Wechselstromrechnung

Aufgabe 1: Glühlampen an Bahnstromversorgung

1.1

Die beiden Teilspannungen $\underline{U}_{W1}$ und $\underline{U}_{W2}$ sollen um je 45° gegenüber $\underline{U}$ und um 90° gegeneinander phasenverschoben sein. Glühlampe und Vorwiderstand bilden einen Wirkwiderstand, folglich sind die Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ in Phase mit den entsprechenden Teilspannungen $\underline{U}_{W1}$ und $\underline{U}_{W2}$. Da $\underline{U}_x$ und $\underline{U}_y$ Wirkleistungs-verlustfrei gebildet werden sollen, müssen diese Spannungen um 90° gegen den jeweiligen Strom $\underline{I}_1$ oder $\underline{I}_2$ phasenverschoben sein. Es ergibt sich folgendes Zeigerdiagramm nach **Abb. 1**. Die Reihenfolge von $\underline{U}_{W1}$ und $\underline{U}_x$, bzw. $\underline{U}_{W2}$ und $\underline{U}_y$ darf dabei vertauscht werden.

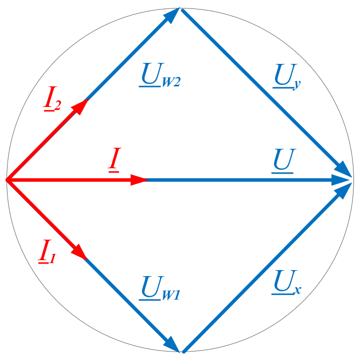


Abb. 1: Zeigerdiagramm der Lampenschaltung.

1.2

Reine Induktivitäten und Kapazitäten sind beide Wirkleistungs-verlustfrei aber beeinflussen den Phasenunterschied zwischen Strom und Spannung.

Bei einer Induktivität eilt die Spannung dem Strom um 90° voraus. Somit kann $\underline{U}_x$ durch eine Induktivität erzeugt werden.

Bei einer Kapazität eilt der Strom der Spannung um 90° voraus. Somit kann $\underline{U}_y$ durch eine Kapazität erzeugt werden.

1.3

Bei Einhaltung der geforderten Phasenverschiebungen müssen die vier Teilspannungen dem Betrag nach gleich sein:

$$U_{w1} = U_{w2} = U_C = U_L = U \cdot \cos 45° = 220\,\text{V} \cdot \cos 45° = 155.56\,\text{V}$$

Die beiden Vorwiderstände R_{VW} müssen die Spannung

$$U_{VW} = U \cos 45° - U_G = 155.56\,\text{V} - 120\,\text{V} = 35.56\,\text{V}$$

aufnehmen und folglich den Widerstand aufweisen:

$$R_{VW} = \frac{U_{VW}}{I_G} = 106.68\,\Omega$$

$\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ sind betragsmässig bekannt. Sie sind identisch mit dem Nennstrom der Glühbirne:

$$\left|\underline{I}_1\right| = \left|\underline{I}_2\right| = I_1 = I_2 = I_G = \frac{1}{3}\mathrm{A}$$

Mit der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f = 104.7\mathrm{s}^{-1}$ folgt die Induktivität zu

$$X_L = \omega L = \frac{U_x}{I_1}$$
$$\rightarrow L = \frac{U_x}{I_1\omega} = \frac{U_x}{I_G\omega} = \frac{155.56\mathrm{V}}{0.33\mathrm{A}\cdot 104.7\mathrm{s}^{-1}} = 4.46\,\mathrm{H}$$

und die Kapazität zu:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_y}{I_2}$$
$$\rightarrow C = \frac{I_2}{\omega\cdot U_y} = \frac{I_G}{\omega\cdot U_y} = \frac{\frac{1}{3}\mathrm{A}}{155.56\mathrm{V}\cdot 104.7\mathrm{s}^{-1}} = 20.46\mu\mathrm{F}$$

1.4

Der dem Netz entnommene Strom ist schliesslich nach dem Zeigerdiagramm in Abb. 4:

$$I = \sqrt{2}I_G = \sqrt{2}\cdot\frac{1}{3}\mathrm{A} = 0.47\mathrm{A}$$

Aufgabe 2: Stern- Dreieckanlauf bei Asynchronmotoren

2.1

Offerte 2:

- Zu geringe Nennleistung (Getriebeverlust*Unsicherheitsfaktor muss sicher grösser als 1.15 sein!)

