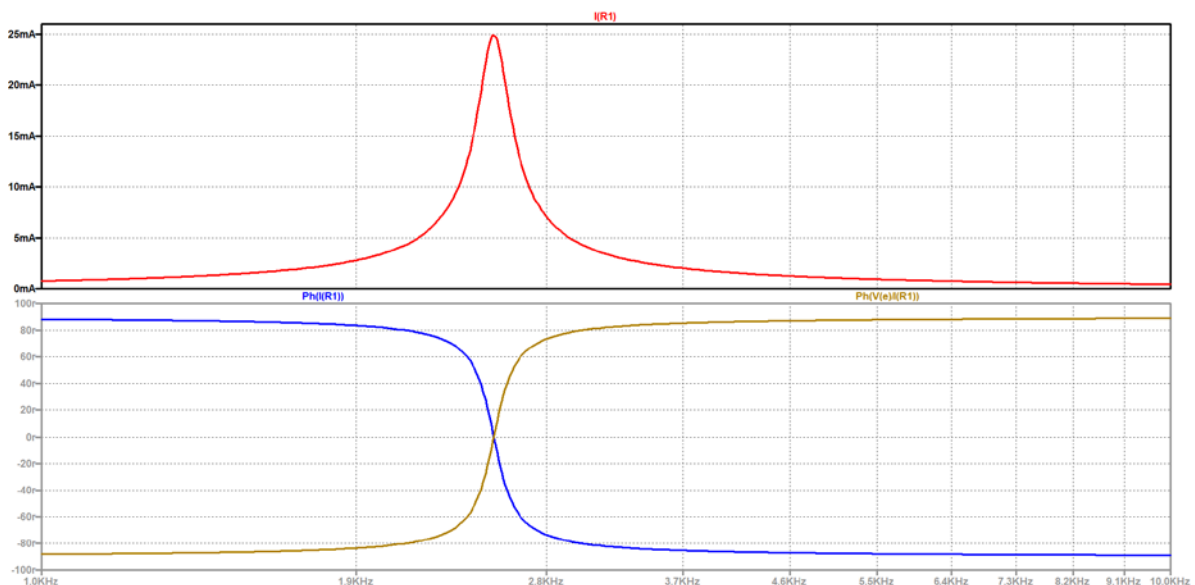
- DC[0]
- Amplitude[1V]
- Freq[1kHz]
- AC-Amplitude[1V]
- ... Rest = [0]

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > AC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.ac** platzieren.
- Der AC-Sweep läuft von 1 kHz bis 10 kHz (Decade).

### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion auswählen: I(R1)                      = Betrag von  $I_{\text{ges}}$                       (y = Cartesian)
- Ph(I(R1))                      = Nullphasenwinkel  $\varphi_I$
- Ph(V(e)/I(R1))                      = Gesamtphasenwinkel  $\varphi = \varphi_u - \varphi_I$  ( $\varphi$  von  $\underline{Z}$ )



Link auf [K 1.3.4](#)

Das PROBE-Fenster kann mit > Add Plot Pane < geteilt werden.  
 Dann ist aber immer nur ein Fenster aktiv.



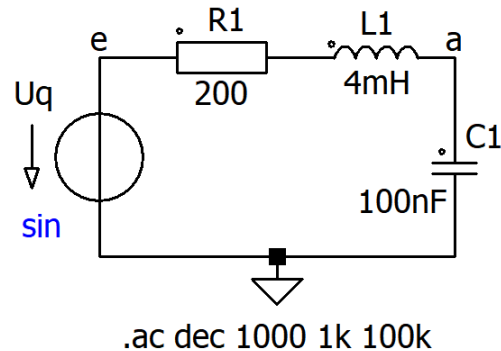
## Reihenschwingkreis als Übertragungsvierpol

### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

- [...] volt\_Pfeil\_Ose als / Sine /
- [...] EuroRes\_Ose für R1
- [...] ind\_Ose für L1
- [...] cap\_Ose für C1

b) Ground setzen      c) Elemente verbinden



Die Quelle / Sine / wird wie folgt eingestellt:

- DC[0]      • Amplitude[1V]      • Freq[1kHz]      • AC-Amplitude[1V]      ... Rest = [0]

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > AC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.ac** platzieren.

Der AC-Sweep läuft von 1 kHz bis 100 kHz (Decade).

