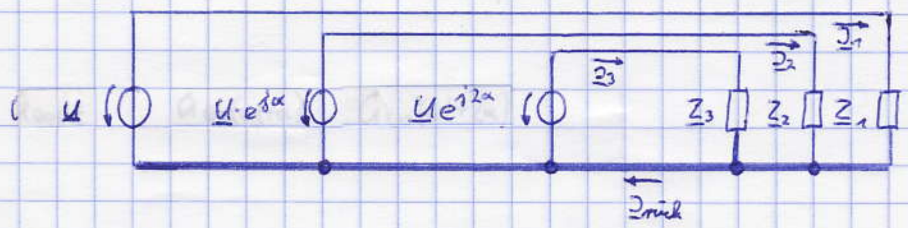
Mehrphasensysteme

Übergang vom 1-Phasensystem zum 3-Phasensystem

Ziel: Erhöhung der übertragbaren Leistung

Verdreifachung der Leistung durch Nutzung von 3 Generatoren und Lasten



Spezialfall: $\alpha = 120° \rightarrow \quad \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = 0$

$\rightarrow$ Bei $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$ folgt $\underline{I}_{rück} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}} + \frac{\underline{U}_3}{\underline{Z}} = 0$

- gemeinsamer Masse-Leiter kann weggelassen werden
- Verdreifachung der Leistung mit nur einer Leitung mehr möglich

zeitlicher Verlauf der Leistung ~~p(t)~~

a) $\underline{Z}$ rein reell, $\varphi = 0$

$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\left[\cos^2\omega t + \cos^2\left(\omega t + \tfrac{2\pi}{3}\right) + \cos^2\left(\omega t - \tfrac{2\pi}{3}\right)\right] \qquad \text{mit } 2\cdot\tfrac{2\pi}{3} = 2\pi - \tfrac{2\pi}{3}$$

- benutzte Additionstheoreme:
  $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$
  $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$

$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\left[\cos^2\omega t + \left(\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3} - \sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}\right)^2 + \left(\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3} + \sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}\right)^2\right]$$

$$= \frac{2U^2}{R}\left[\cos^2\omega t + \cos^2\omega t\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + \sin^2\omega t\sin^2\tfrac{2\pi}{3} - \cancel{2\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3}\sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}}\right.$$
$$\left. + \cos^2\omega t\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + \sin^2\omega t\sin^2\tfrac{2\pi}{3} + \cancel{2\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3}\sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}}\right]$$

$$= \frac{2U^2}{R}\left[\cos^2\omega t\,(1 + 2\cos^2\omega t\cos^2\underbrace{\tfrac{2\pi}{3}}_{\cos\frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2}}) + 2(1-\cos^2\omega t)(1-\cos^2\tfrac{2\pi}{3})\right] \qquad \text{mit } \sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$$

$$= \frac{2U^2}{R}\left[2 \underbrace{- \cos^2\omega t + 2\cos^2\omega t\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + 2\cos^2\omega t\cos^2\tfrac{2\pi}{3}}_{0} - 2\cos^2\tfrac{2\pi}{3}\right]$$

$$\underline{p(t) = \frac{3U^2}{R}}$$

b) $\underline{Z}$ komplex

$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\left[\cos\omega t\cos(\omega t + \varphi) + \cos\left(\omega t + \tfrac{2\pi}{3}\right)\cos\left(\omega t + \varphi + \tfrac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(\omega t - \tfrac{2\pi}{3}\right)\cos\left(\omega t + \varphi - \tfrac{2\pi}{3}\right)\right]$$

$$= \frac{2U^2}{R}\left[\cos\omega t\cos(\omega t+\varphi) + \left(\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3} - \sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}\right)\left(\cos(\omega t+\varphi)\cos\tfrac{2\pi}{3} - \sin(\omega t+\varphi)\sin\tfrac{2\pi}{3}\right)\right.$$
$$\left. + \left(\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3} - \sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}\right)\left(\cos(\omega t+\varphi)\cos\tfrac{2\pi}{3} - \sin(\omega t+\varphi)\sin\tfrac{2\pi}{3}\right)\right]$$

$$\cancel{p(t) = \frac{2U^2}{R}}\Big[\quad \downarrow$$

$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\Big[\cos\omega t\cos(\omega t+\varphi) + \cos\omega t\cos(\omega t+\varphi)\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + \sin\omega t\sin(\omega t+\varphi)\sin^2\tfrac{2\pi}{3}$$
$$\cancel{-\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3}\sin(\omega t+\varphi)\sin\tfrac{2\pi}{3}} \cancel{-\cos(\omega t+\varphi)\cos\tfrac{2\pi}{3}\sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}}$$
$$+\cos\omega t\cos(\omega t+\varphi)\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + \sin\omega t\sin(\omega t+\varphi)\sin^2\tfrac{2\pi}{3}$$
$$\cancel{+\cos\omega t\cos\tfrac{2\pi}{3}\sin(\omega t+\varphi)\sin\tfrac{2\pi}{3}} \cancel{+\cos(\omega t+\varphi)\cos\tfrac{2\pi}{3}\sin\omega t\sin\tfrac{2\pi}{3}}\Big]$$

$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\Big[\cos\omega t\cos(\omega t+\varphi) + 2\big(\cos\omega t\cos(\omega t+\varphi)\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + \sin\omega t\sin(\omega t+\varphi)\sin^2\tfrac{2\pi}{3}\big)\Big]$$