  50 Personen * 100kg * 9.81 ms^{-2} * 400m / 5 min * *Getriebeverlust* * *Unsicherheitsfaktor* =
  65 kW * *Getriebeverlust* * *Unsicherheitsfaktor*

- Keine seriöse Offerte da dieser Motor enorm viel Blindleistung ($\varphi = 76^\circ$!) verbraucht um relativ wenig Wirkleistung zu bieten:

$$P = \sqrt{3}UI_P\cos\varphi \rightarrow \sqrt{3}UI_P = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{Q}{\sin\varphi}$$
$$\rightarrow Q = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi}P = \frac{0.97}{0.25}P = 3.87P = 3.87\cdot 75kW = 290.47kW$$

Dieser relativ zur Wirkleistung hohe Blindleistungsverbrauch ohne Kompensation würde eventuell zu Stabilitätsproblemen im Stromnetz führen, was ein Stromversorgungsunternehmen auf keinen Fall goutieren würde. Deshalb kann diese Offerte nicht seriös oder korrekt sein.

Offerte 3:

- Nennleistung wäre ok, jedoch fliesst bei 400 V ein sehr grosser Strom von 325 A (!) (zum Vergleich: eine Haushaltssicherung spricht typischerweise schon bei 10 A an, „Hochleistungs"-Motorschutzschalter bis 70 A). Dieser Strom belastet unnötigerweise die gesamte Installation.

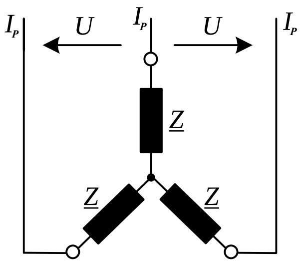
$$P = \sqrt{3} U I_P \cos\varphi$$
$$\rightarrow I_p = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{180kW}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 305.66A$$

- Erstens ist der hohe Stromfluss im Vergleich zur Leistung nicht oder wenn, dann nur für Spezialanwendungen sinnvoll (180 kW sind immerhin 245 PS, die dann vom normalen Haushaltsstromnetz erbracht werden müssten).

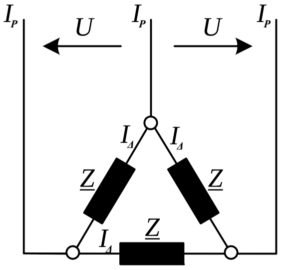
  Zweitens ist die Angabe des Nennbetriebs des Motors in Sternschaltung unüblich, weil der Motor in Dreieckschaltung eine höhere Leistung erbringen würde. Zusätzlich wird eine Phasenspannung von 400 V (Aussenleiterspannung von $U = \sqrt{3} \cdot 400V = 695V$) in der Praxis kaum verwendet. Aus diesen Gründen erscheint diese Offerte unseriös.

2.2

Sternschaltung:



Dreieckschaltung:



2.3

$$P = \sqrt{3} U I_P \cos\varphi$$
$$\rightarrow I_p = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{200kW}{\sqrt{3}\cdot 25kV \cdot 0.9} = 5.13A$$

2.4

$$Q = P\frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = 200kW\,\frac{0.44}{0.9} = 96.86kVAr$$
$$\underline{S} = P + jQ = (200 + 96.86\,j)kVA = 222.22e^{i\arccos(0.9)}kVA = 222.22e^{i25.84^\circ}\,kVA$$

Blindleistung ist die Energie, welche hin und her pendelt, in dem das magnetische Feld auf und entladen wird. Diese Energie muss auch vom Elektrizitätsunternehmen geliefert oder kompensiert werden, in anderen Worten die Balance zwischen induktiven und kapazitiven Lasten/Erzeuger muss gefunden werden.

Der Phasenwinkel ist 25.84° positiv, d.h. der Strom folgt der Spannung, d.h. der Motor ist induktiv, d.h. der Motor verbraucht Blindleistung.

