

Kommutierung bei der M3-Schaltung

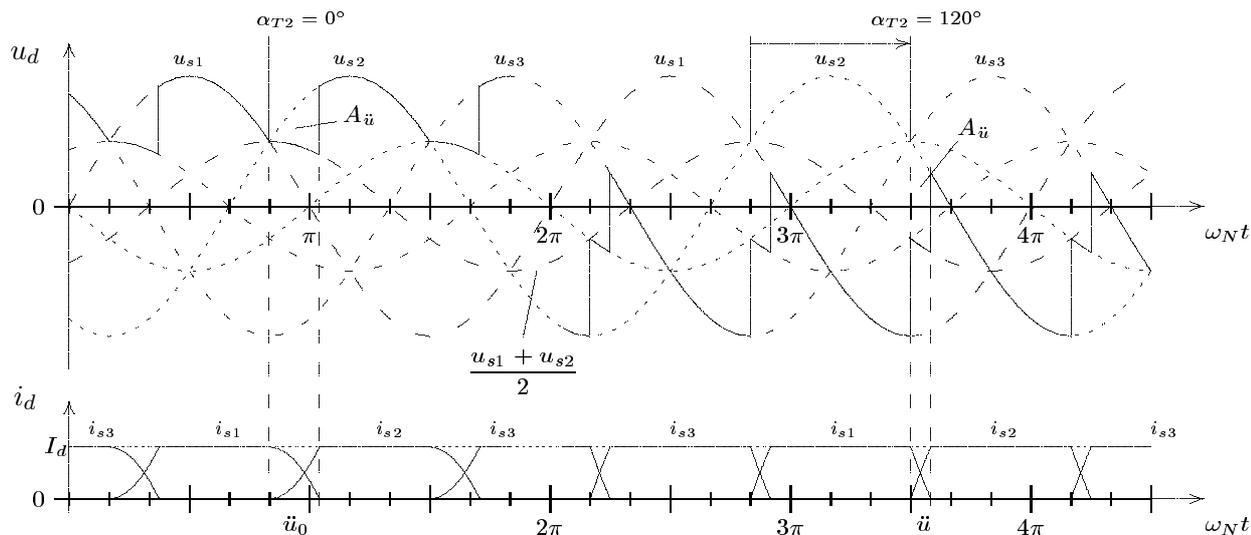


Bild 1: Strom- und Spannungsverläufe an der M3-Schaltung mit Berücksichtigung der Kommutierung ($\alpha = 0^\circ$ und $\alpha = 120^\circ$)

Ursache der Kommutierung: $L_K > 0$ und $R_K > 0$ in der Realität

Zulässige Vereinfachung: $L_K > 0, R_K = 0$

Spannungsgleichungen: $u_{s1} = u_d + L_K \frac{di_{s1}}{dt}$

$T_1 \rightarrow T_2$

$u_{s2} = u_d + L_K \frac{di_{s2}}{dt}$

Knotenpunktgleichungen: $i_d = i_{s1} + i_{s2} = I_d = \text{konst.} \implies \frac{di_{s1}}{dt} = -\frac{di_{s2}}{dt}$

Kommutierungsspannung: $u_K = u_{s2} - u_{s1} = \sqrt{3} \hat{U}_s \sin(\omega_N t - 150^\circ) = -2 L_K \frac{di_{s1}}{dt}$

Lastspannung: $u_d = \frac{u_{s1} + u_{s2}}{2} = \frac{\hat{U}_s}{2} \sin(\omega_N t - 60^\circ)$ (während t_K)

Laststrom: $I_d = \frac{\sqrt{6} U_s}{2 \omega_N L_K} \cdot (\cos \alpha - \cos(\alpha + \ddot{u}))$

Überlappungswinkel: $\ddot{u} = \omega_N t_K = \arccos\left(\cos \alpha - \frac{2 \omega_N L_K}{\sqrt{6} U_s} \cdot I_d\right) - \alpha$

Spannungszeitfläche: $A_{\ddot{u}} = \frac{\sqrt{6} U_s}{2 \omega_N} \cdot (\cos \alpha - \cos(\alpha + \ddot{u})) = L_K \cdot I_d$

Spannungsverlust: $D_x = \frac{p}{T_N} \cdot A_{\ddot{u}} = \frac{3}{2\pi} \cdot \omega_N L_K \cdot I_d$ ($d_x = \frac{D_x}{U_{di0}}$)

Steuerkennlinie des ESB: $U_d = U_{di0} \cdot \cos \alpha - D_x = U_{di0} \cdot (\cos \alpha - d_x)$

