



Probe zur Lösung der Berechnungsbeispiele BB_14.x:

Allgemeine Hinweise:

Im Vordergrund der Aufgabenstellungen der Berechnungsbeispiele zum Kap. 14 steht die Konstruktion von Zeigerbildern. Da die manuelle Konstruktion maßstäblicher Zeigerbilder in der Regel relativ aufwändig und ungenau ist, sollen dem Bearbeiter an dieser Stelle Hinweise zur PC-gestützten Konstruktion gegeben werden. Die bekannten Ungenauigkeiten einer grafischen Lösung kann man damit allerdings auch nicht vollständig beseitigen.

• **Konstruktion eines maßstäblichen Zeigerbildes mit WORD:**

- 1) Aktivieren Sie die Symbolleiste *Zeichnen* über die Menüfolge *Ansicht* → *Symbolleisten* mit einem Mausklick auf *Zeichnen* (✓).
- 2) Zeichnen Sie sich einen Zeiger mit einer beliebigen Länge phasengleich zur positiven reellen Achse.
- 3) Markieren Sie diesen Zeiger, stellen Sie die gewünschte Farbe ein (Linienfarbe) und wählen Sie die Pfeilart über die Menükarte > *AutoForm formatieren* < (rechte Maustaste oder Button > *Pfeilart* <).
- 4) Fügen Sie ein Textfeld ein, formatieren Sie dieses Textfeld nach Ihren Wünschen (Größe, Rahmen) und tragen Sie die für den Zeiger erforderliche Kennzeichnung ein.
- 5) Kopieren Sie den so beschrifteten Zeiger und fügen Sie ihn in der erforderlichen Anzahl der zu konstruierenden Zeiger auf Ihrer Arbeitsoberfläche ein.



6) Legen Sie nun die Länge jedes Zeigers (Betrag) und seine Richtung (Winkel) über einen der beiden Button > *Linienart* < oder > *Pfeilart* < bzw. über die Menükarte > *AutoForm formatieren* < fest. Dazu ist der jeweilige Zeiger zu markieren und unter > *Größe* < wie folgt einzustellen:

- ⇒ Kartesische Form: Breite = Maßstab * Re {Zeiger} und Höhe = Maßstab * Im {Zeiger}
 ⇒ Exponentialform: Breite = Maßstab * Betrag {Zeiger} und Drehung = - Winkel {Zeiger}

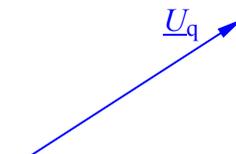
Beispiel: Maßstab = 1 V / cm



$\underline{U}_1 = 3\text{V} + j0$
 Breite = 3 cm



$\underline{U}_2 = 0 + j2\text{V}$
 Höhe = 2 cm



$\underline{U}_q = \sqrt{13}\text{V} \cdot e^{j33,7^\circ}$
 Breite = 3,6 cm und Drehung = - 34°

7) Nun fügen Sie die Zeiger gemäß schaltungstechnischer Topographie so aneinander, dass sich ein geschlossenes Gebilde ergibt, in dem entweder der Maschensatz oder der Knotenpunktsatz nach Vorbild der zu analysierenden Schaltung gilt.

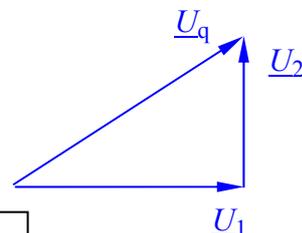


Bild 14.0: Beispiel für ein Zeigerbild

• **Überprüfung der Ergebnisse eines maßstäblichen Zeigerbildes mit PSPICE:**

Eine zusätzliche Simulation ausgewählter Schaltungen der LB 14.x und BB 14.x mit **PSPICE** soll eine weitere Kontrolle der angegebenen Lösungen ermöglichen. Der Bearbeiter der Berechnungsbeispiele erhält dabei Anregungen, die Beispiele (**nach** der Konstruktion des Zeigerbildes bzw. dem Durchrechnen) mit einer Simulation nachzuvollziehen.

