2. Klausur
Grundlagen der Elektrotechnik I-A
22. Februar 2005

Name: ....

Vorname: ....

Matr.-Nr.: ....

Bearbeitungszeit: 135 Minuten

- Trennen Sie den Aufgabensatz **nicht** auf.
- Benutzen Sie für die Lösung der Aufgaben **nur** das mit diesem Deckblatt ausgeteilte Papier. **Lösungen, die auf anderem Papier geschrieben werden, können nicht gewertet werden.** Weiteres Papier kann bei den Tutoren angefordert werden.
- **Notieren Sie bei der Aufgabe einen Hinweis, wenn die Lösung auf einem Extrablatt fortgesetzt wird**
- **Schreiben Sie deutlich!** Doppelte, unleserliche oder mehrdeutige Lösungen können nicht gewertet werden.
- Schreiben Sie **nicht** mit Bleistift!
- Schreiben Sie nur in **blau** oder **schwarz**!

1. Aufgabe (5 Punkte): Allgemeine Fragen

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen:

1.1. Mittelwert (0,5 Punkte)

Geben Sie die Gleichung für den arithmetischen Mittelwert Stromes $i(t)$ an.

Lösung:

$$\overline{I} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)\ dt$$

1.2. Formfaktor (0,5 Punkte)

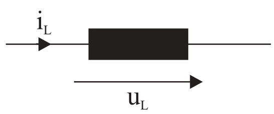
Geben Sie die Definition des Formfaktors f an.

Lösung:

$$f = \frac{Effektivwert}{Gleichrichtmittelwert}$$

1.3. Induktivität (0,5 Punkte)

Geben Sie die Formel für die Beziehung von Strom und Spannung an einer Induktivität an.



Lösung:

$$u_L = L \cdot \frac{d}{dt} i_L$$

oder auch

$$\underline{U}_L = j\omega L \cdot \underline{I}_L$$

1.4. Wirkleistung (0,5 Punkte)

Geben Sie die Gleichung für die Wirkleistung P_w an einer beliebigen Last aus den Effektivwerten U_{eff} und I_{eff} und der Phasenverschiebung φ (zwischen U_{eff} und I_{eff}) an.

Lösung:

$$P_w = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot cos(\varphi)$$

1.5. Zeigerdarstellung (1 Punkt)

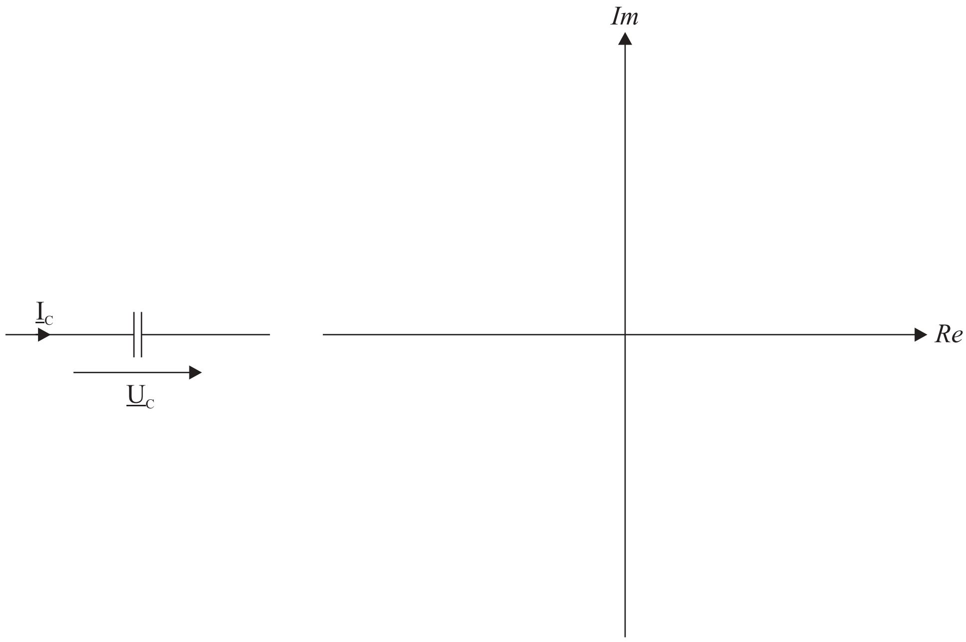
Nennen Sie die **vier** Voraussetzungen für die Zeigerdarstellung elektrischer Größen.

Lösung:

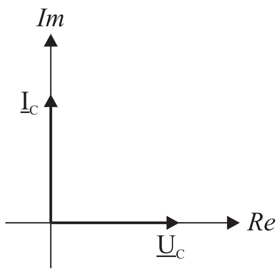
- *Alle Größen (Ströme und Spannungen) sind harmonische Größen*
- *. . . haben eine konstante Frequenz f*
- *Es werden lineare Bauelemente (R, C und L) verwendet.*
- *Es liegt ein „krass“ eingeschwungener Zustand vor.*

1.6. Zeiger am Kondensator (0,5 Punkte)

Zeichnen Sie die Zeiger für Strom und Spannung am Kondensator für $\underline{U}_C = U \cdot e^{j0^\circ}$ in die komplexe Ebene ein.

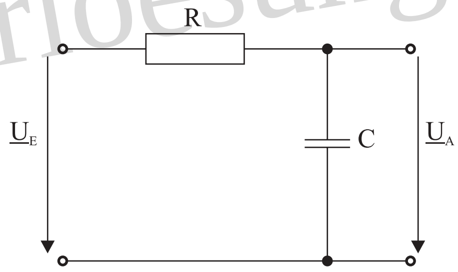


Lösung:



1.7. Übertragungsfunktion (0,5 Punkte)

Geben Sie die Formel für die Übertragungsfunktion $\underline{v} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{U}_E}$ eines R-C-Tiefpasses an.