Kommutierung bei der M3-Schaltung

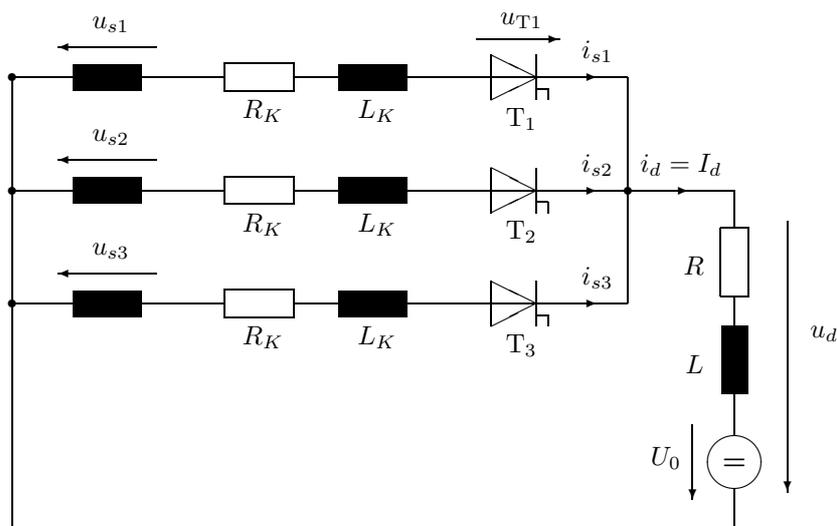


Bild 2: Dreipuls-Mittelpunktschaltung (M3) mit Kommutierungswiderständen R_K und Kommutierungsinduktivitäten L_K (sekundärseitig)

Anlagendaten: $U_s = 400 \text{ V}$ $u_k = 0,04$
 $I_{dN} = 100 \text{ A}$ $f_N = 50 \text{ Hz}$

Fragen:

1. Berechnen Sie den ideellen Gleichspannungs-Mittelwert U_{di0} .
2. Berechnen Sie die Kommutierungsinduktivität L_K und die Impedanz X_K eines Zweiges.
3. Geben Sie die Gleichung für den Überlappungswinkel \ddot{u} an.
4. Welche Tendenzen lassen sich für \ddot{u} in Abhängigkeit von U_s , I_d und L_K angeben?
5. Berechnen Sie den maximalen und minimalen Überlappungswinkel \ddot{u} ($I_d = I_{dN}$).
6. Berechnen Sie den Spannungsabfall $D_x = f(I_d/I_{dN})$ allgemein und für Nennstrom.
7. Geben Sie die Gleichung für die um D_x verminderte resultierende Gleichspannung U_d an.
8. Zeichnen Sie die Kennlinie für U_d und das Ersatzschaltbild (ESB) des Stromrichters als ideale Gleichspannungsquelle mit Innenwiderstand R_i . Wie groß ist R_i ?
9. Wie machen sich der Kommutierungswiderstand R_K und die Durchlaßspannung U_F der Thyristoren in der Kennlinie für U_d bemerkbar.

Kapitel aus "Elektrische Antriebe 4: Leistungselektronische Schaltungen":

- 2.1.5 Netzgeführte Kommutierung
- 2.5 Dreipuls-Mittelpunktschaltung (M3)

1. Berechnen Sie den ideellen Gleichspannungs-Mittelwert U_{di0} .

Bd. 4
S. 72
Gl (2.159)

$$U_{di0} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cdot U_s = 1,17 \cdot U_s = \underline{\underline{486 \text{ V}}}$$

2. Berechnen Sie die Kommutierungsinduktivität L_K und die Impedanz X_K eines Zweiges.

Bd. 4
S. 76
Gl (2.169)

Relative Kurzschlußspannung des Transformators: $u_k = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \frac{\omega_N L_K}{U_s} \cdot I_{dN}$

$$L_K = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_s}{I_{dN}} \cdot \frac{1}{\omega_N} \cdot u_k = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{400 \text{ V}}{100 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ s}}{314} \cdot 0,04 = \underline{\underline{1,081 \text{ mH}}}$$

$$X_K = \omega_N \cdot L_K = 314 \text{ s}^{-1} \cdot 1,081 \text{ mH} = \underline{\underline{339 \text{ m}\Omega}}$$

3. Geben Sie die Gleichung für den Überlappungswinkel \ddot{u} an.

$$\ddot{u} = \arccos\left(\cos \alpha - \frac{2\omega_N L_K}{\sqrt{6} U_s} \cdot I_d\right) - \alpha = \arccos\left(\cos \alpha - \sqrt{3} \cdot u_k \cdot \frac{I_d}{I_{dN}}\right) - \alpha$$

4. Welche Tendenzen lassen sich für \ddot{u} in Abhängigkeit von U_s , I_d und L_K angeben?

Bd. 4
S. 30

- Spannung $U_s \uparrow \implies \ddot{u} \downarrow$
- Laststrom $I_d \uparrow \implies \ddot{u} \uparrow$
- Kommutierungsinduktivität $L_K \uparrow \implies \ddot{u} \uparrow$