Nutzen Sie dazu die Hinweise in den Proben zu den Berechnungsbeispielen des Kap. 15.

LB 14.1: Prinzipzeigerbild

Die hier angenommenen Zeigerrelationen stimmen nicht exakt mit den Zeigerrelationen im Lehrbuch überein (Prinzipzeigerbild).

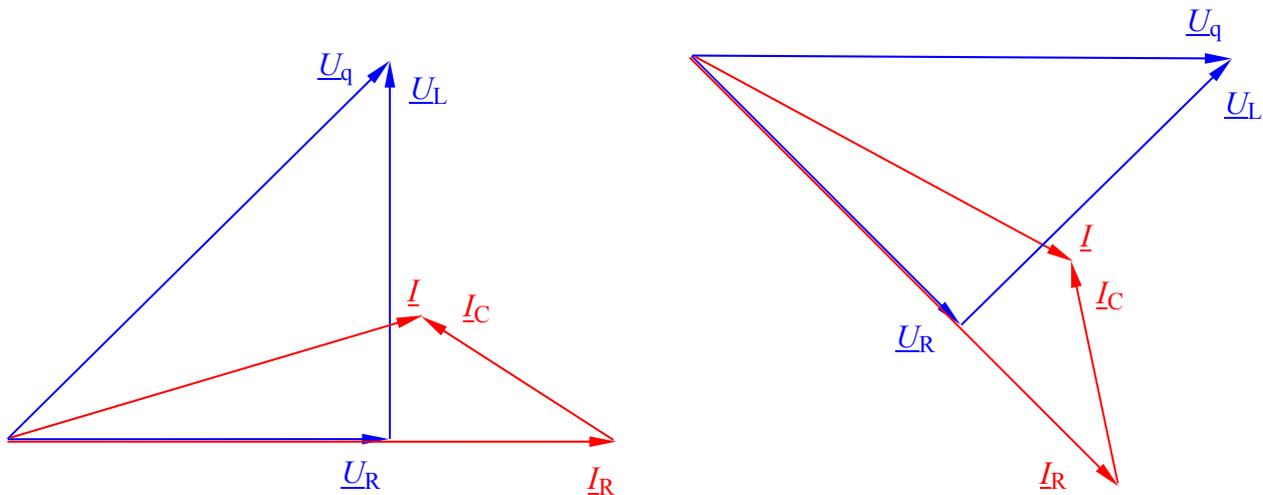


Bild LB 14.1: Prinzipzeigerbild zum LB 14.1
links: Bezugszeiger I_R

rechts: Bezugszeiger U_q

Das auf der linken Seite des Bildes LB 14.1 konstruierte Zeigerbild (Bezugszeiger I_R) kann in die Darstellung der rechten Seite des Bildes LB 14.1 (Bezugszeiger U_q) gewandelt werden. Dazu ist das Bild zu kopieren, einzufügen, zu gruppieren und um den Winkel φ_{U_q} (hier: 45°) nach rechts zu drehen. Vor dem Gruppieren müssen allerdings alle Textfelder entfernt werden.

LB 14.2: Maßstäbliches Spannungszeigerbild einer Brückenschaltung

Die im Lehrbuch berechneten Beträge der Spannungen sollen zunächst mit einer PSPICE-Simulation überprüft werden.

Dazu wird ein AC-Sweep mit einer festen Frequenz (z.B. $f = 1$ kHz) angewendet. Da mehr als drei Spannungsmesser benötigt werden, ist die Angabe der Werte im PROBE-Fenster unter > watch < unvollständig. Die restlichen Messwerte können aus dem Output-File abgelesen werden.

Auf die Messung der Spannung über R_2 wurde aus Übersichtsgründen verzichtet, da sie gleich der Spannung über R_1 ist.

Die Quellenspannung wurde mit einem Nullphasenwinkel von null angenommen. Das entspricht nicht der Konstruktion des Zeigerbildes im Lehrbuch, denn dort wurde $U_1 + U_2$ als Bezugszeiger gewählt.

Bild LB 14.2_1 zeigt die für diese Simulation verwendete Schaltung.

