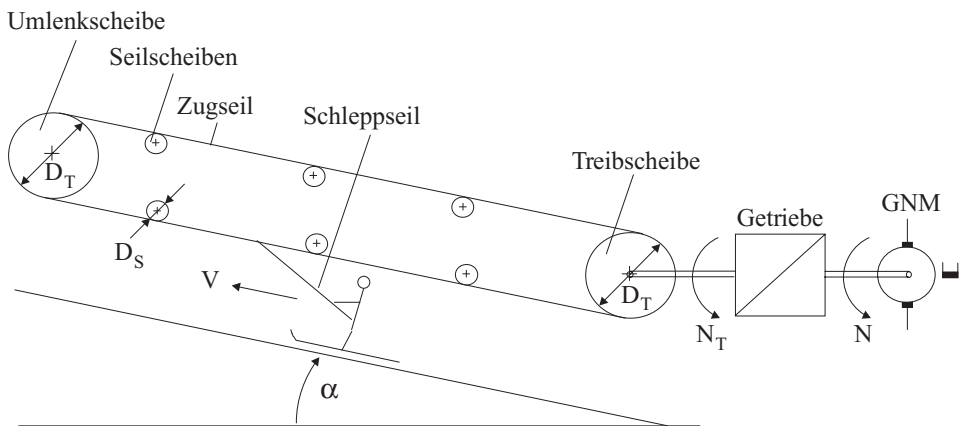


# Übungsaufgaben

## 1. Übung: Anfahren eines vollbesetzten Skilifts

Skizze der Anlage:



Beschreibung:

Das Zugseil eines Schlepliftes wird über eine Treib-, eine Umlenk- und insgesamt 90 Seilscheiben parallel zum Hang geführt. Am Zugseil sind 50 Schleppseile befestigt, so daß der Lift maximal 25 Personen (1 Person pro Schleppphaken) befördern kann.

Der Antrieb erfolgt schlupffrei durch die Treibscheibe, die über ein Getriebe an eine Gleichstrom-Nebenschlußmaschine (GNM) gekuppelt ist.

Daten:

Treib- und Umlenkscheibe:	
Durchmesser:	$D_T = 2,5 \text{ m}$
Trägheitsmoment je Scheibe:	$\Theta_T = 600 \text{ Nm s}^2$
Seilscheiben:	
Durchmesser:	$D_S = 0,3 \text{ m}$
Trägheitsmoment je Scheibe:	$\Theta_S = 0,6 \text{ Nm s}^2$
Gewicht des Zugseils:	$G_Z = 5850 \text{ N}$
Gewicht eines Schleppseils mit Haken:	$G_H = 70 \text{ N}$
Gewicht eines Skifahrers (beleibt):	$G_P = 900 \text{ N}$
Trägheitsmoment von Motor + Getriebe bezogen auf die Motorwelle:	$D_T = 2,5 \text{ m}$
Steigung des Hanges:	$\sin \alpha = 0,09$
Reibkraft Ski—Schnee je Person:	$F_{RS} = 26 \text{ N}$
Reibmoment von Getriebe und Seiltriebe bezogen auf $N_T$ :	$M_{RT} = 200 \text{ Nm}$
Schleppnenngeschwindigkeit:	$V_N = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Leerlaufdrehzahl des Motors:	$N_{0N} = 1500 \frac{1}{\text{min}}$
Anlaufmoment des Motors:	$M_{MA} = 400 \text{ Nm}$
maximal erlaubtes Motormoment:	$M_{Mmax} = 30 \text{ Nm}$
Übersetzungsverhältnis:	$\ddot{u} = \frac{N}{N_T}$
Motorkennlinie (bei konstanter Ankerspannung):	$N = N_{0N} \cdot \left(1 - \frac{M_M}{M_{MA}}\right)$

Fragen:

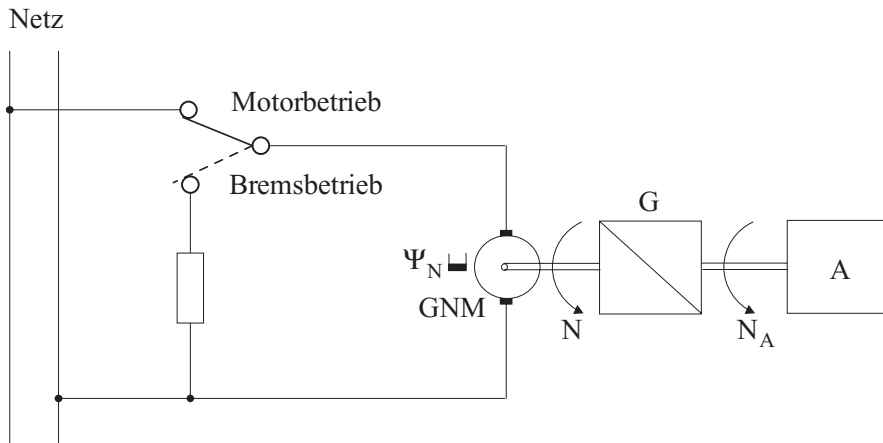
1. Welches Übersetzungsverhältnis muß das Getriebe haben, damit sich bei einer Motordrehzahl von  $N_N = 1429 \text{ 1/min}$  die Schleppgeschwindigkeit  $V_N = 1 \text{ m/s}$  einstellt?
2. Berechnen Sie bei vollbesetztem Lift den Wert von  $\Theta_{ges}$  der Liftanlage bezogen auf die Motorwelle. Wie groß ist der Ersatzradius  $R_{ers}$  für einen Schlepphaken?
3. Welches Widerstandsmoment  $M_W$  wirkt bei voll ausgelastetem Lift auf die Motorwelle?
4. Wie lautet die Bewegungs-Differentialgleichung an der Antriebsseite allgemein und mit Zahlenwerten?

Weil ein unerfahrenes Skihaserl im Lift gestürzt ist, muß die Anlage kurz angehalten werden. Das Wiederanfahren geschieht in zwei Stufen:

- Der Motor wird per Regelung mit dem konstanten maximalen Motor-moment  $M_{Mmax}$  hochgefahren bis die Motorkennlinie erreicht ist.
  - Dann fährt der Motor auf der Kennlinie in den stationären Betriebs-punkt.
5. Zeichnen Sie die Drehzahl–Drehmoment–Kennlinien von Widerstands- und Motormoment (beide Fälle). Kennzeichnen sie  $N_{0N}$ ,  $M_{MA}$  und  $M_{Mmax}$ . Zeichnen Sie den Anfahrvorgang in das Diagramm ein.
  6. Berechnen Sie die Drehzahl  $N_1$ , bei der die Motorkennlinie erreicht wird.
  7. Lösen sie die Bewegungsgleichung für das Anfahren mit  $M_{Mmax}$ . Geben Sie  $N(t)$  und  $M_M(t)$  an. Welches Verhalten hat die Anordnung bezüglich  $M_W$  und  $N$  aus regelungstechnischer Sicht?
  8. Welche stationäre Drehzahl  $N_2$  ergibt sich nach Abschluß des Anfahr-vorganges?
  9. Lösen Sie die Bewegungsgleichung für den Anfahrabschnitt auf der Motor-kennlinie. Geben Sie  $N(t)$  und  $M_M(t)$  an. Welchem regelungstechnischen Element entspricht dieses Verhalten?
  10. Zeichnen Sie  $M_M(t)$  und  $N(t)$ .

## 2. Übung: Widerstandsbremung

Skizze der Anlage:



Die konstant nennerrigte Gleichstrom-Nebenschlußmaschine GNM wird aus einem Gleichspannungsnetz gespeist. Sie treibt über ein Getriebe G die Arbeitsmaschine A an. Zum Abbremsen des Antriebes wird die Maschine vom Netz abgeschaltet und arbeitet generatorisch auf einen Bremswiderstand.

Daten der Anlage:

### Motor

Nennleistung	$P_N = 15 \text{ kW}$
Nennleerlaufdrehzahl	$N_{0N} = 11,6 \frac{1}{\text{s}}$
Nennndrehzahl	$N_N = 10,5 \frac{1}{\text{s}}$
Trägheitsmoment	$\Theta_M = 0,0714 \text{ Nms}^2$
Moment-Drehzahlkennlinie im Bremsbereich	$\frac{M_M}{[\text{Nm}]} = \frac{-36,6 \cdot N}{[1/\text{s}]}$
mech. Wirkungsgrad	$\eta_{\text{mech}} = 1$

### Arbeitsmaschine

Trägheitsmoment	$\Theta_A = 612 \text{ Nms}^2$
-----------------	--------------------------------

Widerstandsmoment (Reibung)  
(auf  $N_A$  bezogene Werte)

$$|M_{WA}| = 4,4 \cdot 10^3 \text{ Nm} = \text{konst.}$$

Getriebeübersetzung

$$\ddot{u} = \frac{N}{N_A} = 20$$

Bezugsdaten:

$$M_{iN}, N_{0N}$$

Zu ermitteln und gegebenenfalls zu skizzieren sind:

1. Allgemeines
  - 1.1 Luftspaltnennmoment  $M_{iN}$ ;
  - 1.2 Trägheits-Nennzeitkonstante  $T_{\Theta N}$  des gesamten Antriebs;
  - 1.3 Normiertes Widerstandsmoment  $m_W$  auf Motorseite bezogen [Skizze in Diagramm (1):  $n = f(m_W)$ ];
2. Motorbetrieb
  - 2.1 Die geradlinige normierte Motorkennlinie  $n = f(m_M)$  aus Leerlaufpunkt ( $M = 0$ ;  $N_{0N}$ ) und Nennpunkt ( $M_N$ ;  $N_N$ ) [Skizze in Diagramm (1)];
  - 2.2 Stationäre normierte Betriebsdrehzahl  $n_B$  [in Diagr. (1) kennzeichnen !];
3. Bremsbetrieb
  - 3.1 Normierte Motorkennlinie  $n = f(m_M)$  [Skizze in Diagramm (1)];
  - 3.2 Stationäre Enddrehzahl  $n_E$ ;
  - 3.3 Aus der dynamischen Grundgleichung die Differentialgleichung  $\left(\frac{dn}{dt}, n\right) = f(m_W)$ , die den Bremsvorgang beschreibt;
  - 3.4 Der zugehörige Signalflußplan mit  $m_W$  als Eingangs- und  $n$  als Ausgangsgröße (Skizze);
4. Abbremsvorgang
  - 4.1 Zeitlicher Verlauf der Drehzahl  $n(t)$  und Zeitkonstante  $T_{\Theta St}$  des Auslaufvorganges [Skizze in Diagramm (2):  $n, m_M = f(t)$ ];
  - 4.2 Verlauf des Motormomentes  $m_M(t)$  [Skizze in Diagramm (2)];
  - 4.3 Bremszeit  $t_{Br}$  von  $n_B$  bis Stillstand;
5. Statt des Reibmomentes wirke ein drehrichtungsunabhängiges Widerstandsmoment gleichen Betrages („Hubmoment“):
  - 5.1 qualitativer Verlauf  $n(t)$  [nur Skizze in Diagramm (2)].

### 3. Übung: Normierung und Drehzahlsteuerung

Die unnormierte Gleichung für die stationäre Drehzahl einer Gleichstrom-Nebenschlußmaschine ( $U_A, M_M, \Psi$ ) lautet :

$$(A) \quad N = \frac{U_A}{C_1 \cdot \Psi} - M_M \cdot \frac{R_A}{C_1 \cdot C_2 \cdot \Psi^2} \quad C_1, C_2 : \text{Maschinenkonstanten}$$

oder auch

$$(B) \quad N = N_0 \cdot \left( 1 - \frac{M_M}{M_{MA}} \right) \quad N_0 : \text{Leerlaufdrehzahl}$$

$$M_{MA} : \text{Anfahrmoment } (N = 0)$$

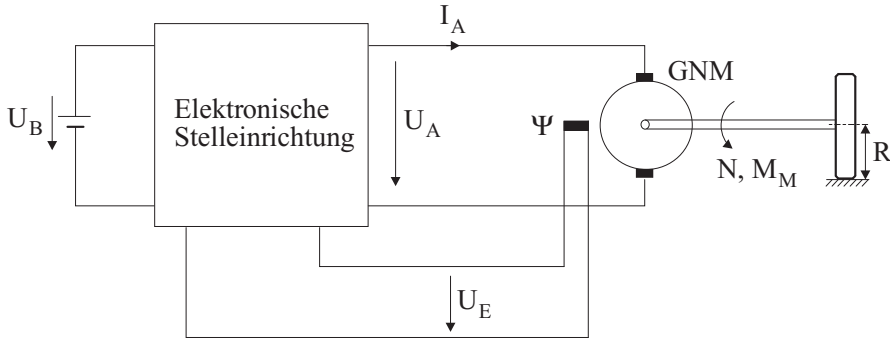
Unter Einbeziehung von Gleichung (A) soll die normierte mechanische Bewegungsgleichung formuliert werden:

$$T_{\Theta N} \cdot \frac{dn}{dt} = m_M - m_W; \quad T_{\Theta N} = \frac{2\pi \cdot N_{0N} \cdot \Theta_{ges}}{M_{iN}}; \quad \eta_{mech} = 1$$

- Berechnen Sie in allgemeiner Form den Zeitverlauf  $N(t)$  bei Anregung des Motors mit einem sprungförmigen Widerstandsmoment  $M_W$ . Dabei sei  $N(t=0) = N_0$ .  
Verwenden Sie Gleichung (B), um die Motorkennlinie zu charakterisieren.
- Als Nenngrößen seien vom Typenschild her  $U_{AN}, I_{AN}$  und  $\Psi_N$  bekannt. Welche anderen, daraus abgeleiteten Normierungsgrößen brauchen Sie noch, um Gleichung (A) zu normieren? Wie lauten sie in Abhängigkeit von  $U_{AN}, I_{AN}, \Psi_N, C_1$  und  $C_2$ ?
- Normieren Sie Gleichung (A). Wie lauten die normierten Gleichungen für  $n$  und  $m_M$ ?
- Wie lautet die normierte mechanische Bewegungsgleichung, wenn  $m_M$  eingesetzt wird? Definieren Sie die Zeitkonstante  $T_{\Theta St}$ , die sich jetzt ergibt.
- Drücken Sie  $N_0$  und  $M_{MA}$  aus Gleichung (B) mit den Größen von Gleichung (A) aus. Wie kann man  $N_0$  und  $M_{MA}$  mit den normierten Größen  $u_A, r_A$  und  $\psi$  sowie mit Normierungsgrößen aus Punkt 2 darstellen?
- Bilden Sie das Verhältnis  $N_0/M_{MA}$  und drücken Sie dann  $T_{\Theta St}$  durch  $N_0$  und  $M_{MA}$  aus. Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Zeitkonstante  $T^*$ , die sich in Teilpunkt 1. ergibt.  
Was kann man für die Normierung daraus folgern?

## 4. Übung: Anfahren eines Elektroautos

Schema des Antriebes:



### Beschreibung des Antriebes

Die Ankerspannung  $U_A$  und die Erregerspannung  $U_E$  einer Gleichstrom-Nebenschlußmaschine werden über eine elektronische Steleinrichtung aus der konstanten Batteriespannung  $U_B = U_{AN}$  erzeugt; die Ankerspannung  $U_A$  kann stufenlos zwischen  $-U_{AN}$  und  $+U_{AN}$  verstellt werden:  $-U_{AN} \leq U_A \leq +U_{AN}$ ; ebenso kann die Erregerspannung  $U_E$  stufenlos zwischen  $U_{EN}$  und einem Mindestwert  $U_{Emin}$  variiert werden:  $U_{Emin} \leq U_E \leq U_{EN}$ .

Die Gleichstrom-Nebenschlußmaschine treibt das Antriebsrad R an.

### Daten

• Motor:

Nennleistung  $P_N = 20 \text{ kW}$

Nenndrehzahl  $N_N = 19,7 \frac{1}{s}$

Normierter Ankerwiderstand  $r_A = 0,1$

Mechanischer Wirkungsgrad  $\eta_{mech} = 1$

• Fahrzeug:

Übersetzung: Für  $N = 19,7 \frac{1}{s}$  ergibt sich eine Fahrgeschwindigkeit  $V = 25 \frac{km}{h}$

Gesamtgewicht des Fahrzeugs  $G = 13720 \text{ N}$

Steigungswinkel  $\alpha = 6^\circ$

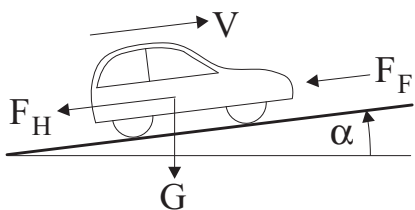
Fahrwiderstand  $\frac{F_F}{N} = 10,35 \cdot \frac{V}{km/h}$

Trägheitsmoment  $\Theta$  (Motor, Differential, Rad)  $\approx 0$ ;

Bezugsgrößen  $N_{0N}, M_{iN}, U_{AN}, P_{0N} = M_{iN} \cdot \Omega_{0N}$

Hinweis:

Das Widerstandsmoment für den Motor ergibt sich aus Fahrwiderstand und Hangabtrieb entsprechend der Übersetzung (siehe allgemeine Daten); alle anderen Einflüsse wie Reibung, Schlaglöcher und Baustellen sind zu vernachlässigen.

Anordnung des Fahrzeugs

$\alpha$  : Steigungswinkel

$G$  : Gewicht

$F_H$  : Hangabtrieb

$F_F$  : Fahrwiderstand

$V$  : Geschwindigkeit

Beschreibung des Anfahrvorganges

Das Elektroauto wird zur Zeit  $t = 0$  an einer Steigung mit dem Steigungswinkel  $\alpha$  aus dem Stand heraus auf die maximal mögliche Geschwindigkeit  $V_{max}$  beschleunigt. Der Anfahrvorgang untergliedert sich dabei in drei Anfahrstufen:

Stufe I:  $0 \leq V \leq V_I$ :

$\Psi = \Psi_N$ ;  $0 < U_A \leq U_{AN}$ ;  $M_I = 324 \text{ Nm} (> M_{iN})$ ;

Durch die elektronische Stelleinrichtung wird  $U_A$  bis zum Nennwert  $U_{AN}$  so gesteuert, daß die Motor ein konstantes Moment  $M_I = 324 \text{ Nm}$  abgibt.

Stufe II:  $V_I \leq V \leq V_{II}$ :

$\Psi = \Psi_N$ ;  $U_A = U_{AN}$ ;  $M_M \geq M_{iN}$ ;

Motordrehzahl  $N$  und Motormoment  $M_M$  verlaufen gemäß Motorkennlinie bis die Motorleistung  $P$  ihren Nennwert erreicht hat (Motormoment  $M_M >$  Widerstandsmoment  $M_W$ ).

Stufe III:  $V_{II} \leq V \leq V_{III} = V_{max}$ :

$U_A = U_{AN}$ ;  $P = P_N$ ;  $\Psi_{min} \leq \Psi \leq \Psi_N$ ;

Durch Flußsteuerung wird die Motorleistung bis zum Erreichen der Maximalgeschwindigkeit  $V_{max}$  konstant gehalten.



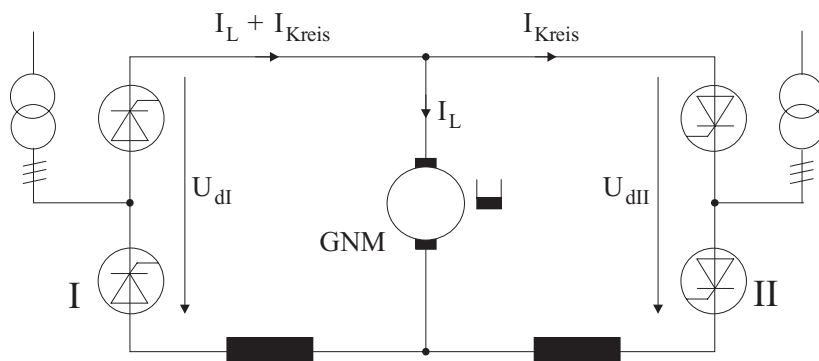
Es ist zu ermitteln und gegebenenfalls zu skizzieren:

1. Motornennmoment  $M_{iN}$ , Leerlaufnenn Drehzahl  $N_{0N}$ , Zusammenhang zwischen normierter Motordrehzahl  $n$  und Geschwindigkeit  $V$ :  

$$n = f\left(\frac{V}{km/h}\right);$$
2. Normierte Motorkennlinie  $n = f(m_M)$  für die Stufen I, II, III (mit Skizze);
3. Umschaltdrehzahlen  $n_I$ ,  $n_{II}$  mit den zugehörigen Geschwindigkeiten  $V_I$ ,  $V_{II}$  [ $km/h$ ] und Ersatzradius  $R_{ers}$  [ $m$ ];
4. Normiertes Widerstandsmoment  $m_W$  (mit Skizze  $n = f(m_W)$ );
5. Maximale Drehzahl  $n_{max} = n_{III}$  bzw.  $V_{max}[km/h]$ ;  
 Kennzeichnen Sie den Hochlaufvorgang für  $0 \leq n \leq n_{max}$ ;
6. Mechanische Nennzeitkonstante  $T_{\Theta N}[s]$ , Drehzahlverlauf  $n_I(t)$  für Stufe I (mit Skizze);  
 Drehzahlverlauf  $n_{II}(t)$  für Stufe II (mit Skizze);
7. Prinzipieller Drehzahlverlauf (Skizze !)  $n_{III}(t)$  für Stufe III, wenn die Motorkennlinie in Stufe III durch eine Gerade angenähert wird.  
 (Würde eine exakte Berechnung der Drehzahl für Stufe III eine größere oder eine kleinere Gesamtanfahrzeit ergeben?)

## 5. Übung: Stromrichtergespeister Fahrstuhltrieb

Für einen Personenaufzug soll ein drehzahlvariabler Stromrichterantrieb entworfen werden. Dazu wird ein kreisstrombehafteter Umkehrstromrichter aus zwei B6-Brücken vorgeschlagen:



Daten:

Netz:  $U_v = 380 \text{ V}$ ;  $u_{k\%} = 5 \%$ ;  $I_{dN} = 20 \text{ A}$

Arbeitspunkt:  $U_{AP} = 200 \text{ V}$ ;  $I_{AP} = 18,8 \text{ A}$

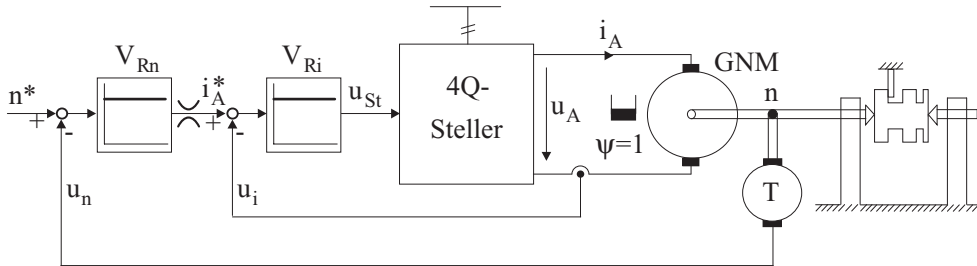
Motor:  $U_{AN} = 400 \text{ V}$ ;  $I_{AN} = 18,8 \text{ A}$ ;  $P_N = 6 \text{ kW}$ ;

$N_N = 3240 \text{ 1/min}$ ;  $\Psi = \Psi_N$

Fragen:

- Wie groß ist die ideelle Leerlaufspannung  $U_{di0}$  einer B6-Brücke? Wie heißt die Kennliniengleichung der Brücke I:  $U_{dI} = f(\alpha, I_d)$ ?
- Wo liegen die Aussteuergrenzen des Steuerwinkels? Wie groß ist dann der Bereich der Ankerspannungen für die Gleichstrommaschine? Berücksichtigen Sie dabei ggf. den Einfluß der Kommutierung. Der Ankernennstrom soll nicht überschritten werden.
- Welcher Steuerwinkel  $\alpha_{AP}$  wird benötigt, um den Strom  $I_{AP}$  einzustellen? Linearisieren Sie die Kennliniengleichung um den Arbeitspunkt  $\alpha_{AP}, I_{AP}$ .
- Normieren Sie die linearisierte Kennliniengleichung mit  $U_{di0}$  und  $I_{dN}$ . Mit welchen Anpassungsfaktoren müssen die so normierte Stromrichterausgangsspannung  $\Delta u_d$  und der Stromrichtergleichstrom  $\Delta i_d$  multipliziert werden, damit die auf die Gleichstrommaschine bezogenen Größen  $\Delta u_A$  und  $\Delta i_A$  herauskommen?
- Zeichnen Sie den linearisierten Signalflußplan vom Steuerwinkel  $\Delta \alpha$  bis zur Drehzahl  $\Delta n$ . Berücksichtigen Sie dabei auch die Dynamik des Stromrichters durch eine Totzeit. Wie groß ist diese Totzeit  $T_t$ ?

## 6. Übung: Drehzahlregelung des Hauptantriebs einer Drehbank (GNM)



Eine nenerregte Gleichstrommaschine treibt den Hauptantrieb einer Drehbank. Sie wird über einen Transistorsteller, der als verlustfrei betrachtet werden kann, aus einem starren Gleichstromnetz gespeist. Die Regelkreise mit den Proportionalreglern  $R_i$  und  $R_n$  dienen der Kontrolle des Ankerstroms und der Drehzahl.

### Daten:

Motor:	Nennspannung	$U_{AN} = 220 \text{ V}$
	Nennstrom	$I_{AN} = 15 \text{ A}$
	Ankerwiderstand	$R_A = 1,47 \text{ } \Omega$
	Ankerinduktivität	$L_A = 14,7 \text{ mH}$
	Erregung	$\Psi = \Psi_N$
	Trägheitszeitkonst.	$T_{\Theta N} = 0,8 \text{ s}$

Steller: 4-Quadrant-Transistorsteller mit Pulsweitenmodulation  
 $F = 20 \text{ kHz} = 1/T = \text{const.}$   
 mittlere Ausgangsspannung:

$$\frac{U_A}{U_{AN}} = \frac{U_{St}}{U_{StN}} = \frac{U_{St}}{10 \text{ V}} = u_A = u_{St}$$

Stromwandler:  $\frac{U_i}{U_{StN}} = \frac{U_i}{10 \text{ V}} = \frac{I_A}{I_{AN}} = u_i = i_A$

Tachogenerator:  $\frac{U_n}{U_{StN}} = \frac{U_n}{10 \text{ V}} = \frac{N}{N_{0N}} = u_n = n$

Regler:  $R_i$  : Proportionalregler :  $V_{Ri} = 1,9$   
 $R_n$  : Proportionalregler :  $V_{Rn} = 40$   
 Strombegrenzung :  $|i_A^*| < 1$

Fragen:Teilaufgabe 1: Drehzahlsteuerung

- 1.1 Berechnen Sie den normierten Ankerwiderstand  $r_A$  des Motors.
- 1.2 Berechnen Sie die Ankerzeitkonstante  $T_A$  und die mechanische Zeitkonstante  $T_{\Theta St}$  des Antriebs.
- 1.3 Stellen Sie den normierten Signalflußplan für die unregelte Anordnung auf (Eingangsgrößen:  $u_{St}$ ,  $m_W$ , Ausgangsgrößen:  $i_A$ ,  $n$ ) mit  $\psi_0 = \text{const.} = 1$ . Das Zeitverhalten des Transistorstellers kann dabei als proportional, verzögerungsfrei betrachtet werden.
- 1.4 Berechnen Sie die Übertragungsfunktionen der gesteuerten Anordnung:

$$G_1(s) = \frac{n(s)}{u_{St}(s)}; \quad G_2(s) = \frac{n(s)}{m_W(s)}; \quad G_3(s) = \frac{i_A(s)}{u_{St}(s)}.$$

Handelt es sich um ein aperiodisch gedämpftes oder um ein schwingungsfähiges System?

- 1.5 Wie groß ist die bleibende, stationäre Drehzahlabweichung  $\Delta n_\infty$ , die durch das Widerstandsmoment  $\Delta m_{W0}$  hervorgerufen wird.
- 1.6 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Drehzahl  $n = f(t)$  bei sprunghörmiger Anregung durch  $u_{St}(t) = u_{St0} \cdot \sigma(t)$ .

Teilaufgabe 2: Strom- und Drehzahlregelung

- 2.1 Erweitern Sie den Signalflußplan aus Frage 1.3 um die Komponenten der Stromregelung (Messung verzögerungsfrei,  $R_i$ : Proportionalregler).
- 2.2 Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des geschlossenen Stromregelkreises:

$$G_4(s) = \frac{i_A(s)}{i_A^*(s)} = V_{ersi} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot T_{ersi}}$$

und die Zahlenwerte für die Verstärkung  $V_{ersi}$  und die Ersatzzeitkonstante  $T_{ersi}$  des Regelkreises. Vernachlässigen Sie dabei den Einfluß der induzierten Motorspannung  $e_A$ .

Wie groß ist der stationäre Regelfehler ( $i_A - i_A^*$ ) ?

- 2.3 Erweitern Sie den Signalflußplan aus Frage 2.1 um die Komponenten der Drehzahlregelung (Messung verzögerungsfrei,  $R_n$ : Proportionalregler).
- 2.4 Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des geschlossenen Drehzahlregelkreises

$$G_5(s) = \frac{n(s)}{n^*(s)}$$

unter Verwendung von  $G_4(s)$  aus Frage 2.2.

- 2.5 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Drehzahl  $n = f(t)$  bei sprungförmiger Anregung durch  $n^* = n_0^* \cdot \sigma(t)$ . (Kleine Anregung: keine Strombegrenzung).
- 2.6 Wie groß ist der bleibende Regelfehler  $\Delta n_\infty$ , hervorgerufen durch das konstante Widerstandsmoment  $\Delta m_{W0}$ ?

Teilaufgabe 3: Strombegrenzung

Der Ausgang des Drehzahlreglers wird auf den Sollwert des Nennstroms begrenzt ( $|i_A^*| < 1$ ).

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird der Sollwert  $n^*$  der stehenden Anordnung von  $n^* = 0$  auf  $n^* = 0,5$  erhöht.

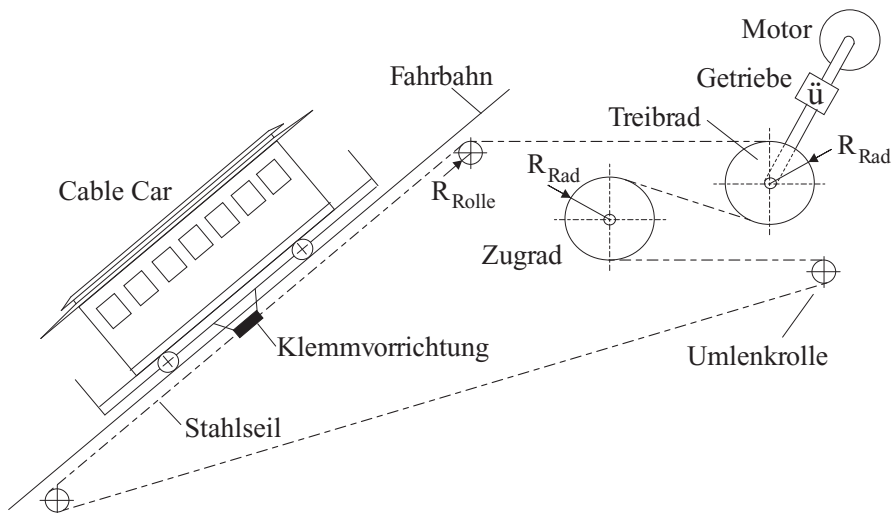
- 3.1 Skizzieren Sie, unter Vernachlässigung der Dynamik des geschlossenen Stromregelkreises den zeitlichen Verlauf der Drehzahl und des Ankerstroms während des Hochlaufs.
- 3.2 Bei welcher Drehzahl löst sich der Ausgang des Drehzahlreglers aus der Begrenzung?

## 7. Übung: Cable Car

In San Francisco wird auf besonders steilen Straßen das Cable Car als öffentliches Verkehrsmittel mit insgesamt vier Linien eingesetzt.

Ein Endlosseil wird von einer Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer (ASM) über ein Getriebe und ein Treibrad angetrieben. Das Endlosseil bewegt sich über Umlenkrollen in einer Schleife unterhalb der Fahrbahn.

Mit einer Klemmvorrichtung kann der Fahrzeugführer (Gripman) den Wagen an das Seil ankuppeln. An den Haltestellen gibt er das Seil frei und bremst mit einer normalen Radbremse.



Im Zuge von Wartungsarbeiten soll der Antrieb einer Linie modernisiert werden. Als europäischer Hersteller bieten Sie die folgende Maschine an:

$$f_{1N} = 50 \text{ Hz}$$

$$U_{1Nverk} = 380 \text{ V}$$

$$P_N = 315 \text{ kW}$$

$$N_N = 1448 \text{ 1/min}$$

$$\frac{M_{KN}}{M_{iN}} = 2,1$$

$$Z_p = 2$$

$$R_1 \approx 0$$

Da das amerikanische Netz bei gleicher Spannung jedoch eine Frequenz von  $f_1 = 60 \text{ Hz}$  aufweist, müssen Sie die wichtigsten Kenndaten Ihres Motors auf die amerikanischen Verhältnisse umrechnen.

Berechnen Sie zunächst für 50 Hz-Speisung:

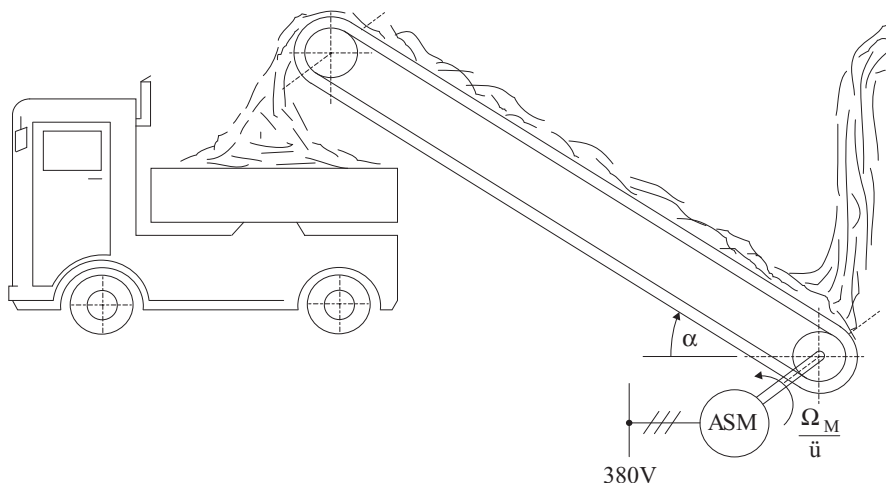
- 1.1 Berechnen Sie die synchrone Drehzahl  $N_{syn}$ , das Nennmoment  $M_{iN}$  und den Nennschlupf  $s_N$ .
- 1.2 Geben Sie die normierte linearisierte Kennliniengleichung  $n(m_M)$  in Formel und in Zahlenwerten an und zeichnen Sie die Kennlinie in ein Diagramm. (Hinweis:  $n$ -Achse : 1 cm  $\hat{=}$  0,1;  $m_M$ -Achse: 1 cm  $\hat{=}$  0,1; DIN A4 Format, Ursprung links unten)
- 1.3 Berechnen Sie den Kippschlupf  $s_{KN}$  mit Hilfe der Kloss'schen Gleichung.
- 1.4 Wie groß ist das auf  $M_{iN}$  bezogene Anlaufmoment  $m_A$  (Stillstand)?
- 1.5 Skizzieren Sie die normierte nichtlineare Kennlinie ebenfalls in ihr Diagramm aus Aufgabe 1.2.

Nehmen Sie nun Speisung mit 60 Hz an.

- 2.1 Wie lautet jetzt die normierte linearisierte Kennliniengleichung? (Normierung weiterhin auf die 50 Hz-Bezugsgrößen!)
- 2.2 Wie lautet die normierte Gleichung  $m_M(n)$  für konstante Abgabe von Nennleistung?
- 2.3 Ermitteln Sie die neuen Werte für Nominaldrehzahl  $N'_N$  und Nominalmoment  $M'_{iN}$  bei 60 Hz-Speisung und unveränderter Nennleistung  $P_N$  durch grafische Konstruktion im Diagramm oder durch Rechnung.
- 2.4 Wie groß sind nun die Werte für den Kippschlupf  $s'_K$ , die Kippdrehzahl  $n'_K$ , das normierte Kippmoment  $m'_K$  und das auf  $M'_{iN}$  bezogene Kippmoment  $\frac{M'_K}{M'_{iN}}$ ?

Skizzieren Sie die nichtlineare Kennlinie zwischen Leerlauf und Kippunkt im Diagramm.

## 8. Übung: Förderband mit ASM-Antrieb



In einem Kieswerk wird zum Beladen der LKW ein 10 m langes Förderband eingesetzt, das von einer ASM mit Kurzschlußläufer betrieben wird. Die Maschine wird in Dreieck-Schaltung an das Drehstromnetz angeschlossen, so daß an den Wicklungen die Spannung  $U_1 = 380 \text{ V}$  anliegt. Von den Kiesmühlen wird ein konstanter Volumenstrom  $V$  von  $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$  an das Förderband abgegeben.

Daten:Förderband:

Nutzlänge  $l = 10 \text{ m}$   
 Radius Treibscheibe  $R_T = 0,1 \text{ m}$   
 Anstellwinkel  $\alpha = 17,5^\circ$

Last:

Volumenstrom  $V = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$   
 Dichte  $\rho = 2,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Getriebe:

Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u} = 20$

Motor:

$U_{1N} = 380 \text{ V}$        $\cos \varphi_{1N} = 0,75$        $R_1 = 0$   
 $F_{1N} = 50 \text{ Hz}$        $Z_p = 3$   
 $P_N = 1,1 \text{ kW}$        $N_N = 920 \text{ 1/min}$        $M_{KN} = 2,3 \cdot M_{iN}$



Aufgaben:

1. Berechnen Sie:
  - 1.1 das Widerstandsmoment  $M_W(\Omega_m)$  bezogen auf die Motorwelle und die aufzubringende mechanische Leistung  $P_W$ .
  - 1.2 das Motornennmoment  $M_{iN}$ , den Nennschlupf  $s_N$  und den Betrag des Nennstroms  $I_{1N}$ .
  - 1.3 das Kippmoment  $M_K$  und den Kippschlupf  $s_K$  (aus der Kloss'schen Gleichung).
  - 2.1 Konstruieren Sie mit Hilfe von  $I_{1N}$ ,  $\varphi_{1N}$  und  $M_K$  den Heylandkreis für die Asynchronmaschine.  
(Hinweis: Maßstab:  $1\text{ cm} \hat{=} 0,2\text{ A}$ , Querformat, möglichst weit links anfangen!)
  - 2.2 Zeichnen Sie die Leistungslinie und eine Schlupfgerade ein.
  - 2.3 Bestimmen Sie aus der Zeichnung den komplexen Leerlauf- und den Anfahrstrom  $I_{10}$  bzw.  $I_{1A}$ .
  - 2.4 Wie groß ist der Blondelsche Streukoeffizient  $\sigma$ ?
  - 2.5 Wie groß ist die maximal abgebbare Wirkleistung  $P_{max}$  und bei welchem Schlupf  $s_{Pmax}$  tritt sie auf?
  - 3.1 Bestimmen Sie grafisch aus  $P_W$  den Arbeitspunkt  $M_{MAP}$  und  $s_{AP}$  der ASM.
  - 3.2 Welche Rotorverlustleistung  $P_{V2}$  tritt im Arbeitspunkt auf?

