Musterlösung zu Klausur F’91 Aufgabe 4: Asynchronmaschine

a) Das jeweilige Moment ist aus der Kloss’schen Gleichung (17.26) zu bestimmen:

$$\frac{M}{M_K} = \frac{2}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

j	$n\,/\,\mathrm{min}^{-1}$	s	$M_\Delta\,/\,\mathrm{Nm}$	$M_\mathrm{Y}\,/\,\mathrm{Nm}$
0	0	1	100	33
1	400	0,73	134	45
2	900	0,4	224	75
3	1275	0,15	340	113
4	1420	0,053	215	72
5	1500	0	0	0

b) s. gedruckte Klausursammlung

c) Das Moment der Maschine wird vermindert (gebremst) um das Reibmoment und führt zum beschleunigenden Moment

$$M_B = M - M_R \ ,$$

welchem die Trägheit der Maschine entgegen wirkt. Bei variabler Drehzahl ändert sich der Drehimpuls des Rotors:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{d(\Theta \cdot \omega)}{dt} = \Theta \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_B$$

Die Bewegungsgleichung lautet demnach:

$$M(n) - M_R = \Theta_s \cdot \frac{dn}{dt} \ , \qquad \text{mit} \quad \Theta_s = \Theta \cdot \frac{2\pi\,\mathrm{min}}{60\,\mathrm{s}} = \frac{\pi}{60}\mathrm{Nm}\cdot\mathrm{s} \ , \text{Drehzahl in } \mathrm{min}^{-1}$$

Diese Differenzialgleichung lässt sich durch Trennung der Variablen lösen:

$$dt = \Theta_s \cdot \frac{dn}{M(n) - M_R}$$

$M(n)$ soll als stückweise lineare Funktion, also durch Geraden, angenähert werden:

$$M_j(n) = a_j \cdot n + b_j = \frac{M_j - M_{j-1}}{n_j - n_{j-1}} \cdot n + b_j$$

Dann ist die Hochlaufzeit für die Drehzahländerung von n_{j-1} nach n_j

$$\Delta t_{h,j} = t_j - t_{j-1} = \Theta_s \cdot \int_{n_{j-1}}^{n_j} \frac{dn}{a_j \cdot n + c_j} \ , \quad \text{mit} \quad a_j = \frac{M_j - M_{j-1}}{n_j - n_{j-1}} \ , \ c_j = b_j - M_R \ .$$

Mit dem unbestimmten Integral $\int \frac{1}{a \cdot n + c} = \frac{1}{a} \ln(a \cdot n + c)$

$$\Rightarrow \ \Delta t_{h,j} = \Theta_s \cdot \frac{n_j - n_{j-1}}{M_j - M_{j-1}} \cdot \left[\ln(a_j \cdot n_j + b_j - M_R) - \ln(a_j \cdot n_{j-1} + b_j - M_R) \right]$$

$$\Rightarrow \ \Delta t_{h,j} = \Theta_s \cdot \frac{n_j - n_{j-1}}{M_j - M_{j-1}} \cdot \ln \frac{a_j \cdot n_j + b_j - M_R}{a_j \cdot n_{j-1} + b_j - M_R}$$

$$\Rightarrow \ \Delta t_{h,j} = \Theta_s \cdot \frac{n_j - n_{j-1}}{M_j - M_{j-1}} \cdot \ln \frac{M_j - M_R}{M_{j-1} - M_R}$$

j	n_{j-1}	n_j	$n_j - n_{j-1}$	M_{j-1}	M_j	$M_j - M_{j-1}$	$\ln \frac{M_j - M_R}{M_{j-1} - M_R}$	$\Delta t_{h,j}$
1	0	400	400	100	134	34	0,354	0,218
2	400	900	500	134	224	90	0,582	0,169
3	900	1275	375	224	340	116	0,450	0,076
4	1275	1420	145	340	215	-125	-0,495	0,030
Einheit	$\min^{-1}$	$\min^{-1}$	$\min^{-1}$	Nm	Nm	Nm	1	s

$$\Rightarrow \ t_{h,\Delta} = \sum_j \Delta t_{h,j} = \underline{\underline{0{,}493\text{s}}} \ ,$$

wobei der Index "Δ" den Hochlauf in Dreieck-Schaltung bezeichnet.

d) Nach (17.20) gilt:
$M(n) \sim U_S^2$, d.h., die Strangspannung wird im Y -Betrieb um den Faktor $\sqrt{3}$ abgesenkt: $M(n)_\Delta = 3 \cdot M(n)_\text{Y}$.

Das Drehmoment sinkt auf 1/3 bei gleicher Drehzahl (s. Tabelle unter a).

j	n_{j-1}	n_j	$n_j - n_{j-1}$	M_{j-1}	M_j	$M_j - M_{j-1}$	$\ln \frac{M_j - M_R}{M_{j-1} - M_R}$	$\Delta t_{h,j}$
1	0	400	400	33	45	12	0,654	1,141
2	400	900	500	45	75	30	0,788	0,688
3	900	1275	375	75	113	38	0,525	0,271
4	1275	1420	145	113	72	-41	-0,581	0,108
Einheit	$\min^{-1}$	$\min^{-1}$	$\min^{-1}$	Nm	Nm	Nm	1	S

$$\Rightarrow \ t_{h,\text{Y}} = \sum_j \Delta t_{h,j} = \underline{\underline{2{,}208\,\text{s}}}$$

e) Bei Y -Schaltung ist $I_{Netz,\text{Y}} = I_{Strang,\text{Y}} = \frac{U_{Strang}}{Z_{Strang}}$. Bei Δ -Schaltung liegen die Impedanzen an einer um $\sqrt{3}$ höheren Spannung $\Rightarrow$ $I_{Strang,\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{Strang,\text{Y}}$.
Gleichzeitig ist bei Δ -Schaltung $I_{Netz,\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{Strang,\Delta}$ $\Rightarrow$ $\underline{\underline{I_{Netz,\Delta} = 3 \cdot I_{Netz,\text{Y}}}}$. Für die Leistung gilt: $P_\Delta = 3 \cdot P_\text{Y}$, was auch aus $P_{mech} = M \cdot \Omega$ folgt ($M_\Delta = 3 M_\text{Y}$, $\Omega_\Delta = \Omega_\text{Y}$)