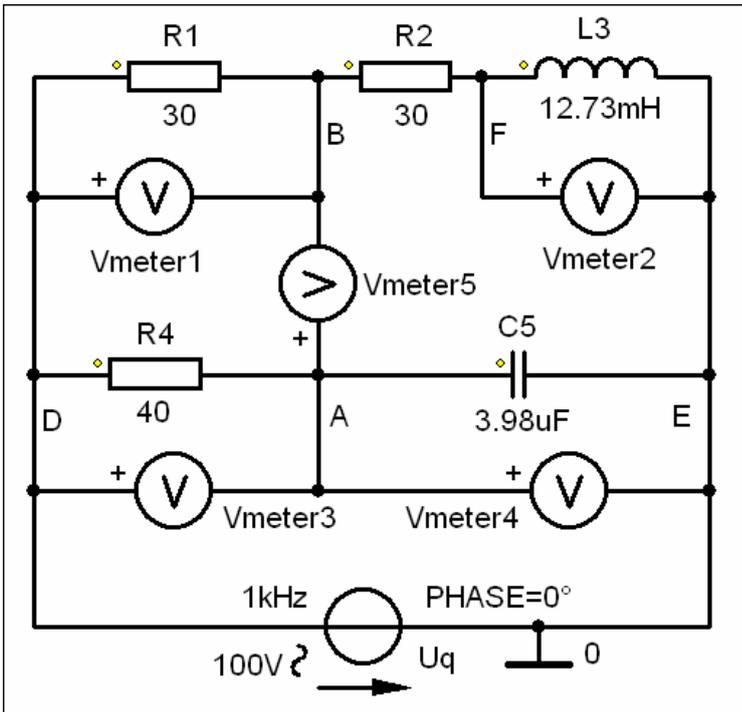


Bild LB 14.2_1: Simulationsschaltung zum LB 14.2

In der Tabelle LB 14.2 sind die Ergebnisse dieser Simulation aufgelistet.

Tabelle LB 14.2: Simulationsergebnisse zum LB 14.2

Output – File:			Bedeutung:
FREQ	VM(D,B)	VP(D,B)	\underline{U}_1
1.000E+03	3.000E+01	-5.312E+01	30 V ; $\angle -53^\circ$
FREQ	VM(F,0)	VP(F,0)	\underline{U}_3
1.000E+03	7.999E+01	3.688E+01	80 V ; $\angle +37^\circ$
FREQ	VM(D,A)	VP(D,A)	\underline{U}_4
1.000E+03	7.072E+01	4.499E+01	70,7 V ; $\angle +45^\circ$
FREQ	VM(A,0)	VP(A,0)	\underline{U}_5
1.000E+03	7.070E+01	-4.501E+01	70,7 V ; $\angle -45^\circ$
FREQ	VM(A,B)	VP(A,B)	\underline{U}_x
1.000E+03	8.063E+01	-1.134E+02	80,6 V ; $\angle -113^\circ$

Die im Lehrbeispiel 14.2 ermittelten Beträge der Spannungen stimmen mit den Simulationsergebnissen überein. Die Nullphasenwinkel können nicht mit den Winkeln des Zeigerbildes übereinstimmen, da bei der Simulation ein anderer Bezugszeiger verwendet wurde. Eine Ausnahme bildet der Zeiger \underline{U}_x . Seine Phasenlage wurde ja relativ zu \underline{U}_q ermittelt und stimmt somit mit den Konstruktionsergebnissen überein.

Nun wird das Zeigerbild konstruiert. Dabei werden vorerst die mit der PSPICE-Simulation ermittelten Nullphasenwinkel verwendet. Durch eine Drehung des fertigen Zeigerbildes um 53° nach links erhält der Zeiger \underline{U}_1 eine Phasenlage von 0° . Damit entsteht das im Lehrbuch konstruierte Zeigerbild.