## 9. Übung: Geregelte Asynchronmaschine

Ein Fließband soll durch eine geregelte Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer angetrieben werden. Der Statorwiderstand  $R_1$  kann dabei im Folgenden vernachlässigt werden.

1. Wie lautet die allgemeine, unnormierte Gleichung für das Motormoment  $M_M = f(\Psi_{1A}, \Psi_{1B}, I_{2A}, I_{2B})$ ?

Die Asynchronmaschine soll mit konstantem Rotorfluß betrieben werden. Eine der Maschine vorgeschaltete Ansteuerelektronik prägt den Rotorfluß und die Schlupffrequenz  $\Omega_2$  ein.

2. Welche Raumzeigergröße ist mit dem Bezugssystem K fest verbunden?
3. Mit welcher Winkelgeschwindigkeit  $\Omega_K$  dreht sich dieses Bezugssystem relativ zu den raumfesten Statorkoordinaten?
4. Wie lauten die Bedingungen für die Komponenten des Rotorflusses  $\Psi_{2A}$  und  $\Psi_{2B}$ ?
5. Welche Auswirkungen hat dies auf die Größen  $\Psi_{1A}$  und  $I_{2A}$ ?  
Geben Sie  $I_{2B} = f(\Psi_{1B})$  und  $\Omega_2 = f(\Psi_{1B}, \Psi_{2A})$  an.
6. Leiten Sie daraus die Beziehung  $M_M = f(\Omega_2, \Psi_{2A})$  her.

Der Ausgang eines überlagerten P-Drehzahlreglers ist die Schlupffrequenz  $\Omega_2$ . Die ASM wird mit Nennerregung betrieben. Folgende Daten seien gegeben:

$$\begin{array}{lll} P_N = 3,00 \text{ kW} & F_{1N} = 50 \text{ Hz} & \Theta_{ges} = 0,20 \text{ Nms}^2 \\ P_{1N} = 3,14 \text{ kW} & Z_{pN} = 2 & \\ U_N = 380 \text{ V} & \Psi_{2A} = \Psi_{2N} & R_1 \approx 0 \end{array}$$

7. Normieren Sie die Momentgleichung aus Teilpunkt 6 und berechnen sie die Trägheitsnennzeitkonstante  $T_{\Theta N}$ .  
Hinweis: Verwenden Sie

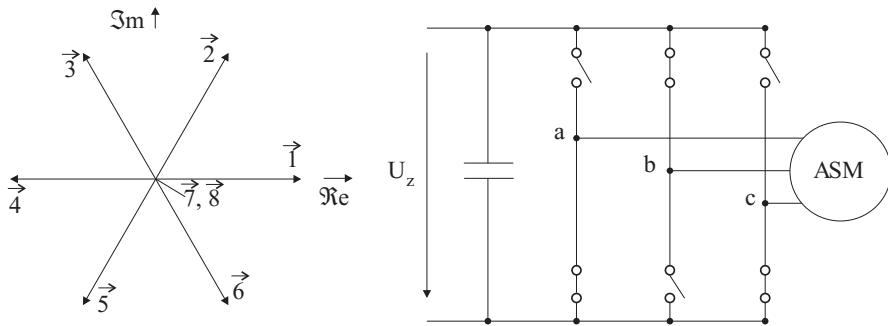
$$p = \frac{P_N}{P_{1N}} = 1 - \frac{\Omega_{2N}}{\Omega_{1N}}$$

8. Zeichnen Sie den normierten Signalflußplan des drehzahlgeregelten ASM-Antriebs.
9. Wie ist die Reglerverstärkung zu wählen, damit der stationäre Regelfehler  $n^* - n_\infty$  bei Belastung mit Nennmoment kleiner als 0,05 wird?

### 10. Übung: U-Umrichter

In der folgenden Aufgabe sollen die Maschinenströme und -spannungen eines selbstgeführten Zwischenkreisumrichters mit Gleichspannungszwischenkreis (U-Umrichter) untersucht werden.

Zum einfacheren Verständnis kann man sich je ein Paar abschaltbares Ventil mit antiparalleler Diode als Schalter vorstellen. Für die Funktionsweise des Umrichters ist es notwendig, daß in jedem Brückenweig des maschinenseitigen Umrichters der eine Schalter geöffnet und der andere geschlossen ist. Dadurch ergeben sich 8 mögliche Schalterkombinationen. Für jede dieser Kombinationen kann man einen Statorspannungszeiger der ASM im statorfesten Bezugssystem berechnen. Damit erhält man den unten links abgebildeten Raumzeiger-„Stern“.



- 1.1 Berechnen Sie den Spannungsraumzeiger für die oben rechts gezeichnete Schalterkombination. Identifizieren Sie den entsprechenden Zeiger im Raumzeiger-„Stern“.
- 1.2 Wie sind die Schalter bei den Null-Zeigern  $\vec{7}$  bzw.  $\vec{8}$  eingestellt?

In der Betriebsart *Grundfrequenztaktung* durchläuft der Statorspannungsraumzeiger periodisch nacheinander die Schalterkombinationen  $\vec{1}$  bis  $\vec{6}$ .

Bei Leerlauf kann die ASM durch ihre Phaseninduktivitäten  $L_{Ph} = 40 \text{ mH}$  dargestellt werden.

Arbeitspunkt:  $U_z = 300 \text{ V}$       $F_1 = 33,3 \text{ Hz}$       $\varphi_1 = 90^\circ$

- 2.1 Zeichnen Sie den Verlauf der Phasenspannung  $U_{1a}(t)$  über eine Periode und ordnen Sie den Zeitabschnitten die zugehörige Schalter-Kombination zu.
- 2.2 Berechnen sie abschnittsweise den Zeitverlauf des Statorstroms  $I_{1a}(t)$  unter Berücksichtigung der Phasenlage  $\varphi_1$ . Zeichnen Sie den Strom ebenfalls in das Diagramm von 2.1 ein. Wie hoch ist der Spitzenstrom  $\hat{I}_{1a}$  ?
- 2.3 Markieren Sie die Stromführungsdauern von abschaltbaren Ventilen (Th) und Dioden (D).

### Lösung zur 1. Übung

$$1. \ddot{u} = \frac{N}{V} \cdot \pi D_T = 187$$

$$2. \Theta_{ges} = \Theta_{M+G} + \frac{1}{\ddot{u}^2} \cdot \left[ \Theta_T + \Theta_T + 90 \cdot \left( \frac{D_T}{D_S} \right)^2 \cdot \Theta_S + \left( \frac{D_T}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{g} \cdot (G_Z + 50 \cdot G_H + 25 \cdot G_P) \right]$$

$$\Theta_{ges} = 0,5366 \text{ Nms}^2$$

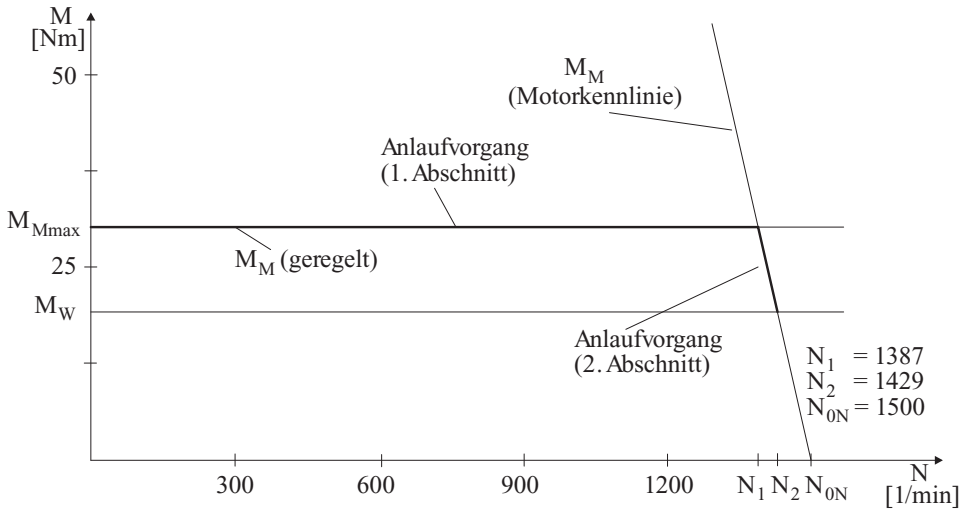
$$R_{ers} = \frac{1}{\ddot{u}} \cdot \frac{D_T}{2} = 6,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$3. M_W = \frac{1}{\ddot{u}} \left[ M_{RT} + \frac{D_T}{2} \cdot (25 \cdot G_P \cdot \sin \alpha + 25 \cdot F_{RS}) \right] = 18,95 \text{ Nm}$$

$$4. \text{ allgemein: } \Theta_{ges} \cdot 2\pi \cdot \frac{dN}{dt} = M_M - M_W$$

$$\text{in Zahlenwerten: } 3,37 \text{ Nms}^2 \cdot \frac{dN}{dt} = M_M - 18,95 \text{ Nm}$$

5.

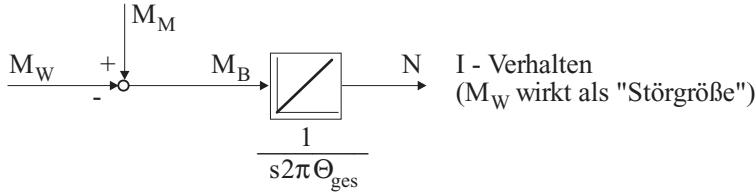


$$6. N_1 = N_{0N} \left( 1 - \frac{M_{Mmax}}{M_{MA}} \right) = 1387,5 \frac{1}{min} = 23,125 \frac{1}{s}$$

$$7. N(t) = N(t=0) + \frac{M_{Mmax} - M_W}{2\pi \Theta_{ges}} t = 3,28 \frac{1}{s} \cdot \frac{t}{s}$$

$$t_1 = 7,06 \text{ s}$$

$$M_M(t) = M_{Mmax} = 30 \text{ Nm}$$

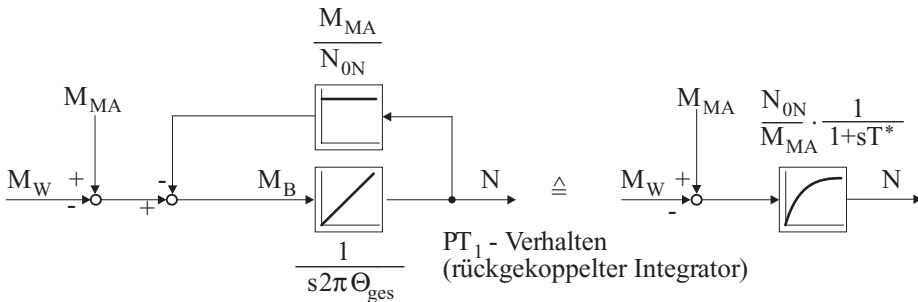


$$8. N_2 = N_{0N} \left( 1 - \frac{M_W}{M_{MA}} \right) = 23,82 \frac{1}{s}$$

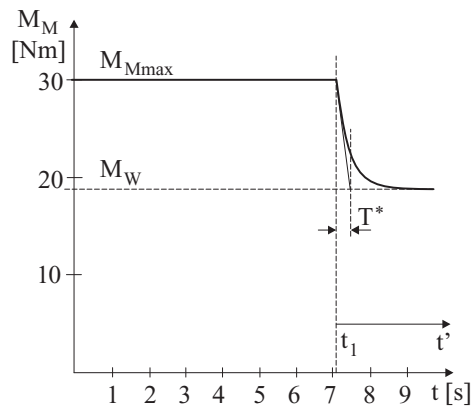
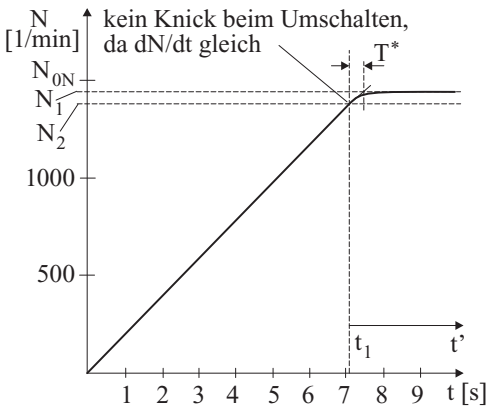
$$9. N(t') = N_2 - (N_2 - N_1) \cdot e^{-\frac{t' \cdot M_{MA}}{2\pi N_{0N} \Theta_{ges}}} = \left( 1429 - 41,5 \cdot e^{-\frac{t'}{0,21s}} \right) \frac{1}{min}$$

$$M_M(t') = M_{MA} - \frac{M_{MA}}{N_{0N}} \cdot N(t') = \left( 18,95 + 11,05 \cdot e^{-\frac{t'}{0,21s}} \right) Nm$$

mit  $t' = t - t_1$



10.



### Lösung zur 2. Übung

$$1.1 \quad M_{iN} = M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot N_N} = 227 \text{ Nm}$$

$$1.2 \quad T_{\Theta N} = \frac{\Theta_{ges} \Omega_{0N}}{M_{iN}} = 0,514 \text{ s}$$

$$\text{mit } \Theta_{ges} = \Theta_M + \Theta_A \frac{1}{\ddot{u}^2} = 1,60 \text{ Nms}^2$$

$$1.3 \quad M_W = \frac{|M_{WA}|}{\ddot{u}} \cdot \text{sign}(N)$$

$$m_W = \frac{M_W}{M_{iN}} = 0,97 \cdot \text{sign}(n)$$

2.1 Leerlaufpunkt:  $M_M = 0; N = N_{0N} \Rightarrow m_{M0} = 0; n_0 = 1$

Nennpunkt:  $M_M = M_{iN}; N = N_N \Rightarrow m_N = 1; n_N = \frac{N_N}{N_{0N}} = 0,905$

Geradengleichung:  $n = n_0 + \frac{n_N - n_0}{m_N - m_{M0}} \cdot m_M = 1 - 0,095 \cdot m_M$

2.2  $n_B = 0,908$

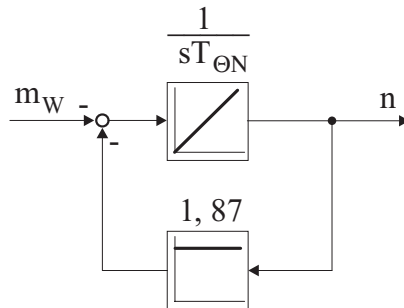
$$3.1 \quad \frac{M_M}{M_{iN}} = m_M = -\frac{N}{N_{0N}} \cdot 36,6 \text{ Nms} \cdot \frac{N_{0N}}{M_{iN}}$$

$$n = -0,545 m_M$$

3.2  $n_E = -0,535 \cdot m_W(n_E)$ ; Lösung nur für  $n_E = 0$ ;

$$3.3 \quad T_{\Theta N} \cdot \frac{dn}{dt} + 1,87 \cdot n = -m_W$$

3.4



4.1  $T_{\Theta St} = 0,27 \text{ s}$ ;

$$\frac{dn}{dt} = 0 \Rightarrow n_{\infty} = -0,52 ; (\neq n_E!)$$

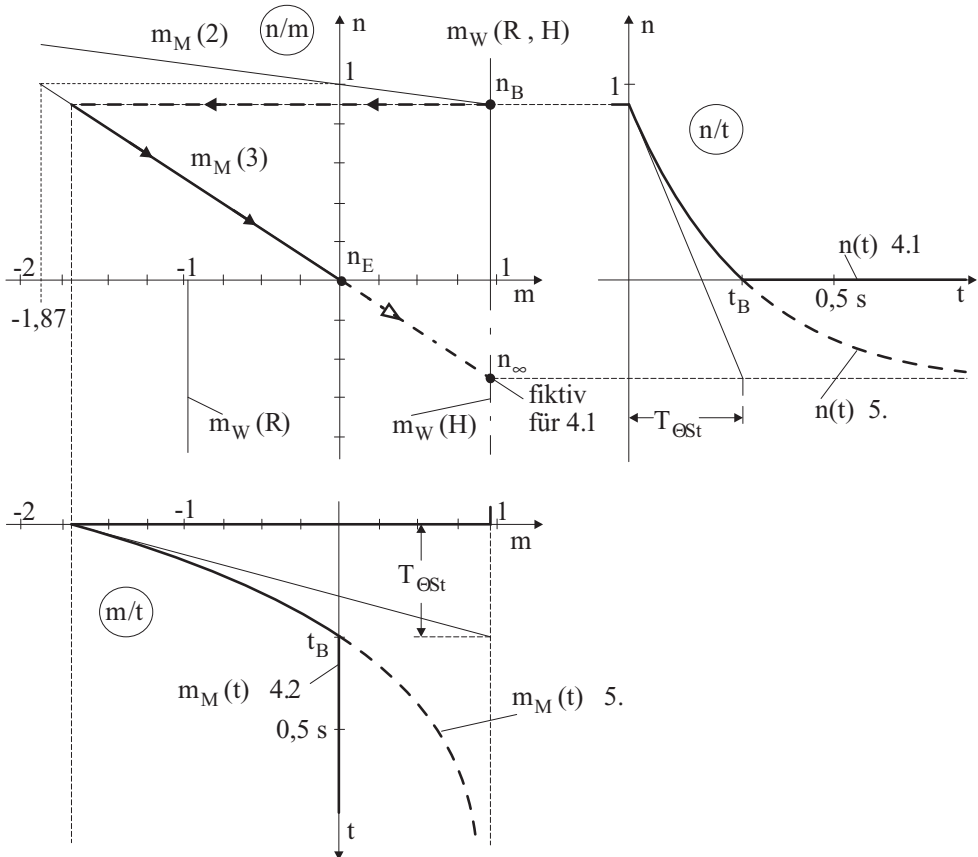
Vorgeschichte:  $\Rightarrow n_a = n_B = 0,91$  ;

$$n(t) = n_{\infty} - (n_{\infty} - n_a) \cdot e^{-\frac{t}{0,27 \text{ s}}} ; \text{ für } 0 < n < 0,91$$

4.2  $m_M = -1,87 n = 0,97 - 2,67 \cdot e^{-\frac{t}{0,27 \text{ s}}} \quad \text{für } m_M \leq 0$

4.3 aus  $n(t)$  mit  $n = 0$ :  $t_{Br} = 0,27 \text{ s}$

5.1  $m_W(H) = +0,97 \neq f(n)!$



### Lösung zur 3. Übung

1. Bewegungsdifferentialgleichung:

$$2\pi \cdot \Theta_{ges} \cdot \frac{dN}{dt} + N \cdot \frac{M_{MA}}{N_0} = M_{MA} - M_W;$$

Lösung:  $N(t) = N_\infty - (N_\infty - N_0) e^{-t/T^*};$

$$T^* = \frac{2\pi \cdot N_0 \cdot \Theta_{ges}}{M_{MA}}$$

2.  $N_{0N} = \frac{U_{AN}}{C_1 \Psi_N}, \quad R_{AN} = \frac{U_{AN}}{I_{AN}}; \quad M_{iN} = C_2 \Psi_N I_{AN}$

3.  $\frac{N}{N_{0N}} = \frac{C_1 \Psi_N}{U_{AN}} \cdot \left( \frac{U_A}{C_1 \Psi} - M_M \cdot \frac{R_A}{C_1 \Psi C_2 \Psi} \right)$

$$\frac{N}{N_{0N}} = \frac{\frac{U_A}{\Psi}}{\frac{\Psi_N}{\Psi}} - \frac{M_M}{M_{iN}} \cdot \frac{\frac{R_A}{C_1 \Psi}}{\left(\frac{\Psi}{\Psi_N}\right)^2} = n = \frac{u_A}{\psi} - m_M \cdot \frac{r_A}{\psi^2};$$

$$m_M = \frac{\psi}{r_A} u_A - \frac{\psi^2}{r_A} n$$

4.  $T_{\Theta St} \cdot \frac{dn}{dt} + n = \frac{u_A}{\psi} - \frac{r_A}{\psi^2} m_W;$

mit  $T_{\Theta St} = \frac{r_A}{\psi^2} \cdot T_{\Theta N} = \frac{r_A}{\psi^2} \cdot \frac{2\pi \cdot N_{0N} \cdot \Theta_{ges}}{M_{iN}}$

5.  $N_0 = \frac{U_A}{C_1 \Psi} = \frac{u_A}{\psi} \cdot N_{0N} \quad (M_M = 0)$

$$M_{MA} = \frac{C_1 C_2 \Psi^2}{R_A} \cdot N_0 = \frac{u_A \psi}{r_A} \cdot M_{iN} \quad (N = 0)$$

6.  $\frac{N_0}{M_{MA}} = \frac{r_A}{\psi^2} \cdot \frac{N_{0N}}{M_{iN}}; \quad T_{\Theta St} = \frac{r_A}{\psi^2} \frac{N_{0N} \cdot 2\pi \cdot \Theta_{ges}}{M_{iN}} = \frac{N_0 \cdot 2\pi \cdot \Theta_{ges}}{M_{MA}} = T^*$

Die Normierung ändert nichts am dynamischen Verhalten des Systems; die charakteristischen Zeitkonstanten bleiben unverändert!



### Lösung zur 4. Übung

$$1. \quad \eta_{mech} = 1 \implies M_N = M_{iN}; \quad M_N = \frac{P_N}{2\pi N_N} = 162 \text{ Nm};$$

$$N_{0N} = \frac{N_N}{1 - r_A} = 21,9 \text{ s}^{-1}; \quad N = N_N \frac{V}{25 \text{ km/h}}; \quad n = 0,036 \frac{V}{\text{km/h}}$$

$$2. \quad \text{I. } m_I = \frac{M_I}{M_N} = 2$$

$$\text{II. } n = 1 - 0,1 \cdot m_M$$

$$\text{III. } P = P_N \implies p = \frac{P_N}{P_{0N}} = \frac{N_N}{N_{0N}} = 0,9; \quad p = m_M \cdot n \implies n = \frac{0,9}{m_N}$$

$$3. \quad n_I = u_A - r_A m_M = 0,8; \quad V_I = \frac{n_I}{0,036} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,2 \text{ km/h}$$

$$n_{II} = u_A - r_A = n_N; \quad V_{II} = 25 \text{ km/h}$$

$$4. \quad M_W = R_{ers} \cdot (F_F + G \cdot \sin \alpha) = 0,58 \text{ Nm} \frac{V}{\text{km/h}} + 80,3 \text{ Nm}$$

$$m_W = 0,1 \cdot n + 0,5$$

$$5. \quad n = \frac{0,9}{m_M}; \quad m_W = 0,1 \cdot n + 0,5; \quad m_M = m_W$$

$$\implies n_{max} = \frac{0,9}{0,1 \cdot n_{max} + 0,5} > n_{max}^2 + 5 \cdot n_{max} = 9$$

$$n_{max} = 1,4; \quad V_{max} = 38,9 \text{ km/h}$$

$$6. \quad T_{\theta N} = \frac{G \cdot R_{ers}^2 \cdot 2\pi N_{0N}}{g M_{iN}} = 3,72 \text{ s}$$

$$10 T_{\theta N} \cdot \frac{dn_I}{dt} + n_I = 15$$

$$n_I(t) = 15 - 15 \cdot e^{-t/T_{\theta St I}}; \quad T_{\theta St I} = 37,2 \text{ s}$$

Gültigkeit bis  $n_I = 0,8$ , d.h.  $e^{-t/37,2 \text{ s}} \approx 1$ , also  $t \ll 37,2 \text{ s}$ , daher ist

Näherung  $e^{-t/37,2 \text{ s}} \approx 1 - \frac{t}{37,2 \text{ s}}$  möglich, d.h.  $n_I(t) \approx 15 \cdot \frac{t}{37,2 \text{ s}}$

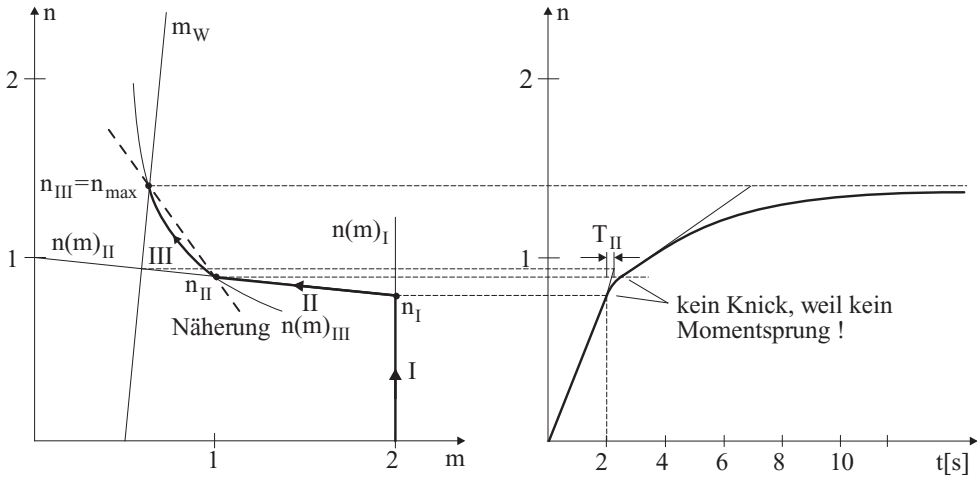
$$t_I \approx 2 \text{ s}$$

$$\frac{T_{\theta N}}{10,1} \cdot \frac{dn_{II}}{dt} + n_{II} = \frac{9,5}{10,1}$$

$$n_{II}(t) = 0,94 - 0,14 \cdot e^{-t/T_{\theta St II}}$$

$$T_{\theta St II} = 0,37 \text{ s}, \quad \text{für } n_I \leq n \leq n_{II}$$

7.



$n_{III}(t)$  : Näherung der Kennlinie  $n(m)_{III}$  durch eine Gerade!

Da das Beschleunigungsmoment nicht springt, muß die Anfangstangente von  $n_{III}(t)$  gleich der Endtangente von  $n_{II}(t)$  sein, d.h.  $\dot{n}$  ist stetig

$$\left(\dot{n} = \frac{dn}{dt} = \frac{m_B}{T_{\Theta N}}\right); n_0 \text{ und } n_{\infty} \text{ aus Kennlinienfeld.}$$

Tatsächliche Anfahrzeit  $>$  genäherte Anfahrzeit, weil  $m_B$  in Wirklichkeit etwas kleiner als angenommen ist!

## Lösung zur 5. Übung

$$1. U_{di0} = U_{Netz\ verk} \cdot \sqrt{2} \frac{p}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) = 513\text{ V}$$

$$p = 6$$

$$U_{dI} = U_{di0} \cdot \left( \cos \alpha - \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \right) = 513\text{ V} \cdot \left( \cos \alpha - 0,00125 \cdot \frac{I_d}{A} \right)$$

$$2. \text{Wechselrichtertrittgrenze} \quad : \alpha_{max} = 150^\circ$$

$$\text{symmetrische Aussteuerung zu } \alpha = 90^\circ \quad (U_{di} = 0) : \alpha_{min} = 30^\circ$$

$$U_{d\alpha max} = U_d(\alpha = \alpha_{min}, I_d = 0) = 513\text{ V} \cdot \cos 30^\circ = 444\text{ V}$$

$$U_{d\alpha min} = U_d(\alpha = \alpha_{max}, I_d = I_{dN})$$

$$= 513\text{ V} \cdot \left( \cos 150^\circ - 0,00125 \cdot \frac{18,8\text{ A}}{A} \right) = -457\text{ V}$$

$$3. I_d = I_{AP}, \quad U_d = U_{AP}; \quad U_{d\alpha} = U_{di0} \cdot \left( \cos \alpha - \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \right)$$

$$\cos \alpha_{AP} = \frac{U_{AP}}{U_{di0}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{I_{AP}}{I_{dN}}$$

$$\alpha_{AP} = \arccos\left(\frac{200\text{ V}}{513\text{ V}} + 0,00125 \cdot \frac{18,8\text{ A}}{A}\right) = 65,5^\circ$$

$$\text{Linearisieren: } dU_{d\alpha} = \frac{\partial U_{d\alpha}}{\partial \alpha} \cdot d\alpha + \frac{\partial U_{d\alpha}}{\partial I_d} \cdot dI_d$$

$$\frac{\partial U_{d\alpha}}{\partial \alpha} = -U_{di0} \cdot \sin \alpha; \quad \frac{\partial U_{d\alpha}}{\partial I_d} = -U_{di0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{1}{I_{dN}}$$

$$\Delta U_{d\alpha} = dU_{d\alpha} |_{\alpha \approx \alpha_{AP}} = -U_{di0} \cdot \left( \sin \alpha_{AP} \cdot \Delta \alpha + \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{\Delta I_d}{I_{dN}} \right)$$

$$= -467\text{ V} \cdot \Delta \alpha - 0,641\text{ V} \cdot \frac{\Delta I_d}{A}$$

$$4. \frac{\Delta U_{d\alpha}}{U_{di0}} = -\frac{U_{di0}}{U_{di0}} \cdot \left( \sin \alpha_{AP} \cdot \Delta \alpha + \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{\Delta I_d}{I_{dN}} \right)$$

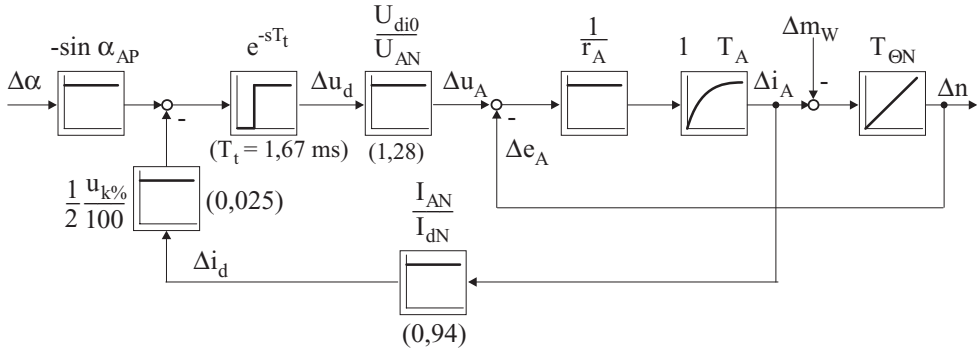
$$\Delta u_d = -\sin \alpha_{AP} \cdot \Delta \alpha - \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot \Delta i_d = -0,91 \cdot \Delta \alpha - 0,025 \cdot \Delta i_d$$

$$\Delta U_{d\alpha} = \Delta u_d \cdot U_{di0} = \Delta u_A \cdot U_{AN}$$

$$\implies \Delta u_A = \frac{U_{di0}}{U_{AN}} \cdot \Delta u_d = 1,28 \cdot \Delta u_d$$

$$\Delta I_d = \Delta i_d \cdot I_{dN} = \Delta i_A \cdot I_{AN} \implies \Delta i_A = \frac{I_{dN}}{I_{AN}} \cdot \Delta i_d = 1,06 \cdot \Delta i_d$$

5.  $T_t = \frac{T_{Netz}}{2 \cdot p} = \frac{20 \text{ ms}}{2 \cdot 6} = 1,67 \text{ ms}$

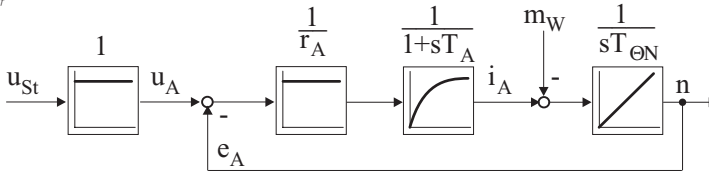


### Lösung zur 6. Übung

1.1  $r_A = \frac{R_A \cdot I_{AN}}{U_{AN}} = 0,1$

1.2  $T_A = \frac{L_A}{R_A} = 10 \text{ ms}$  ;  $T_{\Theta St} = T_{\Theta N} \cdot \frac{r_A}{\psi^2} = 80 \text{ ms}$  ;

1.3 mit  $\psi = 1$  :



1.4  $G_1(s) = \frac{n(s)}{u_{St}(s)} = \frac{1}{1 + (1 + sT_A)sT_{\Theta N} \cdot r_A} = \frac{1}{1 + sT_{\Theta St} + s^2T_{\Theta St}T_A}$

$G_2(s) = \frac{n(s)}{m_W(s)} = - \frac{r_A(1 + sT_A)}{1 + sT_{\Theta St} + s^2T_{\Theta St}T_A} \approx - \frac{r_A}{1 + sT_{\Theta St}}$

$G_3(s) = \frac{i_A(s)}{u_{St}(s)} = sT_{\Theta N} \cdot G_1(s) = \frac{sT_{\Theta N}}{1 + sT_{\Theta St} + s^2T_{\Theta St}T_A}$

mit den Zahlenwerten:  $T_A = 0,01 \text{ s}$  ;  $T_{\Theta St} = 0,08 \text{ s}$  ;  $T_{\Theta N} = 0,8 \text{ s}$  ;

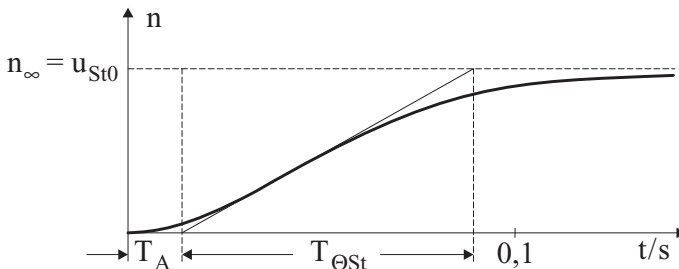
$r_A = 0,1$

$T_{\Theta St}/4 = 0,02 \text{ s} > T_A = 0,01 \text{ s} \Rightarrow$  aperiodisch gedämpft

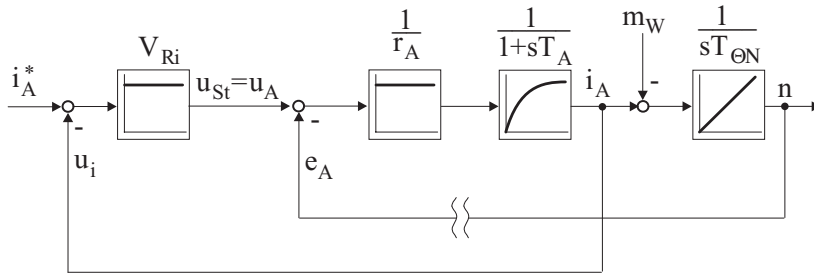
1.5  $\frac{\Delta n_{\infty}}{\Delta m_{W0}} = \lim_{s \rightarrow 0} (G_2(s)) = - r_A$  ;

$\Delta n_{\infty} = - r_A \cdot \Delta m_{W0} = - 0,1 \cdot \Delta m_{W0}$

1.6 System 2. Ordnung:



2.1 SFP ( $\psi = 1$ ) :



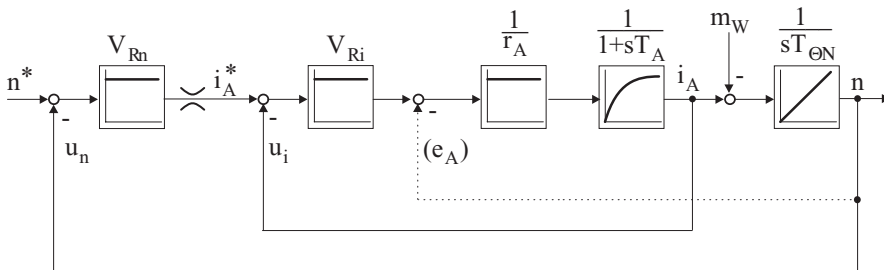
2.2  $e_A$  vernachlässigt:  $G_4(s) = \frac{i_A(s)}{i_A^*(s)} = \frac{V_{Ri}}{V_{Ri} + r_A \cdot (1 + sT_A)}$

$G_4(s) = V_{ersi} \frac{1}{1 + sT_{ersi}} ; V_{ersi} = \frac{V_{Ri}}{V_{Ri} + r_A} = 0,95$

$T_{ersi} = \frac{T_A \cdot r_A}{V_{Ri} + r_A} = 0,5 \text{ ms}$

stat. Regelfehler:  $\frac{\Delta i_{A\infty}}{i_{A0}^*} = \frac{i_{A\infty} - i_{A0}^*}{i_{A0}^*} = \frac{r_A}{r_A + V_{Ri}} = -\frac{1}{20}$

2.3 SFP:



2.4 Mit  $G_4(s) = \frac{i_A(s)}{i_A^*(s)} = V_{ersi} \frac{1}{1 + sT_{ersi}} ; V_{ersi} = 0,95 ; T_{ersi} = 0,5 \text{ ms}$

folgt:  $G_5(s) = \frac{n(s)}{n^*(s)} = \frac{V_{Rn} \cdot V_{ersi}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi} + (1 + sT_{ersi}) \cdot sT_{\Theta N}}$

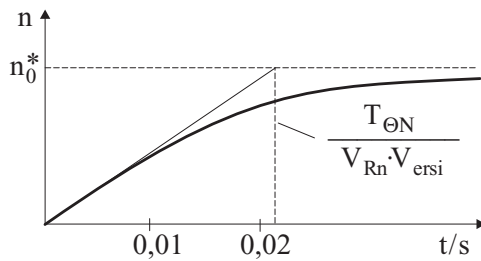
$G_5(s) = \frac{1}{1 + s \frac{T_{\Theta N}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}} + s^2 \frac{T_{ersi} \cdot T_{\Theta N}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}}}$

Hinweis: vgl.  $G_1(s) : T_{ersi} \hat{=} T_A ; \frac{T_{\Theta N}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}} \hat{=} T_{\Theta St}$

2.5 Mit  $\frac{T_{\Theta N}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}} \gg T_{ersi} \rightarrow$  Zerlegung in 2 PT<sub>1</sub>-Glieder:

$$G_5(s) \approx \frac{1}{(1 + sT_{ersi}) \cdot \left(1 + \frac{sT_{\Theta N}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}}\right)} ;$$

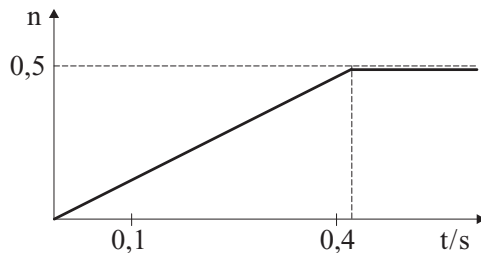
$$T_{ersi} = 0,5 \text{ ms} ; \frac{T_{\Theta N}}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}} = 21 \text{ ms}$$



$$2.6 \frac{\Delta n_{\infty}}{\Delta m_{W0}} = - \frac{1}{V_{Rn} \cdot V_{ersi}} = - \frac{1}{38} = - 0,0263$$

3.1 mit Strombegrenzung:  $i_A^* = 1,0 \rightarrow i_A = 0,95 = \text{const.}$

$$\text{Hochlaufzeit: } \Delta t_H \approx \frac{1}{0,95} \cdot T_{\Theta N} \cdot \Delta n = 0,421 \text{ s}$$