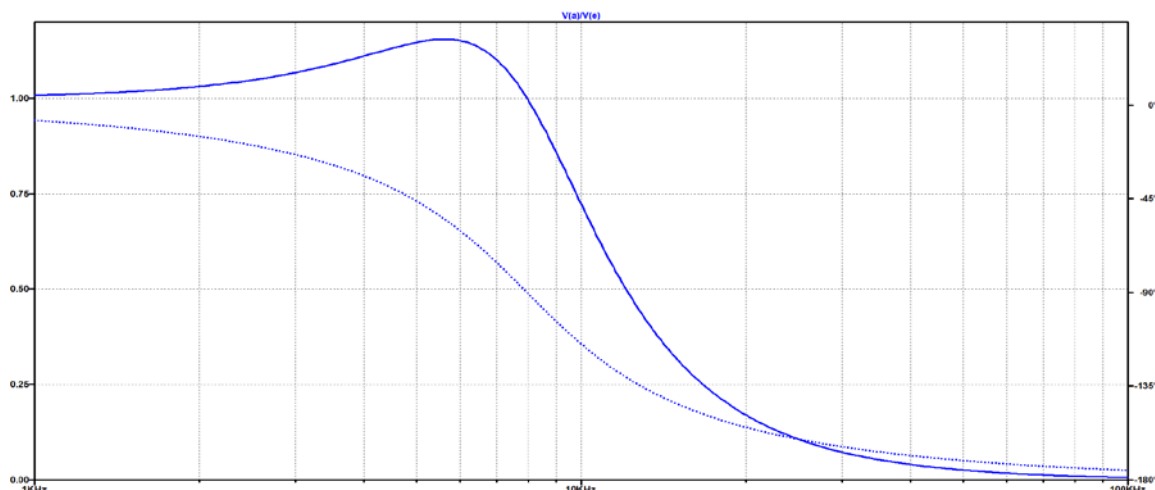
### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion auswählen: V(a)/V(e)

BODE (linear)

= Betrag von  $A = U_a / U_e$       und:

= Phasenwinkel  $\varphi_{ac}$



Im PROBE-Fenster werden jetzt beide Funktionen angezeigt:

a) Amplitudenfrequenzgang  $A$  (linke y – Achse)

b) Phasenfrequenzgang  $\varphi_{ac}$  (rechte y – Achse und gestrichelte Funktion)

Die Darstellung der Ortskurve gelingt wieder mit  $A$ . Die y-Achse muss aber unter ‚Representation‘ von BODE in NYQUIST verändert werden.

Link auf [LB 1.7](#)

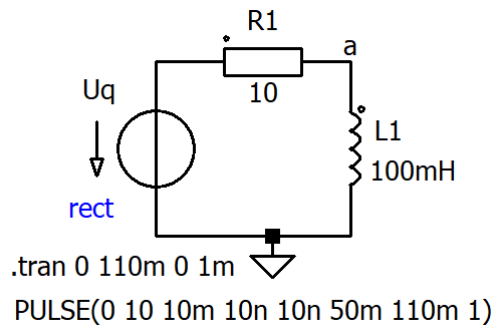
## Schalten einer RL-Kombination

### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

- [...] volt\_Pfeil\_Ose als / Pulse /
- [...] EuroRes\_Ose für R1
- [...] ind\_Ose für L1

b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Die Quelle / Pulse / wird wie folgt eingestellt:

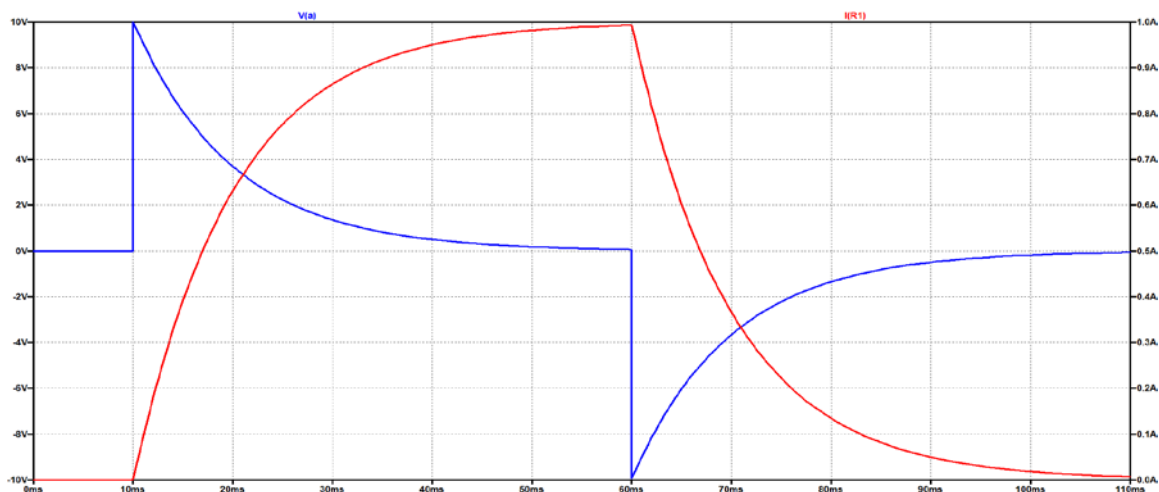
Vinitial[V]	Von[V]	Tdelay[s]	Trise[s]	Tfall[s]	Ton[s]	Tperiod[s]
0	10	10m	10n	10n	50m	110m