Bild LB 14.2_2 zeigt auf der linken Seite das mit den Simulationsergebnissen konstruierte Zeigerbild. Auf der rechten Seite wurde dieses Zeigerbild um 53° gedreht. Es entsteht das im Lehrbuch konstruierte Zeigerbild mit $\underline{U}_1 + \underline{U}_2$ als Bezugszeiger. Maßstab: $1 \text{ cm} \hat{=} 10 \text{ V}$

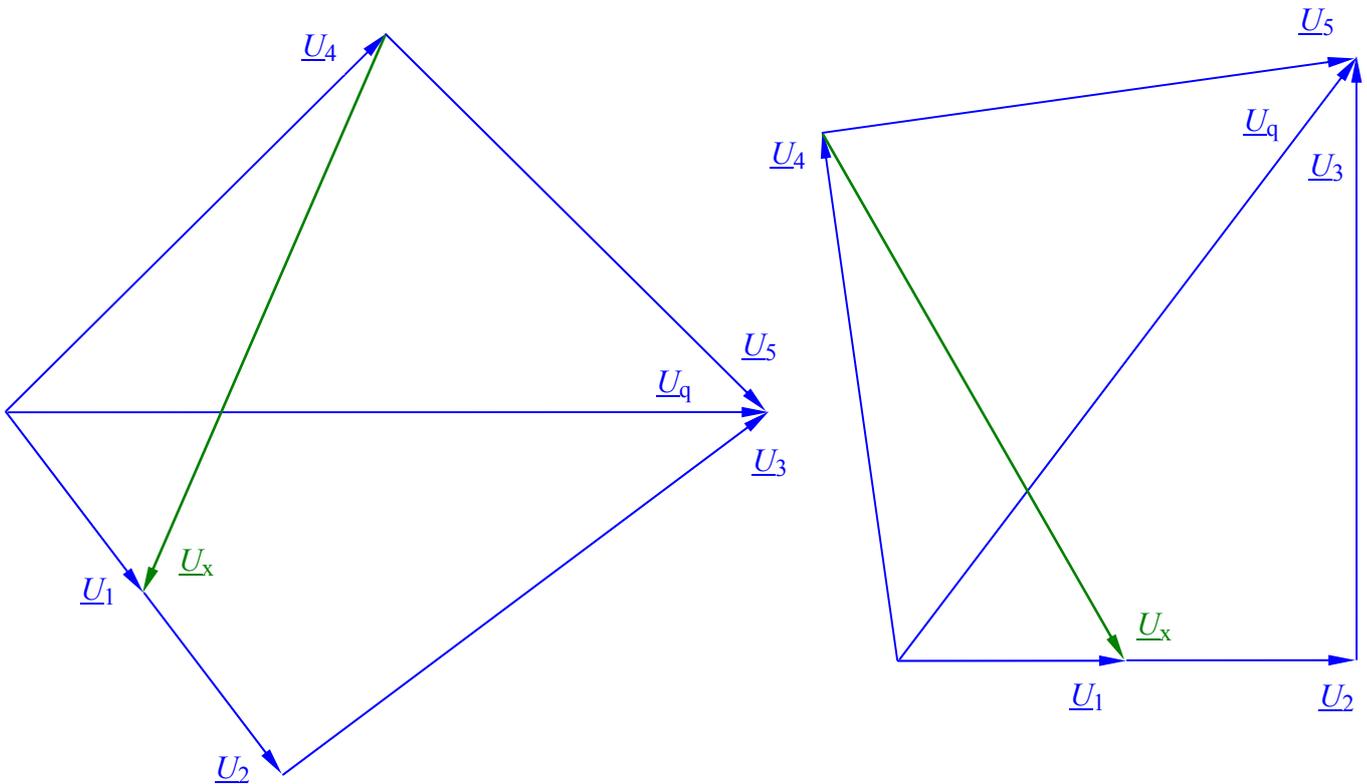


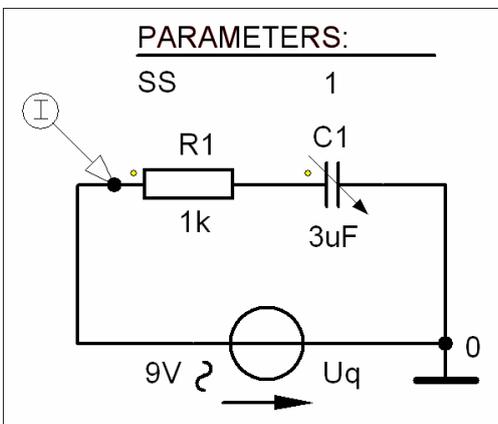
Bild LB 14.2_2: Zeigerbild zum Lehrbeispiel 14.2
links: Bezugszeiger \underline{U}_q