3.2 keine Begrenzung, wenn  $(n^* - n) \cdot V_{Rn} < 1$

$$n_1 = n^* - \frac{1}{V_{Rn}} = 0,475$$

## Lösung zur 7. Übung

$$1.1 \quad N_{syn} = \frac{F_{1N}}{Z_p} = \frac{50 \text{ Hz}}{2} = 25 \frac{1}{s} = 1500 \frac{1}{min}$$

$$M_{iN} = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{2\pi N_N}; \quad N_N = 1448 \frac{1}{min} \frac{min}{60 s} = 24,13 \frac{1}{s}$$

$$M_{iN} = 2078 \text{ Nm}$$

$$s_N = 1 - \frac{N_N}{N_{syn}} = 0,035$$

$$1.2 \quad n = f_1 - m_M \cdot \frac{s_N}{\left(\frac{u_1}{f_1}\right)^2} = f_1 - m_M \cdot s_N \cdot f_1^2 \quad (u_1 = 1)$$

$$n = 1 - m_M \cdot 0,035$$

$$1.3 \quad \text{Kloss'sche Gleichung: } M_M = M_K \cdot \frac{2 \cdot s \cdot s_K}{s^2 + s_K^2}$$

$$\text{im Nennpunkt: } M_{iN} = M_{KN} \cdot \frac{2 \cdot s_N \cdot s_{KN}}{s_N^2 + s_{KN}^2}$$

$$s_{KN}^2 - 2 \frac{M_{KN}}{M_{iN}} s_N s_{KN} + s_N^2 = 0;$$

$$s_{KN_{1/2}} = \frac{\frac{2 M_{KN}}{M_{iN}} s_N \pm \sqrt{4 \left(\frac{M_{KN}}{M_{iN}} s_N\right)^2 - 4 s_N^2}}{2}$$

$$s_{KN} = s_N \cdot \left( \frac{M_{KN}}{M_{iN}} \pm \sqrt{\left(\frac{M_{KN}}{M_{iN}}\right)^2 - 1} \right) = 0,137$$

$$m_A = \frac{M_{KN}}{M_{iN}} \cdot \frac{M_M(s=1)}{M_{KN}} = \frac{2 \cdot s_{KN}}{1 + s_{KN}^2} \cdot 2,1 = 0,564$$

1.5 siehe Hilfsblatt

$$2.1 \quad n = f_1 - m_M \cdot s_N f_1^2; \quad f_1 = \frac{60 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 1,2$$

$$n = 1,2 - m_M \cdot 0,035 \cdot (1,2)^2 = 1,2 - m_M \cdot 0,050$$

$$2.2 \quad \frac{P}{M_{iN} \cdot \Omega_{0N}} = \frac{M_M}{M_{iN}} \cdot \frac{\Omega}{\Omega_{0N}} = \text{const.}$$



$$\Rightarrow p_N = \frac{P_N}{P_{0N}} = m_M \cdot n = \text{const.}$$

Nennbetrieb:  $m_M = 1$  ;  $n = n_N \Rightarrow p_N = n_N \Rightarrow m_M = \frac{n_N}{n} = \frac{0,963}{n}$

mit  $n_N = \frac{1448}{1500} = 0,963$

2.3 grafische Lösung: siehe Hilfsblatt S. 651

rechnerische Lösung:

$$m'_{iN} = \frac{n_N}{n'_N} ; n'_N = f_1 - m'_{iN} \cdot s_N \cdot f_1^2 = f_1 - \frac{n_N}{n'_N} \cdot s_N \cdot f_1^2 \quad | \cdot n'_N$$

mit  $s_N = 1 - n_N$ ;  $n_N'^2 - f_1 n'_N + f_1^2 (n_N (1 - n_N)) = 0$

$$n'_N = \frac{f_1 \pm \sqrt{f_1^2 - 4(n_N - n_N^2)f_1^2}}{2} = f_1 \left( \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4n_N + 4n_N^2}}{2} \right)$$

$$n'_N = f_1 \left( \frac{1 \overset{+}{-} (1 - 2n_N)}{2} \right) = f_1 \cdot n_N = 1,2 \cdot 0,963 = 1,16$$

$$N'_N = n_N \cdot N_{0N} = 1,16 \cdot 1500 \frac{1}{\text{min}} = 1738 \frac{1}{\text{min}}$$

$$m'_{iN} = \frac{n_N}{n'_N} = \frac{n_N}{f_1 \cdot n_N} = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{1,2} = 0,833$$

$$M'_{iN} = m'_{iN} \cdot M_{iN} = \frac{2048 \text{ Nm}}{1,2} = 1732 \text{ Nm}$$

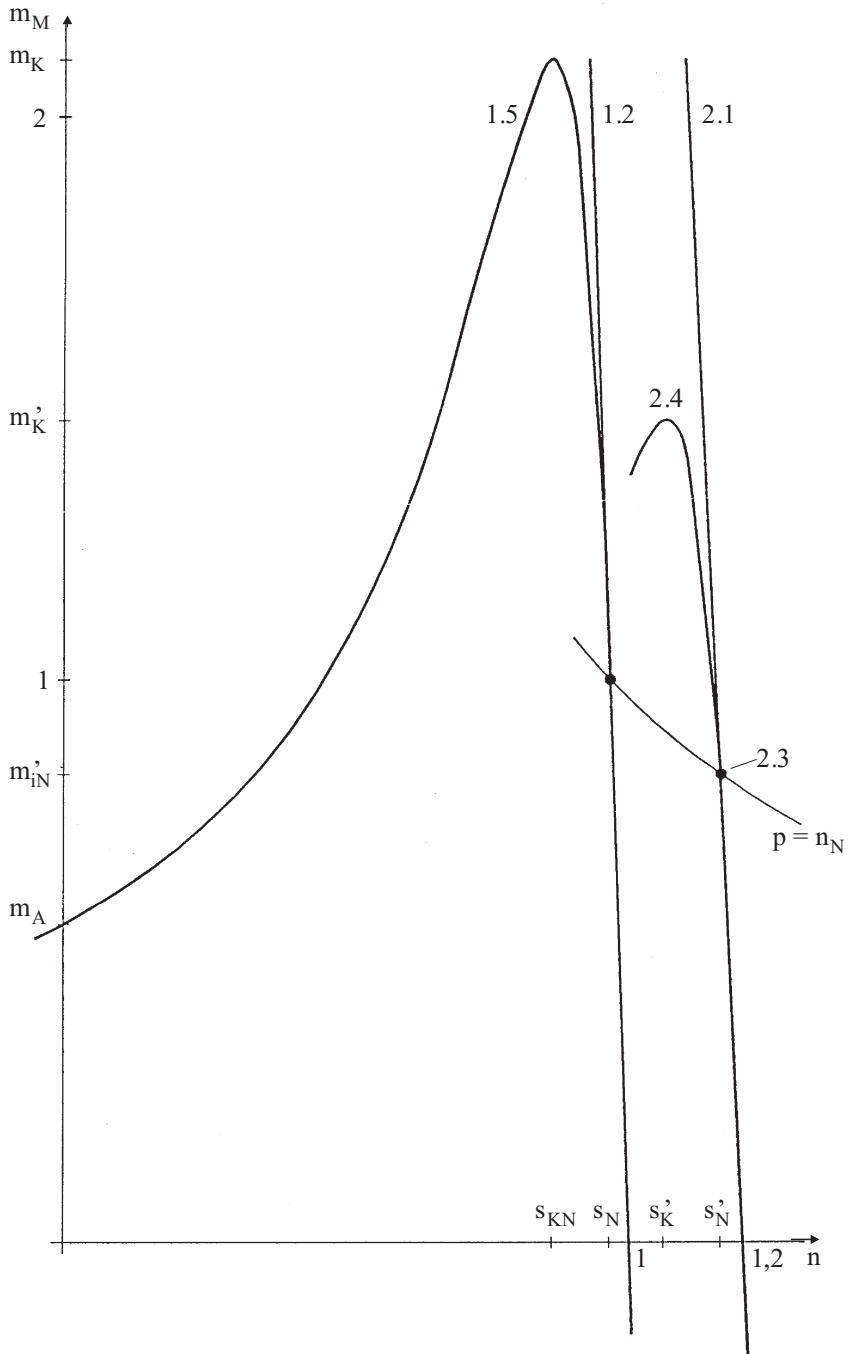
2.4  $s'_K = \frac{1}{f_1} \cdot s_{KN} = \frac{0,137}{1,2} = 0,114$  ;

Achtung:  $s$  bezogen auf synchrone Drehzahl  $N_{syn}$ !

$$n'_K = f_1 \cdot (1 - s'_K) = f_1 \cdot \left( 1 - \frac{s_{KN}}{f_1} \right) = f_1 - s_{KN} = 1,063$$

$$m'_K = \frac{1}{f_1^2} m_{KN} = \frac{1}{(1,2)^2} \cdot 2,1 = 1,46$$

$$\frac{M'_K}{M'_{iN}} = m'_K \cdot \frac{M_{iN}}{M'_{iN}} = \frac{m'_K}{m'_{iN}} = \frac{m_{KN}}{f_1} = 1,46 \cdot 1,2 = 1,75$$



Hilfsblatt (grafische Lösung)

## Lösung zur 8. Übung

$$1.1 \quad M_W = m \cdot \sin \alpha \cdot g \cdot \frac{R_T}{\ddot{u}}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \dot{V} \cdot \frac{l}{v}; \quad v = \frac{\Omega_m}{\ddot{u}} \cdot R_T$$

$$M_W = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot g}{\Omega_m} = \frac{885 \text{ Nm}}{\Omega_m \text{ s}}$$

$$P_W = M_W \cdot \Omega_m = \rho \cdot \dot{V} \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot g = 885 \text{ W} \neq f(\Omega_m)!$$

$$1.2 \quad M_{iN} = \frac{P_N}{\Omega_N}; \quad \Omega_N = 2\pi \cdot N_N = 96,3 \frac{1}{\text{s}}$$

$$M_{iN} = 11,4 \text{ Nm}$$

$$s_N = \frac{\Omega_{syn} - \Omega_N}{\Omega_{syn}} = 1 - \frac{\Omega_N}{\Omega_{syn}}; \quad \Omega_{syn} = \frac{\Omega_{1N}}{Z_p} = 105 \frac{1}{\text{s}}$$

$$s_N = 0,083$$

$$P_{0N} = 3 \cdot U_{1N} \cdot I_{1N} \cdot \cos \varphi_N = M_{iN} \cdot \Omega_{syn} = P_N \cdot \frac{\Omega_{syn}}{\Omega_N}$$

$$I_{1N} = \frac{P_N}{3 \cdot U_{1N} \cdot \cos \varphi_{1N}} \cdot \frac{\Omega_{syn}}{\Omega_N} = 1,40 \text{ A}$$

$$1.3 \quad M_K = 2,3 \cdot M_{iN} = 26,2 \text{ Nm}$$

$$M_{iN} = M_K \cdot \frac{2}{\frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N}}; \quad \frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N} = 2 \cdot \frac{M_K}{M_{iN}} \quad / \cdot s_K s_N$$

$$s_K^2 - 2 \cdot \frac{M_K}{M_{iN}} \cdot s_N \cdot s_K + s_N^2 = 0$$

$$s_K = \frac{2 \cdot \frac{M_K}{M_{iN}} \cdot s_N \pm \sqrt{\left(2 \cdot \frac{M_K}{M_{iN}} \cdot s_N\right)^2 - 4 \cdot s_N^2}}{2} = 0,363/0,019$$

$$2.1 \quad \text{Radius des Heylandkreises: } \Re e \{I_1 (M = M_K)\} = I_{1KA}$$

$$P_{0K} = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1KA} = M_K \cdot \Omega_{syn}$$

$$I_{1KA} = \frac{M_K \cdot \Omega_{syn}}{3 U_1} = \frac{26,2 \text{ Nm} \cdot 105 \frac{1}{\text{s}}}{3 \cdot 380 \text{ V}} = 2,41 \text{ A}$$

$$\varphi_1 = \arccos 0,75 = -41,4^\circ$$

$R_1 = 0 \implies$  Mittelpunkt des Heylandkreises auf  $- \Im m$ -Achse.

2.2 Leistungslinie mit Winkel  $\mu = \arctan s_K \quad \mu = 19,3^\circ$

2.3  $I_{10} = -j 0,7 A$ ;  $I_{1A} = (1,5 - j 5,0) A$  aus dem Diagramm

2.4  $I_{1\infty} = -j 5,54 A$  (aus dem Diagramm)

$$I_{10} = \frac{U_1}{j \Omega_1 L_1}; I_{1\infty} = \frac{U_1}{j \Omega_1 \sigma L_1} \implies \sigma = \frac{I_{10}}{I_{1\infty}} = 0,126$$

2.5  $P_{max} \Rightarrow$  maximaler Abstand von der Leistungslinie, aber gerade noch Schnittpunkt mit der Ortskurve

$\Rightarrow$  Tangente der Parallelen der Leistungslinie an die Ortskurve

$$P_{max} = 3 \cdot U_1 \cdot \overline{A_{max} B_{max}} = 3 \cdot 380 V \cdot 1,72 A = 1,96 kW$$

$$s_{max} = 0,25 \quad (\text{durch grafische Konstruktion})$$

Achtung: wegen  $P < P_{max}$  darf dieser Punkt stationär nicht eingestellt werden!

$$3.1 P_W = 3 \cdot U_1 \cdot \overline{A_W B_W} = 885 W$$

$$\overline{A_W B_W} = \frac{P_W}{3 \cdot U_1} = 0,776 A$$

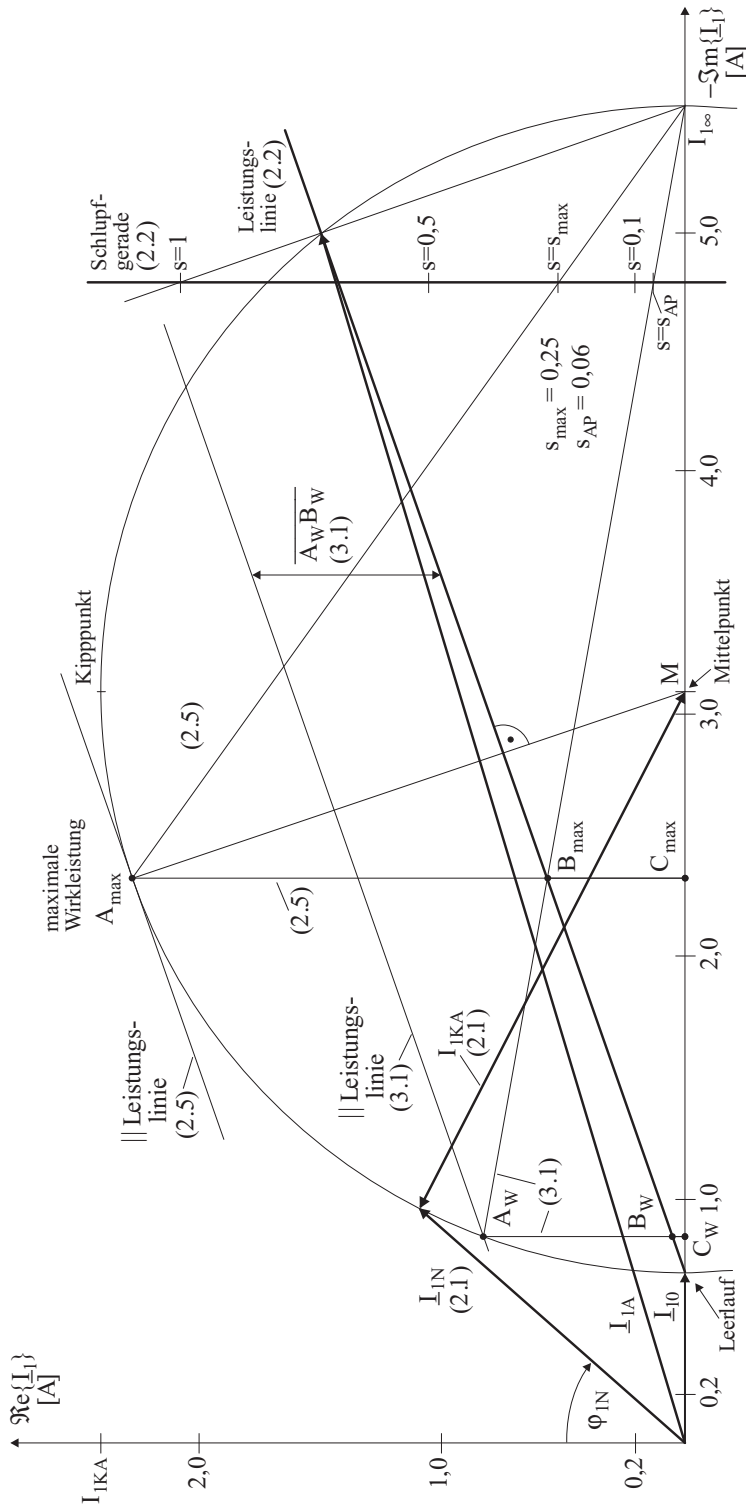
$\Rightarrow$  der vordere Schnittpunkt der Parallele zur Leistungsgeraden im Abstand  $\overline{A_W B_W}$  markiert den Strom im Arbeitspunkt.

$$P_{0W} = M_{MAP} \cdot \Omega_{syn} = 3 \cdot U_1 \cdot \overline{A_W C_W}$$

$$M_{MAP} = \frac{3 \cdot U_1 \overline{A_W C_W}}{\Omega_{syn}} = 9,12 Nm$$

$$s_{AP} = 0,06 \quad (\text{durch grafische Konstruktion})$$

$$3.2 P_{V2} = P_{0W} \cdot s_{AP} = 3 \cdot U_1 \cdot \overline{A_W C_W} \cdot s_{AP} = 57,5 W$$



## Lösung zur 9. Übung

$$1. M_M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{M}{L_1} \cdot (\Psi_{1B} \cdot I_{2A} - \Psi_{1A} \cdot I_{2B})$$

2. Orientierung am Rotorfluß, d.h. der Raumzeiger  $\vec{\Psi}_2^K$  fällt mit der reellen Achse des K-Systems zusammen.

$$3. \Omega_K = \Omega_1$$

$$4. \Psi_{2A} = \text{konstant}; \quad \Psi_{2B} = 0$$

$$5. \Psi_{1A} = \frac{L_1}{M} \cdot \Psi_{2A} = \text{konstant}; \quad I_{2A} = 0$$

$$I_{2B} = -\frac{M}{\sigma L_1 L_2} \cdot \Psi_{1B}; \quad \Omega_2 = \frac{M}{L_1} \cdot \frac{R_2}{\sigma L_2} \cdot \frac{\Psi_{1B}}{\Psi_{2A}}$$

$$6. M_M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{M}{L_1} \cdot \left[ 0 - \frac{L_1}{M} \cdot \Psi_{2A} \cdot \left( -\frac{M}{\sigma L_1 L_2} \cdot \Psi_{1B} \right) \right]$$

$$= \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{M}{L_1} \cdot \Psi_{2A} \cdot \frac{1}{\sigma L_2} \cdot \frac{\sigma L_1 L_2}{M R_2} \cdot \Omega_2 \cdot \Psi_{2A}$$

$$= \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{1}{R_2} \cdot \Psi_{2A}^2 \cdot \Omega_2$$

$$7. M_{iN} = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{1}{R_2} \cdot \Psi_{2AN}^2 \cdot \Omega_{2N} = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{1}{R_2} \cdot \Psi_{2AN}^2 \cdot (1-p) \cdot \Omega_{1N}$$

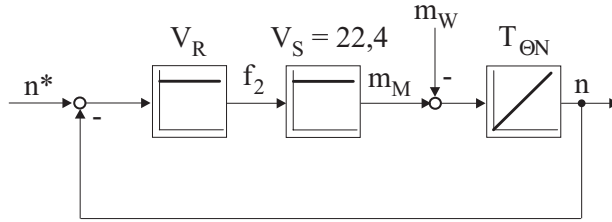
$$\frac{M_M}{M_{iN}} = m_M = \frac{\Omega_2}{(1-p) \cdot \Omega_{1N}} = \frac{1}{1-p} \cdot f_2 = 22,4 \cdot f_2$$

mit  $p = 0,955$

$$T_{\Theta N} = \frac{\Theta_{ges}}{M_{iN}} \cdot \frac{\Omega_{1N}}{Z_{pN}}; \quad M_{iN} = \frac{P_{1N} \cdot Z_{pN}}{\Omega_{1N}} = 20 \text{ Nm}$$

$$T_{\Theta N} = \frac{\Theta_{ges} \cdot \Omega_{1N}^2}{P_{1N} \cdot Z_{pN}^2} = 1,57 \text{ s}$$

8.



$$9. m_W = 1; \quad (n^* - n_\infty) \cdot V_R \cdot V_S = m_W$$

( $\Rightarrow 0$  am Integratoreingang stationär)

$$V_R = \frac{m_W}{(n^* - n_\infty) \cdot V_S} \quad \text{für } n^* - n_\infty < 0,05$$

$$\Rightarrow V_R > \frac{1}{0,05 \cdot 22,4} = 0,89$$

### Lösung zur 10. Übung

1.1 Raumzeigerdefinition:  $\vec{U}_1^S = \frac{2}{3} \cdot [U_{1a}(t) + \underline{a} \cdot U_{1b}(t) + \underline{a}^2 \cdot U_{1c}(t)]$

Schalterstellung:  $U_{1ab} = -U_z$ ;  $U_{1bc} = U_z$ ;  $U_{1ca} = 0$

Phasenspannungen  $U_{1a}$ ,  $U_{1b}$ ,  $U_{1c}$ :

symm. Drehspannungssystem:  $U_{1a}(t) + U_{1b}(t) + U_{1c}(t) = 0$

$$U_{1a} = \frac{(U_{1a} - U_{1b}) - (U_{1c} - U_{1a})}{3} = \frac{U_{1ab} - U_{1ca}}{3} \implies U_{1a} = -\frac{U_z}{3}$$

$$U_{1b} = \frac{(U_{1b} - U_{1c}) - (U_{1a} - U_{1b})}{3} = \frac{U_{1bc} - U_{1ab}}{3} \implies U_{1b} = \frac{2}{3} \cdot U_z$$

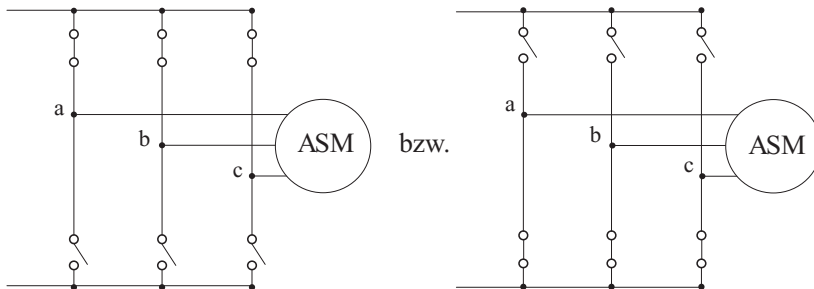
$$U_{1c} = \frac{(U_{1c} - U_{1a}) - (U_{1b} - U_{1c})}{3} = \frac{U_{1ca} - U_{1bc}}{3} \implies U_{1c} = -\frac{U_z}{3}$$

$$\vec{U}_1^S = \frac{2}{3} \cdot \left[ -\frac{U_z}{3} + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \frac{2}{3} \cdot U_z + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \left( -\frac{U_z}{3} \right) \right]$$

$$= U_z \cdot \left( -\frac{1}{3} + j\frac{\sqrt{3}}{3} \right)$$

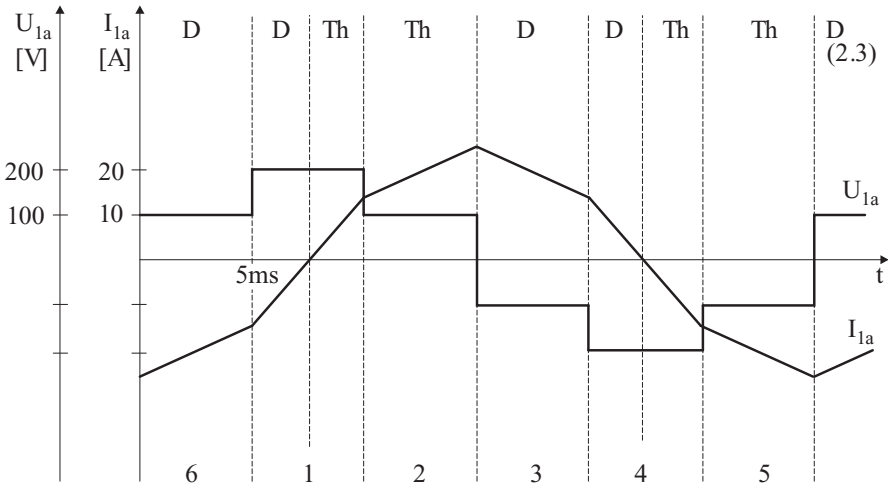
$$\implies \text{Zeiger } \vec{3}$$

1.2  $\vec{U}_1^S = \vec{7} = \vec{8} = 0 \implies$  dreiphasiger Kurzschluß der Stator клемmen





2.1



2.2

$$\frac{dI_{1a}}{dt} = \frac{U_{1a}}{L_{Ph}} = \begin{cases} \pm \frac{100 \text{ V}}{40 \text{ mH}} = \pm 2500 \frac{\text{A}}{\text{s}} = \pm \frac{12,5 \text{ A}}{5 \text{ ms}} \\ \pm \frac{200 \text{ V}}{40 \text{ mH}} = \pm 5000 \frac{\text{A}}{\text{s}} = \pm \frac{25 \text{ A}}{5 \text{ ms}} \end{cases}$$

$$\hat{I}_{1a} = \frac{25 \text{ A}}{5 \text{ ms}} \cdot 2,5 \text{ ms} + \frac{12,5 \text{ A}}{5 \text{ ms}} \cdot 5 \text{ ms} = 25 \text{ A}$$

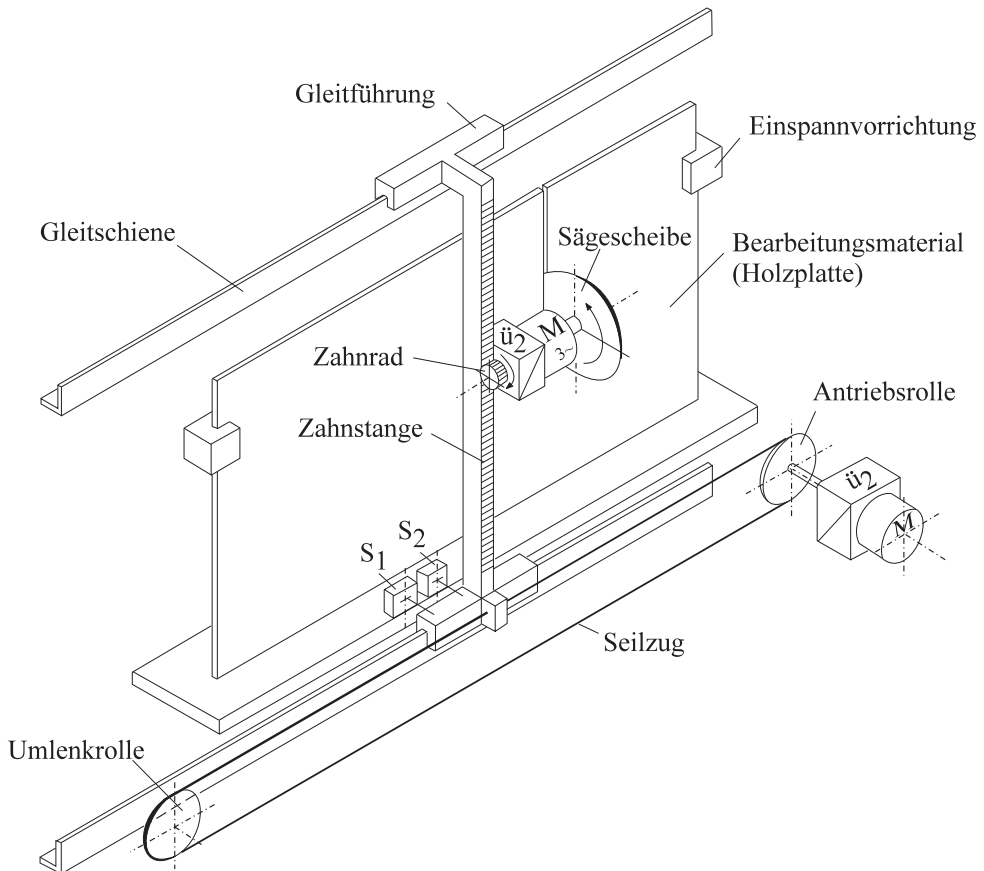
2.3 siehe 2.1

# 1. Prüfungsaufgabe

## Aufgabe 1: Grundlagen

### Holzzuschneidemaschine

Die Auslegung einer Maschine zum maßgenauen Zuschnitt von Holzplatten ist zu überprüfen.



Die Anordnung enthält zwei Antriebe:

Der Antrieb zur horizontalen Positionierung (Horizontalantrieb) besteht aus einer nennernetzten Gleichstromnebenschlußmaschine (GNM), die über ein Getriebe (Übersetzung  $\ddot{u}_1$ ) und eine Antriebsrolle einen Seilzug bewegt. An dem Seilzug ist das Portal mit dem vertikalen Vortrieb und der Sägescheibe befestigt.

Die Sägescheibe ist direkt mit der Motorwelle einer Asynchronmaschine (ASM) verbunden. Zwischen Motorwelle der ASM und dem Zahnrad für den vertikalen Vortrieb befindet sich ein Getriebe mit der Übersetzung  $\ddot{u}_2$ .

Die nachfolgenden mechanischen Größen sind bekannt:

Massenträgheitsmoment der GNM mit Getriebe (bezogen auf die Motorwelle)	$\Theta_{(M+G)1}$
Übersetzung des Getriebes an der GNM:	$\ddot{u}_1$
Radius und Massenträgheitsmoment der Antriebsrolle:	$R_{ARolle}, \Theta_{ARolle}$
Radius und Massenträgheitsmoment der Umlenkrolle:	$R_{URolle}, \Theta_{URolle}$
Seilmasse:	$m_{Seil}$
Masse des Portals mit Aufbau:	$m_{Portal}$
Massenträgheitsmoment der ASM mit Getriebe (bezogen auf die Motorwelle)	$\Theta_{(M+G)2}$
Masse der ASM mit Getriebe und Motorwelle	$m_{(M+G)2}$
Übersetzung des Getriebes an der ASM:	$\ddot{u}_2$
Masse und Massenträgheitsmoment des Zahnrads mit Welle:	$m_{Zahnrad}, \Theta_{Zahnrad}$
Radius des Zahnrads:	$R_{Zahnrad}$
Masse und Massenträgheitsmoment der Sägescheibe:	$m_{Säge}, \Theta_{Säge}$

Der Einfluß aller übrigen mechanischen Größen wird vernachlässigt.

**Fragen:**

- 1.1 Berechnen Sie symbolisch (d.h. ohne Zahlenwerte) für beide Antriebe das gesamte Massenträgheitsmoment  $\Theta_{ges1}$  und  $\Theta_{ges2}$  bezogen auf die Motorwelle.

**1. Quereinstieg:** Die folgenden Aufgaben sind unabhängig von den bisherigen lösbar.

Es soll jetzt der Horizontalantrieb betrachtet werden. Von der nennerregten Gleichstrom–Nebenschlußmaschine sind folgende Daten gegeben:

Ankernennstrom:	$I_{AN} = 5 \text{ A}$
Ankernennspannung:	$U_{AN} = 400 \text{ V}$
Ankerwiderstand:	$R_A = 20,0 \Omega$
Nennzahl:	$N_N = 3900 \text{ 1/min}$
mechanischer Wirkungsgrad:	$\eta_{mech} = 1$
Massenträgheitsmoment (bezogen auf Motorwelle):	$\Theta_{ges1} = 0,020 \text{ Nms}^2$

- 1.2 Berechnen Sie die für die Normierung erforderlichen Bezugsgrößen  $M_{iN}$ ,  $P_{0N}$  und  $N_{0N}$ . Wie groß sind die Zeitkonstanten  $T_{\Theta N}$  und  $T_{\Theta St}$  ?

Als Stellglied wird ein kreisstrombehafteter Umkehrstromrichter mit einem Steuerwinkelbereich  $30^\circ < \alpha < 150^\circ$  eingesetzt.

- 1.3 Warum kann der Steuerwinkelbereich  $\alpha \rightarrow 0^\circ$  nicht genutzt werden ?

Der Umkehrstromrichter besteht aus zwei B6–Brücken in Kreuzschaltung. Beide Brücken sind über einen eigenen Transformator (Übersetzung 1) mit dem Drehstromnetz ( $U_v = 400 \text{ V}$ ) verbunden. Die relative Kurzschlußspannung der Transformatoren beträgt jeweils  $u_{k\%} = 10\%$ . Für den Nennstrom auf der Gleichstromseite gilt:  $I_{dN} = 3 \cdot I_{AN}$ . Es fließt ein Kreisstrom  $I_{Kreis} = 1,0 \text{ A}$ . Die Kreisstromdrosseln werden als ideal angenommen, d.h. es fällt keine Gleichspannung an ihnen ab.

- 1.4 Wie müssen die Steuerwinkel  $\alpha_1$  (Brücke im Gleichrichterbetrieb) und  $\alpha_2$  (Brücke im Wechselrichterbetrieb) eingestellt sein, damit bei einem Ankerstrom  $I_A = 4,0 \text{ A}$  eine Ankerspannung  $U_A = 350 \text{ V}$  anliegt ?

**2. Quereinstieg:** Die folgenden Aufgaben sind unabhängig von den bisherigen lösbar. Benutzen Sie jetzt die neu angegebenen Zahlenwerte (nicht identisch mit Ergebnissen von 1.1 bis 1.4 !!!):

Neue Daten:  $r_A = 0,3 \quad \psi = 1 \quad T_{\Theta N} = 3 s \quad T_A \approx 0$

Das Widerstandsmoment ist ein reines Reibmoment und hängt von der Drehrichtung ab:

$$m_W = \begin{cases} 0,2 & \text{für } n > 0 \\ -0,2 \dots 0,2 & \text{für } n = 0 \quad (\text{d.h. } m_W = m_M \text{ für } -0,2 < m_M < 0,2) \\ -0,2 & \text{für } n < 0 \end{cases}$$

Die Positionierung des Horizontalantriebs wird durch Steuerung der Ankerspannung vorgenommen. Zu Beginn ist  $u_A = 0$  und  $n = 0$ .

1.5 Auf welchen Wert  $u_{A1}$  muß die Ankerspannung springen, um ein Beschleunigungsmoment von  $m_B = 0,5$  aufzubringen ?

Die Ankerspannung wird daraufhin so gesteuert, daß  $m_B$  konstant auf 0,5 gehalten wird.

1.6 Wie ist der Drehzahlverlauf  $n_1(t)$  ?

1.7 Geben Sie den erforderlichen Spannungsverlauf  $u_{A2}(t)$  an.

Sobald die Spannung  $u_A$  den Wert  $u_{A3} = 1$  erreicht hat, wird sie konstant gehalten.

1.8 Welche Drehzahl  $n_2$  ist am Umschaltpunkt erreicht ?

1.9 Geben Sie den Drehzahlverlauf  $n_3(t)$  nach dem Umschalten auf die konstante Ankerspannung  $u_{A3} = 1$  an.

Die Positionierung erfolgt mit zwei Schaltern vor dem Bearbeitungspunkt. Der Schalter  $S_1$  dient zum Abbremsen auf eine Schleichgeschwindigkeit. Bei Annäherung an den Schalter  $S_1$  ist eine stationäre Drehzahl erreicht. Bei Auslösung des Schalters  $S_1$  wird die Ankerspannung auf einen neuen Wert  $u_{A4}$  umgeschaltet. Die Spannung  $u_{A4}$  wird bis zum Erreichen des Schalters  $S_2$  konstant gehalten.

1.10 Wie groß muß  $u_{A4}$  gehalten werden, wenn der Ankerstrom  $|i_A|$  maximal den Wert 2,5 erreichen soll ?

Die Spannung  $u_A = u_{A4}$  wird daraufhin konstant gehalten. Der Schalter  $S_2$  wird erreicht, wenn sich der Motor bereits mit der (stationären) Schleichdrehzahl  $n_4$  dreht. Die Ankerspannung wird durch das Auslösen von  $S_2$  auf  $u_{A5} = 0$  gestellt und danach konstant auf 0 gehalten.

1.11 Wie lange dauert es, bis der Horizontalantrieb nach Auslösung von  $S_2$  zum Stehen kommt ?

1.12 Skizzieren Sie den gesamten Vorgang im  $m_M$ - $n$ -Diagramm.

## Aufgabe 2: ASM als Antrieb des Sägemotors

Die Sägescheibe wird von einer Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer angetrieben. Die Maschine ist direkt an das Drehstromnetz angeschlossen.

Das Widerstandsmoment  $M_W$  beim Schneiden einer Holzplatte wird als konstant und unabhängig von der Drehzahl angenommen.