Lösung:

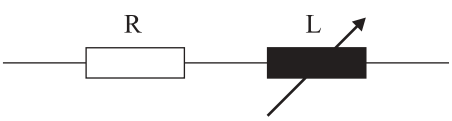
$$\underline{v} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

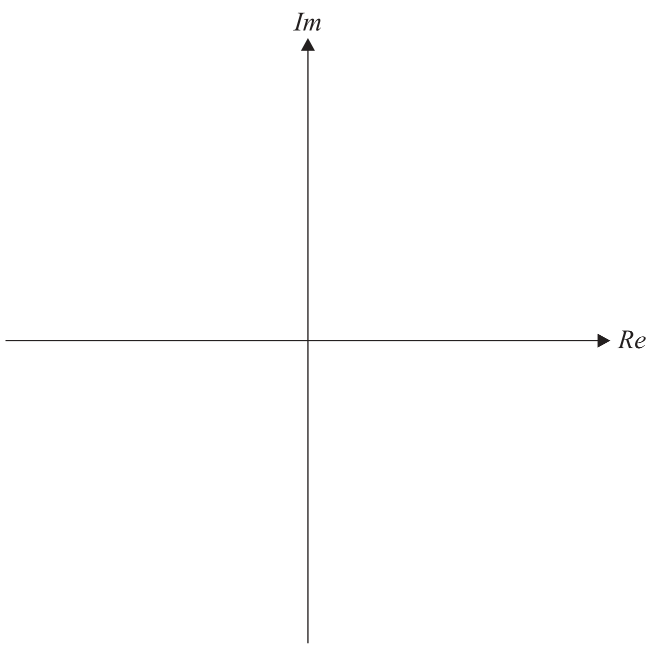
oder mit $\tau = R \cdot C$

$$\underline{v} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

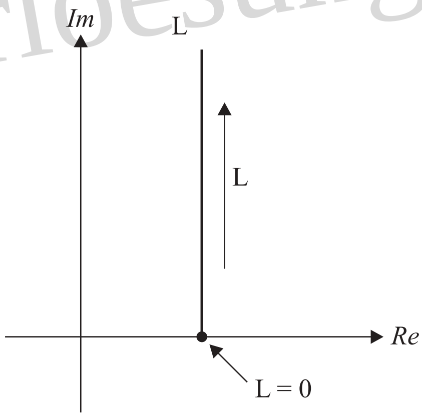
1.8. Ortskurve (0,5 Punkte)

Zeichnen Sie die Ortskurve des komplexen Widerstandes bei fester Frequenz $\omega = const.$ und veränderlicher Induktivität L. Kennzeichnen Sie $L = 0$ und $L \to \infty$.





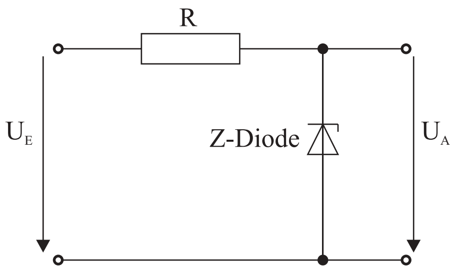
Lösung:



1.9. Z-Diode (0,5 Punkte)

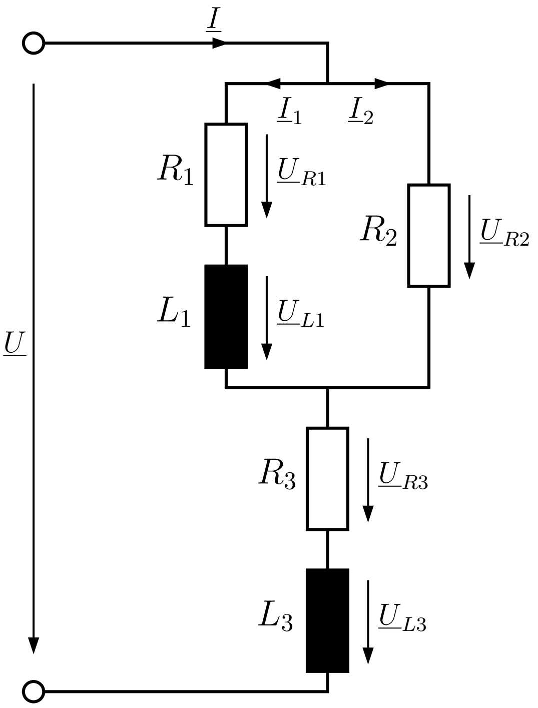
Zeichnen Sie eine Stabilisierungsschaltung mit einer Z-Diode. Kennzeichnen Sie die Eingangsspannung U_E und die Ausgangsspannung U_A.

Lösung:



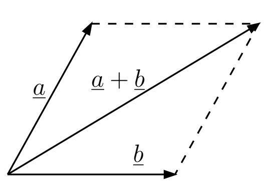
2. Aufgabe (5 Punkte): Zeigerdiagramm

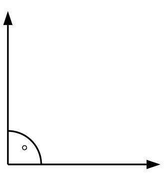
In der Messtechnik sind oft Schaltungen erforderlich, die zwei um $90°$ phasenverschobene Signale liefern. Die folgende Abbildung zeigt eine derartige Schaltung, die sog. Hummelschaltung.



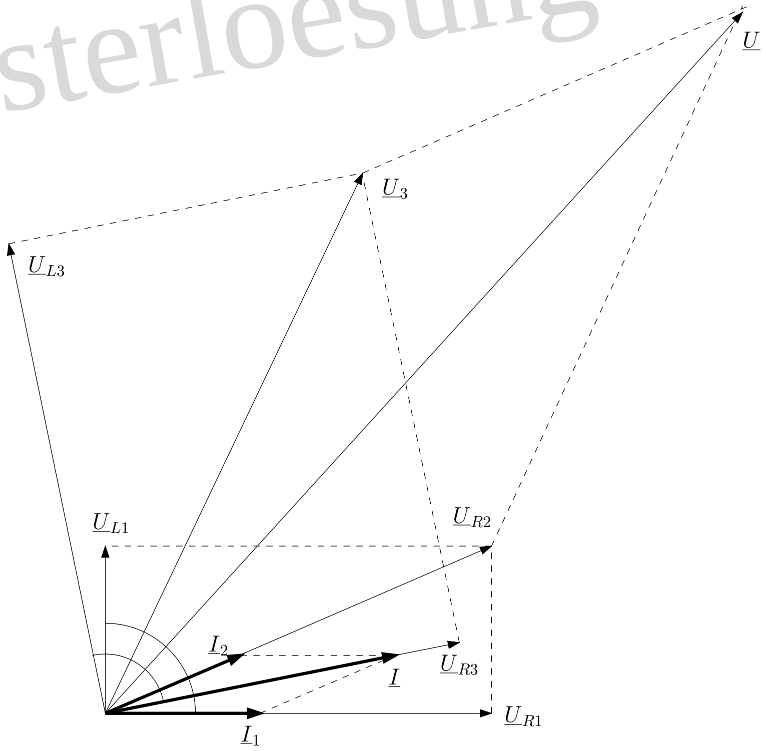
2.1. Qualitatives Zeigerdiagramm (2,0 Punkte)

Zeichnen Sie das qualitative Zeigerdiagramm aller Ströme und Spannungen des Netzwerks.
Rechte Winkel sind **klar** zu kennzeichnen!
Wählen Sie die Spannungen **betragsmäßig größer** als Ströme!
Verdeutlichen Sie die grafische Addition der Zeiger wie unten gezeigt!
Die Zeichnungen sollen nicht zu klein sein!