rechts: Bezugszeiger $\underline{U}_1 + \underline{U}_2$

BB 14.1: Messung der Kapazität eines Kondensators

• **Erweiterte Aufgabenstellung:**

In der Schaltung des Berechnungsbeispiels 14.1 ist der Kapazitätswert des Kondensators so zu variieren, dass der Betrag des Gesamtstromes im Vergleich zum kurzgeschlossenen Kondensator auf ein Drittel abfällt.



Um möglichst einfache Zahlenwerte zu erhalten, wird der Betrag der Quellenspannung auf $U_q = 9 \text{ V}$ festgelegt. Bei kurzgeschlossenem Kondensator fließt dann ein Gesamtstrom (Betrag) von $I_{\text{ges}} = U_q / R_1 = 9 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 9 \text{ mA}$.

Bild BB 14.1_1: Simulationsschaltung zum BB 14.1

Zur Variation der Kapazität wird der Kondensator C_var verwendet. Sein jeweiliger Kapazitätswert ergibt sich aus: VALUE * SET. SET beschreibt in diesem Fall die „Schleiferstellung“ (Analogie zum Potentiometer POT) und wird in der PartName-Liste mit der Variablen {SS} angegeben.

Die erweiterte Aufgabenstellung ist erfüllt, wenn der Betrag des Gesamtstromes einen Wert von 3 mA erreicht. Zur Darstellung der Veränderung des Stromes bei Variation des Kapazitätswertes wird die Kombination eines AC-Sweeps mit einer festen Frequenz (hier: $f = 50 \text{ Hz}$) mit einem Parametric-Sweep eingesetzt. Bei der Auswertung des im PROBE-Fenster angezeigten Funktionsverlaufes ist zu beachten, dass der GLOBAL PARAMETER SS in der Regel einen Bereich von $0 \leq SS \leq 1$ durchläuft. Der Anfangswert der Kapazität ist demzufolge gleich null. Damit nimmt der Betrag des Imaginärteils des komplexen Widerstandes (kapazitiver Blindwiderstand) einen unendlich großen Wert an und der Betrag des Stromes wird null. Erst bei sehr großen Kapazitätswerten nähert man sich an den in der Aufgabenstellung genannten Fall des kurzgeschlossenen Kondensators an (siehe Bild BB 14.1_2).

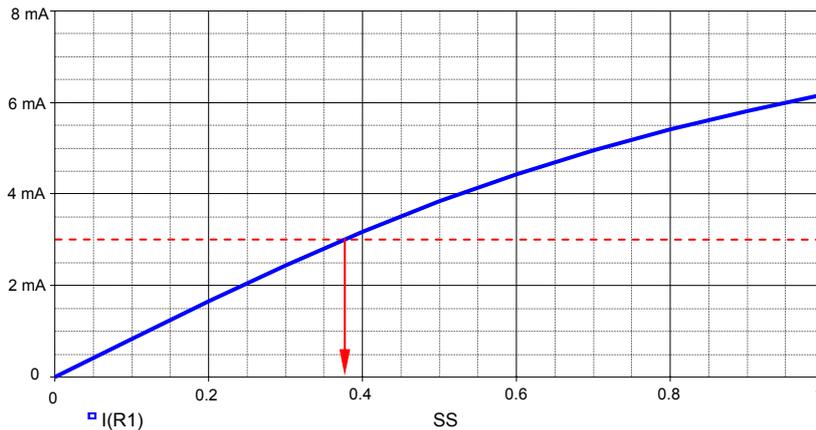


Bild BB 14.1_2: Verlauf des Gesamtstromes bei Variation des Kapazitätswertes im BB 14.1

Mit dem Cursor des PROBE-Fensters ermittelt man einen Wert $SS = 0,375$ für $I_{ges} = 3 \text{ mA}$. Das entspricht einem Kapazitätswert von $C_x = SS \cdot C_0 = 0,376 \cdot 3 \text{ }\mu\text{F} = 1,128 \text{ }\mu\text{F}$.