Folgende Daten und Parameter sind gegeben:

$$L_1 = 561 \text{ mH}$$

$$M = 528 \text{ mH}$$

$$R_1 \approx 0$$

$$L_2 = 552 \text{ mH}$$

$$\Omega_{2K} = 94,31/\text{s}$$

$$Z_p = 2$$

$$U_1 = 400 \text{ V}$$

$$M_W = 28,0 \text{ Nm}$$

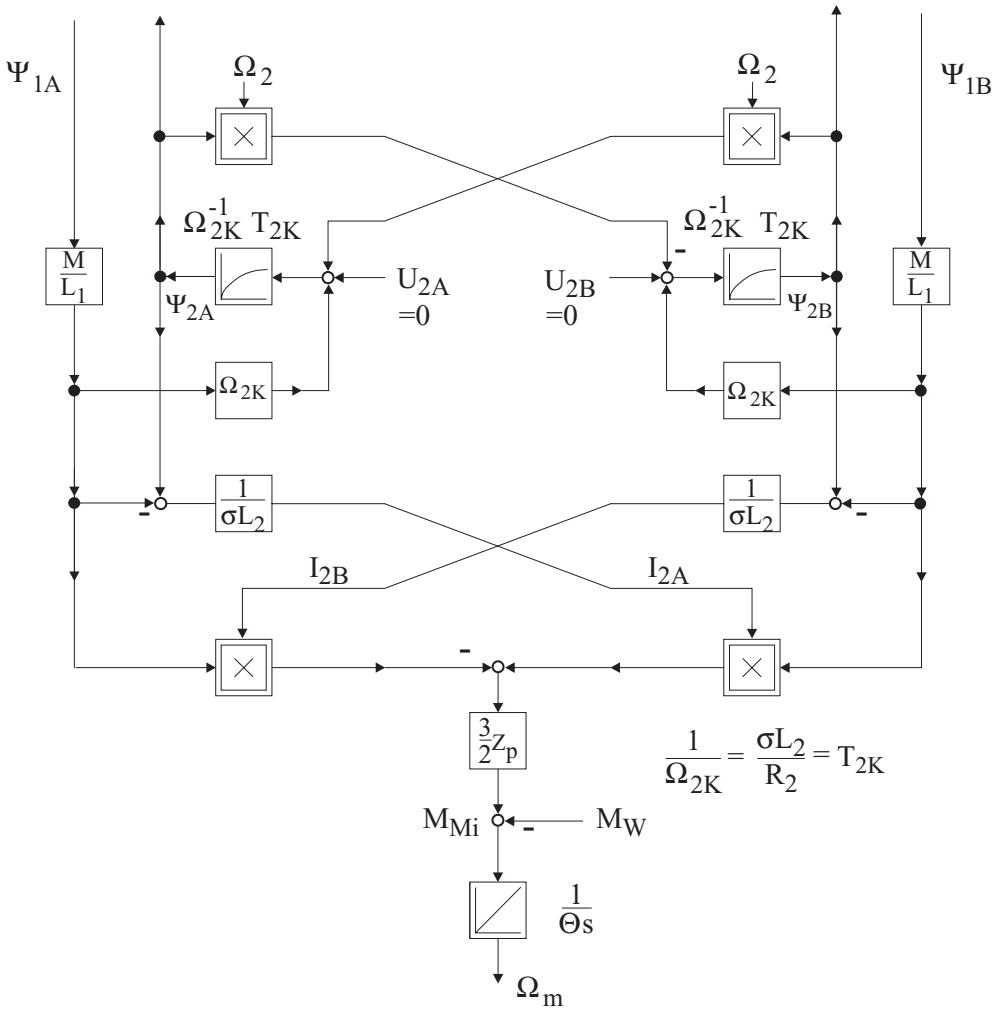
$$\Omega_1 = 2\pi \cdot 50 \text{ 1/s}$$

- 2.1 Berechnen Sie den Blondelschen Streukoeffizienten  $\sigma$ .
- 2.2 Wie groß ist die synchrone Drehzahl  $N_{syn}$ , das Kippmoment  $M_K$  und der Kippschlupf  $s_K$  ?
- 2.3 Ermitteln Sie mit Hilfe der Kloß'schen Formel die Drehzahl  $N_W$  und die Rotorfrequenz  $\Omega_{2W}$  bei Belastung mit  $M_{Mi} = M_W$ .

Bearbeiten Sie die folgenden Aufgaben 2.4 bis 2.7 allgemein, d.h. ohne Zahlenwerte einzusetzen.

- 2.4 Im Hilfsblatt 1 ist vom Strukturbild der Asynchronmaschine die Rotorseite eingetragen. Ergänzen Sie im Strukturbild die Statorseite für  $R_1 = 0$  und zeichnen Sie die Signale  $U_{1A}$ ,  $U_{1B}$ ,  $I_{1A}$ ,  $I_{1B}$  und  $\Omega_1$  ein. Verwenden Sie keine PT<sub>1</sub>-Glieder !
- 2.5 Ermitteln Sie aus dem in Aufgabe 2.4 gezeichneten Strukturbild den Statorfluß  $\Psi_{1A} = f(U_1, \Omega_1)$ ,  $\Psi_{1B} = f(U_1, \Omega_1)$  im stationären Betrieb, wenn  $U_{1A} = 0$  und  $U_{1B} = U_1$  gilt.
- 2.6 Wie hängt stationär der Fluß  $\Psi_{2B}$  von  $U_1$ ,  $\Omega_1$  und dem Drehmoment  $M_{Mi}$  ab ? (Hinweis: Stellen Sie zuerst die Beziehung  $M_{Mi} = f(\Psi_{1A}, \Psi_{2A})$  auf.)
- 2.7 Bestimmen Sie den Fluß  $\Psi_{2A} = f(M_{Mi}, \Omega_2, U_1, \Omega_1)$  im stationären Fall mit Hilfe des Strukturbildes.
- 2.8 Berechnen Sie nun mit Hilfe des Strukturbildes und der vorhergehenden Teilaufgaben die Zahlenwerte der Flüsse  $\Psi_{1A}$ ,  $\Psi_{1B}$ ,  $\Psi_{2A}$  und  $\Psi_{2B}$  und der Ströme  $I_{1A}$  und  $I_{1B}$  bei Belastung der Maschine mit  $M_W$ .
- 2.9 Skizzieren Sie die Zeiger  $\vec{U}_1$ ,  $\vec{\Psi}_1$ ,  $\vec{\Psi}_2$  und  $\vec{I}_1$  in einem Zeigerdiagramm.

Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 2.4



## Aufgabe 3A: Regelkreisanalyse

### Geregelte Feinpositionierung des Horizontalantriebs

Die beiden Schalter  $S_1$  und  $S_2$  aus Aufgabe 1 werden durch einen Lagegeber ersetzt. Der Lagesollwert ist  $x^* = 0$ . Der Lagegeber ist an der Sollposition montiert und kann den Lageistwert nur in einem Bereich in unmittelbarer Nähe der Sollposition  $x^* = 0$  ausgeben. Liegt die Position außerhalb dieses Bereichs, so wird ein begrenzter Meßwert  $x'$  ausgegeben:

$$x = \begin{cases} -1 & \text{für } x < -1 \\ x & \text{für } -1 < x < 1 \\ 1 & \text{für } x > 1 \end{cases}$$

Der Zusammenhang zwischen Lage und Drehzahl ist:

$$x = \frac{1}{T_x} \cdot \int n \, dt$$

Der Lageregelkreis ist einer Kaskade aus Drehzahlregelkreis und Ankerstromregelkreis überlagert.

#### Daten:

normierter Ankerwiderstand:	$r_A = 0,3$
Ankerzeitkonstante:	$T_A = 20 \, ms$
Erregerfluß:	$\psi = 1$
Trägheitsnennzeitkonstante:	$T_{\Theta N} = 3 \, s$
Integrationszeitkonstante:	$T_x = 0,2 \, s$
Stromrichterverstärkung:	$V_{Str} = 1$
Stromregler (PI-Regler):	$V_{Ri} = 1,8$ $T_{Ri} = 20 \, ms$
Drehzahlregler (P-Regler):	$V_{Rn} = 50$
Widerstandsmoment (unabhängig von $n$ ):	$m_W = 0,2$

Der Lageregler besitzt nur einen P-Anteil. Befindet sich der Lageistwert außerhalb des Lagegeberbereichs, dann soll der Drehzahlsollwert  $|n^*| = 0,9$  betragen.



**Fragen:**

- 3A.1 Zeichnen Sie den kompletten Signalflußplan des Regelkreises mit  $x^*$  und  $m_W$  als Eingangsgrößen sowie  $n$  und  $x$  als Ausgangsgrößen. Die Strom- und Drehzahlmeßglieder brauchen nicht eingezeichnet zu werden. Welchen Wert muß die Verstärkung des Lagereglers haben, damit die Bedingung für den Drehzahlsollwert erfüllt wird?
- 3A.2 Berechnen Sie die stationäre Abweichung der Drehzahl ( $n^* - n_\infty$ ).
- 3A.3 Welche Endlage  $x_\infty$  wird erreicht ?

**Aufgabe 3B: Umrichtertechnik****ASM und U-Umrichter mit variabler Gleichspannung**

Um für verschiedene Materialien die Drehzahl des Sägeblattes einstellen zu können, wird die ASM nun nicht mehr direkt am Netz sondern an einem U-Umrichter mit variabler Gleichspannung betrieben.

- 3B.1 Zeichnen Sie das Prinzipschaltbild des Umrichters.

Auf der Maschinenseite des Umrichters brauchen Sie die Ventilanordnung nur für eine Wicklung ausführlich zeichnen. Für die beiden anderen Wicklungen genügen Blöcke als Abkürzungen.

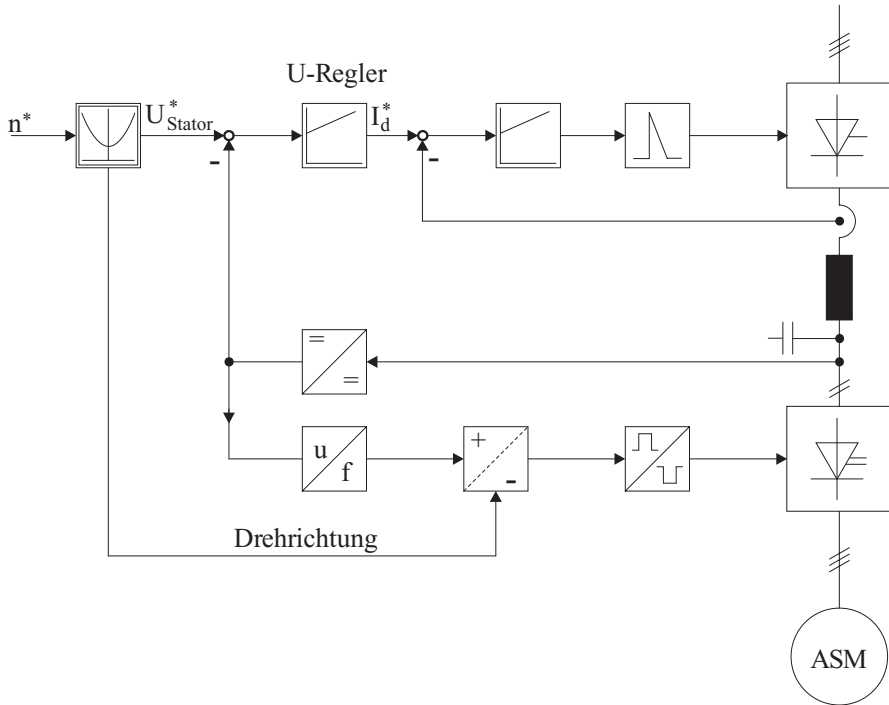
Auf eine Netzzurückspeisung soll verzichtet werden.

- 3B.2 Erklären Sie die Funktion der antiparallelen Dioden.
- 3B.3 In Hilfsblatt 2 ist eine einfache Steuer- und Regelschaltung für diesen Umrichter an einer Asynchronmaschine angegeben.

Welche Steuerbedingung muß für die Asynchronmaschine eingehalten werden, damit das Kippmoment auch bei variabler Solldrehzahl konstant bleibt?

Erklären Sie (auch grafisch) wie die Einhaltung dieser Steuerbedingung in der angegebenen Schaltung sichergestellt wird.

### Hilfsblatt 2 zu Aufgabe 3B.3

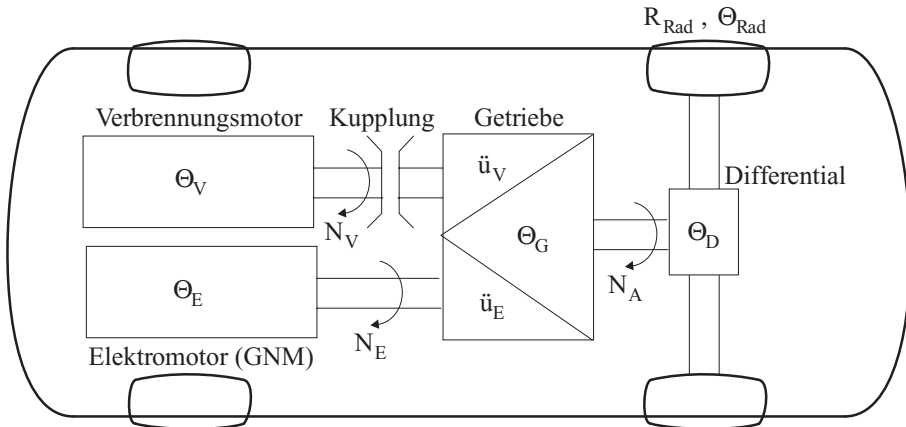


## 2. Prüfungsaufgabe

### Aufgabe 1: Grundlagen

#### Autarker Hybridantrieb

Die zunehmende Energie- und Umweltdiskussion erfordert neue Konzepte für Antriebssysteme im Straßenverkehr. Ein vielversprechender Ansatz ist der autarke Hybridantrieb: Ein Verbrennungsmotor wird auf einen Betriebsbereich mit minimalem Treibstoffverbrauch und Schadstoffausstoß geregelt. Die dynamischen Anforderungen werden von einem Elektromotor übernommen. Die elektrische Energie wird in einer Batterie gespeichert. Ein Nachladen über die Steckdose ist nicht vorgesehen (daher der Begriff autark). Die Batterieladung muß deshalb durch generatorischen Betrieb des elektrischen Antriebs in Betriebsphasen erfolgen, in denen kein großes Antriebsmoment erforderlich ist. Im Stadtverkehr ist der Verbrennungsmotor abgeschaltet und über eine Kupplung vom Antriebsstrang getrennt.



In dieser Aufgabe soll als elektrischer Antrieb eine Gleichstrom–Nebenschlußmaschine (GNM) ausgelegt und das dynamische Verhalten für einige typische Vorgänge berechnet werden.

Die beiden Motoren werden über ein gemeinsames Getriebe mit der Antriebswelle verbunden. Die Übersetzungsverhältnisse sind in dieser Aufgabe konstant:

$$\ddot{u}_V = \frac{\text{Drehzahl Verbrennungsmotorwelle}}{\text{Drehzahl Antriebswelle}} = \frac{N_V}{N_A} = 5,3$$

$$\ddot{u}_E = \frac{\text{Drehzahl Motorwelle der GNM}}{\text{Drehzahl Antriebswelle}} = \frac{N_E}{N_A} = 8,0$$

### Daten:

Gesamtmasse des Fahrzeugs  $m_{KFZ} = 950 \text{ kg}$

Massenträgheitsmomente:

Verbrennungsmotor (bezogen auf eigene Welle)	$\Theta_V = 0,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
GNM (bezogen auf eigene Welle)	$\Theta_E = 0,049 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Getriebe (bezogen auf die Antriebswelle)	$\Theta_G = 0,135 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Differential (bezogen auf die Antriebswelle)	$\Theta_D = 0,095 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Rad (bezogen auf die Antriebswelle)	$\Theta_{Rad} = 0,35 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Radius der Räder  $R_{Rad} = 0,25 \text{ m}$

gesamtes Reibmoment (bezogen auf die Antriebswelle)  $M_{Reib} = 40,0 \text{ Nm}$

Das Differential setzt die Drehzahl der Antriebswelle auf die Achse mit der Übersetzung 1 um.

### Fragen:

- 1.1 Berechnen Sie das gesamte Massenträgheitsmoment  $\Theta_{ges}$ , bezogen auf die Welle der GNM, wenn die Kupplung zum Verbrennungsmotor geschlossen ist (d.h. kein Betrieb im Stadtverkehr).
- 1.2 Wie groß ist das Widerstandsmoment  $M_{W1}$ , bezogen auf die Welle der GNM, an einem Anstieg mit dem Steigungswinkel  $\alpha = 0,5^\circ$  im Stadtverkehr (Kupplung offen)?
- 1.3 Berechnen Sie zum Vergleich mit den Bedingungen von 1.2 das Widerstandsmoment  $M_{W2}$ , wenn die Kupplung geschlossen ist und der Verbrennungsmotor ein Moment  $M_V = 70 \text{ Nm}$  an die eigene Welle abgibt.

Die GNM soll einen elektrischen Ankerwirkungsgrad von  $\eta_{el} = 0,9$  besitzen ( $\eta_{mech} = 1$ ) und für eine Ankernennspannung  $U_{AN} = 200\text{ V}$  ausgelegt sein.

Im Ankerstellbereich ( $\Psi = \Psi_N$ ) bei offener Kupplung sind folgende Forderungen zu erfüllen, ohne den Ankernennstrom oder die Ankernennspannung zu überschreiten:

- Das Fahrzeug muß bei einer Steigung von  $\alpha = 1^\circ$  zum Anfahren aus dem Stillstand ein Beschleunigungsmoment  $M_B = 10\text{ Nm}$  auf die Achse der GNM aufbringen können.
- In der Ebene soll eine Geschwindigkeit  $V = 30\text{ km/h}$  erreichbar sein. Der Luftwiderstand bewirkt bei dieser Geschwindigkeit ein zusätzliches Widerstandsmoment von  $M_{LW} = 20\text{ Nm}$  auf die Antriebsachse.

1.4 Berechnen Sie  $M_{iN}$ ,  $r_A$ ,  $N_{0N}$ ,  $P_{0N}$  und  $P_N$ .

### 1. Quereinstieg:

Die folgenden Aufgaben sind unabhängig von den bisherigen Ergebnissen lösbar. Es sind jetzt folgende neue Zahlenwerte gegeben:

$$r_A = 0,1 \qquad m_W = 0,25 \qquad T_{\Theta N} = 8,0\text{ s} \qquad T_A \approx 0$$

Das Fahrzeug soll im Stadtverkehr ohne Verbrennungsmotor in drei Stufen auf  $40\text{ km/h}$  beschleunigt werden:

- a) Regelung des Motormoments auf den Nennwert ( $m_M = 1$ ) bis die Motor-kennlinie erreicht ist ( $\psi = 1$ ).
- b) konstante Ankerspannung  $u_A = 1$  bei  $\psi = 1$ . Wenn das Motormoment  $m_M = 0,3$  erreicht ist, wird der Fluß auf  $\psi = \psi_C$  umgeschaltet. Die Erregerzeitkonstante kann vernachlässigt werden.
- c) konstanter Erregerfluß  $\psi = \psi_C$ . Bestimmung von  $\psi_C$  so, daß sich stationär die Drehzahl  $n_{max} = 1,3$  einstellt.

Für die Berechnung der Zeitverläufe können Sie zur Vereinfachung die Zeit-zählung bei jeder Stufe neu beginnen lassen.

1.5 Geben Sie den Drehzahlverlauf  $n_a(t)$  für die Stufe a an.

1.6 Bei welcher Drehzahl  $n_{ab}$  wird in Stufe b umgeschaltet ?

1.7 Wie ist der Drehzahlverlauf  $n_b(t)$  in Stufe b ?

1.8 Welche Drehzahl  $n_{bc}$  ist erreicht, wenn der Fluß umgeschaltet wird ?

1.9 Welcher Fluß  $\psi_C$  muß in Stufe c eingestellt sein ?

- 1.10 Wie groß ist der maximale Ankerstrom  $i_{Amax}$  und der stationäre Ankerstrom  $i_{A\infty}$  bei  $n_{max}$  in Stufe c ?
- 1.11 Skizzieren Sie Motormoment und Widerstandsmoment im m–n–Diagramm für den gesamten Anfahrvorgang. Kennzeichnen Sie markante Punkte durch •.

(Hinweis: Zahlenwerte nur bei der Achsenbeschriftung  $m = 1$  und  $n = 1$ )

## 2. Quereinstieg:

Die Drehrichtungsumkehr geschieht durch Umpolen des Ankerkreises mit Hilfe eines Schützes, d.h. Rückwärtsfahrt ist nur mit dem Elektromotor (GNM) möglich. Durch Feldschwächung kann die Drehzahl über die Nennleerlaufdrehzahl erhöht werden. Die erforderliche Erregerspannung ist immer geringer als die Batteriespannung.

- 1.12 Zeichnen Sie einen geeigneten Ankerstromrichter ohne zusätzliche Schütze (Schütz für Drehrichtungsumkehr nicht einzeichnen).
- 1.13 Welche Ventile führen den Ankerstrom im generatorischen Betrieb ?
- 1.14 Welcher Stromrichter ist für den Erregerkreis geeignet (Bezeichnung oder Zeichnung)? Schneller Flußabbau ist nicht erforderlich.

## Aufgabe 2: Hybridfahrzeug mit Asynchronmaschine

Bei den ersten Versuchsfahrten mit der Gleichstrommaschine zeigt sich, daß durch das Bürstenfeuer der Radioempfang im Auto stark beeinträchtigt wird. Nachdem verschiedene Entstörmaßnahmen keine ausreichende Verbesserung bewirken, wird beschlossen, die Gleichstrommaschine durch eine umrichter gespeiste Asynchronmaschine zu ersetzen.

### Daten der Maschine:

$$\begin{array}{lll}
 U_{1N} = 200 \text{ V (Phasenspannung)} & F_{1N} = 50 \text{ Hz} & Z_p = 1 \\
 N_N = 2910 \text{ min}^{-1} & P_N = 10 \text{ kW} & R_2 = 0,25 \Omega \\
 L_1 = 46,4 \text{ mH} & L_2 = 45,9 \text{ mH} & M = 43,9 \text{ mH}
 \end{array}$$

Der Statorwiderstand sowie die inneren Reibungsverluste der Maschine können vernachlässigt werden ( $R_1 \approx 0$ ,  $\eta_{mech} \approx 1$ ).

### Fragen:

- 2.1 Berechnen Sie für Speisung mit Nennspannung und Nennfrequenz das Kippmoment  $M_K$ , den Kippschlupf  $s_K$  sowie das Anfahrmoment  $M_A$ .
- 2.2 Zeichnen Sie die stationäre  $N$ - $M$ -Kennlinie für den Drehzahlbereich  $0 \leq N \leq 2 \cdot N_N$  ( $U_1 = U_{1N}$ ,  $F_1 = F_{1N}$ ). Kennzeichnen Sie den Bereich, in dem die Maschine elektrische Leistung abgibt.
- 2.3 Geben Sie die linearisierte Kennliniengleichung  $M_{Mi} = f(s)$  für  $|s| \ll s_K$  bei Speisung mit Nennspannung und -frequenz an.

Die Asynchronmaschine wird durch einen Umrichter mit variabler Frequenz  $F_1$  und Spannung  $U_1$  gespeist. In den beiden nächsten Aufgaben soll der stationäre Betrieb im Ankerstellbereich betrachtet werden:

- 2.4 Welche Frequenzen umfaßt der Ankerstellbereich? Wie muß in diesem Bereich die Spannung  $U_1$  in Abhängigkeit von  $F_1$  eingestellt werden? Wie verändert sich dabei die  $N$ - $M$ -Kennlinie (qualitativ)?
- 2.5 Das Hybridfahrzeug fährt bei laufendem Verbrennungsmotor mit mittlerer Geschwindigkeit; die überschüssige Leistung wird über ASM und Umrichter in die Batterie eingespeist. Um den Verbrennungsmotor im optimalen Betriebspunkt zu halten, muß die ASM bei  $N = 2000 \text{ min}^{-1}$  ein Moment von  $M_{Mi} = -33 \text{ Nm}$  (generatorisch!) aufnehmen. Berechnen Sie für diesen Betriebsfall  $U_1$  und  $F_1$ ; verwenden Sie die in Aufgabe 2.3 berechnete linearisierte Kennlinie.

Zur dynamischen Steuerung des Momentes wird ein Entkopplungsnetzwerk eingesetzt, das mit Rotorfluorientierung arbeitet. Der Umrichter wird mit einer schnellen Regelung versehen, so daß der ASM die Ständerströme mit vorgegebbarer Amplitude  $|I_1|$  und Frequenz  $F_{I1}$  eingepreßt werden können.

- 2.6 Es soll wieder bei  $N = 2000 \text{ min}^{-1}$  ein Moment von  $-33 \text{ Nm}$  eingestellt werden. Der Rotorfluß  $\Psi_{2A}$  soll auf einen konstanten Wert von  $0,62 \text{ Vs}$  eingestellt werden. Wie groß sind die Stromkomponenten  $I_{1A}$  und  $I_{1B}$ ? Wie groß sind  $|I_1|$  und  $F_{T1}$ ?

## Aufgabe 3A: Regelkreisanalyse

### Regelung der GNM

Die Gleichstrom–Nebenschlußmaschine soll mit Hilfe einer Kaskadenregelung strom– und drehzahl geregelt werden. Um die Wirkung der EMK auf den Regelkreis stationär zu kompensieren, soll mit der gemessenen Drehzahl eine EMK–Aufschaltung realisiert werden.

#### Daten:

Motor	$r_A = 0,1$ $T_A = 20 \text{ ms}$
Last	$m_W = 0,25$ $T_{\Theta N} = 8,0 \text{ s}$
Stromrichter (P–Verhalten)	$V_{Str} = 1$
Stromregler (P–Verhalten)	$V_{Ri} = 1,5$
Drehzahlregler (P–Verhalten)	$V_{Rn} = 40$
Strommessung (P–Verhalten)	$V_{mi} = 1$
Drehzahlmessung ( $PT_1$ –Verhalten)	$v_{mn} = 1$ $T_{mn} = 0,1 \text{ s}$

#### Fragen:

- 3A.1 Zeichnen Sie den kompletten Signalflußplan mit  $n^*$ ,  $m_W$  und  $\psi$  als Eingangsgrößen und der Drehzahl  $n$  als Ausgangsgröße. Zeichnen Sie auch Übertragungsglieder mit Verstärkung 1, die EMK–Aufschaltung und die Ankersollstrombegrenzung ein.
- 3A.2 Berechnen Sie die stationäre Regelabweichung  $n^* - n_\infty$  bei Nennfluß.
- 3A.3 Aufgrund eines Fehlers in der Erregerstromregelung beträgt der Fluß  $\psi = 1,1$ . Wie groß ist unter dieser Voraussetzung bei  $n^* = 0,9$  die stationäre Regelabweichung  $n^* - n_\infty$ ?



## Aufgabe 3B : Umrichter für die Asynchronmaschine

Die Asynchronmaschine soll über einen Wechselrichter aus der Batterie versorgt werden.

### Fragen:

- 3B.1 Zeichnen Sie einen geeigneten Stromrichter mit allen Ventilen.
- 3B.2 Ist mit dieser Schaltung ein generatorischer Betrieb möglich ? (keine Begründung)
- 3B.3 Weshalb reicht Grundfrequenztaktung (d.h. Schaltfrequenz gleich Statorfrequenz) nicht aus, um die ASM im Ankerstellbereich zu betreiben ?

Die ASM benötigt ein symmetrisches Statorspannungssystem mit  $F_1 = 25 \text{ Hz}$ . Die Steuersignale für die schaltbaren Leistungshalbleiter werden durch Vergleich von Dreiecksspannungen mit Referenzspannungen ermittelt. Um die Schaltverluste gering zu halten, sollte die Frequenz der Dreiecksspannungen unterhalb von  $250 \text{ Hz}$  liegen. Andererseits sollte der Oberschwingungsgehalt des Statorstroms nicht größer als nötig sein.

- 3B.4 Skizzieren Sie für eine Phase den Zeitverlauf der Dreiecksspannung und der Referenzspannung nach dem Unterschwingungsverfahren mit synchroner Taktung (ca. eine Periode der Referenzspannung).

Hinweis: Amplituden beliebig!

## Lösung zur 1. Prüfungsaufgabe

$$1.1 \quad \Theta_{ges1} = \Theta_{(M+G)1} + \frac{1}{\ddot{u}_1^2} \cdot \left[ \Theta_{ARolle} + R_{ARolle}^2 \cdot \left( m_{Seil} + m_{Portal} + \frac{\Theta_{URolle}}{R_{URolle}^2} \right) \right]$$

$$\Theta_{ges2} = \Theta_{(M+G)2} + \Theta_{Säge} + \frac{1}{\ddot{u}_2^2} \cdot \left[ \Theta_{Zahnrad} + R_{Zahnrad}^2 \cdot (m_{(M+G)2} + m_{Zahnrad} + m_{Säge}) \right]$$

$$1.2 \quad P_{0N} = U_{AN} I_{AN} = 2,0 \text{ kW}; \quad R_{AN} = \frac{U_{AN}}{I_{AN}} = 80 \Omega \Rightarrow r_A = \frac{R_A}{R_{AN}} = 0,25$$

$$N_{0N} = \frac{N_N}{1 - r_A} = 5200 \frac{1}{\text{min}} = 86,7 \frac{1}{s}; \quad M_{iN} = \frac{P_{0N}}{2\pi N_{0N}} = 3,67 \text{ Nm}$$

$$T_{\Theta N} = \frac{\Theta_{ges} \cdot 2\pi N_{0N}}{M_{iN}} = 2,97 \text{ s}; \quad T_{\Theta St} = r_A \cdot T_{\Theta N} = 0,743 \text{ s}$$

$$1.3 \quad \text{Es gilt: } U_{d1} = -U_{d2}$$

$\implies$  Wenn  $\alpha_1 = 0^\circ$ , dann müßte  $\alpha_2 \approx 180^\circ$  eingestellt werden.

$\longrightarrow$  Gefahr von Wechselrichterkippen.

$$1.4 \quad U_{d1} = U_{di0} \cdot \left( \cos \alpha_1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{I_{d1}}{I_{dN}} \right);$$

$$U_{d2} = U_{di0} \cdot \left( \cos \alpha_2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{I_{d2}}{I_{dN}} \right)$$

$$\text{mit: } U_{d1} = -U_{d2} = U_{AN} = 350 \text{ V}; \quad U_{di0} = 1,35 \cdot U_V = 540 \text{ V}$$

$$I_{d1} = I_A + I_{Kreis} = 5 \text{ A}; \quad I_{d2} = I_{Kreis} = 1 \text{ A}; \quad I_{dN} = 3 \cdot I_{AN} = 15 \text{ A}$$

$$\longrightarrow \alpha_1 = 48,3^\circ; \quad \alpha_2 = 130,2^\circ$$

$$1.5 \quad m_M = m_W + m_B = 0,7 \longrightarrow n = 0 = u_{A1} - m_M \cdot r_A \implies u_{A1} = 0,21$$

$$1.6 \quad T_{\Theta N} \cdot \frac{dn(t)}{dt} = m_B = \text{konst.}$$

$$\implies n_1(t) = n_0 + \frac{m_B}{T_{\Theta N}} \cdot t = \frac{m_B}{T_{\Theta N}} \cdot t = 0,167 \cdot \frac{1}{s} \cdot t$$

$$1.7 \quad u_{A2}(t) = n_1(t) + m_M \cdot r_A = 0,21 + 0,167 \cdot \frac{1}{s} \cdot t$$

$$1.8 \quad n_2 = u_{A3} - m_M \cdot r_A = 0,79$$

$$1.9 \quad n_3(t) = n_{\infty 3} + (n_{03} - n_{\infty 3}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{\Theta St}}}$$

$$n_{\infty 3} = 1 - r_A \cdot m_W = 0,94; \quad n_{03} = n_2 = 0,79;$$

$$T_{\Theta St} = r_A \cdot T_{\Theta N} = 0,9 \text{ s}$$

$$\implies n_{\infty 3}(t) = 0,94 - 0,15 \cdot e^{-t/0,9 \text{ s}}$$

1.10  $n_{\infty 3} = u_{A4} - r_A \cdot i_{A4}$  (maximaler Strom sofort nach dem Umschalten)

$$i_{A4} = -2,5$$

$$\implies u_{A4} = n_{\infty 3} + r_A \cdot i_{A4} = 0,19$$

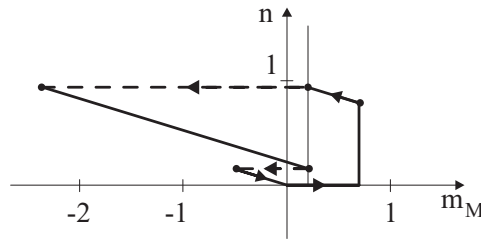
1.11  $n_4 = u_{A4} - m_W \cdot r_A = 0,13$

$$n_5(t_0) = n_{\infty 5} + (n_{05} - n_{\infty 5}) \cdot e^{-\frac{t_0}{T_{\Theta St}}} \stackrel{!}{=} 0$$

mit:  $n_{\infty 5} = 0 - m_W \cdot r_A = -0,06$ ;  $n_{05} = 0,13 = n_4$

$$\implies 0 = -0,06 + 0,19 \cdot e^{-\frac{t_0}{T_{\Theta St}}} \implies t_0 = T_{\Theta St} \cdot \ln \frac{0,06}{0,19} = 1,04 \text{ s}$$

1.12



2.1  $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} = 0,10$

2.2  $N_{syn} = \frac{F_1}{Z_p} = \frac{50 \text{ Hz}}{2} = 25 \frac{1}{s} = 1500 \frac{1}{min}$

$$M_K = \frac{3}{4} Z_p \frac{M^2}{\sigma L_1^2 L_2} \left( \frac{U_1}{\Omega_1} \right)^2 = 39,0 \text{ Nm}$$

$$s_K = \frac{R_2}{\Omega_1 \sigma L_2} = \frac{\Omega_{2K}}{\Omega_1} = 0,3$$

2.3  $M_W = M_K \frac{2s_W s_K}{s_W^2 + s_K^2}$ ;  $s_W^2 - s_W \cdot 2 \cdot s_K \cdot \frac{M_K}{M_W} + s_K^2 = 0$

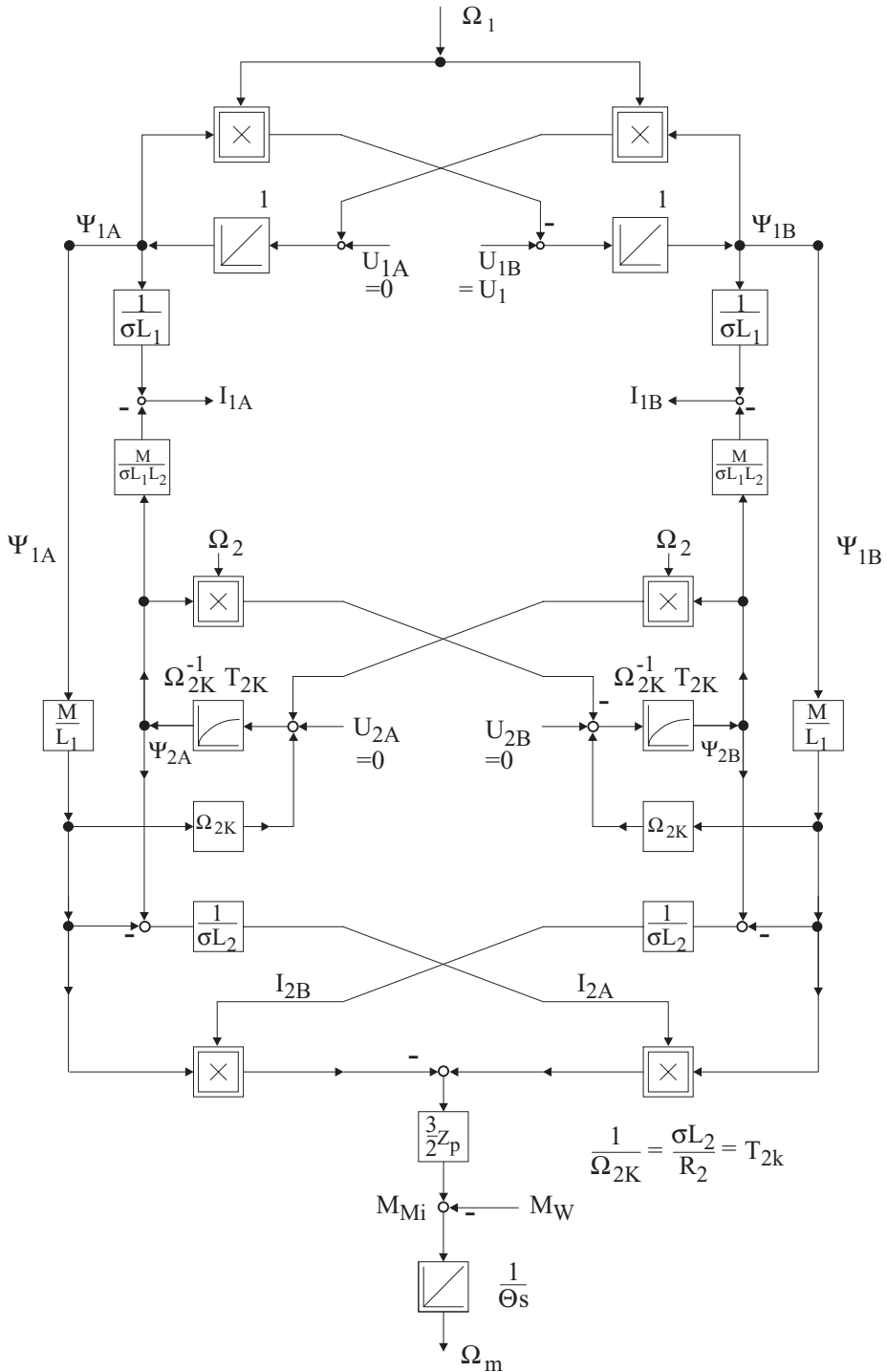
$$s_W = s_K \frac{M_K}{M_W} (+) \sqrt{\left( s_K \frac{M_K}{M_W} \right)^2 - s_K^2} = 0,127 / (0,709)$$

$$N_W = N_{syn} (1 - s_W) = 21,8 \frac{1}{s} = 1310 \frac{1}{min}$$

$$\Omega_{2W} = s_W \cdot \Omega_1 = 39,9 \frac{1}{s}$$

2.4 siehe Hilfsblatt 1

Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 2.4



2.5  $U_{1A} = \Psi_{1B} \cdot \Omega_1 = 0 \Rightarrow \Psi_{1B} \cdot \Omega_1 = 0 \Rightarrow \Psi_{1B} = 0$

$$U_{1B} - \Psi_{1A} \cdot \Omega_1 = 0 \Rightarrow U_1 = \Psi_{1A} \cdot \Omega_1 \Rightarrow \Psi_{1A} = \frac{U_1}{\Omega_1}$$

2.6  $M_{Mi} = -\frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{M}{\sigma L_1 L_2} \cdot \Psi_{1A} \cdot \Psi_{2B}; \Psi_{2B} = -\frac{2}{3} \cdot \frac{M_{Mi}}{Z_p} \cdot \frac{\sigma L_1 L_2}{M} \cdot \frac{\Omega_1}{U_1}$

2.7 
$$\Psi_{2A} = \frac{1}{\Omega_{2K}} \cdot \left( \Omega_2 \cdot \Psi_{2B} + \Omega_{2K} \cdot \frac{M}{L_1} \cdot \Psi_{1A} \right)$$

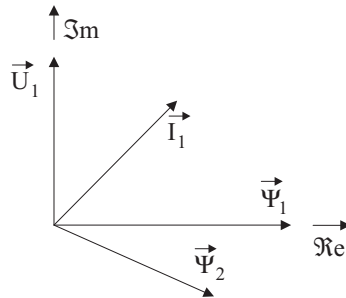
$$= \frac{M}{L_1} \cdot \frac{U_1}{\Omega_1} - \frac{2}{3} \cdot \frac{M_{Mi}}{Z_p} \cdot \frac{\sigma L_1 L_2}{M \cdot \Omega_{2K}} \cdot \frac{\Omega_2 \cdot \Omega_1}{U_1}$$

2.8  $\Psi_{1A} = 1,27 \text{ Vs}; \quad \Psi_{1B} = 0 \text{ Vs}; \quad \Psi_{2A} = 1,02 \text{ Vs}; \quad \Psi_{2B} = -0,429 \text{ Vs}$