Lösung:


$\underline{U}$
$\underline{U}_3$
$\underline{U}_{L3}$
$\underline{U}_{L1}$
$\underline{U}_{R2}$
$\underline{I}_2$
$\underline{U}_{R3}$
$\underline{I}$
$\underline{U}_{R1}$
$\underline{I}_1$

Zeigerdiagramm

2.2. Strom-Spannungsverhältnis (2 Punkte)

Geben Sie den Ausdruck für das Verhältnis $\frac{\underline{U}}{\underline{I}_1}$ in Komponentenform an:

$$\frac{\underline{U}}{\underline{I}_1} = A + jB$$

Lösung:

$$\underline{U} = \underline{I} \cdot (R_2 \parallel (R_1 + j\omega L_1) + R_3 + j\omega L_3) \tag{1}$$

$$\underline{U} = \underline{I} \cdot (\frac{R_2 \cdot (R_1 + j\omega L_1)}{R_2 + R_1 + j\omega L_1} + R_3 + j\omega L_3) \tag{2}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I} \cdot (\frac{R_2}{R_2 + R_1 + j\omega L_1}) \qquad \textit{Stromteiler} \tag{3}$$

$$\frac{\underline{U}}{\underline{I}_1} = R_1 + j\omega L_1 + (R_3 + j\omega L_3) \cdot \frac{R_2 + R_1 + j\omega L_1}{R_2} \qquad \textit{1 Punkt} \tag{4}$$

$$= R_1 + R_3 + \frac{R_3 R_1}{R_2} - \frac{\omega^2 L_1 L_3}{R_2} + j\omega(L_1 + L_3 + \frac{L_3 R_1}{R_2} + \frac{L_1 R_3}{R_2}) \tag{5}$$

$$= \frac{R_1 R_2 + R_3 R_2 + R_3 R_1 - \omega^2 L_1 L_3}{R_2} + j\omega \frac{L_1 R_2 + L_3 R_2 + L_3 R_1 + L_1 R_3}{R_2} \qquad \textit{je 0,5 Punkte} \tag{6}$$

2.3. Phasenverschiebung (1 Punkt)

Unter welcher Bedingung besteht zwischen der Spannung $\underline{U}$ und dem Strom $\underline{I}_1$ ein Phasenwinkel von $90°$? Geben Sie in diesem Fall den Ausdruck für den Widerstand R_2 an.

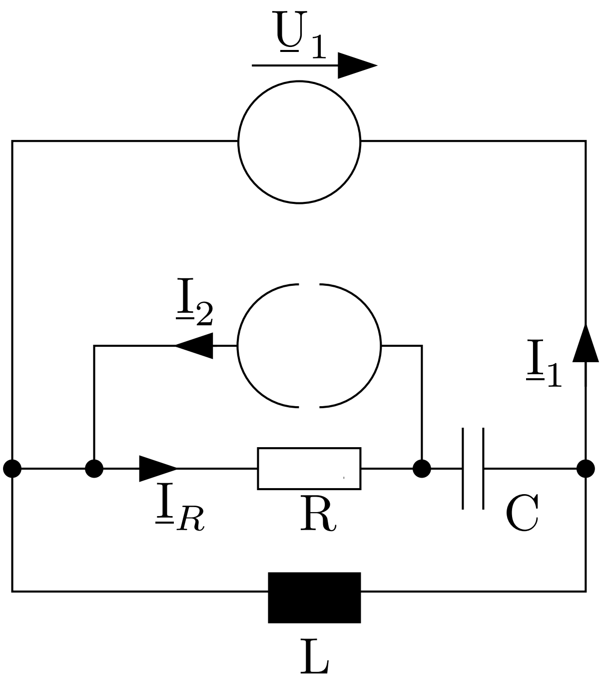
Lösung:

$$\varphi = 90° \rightarrow Re\{\frac{\underline{U}}{\underline{I}_1}\} = 0 \qquad \textit{0,5 Punkte} \tag{7}$$

$$R_2 = \frac{\omega^2 L_1 L_3 - R_3 R_1}{R_1 + R_3} \qquad \textit{0,5 Punkte} \tag{8}$$

3. Aufgabe (5 Punkte): Komplexe Superposition

Gegeben ist das folgende Netzwerk:



Gegeben:
$C = \frac{1}{6} \cdot 10^{-2} F$
$L = 3.83 \cdot 10^{-3} H$
$R = \frac{3}{2} \Omega$
$\omega = 2\pi f = 300 \frac{1}{s}$
$\underline{U}_1 = konstant \neq 0$
Hinweis: Diese Aufgabe kann rechnerisch oder grafisch ($1V \hat{=} 1cm, 1A \hat{=} 1cm$) gelöst werden.

3.1. Strom $\underline{I}_1$ (2.5 Punkte)

Es werden die Ströme $\underline{I}_R = 2Ae^{j20°}$ und $\underline{I}_2 = 0A$ gemessen. Ermitteln Sie den Strom $\underline{I}_1$.

Lösung:

$$\underline{U}_R = \underline{I}_R R \qquad (= 3Ve^{j20}) \tag{9}$$

$$\underline{U}_C = \underline{I}_R \frac{1}{jwC} \qquad (= 4Ve^{-j70}) \tag{10}$$

$$\underline{U}_L = \underline{U}_R + \underline{U}_c = \underline{I}_R (R + \frac{1}{jwC}) \qquad (= 5Ve^{-j33.13}) \tag{11}$$