$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\Big[\cos\omega t(\cos\omega t\cos\varphi - \sin\omega t\sin\varphi) + 2\big[\cos\omega t(\cos\omega t\cos\varphi - \sin\omega t\sin\varphi)\cos^2\tfrac{2\pi}{3} + \sin\omega t(\sin\omega t\cos\varphi + \cos\omega t\sin\varphi)\sin^2\tfrac{2\pi}{3}\big]\Big]$$

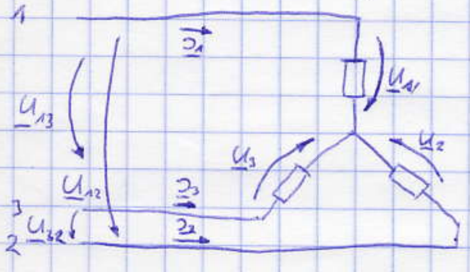
$$p(t) = \frac{2U^2}{R}\Big[\cos^2\omega t\cos\varphi - \cos\omega t\sin\omega t\sin\varphi + \tfrac{1}{2}\cos^2\omega t\cos\varphi - \tfrac{1}{2}\cos\omega t\sin\omega t\sin\varphi + 2\sin^2\omega t\cos\varphi\sin^2\tfrac{2\pi}{3} + 2\sin\omega t\cos\omega t\sin\varphi\sin^2\tfrac{2\pi}{3}\Big]$$

$$p(t) = \frac{3U^2}{R}\cdot\cos\varphi$$

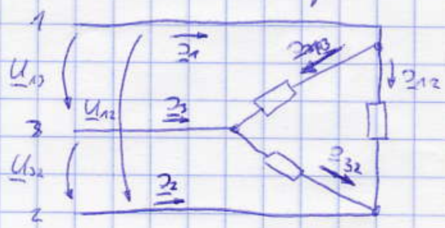
- $p(t)$ ist zeitlich konstant wie bei Gleichstrom (wichtige Eigenschaft z.B. für Antriebe → gleichmäßiges Drehmoment)
- aber: es existiert Blindleistung
- Blindleistung zeitlich konstant
- in den einzelnen Strängen sind $p(t)$ und $q(t)$ nicht zeitlich konstant

Kenngrößen bei symmetrischer Last

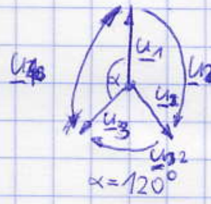
Sternschaltung

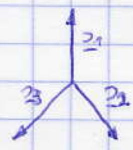


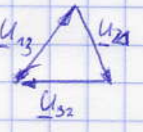
Dreieckschaltung

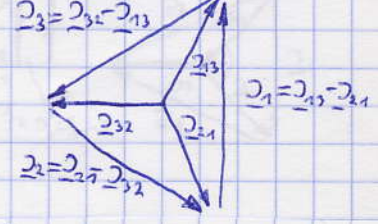


Außenleiter Stränge | Außenleiter Stränge









$\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$: Strangspannungen
$\underline{U}_{12}, \underline{U}_{13}, \underline{U}_{32}$: Außenleiterspannungen
$\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$: Außenleiterströme

$\underline{I}_{12}, \underline{I}_{13}, \underline{I}_{32}$: Strangströme

Außenleiterstrom = Strangstrom
Außenleiterspannung = $\sqrt{3}\cdot$ Strangspannung

Außenleiterspannung = Strangspannung
Außenleiterstrom = $\sqrt{3}\cdot$ Strangstrom

symmetrische Last: alle Zweige erfahren die selbe Phasenverschiebung zwischen $\underline{U}$ und $\underline{I}$
→ Berechnung an einem Zweig ist ausreichend

~~unsymmetrische Last~~

Beispiel

Motor in Dreieckschaltung angeschlossen an 400V 50Hz Drehstromnetz
Angaben: $P = 10\,kW$, $\cos\varphi = 0{,}85$

$\rightarrow \varphi = 31{,}8°$

mit $P = 3 U I_{Al} \cos\varphi$ folgt $\quad I_{Al} = \dfrac{P}{3U\cos\varphi} = 9{,}8\,A$

$$I_{Str} = I_{Al}/\sqrt{3} = 5{,}66\,A$$

$$U_{Str} = U_{Al}$$

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = 11800\,VA \qquad Q = \frac{P}{\cos\varphi}\cdot\sin\varphi = P\cdot\tan\varphi = 6200\,var$$

Blindleistungskompensation mit Kondensatorbank

in Sternschaltung

$$Q = +\frac{3U^2\omega C}{(\sqrt{3})^2} = +U^2\omega C \rightarrow C = -\frac{Q_{motor}}{\omega U^2} = 123\,\mu F$$

in Dreieckschaltung

$$Q = +3U^2\omega C \rightarrow C = +\frac{Q_{motor}}{3\omega U^2} = 41\,\mu F$$

Spannungsfestigkeit

$$U_c = U\cdot\sqrt{\tfrac{2}{3}} = 327\,V \qquad U_c = U\cdot\sqrt{2} = 566\,V$$

max. Energie je Kondensator

$$W = +\frac{Q_{motor}}{\omega\cdot 3}\cdot\frac{U^2\cdot 2}{U^2\cdot 2} = 6{,}6\,J \qquad W = \frac{C}{2}U_c^2 = +\frac{Q_{motor}}{3\omega}\cdot\frac{2U^2}{U^2\, 2} = 6{,}6\,J$$

gleiche Energie zu speichern

höhere Kapazität — höhere Spannungsfestigkeit

Zeigerdiagramme