

M Netzgeführte Stromrichter

M.1 Wechselstromsteller

- Lampen, Bohrmaschinen, Richtgeräte oft mit Phasenanschnittsteuerung gesteuert
- für Wärmegeräte Schwingungspaketsteuerung

M.2 Drehstromsteller

- dreiphasige Ansteuerung des Wechselstromstellers
- Verwendung
 - Sanftanlauf von Asynchronmaschinen
 - Drehzahlsteuerung von Asynchronmaschinen
 - steuerbare Blindleistungkompensation

M.3 netzgeführte Wechselstrombrückenschaltung

- zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom
- Annahmen
 - $L_d \rightarrow \infty$, also $i_d = I_d = \text{const.}$
 - Thyristoren sind ideal schnell und leitend
- Speisespannung bestimmt, welche Thyristoren geerdet werden können
- frühestmögliches Zündzeitpunkt heißt natürliches Zündzeitpunkt
- Zündung kann um Zündwinkel α verzögert werden
- es gilt:

$$U_{d\alpha} = U_{di} \cos \alpha \quad U_{di} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_n$$

- Gleichrichterbetrieb: $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ $P_l = U_{d\alpha} I_d > 0$
- Wechselrichterbetrieb: $\frac{\pi}{2} \leq \alpha < \pi$ $P_l = U_{d\alpha} I_d < 0$

M.3.1 Harmonische Bestandteile des Netzstroms

- Netzstrom ist rechteckförmig $\rightarrow$ enthält neben der Grundschwingung noch harmonische, deren Frequenzen Vielfache der Grundfrequenz sind
- Grundschwingung des Stroms:

$$B_v = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\pi} I_d \sin \omega t \, d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} (-I_d) \sin \omega t \, d\omega t \right]$$

- Grundschwingung des Netzstroms hat Effektivwert

$$I_m = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_d$$

- und ist die Netzspannung um Stromwinkel α nach
- Effektivwert des Netzstroms ist gleich dem Wert des Gleichstroms

$$I_n = I_d$$

11.3.2 Wirk-, Schein- und Blindleistung

- es gilt

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = \sqrt{2} U_m \sin(\omega t) \cdot \sum_{v=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{mv} \sin(v\omega t + \varphi_v)$$

- Wirkleistung ist Mittelwert der Momentanleistung.

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p(\omega t) d\omega t = \dots$$
$$= U_m I_m \cos \alpha$$

- Scheinleistung ist Produkt der Effektivwerte

$$S = U_m I_m = U_m \sqrt{I_m^2} = U_m \sqrt{I_{m1}^2 + I_{m2}^2 + I_{m3}^2 + \dots}$$

- Blindleistung über

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \text{zu}$$

$$Q^2 = U_m^2 I_{m1}^2 \sin^2 \alpha + U_m^2 \sum_{v=2}^{\infty} I_{mv}^2$$
$$= Q_1^2 + D^2$$

D Verzerrungsblindleistung
 Q_1 Grundschwingungsblindleistung

- Verzerrungsblindleistung idealisiert:

$$D = U_m \cdot I_m \sqrt{1 - \frac{P^2}{S^2}}$$

- totaler Leistungsfaktor:

$$\lambda = \frac{|P|}{S} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} |\cos \alpha| \quad (\text{bei netzgekoppelter Wechselstrombrückenschaltung})$$

11.3.3 Kommutierung mit Kommutierungsdrossel

- zur Vermeidung des Stromstiegs $\frac{di}{dt}$ beim Kommutierungsweg
- Drossel in Reihe zum Netzanschluss

11.3.4 Mittelwert der Ausgangsspannung

- Im Mittelwert der Ausgangsspannung gilt:

$$U_d = U_m \cos \alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \omega \cdot L_k \cdot I_m$$

M 4 netzgeführte Drehstrombrückenschaltung

- Erweiterung der Wechselstrombrückenschaltung um ein Brückenpaar
- wichtig für Hochspannungsgleichstromübertragung und Antriebstrichter hoher Leistung
- Mittelwert der Gleichspannung

$$U_{di} = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} U \quad U_{da} = U_{di} \cos \alpha$$

- Frequenz der Wechselanteile der Ausgangsspannung

$$f_0 = n \cdot 6 f_n$$

- Effektivwert des Netzstroms in einem Strang

$$I_n = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d$$

- Effektivwert der Grundschwingung des Netzstroms in einem Strang

$$I_m = \frac{\sqrt{2} \sqrt{3}}{\pi} I_d$$

- totaler Leistungsfaktor

$$\lambda = \frac{2}{\pi} |\cos \alpha|$$

- Verzerrungsblindleistung

$$D = S \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{\pi^2}}$$

M 4.2 Vierquadrantenstromrichter

- z.B. für Gleichstrommaschine mit beiden Dreh- und Drehmomentrichtungen
- Gegenparallelschaltung zweier Drehstrombrückenschaltungen
- Zündimpulse werden für den je nach Stromrichtung nicht benötigten Stromrichter gesperrt → Vermeidung unzulässiger Ausgleichsströme

M 5 Anwendungen netzgeführter Stromrichter

- Hochspannungsgleichstromübertragung
 - Fernübertragungsleitung
 - Seekabelströme
 - Umkopplungen
- stat. Blindleistungs-kompensation
- Elektrolyseanlagen
- Teilchenbeschleuniger
- drehzahlveränderbare Antriebe