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > Transient < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.tran** platzieren.  
 Der Analysezeitraum beträgt 110 ms. [ $\tau = L / R = 10 \text{ ms}$ ]

### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktionen auswählen: V(a) = Spannung über der Spule  $U_L [\hat{=} u_L(t)]$  und:  
 I(R1) = Strom durch die Reihenschaltung bzw.  $I_L [\hat{=} i_L(t)]$



Im PROBE-Fenster werden jetzt beide Funktionen in einem Diagramm angezeigt:

- a) Spannungsverlauf  $U_L$  (linke y – Achse)
- b) Stromverlauf  $I_L$  (rechte y – Achse)

Link auf [LB 1.11](#)

## Laden und Entladen eines Kondensators

### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

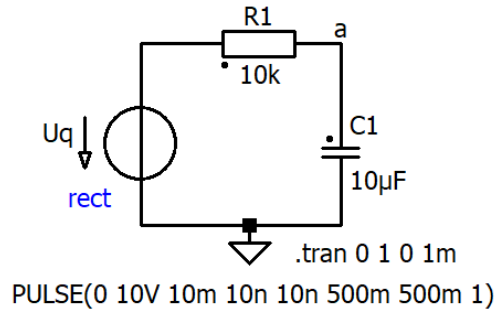
[...] volt\_Pfeil\_Ose als / Pulse /

[...] EuroRes\_Ose für R1

[...] cap\_Ose für C1

b) Ground setzen

c) Elemente verbinden



Die Quelle / Pulse / wird wie folgt eingestellt:

Vinitial[V]	Von[V]	Tdelay[s]	Trise[s]	Tfall[s]	Ton[s]	Tperiod[s]
0	10	10m	10n	10n	500m	500m

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > Transient < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.tran** platzieren.

Der Analysezeitraum beträgt 1 s.  $[\tau = R \cdot C = 100 \text{ ms}]$

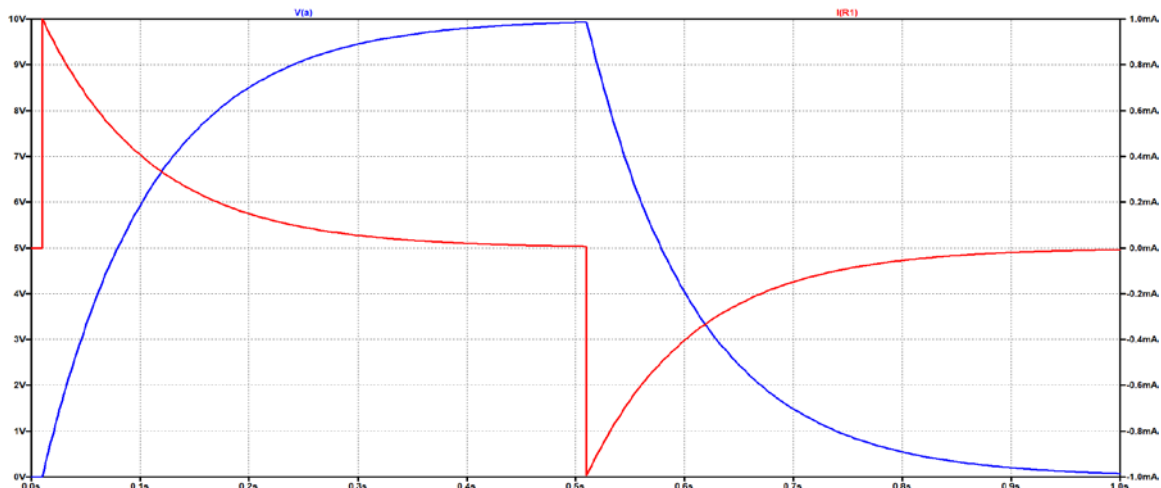
### 3) Simulation starten:



(über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)



- Funktionen auswählen: V(a) = Spannung über dem Kondensator  $U_C$  und:  
 I(R1) = Strom durch die Reihenschaltung bzw.  $I_C$



Im PROBE-Fenster werden jetzt beide Funktionen in einem Diagramm angezeigt:

a) Spannungsverlauf  $U_C$  (linke y – Achse)

b) Stromverlauf  $I_C$  (rechte y – Achse)