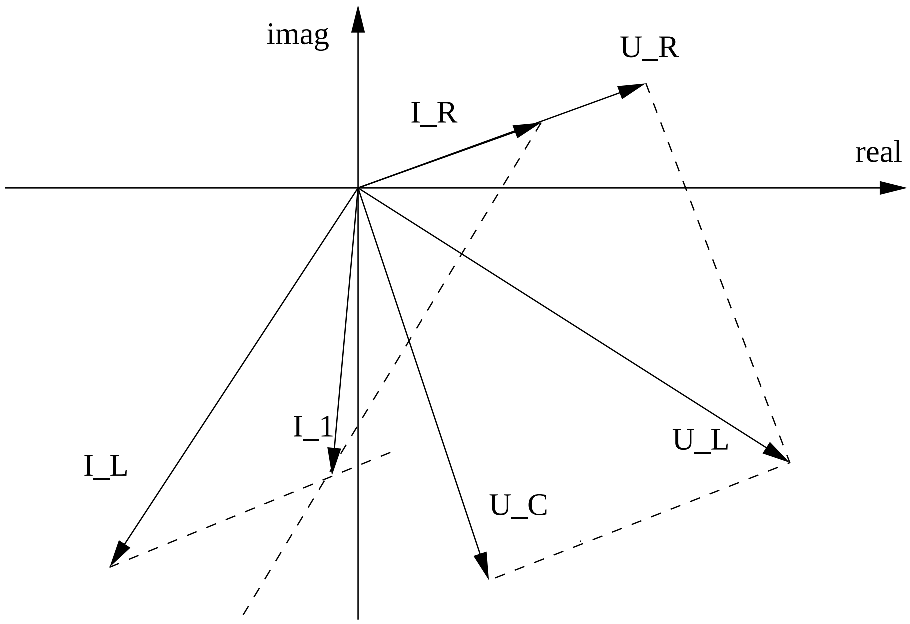
$$\underline{I}_L = \frac{\underline{U}_L}{jwL} = \frac{\underline{I}_R}{jwL}(R + \frac{1}{jwC}) \qquad (= 4.35Ae^{-j123.13}) \tag{12}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_L + \underline{I}_R = \underline{I}_R [1 + \frac{1}{jwL}(R + \frac{1}{jwC})] \tag{13}$$

$$\underline{I}_1 = 2Ae^{j20°}[1 + \frac{1}{j3003.8310^{-3}}(\frac{3}{2} + \frac{1}{jw\frac{1}{6}10^{-2}})] = 3Ae^{-j99.57°}$$

Alternativ kann die Aufgabe auch graphisch gelöst werden:

1. *$\underline{I}_R$ einzeichnen*
2. *$\underline{U}_R = R\underline{I}_R = \frac{3}{2}\Omega 2A = 3V$ einzeichnen*
3. *$\underline{U}_C = \frac{1}{wC}\underline{I}_R = \frac{1}{0.5}2V = 4V$ einzeichnen*
4. *$\underline{U}_R$ und $\underline{U}_C$ vektoriell zu $\underline{U}_L$ addieren und $U_L = 5V$ ablesen*
5. *$I_L = \frac{U_L}{wL} = \frac{5}{1.149}A = 4.35A$ einzeichnen*
6. *$\underline{I}_R$ und $\underline{I}_L$ vektoriell zu $\underline{I}_1$ addieren und $\underline{I}_1 = 3Ae^{j100}$ ablesen*



(14)

3.2. Strom $\underline{\mathbf{I}}_2$ (2.5 Punkte)

Der Strom $\underline{I}_2$ ist nun $\neq 0$. Der Strom $\underline{I}_R$ beträgt $5Ae^{j69.6°}$. Ermitteln Sie den Strom $\underline{I}_2$.

Lösung:

Superpositionsprinzip: Jede Quelle, sowohl Quelle $\underline{U}_1$ als auch Quelle $\underline{I}_2$ erzeugen einen Anteil am Strom $\underline{I}_R$:

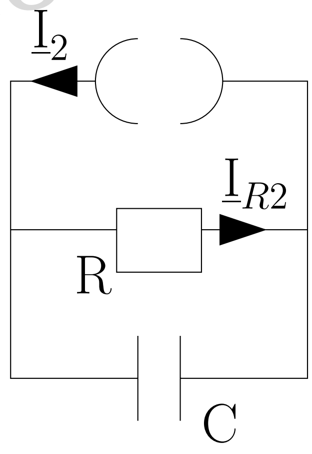
$$\underline{I}_R = \underline{I}_{R1} + \underline{I}_{R_2} \tag{15}$$

$\underline{I}_{R1}$ ist durch Aufgabenteil 1) bereits gegeben, denn dort war ja die Stromquelle bereits ***entfernt****:*
$\underline{I}_{R_1} = 2Ae^{j20}$
Aus Gleichung (15) läßt sich nun der Anteil $\underline{I}_{R2}$ ermitteln, der durch die Stromquelle hervorgerufen wird:

$$\underline{I}_{R2} = \underline{I}_R - \underline{I}_{R1} = 5Ae^{j69.6} - 2Ae^{j20} = 4Ae^{91.95} \tag{16}$$

Der Anteil der Stromquelle $\underline{I}_2$ an $\underline{I}_{R_2}$ ist nun bekannt. Um auf $\underline{I}_2$ zu kommen, ist die Stromteilerregel auf das Teilnetzwerk mit kurzgeschlossener Spannungsquelle anzuwen-

den:



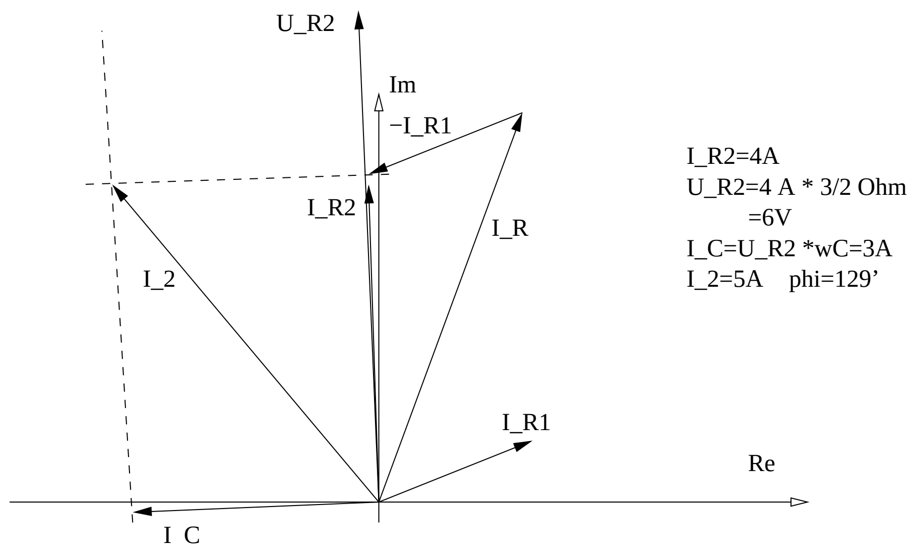
(17)

$$\frac{\underline{I}_{R2}}{\underline{I}_2} = \frac{\frac{1}{jwC}}{R + \frac{1}{jwC}} = \frac{1}{jwRC + 1} \tag{18}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{R2}(jwRC + 1) \tag{19}$$

$$\underline{I}_2 = 4Ae^{j91.95}(j300\frac{3}{2}\frac{1}{6} \cdot 10^{-2} + 1) = 5Ae^{j128.82}$$