BB 14.2: Einstellung eines definierten Phasenwinkels

• **Erweiterte Aufgabenstellung:**

Bei welcher Frequenz erzeugt die Schaltung des Berechnungsbeispiels 14.2 einen Phasenwinkel von $\varphi = \varphi_u - \varphi_i = + 60^\circ$?

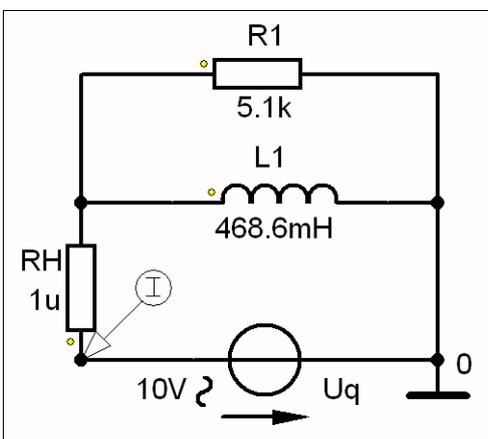


Bild BB 14.2_1: Simulationsschaltung zum BB 14.2

Zur Lösung dieser erweiterten Aufgabenstellung wird ein AC-Sweep im Bereich $50 \text{ Hz} \leq f \leq 5 \text{ kHz}$ eingesetzt. Der Hilfswiderstand R_H ist erforderlich, da keine idealen Induktivitäten zu einer Quelle parallel geschaltet werden dürfen.

Im Ergebnis dieser Simulation wird zunächst der Amplitudenfrequenzgang des Stromes im PROBE-Fenster dargestellt. Dieser Frequenzgang kann mit der Funktion P() in der Trace-Expression-Zeile in einen Phasenfrequenzgang gewandelt werden (siehe grüner Verlauf im Bild BB 14.2_2). Durch einen zusätzlichen Aufruf des Phasenfrequenzganges der Gesamtspannung (hier: $\varphi = 0^\circ = \text{const.}$; siehe blauer Verlauf im Bild BB 14.2_2) kann man den Phasenwinkel aus der Differenz der beiden Nullphasenwinkel bestimmen. Diese Differenz kann natürlich auch direkt in die Trace-Expression-Zeile eingeben werden. Dann erhält man die Darstellung des Bildes BB 14.2_3.

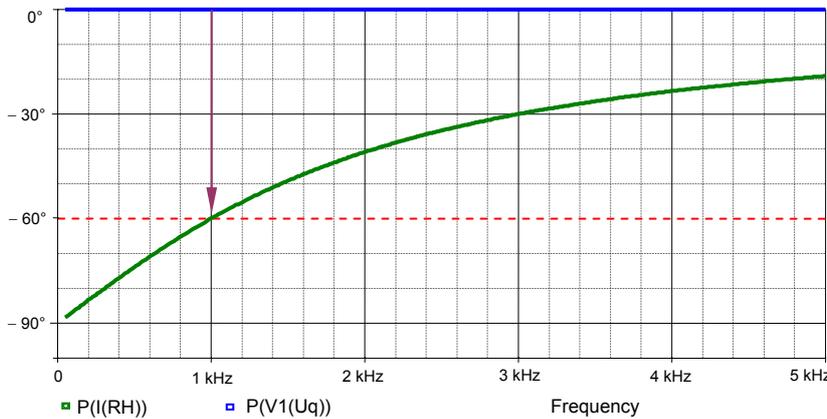


Bild BB 14.2_2: Phasenfrequenzgänge der Nullphasenwinkel im BB 14.2

Der Phasenwinkel erreicht bei einer Frequenz von $f = 1 \text{ kHz}$ (das entspricht der Aufgabenstellung des BB 14.2) einen Wert von $\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0^\circ - (-60^\circ) = +60^\circ$.