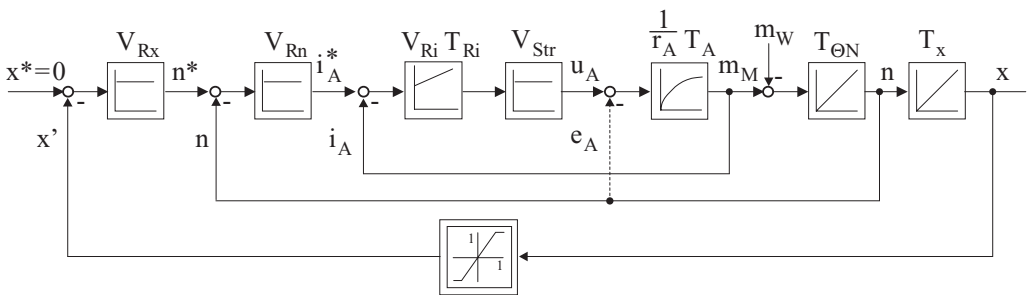
$$I_{1A} = \frac{1}{\sigma L_1} \left( \Psi_{1A} - \frac{M}{L_2} \Psi_{2A} \right) = 5,37 \text{ A}$$

$$I_{1B} = -\frac{M}{\sigma L_1 L_2} \Psi_{2B} = 7,33 \text{ A}$$

2.9



3A.1



mit  $x^* = 0$  und  $x' = -1$ , sowie  $n^* = 0,9 \Rightarrow V_{Rx} = \frac{n^*}{x^* - x'} = 0,9$

3A.2 Drehzahl stationär, d.h.  $n_\infty = \text{konst.}$

$\implies$  Eingang Integrator mit  $T_{\Theta N} \rightarrow 0$

$$m_{M\infty} = m_W \rightarrow i_{A\infty} = m_W$$

Eingang Stromregler (PI)  $\rightarrow 0$

$$i_{A\infty}^* = i_{A\infty} = m_W \implies n^* - n_\infty = \frac{m_W}{V_{Rn}} = 0,004$$

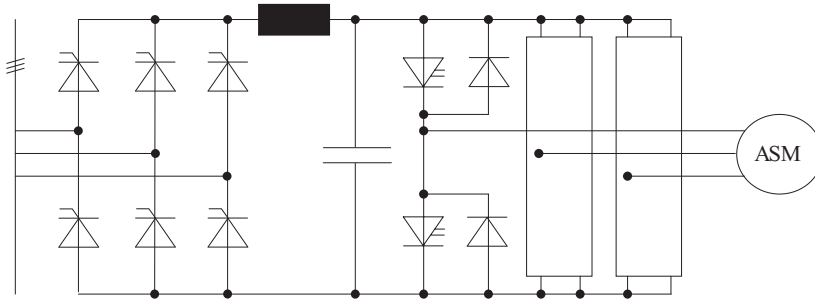
3A.3 Endlage  $x_\infty = \text{konst.}$   $\implies$  alle Integratoreingänge = 0

$$\implies n_\infty = 0 \implies n^* = \frac{m_W}{V_{Rn}}$$

$$x^* - x'_\infty = -x'_\infty = \frac{m_W}{V_{Rn} \cdot V_{Rx}}$$

$$x'_\infty = -\frac{m_W}{V_{Rn} \cdot V_{Rx}} = -0,0044 = x_\infty$$

3B.1



3B.2

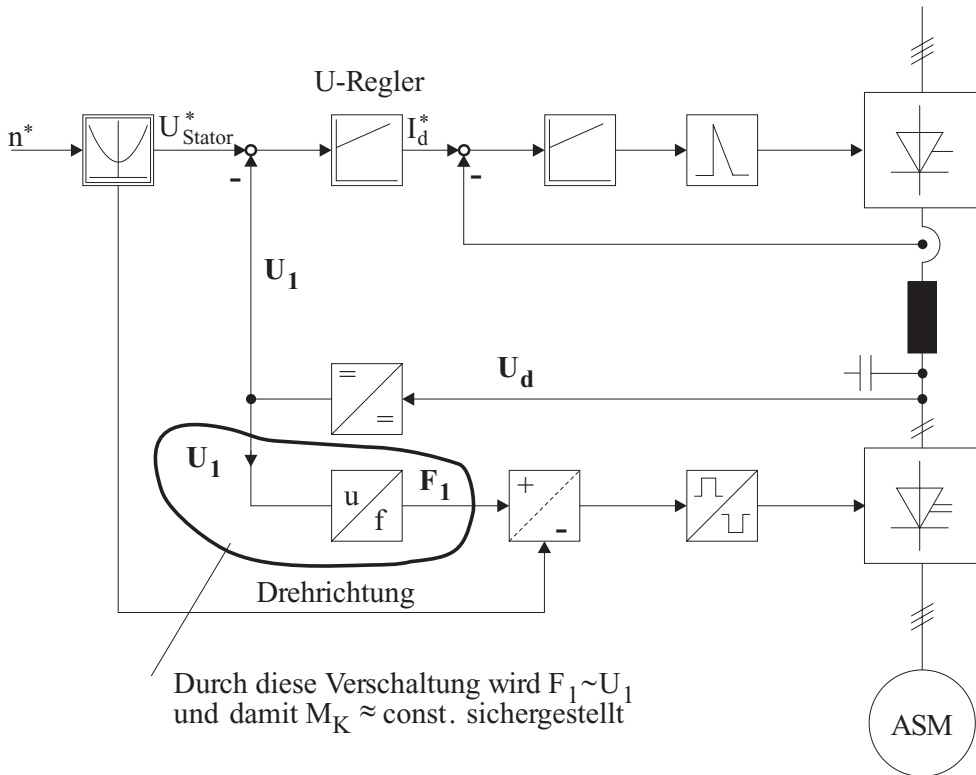
- a) Wegen der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom treten bei ohmsch-induktiven Lasten Zeitabschnitte auf, wo bei positiver Wicklungsspannung der Ventilstrom negativ ist. Da das abschaltbare Element aber nur in Vorwärtsrichtung leiten kann, muß dieser negative Strom durch die antiparallele Diode geführt werden.
- b) Bei der Kommutierung kann der Wicklungsstrom nicht schlagartig abgeschaltet werden. Wird ein abschaltbares Ventil ausgeschaltet, so kann der Wicklungsstrom über die Diode der anderen Brückenhälfte aufrecht erhalten werden.

3B.3 Das Kippmoment bleibt in etwa konstant, wenn die Bedingung

$$\Psi_1 = \frac{U_1}{\Omega_1} = \text{konst. erfüllt ist.} \implies U_1 \sim F_1$$

Die Statorfrequenz muß proportional zur Statorspannung verstellt werden.

Beim Umrichter mit variabler Zwischenspannung gilt:  $U_1 \sim U_d$



**Lösung zur 2. Prüfungsaufgabe**

$$1.1 \quad \Theta_{ges} = \Theta_E + \frac{1}{\ddot{u}_E} \cdot (\Theta_G + \Theta_{Diff} + 4 \cdot \Theta_{Rad} + R_{Rad}^2 \cdot m_{KFZ} + \ddot{u}_V \cdot \Theta_V) \\ = 1,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$1.2 \quad M_{W1} = \frac{1}{\ddot{u}_E} \cdot (M_{Reib} + R_{Rad} \cdot m_{KFZ} \cdot g \cdot \sin \alpha) = 7,54 \text{ Nm}$$

$$1.3 \quad M_{W2} = M_{W1} - \frac{\ddot{u}_V}{\ddot{u}_E} \cdot M_V = -38,8 \text{ Nm}$$

$$1.4 \quad M_{iN} = M_W + M_B = \frac{1}{\ddot{u}_E} \cdot (M_{Reib} + R_{Rad} \cdot m_{KFZ} \cdot g \cdot \sin \alpha) + M_B \\ = 20,1 \text{ Nm}$$

$$N = \frac{V}{km/h} \cdot \frac{1}{3,6} \cdot \frac{m}{R_{Rad}} \cdot \frac{\ddot{u}_E}{2\pi} \frac{1}{s} \quad \Rightarrow \quad N_{30} = 42,4 \frac{1}{s}$$

$$M_{W30} = \frac{1}{\ddot{u}_E} \cdot (M_{Reib} + M_{LW}) = 7,5 \text{ Nm}$$

$$r_A = 1 - \eta_{el} = 0,1$$

$$\frac{N_{30}}{N_{0N}} = u_A - r_A \cdot \frac{M_{W30}}{M_{iN}} \quad \Rightarrow \quad N_{0N} = \frac{N_{30}}{1 - 0,1 \cdot m_{W30}} = 44,0 \frac{1}{s}$$

$$P_{0N} = 2\pi \cdot N_{0N} \cdot M_{iN} = 5,56 \text{ kW} \quad P_N = \eta_{el} \cdot P_{0N} = 5,00 \text{ kW}$$

$$1.5 \quad T_{\Theta N} \cdot \frac{dn}{dt} = m_M - m_W = m_B; \quad m_B = 1 - 0,25 = 0,75$$

$$\Rightarrow \quad n_a(t) = \frac{m_B}{T_{\Theta N}} \cdot t = 0,0938 \cdot \frac{t}{s}$$

$$1.6 \quad n_{ab} = 1 - r_A \cdot 1 = 0,9$$

$$1.7 \quad u_A = 1 = \text{konst.} \quad \Rightarrow \quad n_b(t) = n_{b\infty} + (n_{b0} - n_{b\infty}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{\Theta St}}}$$

$$\text{mit } n_{b0} = n_{ab} = 0,9; \quad n_{b\infty} = 1 - r_A \cdot m_W = 0,975;$$

$$T_{\Theta St} = r_A \cdot T_{\Theta N} = 0,8 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \quad n_b(t) = 0,975 - 0,075 \cdot e^{-\frac{t}{0,8 \text{ s}}}$$

$$1.8 \quad n_{bc} = 1 - r_A \cdot 0,3 = 0,97$$

$$1.9 \quad n = \frac{u_A}{\psi} - \frac{r_A \cdot m_M}{\psi^2} \quad \text{mit } m_M = m_W; \quad n = n_{max} = 1,3;$$

$$u_A = 1 \quad \psi = \psi_C$$

$$\psi_C = \frac{u_A}{2 \cdot n(-)} + \frac{1}{2 \cdot n} \cdot \sqrt{u_A^2 - 4 \cdot n \cdot r_A \cdot m_W} = 0,743$$

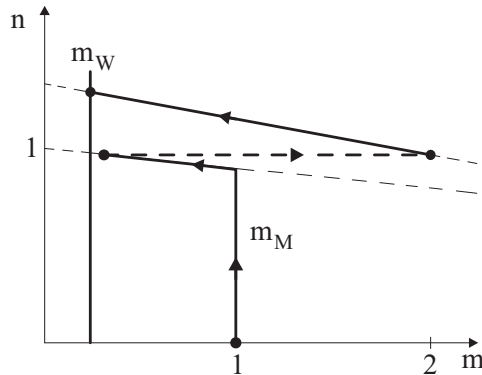


$$1.10 \quad m_M(n_{bc}) = \frac{1}{r_A} \cdot (\psi_C - \psi_C^2 \cdot n_{bc}) = 2,07$$

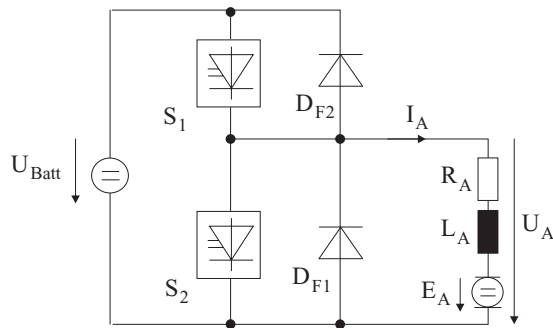
$$\implies i_{Amax} = \frac{m_M(n_{bc})}{\psi_C} = 2,79$$

$$i_{A\infty} = \frac{m_W}{\psi_C} = 0,336$$

1.11



1.12



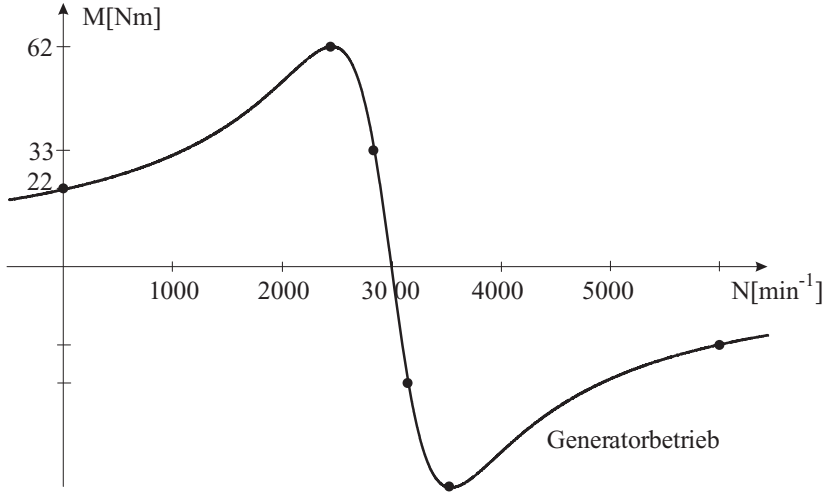
1.13  $S_2, D_{F2}$

1.14 Tiefsetzsteller

$$2.1 \quad \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} = 0,0951 \quad M_K = \frac{3}{4} \cdot Z_p \cdot \frac{M^2}{\sigma L_1^2 L_2} \cdot \left( \frac{U_1}{\Omega_1} \right)^2 = 62,3 \text{ Nm}$$

$$s_K = \frac{R_2}{\Omega_1 \sigma L_2} = 0,182 \quad M_A = M_K \cdot \frac{2}{\frac{1}{s_K} + s_K} = 22,0 \text{ Nm}$$

2.2  $M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot N_N} = 32,8 Nm$



2.3  $M_{Mi} \approx 2 \cdot M_K \cdot \frac{s}{s_K} = 684 Nm \cdot s$

2.4 Ankerstellbereich:  $0 \leq F_1 \leq 50 Hz$

$$U_1 = U_{1N} \cdot \frac{F_1}{F_N}$$

Die Kennlinie wird parallel zur  $N$ -Achse verschoben.

2.5 Für  $U_{1N}, F_{1N}$ :  $-33 Nm = 683,8 Nm \cdot s^* \implies s^* = -0.0483$

$$N^* = N_{syn}^* \cdot (1 - s^*) = 3144 min^{-1}$$

$$\Delta N = N - N^* = -1145 min^{-1} \quad \text{Verschiebung der Kennlinie}$$

$$N_{syn} = N_{syn}^* + \Delta N = 1855 min^{-1} \quad F_1 = Z_p \cdot N_{syn} = 30,92 Hz$$

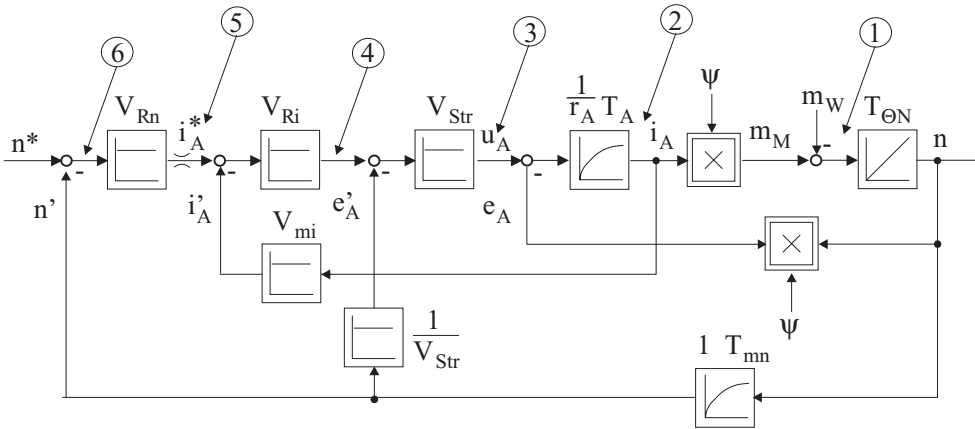
$$U_1 = U_{1N} \cdot \frac{F_1}{F_N} = 123,7 V$$

2.6  $I_{1A} = \frac{1}{M} \cdot \Psi_{2A} = 14,1 A \quad I_{1B} = \frac{2L_2}{3 \cdot Z_p \cdot M \cdot \Psi_{2A}} \cdot M_{Mi} = -37,1 A$

$$|I_1| = \sqrt{I_{1A}^2 + I_{1B}^2} = 39,7 A$$

$$\Omega_{I1} = Z_p \cdot \Omega_m + \frac{2}{3} \cdot \frac{R_2 \cdot M_{Mi}}{Z_p \cdot \Psi_{2A}^2} = 195 s^{-1} \quad F_{I1} = \frac{\Omega_{I1}}{2\pi} = 31,1 Hz$$

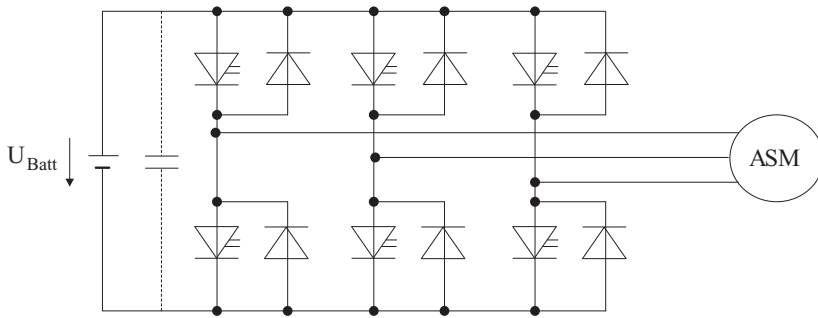
3A.1



3A.2 (1)  $m_{M\infty} - m_W = 0 \implies m_{M\infty} = m_W$  (2)  $i_{A\infty} = m_W$   
 (3)  $u_{A\infty} - e_{A\infty} = r_A \cdot i_{A\infty} \implies u_{A\infty} = e_{A\infty} + r_A \cdot m_W$   
 (4) Ausgang Stromregler =  $u_{A\infty} - e'_{A\infty} = r_A \cdot m_W$  (wegen  $e'_{A\infty} = e_{A\infty}$ )  
 (5)  $i^*_{A\infty} = i_{A\infty} + \frac{1}{V_{Ri}} \cdot r_A \cdot m_W = \left(1 + \frac{r_A}{V_{Ri}}\right) \cdot m_W$   
 (6)  $n^* - n'_{\infty} = n^* - n_{\infty} = \frac{1}{V_{Rn}} \cdot \left(1 + \frac{r_A}{V_{Ri}}\right) \cdot m_W = 6,67 \cdot 10^{-3}$

3A.3 (1)  $m_{M\infty} = m_W$  (2)  $i_{A\infty} = \frac{m_W}{\psi}$   
 (3)  $u_{A\infty} = e_{A\infty} + r_A \cdot i_{A\infty} = n_{\infty} \cdot \psi + r_A \cdot \frac{m_W}{\psi}$   
 (4) Ausgang Stromregler =  $u_{A\infty} - e'_{A\infty} = n_{\infty} \cdot \psi + r_A \cdot \frac{m_W}{\psi} - n'_{\infty} =$   
 $= n_{\infty} \cdot (\psi - 1) + r_A \cdot \frac{m_W}{\psi}$   
 (5)  $i^*_{A\infty} = \frac{m_W}{\psi} + \frac{r_A}{V_{Ri}} \cdot \frac{m_W}{\psi} - \frac{n_{\infty}}{V_{Ri}} \cdot (1 - \psi)$   
 $= \left(1 + \frac{r_A}{V_{Ri}}\right) \cdot \frac{m_W}{\psi} - \frac{n_{\infty}}{V_{Ri}} \cdot (1 - \psi)$   
 (6)  $n^* - n'_{\infty} = n^* - n_{\infty} = \frac{1}{V_{Rn}} \cdot \left(1 + \frac{r_A}{V_{Ri}}\right) \cdot \frac{m_W}{\psi} - \frac{n_{\infty}}{V_{Ri}} \cdot \frac{1 - \psi}{V_{Rn}}$   
 $\implies n_{\infty} = \frac{1}{1 - \frac{1 - \psi}{V_{Ri} \cdot V_{Rn}}} \cdot \left(n^* - \frac{1}{V_{Rn}} \cdot \left(1 + \frac{r_A}{V_{Ri}}\right) \cdot \frac{m_W}{\psi}\right) = 0,8925$   
 $\implies n^* - n_{\infty} = 7,55 \cdot 10^{-3}$

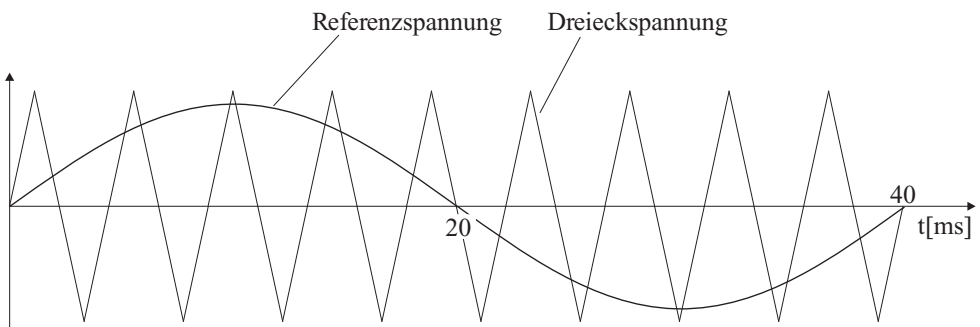
3B.1



3B.2 Ja !

3B.3 Der Ankerstellbereich erfordert Verstellbarkeit von Frequenz und Spannungsamplitude. Die Zwischenkreisspannung (= Batteriespannung) kann nicht eingestellt werden, bei Grundfrequenztaktung liegt demnach die Spannungsamplitude fest.

3B.4



# Variablenübersicht

## *Allgemeiner Hinweis:*

Großbuchstaben: unnormierte Größen

Kleinbuchstaben: normierte Größen

hochgestellter Index S: Bezug auf statorfestes Koordinatensystem S

hochgestellter Index K: Bezug auf allgemeines Koordinatensystem K

hochgestellter Index L: Bezug auf rotorfestes Koordinatensystem L

hochgestellter Index  $*$ ;  $\vec{x}^{*k}$ : konjugiert komplexer Raumzeiger

hochgestellter Index  $*$ ;  $\vec{x}^{\dagger k*}$ : Sollwerte

$*$  Symbol für Faltung

$\mathcal{L}$  Laplace-Transformation

$\Re$  Realteil

$\Im$  Imaginärteil

sign Signumfunktion

$\alpha$  Schrittwinkel (Schrittmotor)

$\alpha$  Zündwinkel, Steuerwinkel

$\alpha_{max}, \alpha_{WR}$  maximaler Steuerwinkel (Wechselrichtertrittgrenze)

$\Delta\alpha_M$  systematische Winkelabweichung (Schrittmotor)

$\Delta\alpha_S$  systematische Winkeltoleranz (Schrittmotor)

$\beta$  Steigung am Arbeitspunkt

$\beta$  Drehwinkel

$\beta$  Matrix der Drehwinkel

$\beta_K$  Winkel des K-Systems gegenüber dem statorfesten System S

$\beta_m$  mechan. Drehwinkel des Rotors

$\beta_{mP}$  Positionierwinkel (Schrittmotor)

$\beta_{off}$  Stromverstärkung (Abschalten eines GTO)

$\beta_S$  Winkel eines Raumzeigers im statorfesten System S

$\Gamma_S$  Fortschaltewinkel des Statormagnetfeld-Raumzeigers

$\gamma$  Schonzeitwinkel

$\gamma$  elektr. Rotordrehwinkel (Schrittmotor)

$\gamma$  mechan. Rotordrehwinkel (Reluktanzmotor)

$\gamma$  Verteilungsfunktion

$\gamma_A$	Schaltwinkel (Einschalten)
$\gamma_i$	Winkel des Raumzeigers $\vec{I}_1$ im Koordinatensystem K
$\gamma_K$	Schaltwinkel (Abschalten)
$\gamma_k$	Verteilungsfunktion der Teilwicklung $k$
$\gamma_u$	Winkel des Raumzeigers $\vec{U}_1$ im Koordinatensystem K
$\gamma_S$	Winkel des Statormagnetfeld-Raumzeigers (Schrittmotor)
$\gamma_S$	mechan. Schrittwinkel (Reluktanzmotor)
$\delta$	Winkel zwischen Hauptfeld- und Polradspannung
$\delta(t)$	Dirac-Impuls
$\delta$	Luftspalt
$\delta''$	wirksamer Luftspalt (ASM)
$\varepsilon$	relative Einschaltdauer
$\varepsilon$	Durchflutungswinkel
$\varepsilon_0$	räumlicher Winkel, bezogen auf Statorwicklung a
$\eta_{el}$	elektr. Wirkungsgrad
$\eta_{mech}$	mechan. Wirkungsgrad
$\Theta$	Durchflutung
$\Theta$	Massenträgheitsmoment
$\Theta_A, \Theta_W$	Massenträgheitsmoment der Arbeitsmaschine (Last)
$\Theta_a$	Wicklungsdurchflutung
$\Theta_{ges}$	gesamtes Massenträgheitsmoment
$\Theta_M$	Permanentmagnet-Durchflutung
$\Theta_M$	Massenträgheitsmoment des Motors
$\vartheta$	Polradwinkel (SM)
$\vartheta$	Lastwinkel (Schrittmotor)
$\vartheta$	Temperatur
$\vartheta_A$	Außentemperatur
$\vartheta_\infty$	(stationäre) Endtemperatur
$\Delta\vartheta$	Übertemperatur
$\kappa$	Wellensteuerwinkel
$\lambda$	Leistungsfaktor
$\lambda$	Stufenfaktor
$\mu$	Reibungskoeffizient
$\mu$	magnetische Permeabilität
$\mu_0$	magnetische Permeabilität im Vakuum (Luft)
$\mu_D$	Normierungsfaktor Erregerfluß–Dämpferstrom
$\mu_E$	Normierungsfaktor Dämpferfluß–Erregerstrom

$\nu$	Anzahl der steuerbaren Ventile des Stromrichters
$\xi$	Wicklungsfaktor
$\rho$	Dichte
$\sigma(t)$	Sprungfunktion
$\sigma$	Blondelscher Streukoeffizient
$\sigma$	mechan. Spannung
$\sigma_1, \sigma_2$	mechan. Spannung (Medium 1, 2)
$\sigma_{12}$	mechan. Grenzflächenspannung
$\sigma_1$	Streukoeffizient der Statorwicklung
$\sigma_2$	Streukoeffizient der Rotorwicklung
$\sigma_3$	Streukoeffizient der Dämpferwicklung
$\sigma_D, \sigma_Q$	d,q-Komponenten des Streukoeffizienten der Dämpferwicklung
$\sigma_E$	Streukoeffizient der Erregerwicklung
$\tau$	Zeit (normiert)
$\tau_b$	Betriebszeit (normiert)
$\tau_p$	Pausenzeit (normiert)
$\Phi$	Drehwinkel
$\Phi_{0N}$	Drehwinkel-Bezugswert (meist $2\pi$ )
$\varphi$	Drehwinkel (normiert)
$\varphi_1$	Phasenwinkel
$\Psi$	verketteter Fluß
$\Psi$	Matrix der Flüsse
$\Psi_1$	Statorfluß
$\vec{\Psi}_1$	Statorfluß-Raumzeiger
$\Psi_1^*$	Statorfluß-Sollwert
$\Psi_{1A}, \Psi_{1B}$	Statorfluß-Komponenten im Koordinatensystem K
$\Psi_2$	Rotorfluß
$\vec{\Psi}_2$	Rotorfluß-Raumzeiger
$\Psi_2^*$	Rotorfluß-Sollwert
$\Psi_{2A}, \Psi_{2B}$	Rotorfluß-Komponenten im Koordinatensystem K
$\Psi_D, \Psi_Q$	Dämpferfluß-Komponenten im d,q-System
$\Psi_{DN}, \Psi_{QN}$	Nennwerte der d,q-Komponenten des Dämpferflusses
$\Psi_d, \Psi_q$	Statorfluß-Komponenten im d,q-System (SM)
$\Psi_E$	Erregerfluß
$\vec{\Psi}_E$	Erregerfluß-Raumzeiger
$\Psi_h$	Statorhauptfluß
$\Psi_{hd}, \Psi_{hq}$	Statorhauptfluß-Komponenten im d,q-System
$\Psi_N$	Nennfluß
$\Psi_{PM}$	Hauptfluß des Permanentmagneten

$\psi$	verketteter Fluß (normiert)
$\psi_0$	Fluß im Arbeitspunkt (normiert)
$\psi_D, \psi_Q$	Dämpferfluß-Komponenten im d,q-System (normiert)
$\psi_d, \psi_q$	Statorfluß-Komponenten im d,q-System (normiert)
$\psi_E$	Erregerfluß (normiert)
$\Omega$	Winkelgeschwindigkeit, Kreisfrequenz
$\Omega_0$	Resonanzkreisfrequenz
$\Omega_0$	elektr. Leerlauf-Winkelgeschwindigkeit
$\Omega_{0N}$	mechan. Nennleerlauf-Winkelgeschwindigkeit
$\Omega_1$	elektr. Statorkreisfrequenz
$\Omega_2$	elektr. Rotorkreisfrequenz
$\Omega_{2K}$	elektr. Rotorkreisfrequenz im Kippunkt
$\Omega_K$	Kreisfrequenz des Bezugskoordinatensystems K
$\Omega_L$	elektr. Winkelgeschwindigkeit des Rotors ( $\Omega_L = Z_p \cdot \Omega_m$ )
$\Omega_m$	mechan. Winkelgeschwindigkeit des Rotors
$\overline{\Omega}_m$	mittlere mechan. Winkelgeschwindigkeit des Rotors
$\Omega_{syn}$	synchrone Winkelgeschwindigkeit
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit (normiert)
$\omega_e$	Eigenkreisfrequenz der gedämpften Schwingung
$\omega_L$	elektr. Winkelgeschwindigkeit des Rotors (normiert)
$\omega_m$	mechan. Winkelgeschwindigkeit des Rotors (normiert)
$A$	Winkelbeschleunigung
$A$	Wärmeabgabefähigkeit, thermischer Leitwert
$A_S$	Statorstrombelag, Ankerstrombelag
$A_{Sk}$	Statorstrombelag von Teilwicklung $k$
$a$	Tastgrad (DC-DC-Wandler)
$\mathbf{a}$	Spalten-Vektor der Fourier-Koeffizienten
$\vec{a}$	Drehoperator
$a_\mu$	Fourier-Koeffizienten
$B$	Beschleunigung
$B$	magnetische Induktion (Flußdichte)
$\vec{B}$	Magnetfeld-Raumzeiger
$B_{1n}, B_{2n}$	Normalkomponente der Induktion (Medium 1, 2)
$B_\alpha, B_\beta$	Komponenten von $\vec{B}$ im statorfesten Koordinatensystem S
$B_a$	Wicklungsinduktion
$B_{aL}$	Restinduktion
$B_f$	Erregerinduktion
$B_r$	Remanenzinduktion
$C$	Kapazität
$C_\vartheta$	Wärmekapazität



$C_E$	Maschinenkonstante (GM)
$C_M$	Maschinenkonstante (GM)
$c_w$	Maschinenkonstante (ASM)
$\cos \varphi_1$	Verschiebungsfaktor
$D$	Dämpfungsfaktor, Dämpfungsgrad
$D_N$	netzseitige Verzerrungs-Blindleistung
$D_x$	induktiver Gleichspannungsabfall (Stromrichter)
$d_x$	bezogener induktiver Gleichspannungsabfall (Stromrichter)
$E_A$	induzierte Gegenspannung
$E_i$	induzierte Spannung
$E_V$	Gegenspannung der Last
$e_A$	induzierte Gegenspannung (normiert)
$e_n$	Flächennormalvektor
$e_Q$	Quellenspannung (normiert)
$F$	Frequenz
$F$	Kraft, Schubkraft
$\mathbf{F}$	Matrix der Kräfte
$F_1$	Statorfrequenz
$F_2$	Rotorfrequenz
$F_A$	Kraftdichte
$F_{Amax}$	Startgrenzfrequenz
$F_{A0max}$	maximale Startfrequenz
$F_{Ar}$	relative Kraftdichte
$F_{Bmax}$	Betriebsgrenzfrequenz
$F_{B0max}$	maximale Betriebsfrequenz
$F_e$	Eigenfrequenz
$F_K$	Kupplungskraft
$F_L$	elektr. Drehfrequenz des Rotors, $F_L = Z_p \cdot F_m = \frac{\Omega_L}{2\pi}$
$F_L$	Lorentz-Kraft
$F_M$	Maxwell-Kraft
$F_M$	Summe der Antriebskräfte
$F_m$	mechan. Drehfrequenz des Rotors, $F_m = N = \frac{\Omega_m}{2\pi}$
$F_N$	Nennfrequenz
$F_{Netz}$	Netzfrequenz
$F_P$	Frequenz der Drehmomentpendelungen
$F_R$	auf den Rotor wirkende Kraft
$F_{Rx}, F_{Ry}$	auf den Rotor in x,y-Richtung wirkende Kraft
$F_S$	auf den Stator wirkende Kraft
$F_T$	Taktfrequenz
$F_W$	Summe der Gegenkräfte
$F_z$	Schrittfrequenz (Schrittmotor)

$\overline{F}_z$	mittlere Schrittfrequenz (Schrittmotor)
$G$	Gewicht
$G(s)$	Übertragungsfunktion
$G_0(s)$	Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises
$G_A(s)$	Übertragungsfunktion des Ankerkreises (GNM)
$G_R(s)$	Übertragungsfunktion des Reglers
$G_{Ri}(s)$	Übertragungsfunktion des Stromreglers
$G_{Rn}(s)$	Übertragungsfunktion des Drehzahlreglers
$G_r(s)$	Übertragungsfunktion der Rückführung
$G_S(s)$	Übertragungsfunktion der Regelstrecke
$G_{Str}(s)$	Übertragungsfunktion des Stromrichter-Stellglieds
$G_w(s)$	Übertragungsfunktion des Vorwärtszweiges
$G_w(s)$	Führungs-Übertragungsfunktion
$G_{wersi}(s)$	Ersatz-Übertragungsfunktion des Strom-Regelkreises
$G_{wi}(s)$	Führungs-Übertragungsfunktion des Strom-Regelkreises
$G_{wn}(s)$	Führungs-Übertragungsfunktion des Drehzahl-Regelkreises
$G_z(s)$	Stör-Übertragungsfunktion
$H$	Höhe
$H$	magnetische Feldstärke
$H_{1n}, H_{2n}$	Normalkomponente der Feldstärke (Medium 1, 2)
$H_{1t}, H_{2t}$	Tangentialkomponente der Feldstärke (Medium 1, 2)
$HVF$	Spannungsüberschwingungsfaktor
$h_M$	Magnethöhe
$I$	Strom
$\mathbf{I}$	Matrix der Strangströme
$I^*$	Stromsollwert
$I_1$	Statorstrom
$\mathbf{I}_1$	Matrix der Statorstrangströme
$\vec{I}_1$	Statorstrom-Raumzeiger
$I_{1\alpha}, I_{1\beta}$	Statorstrom-Komponenten im Koordinatensystem S
$I_{1\alpha}^*, I_{1\beta}^*$	Statorstrom-Sollwerte im Koordinatensystem S
$I_{1A}, I_{1B}$	Tragkraft-Komponenten der Statorströme (Kap. 10)
$I_{1A}, I_{1B}$	Statorstrom-Komponenten im Koordinatensystem K
$I_{1A}^*, I_{1B}^*$	Statorstrom-Sollwerte im Koordinatensystem K
$I_{1a}, I_{1b}, I_{1c}$	Stator-Strangströme (Dreiphasensystem)
$I_{1a}^*, I_{1b}^*, I_{1c}^*$	Statorstrom-Sollwerte (Dreiphasensystem)
$I_{1k}, I_{1l}$	Statorstrom-Komponenten im Koordinatensystem L
$I_{1M}$	Drehmoment-Komponente der Statorströme (Kap. 10)
$I_2$	Rotorstrom
$\vec{I}_2$	Rotorstrom-Raumzeiger
$I_2'$	Rotorstrom, auf die Statorseite umgerechnet

$I_{2A}, I_{2B}$	Rotorstrom-Komponenten im Koordinatensystem K
$I_{2a, 2b, 2c}$	Rotor-Strangströme (Dreiphasensystem)
$I_\mu$	Magnetisierungsstrom
$\vec{I}_\mu$	Magnetisierungsstrom-Raumzeiger
$I_{\mu d}, I_{\mu q}$	d,q-Komponenten des Magnetisierungsstroms
$I_{\mu N}$	Magnetisierungsstrom-Nennwert
$I_A$	Ankerstrom (GNM)
$\bar{I}_A$	Ankerstrom-Mittelwert
$I_{AN}$	Ankernennstrom (GNM)
$\underline{I}_{a, b, c}(t)$	zeitlicher Verlauf der drei Statorstrangströme
$I_C$	Kondensatorstrom
$I_D$	Diodenstrom
$I_D, I_Q$	Dämpferstrom-Komponenten im d,q-System (SM)
$I_{DN}, I_{QN}$	Nennwerte der d,q-Komponenten des Dämpferstroms
$I_d, I_q$	Statorstrom-Komponenten im d,q-System (SM)
$I_d$	Gleichstrom
$I_{dN}$	Gleichstrom-Nennwert
$I_E$	Erregerstrom
$\vec{I}_E$	Erregerstrom-Raumzeiger
$I_E^*$	Erregerstrom-Sollwert
$I_{EN}$	Erregerennennstrom
$I_{eff}$	Stromeffektivwert
$I_G$	Gatestrom
$I_{Goff}$	Abschalt-Gatestrom eines GTO
$I_K$	Strom beim Abschalten (Reluktanzmotor)
$I_{Kreis}$	Kreisstrom
$I_k$	Kurzschlußstrom
$I_L$	Laststrom
$I_{max}$	Maximalstrom
$I_N$	Stator-Nennstrom (Bezugswert)
$I_N, I_{Netz}$	Netzstrom
$I_{N(1)}$	Netzstrom-Grundschiwingung
$I_Q$	Quellenstrom
$\bar{I}_Q$	Quellenstrom-Mittelwert
$I_{RD}$	Strom in $R_D$ (Wirbelstromdämpfung)
$I_S$	Schalterstrom
$I_S$	Statorstrom
$I_{Sk}$	Strom in Statorteilwicklung $k$
$I_{TAV}$	Thyristorstrom-Mittelwert
$I_V$	Verbraucherstrom, Laststrom
$I_w$	Wirkstrom (momentbildender Strom)
$I_z$	Zwischenkreisstrom
$I_z^*$	Zwischenkreisstrom-Sollwert
$i$	Strom (normiert)