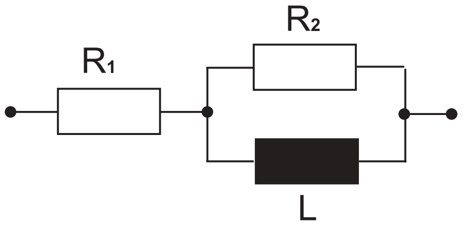
Grafische Loesung:



(20)

4. Aufgabe (5 Punkte): Ortskurve

Gegeben ist die folgende Schaltung



$R_1 = 50\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $L = 1mH$

4.1. Impedanz einer Parallelschaltung (2 Punkte)

Bestimmen Sie allgemein die Impedanz $\underline{Z}(\omega)$. Berechnen Sie den komplexen Widerstand für die Frequenz $\omega_1 = 10^5 s^{-1}$ in der Form $\underline{Z} = A + jB$. Welcher Wert ergibt sich für den Grenzübergang $\omega \rightarrow \infty$.

Lösung:

$$\underline{Z}(\omega) = R_1 + (Z_L \| R_2)$$

$$\underline{Z}(\omega) = R_1 + \frac{j\omega L \cdot R_2}{R_2 + j\omega L} \qquad \textit{0.5 Punkte}$$

$$\underline{Z}(\omega) = R_1 + \frac{j\omega L \cdot R_2}{R_2 + j\omega L} \cdot \frac{R_2 - j\omega L}{R_2 - j\omega L}$$

$$\underline{Z}(\omega) = R_1 + \frac{jR_2{}^2 j\omega L + R_2(\omega L)^2}{R_2{}^2 - j\omega L R_2 + j\omega L R_2 + (\omega L)^2}$$

$$\underline{Z}(\omega) = R_1 + \frac{R_2(\omega L)^2}{R_2{}^2 + (\omega L)^2} + j\frac{R_2{}^2 \omega L}{R_2{}^2 + (\omega L)^2}$$

$$\Re(\underline{Z}) = R_1 + \frac{R_2(\omega L)^2}{R_2{}^2 + (\omega L)^2}$$

$$\Re(\underline{Z}) = 50\Omega + \frac{100\Omega(10^5 s^{-1} \cdot 10^{-3})^2}{(100\Omega)^2 + (10^5 s^{-1} \cdot 10^{-3})^2} = 100\Omega \qquad \textit{0.5 Punkte}$$

$$\Im(\underline{Z}) = j\frac{R_2{}^2 \omega L}{R_2{}^2 + (\omega L)^2}$$

$$\Im(\underline{Z}) = j\frac{(100\Omega)^2(10^5 s^{-1} \cdot 10^{-3})}{(100\Omega)^2 + (10^5 s^{-1} \cdot 10^{-3})^2} = j50\Omega \qquad \textit{0.5 Punkte}$$

$$\underline{Z}(\omega_1) = 100\Omega + j \cdot 50\Omega$$

$$\underline{Z}(\omega \rightarrow \infty) = R_1 + R_2 = 150\Omega \qquad \textit{0.5 Punkte}$$

Bewertung : (0.5 Punkte) für Ansatzformel, (0.5 Punkte) für $Re(\underline{Z})$, (0.5 Punkte) für $Im(\underline{Z})$, (0.5 Punkte) für $\underline{Z}(\omega \rightarrow \infty)$

4.2. Ortskurve von $\underline{Z}$ (2 Punkte)

Zeichnen Sie quantitativ die Ortskurve von $\underline{Z}(\omega)$ und kennzeichnen Sie die Punkte $\underline{Z}(\omega = 0)$, $\underline{Z}(\omega_1)$ und $\underline{Z}(\omega \rightarrow \infty)$. Achsenbeschriftungen nicht vergessen !

Lösung:

s. Zeichnung Punkteverteilung : (0.5 Punkte) für die $\underline{Z}(\omega)$ Ortskurve und jeweils (0.5 Punkte) für die Kennzeichnung der drei Punkte $\underline{Z}(\omega = 0)$, $\underline{Z}(\omega_1)$ und $\underline{Z}(\omega \to \infty)$

4.3. Ortskurve von $\underline{\mathbf{Y}}$ (1 Punkt)

Zeichnen Sie qualitativ die Ortskurve $\underline{Y}(\omega)$ und kennzeichnen Sie die Punkte $\underline{Y}(\omega = 0)$, $\underline{Y}(\omega_1)$ und $\underline{Y}(\omega \to \infty)$.

Lösung:

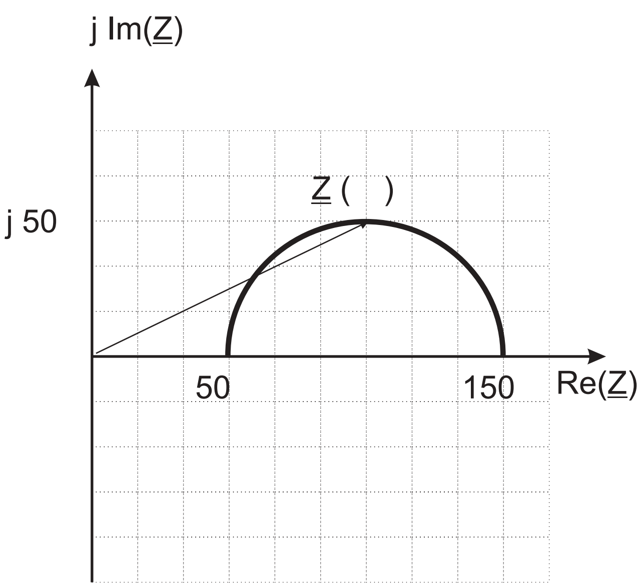
$$\underline{Y}(\omega = 0) = \frac{1}{R_1} = 20mS$$