Link auf [K 1.4.1](#)

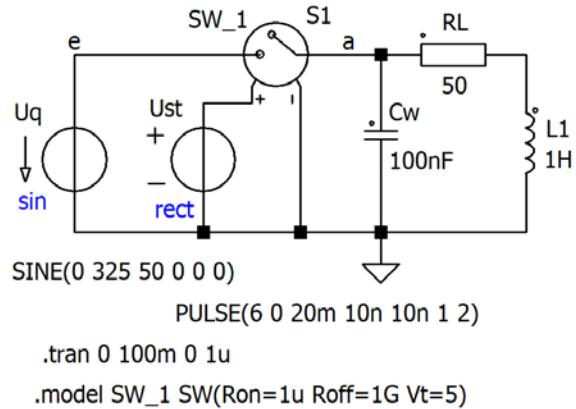
## Abschalten einer induktiven Last

### 1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

- [...] volt\_Pfeil\_Ose als / Sine / (Uq)
- [...] volt\_plus\_Ose als / Pulse / (Ust)
- [...] sw für SW\_1
- [...] cap\_Ose für Cw
- [...] EuroRes\_Ose für RL
- [...] ind\_Ose für L1

b) Ground setzen      c) Elemente verbinden



Die Quelle Uq liefert die Netzspannung  $\hat{U}_n = 325 \text{ V}$  ( $f_n = 50 \text{ Hz}$ ). Der Schalter SW\_1 ist geschlossen. Nach  $t_x = 20 \text{ ms}$  (eine Periode mit  $T_n$ ) öffnet der Schalter. Dieser Schaltzeitpunkt wird durch den Wert der Steuerspannung  $U_{st}$  (spannungsgesteuerter Schalter) bestimmt (vgl. Anlage). Im vorliegenden Fall schaltet er bei  $U_{st} = 5 \text{ V}$  ( $V_t=5$ ) von „Ein“ auf „Aus“. Die Quelle / Pulse / wird wie folgt eingestellt:

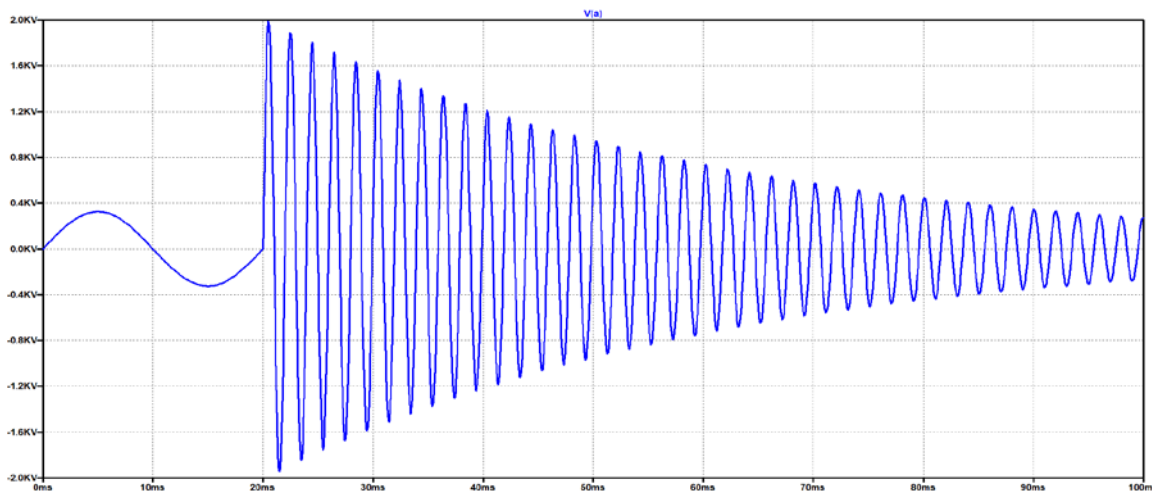
Vinitial[V]	Von[V]	Tdelay[s]	Trise[s]	Tfall[s]	Ton[s]	Tperiod[s]
6	0	20m	10n	10n	1	2

### 2) Analyseart einstellen:

- Analyse > Transient < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.tran** platzieren. Der Analysezeitraum beträgt = 100 ms. Das Schaltermodell muss über **.model** angemeldet werden:
- Anweisung **.model SW\_1 SW(Ron=1u Roff=1G Vt=5)** im Texteditor eingeben und platzieren.

### 3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktionen auswählen:      V(a)      = Spannung über der Last  $U_{Za}$



Link auf [LB 1.13](#)