$i^*$	Stromsollwert (normiert)
$i_A^*$	Ankerstromsollwert (normiert)
$i_A$	Ankerstrom (normiert)
$\bar{i}_A$	Ankerstrom-Mittelwert (normiert)
$i_{A0}$	Ankerstrom im Arbeitspunkt (normiert)
$i_D, i_Q$	Dämpferstrom-Komponenten im d,q-System (normiert)
$i_d, i_q$	Statorstrom-Komponenten im d,q-System (normiert)
$i_E$	Erregerstrom (normiert)
$i_{eff}$	Stromeffektivwert (normiert)
$i_{zul}$	zulässige Strombelastung (normiert)
$j$	imaginäre Einheit ( $j^2 = -1$ )
$k_i$	Motorkonstante (Schrittmotor)
$k_r$	Verhältnis Beschleunigungszeit/Positionierzeit (Schrittmotor)
$L$	Länge
$L$	Induktivität
$L_1$	Eigeninduktivität der Statorwicklung
$L_2$	Eigeninduktivität der Rotorwicklung
$L_2'$	Rotor-Eigeninduktivität, auf die Statorseite umgerechnet
$L_3$	Eigeninduktivität der Dämpferwicklung
$L_\sigma$	Streuinduktivität
$L_{\sigma 1}$	Stator-Streuinduktivität
$L_{\sigma 2}$	Rotor-Streuinduktivität
$L_{\sigma 2}'$	Rotor-Streuinduktivität, auf die Statorseite umgerechnet
$L_{\sigma d}, L_{\sigma q}$	d,q-Komponenten der Stator-Streuinduktivität (SM)
$L_{\sigma E}$	Erregerkreis-Streuinduktivität
$L_A$	Ankerinduktivität
$L_D$	Induktivität der Zwischenkreis-Drosselspule D
$L_D, L_Q$	d,q-Komponenten der Dämpferwicklungs-Induktivität
$L_d, L_q$	d,q-Komponenten der Statorinduktivität (SM)
$L_E$	Erregerkreisinduktivität
$L_{Ed}$	differentielle Erregerkreisinduktivität
$L_{EN}$	Erregerkreis-Nenninduktivität
$L_h$	Hauptinduktivität
$L_{h1}$	Stator-Hauptinduktivität
$L_{h2}$	Rotor-Hauptinduktivität
$L_{h2}'$	Rotor-Hauptinduktivität, auf die Statorseite umgerechnet
$L_{hd}, L_{hq}$	d,q-Komponenten der Stator-Hauptinduktivität (SM)
$L_N$	Stator-Nenninduktivität (Bezugswert)
$L_N$	Netzinduktivität
$L_V$	Lastinduktivität
$l_1$	Eigeninduktivität der Statorwicklung (normiert)

$l_d, l_q$	d,q-Komponenten der Statorinduktivität (normiert)
$l_E$	Erregerkreisinduktivität (normiert)
$l_{Ed}$	differentielle Erregerkreisinduktivität (normiert)
$M$	Drehmoment
$\mathbf{M}$	Matrix der Drehmomente
$M$	Gegeninduktivität Stator–Rotor (ASM)
$M_{13}$	Gegeninduktivität Stator–Dämpfer
$M_A$	Arbeitsmaschinenmoment
$M_{Amax}$	Startgrenzmoment
$M_B$	Beschleunigungsmoment
$M_{Bmax}$	Betriebsgrenzmoment
$M_{dD}, M_{qQ}$	d,q-Komponenten der Gegeninduktivität Stator–Dämpfer
$M_{dE}, M_{qE}$	d,q-Komponenten der Gegeninduktivität Stator–Polrad
$M_{dEN}$	d-Komponente der Nenn-Gegeninduktivität Stator–Polrad
$M_{DE}$	d-Komponente der Gegeninduktivität Dämpfer–Polrad
$M_F$	Fortschaltmoment
$M_H$	Haltemoment
$M_{iN}$	Nenn-Luftspaltmoment
$M_K$	Kippmoment
$M_K$	Kupplungsmoment
$M_M$	Motormoment, Summe der Antriebsmomente
$M_{MB}$	Beschleunigungsanteil des Motormoments
$M_{Mi}$	inneres Luftspaltmoment
$\overline{M}_{Mi}$	inneres Luftspaltmoment (Mittelwert)
$M_{MN}$	Motornennmoment
$M_{MR}$	Motor-Reibmoment
$M_{max}$	maximales Drehmoment
$M_N$	Nennmoment
$M_R$	auf den Rotor wirkendes Drehmoment
$M_S$	auf den Stator wirkendes Drehmoment
$M_{SH}$	Selbthaltemoment
$M_W$	Widerstandsmoment, Summe der Lastmomente
$m$	Drehmoment (normiert)
$m$	Spannungsübersetzungsverhältnis (DC-DC-Wandler)
$m, m_S$	Anzahl der Statorstränge
$m_\theta$	träge Masse
$m_B$	Beschleunigungsmoment (normiert)
$m_{dE}$	d-Komponente der Gegeninduktivität Stator–Polrad (normiert)
$m_{Ed}$	d-Komponente der Gegeninduktivität Polrad–Stator (normiert)
$m_M$	Magnetmasse
$m_M$	Motormoment (normiert)
$m_{Mi}$	inneres Luftspaltmoment (normiert)
$m_{max}$	maximales Drehmoment (normiert)

$m_{min}$	minimales Drehmoment (normiert)
$m_W$	Widerstandsmoment (normiert)
$N$	Drehzahl
$N^*$	Drehzahlsollwert
$N_0$	Leerlaufdrehzahl
$N_{0N}$	Nennleerlaufdrehzahl
$N_A$	Arbeitsmaschinendrehzahl
$N_G$	Grenzdrehzahl
$N_M$	Motordrehzahl
$N_N$	Nenn-drehzahl
$N_{syn}$	synchrone Drehzahl
$n$	Drehzahl (normiert)
$n^*$	Drehzahlsollwert (normiert)
$n_0$	Drehzahl im Arbeitspunkt (normiert)
$n_B$	Betriebsdrehzahl (normiert)
$n_T$	Verhältnis Taktfrequenz/Grundfrequenz (PWM)
$P$	Leistung
$P_{0N}$	elektr. Nennleistung
$P_1$	(aufgenommene) Stator-Wirkleistung
$P_2$	Rotor-Wirkleistung
$P_{2r}$	ins Netz zurückgespeiste Rotorleistung (USK)
$P_\delta$	Luftspaltleistung
$P_{auf}$	aufgenommene elektr. Wirkleistung
$P_{mech}$	mechan. Leistung
$P_N$	Nennleistung
$P_N$	netzseitige Wirkleistung
$P_{N(1)}$	netzseitige Grundswingungs-Wirkleistung
$P_Q$	Leistung der Quelle
$P_V$	Leistung der Last
$P_V$	Verlustleistung
$P_{V2}$	Rotor-Verlustleistung
$P_{Vel}$	elektr. Verlustleistung
$P_{VN}$	Nennverlustleistung
$p$	Leistung (normiert)
$p$	Pulszahl (Stromrichter)
$Q$	Blindleistung
$Q_{N(1)}$	netzseitige Grundswingungs-Blindleistung
$R$	Radius
$R$	Widerstand
$R_1$	Statorwiderstand
$R_2$	Rotorwiderstand

$R_2'$	Rotorwiderstand, auf die Statorseite umgerechnet
$R_{2V}$	Rotorvorwiderstand
$R_3$	Dämpferwicklungswiderstand
$R_\vartheta$	Wärmewiderstand
$R_A$	Ankerwiderstand (GM)
$R_{AN}$	Ankerwiderstands-Bezugswert (GM)
$R_D$	Wirbelstromwiderstand (GM)
$R_D, R_Q$	d,q-Komponenten des Dämpferwicklungs-Widerstands
$R_E$	Erregerkreiswiderstand
$R_{EN}$	Erregerkreis-Nennwiderstand
$R_i$	Innenwiderstand
$R_L$	Widerstand der Drosselspule
$R_N$	Stator-Nennwiderstand (Bezugswert)
$R_p$	Parallelwiderstand
$R_V$	Lastwiderstand
$R_V$	Vorwiderstand
$r$	Radius (normiert)
$r$	Widerstand (normiert)
$r_1$	Statorwiderstand (normiert)
$r_A$	Ankerwiderstand (normiert)
$r_E$	Erregerwiderstand (normiert)
$r_p$	Parallelwiderstand (normiert)
$r_Q$	Innenwiderstand der Quelle (normiert)
$r_V$	Vorwiderstand (normiert)
$S$	Weg
$S$	Scheinleistung
$S_N, S_{Netz}$	Netzscheinleistung
$S_{N(1)}$	netzseitige Grundsicherungs-Scheinleistung
$s$	Schlupf
$s_K$	Kippschlupf
$s_N$	Nennschlupf
$T$	Zeitkonstante, Periodendauer
$T_{0,05}$	technische Beruhigungszeit
$T_{1K}$	Statorzeitkonstante
$T_2$	Rotorzeitkonstante
$T_{2K}$	Rotorzeitkonstante
$T_\alpha$	Winkelzeitkonstante
$T_{\theta N}$	Trägheitsnennzeitkonstante
$T_{\theta st}$	Stillstandskonstante
$T_\vartheta$	Wärmezeitkonstante
$T_A$	Ankerzeitkonstante (GNM)
$T_A$	Abtastperiode

$T_B$	Beschleunigungszeit
$T_b$	Betriebszeitkonstante, Erwärmungszeitkonstante
$T_D, T_Q$	Zeitkonstanten der d,q-Komponenten der Dämpferwicklung
$T_D$	Dämpfungszeitkonstante (Schrittmotor)
$T_D$	Zeitkonstante der Wirbelstromdämpfung (GNM)
$T_{DN}$	Nennzeitkonstante der Wirbelstromdämpfung
$T_d'$	transiente Zeitkonstante des Längsfeldes (SM)
$T_d''$	subtransiente Zeitkonstante des Längsfeldes (SM)
$T_E$	statistischer Mittelwert von $T_w$ (Stromrichter-Stellglied)
$T_E$	Erregerzeitkonstante
$T_{EN}$	Erregernennzeitkonstante
$T_{Ed}$	differentielle Erregerzeitkonstante
$T_e$	Periodendauer der gedämpften Schwingung
$T_{ers\ i}$	Ersatzzeitkonstante des Stromregelkreises
$T_I$	Integrations-Zeitkonstante
$T_k$	Kommutierungsdauer (I-Umrichter)
$\mathbf{T}_M$	Maxwellscher Spannungstensor
$T_N$	Periodendauer bei Nennfrequenz
$T_N, T_{Netz}$	Netzperiodendauer
$T_n$	Nachstellzeit (Regler)
$T_P$	Positionierzeit (Schrittmotor)
$T_p$	Pausenzeitkonstante, Abkühlungszeitkonstante
$T_q''$	subtransiente Zeitkonstante des Querfeldes (SM)
$T_S$	Streckenzeitkonstante
$T_{SH}$	Periode des Selbsthaltemoments
$T_{schw}$	Umschwingzeitkonstante
$T_t$	Totzeit, Stromrichter-Totzeit
$T_V$	Lastzeitkonstante
$T_w$	Wicklungszeitkonstante
$T_w$	Wartezeit (Stromrichter-Stellglied)
$t$	Zeit
$t_a$	Ausschaltzeit (Gleichstromsteller)
$t_a$	Anlaufzeit
$t_{an}$	Anregelzeit
$t_{Br}$	Bremszeit
$t_b$	Betriebszeit
$t_c$	Schonzeit (Thyristor)
$t_e$	Einschaltzeit (Gleichstromsteller)
$t_l$	Leerlaufzeit
$t_p$	Pausenzeit
$t_q$	Freiwerdezeit (Thyristor)
$t_s$	Spieldauer
$t_{\ddot{u}}$	Überlastungszeit
$t_{um}$	Umladezeit



$U$	Spannung
$U_1$	Statorspannung
$\vec{U}_1$	Statorspannungs-Raumzeiger
$U_1^*$	Statorspannungs-Sollwert
$U_{1\alpha}, U_{1\beta}$	Statorspannungs-Komponenten im Koordinatensystem S
$U_{1A}, U_{1B}$	Statorspannungs-Komponenten im Koordinatensystem K
$U_{1a}, U_{1b}, U_{1c}$	Stator-Phasenspannungen (Dreiphasensystem)
$U_{1a}^*, U_{1b}^*, U_{1c}^*$	Statorspannungs-Sollwerte (Dreiphasensystem)
$U_{1a(1)}$	Grundschiwingung der Statorspannung $U_{1a}$
$U_{1ab}, U_{1bc}, U_{1ca}$	verkettete Statorspannungen (Dreiphasensystem)
$\hat{U}_{1ab}$	Scheitelwert der verketteten Statorspannung $U_{1ab}$
$U_{1ab(1)}$	Grundschiwingung der verketteten Spannung $U_{1ab}$
$U_2$	Rotorspannung
$\vec{U}_2$	Rotorspannungs-Raumzeiger
$U_2'$	Rotorspannung, auf die Statorseite umgerechnet
$U_{20}$	Rotor-Stillstandsspannung
$U_{2A}, U_{2B}$	Rotorspannungs-Komponenten im Koordinatensystem K
$U_{2a}, U_{2b}, U_{2c}$	Rotor-Phasenspannungen (Dreiphasensystem)
$U_{\Delta}$	Dreiecksspannung
$U_{\square a, b, c}^*$	rechteckförmige Referenzspannungen (PWM)
$U_A$	Ankerspannung (GNM)
$\bar{U}_A$	Ankerspannungs-Mittelwert
$U_{AK}$	Anoden-Kathoden-Spannung
$U_{AN}$	Ankernennspannung (GNM)
$U_{a, b, c}$	Phasenspannungen des Dreiphasensystems
$U_{a0}, U_{b0}, U_{c0}$	Ausgangsspannungen des U-Umrichters (Dreiphasensystem)
$U_{a0(1)}$	Grundschiwingung der Spannung $U_{a0}$
$U_{b0(1)}$	Grundschiwingung der Spannung $U_{b0}$
$U_C$	Kondensatorspannung
$U_{CE}$	Kollektor-Emitter-Spannung
$U_D$	Diodenspannung
$U_d, U_q$	Statorspannungs-Komponenten im d,q-System (SM)
$U_d$	Gleichspannung
$U_{di0}$	maximaler ideeller Gleichspannungsmittelwert
$U_{di\alpha}$	ideeller Gleichspannungsmittelwert
$U_E$	Erregerspannung
$U_{EN}$	Erregernennspannung
$U_G$	rotatorische Spannung
$U_{GK}$	rotatorische Spannung beim Abschalten
$U_h$	Hauptfeldspannung
$\vec{U}_h$	Raumzeiger der Hauptfeldspannung
$U_{h1}$	Stator-Hauptfeldspannung
$U_L$	Spannung an der Induktivität
$U_{LD}$	Spannung an der Zwischenkreis-Drosselspule

$U_{M0}$	Spannung zwischen Last-Mittelpunkt M und Nullpunkt 0
$U_N$	Stator-Nennspannung (Bezugswert)
$U_N, U_{Netz}$	Netzspannung
$U_p$	Polradspannung
$\vec{U}_p$	Raumzeiger der Polradspannung
$U_Q$	Quellenspannung
$U_R$	Spannung am Widerstand
$U_{St}$	Steuerspannung
$U_T$	Thyristorspannung
$\hat{U}_T$	maximale Thyristorspannung
$U_V$	Ventilspannung
$U_V$	Lastspannung, Verbraucherspannung
$\bar{U}_V$	Lastspannung, Verbraucherspannung (Mittelwert)
$U_v$	verkettete Spannung
$U_z$	Zwischenkreisspannung
$U_{zG}$	Gleichrichter-Ausgangsspannung (Zwischenkreisspannung)
$U_{zW}$	Wechselrichter-Eingangsspannung (Zwischenkreisspannung)
$u$	Spannung (normiert)
$u_A$	Ankerspannung (normiert)
$\bar{u}_A$	Ankerspannungs-Mittelwert (normiert)
$u_d, u_q$	Statorspannungs-Komponenten im d,q-System (normiert)
$u_E$	Erregerspannung (normiert)
$u_{k\%}$	relative Kurzschlußspannung
$u_{St}$	Steuerspannung (normiert)
$\ddot{u}$	Übersetzungsverhältnis Rotor-/Stator-Seite
$\dot{u}$	Getriebeübersetzung
$\ddot{u}$	Überlappungswinkel (Kommutierung)
$V$	Geschwindigkeit
$\mathbf{V}$	Verschaltungsmatrix
$V_R$	Reglerverstärkung
$V_{Str}$	Stromrichter-Verstärkung
$v$	Geschwindigkeit (normiert)
$v$	Verlustaufteilung bei Nennbetrieb
$v_i$	Vorfaktor für stromabhängige Verluste
$v_k$	Vorfaktor für Leerlaufverluste
$W$	Arbeit, Energie
$W_{0N}$	bei $\Omega_{0N}$ gespeicherte Energie
$W_d, W_q$	d,q-Komponenten der Energie
$W_{mag}$	magnetische Energie
$W_{mag}^*, W^*$	magnetische Koenergie
$W_{schein}$	Scheinenergie
$W_V$	Verlustenergie

$W_{\text{wirk}}$	Wirkenergie
$w$	normierter Sollwert (Regelkreis)
$w, w_a$	Windungszahl (Wicklung)
$w_V$	Verlustenergie (normiert)
$X$	Reaktanz
$X_1$	Statorreaktanz
$X_2$	Rotorreaktanz
$X_2'$	Rotorreaktanz, auf die Statorseite umgerechnet
$X_{\sigma 1}$	Statorstreureaktanz
$X_d, X_q$	d,q-Komponenten der Statorreaktanz
$X_h$	Hauptreaktanz
$X_{h1}$	Stator-Hauptreaktanz
$\boldsymbol{x}$	Rotorauslenkung
$x$	normierter Istwert (Regelkreis)
$x_d$	normierte Regelabweichung
$x_d, x_q$	d,q-Komponenten der Statorreaktanz (normiert)
$x_d'$	transiente Längsreaktanz (normiert)
$x_d''$	subtransiente Längsreaktanz (normiert)
$x_q''$	subtransiente Querreaktanz (normiert)
$Z$	Impedanz
$Z_p$	Polpaarzahl
$Z_R$	Anzahl der Rotorzähne
$Z_S$	Anzahl der Statorzähne
$z$	normierte Störgröße (Regelkreis)
$z$	Anzahl der Vorwiderstände (Stufenzahl)
$z$	Schrittzahl (Schrittmotor)

# Literaturverzeichnis

## Kompendium

- [1] Angermann, A.  
*Entkopplung von Mehrgrössensystemen durch Vorsteuerung am Beispiel von kontinuierlichen Fertigungsanlagen*  
Dissertation TU München, 2004
- [2] Angerer, B.  
*Entwicklung von Identifikationsmethoden und Messverfahren zur Anwendung an nichtlinearen biomechanischer Systeme*  
Dissertation TU München, 2005
- [3] Bernhardt, M.  
*Advances in System Identification, Neuromuscular Modeling and Repetitive Peripheral Magnet Stimulation*  
Dissertation TU München, 2009
- [4] Beuschel, M.  
*Neuronale Netze zur Diagnose und Tilgung von Drehmomentschwingungen von Verbrennungsmotoren*  
Dissertation TU München, 2000
- [5] Endisch, Ch.  
*Optimierungsstrategien für die Identifikation mechatronischer Systeme*  
Dissertation TU München, 2009
- [6] Feiler, M.  
*Adaptive Control in the Presence of Disturbances*  
Dissertation TU München, 2004
- [7] Fischle, K.  
*Ein Beitrag zur stabilen adaptiven Regelung nichtlinearer Systeme*  
Dissertation TU München, 1997
- [8] Froschhammer, F.  
*Identifikation von Sensorungenauigkeiten und Kompensation für die drehzahlgestützte On Bord Diagnose von Verbrennungsmotoren*  
Dissertation TU München, 2001
- [9] Kurze, M.  
*Modellbasierte Regelung von Robotern mit elastischen Gelenken ohne abtriebsseitige Sensorik*  
Dissertation TU München, 2008

- [10] Lenz, U.  
*Lernfähige Neuronale Beobachter für eine Klasse nichtlinearer Systeme und ihre Anwendung zur intelligenten Regelung von Verbrennungsmotoren*  
Dissertation TU München, 1997
- [11] Rau, M.  
*Nichtlineare modellbasierte prädiktive Regelung auf Basis lernfähiger Zustandsraummodellen*  
Dissertation TU München, 2003
- [12] Straub, S.  
*Entwurf und Validierung neuronaler Beobachter zur Regelung nichtlinearer Systeme im Umfeld unterschiedlicher Problemstellungen*  
Dissertation TU München, 1998
- [13] Strobl, D.  
*Identifikation nichtlinearer mechatronischer Strecken mittels neuronaler Netze*  
Dissertation TU München, 1998
- [14] Tümmel, M.  
*Modellbasierte Regelung von Robotern mit elastischen Gelenken*  
Dissertation TU München, 2006
- [15] Litz, I.  
*Reduktion der Ordnung linearer Zustandsmodelle mittels modaler Verfahren*  
Dissertation Universität Karlsruhe, 1979
- [16] Roppenecker, G.  
*Zustandsregelung linearer Systeme - eine Neubetrachtung*  
at - Automatisierungstechnik, 57 ( 2009 ) 10 Seite 491 - 498
- [17] Hoffmann, N.; Fuchs, W.  
*Stromregelverfahren für Drehfeldmaschinen.*  
Kapitel 15, Elektrische Antriebe: Regelung von Antriebssystemen, D. Schröder, 4. Auflage, 2013
- [18] Ruckert, U.  
*Prädiktive Methoden zur Kompensation von Blindleistung bei unruhigen elektrischen Verbrauchern.*  
Dissertation, TU München, 1985
- [19] Hörger, W.  
*Flickeroptimale Signalverarbeitung zur Kompensation und Symmetrierung unruhiger Verbraucher mit dreiphasigen Wechselstromstellern.*  
Dissertation, TU München, 1993
- [20] Schröder, D.  
*Untersuchung der dynamischen Eigenschaften von Stromrichterstellgliedern mit natürlicher Kommutierung.*  
Dissertation, TH Darmstadt, 1969
- [21] Kennel, R.  
*Prädiktives Führungsverfahren für Stromrichter.*  
Dissertation, Univ. Kaiserslautern, 1984
- [22] Hintze, D.  
*Asynchroner Vierquadranten-Drehstromantrieb mit Stromzwischenkreisrichter und überschwingungsarmen Maschinengrößen.*  
Dissertation, TU München, 1993

- [23] Kohlmeier, H.  
*Regelung der Asynchronmaschine durch Einsatz netz- und maschinenseitiger Pulsstromrichter mit optimierten asynchronen Pulsmuster.*  
Dissertation, TU München, 1988
- [24] Niermeyer, O.  
*Netzfrequenzlicher, drehzahlvariabler 4-Quadranten-Asynchronmaschinenantrieb mit prädiktiven Stromregelungen*  
Dissertation, TU München, 1991
- [25] Filipovic, D.  
*Resonating and Bandpass Vibration Absorbers with Local Dynamic Feedback.*  
Dissertation, TU München, 1998
- [26] Schäffner, C.  
*Analyse und Synthese neuronaler Regelungsverfahren*  
Dissertation, TU München, 1996.
- [27] Schlögl, A. E.  
*Theorie und Validierung der Modellbildung bipolarer Leistungshalbleiter im Temperaturbereich von 100 K bis 400 K.*  
Dissertation, TU München, 1999
- [28] Metzner, D.  
*Netzwerkmodelle abschaltbarer Leistungshalbleiter-Bauelemente.*  
Dissertation, TU München, 1994
- [29] Kuhn, H.  
*Modellierung von lateralen Effekten am Beispiel der SPEED-Struktur.*  
Dissertation, TU München, 1996
- [30] Xu, Ch.  
*Netzwerkmodelle von Leistungshalbleiter-Bauelementen (Diode, BJT und MOSFET).*  
Dissertation, TU München, 1990
- [31] Vogler, T.  
*Physikalische Netzwerkmodelle von Leistungshalbleitern unter Berücksichtigung von Modularität und Temperatur.*  
Dissertation, TU München, 1996
- [32] Hörger, W.  
*Ein Beitrag zur Systemdynamik von Wickelantrieben unter Berücksichtigung elastischer Kopplungen*  
Dissertation, TU München, 1986
- [33] Frenz, T.  
*Stabile Neuronale Online Identifikation und Kompensation statischer Nichtlinearitäten am Beispiel von Werkzeugmaschinenanschubantrieben*  
Dissertation, TU München, 1997
- [34] Schröder, D.  
*Selbstgeführter Stromrichter mit Phasenfolgelöschung und eingepprägtem Strom.*  
ETZ-A Bd. 96 (1975), H. 11, S. 520-523
- [35] Hofmann, S.  
*Identifikation von nichtlinearen mechatronischen Systemen auf der Basis von Volterra-Reihen*  
Dissertation, TU München, 2003

- [36] Grützmacher, B.  
*Untersuchungen über die dynamischen Eigenschaften von statischen Kompensationsanlagen*  
Dissertation, TU München, 1883
- [37] Miksch, W.  
*Ein Konzept zur optimalen Steuerung und Regelung von mobilen Manipulatoren*  
Dissertation, TU München, 1996
- [38] Treutterer, W.  
*Positions- und Bahnregelung mobiler Roboter*  
Dissertation, TU München, 1994
- [39] Franck, F.  
*Gleichspannungswandler mit resonanten Zellen*  
Dissertation, TU München, 1995
- [40] Kirchenberger, U.  
*Analyse und Vergleich resonanter Brückentopologien zur Gleichspannungswandlung*  
Dissertation, TU München, 1994
- [41] Patri, T.  
*Regelung von kontinuierlichen Fertigungsanlagen*  
Dissertation, TU München, 2003
- [42] Mayer, T.  
*Modellierung und Regelung des Autarken Hybridfahrzeugs*  
Dissertation, TU München, 1998
- [43] Kleimaier, A.  
*Optimale Betriebsführung von Hybridfahrzeugen*  
Dissertation, TU München, 2003

## Antriebstechnik und benachbarte Gebiete (Bücher)

- [44] Alesina, A.; Venturini, M.  
*Solid State Power Conversion: A Fourier Analysis Approach to Generalized Transformer Synthesis.*  
IEEE Trans. on Circuit Systems CAS-28 (1981), Nr. 4, S. 319–330
- [45] Alesina, A.; Venturini, M.  
*Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters.*  
IEEE Trans. on Power Electronics PE-4 (1989), Nr. 1, S. 101–112
- [46] Angermann, A.; Beuschel, M.; Rau, M.; Wohlfarth U.  
*MATLAB - SIMULINK - STATEFLOW*  
*Grundlagen, Toolboxes, Beispiele.*  
4., überarbeitete Auflage,  
Oldenbourg Verlag, München 2005  
Reihe: Oldenbourg Lehrbücher für Ingenieure

- [47] Bödefeld, T.; Sequenz, H.  
*Elektrische Maschinen.*  
Springer-Verlag, 8. Auflage Wien New York 1971
- [48] Böhm, W.  
*Elektrische Antriebe*  
*Kamprath-Reihe kurz und bündig: Technik.*  
Vogel-Verlag, Würzburg 1979
- [49] Boldea, I.; Nasar, S. A.  
*Electric Machine Dynamics.*  
Macmillan, New York 1986
- [50] Boldea, I.; Nasar, S. A.  
*Vector Control of AC Drives.*  
CRC Press, 1992
- [51] Bonfert, K.  
*Betriebsverhalten der Synchronmaschine.*  
Springer-Verlag, Berlin 1962
- [52] Bonfiglioli Riduttori S.p.A. (Hrsg.)  
*Handbuch der Getriebemotoren.*  
Springer-Verlag, Berlin 1997
- [53] Bühler, H.  
*Einführung in die Theorie geregelter Drehstromantriebe.*  
Birkhäuser Verlag, Basel, Stuttgart 1977
- [54] Döring, E.  
*Werkstoffkunde der Elektrotechnik.*  
Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft (Verlagsgruppe Bertelsmann),  
2. Auflage Braunschweig 1988
- [55] Filipović, Z.  
*Elektrische Bahnen.*  
Springer-Verlag, Berlin 1992
- [56] Fischer, R.  
*Elektrische Maschinen.*  
Carl Hanser Verlag, München, 8. Aufl., 1992
- [57] Föllinger, O.  
*Lineare Abtastsysteme.*  
Oldenbourg Verlag, München, Wien 1982
- [58] Frohne, H.  
*Elektrische und magnetische Felder.*  
Teubner, Stuttgart 1994
- [59] Gerlach, W.  
*Thyristoren.*  
Springer-Verlag, Berlin 1979
- [60] Giersch, H.; Harthus, H.; Vogelsang, N.  
*Elektrische Maschinen.*  
Teubner, Stuttgart 1991
- [61] Gyugyi, L.; Pelly, B. R.  
*Static Power Frequency Changer.*  
John Wiley, New York 1976



- [62] Heumann, K.  
*Grundlagen der Leistungselektronik.*  
Teubner, Stuttgart, 6. Aufl. 1996
- [63] Heumann, K.; Stumpe, C.  
*Thyristoren, Eigenschaften und Anwendungen.*  
Teubner, Stuttgart 1974
- [64] Hoffmann, A.; Stocker, K.  
*Thyristor-Handbuch.*  
Siemens AG, Berlin/München 1976
- [65] Lipo, T. A.; Holmes, D. G.  
*Pulse Width Modulation for Power Converters - Principles and Practice.*  
IEEE Series on Power Engineering, IEEE-Press/Wiley-Interscience,  
Wiley and Sons Inc. Publication, 2003
- [66] Jenni, F.; Wüest, D.  
*Steuerverfahren für selbstgeführte Stromrichter.*  
vdf Hochschulverlag, Zürich, und B.G. Teubner, Stuttgart 1995
- [67] Kleinrath, H.  
*Grundlagen elektrischer Maschinen.*  
Akad. Verlagsgesellschaft, Wiesbaden 1975
- [68] Kleinrath, H.  
*Stromrichtergespeiste Drehfeldmaschinen.*  
Springer-Verlag, Wien, New York 1980
- [69] Kovács, K. P.; Rácz, I.  
*Transiente Vorgänge in Wechselstrommaschinen, Bd.1 und 2.*  
Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest 1959
- [70] Küpfmüller, K.; Mathis, W.; Reibig, A.  
*Theoretische Elektrotechnik.*  
Springer-Verlag, 17. Auflage Berlin 2006
- [71] Laible, T.  
*Die Theorie der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb.*  
Springer-Verlag, Berlin 1952
- [72] Leonhard, W.  
*Control of Electrical Drives.*  
Springer-Verlag, Berlin 1985
- [73] McMurray, W.  
*The Theory and Design of Cycloconverters.*  
The M.I.T. Press, 1972
- [74] Meyer, M.  
*Elektrische Antriebstechnik, Band 1: Asynchronmaschinen im Netzbetrieb und drehzahlgeregelte Schleifringläufermaschinen.*  
Springer-Verlag, Berlin 1985
- [75] Meyer, M.  
*Elektrische Antriebstechnik, Band 2: Stromrichtergespeiste Gleichstromantriebe und voll unrichtergespeiste Drehstrommaschinen.*  
Springer-Verlag, Berlin 1987

- [76] Meyer, M.  
*Leistungselektronik.*  
Springer-Verlag, Berlin 1990
- [77] Milde, F.  
*Dynamisches Verhalten von Drehfeldmaschinen.*  
VDE-Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 1993
- [78] Müller, G.  
*Elektrische Maschinen.*  
VEB-Verlag Technik, Berlin 1982
- [79] Müller, G.  
*Grundlagen elektrischer Maschinen.*  
VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1994
- [80] Müller, R.  
*Halbleiter-Elektronik, Bd.1: Grundlagen der Halbleiter-Elektronik.*  
Springer-Verlag, Berlin 1984
- [81] Müller, R.  
*Halbleiter-Elektronik, Bd. 2: Bauelemente der Halbleiter-Elektronik.*  
Springer-Verlag, Berlin 1979
- [82] Pelly, B. R.  
*Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters.*  
John Wiley, New York 1971  
(Grundlegendes Buch über Direktumrichter, das nahezu alle Schaltungsvarianten des Direktumrichters abhandelt.)
- [83] Pfaff, G.; Meier, C.  
*Regelung elektrischer Antriebe I.*  
Oldenbourg Verlag, München/Wien 1971
- [84] Pfaff, G.; Meier, C.  
*Regelung elektrischer Antriebe II.*  
Oldenbourg Verlag, München/Wien 1982
- [85] Richter, R.  
*Elektrische Maschinen. 2. Band: Synchronmaschinen und Einankerumformer.*  
Birkhäuser, Basel, Stuttgart, 2. Aufl. 1953
- [86] Römer, H.; Forger, M.  
*Elementare Feldtheorie: Elektrodynamik, Hydrodynamik, spezielle Relativitätstheorie.*  
VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1993
- [87] Schaumburg, H.  
*Werkstoffe.*  
Teubner, Stuttgart 1990
- [88] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe 1: Grundlagen.*  
Springer-Verlag, Berlin 1994
- [89] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe: Grundlagen.*  
Springer-Verlag, Berlin 2000, 2.Auflage

- [90] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe: Grundlagen.*  
Springer-Verlag, Berlin 2007, 3.Auflage
- [91] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe: Grundlagen.*  
Springer-Verlag, Berlin 2009, 4.Auflage
- [92] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe 2: Regelung von Antrieben.*  
Springer-Verlag, Berlin 1995
- [93] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe: Regelung von Antriebssystemen.*  
Springer-Verlag, 2. Auflage Berlin 2001
- [94] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe: Regelung von Antriebssystemen.*  
Springer-Verlag, 3. Auflage Berlin 2007
- [95] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe: Regelung von Antriebssystemen.*  
Springer-Verlag, 4. Auflage Berlin 2013
- [96] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe 3: Leistungselektronische Bauelemente.*  
Springer-Verlag, Berlin 1996
- [97] Schröder, D.  
*Leistungselektronische Bauelemente.*  
Springer-Verlag, 2. Auflage Berlin 2006
- [98] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe 4: Leistungselektronische Schaltungen.*  
Springer-Verlag, Berlin 1998
- [99] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe 4: Leistungselektronische Schaltungen.*  
Springer-Verlag, 2. Auflage Berlin 2007
- [100] Schröder, D.  
*Elektrische Antriebe 4: Leistungselektronische Schaltungen.*  
Springer-Verlag, 3. Auflage Berlin 2012
- [101] Schröder, D.  
*Intelligente Verfahren Identifikation und Regelung nichtlinearer Systeme*  
Springer-Verlag, 1. Auflage Berlin 2010
- [102] Schröder, D. (Ed.)  
*Intelligent Observer and Control Design for Nonlinear Systems.*  
Springer-Verlag, Berlin 1999
- [103] Sequenz, H.  
*Die Wicklungen elektrischer Maschinen, Band 1.*  
Springer Verlag, Berlin 1950
- [104] Späth, H.  
*Steuerverfahren für Drehstrommaschinen – Theoretische Grundlagen.*  
Springer-Verlag, Berlin 1983

- [105] Späth, H.  
*Elektrische Maschinen und Stromrichter – Grundlagen und Einführung.*  
G. Braun, Karlsruhe 1984
- [106] Tipler, P. A.  
*Physik.*  
Spektrum Akademischer Verlag GmbH, korrigierter Nachdruck 1995 der  
1. Auflage Heidelberg 1994
- [107] Vas, P.  
*Vector Control of AC Machines.*  
Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford 1990
- [108] Vas, P.  
*Electrical Machines and Drives.*  
Oxford University Press, 1996
- [109] Vas, P.  
*Sensorless Vector and Direct Torque Control.*  
Oxford University Press, 1998

## Elektrische Antriebe allgemein

- [110] Markeffsky, G.  
*Die Ermittlung der Anlaufzeit für den elektromotorischen Antrieb.*  
Zeitschrift für Maschinenbau und Fertigung (1964), H. 7, S. 503–506  
(Grundlegende Darstellung von elektromechanischen Anordnungen.)
- [111] Berger, T.  
*Analyse des Spielverlaufs als Grundlage für die Motordimensionierung.*  
Elektrie 28 (1974), H. 9, S. 481–484
- [112] Bolte, E.; Schwieger, F.  
*Fundamental Motor Types Evolving from Two Coils.*  
ICEM 2008, 6-9 September 2008, Vilamoura, Portugal
- [113] Binder A.  
*Elektrische Maschinen und Antriebe - Grundlagen, Betriebsverhalten*  
Springer, Heidelberg 2012
- [114] Binder A.  
*Elektrische Maschinen und Antriebe - Übungsbuch, Aufgaben mit Lösungsweg*  
Springer, Heidelberg 2012
- [115] Müller G., Vogt K., Ponick B.  
*Berechnung elektrischer Maschinen*  
Wiley-VHC Verlag, Weinheim, 2007

## Leistungshalbleiter

- [116] Bayerer, R.; Teigelkötter, J.  
*IGBT-Halbbrücken mit ultraschnellen Dioden.*  
ETZ 108 (1987), Nr.19, S. 922–925
- [117] Bechteler, M.  
*The Gate-Turnoff Thyristor (GTO).*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 14 (1985), H. 2, S. 39–44
- [118] Boehringer, A.; Knöll, H.  
*Transistorschalter im Bereich hoher Leistungen und Frequenzen.*  
ETZ 100 (1979), H. 13, S. 664–670
- [119] Bösterling, W.; Fröhlich, M.  
*Frequenzthyristoren im Schwingkreisbetrieb.*  
ETZ 101 (1980), H. 9, S. 537–538
- [120] Bösterling, W.; Fröhlich, M.  
*Thyristorarten ASCR, RLT und GTO – Technik und Grenzen ihrer Anwendung.*  
ETZ 104 (1983), H. 24, S. 1246–1251
- [121] Bösterling, W.; Ludwig, H.; Scharn, M.; Schimmer, R.  
*Praxis mit dem GTO-Abschaltthyristor für selbstgeführte Stromrichter.*  
Elektrotechnik 64 (1982), H. 24, S. 16–21 und 65 (1983), H. 4, S. 14–17
- [122] Brauschke, P.; Sommer, P.  
*Smart SIPMOS; Leistungshalbleiter mit Intelligenz.*  
Siemens Components 25 (1987), H. 5, S. 182–277
- [123] Gerlach, W.; Seid, F.  
*Wirkungsweise der steuerbaren Siliziumzelle.*  
ETZ-A 83 (1962), H. 8, S. 270–277
- [124] Grüning, H.  
*Feldgesteuerte Thyristoren – eine neue Klasse bipolarer Leistungsschalter.*  
4. Int. Makroelektronik-Konf. (1988), S. 23–36
- [125] Grüning, H.  
*Der feldgesteuerte Thyristor (FCTh) – ein Leistungshalbleiter für den Umrichter der Zukunft.*  
Bulletin SEV/VSE 79 (1988), H. 5, S. 242–249
- [126] Hayashi, Y. et al.  
*A Consideration on Turn-Off Failure of GTO with Amplifying Gate.*  
IEEE Trans. on Power Electronics PE-2 (1987), No. 2, S. 90–97
- [127] Hebenstreit, E.  
*Driving the SIPMOS Field-Effect Transistor as a Fast Power Switch.*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 9 (1980), Nr. 4, S. 200–204
- [128] Hebenstreit, E.  
*SIRET – ein superschneller 1000-V-Bipolartransistor.*  
Siemens Components 25 (1987), H. 4, S. 147–150
- [129] Hempel, H.-P.  
*Bemessung und Ansteuerung von GTO-Thyristoren.*  
Elektronik (1987), H. 9, S. 113–117