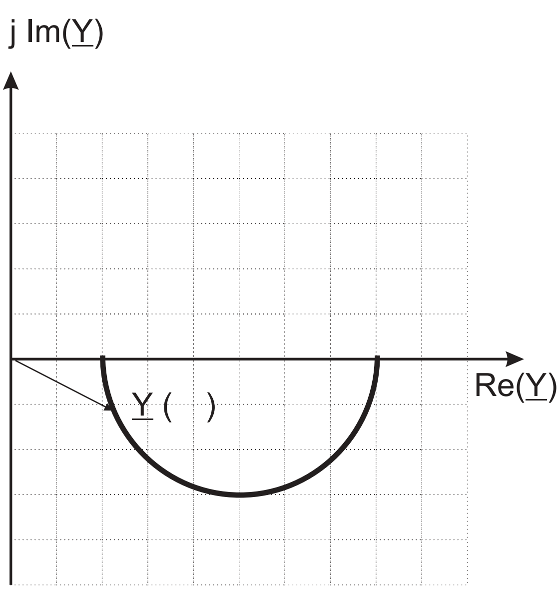
$$\underline{Y}(\omega \to \infty) = \frac{1}{R_1 + R_2} = 6,7mS$$

$$\underline{Y}(\omega_1) = \frac{1}{\underline{Z}(\omega_1)}$$

$$\underline{Y}(\omega_1) = \frac{1}{100\Omega + j \cdot 50\Omega} = 8mS - j \cdot 4mS$$

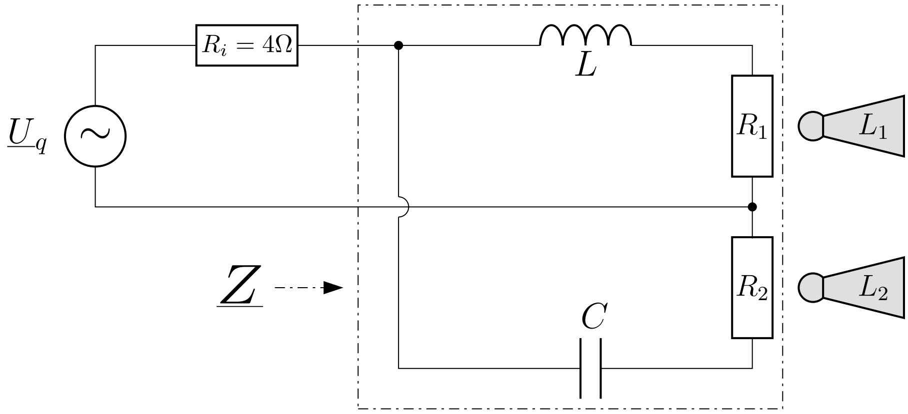
Punkteverteilung : (0.5 Punkte) für die Kurve und (0.5 Punkte) für die Kennzeichnung aller drei Punkte $\underline{Y}(\omega = 0)$, $\underline{Y}(\omega_1)$ und $\underline{Y}(\omega \to \infty)$





5. Aufgabe (5 Punkte): Übertragungsfunktionen

Folgende Schaltung beschreibt (vereinfacht) eine Signalquelle ($\underline{U}_q$, R_i) die über die Frequenzweiche (L, C) zwei Lautsprecher (L_1 mit R_1 und L_2 mit R_2) speist:



5.1. Funktion (0,5 Punkte)

Über welchen Lautsprecher (L_1 oder L_2) werden die hohen Frequenzen wiedergegeben (*Hochtöner*) und über welchen die niedrigen Frequenzen (*Tieftöner*)?

Lösung:

L_1 ...*Tieftöner*
L_2 ...*Hochtöner*

5.2. Lastwiderstand $\underline{Z}$ (1,5 Punkte)

Stellen Sie die Gleichung für den Lastwiderstand $\underline{Z}$ auf und zeigen Sie, dass für $\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{R}} = \mathbf{RC}$ und $\mathbf{R_1} = \mathbf{R_2} = \mathbf{R}$ der von der Quelle aus gesehene Lastwiderstand $\underline{Z}$ rein reell ist. Welchen Einfluss hat hierbei die Frequenz?

Lösung:

$$\underline{Z} = (R + j\omega L)\|(R + \frac{1}{j\omega C}) \qquad \textbf{(0,5 Punkte)} \tag{21}$$

$$\underline{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R+j\omega L} + \frac{1}{R+\frac{1}{j\omega C}}} = \frac{R}{\frac{1}{1+j\omega\frac{L}{R}} + \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC}} \tag{22}$$

$$\text{mit} \qquad \frac{L}{R} = RC \quad \text{ergibt sich:}$$

$$\underline{Z} = \frac{R}{\frac{1}{1+j\omega RC} + \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC}} = R \qquad \textbf{(0,5 Punkte)} \tag{23}$$

$\Longrightarrow$ *unabhängig von der Frequenz* **(0,5 Punkte)**

5.3. Leistungsanpassung (1 Punkt)

Was bedeutet *Leistungsanpassung*? Bestimmen Sie den Wert von R, damit unter obiger Bedingung ($\underline{Z}$ rein reell) Leistungsanpassung herrscht.

Lösung:

Leistungsanpassung bedeutet, dass der Ausgangswiderstand der Signalquelle (hier R_i) gleich dem Eingangswiderstand der Signalsenke (hier $\underline{Z}$) ist. ***(0,5 Punkte)***

Es folgt also für die Leisungsanpassung: $R_i = |\underline{Z}| = R = 4\,\Omega$ ***(0,5 Punkte)***

5.4. Dimensionierung der Schaltung (2 Punkte)

Bestimmen Sie die Werte von L und C damit die Übergangsfrequenz bei $f_0 = 300\,Hz$ liegt. Leiten Sie hierzu die Bedingung $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ her. (Der Rechenweg muss erkennbar sein!)

Hinweis: Die Übergangsfrequenz ist die Frequenz bei der in beiden Lautsprechern die gleiche Wirkleistung umgesetzt wird.