2.5

Gesamte aufgenommene komplexe Scheinleistung einer Dreieckschaltung:

$$\underline{S} = 3\frac{\underline{U}^2}{\underline{Z}_\Delta^*} = 3\frac{U^2}{\underline{Z}^*}$$
$$\rightarrow \underline{Z}^* = 3\frac{\underline{U}^2}{\underline{S}} = 3\frac{(25kV)^2}{222.22e^{i\arccos(0.9)}kVA} = (7.59 - 3.68\,j)k\Omega$$
$$\rightarrow \underline{Z} = (7.59 + 3.68\,j)k\Omega$$

2.6

Dreieckschaltung:

$$U_\Delta = U = 25kV$$
$$\underline{I}_p = \sqrt{3}\underline{I}_\Delta \rightarrow I_\Delta = \frac{1}{\sqrt{3}} I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} 5.13A = 2.96A$$

2.7

Sternschaltung:

$$U_Y = \frac{U}{\sqrt{3}} = 14.4kV$$

Da $\underline{Z}$ gleich bleibt:

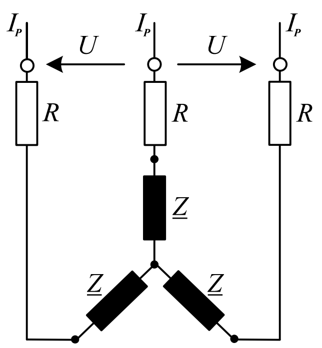
$$\underline{U}_Y = \underline{Z}\underline{I}_Y \rightarrow \underline{I}_Y = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{\underline{U}_\Delta}{\underline{Z}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\underline{I}_\Delta$$

$$\rightarrow I_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} I_\Delta = \frac{1}{\sqrt{3}} 2.96A = 1.71A$$

Die Netzsicherung spricht nicht mehr an, wenn $8I_Y = 13.69A$ an Strom fliesst.

2.8

Seriell:

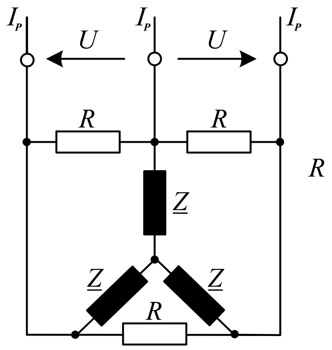


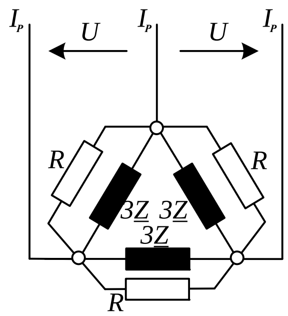
$$\underline{U}_Y = (\underline{Z} + R)\underline{I}_Y \rightarrow \underline{I}_P = \underline{I}_Y = \frac{\underline{U}_Y}{\underline{Z} + R} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{\underline{U}_\Delta}{\underline{Z} + R} = 14.42kV \frac{1}{(7.59 + 3.68j)k\Omega + 5k\Omega} = (1.06 - 0.31j)A$$

$$\rightarrow \left|\underline{I}_P\right| = I_p = 1.10A$$

Im Dreieck:

Stern-Dreieckumformung:





$$\underline{U}_\Delta = (3\underline{Z}\,//R)\underline{I}_\Delta \to \underline{I}_\Delta = \frac{\underline{U}_\Delta}{3\underline{Z}\,//R} = \frac{R+3\underline{Z}}{3R\underline{Z}}\underline{U}_\Delta$$

$$\to \underline{I}_p = \sqrt{3}\underline{I}_\Delta = \sqrt{3}\frac{R+3\underline{Z}}{3R\underline{Z}}\underline{U}_\Delta = \frac{R+3\underline{Z}}{\sqrt{3}R\underline{Z}}\underline{U}_\Delta = 14.42kV\,\frac{R+3\underline{Z}}{R\underline{Z}} = (20.30+1.49j)A$$

$$\to \left|\underline{I}_p\right| = 20.35A$$

Da der Phasenstrom beim seriellen Fall viel kleiner ist als in Dreieckschaltung, ist die erste Beschaltung sinnvoller.

2.9

Der Zeitwert der gesamten Wirkleistung ist die Summe von drei Sinusschwingungen, welche sich jeweils um 120° verschoben sind. Da diese Sinusschwingungen nicht positiv/negativ symmetrisch sind (wie etwa bei den Phasenströmen), ergibt deren Summe davon einen konstanten Wert (und nicht null). (vgl. Skript NW-77)