- [130] Heumann, K.  
*Untersuchung und Erfahrung mit abschaltbaren Leistungshalbleitern.*  
ETG-Fachberichte 23 (1988), S. 187–212
- [131] Heumann, K.  
*Untersuchung und Erfahrung mit abschaltbaren Leistungshalbleitern.*  
Archiv f. Elektrotechnik 72 (1989), S. 95–111
- [132] Heumann, K.  
*Power Electronics – State of the Art.*  
IPEC '90, Tokyo/Japan Conf. Rec., Vol. 1, S. 11–20
- [133] Lemme, H.  
*Kraft und Intelligenz vereint: „Smartpower“-Bausteine – Möglichkeiten und Grenzen.*  
Elektronik (1989), H. 11, S. 80–83
- [134] Moll, J. L.; Tanenbaum, M.; Goldez, J. M.; Holonyak, N.  
*P-N-P-N Transistor Switches.*  
Proc. Inst. Radio Eng. 44 (1956), S. 1174–1182
- [135] Muraoka, K. et al.  
*Characteristics of High-Speed SI Thyristor and its Application to the 60-kHz 100-kW High Efficiency Inverter.*  
IEEE Trans. on Power Electronics PE-4 (1989), No. 1, S. 92–100
- [136] Nakamura, Y. et al.  
*Very High Speed Static Induction Thyristor.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-22 (1986), No. 6, S. 1000–1006
- [137] Nishizawa, J. et al.  
*Low-Loss High Speed Switching Devices 2300 V 150 A Static Induction Thyristor.*  
IEEE Trans. on Electronic Devices ED-32 (1985), No. 4, S. 822–830
- [138] Nishizawa, J.; Tamanushi, T.  
*Recent Development and Future Potential of the Power Static Induction (SI) Devices.*  
Proceedings of the Third International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, London 1988, Power Division of the IEE, S. 21–24
- [139] Nishizawa, J. et al.  
*Recent Development of the Static Induction Thyristor.*  
Proceedings of the Third International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, London 1988, Power Division of the IEE, S. 37–40
- [140] Nishizawa, J.; Muroaka, K.; Kawamura, Y.; Tamamushi, T.  
*A Low-Loss High Speed Switching Device: The 2500 V 300 A Static Induction Thyristor.*  
IEEE Trans. on Electronic Devices ED-33 (1986), No. 4, S. 337–342
- [141] Nowas, W. D.; Berg, H.  
*GTO – Stand der Technik und Entwicklungsmöglichkeiten.*  
ETG-Fachberichte 23 (1988), S. 86–109
- [142] Ohno, E.  
*The Semiconductor Evolution in Japan – Four Decade Long Maturity Thriving to an Indispensable Social Standing.*  
IPEC '90, Tokyo/Japan, Conf. Rec. Vol. 1, S. 11–20

- [143] Schlangenotto, H.; Silber, D.: Zeyfang, R.  
*Halbleiter-Leistungselemente: Untersuchungen zur Physik und Technologie.*  
Wiss. Berichte AEG-Telefunken 55 (1982), Nr. 1/2, S. 7–24
- [144] Schröder, D.  
*New Elements in Power Electronics: Transistor, FET, ASCR, GAT(T), GTO.*  
4th Power Electronics Conference, Budapest 1981, S. 53–63
- [145] Schröder, D.  
*Neue Bauelemente der Leistungselektronik.*  
ETZ 102 (1981), H. 17, S. 906–909
- [146] Schröder, D.  
*Bauelemente der Leistungselektronik.*  
Der Elektroniker, H. 9, 1982, S. 40–42
- [147] Stein, E.; Schröder, D.  
*Halbleiterstrukturen und Funktion neuartiger Bauelemente der Leistungselektronik.*  
VDE-Jahrbuch 1983, S. 239–268
- [148] Stumpe, A. C.  
*Kennlinien der steuerbaren Siliziumzelle.*  
ETZ-A 83 (1962), H. 4, S. 81–87
- [149] Temple, V. A. K.  
*Thyristor Devices for Electric Power Systems.*  
IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems PAS-101 (1982), No. 7, S. 2286–2291
- [150] Tihanyi, J.  
*A Qualitative Study of the DC Performance of SIPMOS Transistors.*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 9 (1980), Nr. 4, S. 181–189
- [151] Tihanyi, J.; Huber, P.; Stengl, J. P.  
*Switching Performance of SIPMOS Transistors.*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 9 (1980), Nr. 4, S. 195–199
- [152] Tihanyi, L.  
*MOS-Leistungsschalter.*  
ETG-Fachberichte 23 (1988), S. 71–78
- [153] Vitins, J.; Wetzels, P.  
*Rückwärtsleitende Thyristoren für die Leistungselektronik.*  
BBC-Nachr. 63 (1981), H. 2, S. 74–82
- [154] Vogel, D.  
*IGBT – hochsperrende, schnell schaltende Transistormodule.*  
Elektronik (1987), H. 9, S. 120–124
- [155] Williams, B. W.  
*GTO Thyristor and Bipolar Transistor Cascade Switches.*  
IEE Proceedings Vol. 137 (1990), Pt. B, No. 3, S. 141–153

## Leistungselektronik: Ansteuerung, Beschaltung, Kühlung

- [156] Best, W.  
*Störsichere Synchronisation netzgeführter Stromrichter.*  
BBC Nachr. 62 (1980), H. 4, S. 139–145
- [157] Bösterling, W.; Sommer, K.-H.  
*Bipolar-Transistormodule vorteilhaft ansteuern und schützen.*  
4. Int. Makroelektronik-Konf. (1988), S. 175–186
- [158] Depenbrock, M. (Hrsg.)  
*Dynamische Probleme der Thyristortechnik.*  
Berlin 1971
- [159] Gupta, S. C.; Venkatesan, K.; Eapen, K.  
*A Generalized Firing Angle Controller Using Phase-Locked Loop for Thyristor Control.*  
IEEE Trans. on Ind. Electronics and Control Instrumentation IECI-28 (1981), S. 46–49
- [160] Herrmann, D.  
*Digitale Zündwinkelsteuerung für eine Drehstrombrücke zum Betrieb an Netzen mit starken Frequenz- und Spannungsschwankungen.*  
ETZ-A 94 (1973), Nr. 1, S. 31–34
- [161] Howe, A. F.; Newberz, P. G.  
*Semiconductor Fuses and their Applications.*  
IEE Proceedings Vol. 127 (1980), No. 3, S. 155–168
- [162] Heumann, K.; Marquardt, R.  
*GTO-Thyristoren in selbstgeführten Stromrichtern.*  
ETZ 104 (1983), H. 9, S. 328–332
- [163] Jung, M.  
*Improved Snubber for GTO Inverter with Energy Recovery by Simple Passive Network.*  
Proceedings of the Second European Conf. on Power Electronics and Applications 1987, S. 15–20
- [164] Keuter, W.; Tscharn, M.  
*Optimierte Ansteuerung heutiger Darlington-Leistungstransistoren.*  
ETZ 108 (1987), H. 19, S. 914–921
- [165] Korb, F.  
*Die thermische Auslegung von fremdgekühlten Halbleitern bei netzgeführten Stromrichtern.*  
ETZ-A 92 (1971), H. 2, S. 100–107  
(Ableitung eines theoretischen Berechnungsverfahrens zur Erwärmung von Halbleitern und praktische Überprüfung.)
- [166] Korb, F.  
*Das thermische Verhalten selbstgekühlter Halbleiter bei netzgeführten Stromrichtern.*  
ETZ-A 92 (1971), Nr. 4, S. 228–234



- [167] Marquardt, R.  
*Untersuchung von Stromrichterschaltungen mit GTO-Thyristoren.*  
Dissertation, Universität Hannover, 1982
- [168] Marquardt, R.  
*Stand der Ansteuer-, Beschaltungs- und Schutztechnik beim Einsatz von GTO Thyristoren.*  
ETG-Fachberichte 23 (1988), S. 146–170
- [169] Sievers, R.  
*Hochfrequente Ansteuerschaltung für GTO-Thyristoren.*  
ETZ 108 (1987), Nr. 12, S. 544–548
- [170] Sperner, A.; Majumdar, G.  
*Konzepte zur Ansteuerung und zum Schutz von Kaskaden-BIMOS- und IGBT-Modulen der Klasse 100 A/500 V.*  
4. Int. Makroelektronik-Konf. (1988)
- [171] Stamberger, A.  
*Die Projektierung einer RC-Beschaltung in der Leistungselektronik.*  
Elektroniker CH Nr. 12 (1980)
- [172] Steinke, J. K.  
*Untersuchungen zur Ansteuerung und Entlastung des Abschaltthyristors beim Einsatz bis zu hohen Schaltfrequenzen.*  
Dissertation, Univ. Bochum, 1986
- [173] Steinke, J. K.  
*Experimental Results on the Influence of the Capacity of the Snubber Capacitor on the Shape of the Tail Current of a GTO-Thyristor.*  
Proceedings of the Second European Conf. on Power Electronics and Applications (1987), S. 21–25
- [174] Steyn, C. G.; van Wyk, J. D.  
*Voltage Dependent Turn-Off-Snubbers for Power Electronic Switches.*  
ETZ-A 9 (1987), Nr. 2, S. 39–44
- [175] Thiele, G.  
*Richtlinien für die Bemessung der Trägerspeichereffekt-Beschaltung von Thyristoren.*  
ETZ-A 90 (1969), H. 14, S. 347–352  
(Darstellung verschiedener TSE-Beschaltungen von Halbleitern sowie deren Auslegung.)

## Gleichstromsteller, DC-DC-Wandler

- [176] Abraham, L.  
*Der Gleichstrompulssteller (elektronischer Gleichstromsteller) und seine digitale Steuerung.*  
Dissertation, TU Berlin, 1967

- [177] Kahlen, H.  
*Generatorischer Betrieb der Gleichstrom-Reihenschlußmaschine mit Hilfe eines Gleichstromstellers.*  
ETZ-A 92 (1971), H. 9, S. 534–537
- [178] Kahlen, H.  
*Thyristorschalter zum schnellen Abschalten von Gleichströmen.*  
ETZ-A 94 (1973), H. 9, S. 539–542
- [179] Kahlen, H.  
*Vergleichende Untersuchung an verschiedenen Gleichstromstellerschaltungen für Fahrzeugantriebe.*  
Dissertation, TH Aachen, 1973
- [180] Kahlen, H.  
*Gleichstromsteller für den motorischen und generatorischen Betrieb der Gleichstrom-Reihenschlußmaschine.*  
ETZ-A 95 (1974), H. 9, S. 441–445
- [181] Knapp, P.  
*Der Gleichstromsteller zum Antrieb und Bremsen von Gleichstromfahrzeugen.*  
Brown Boveri Mitt. (1970), Nr. 6/7, S. 252–270  
(Darstellung verschiedener Gleichstromstellerschaltungen, ihrer Funktion beim Anreiben und Bremsen sowie Vergleich von Pulsfrequenz- und Pulsweitensteuerung.)
- [182] Krug, H.  
*Die Entwicklung von Antriebssystemen mit Gleichstrompulsstellern für Traktionszwecke.*  
Elektrie 24 (1970), H. 11, S. 388–391  
(Darstellung verschiedener Gleichstromstellerschaltungen sowie der zeitlichen Verläufe beim Löschvorgang)
- [183] Meyer, M.  
*Über die Kommutierung mit kapazitivem Energiespeicher.*  
ETZ-A 95 (1974), H. 2, S. 79–85
- [184] Lowe, T. J.; Mellit, B.  
*Thyristor Chopper Control and Introduction of Harmonic Current into Track Circuits.*  
IEE Proceedings Vol. 121 (1974), Nr. 4
- [185] Soffke, W.  
*Die Optimierung des Gleichstromstellers in Hinblick auf ein Minimum an Gewicht, Volumen und Kosten.*  
ETZ-A 95 (1974), H. 12, S. 658–662
- [186] Kübler, T.; Steuerwald, G.; Schröder, D.  
*Control of a 4-Quadrant Chopper by a 16-Bit Microcomputer.*  
ETG-Fachbericht, Darmstadt 1982, S. 439–446
- [187] Tröger, R.  
*Technische Grundlagen und Anwendung der Stromrichter.*  
Elektr. Bahnen 8 (1932), H. 2, S. 51–58  
(Erste Beschreibung einer Schaltung zur Zwangskommutierung von einschaltbaren Ventilen.)

- [188] Wagner, R.  
*Elektronische Gleichstromsteller.*  
VDE-Buchr. Bd. 11 (1966), S. 187–199
- [189] Wagner, R.  
*Strom- und Spannungsverhältnisse beim Gleichstromsteller.*  
Siemens-Z. 43 (1969), Nr. 5, S. 458–464

## Netzgeführte Stromrichter: Schaltungstechnik und Auslegung

- [190] Arremann, H.; Möltgen, G.  
*Oberschwingungen im netzseitigem Strom sechspulsiger netzgeführter Stromrichter.*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 7 (1978), Nr. 2, S. 71–76
- [191] Ericsson, H.  
*Stromrichter für Gleichstromantriebe.*  
ASEA-Zeitschrift 26 (1981), H. 5/6, S. 101–105
- [192] Förster, J.  
*An- und Abschnittsteuerung mit Stromrichtern.*  
Elektrische Bahnen 46 Nr. 5 (1975), S. 124–126
- [193] Grötzbach, M.  
*Berechnung der Oberschwingungen im Netzstrom von Drehstrom-Brückenschaltungen bei unvollkommener Glättung des Gleichstromes.*  
ETZ Archiv 7 (1985), H. 2, S. 59–62
- [194] Grötzbach, M.  
*Netzoerschwingungen von stromgeregelten Drehstrombrückenschaltungen.*  
ETZ 108 (1987), H. 19, S. 930–934
- [195] Hengsberger, J.; Wiegand, A.  
*Schutz von Thyristor-Stromrichtern größerer Leistung.*  
ETZ-A 86 (1965), H. 8, S. 263–268
- [196] Hölters, F.  
*Schaltungen von Umkehrstromrichtern.*  
AEG-Mitt. 48 (1958), Nr. 11/12, S. 621–629
- [197] Hölters, F.; Mikulaschek, F.  
*Das Blindleistungsproblem bei Stromrichter-Umkehrantrieben.*  
AEG-Mitt. 48 (1958), Nr. 11/12, S. 649–659
- [198] Holtz, J.  
*Ein neues Zündsteuerungsverfahren für Stromrichter am schwachen Netz.*  
ETZ-A 91 (1970), H. 6, S. 345–348  
(Vergleich von Zündsteuergeräten für Stromrichter-Stellglieder mit Netzsynchro-  
nisation, frequenzverstellbarem Oszillator (phase-locked loop) und phasenverstellbarem  
Oszillator. Das Ziel ist, daß die durch die Netzurückwirkungen verursachten Verzerrun-  
gen der versorgenden Spannung nicht zur Instabilität des Stromregelkreises führen.)

- [199] Krug, H.  
*Zur Optimierung des Drosselaufwandes bei dynamisch hochwertigen netzgeführten Umkehrstromrichtern.*  
 Teil I: *Elektrie* 35 (1981), H. 12, S. 641–646,  
 Teil II: *Elektrie* 36 (1982), H. 1, S. 8–12
- [200] Meyer, M.; Möltgen, G.  
*Kreisströme bei Umkehrstromrichtern.*  
*Siemens-Z.* 37 (1963), Nr. 5, S. 375–379
- [201] Michel, M.  
*Die Strom- und Spannungsverhältnisse bei der Steuerung von Drehstromlasten über antiparallele Ventile.*  
 Dissertation, TU Berlin, 1966
- [202] Schwarz, J.  
*Das System „Netzgelöschter Stromrichter – Glättungsdrossel – Gleichstrommaschine“ im nichtlückenden Betrieb.*  
*Elektrie* 30 (1976), H. 6, S. 325–330  
 (Behandelt die Auslegung der Glättungsdrossel des obigen Systems unter Beachtung der Forderung „nichtlückender Strom“. Außerdem wird die Kommutierungsspannung und die durch die Welligkeit des Stroms bedingte zusätzliche Erwärmung betrachtet.)
- [203] Schwarzenau, R.  
*Kompensation der Blindleistung durch Filterkreise in Netzen mit Stromrichter-Gleichstromantrieben.*  
*ETG-Fachberichte* Bd. 6 (1980), S. 181–197
- [204] Seefried, E.; Wolf, H.  
*Schwingungsprobleme in Thyristorstromrichtern, die im Lückbetrieb arbeiten.*  
*Elektrie* 31 (1977), H. 2, S. 105–108  
 (Im Lückbereich des Stroms können erhöhte Spannungsbeanspruchungen an den Halbleiterventilen auftreten. Diese erhöhten Spannungsbeanspruchungen sind durch die TSE-Beschaltung einerseits und die Induktivitäten andererseits bedingt. Im Beitrag werden Abhilfemaßnahmen, z.B. die Brücken-TSE-Beschaltung, diskutiert.)
- [205] Stamberger, A.  
*Ein Drehstromsteller zum Herabsetzen des Wirk- und Scheinleistungsbedarfs von Asynchronmaschinen bei Teillast.*  
*Elektroniker* 9 (1983), S. 15–19
- [206] Wesselak, F.  
*Thyristorstromrichter mit natürlicher Kommutierung.*  
*Siemens-Z.* 39 (1965), Nr. 3, S. 199–205

## Netzgeführte Stromrichter: Regelung

- [207] Bühler, E.  
*Eine zeitoptimale Thyristor-Stromregelung unter Einsatz eines Mikroprozessors.*  
 Regelungstechnik 26 (1978), H. 2, S. 37–43  
 (Der Beitrag ist anwendungsorientiert, d.h. es werden in leichtverständlichen Schritten der theoretische Hintergrund der Stromregelung (nichtlückend, lückend), die daraus resultierenden Regelalgorithmen und praktisch erreichbare Ergebnisse dargestellt.)
- [208] Buxbaum, A.  
*Regelung von Stromrichterantrieben bei lückendem und nichtlückendem Ankerstrom.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 59 (1969), H. 6, S. 348–352  
 (Grundlegende Darstellung des praktischen Verhaltens von Stromrichterantrieben bei lückendem und nichtlückendem Strom.)
- [209] Buxbaum, A.  
*Das Einschwingverhalten drehzahl geregelter Gleichstromantriebe bei Soll- und Laststößen.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 59 (1969), H. 6, S. 353–358  
 (Prinzipielle regelungstechnische Abhandlung über das dynamische Verhalten eines drehzahl geregelten Antriebs im Anker-Stellbereich.)
- [210] Buxbaum, A.  
*Die Regeldynamik von Stromrichterantrieben kreisstromfreier Gegenparallelschaltung.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 60 (1970), S. 361–365  
 (Praktische Darstellung der Eigenschaften der Regelkreise bei lückendem und nichtlückendem Strom sowie eine Ausführungsform des adaptiven Stromreglers.)
- [211] Buxbaum, A.  
*Aufbau und Funktionsweise des adaptiven Ankerstromreglers.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 61 (1971), H. 7, S. 371–374
- [212] Buxbaum, A.  
*Spezielle Regelungsschaltungen der industriellen Antriebstechnik.*  
 Regelungstechn. Praxis (1974), H. 10, S. 255–262  
 (Leicht verständliche Einführung in die verschiedenen Varianten von Regelungsschaltungen der Antriebstechnik.)
- [213] Dörrscheidt, F.  
*Entwurf auf endliche Einstellzeit bei linearen Systemen mit veränderlichen Parametern.*  
 Regelungstechnik (1976), H. 3, S. 89–96  
 (Bei Abtastregelungen kann das Führungsverhalten so eingestellt werden, daß eine endliche Einstellzeit erreicht wird. Im vorliegenden Beitrag wird der Reglerentwurf einer zeitvarianten Strecke vorgestellt. Siehe auch Föllinger [216].)
- [214] Fallside, F.; Farmer, A. R.  
*Ripple Instability in Closed Loop Control Systems with Thyristor Amplifiers.*  
 IEE Proceedings Vol. 114 (1967), H. 1, S. 218–228  
 (Eine der ersten Untersuchungen über Grenzyklen bei Stromregelungen mit netzgeführten Stromrichter-Stellgliedern.)

- [215] Fieger, K.  
*Zum dynamischen Verhalten thyristorgespeister Gleichstrom-Regelantriebe.*  
 ETZ-A 90 (1969), H. 13, S. 311–316  
 (Im Beitrag wird die Optimierung des Strom- und des Drehzahl-Regelkreises dargestellt, und es werden praktische Ergebnisse gezeigt. Zusätzlich enthält der Beitrag die Steuerungsmaßnahmen bei einer kreisstromfreien Gegenparallelschaltung.)
- [216] Föllinger, D.  
*Entwurf zeitvarianter Systeme durch Polvorgabe.*  
 Regelungstechnik (1978), H. 6, S. 189–196  
 (Im Beitrag wird dargestellt, daß das Verfahren der Polvorgabe bei Zustandsregelungen für zeitinvariante Strecken auch auf zeitvariante Strecken erweitert werden kann.)
- [217] Grütmacher, B.; Schröder, D.; Wörner, R.  
*Die Gleichstrom-Hauptantriebe einer zweigerüstigen Dressierstraße.*  
 BBC-Nachrichten 63 (1981), H. 3, S. 106–115
- [218] Jötten, R.  
*Regelkreise mit Stromrichtern.*  
 AEG-Mitt. 48 (1958), Nr. 11/12, S. 613–621
- [219] Jötten, R.  
*Die Berechnung einfach und mehrfach integrierender Regelkreise der Antriebstechnik.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 59 (1969), S. 331–336  
 (Grundlegende Darstellung der Reglerauslegung bei Strom- und Drehzahl-Regelkreisen.)
- [220] Kennel, R.; Schröder, D.  
*A New Control Strategy for Converters.*  
 CONUMEL 1983, Toulouse, S. I-25–31
- [221] Kennel, R.; Schröder, D.  
*Predictive Control Strategy for Converters.*  
 Control in Power Electronics and Electrical Drives, Lausanne 1983, S. 415–422
- [222] Kennel, R.; Schröder, D.  
*Modell-Führungsverfahren zur optimalen Regelung von Stromrichtern.*  
 Regelungstechnik 32 (1984), H. 11, S. 359–365
- [223] Kennel, R.  
*Prädiktives Führungsverfahren für Stromrichter.*  
 Dissertation, Univ. Kaiserslautern, 1984
- [224] Kessler, C.  
*Über die Vorausberechnung optimal abgestimmter Regelkreise –  
 Teil III: Die optimale Einstellung des Reglers nach dem Betragsoptimum.*  
 Regelungstechnik 3 (1955), H. 2, S. 40–49  
 (Grundlegende Einführung in die Theorie und Praxis des Betragsoptimums.)
- [225] Kessler, C.  
*Das symmetrische Optimum.*  
 Regelungstechnik 6 (1958), H. 11, S. 359–400 und H. 12, S. 432–436

- [226] Kiendl, H.  
*Kompensation von Beschränkungseffekten in Regelsystemen durch antizipierende Korrekturglieder.*  
 Regelungstechnik 21 (1973), H. 8, S. 267–269  
 (Bei Regelvorgängen werden durch schnelle Ausgleichsvorgänge im allgemeinen die Grenzen, z.B. Stellgröße und Stellgeschwindigkeit, angefahren. Die optimale Lösung derartiger Probleme ist durch das Maximumprinzip von Pontrjagin oder aus der dynamischen Programmierung gegeben. Im vorliegenden Fall wird eine suboptimale Lösung angestrebt, d.h. die Stellgrenze zugelassen, aber durch antizipierende Funktionen im Regelkreis die Beschränkung der Stellgeschwindigkeit ausgeglichen.)
- [227] Kümmel, K.  
*Einfluß der Stellgliedeigenschaften auf die Dynamik von Drehzahlregelkreisen mit unterlagerter Stromregelung.*  
 Regelungstechnik 13 (1965), H. 5, S. 227–234  
 (Als Stellglieder einer drehzahl- und stromgeregelten Gleichstrommaschine werden der Leonard-Satz, der Transduktor und das Stromrichter-Stellglied mit natürlicher Kommutierung gegenübergestellt.)
- [228] Leonhard, W.  
*Regelkreise mit symmetrischer Übertragungsfunktion.*  
 Regelungstechnik 13 (1965), H. 1, S. 4–12
- [229] Louis, J.-P.; El-Hefnawy  
*Stability Analysis of a Second-Order Thyristor Device Control System.*  
 IEEE Trans. on Industrial Electronics and Control Instrumentation IECI-25 (1978), H. 3, S. 270–277  
 (Im Beitrag werden über die Beiträge von Fallside [214] und Schröder [239, 240] hinausgehend Grenzyklen auch im lückenden Bereich des Stroms untersucht.)
- [230] Moore, A. W.  
*Phase-Locked Loops for Motor Speed Control.*  
 IEEE Spectrum 1973, S. 61–67  
 („Phase-Locked Loops“ sind beispielsweise außerordentlich wichtig bei der Synchronisation von Steuergeräten für Stromrichter-Stellglieder. In der Veröffentlichung wird diese Technik zur Erreichung von sehr hohen Genauigkeiten (0,002%) bei der Drehzahlregelung benützt.)
- [231] Raatz, E.  
*Betrachtungen zur Dynamik eines drehzahlgeregelten Antriebs mit kreisstromfreier Gegenparallelschaltung.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 60 (1970), H. 6, S. 365–368  
 (Im Beitrag wird der Einfluß der Strom-Nullpause bei kreisstromfreien Umkehr-Stromrichtern diskutiert.)
- [232] Raatz, E.  
*Drehzahlregelung eines stromrichtergespeisten Gleichstrommotors mit schwingungsfähiger Mechanik.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 60 (1970), H. 6, S. 369–372  
 (Darstellung der regelungstechnischen Schwierigkeiten bei nichtidealer mechanischer Ankopplung der Arbeitsmaschine an den elektrischen Antrieb.)

- [233] Riemekasten, K.  
*Bestimmung der dynamischen Eigenschaften des Stromregelkreises von Stromrichtern im Strom-Lückbereich.*  
Elektrie 32 (1978), H. 8, S. 420–422  
(Behandelt die Stromregler-Auslegung bei lückendem Strom.)
- [234] Schröder, A.  
*Eine neue Schaltung zur Kreisstromregelung in Stromrichteranlagen.*  
ETZ-A 90 (1969), H. 14, S. 331–336  
(Darstellung der vorteilhaftesten Regelungsvarianten bei kreisstrombehafteten Umkehrstromrichtern.)
- [235] Schröder, D.  
*Untersuchung der dynamischen Eigenschaften von Stromrichterstellgliedern mit natürlicher Kommutierung.*  
Dissertation, TH Darmstadt, 1969
- [236] Schröder, D.  
*Aus der Forschung: Die dynamischen Eigenschaften von Stromrichter-Stellgliedern mit natürlicher Kommutierung.*  
ETZ-A 91 (1970), H. 4, S. 242–243
- [237] Schröder, D.  
*Dynamische Eigenschaften von Stromrichter-Stellgliedern mit natürlicher Kommutierung.*  
Regelungstechnik 19 (1971), H. 4, S. 155–162  
(Enthält theoretische Ableitungen der dynamischen Eigenschaften von Stromrichter-Stellgliedern mit natürlicher Kommutierung.)
- [238] Schröder, D.  
*Analysis and Synthesis of Automatic Control Systems with Controlled Converters.*  
5. IFAC Congress, Paris 1972, Session 22.1, S. 1–8  
(Im Beitrag werden die dynamischen Eigenschaften von Stromrichter-Stellgliedern bei lückendem und nicht-lückendem Strom theoretisch abgeleitet.)
- [239] Schröder, D.  
*Theoretische und praktische Grenzen der Regeldynamik von Regelkreisen mit Stromrichter-Stellgliedern.*  
3rd Conference on Electricity, Bukarest 1972, Section III, S. 1–24
- [240] Schröder, D.  
*Adaptive Control of Systems with Controlled Converters.*  
3rd IFAC-Symposium on Sensitivity, Adaptivity and Optimality, 1973, S. 335–342  
(Im Beitrag werden die theoretischen Grundlagen für die Auslegung des adaptiven Stromreglers dargestellt.)
- [241] Schröder, D.  
*Einsatz adaptiver Regelverfahren bei Regelkreisen mit Stromrichter-Stellgliedern.*  
VDI/VDE Gesellschaft für Meß- und Regelungstechnik – Industrielle Anwendung adaptiver Systeme, 1973, S. 81–97



- [242] Schröder, D.  
*Grenzen der Regeldynamik von Regelkreisen mit Stromrichter-Stellgliedern.*  
Regelungstechnik 21 (1973), H. 10, S. 322–329  
(Theoretische Analyse und praktische Überprüfung der dynamischen Grenzen von Stellgliedern mit natürlicher Kommutierung bei analoger Regelungsausführung.)
- [243] Schröder, D.; Kennel, R.  
*Model-Control PROMC – A New Control Strategy with Microcomputer for Drive Applications.*  
IAS-Meeting 1984, Chicago, S. 834–839  
(erschien auch in IEEE Trans. on Industry Applications, 1985)
- [244] Schröder, D.; Warmer, H.  
*New Precalculating Current Controller for DC Drives.*  
EPE Conf. 1987, Grenoble, Sept. 1987, S. 659–664
- [245] Schröder, D.  
*Model Based Predictive Control for Electrical Drives – Integrated Design and Practical Results.*  
ESPRIT-CIM Workshop on Computer Integrated Design of Controlled Industrial Systems, Paris 1990, S. 112–124
- [246] Schröder, D.; Warmer, H.  
*Predictive Speed and Current Control for DC Drives.*  
EPE Conf. 1991, Florenz, Sept. 1991, Vol. 2, S. 108–113
- [247] Schröder, D.  
*Digital Control Strategies for Drives.*  
First European Control Conference ECC, Grenoble 1991, WP 5, S. 1111–1116
- [248] Schröder, D.  
*Direct Digital Control Strategies.*  
ISPE 1992, Seoul/Korea, S. 486–495
- [249] Seefried, E.  
*Stromregelung im Lückbereich von Stromrichter-Gleichstromantrieben.*  
Elektrie 30 (1976), H. 4, S. 185–187  
(Beschreibt Ausführungsarten des adaptiven Stromreglers. Wesentlich ist die Gegenüberstellung struktur- oder nicht-struktur-umschaltbarer Stromregler.)
- [250] Vogel, J.  
*Das stationäre Kennlinienverhalten von Thyristorstellgliedern beim Übergang vom nichtlückenden in den lückenden Strombereich.*  
Elektrie 27 (1973), H. 8, S. 410–413
- [251] Warmer, H.; Schröder, D.  
*An Improved Method of Predictive Control for Line Commutated DC-Drives.*  
ICEM-Conference, München, 1986

- [252] Wehrich, G.  
*Drehzahlregelung von Gleichstromantrieben unter Verwendung eines Zustands- und Störgrößen-Beobachters.*  
 Regelungstechnik 26 (1978), H. 11, S. 349–355 und H. 12, S. 392–397  
 (Im Beitrag [232] wurden die Schwierigkeiten bei der Drehzahlregelung bei einem System, bestehend aus zwei Massen und einer elastischen Verbindungswelle, behandelt. In beiden Beiträgen wird exemplarisch die Realisierung von Zustandsregelungen mit Beobachtern abgeleitet. Vorteilhaft ist, daß sowohl P- als auch PI-Regelungen betrachtet werden und durch Simulation das erreichbare Führungs- und Störverhalten vorgestellt wird.)

## Direktumrichter

- [253] Akaji, H. et al.  
*Improvement of Cycloconverter Power Factor via Unsymmetric Triggering Method.*  
 Electr. Engineering in Japan Vol. 96 (1976), Nr. 1, S. 88–94  
 (Direktumrichter weisen einen sehr schlechten Leistungsfaktor im versorgenden Netz auf. Im Beitrag wird eine unsymmetrische Ansteuerung der oberen und unteren Brückenthristoren vorgeschlagen, durch die sich der  $\cos \varphi$  um den Faktor 1,2 bis 2 verbessern läßt. Zu beachten ist allerdings, daß sich das Oberschwingungsspektrum verschlechtert.)
- [254] Barton, T. H.; Hamblin, T. M.  
*Cycloconverter Control Circuits.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-8 (1972), Nr. 4, S. 443–453  
 (Beschreibung der verschiedenen Steuer- (z.B. Umschaltlogik) und Sensor-Funktionen (z.B. Stromnullpause) bei Direktumrichtern.)
- [255] Fink, R.; Grumbrecht, P.; Raatz, E.  
*Steuerung und Regelung von direktumrichtergespeisten Synchronmaschinen.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 70 (1981), H. 1/2, S. 55–60
- [256] Möltgen, G.; Salzmann, T.  
*Leistungsfaktor und Strom Oberschwingungen beim Direktumrichter am Drehstromnetz.*  
 Siemens Forsch.- und Entwickl.-Berichte 7 (1976), Nr. 3, S. 124–131
- [257] Okayama, T. et al.  
*Cycloconverter-Fed Synchronous Motordrive for Steel Rolling Mill.*  
 IEEE-IAS Conference 1978, Toronto, S. 820–827  
 (Im Beitrag wird der Aufbau und die Regelung einer Synchronmaschine beschrieben. Im Gegensatz zu der Regelung in d-q-Achsen (fluß- bzw. moment-bildender Strom), die bei einer Verstellung des Drehmoments (q-Strom) auch eine Verstellung des Erregerstroms (d-Achse) erfordert, wird hier eine zusätzliche Wicklung im Polrad vorgeschlagen, die senkrecht zur d-Achse angeordnet ist. Durch Regelung dieses Stroms kann bei einer Momentverstellung der Erregerstrom in der d-Achse konstant gehalten werden.)

- [258] Salzmann, T.  
*Direktumrichter und Regelkonzept für getriebelosen Antrieb von Rohrmühlen.*  
Siemens-Z. 51 (1977), S. 416–422  
(Darstellung des Regelungsaufbaus für einen Direktumrichter und eine Synchronmaschine bei Feldorientierung.)
- [259] Salzmann, T.  
*Leistungs- und Oberschwingungsverhältnisse beim netzgeführten Direktumrichter.*  
ETG-Fachberichte 6 (1980), S. 87–102
- [260] Salzmann, T.; Wokusch, H.  
*Direktumrichterantrieb für große Leistungen und hohe dynamische Anforderungen.*  
Siemens-Energietechnik 2 (1980), S. 409–413
- [261] Salzmann, T.  
*Drehstromantrieb hoher Regeltüte mit Direktumrichter.*  
4. Leistungselektronik-Konferenz Budapest 1981, Beitrag 3.3
- [262] Schröder, D.; Moll, M.  
*The Cycloconverter at Increased Output Frequency.*  
International Semiconductor Power Converter Conference 1977, IEEE/USA, S. 262–269  
(Im Beitrag werden Untersuchungsmethoden und Ergebnisse aufgezeigt, warum die Direktumrichterregelung bei höheren Ausgangsfrequenzen möglich, aber schwierig ist (Frequenzbeschränkung bisher  $0,5 \cdot f_{Netz}$ ).)
- [263] Shin, D. H.; Cho, G. H.; Park, S. B.  
*Improved PWM Method of Forced Commutated Cycloconverters.*  
EE Proceedings Vol. 136 (1989), Pt. B., No. 3, S. 121–126
- [264] Slonim, M. A.; Biringer, P. P.  
*Harmonics of Cycloconverter Voltage Waveform (New Method of Analysis).*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics and Control Instrumentation IECI-27 (1980), Nr. 2, S. 53–56
- [265] Späth, H.  
*Analyse der Ausgangsspannung des gesteuert betriebenen Direktumrichters mit Hilfe von Ortskurven.*  
Archiv f. Elektrotechnik 62 (1980), S. 167–175
- [266] Späth, H.; Söhner, W.  
*Der selbstgeführte Direktumrichter als Stellglied für Drehstrommaschinen.*  
Archiv f. Elektrotechnik 71 (1988), S. 441–450
- [267] Steinfels, M.  
*Drehzahl geregelter Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußläufer und symmetriertem Direktumrichter.*  
Elektrie 31 (1977), H. 8, S. 415–417  
(Beschreibung der Schlupffrequenz-Kennliniensteuerung, einfachste Regelungsvariante, quasistationärer Ansatz.)
- [268] Terens, L.; Bommeli, J.; Peters, K.  
*Der Direktumrichter-Synchronmotor.*  
Brown Boveri Mitt. 69 (1982), H. 4/5, S. 122–132

- [269] Therme, P.; Rooy, G.  
*A Digital Solution for the Bank Selection Problem in Cycloconverters.*  
 Budapest 1975/76, Bereich 1.6, S. 1–10  
 (Behandelt die Umschaltprobleme beim Wechsel der Stromrichterbrücken während der Stromrichtungsumkehr. Als Vorschlag zur schnellen Stromnullerkennung wird ein digitales Filter mit einer variablen Grenzfrequenz vorgeschlagen; die Grenzfrequenz wird mit der Ausgangsfrequenz des Direktumrichters verstimmt.)

## Untersynchrone Kaskade (USK)

- [270] Albrecht, S.; Gahleitner, A.  
*Bemessung des Drehstrom-Asynchronmotors in einer untersynchronen Stromrichter-kaskade.*  
 Siemens-Z. 40 (1966), Beiheft „Motoren für industrielle Antriebe“, S. 139–146
- [271] Bauer, F.  
*Die doppeltgespeiste Maschinenkaskade als feldorientierter Antrieb.*  
 Dissertation, Univ. Karlsruhe, 1986
- [272] Becker, O.  
*Betriebsverhalten untersynchroner Stromrichter-kaskaden.*  
 Elektro-Anzeiger 29 (1976), H. 5
- [273] Becker, O.  
*Schaltungen untersynchroner Stromrichter-kaskaden.*  
 Elektro-Anzeiger 29 (1976), H. 7
- [274] Elger, H.  
*Untersynchrone Stromrichter-Kaskade als drehzahlregelbarer Antrieb für Kesselspeisepumpen.*  
 Siemens-Z. 42 (1968), H. 4, S. 308–310  
 (Darstellung des grundlegenden Aufbaus und der Regelung der USK, einschließlich der Anfahrvorrichtung mittels Anlaßwiderstand und Umschaltungen (Serienschaltung) im Läuferkreis.)
- [275] Elger, H.  
*Schaltungsvarianten der untersynchronen Stromrichter-kaskade.*  
 Siemens-Z. 51 (1977), H. 3, S. 145–150
- [276] Golde, E.  
*Asynchronmotor mit elektrischer Schlupfregelung.*  
 AEG Mitt. 54 (1964), H. 11/12, S. 666–671  
 (Der Beitrag beschreibt die Regelung einer USK ohne Netzzrückspeisung, sondern mit einem steuerbaren Widerstand (selbstgeführter Stromrichter).)
- [277] Kleinrath, H.  
*Pendelmomente der USK beim Schlupf  $s=1/6$ .*  
 ETZ-A 98 (1977), H. 1, S. 115  
 (Bei der USK treten durch die Übertragung der Stromoberschwingungen, die durch die Diodenbrücke des Läufers hervorgerufen werden, auf der Statorseite Stromkomponenten sehr niedriger Frequenz auf.)