5. Berechnen Sie den maximalen und minimalen Überlappungswinkel \ddot{u} ($I_d = I_{dN}$).

Bd. 4
S. 31
Abb. 2.18

Maximales \ddot{u} : $\alpha = 0^\circ \implies \cos \alpha = 1$

$$\implies \ddot{u}_0 = \arccos\left(1 - \sqrt{3} \cdot 0,04 \cdot 1\right) - 0^\circ = \underline{\underline{21,45^\circ}} \cong \underline{\underline{1,19 \text{ ms}}}$$

Minimales \ddot{u} : $\alpha = 90^\circ \implies \cos \alpha = 0$

$$\implies \ddot{u} = \arccos\left(-\sqrt{3} \cdot 0,04 \cdot 1\right) - 90^\circ = \underline{\underline{3,97^\circ}} \cong \underline{\underline{0,22 \text{ ms}}}$$

6. Berechnen Sie den Spannungsabfall $D_x = f(I_d/I_{dN})$ allgemein und für Nennstrom.

Bd. 4
S. 76
Gl (2.166)

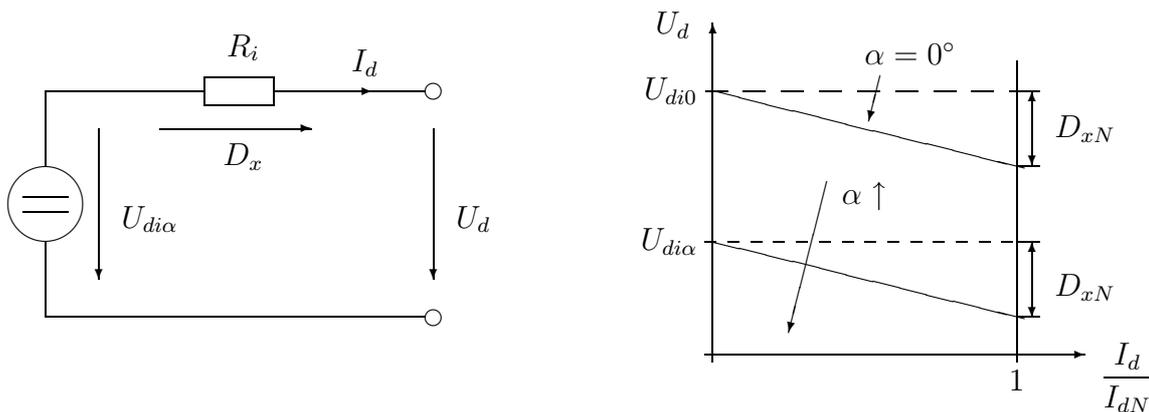
$$D_x = \frac{3}{2\pi} \cdot \omega_N L_K \cdot I_d = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_k \cdot U_{di0} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} = \underbrace{16,21 \text{ V}}_{D_{xN}} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}}$$

$$D_{xN} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_k \cdot U_{di0} = \underline{\underline{16,21 \text{ V}}}$$

7. Geben Sie die Gleichung für die um D_x verminderte resultierende Gleichspannung U_d an. Bd. 4
S. 76
Gl2.176

$$U_d = U_{di\alpha} - D_x = U_{di0} \cdot \cos \alpha - D_x = 486 \text{ V} \cdot \cos \alpha - 16,21 \text{ V} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}}$$

8. Zeichnen Sie die Kennlinie für U_d und das Ersatzschaltbild des Stromrichters als ideale Gleichspannungsquelle mit Innenwiderstand R_i . Wie groß ist R_i ? Bd. 4
S. 32 f



Fiktiver Innenwiderstand R_i (fiktiv, da er physikalisch nicht existiert):

$$D_x = \frac{1}{\delta} \cdot X_K \cdot I_d \quad \implies \quad R_i = \frac{1}{\delta} \cdot X_K = \frac{3}{2\pi} \cdot 339 \text{ m}\Omega = 162 \text{ m}\Omega$$

Wird α im Bereich zwischen 0° und der Wechselrichtertrittgrenze erhöht, so verschiebt sich die lineare Kennlinie für U_d parallel zur y -Achse nach unten.

9. Wie machen sich der Kommutierungswiderstand R_K und die Durchlaßspannung U_F der Thyristoren in der Kennlinie für U_d bemerkbar? Bd. 4
S. 32 f

Der Kommutierungswiderstand R_K erzeugt einen zusätzlichen, von I_d abhängigen Spannungsabfall D_r , die Durchlaßspannung U_F der Thyristoren hingegen eine konstante, lastunabhängige Absenkung der Kennlinie um den Wert von U_F .