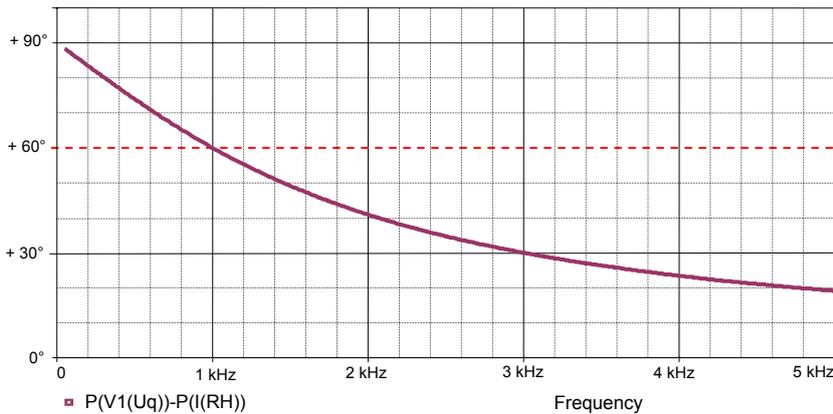


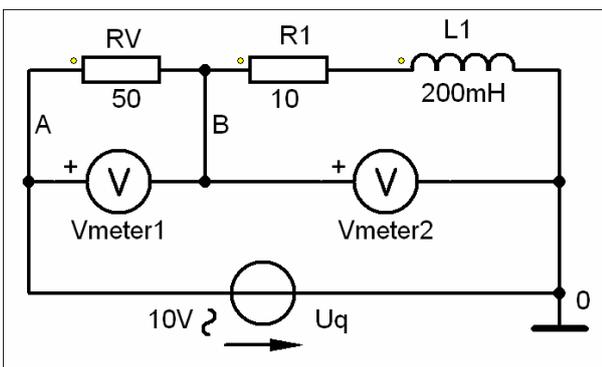
Bild BB 14.2_3: Phasenfrequenzgang des Phasenwinkels im BB 14.2

BB 14.3: Güte einer realen Spule

• **Erweiterte Aufgabenstellung:**

Konstruieren Sie für die Schaltung des Berechnungsbeispiels 14.3 das maßstäbliche Zeigerbild und bestimmen Sie daraus die Güte der Spule.

Geg.: $R_V = 50 \Omega$; $R_L = 10 \Omega$; $L = 200 \text{ mH}$



Zunächst werden die im BB 14.3 genannten Messwerte mit zwei Spannungsmessungen über eine PSPICE-Simulation bestimmt. Da die Spannung $|\underline{U}_{\text{ges}}|$ infolge der Verwendung einer idealen Quelle VSIN mit $U_q = 10 \text{ V}$ bereits bekannt ist, entfällt diese Messung.

Bild BB 14.3_1: Simulationsschaltung zum BB 14.3

In der Tabelle BB 14.3 sind die Messwerte dieser Simulation für $f= 50$ Hz aufgelistet.

Tabelle BB 14.3: Simulationsergebnisse zum BB 14.3

Output – File:			Bedeutung:
FREQ	VM(A,B)	VP(A,B)	\underline{U}_V
5.000E+01	5.755E+00	-4.632E+01	5,76 V ; $\angle -46^\circ$
FREQ	VM(B,0)	VP(B,0)	\underline{U}_{Spule}
5.000E+01	7.323E+00	3.464E+01	7,32 V ; $\angle +35^\circ$

Bild BB 14.3_2 zeigt auf der linken Seite das mit diesen Werten konstruierte Zeigerbild mit \underline{U}_q als Bezugszeiger im Maßstab: 1 cm $\hat{=}$ 1 V .