Lösung:

Gleiche Wirkleistung bei gleichem Betrag des Leitwerts(bzw. Widerstands) **(0,5 Punkte)**

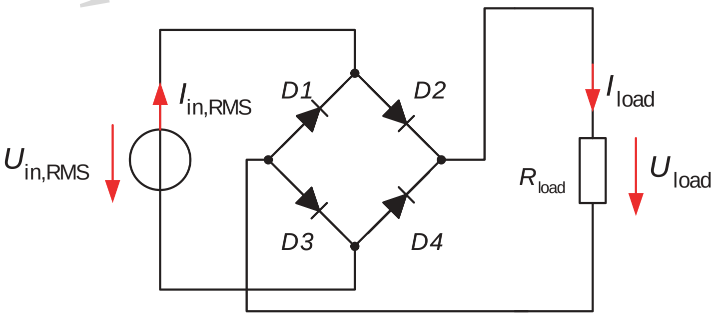
$$\frac{1}{|R + j\omega L|} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \stackrel{!}{=} \frac{1}{|R + \frac{1}{j\omega C}|} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}} \tag{24}$$

Dies trifft zu bei der Übergangsfrequenz $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi \cdot 300\,Hz$. ***(0,5 Punkte)***

Mit $\frac{L}{R} = RC$ *wird:*

$$L = \frac{R}{\omega_0} = 2,12\,mH \quad \textbf{(0,5 Punkte)} \text{ und } C = \frac{1}{\omega_0 R} = 132,6\,\mu F \quad \textbf{(0,5 Punkte)}$$

6. Aufgabe (5 Punkte): Gleichrichterschaltung



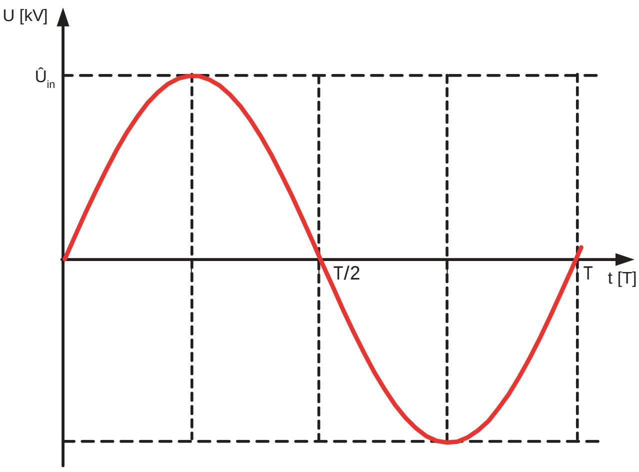
Gegeben ist die nebenstehende Gleichrichterschaltung. Verwendet werden vier Leistungsdioden vom 5SDF6004. Der Gleichrichter wird mit einer **sinusförmigen** Eingangsspannung gespeist.
Es gilt:

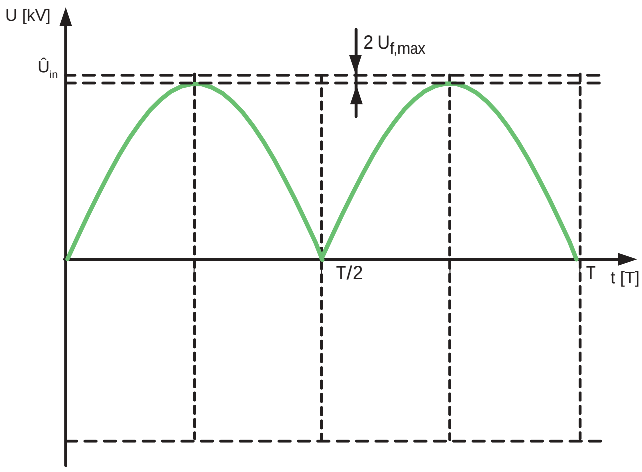
- $\hat{I}_{\text{load}} = 1\,kA$
- $\hat{U}_{\text{load}} = 3,3\,kV.$
- $T_j = 115°C$

6.1. Strompfade und Spannungszeitverlauf (1.5 Punkte)

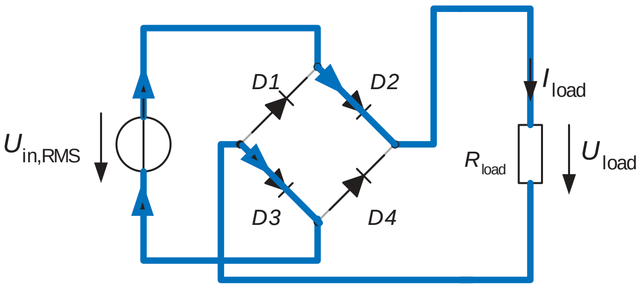
Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf der Ausgangsspannung am Lastwiderstand R_L in das folgende Diagramm ein.
Zeichnen Sie die Strompfade für die beiden Halbwellen der Eingangsspannung in die vorbereiteten Schaltbilder ein.

Eingangsspannung $U_{\text{in}}(t)$ Spannung an R_L

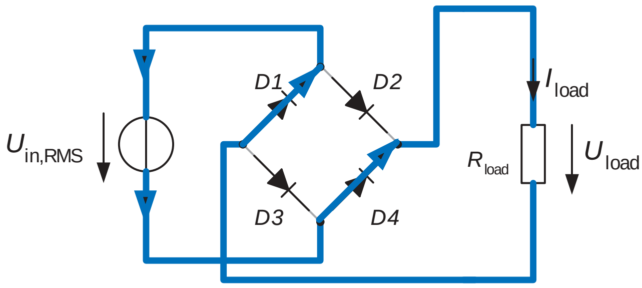




Fall 1: $0 \leq t < \frac{T}{2}$



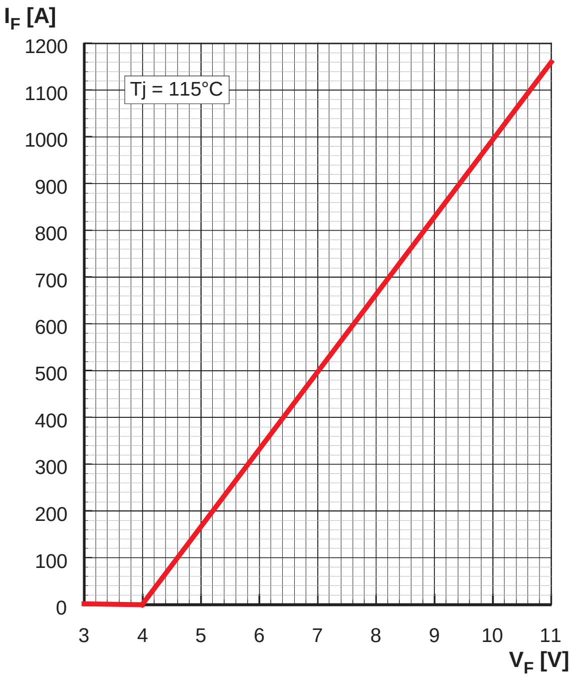
Fall 2: $\frac{T}{2} \leq t < T$



6.2. Bestimmung der maximalen Durchlassspannung (0,5 Punkte)

Am nun angeschlossen Lastwiderstand wird ein maximaler Wert $\hat{i}_{\text{load}} = 1\,kA$ gemessen.

Bestimmen aus der Kennlinie den Maximalwert der Durchlaßspannung $U_{\text{F,max}}$



5SDF 02D6004
Fig. 2 Forward current vs. forward voltage. (0,5 Punkte)

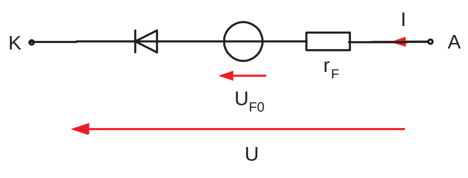
Lösung:

Abgelesen aus der Kennlinie bei $\hat{i}_{\text{load}} = 1\,kA$ *wird* $U_{\text{F,max}} = 10\,V$.

6.3. Ersatzschaltbild der Diode (1 Punkt)

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild der Diode und bestimmen Sie die Werte für die Elemente aus der Kennlinie. **Im Sperrbereich verhält sich die Diode ideal**.

Lösung:



Aus der Kennlinie wird abgelesen:

- $U_{F0} = 4\,V$ *(0,5 Punkte)*
- $r_f = \frac{10\,V - 4\,V}{1000\,A} = \frac{6\,V}{1000\,A} = 6\,m\Omega$ *(0,5 Punkte)*

6.4. Durchlaßverluste einer Diode (0,5 Punkte)

Für eine leitende Diode kann die Spannung über der Diode in diesem Fall angenähert beschrieben werden durch

$$u_\mathrm{F}(t) = U_\mathrm{F,max} \cdot \sin(\omega t)$$
$$\text{mit } \omega = 2\pi \cdot 50\,Hz$$

Geben Sie die **Formel** für die Verlustleistung $p_V(t)$ einer einzelnen Diode an, wenn durch den Lastwiderstand der Strom $i_\mathrm{load}(t) = \hat{i}_\mathrm{load}\sin(\omega t)$ fließt? Vernachlässigen Sie die Sperrverluste.

Lösung:

Für den Abschnitt $0 \leq t < \frac{T}{2}$ *gilt*

$$\begin{aligned} p_V(t) &= U_\mathrm{F,max} \cdot \sin(\omega t) \cdot \hat{i}_\mathrm{load} \cdot \sin(\omega t) \\ &= U_\mathrm{F,max} \cdot \hat{i}_\mathrm{load} \cdot \sin^2(\omega t) \qquad (0,5\,\mathrm{Punkte}) \end{aligned} \tag{25}$$

Für den Abschnitt $\frac{T}{2} \leq t < T$ *gilt* $p_V(t) = 0$

6.5. Verlustleistung des Gleichrichters (1 Punkt)

Geben Sie die Formel für den Mittelwert der Verlustleistung $\overline{P}_\mathrm{V,D1-4}$ aller Dioden des Gleichrichters an. Vernachlässigen Sie die Sperrverluste.

Hinweis: $\int \sin^2(ax)\,dx = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4a}\sin(2ax)$

Lösung:

Je Halbwelle des Eingangsstromes leiten zwei Dioden, siehe Aufgabe6.1

$$\overline{P}_\mathrm{V,D1-4} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt$$

$$\overline{P}_\mathrm{V,D1-4} = \frac{1}{T}\left[\underbrace{\int_0^{\frac{T}{2}} 2\,U_\mathrm{F,max}\,\hat{i}_\mathrm{load}\,\sin^2(\omega t)dt}_{\text{1. Halbwelle D2,D3}} + \underbrace{\int_{\frac{T}{2}}^{T} 2\,U_\mathrm{F,max}\,\hat{i}_\mathrm{load}\,\sin^2(\omega t)dt}_{\text{2. Halbwelle D1,D4}}\right] \qquad (0,5\,\mathrm{Punkte})$$

$$\overline{P}_\mathrm{V,D1-4} = \frac{2\,U_\mathrm{F,max}\cdot\hat{i}_\mathrm{load}}{T}\int_0^T \sin^2(\omega t)dt$$

$$\overline{P}_\mathrm{V,D1-4} = \frac{2\,U_\mathrm{F,max}\cdot\hat{i}_\mathrm{load}}{T}\left[\frac{1}{2}t - \frac{1}{4\omega}\sin(2\omega t)\Big|_0^T\right]$$

$$\overline{P}_\mathrm{V,D1-4} = \frac{2\,U_\mathrm{F,max}\cdot\hat{i}_\mathrm{load}}{T}\left[\frac{1}{2}T - \underbrace{\frac{1}{4\omega}\sin(2\omega T)}_{=0} - \underbrace{\frac{1}{2}0}_{=0} + \underbrace{\frac{1}{4\omega}\sin(2\omega 0)}_{=0}\right]$$

$$\overline{P}_\mathrm{V,D1-4} = U_\mathrm{F,max}\cdot\hat{i}_\mathrm{load} = 1000\,A \cdot 10\,V = \underline{10\,kW} \qquad (0,5\,\mathrm{Punkte}) \tag{26}$$

Also denken wir über eine Kühlung nach, die das auch abführen kann.

6.6. Wirkungsgrad (0,5 Punkte)

Geben Sie den Wirkungsgrad des Gleichrichters an.

Lösung:

$$
\begin{aligned}
\eta &= \frac{\overline{P}_{V,\mathrm{R_{load}}}}{\overline{P}_{V,\mathrm{R_{load}}} + \overline{P}_{V,\mathrm{D1-4}}} \\
&= \frac{\frac{\hat{u}_{\mathrm{load}} \cdot \hat{i}_{\mathrm{load}}}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt}{\frac{\hat{u}_{\mathrm{load}} \cdot \hat{i}_{\mathrm{load}}}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt \; + \; \frac{2\, U_{\mathrm{F,max}} \cdot \hat{i}_{\mathrm{load}}}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt} \\
&= \frac{\hat{u}}{\hat{u} + 2 \cdot U_{\mathrm{F,max}}} = \frac{3,3\, kV}{3,3\, kV + 20\, V} = \underline{0,9939} \qquad (0,5\,\mathrm{Punkte})
\end{aligned} \tag{27}
$$

Das entspricht einem Wirkungsgrad von 99,4%.