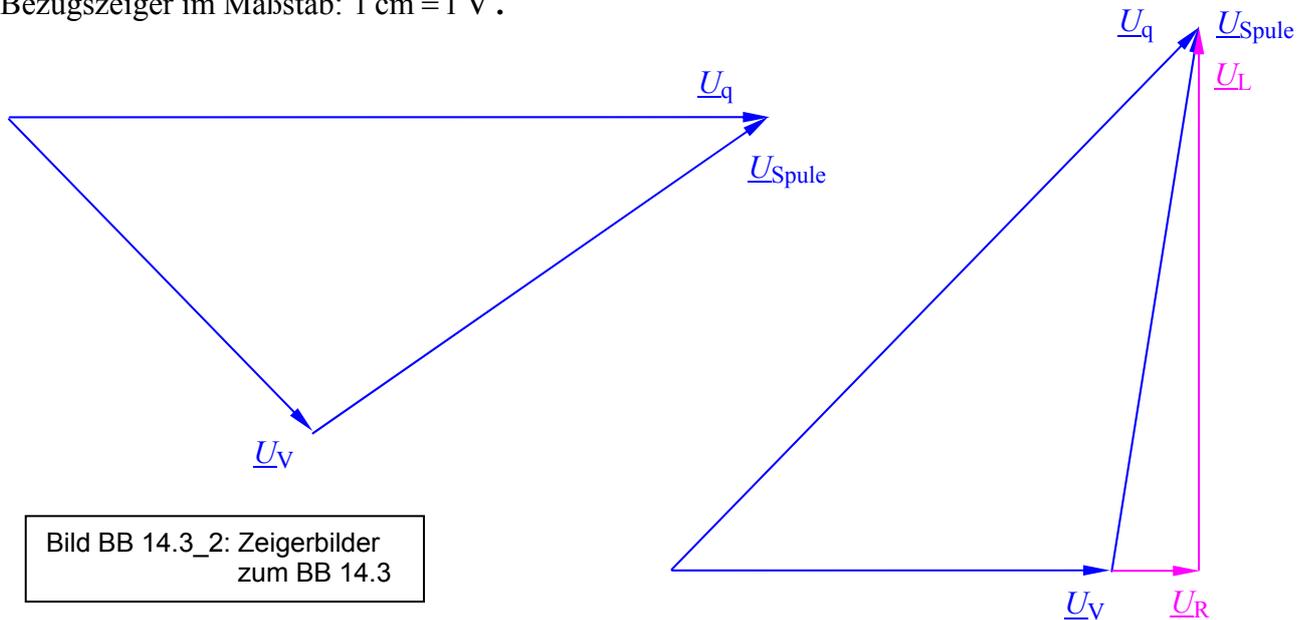


Bild BB 14.3_2: Zeigerbilder zum BB 14.3

Durch eine Drehung um 46° nach links entsteht das Zeigerbild des BB 14.3 mit \underline{U}_V als Bezugszeiger (siehe rechte Seite des Bildes BB 14.3_2). Das zusätzlich eingezeichnete pinkfarbige Dreieck repräsentiert die Eigenschaften der realen Spule.

Aus dem Zeigerbild wird abgelesen: $|\underline{U}_R| = 1,15 \text{ V} \hat{=} 1,15 \text{ cm}$ $|\underline{U}_L| = 7,19 \text{ V} \hat{=} 7,19 \text{ cm}$

Daraus folgt für die Güte der Spule: $Q_L = \frac{1}{d_L} = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{|\underline{U}_L|}{|\underline{U}_R|} = \frac{7,19 \text{ V}}{1,15 \text{ V}} = 6,25$

Setzt man die Messwerte der PSPICE-Simulation in die resultierende Gleichung des BB 14.3 ein, erhält man:

$$Q_L = \sqrt{\frac{U_{Spule}^2 \cdot 4U_V^2}{(U_{ges}^2 - U_V^2 - U_{Spule}^2)^2}} - 1 = \sqrt{\frac{7,32^2 \cdot 4 \cdot 5,76^2}{(10^2 - 5,76^2 - 7,32^2)^2}} - 1 = 6,29$$

Dieses Ergebnis hätte man auch aus den gegebenen Werten der erweiterten Aufgabenstellung mit Gleich. (14.7) in Verbindung mit Bild 14.9.b) ermitteln können. Das war aber nicht das Ziel dieses Berechnungsbeispiels.

$$Q_L = \frac{1}{d_L} = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{\omega L}{R_L} = \frac{62,8 \Omega}{10 \Omega} = 6,28$$