- [278] Konhäuser, W.  
*Digitale Regelung der untersynchronen Stromrichter-kaskade mit einem Mikrorechner.*  
ETZ Archiv 6 (1984), H. 8, S. 287–294
- [279] Kusko, A.  
*Speed Control of a Single-Frame Cascade Induction Motor with Slip-Power Pump Back.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-14 (1978), S. 97–105  
(Im Beitrag wird eine ASM mit jeweils zwei Stator- und zwei Rotor-Wicklungen vorgestellt, bei der über die zweite Statorwicklung und die USK-Leistungselektronik die Leistung in das Netz zurückgespeist wird. Da außerdem die beiden Rotorwicklungen miteinander verschaltet sind, hat diese USK keine Schleifringe. Darstellung des Prinzips und der erreichbaren Kennlinien.)
- [280] Meyer, M.  
*Über die untersynchrone Stromrichter-kaskade.*  
ETZ-A 82 (1961), H. 19, S. 589–596  
(Grundlegende Darstellung der Funktion und der mathematischen Zusammenhänge bei der USK.)
- [281] Mikulaschek, F.  
*Die Ortskurven der untersynchronen Stromrichter-kaskade.*  
AEG-Mitt. 52 (1962), H. 5/6, S. 210–219
- [282] Polasek, H.  
*Ermittlung der Auswirkungen von Netzstörungen auf die Läufer-spannung einer Stromrichter-kaskade.*  
ELIN-Zeitschr. 23 (1971), S. 10–17  
(Bei Netzstörungen treten an der Diodenbrücke im Läuferkreis Überspannungen auf, die diese Brücke zerstören können. Dimensionierungsuntersuchung.)
- [283] Safacas, A.  
*Berechnung der elektromagnetischen Größen einer Asynchronmaschine mit Schleifringläufer und Stromrichtern.*  
ETZ-A 93 (1972), H. 1, S. 16–20  
(Berechnung des Schlupfs/Drehmoments einer ASM bei Stromrichterspeisung des Rotors (USK-Betrieb).)
- [284] Schönfeld, R.  
*Die Untersynchrone Kaskade als Regelantrieb.*  
msr 10 (1967), H. 11, S. 411–417  
(Detaillierte Darstellung der Streckenstruktur und der Reglerauslegung.)
- [285] Schröder, D.  
*Die untersynchrone Stromrichter-Kaskade.*  
GMR-Jahrestagung 1976, S. 90–97
- [286] Zimmermann, P.  
*Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade als schneller Regelantrieb.*  
Dissertation, TH Darmstadt, 1979

## Stromrichteromotor

- [287] Cornell, E. P.; Novotny, D. W.  
*Commutation by Armature Induced Voltages in Self-Controlled Synchronous Machines.*  
 IEEE-IAS Conf. 1973, S. 760–766  
 (Untersuchung der Kommutierung beim Stromrichteromotor, einschließlich Synchronmaschinen mit Dämpferwicklung.)
- [288] Depenbrock, M.  
*Fremdgeführte Zwischenkreisumrichter zur Speisung von Stromrichtermotoren mit sinusförmigen Anlaufströmen.*  
 ETZ-A 87 (1966), H. 26, S. 945–951  
 (Bei niedrigen Drehzahlen der SM genügt die Spannung der SM nicht zur Maschinenkommutierung (lastgeführte Kommutierung). Um die Momentpendelungen beim Takten des Zwischenkreisstroms zu vermeiden, wird eine spezielle Schaltung vorgeschlagen.)
- [289] Föhse, W.; Weis, M.  
*AEG-Reihe der BL-Motoren für den mittleren Leistungsbereich.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 67 (1977), H. 1, S. 16–19
- [290] Gölz, G.; Grumbrecht, P.  
*Umrichtergespeiste Synchronmaschine.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 63 (1973), H. 4, S. 141–148  
 (Grundlegende Darstellung aller Funktionen des Stromrichtermotors.)
- [291] Gölz, G.; Grumbrecht, P.; Hentschel, F.  
*Über neue Betriebsarten der Stromrichtermaschine synchroner Bauart.*  
 Wiss. Berichte AEG-Telefunken 48 (1975), H. 4, S. 170–180  
 (Im Beitrag werden die drei möglichen Auslegungsmethoden für Synchronmaschinen bei Stromrichteromotorbetrieb dargestellt.)
- [292] Imai, K.  
*New Applications of Commutatorless Motor Systems for Starting Large Synchronous Motors.*  
 IEEE-IAS Conf. Florida 1977
- [293] Issa, N. A. H.; Williamson, A. C.  
*Control of a Naturally Commutated Inverter-Fed Variable-Speed Synchronous Motor.*  
 Electric Power Applications 2 (1979), Nr. 6, S. 199–204
- [294] Kübler, E.  
*Der Stromrichteromotor.*  
 ETZ-A 79 (1958), H. 15, S. 20–21
- [295] Labahn, D.  
*Untersuchung an einem Stromrichteromotor in 6- und 12-pulsiger Schaltung mit ruhender Steuerung der Stromrichterventile.*  
 Dissertation, TH Braunschweig, 1961
- [296] Leder, H. W.  
*Beitrag zur Berechnung der stationären Betriebskennlinien von selbstgesteuerten Stromrichter-Synchronmotoren.*  
 E und M 94 (1977), H. 3, S. 128–132

- [297] Leder, H. W.  
*Digitales Steuergerät für selbstgesteuerte Stromrichter-Synchronmotoren mit verstellbarem Steuerwinkel.*  
 ETZ-A 97 (1976), H. 10, S. 614–615  
 (Wie im Beitrag Pannicke/Gölz [303] beschrieben, sollte statt der Spannungs-Null-durchgangs-Erkennung zur Bildung der Steuerimpulse des maschinenseitigen Stromrichters vorteilhaft ein variabler Steuerwinkel verwendet werden. Der Beitrag zeigt eine Variante der Realisierung.)
- [298] Leitgeb, W.  
*Die Maschinenausnutzung von Stromrichtermotoren bei unterschiedlichen Phasenzahlen und Schaltungen.*  
 Archiv f. Elektrotechnik 57 (1975), H. 2, S. 71–84  
 (Die Synchronmaschine ist beim Stromrichtermotor häufig dreiphasig und der Stromrichter sechspulsig. Eine andere Variante ist eine zweimal dreiphasige SM und zwei sechspulsige Stromrichter, so daß sich bei phasenversetztem Ansteuern ein zwölfpulsiges Verhalten ergibt. Im Beitrag werden neun unterschiedliche Varianten der Schaltung „Stromrichtermotor“ gegenübergestellt.)
- [299] Lütkenhaus, H. J.  
*Drehmoment-Oberschwingungen bei Stromrichter-Motoren.*  
 Techn. Mitt. AEG-Telefunken 48 (1975), H. 6, S. 201–204  
 (Bei Einprägung des sich nur sprungförmig bewegenden Statorstrombelages entstehen durch die sich zeitlich ändernde relative Lage von Polrad zu Statorstrombelag Drehmomentpendelungen.)
- [300] Maurer, F.  
*Stromrichtergespeiste Synchronmaschine als Vierquadrant-Regelantrieb.*  
 Dissertation, TU Braunschweig, 1975
- [301] Ostermann, H.  
*Der fremdgesteuerte Stromrichtersynchronmotor mit steuerbarer Drehzahl.*  
 Dissertation, TU Stuttgart, 1961
- [302] Ostermann, H.  
*Der fremdgesteuerte Stromrichtersynchronmotor.*  
 Archiv f. Elektrotechnik 48 (1963), H. 3, S. 167–189  
 (Grundlegende und umfassende Arbeit, in der das Verhalten des fremdgesteuerten Stromrichtermotors erläutert wird.)
- [303] Pannicke, J.; Gölz, G.  
*Simulation zur Schonzeitregelung einer stromrichtergespeisten Synchronmaschine.*  
 ETZ-A 99 (1978), H. 3, S. 138–141  
 (Zur Verringerung der Blindleistungsanforderungen (Steuerblindleistung) des maschinenseitigen Stromrichters an die Synchronmaschine wird der maschinenseitige Steuerwinkel in Abhängigkeit vom Zwischenkreisstrom so klein wie möglich gehalten.)
- [304] Perret, R.; Jakubowitz, A.; Nougaret, M.  
*Simplified Model and Closed-Loop Control of a Commutatorless DC-Motor.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-16 (1980), H. 2, S. 165–172  
 (Darstellung des Antriebssystems Stromrichtermotor als System dritter Ordnung und Reglerentwurf.)

- [305] Saupe, R.; Senger, K.  
*Maschinengeführter Umrichter zur Drehzahlregelung von Synchronmaschinen.*  
Techn. Mitt. AEG-Telefunken 67 (1977), H. 1, S. 20–25  
(Darstellung der Grundfunktionen einer Stromrichter-motor-Regelung wie Zuordnung der Steuerwinkel der beiden Stellglieder und quasistationäre Regelvariante.)
- [306] Saupe, R.  
*Die drehzahlgeregelte Synchronmaschine – optimaler Leistungsfaktor durch Einsatz einer Schonzeitregelung.*  
ETZ 102 (1981), H. 1, S. 14–18
- [307] Stöhr, M.  
*Die Typenleistung kollektorloser Stromrichtermotoren bei der einfachen Sechshephasenschaltung.*  
Archiv f. Elektrotechnik, Band XXXII (1938), H. 11, S. 691–720  
(Erste deutsche Veröffentlichung über den Stromrichtermotor.)
- [308] Vogelmann, H.  
*Die permanentenerregte stromrichtergespeiste Synchronmaschine ohne Polradlagegeber als drehzahlgeregelter Antrieb.*  
Dissertation, Univ. Karlsruhe, 1986

## Stromzwischenkreis-Umrichter (I-Umrichter)

- [309] Blumenthal, M. K.  
*Current Source Inverter with Low Speed Pulse Operation.*  
IEE Symposium London 1977, S. 88–91
- [310] Bowes, S. R.; Bullough, R.  
*Fast Modelling Techniques for Microprocessor Based Optimal Pulse-Width-Modulated Control of Current-Fed Inverter Drives.*  
IEE Proc., Part B 131 (1984), S. 149–158
- [311] Bowes, S. R.; Bullough, R.  
*PWM Switching Strategies for Current-Fed Inverter Drives.*  
IEE Proc., Part B 131 (1984), S. 195–202
- [312] Bystron, K.  
*Strom- und Spannungsverhältnisse beim Drehstrom-Drehstrom-Umrichter mit Gleichstromzwischenkreis.*  
ETZ-A 87 (1966), H. 8, S. 264–271
- [313] Espelage, P. M.; Nowak, J. M.; Walker, L. H.  
*Symmetrical FTO-Current Source Inverter for Wide Speed Range Control of 2300 to 4160 Volt; 350 to 7000 Hp, Induction Motors.*  
IEEE-IAS Conf. 1988, Vol. I, S. 302–306
- [314] Fukuda, S.; Hasegawa, H.  
*Current Source Rectifier/Inverter System with Sinusoidal Currents.*  
IEEE-IAS Conf. 1988, Vol. I, S. 909–914
- [315] Hintze, D.  
*Asynchroner Vierquadranten-Drehstromantrieb mit Stromzwischenkreisumrichter und überschwingungsarmen Maschinenrößen.*  
Dissertation, TU München, 1993



- [316] Hintze, D.; Schröder, D.  
*Four Quadrant AC-Motor Drive with a GTO Current Source Inverter with Low Harmonics and On Line Optimized Pulse Pattern.*  
 IPEC Conf. 1990, Tokyo/Japan, April 1990, Vol. 1, S. 405–412
- [317] Hintze, D.; Schröder, D.  
*PWM Current Source Inverter with On-Line-Optimized Pulse Pattern Generation for Voltage and Current Control.*  
 CICEM 91, Wuhan, China, Sept. 1991, S. 189–192
- [318] Hintze, D.; Schröder, D.  
*Induction Motor Drive with Intelligent Controller and Parameter Adaption.*  
 IEEE–IAS Conf. 1992, Houston/USA, S. 970–977
- [319] Hombu, M.; Veda, A.; Matsuda, Y.  
*A New Current Source GTO Inverter with Sinusoidal Output Voltage and Current.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-21 (1985), S. 1192–1198
- [320] Hombu, M. et al.  
*A Current Source GTO Inverter with Sinusoidal Inputs and Outputs.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-23 (1987), No. 2, S. 247–255
- [321] Lienau, W.; Müller-Hellmann, A.  
*Möglichkeit zum Betrieb von stromeinprägenden Wechselrichtern ohne niederfrequente Oberschwingungen.*  
 ETZ-A 97 (1976), H. 11, S. 663–667
- [322] Lienau, W.  
*Torque Oscillations in Traction Drives with Current Fed Asynchronous Machines.*  
 Electrical Variable-Speed Drives Conf. 1979, S. 102–107  
 (siehe auch Beitrag Blumenthal [309])
- [323] Möltgen, G.  
*Simulationsuntersuchung zum Stromrichter mit Phasenfolgelöschung.*  
 Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 12 (1983), S. 166–175
- [324] Nonaka, S.; Neba, Y.  
*New GTO Current Source Inverter with Pulsewidth Modulation Control Techniques.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-22 (1986), S. 666–672
- [325] Nonaka, S.; Neba, Y.  
*A PWM Current Source Type Converter-Inverter System for Bidirectional Power Flow.*  
 IEEE–IAS Conf. 1988, Vol. I, S. 296–301
- [326] Schierling, H.; Weiß, T.  
*Netzrückwirkungen durch Zwischenharmonische von Strom-Zwischenkreisumrichtern für drehzahlgeregelte Asynchronmotoren.*  
 ETZ Archiv 9 (1987), H. 7, S. 219–223
- [327] Schröder, D.  
*Selbstgeführter Stromrichter mit Phasenfolgelöschung und eingepprägtem Strom.*  
 ETZ-A 96 (1975), S. 520–523

- [328] Schröder, D.; Moll, K.  
*Applicable Frequency Range of Current Source Inverters.*  
2nd IFAC Symposium 1977, S. 231–234
- [329] Schröder, D.; Niermeyer, O.  
*Current Source Inverter with GTO-Thyristors and Sinusoidal Motor Currents.*  
ICEM-Conference, München, 1986, S. 772–776
- [330] Weninger, R.  
*Verfahren zur dynamisch richtigen Steuerung des Flusses bei der Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen mit Speisung durch Zwischenkreisumrichter mit eingepprägtem Strom.*  
ETZ Archiv 1 (1979), H. 12, S. 341–345
- [331] Weninger, R.  
*Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen bei Speisung durch einen Zwischenkreisumrichter mit eingepprägtem Strom.*  
Dissertation, TU München, 1982
- [332] Weschta, A.  
*Stromzwischenkreisumrichter mit GTO.*  
ETG-Fachberichte 23 (1988), S. 315–332

## Spannungszwischenkreis-Umrichter (U-Umrichter)

- [333] Abraham, L.; Heumann, K.; Koppelman, F.  
*Wechselrichter zur Drehzahlsteuerung von Käfigläufermotoren.*  
AEG-Mitt. 54 (1964), H. 1/2, S. 89–106  
(Eine der ersten grundlegenden Arbeiten über selbstgeführte Wechselrichter mit Thyristoren und Zwangskommütierung.)
- [334] Abraham, L.; Heumann, K.; Koppelman, F.  
*Zwangskommutierte Wechselrichter veränderlicher Frequenz und Spannung.*  
ETZ-A 86 (1965), H. 8, S. 268–274  
(Es werden verschiedene grundlegende Schaltungen zur Löschung von Thyristoren (ZCS) sowie die Pulsweitenmodulation dargestellt.)
- [335] Abraham, L.; Heumann, K.; Koppelman, F.; Patzschke, U.  
*Pulsverfahren der Energieelektronik elektromotorischer Antriebe.*  
VDE-Fachberichte 23 (1964), S. 239–252
- [336] Adams, R. D.; Fox, R. S.  
*Several Modulation Techniques for a Pulswidth Modulated Inverter.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-8 (1972), Nr. 5, S. 584–600
- [337] Beck, H. P.; Michel, M.  
*Spannungsrichter – ein neuer Umrichtertyp mit natürlicher Gleichspannungskommütierung.*  
ETZ Archiv 3 (1981), H. 12, S. 427–432
- [338] Bhagwat, P. M.; Stefanovic, V. R.  
*Generalized Structure of Multilevel PWM Inverter.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-19 (1983), No. 6

- [339] Bühler, H.  
*Umrichter gespeiste Antriebe mit Asynchronmaschinen.*  
 NT 4 (1974), S. 121–139  
 (Im Beitrag werden umfassend, beginnend bei der Leistungselektronik über die quasistationären Steuer- und Regelverfahren bis hin zur Feldorientierung, die Anforderungen und Ausführungsformen der verschiedenen Gebiete dargestellt.)
- [340] Bystron, K.  
*Umrichter mit veränderlicher Zwischenkreisspannung zur Drehzahlsteuerung von Drehfeldmaschinen.*  
 Tagung „Stromrichter gespeiste Drehfeldmaschinen“, 11.4.1967, TH Darmstadt
- [341] Cengcelci, E.; Sulistijo, S. U.; Woo, B. O.; Enjeti, P.; Teodorescu, R.; Blaabjerg, F.  
*A New Medium Voltage PWM Inverter Topology for Adjustable Speed Drives.*  
 IEEE–IAS Conf. Rec. (1998), S. 1-416–423
- [342] Eттner, N. u.a.  
*Netzrückwirkungen umrichter gespeister Drehstromantriebe.*  
 ETZ 109 (1988), H. 14, S. 626–629
- [343] Hammond, P. W.  
*Medium Voltage PWM Drive and Method.*  
 US Patent Nr. 5.625.545, USA 1997
- [344] Kafo, T.; Miyao, K.  
*Modified Hysteresis Control with Minor Loops for Single-Phase Full-Bridge Inverters.*  
 IEEE–IAS Conf. 1988, Vol. I, S. 689–693
- [345] Lataire, P.  
*White Paper on the New ABB Medium Voltage Drive System, Using IGCT Power Semiconductors and Direct Torque Control.*  
 EPE Journal 7 (1998), No. 3-4, S. 40–45
- [346] Lipo, T. A.  
*Recent Progress in the Development of Solid-State AC Motor Drives.*  
 IEEE Trans. on Power Electronics PE-3 (1988), No. 2, S. 105–117
- [347] Matsuda, Y. et al.  
*Development of PWM Inverter Employing GTO.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-19 (1983), No. 3, S. 335–342
- [348] McMurray, W.; Shattuck, D. P.  
*A Silicon-Controlled Rectifier with Improved Commutation.*  
 AIEE Trans. 80 (1961), Teil I, S. 531–542
- [349] Meyer, M.  
*Beanspruchung von Thyristoren in selbstgeführten Stromrichtern.*  
 Siemens-Z. 39 (1965), H. 5, S. 495–501
- [350] Meynard, T. A.; Foch, H.  
*Imbricated Cell Multilevel VSI for High Voltage Applications.*  
 EPE Journal 3 (1993), No. 2
- [351] Nabae, A.; Takahashi, I.; Akagi, H.  
*A New Neutral Point Clamped PWM Inverter.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-17 (1981), No. 5, S. 518–523

- [352] Nestler, J.; Tzivelekas, I.  
*Kondensator-Löschschtaltung mit Löschthyristor-Zweigpaar nach McMurray.*  
*Teil I: Beschreibung der Löschvorgänge; Teil II: Analyse der Löschvorgänge.*  
ETZ Archiv 6 (1984), H. 2, S. 45–50 und H. 3, S. 83–90
- [353] Penkowski, L. J.; Pruzinsky, K. E.  
*Fundamentals of a Pulsewidth Modulated Power Circuit.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-8 (1972), No. 5, S. 584–600
- [354] Pollack, J. J.  
*Advanced Pulsewidth Modulated Inverter Techniques.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-8 (1972), No. 2, S. 145–154
- [355] Salzmann, T.; Weschta, A.  
*Progress in Voltage Source Inverters (VSIs) and Current Source Inverters (CSIs) with Modern Semiconductor Devices.*  
IEEE–IAS Conf. Rec. (1987), S. 577–583
- [356] Steimel, A.  
*GTO-Umrichter mit Spannungszwischenkreis.*  
ETG-Fachberichte 23 (1988), S. 333–341
- [357] Steinke, J. K.  
*Steuerverfahren für Dreipunkt- und Mehrpunktwechselrichter für Antriebe im Megawatt-Leistungsbereich.*  
Habilitationsschrift, Univ. Bochum, 1992
- [358] Teodorescu, R.; Blaabjerg, F.; Pedersen, J. K.; Cengcelci, E.; Sulistijo, S. U.; Woo, B. O.; Enjeti, P.  
*Multilevel Converters – A Survey.*  
Proc. EPE, Lausanne 1999
- [359] *Innovation in the Medium Voltage Range.*  
Siemens Drive & Control Review (1998), Nr. 1

## Asynchronmaschine: Regelung

- [360] Albrecht, P.; Schlegel, T.; Siebert, J.  
*Digitale Steuerung und Regelung für Stromrichterantriebe.*  
Energie & Automation 9 (1987), Special „Drehzahlveränderbare elektrische Großantriebe“, S. 66–75
- [361] Blaschke, F.  
*Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschinen.*  
Siemens-Z. 45 (1971), H. 10, S. 757–760
- [362] Blaschke, F.  
*Das Verfahren der Feldorientierung zur Regelung der Asynchronmaschine.*  
Siemens Forsch.- und Entwickl.-Berichte (1972), S. 184–193
- [363] Blaschke, F.  
*Das Verfahren der Feldorientierung zur Regelung der Drehfeldmaschine.*  
Dissertation, TU Braunschweig, 1974

- [364] Blaschke, F.; Bayer, K. H.  
*Die Stabilität der feldorientierten Regelung von Asynchronmaschinen.*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 7 (1978), Nr. 2, S. 77–81
- [365] Blaschke, F.; Ströle, D.  
*Einsatz von Transformationen zur Entflechtung elektrischer Antriebsregelstrecken.*  
Ansprachetag „Systeme mit verteilten Parametern und modale Regelung“, 22./23.2.1973  
(Bei Antrieben ändert sich beispielsweise beim Feldeingriff im allgemeinen die Verstärkung des Integrators der Mechanik. Das Antriebssystem kann als Mehrgrößensystem angesehen werden und mittels entkoppelnder Transformationen regelungstechnisch vereinfacht werden.)
- [366] Bowes, S. R.  
*Development in PWM Switching Strategies for Microprocessor-Controlled Inverter Drives.*  
IEEE-IAS Conf. Rec. (1987), S. 323–329
- [367] Depenbrock, M.  
*Direkte Selbstregelung (DSR) für hochdynamische Drehfeldantriebe mit Stromrichterspeisung.*  
ETZ Archiv 7 (1985), H. 7, S. 211–218  
(Im allgemeinen werden bei Drehfeldantrieben die Regelungen für das Drehmoment und den Fluß getrennt von den Stromregelungen realisiert. In diesem Beitrag werden eine integrierte Betrachtung aller drei Themenstellungen vorgeschlagen und grundsätzliche Wege der Realisierung aufgezeigt.)
- [368] Depenbrock, M.; Skrotzki, T.  
*Drehmomenteinstellung im Feldschwächbereich bei stromrichtergespeisten Drehfeldantrieben mit direkter Selbstregelung.*  
ETZ-A 9 (1987), H. 1, S. 3–8
- [369] Flöter, W.; Ripperger, H.  
*Die Transvektor-Regelung für den feldorientierten Betrieb einer Asynchronmaschine.*  
Siemens-Z. 45 (1971), S. 761–764
- [370] Flügel, W.  
*Erweitertes Verfahren zur dynamisch richtigen Steuerung des Flusses bei der Drehzahlregelung von umrichtergespeisten Asynchronmaschinen.*  
ETZ-A 99 (1978), H. 4, S. 185–188  
(Statt der feldorientierten Regelung, die eine Messung oder Schätzung des Fluß-Raumzeigers nach Orientierung und Amplitude erfordert, kann auf die Ermittlung des Fluß-Raumzeigers verzichtet werden. Statt dessen kann der Fluß gesteuert vorgegeben werden. In diesem Fall kann die Theorie der Entkopplung genutzt werden und mittels einfacher Netzwerke der Fluß gesteuert, das Drehmoment aber geregelt vorgegeben werden.)
- [371] Flügel, W.  
*Steuerung des Flusses von umrichtergespeisten Asynchronmaschinen über Entkopplungsnetzwerke.*  
ETZ Archiv 1 (1979), H. 12, S. 347–350

- [372] Flügel, W.  
*Drehzahlregelung umrichter gespeister Asynchronmaschinen bei Steuerung des Flusses durch Entkopplungsnetzwerke.*  
Dissertation, TU München, 1981
- [373] Flügel, W.  
*Drehzahlregelung der spannungsumrichter gespeisten Asynchronmaschine im Grunddrehzahl- und im Feldschwäcbereich.*  
ETZ Archiv 4 (1982), H. 5, S. 143–150
- [374] Gabriel, R.; Leonhard, W.; Norby, C.  
*Regelung der stromrichter gespeisten Drehstrom-Asynchronmaschine mit einem Mikrorechner.*  
Regelungstechnik 27 (1979), S. 379–386
- [375] Gabriel, R.  
*Mikrorechner geregelte Asynchronmaschine, ein Antrieb für hohe dynamische Anforderungen.*  
Regelungstechnik 32 (1984), H. 1, S. 18–26  
(Im Beitrag wird der Aufbau und die Realisierung der feldorientierten Regelung bei Einsatz von Mikrorechnern dargestellt.)
- [376] Hasse, K.  
*Zur Dynamik drehzahl geregelter Antriebe mit stromrichter gespeisten Asynchron-Kurzschlußläufermaschinen.*  
Dissertation, TH Darmstadt, 1969  
(Die erste grundlegende Arbeit zum Verständnis des dynamischen Verhaltens und der Regelung der ASM.)
- [377] Heinemann, G.; Leonhard, W.  
*Self-Tuning Field Oriented Control of an Induction Motor Drive.*  
IPEC Tokyo/Japan (1990), Conf. Rec. Vol. 1, S. 465–472
- [378] Heintze, K.; Tappeiner, H.; Weibelzahl, M.  
*Pulswechselrichter zur Drehzahlsteuerung von Asynchronmaschinen.*  
Siemens-Z. (1971), Nr. 3, S. 154–161
- [379] Heumann, K.; Jordan, K. G.  
*Das Verhalten des Käfigläufermotors bei veränderlicher Speisefrequenz und Stromregelung.*  
AEG-Mitt. 54 (1964), H. 1/2, S. 107–116  
(Ausführliche Darstellung des quasistationären Verhaltens der ASM, basierend auf dem Transformator-Ersatzschaltbild.)
- [380] Kohlmeier, H.; Niermeyer, O.; Schröder, D.  
*High Dynamic Four-Quadrant AC-Motor Drive with Improved Power-Factor and On-Line Optimized Pulse Pattern with PROMC.*  
EPE-Conference Brüssel, 1985, S. 3.173–3.178;  
IEEE-IAS Annual Meeting Toronto, October 1985 S. 1081–1086;  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-23 (1987), No. 6, S. 1001–1009
- [381] Kohlmeier, H.; Schröder, D.  
*GTO-Pulse Inverters with On-Line Optimized Pulse Patterns for Current Control.*  
ICEM-Conference, München, 1986, S. 668–671

- [382] Kohlmeier, H.; Schröder, D.  
*Control of a Double Voltage Inverter System Coupling a Three Phase Mains with an AC-Drive.*  
IEEE-IAS 22nd Annual Meeting Atlanta, 1987
- [383] Kohlmeier, H.  
*Regelung der Asynchronmaschine durch Einsatz netz- und maschinenseitiger Pulsstromrichter mit optimierten asynchronen Pulsmustern.*  
Dissertation, TU München, 1989
- [384] Korb, F.  
*Einstellung der Drehzahl von Induktionsmotoren durch antiparallele Ventile auf der Netzseite.*  
ETZ-A 86 (1965), H. 8, S. 275–279  
(Darstellung des Drehzahl-Drehmoment-Verhaltens einer ASM bei Speisung mit einem Drehspannungssteller.)
- [385] Niermeyer, O.; Schröder, D.  
*New Predictive Control Strategy for PWM-Inverters.*  
EPE 87, Grenoble, Sept. 1987, S. 647–652
- [386] Niermeyer, O.; Schröder, D.  
*Induction Motor Drive with Parameter Identification Using a New Predictive Current Control Strategy.*  
PESC 89, Wisconsin/USA, Juni 1989, S. 287–294
- [387] Niermeyer, O.; Schröder, D.  
*AC-Motor Drive with Generative Breaking and Reduced Supply Line Distortion.*  
EPE 89, Aachen, Okt. 1989, S. 1021–1026
- [388] Niermeyer, O.  
*Netzfreundlicher, drehzahlvariabler 4-Quadranten Asynchronmaschinenantrieb mit prädiktiven Stromregelungen.*  
Dissertation, TU München, 1991
- [389] Patel, S. P.; Hoft, R. G.  
*Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters:*  
*Part I: Harmonic Elimination; Part II: Voltage Control Techniques.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-9 (1973), Nr. 3, S. 310–317 und IA-10 (1974), Nr. 5, S. 666–673
- [390] Pfaff, G.  
*Zur Dynamik des Asynchronmotors bei Drehzahlsteuerung mittels veränderlicher Speisefrequenz.*  
ETZ-A 85 (1964), H. 22, S. 719–724  
(Darstellung der ASM unter Verwendung der Raumzeigerdarstellung sowie Ableitung des Strukturbildes, allerdings noch keine Einführung der Feldorientierung.)

- [391] Pfaff, G.; Wick, A.  
*Direkte Stromregelung bei Drehstromantrieben mit Pulswechselrichtern.*  
 rtp 24 (1983), H. 11, S. 472–477  
 (Im Beitrag wird ein Pulsweitenmodulations-Verfahren vorgestellt, bei dem bei fest vorgebbarer Abtastzeit der Stromregelung aus der Orientierung und Amplitude des komplexen Raumzeigers der Spannung jeweils die Einschaltzeiten der beiden nächstliegenden Spannungs-Raumzeiger des Umrichters bzw. des Nullzeigers berechnet werden.)
- [392] Pollmann, A.; Gabriel, R.  
*Zündsteuerung eines Pulswechselrichters mittels Mikrorechners.*  
 rtp 22 (1980), S. 145–150  
 (Darstellung, wie ein Pulsweitenmodulator bei Verwendung eines Mikrorechners realisiert werden kann.)
- [393] Pollmann, A.  
*A Digital Pulsewidth Modulator Employing Advanced Modulation Techniques.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-19 (1983), S. 409–414
- [394] Schierling, H.; Jötten, R.  
*Control of the Induction Machine in the Field weakening range.*  
 Control in Power Electronics and Drives. IFAC Symp. 1983, S. 297–304
- [395] Schörner, J.  
*Ein Beitrag zur Drehzahlsteuerung von Asynchronmaschinen über Pulsumrichter.*  
 Dissertation, TU München, 1975
- [396] Schröder, D.  
*Control of AC-Machines. Decoupling and Field Orientation. Modern Integrated Electrical Drives (MIED): Current Status and Future Developments.*  
 Course Notes, The European Association for Electrical Drives, Mailand, Mai 1989, S. 45–47
- [397] Schröder, D.  
*Model Based Predictive Control for Electrical Drives – Integrated Design and Practical Results.*  
 ESPRIT-CIM Workshop on Computers Integrated Design of Controlled Industrial Systems. Paris, April 1990, S. 112–124
- [398] Schröder, D.  
*Digital Control Strategies for Drives.*  
 First European Control Conference ECC 1991, Grenoble, WP 5, S. 1111–1116
- [399] Schröder, D.  
*Direct Digital Control Strategies.*  
 ISPE 1992, Seoul, S. 486–495
- [400] Steinke, J. K.  
*Grundlagen für die Entwicklung eines Steuerverfahrens für GTO-Dreipunktwechselrichter für Traktionsantriebe.*  
 ETZ Archiv 10 (1988), H. 7, S. 215–220
- [401] Steinke, J. K.  
*Pulsbreitenmodulationssteuerung eines Dreipunktwechselrichters für Traktionsantriebe im Bereich niedriger Motordrehzahlen.*  
 ETZ Archiv 11 (1989), H. 1, S. 17–24



- [402] Takahashi, I.; Mochikawa, H.  
*Optimum PWM Waveforms of an Inverter for Decreasing Acoustic Noise of an Induction Motor.*  
 IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-22 (1986), No. 5, S. 828–834
- [403] van der Broeck, H.  
*Auswirkungen der Pulsweitenmodulation hoher Taktzahl auf die Oberschwingungsbelastung einer Asynchronmaschine bei Speisung durch einen U-Wechselrichter.*  
 Archiv f. Elektrotechechnik 68 (1985), S. 279–291

## Synchronmaschine

- [404] Bauer, F.; Heining, H.-D.  
*Quick Response Space Vector Control for a High Power Three-Level-Inverter Drive.*  
 EPE Aachen, 1989, S. 417-421
- [405] Bayer, K. H.; Waldmann, H.; Weibelzahl, W.  
*Die TRANSVEKTOR-Regelung für den feldorientierten Betrieb einer Synchronmaschine.*  
 Siemens-Z. 45 (1971), H. 10, S. 765–768
- [406] Bayer, K. H.; Waldmann, H.; Weibelzahl, W.  
*Field Oriented Closed-Loop Control of a Synchronous Machine with the New TRANSVEKTOR Control System.*  
 Siemens Review 34 (1972), Nr. 5, S. 220–223
- [407] Canay, M.  
*Ersatzschemata der Synchronmaschine sowie Vorausberechnung der Kenngrößen mit Beispielen.*  
 Dissertation, EPUL Lausanne, 1968
- [408] Eichmann, D.; Neuffer, I.; Sarioglu, M. K.  
*Ein Simulator zum Nachbilden von Synchronmaschinen.*  
 Siemens-Z. 42 (1968), H. 9, S. 780-783
- [409] Haböck, A.  
*Antriebe mit stromrichter gespeisten Synchronmaschinen.*  
 Neue Technik 16 (1974), S. 93–108  
 (Beschreibt das fremd- und das vorteilhaftere eigengesteuerte Verhalten der Synchronmaschine.)
- [410] Hosemann, G.  
*Größenrichtiges Ersatzschaltbild des Synchronmaschinenläufers und seine experimentelle Ermittlung.*  
 ETZ-A 88 (1967), S. 333-339
- [411] Kreuth, H. P.  
*Die Induktivitäten der homopolaren Synchronmaschine im Zweiachsensystem.*  
 ETZ-A 94 (1973), S. 483-487

- [412] Naunin, D.  
*Die Grundgleichungen für das dynamische Verhalten von Drehfeldmaschinen.*  
Wiss. Berichte AEG-Telefunken 43 (1970), H. 3/4, S. 257-266
- [413] Naunin, D.  
*Die Darstellung des dynamischen Verhaltens der Synchronmaschine durch VZ<sub>1</sub>-Glieder.*  
ETZ-A 95 (1974), H. 6, S. 333-338  
(Beschreibt das dynamische Verhalten der Synchronmaschine durch VZ<sub>1</sub>-Glieder.)
- [414] Taegen, F.; Homes, E.  
*Die Gleichungen der Synchronmaschine und ihr mathematisches Modell.*  
Archiv f. Elektrotechnik 56 (1974), S. 194-204
- [415] Waldmann, H.; Weibelzahl, M.; Wolf, J.  
*Ein elektronisches Modell der Synchronmaschine.*  
Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Berichte 1 (1972), Nr. 1

## Reluktanzmaschine

- [416] Acarnlay, P. P.; Hughes, A.  
*Machine/Drive Circuit Interactions in Small Variable-Reluctance Stepping and Brushless DC Motor System.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-35 (1988), S. 67-74
- [417] Akardan, A. A.; Kielgas, B. W.  
*Switched Reluctance Motor Drive Systems Dynamic Performance Prediction and Experimental Verification.*  
IEEE Trans. on EC Vol. EC-9 (1994), No. 1, S. 36-44
- [418] Akardan, A. A.; Kielgas, B. W.  
*Switched Reluctance Motor Drive Systems Dynamic Performance Prediction under Internal and External Fault Conditions.*  
IEEE Trans. on EC Vol. EC-9 (1994), No. 1, S. 45-51
- [419] Backhaus, K.  
*Spannungseinprägendes Direktantriebssystem mit schnellaufender geschalteter Reluktanzmaschine.*  
Dissertation, RWTH Aachen, 1995
- [420] Barrass, P. G.; Mecrow, B. C.  
*Torque Control of Switched Reluctance Drives.*  
Proc. ICEM, Vigo 1996, Vol. I, S. 254-260
- [421] Bausch, H.; Rieke, B.  
*Speed and Torque Control of Thyristor-Fed Reluctance Motors.*  
Proc. ICEM, Wien 1976, Pt. 1, S. I28-1-10
- [422] Bausch, H.; Rieke, B.  
*Performance of Thyristor-Fed Electric Car Reluctance Machines.*  
Proc. ICEM, Brüssel 1978, Pt. 2, E4, S. 2-1-10

- [423] Bausch, H.; Greif, A.; Kanelis, K.; Nickel, A.  
*Torque Control of Battery-Supplied Reluctance Drives for Electric Vehicles.*  
Proc. ICEM, Vigo 1996, Vol. II, S. 229–234
- [424] Bausch, H.; Kanelis, K.  
*Feedforward Torque Control of a Switched Reluctance Motor Based on Static Measurements.*  
ETEP Vol. 7 (1997), No. 6, S. 373–380
- [425] Bausch, H.; Greif, A.; Nickel, A.  
*Performance Characteristics of an EUROPED-Medium SRD for Electric Vehicles.*  
Proc. SPEEDAM, Sorrent (1998), S. B2-1–6
- [426] Bianchi, N.; Bolognani, S.; Zigliotto, M.  
*Prediction of Iron Losses in Switched Reluctance Motors.*  
Proc. PEMC, Budapest 1996, Vol. III, S. 223–228
- [427] Byrne, J. V.; O'Dwyer, J. B.  
*Saturable Variable Reluctance Machine Simulation Using Exponential Functions.*  
Proc. of the Int. Conf. on Stepping Motors and Systems, Univ. of Leeds, 1976, S. 11–16
- [428] Byrne, J. V.; McMullin, M.  
*Design of a Reluctance Motor as a 10 kW Spindle Drive.*  
Motorcon Proceedings, 1982, S. 10–24
- [429] Byrne, J. V.; Lacy, J. G.  
*Characteristics of Saturable Stepper and Reluctance Motors.*  
IEE Conf. Publ. No. 136, Small Electrical Machines (1976), S. 93–96
- [430] Byrne, J. V.; O'Dwyer, J. B.; McMullin, M. F.  
*A High-Performance Variable Reluctance Motor Drive: A New Brushless Servo.*  
Motorcon Proceedings 1985, S. 147–160
- [431] Cameron, D.; Lang, J.; Umans, S.  
*The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable-Reluctance Motors.*  
IEEE Trans. IAS 28 (1992), Nr. 6, S. 1250–1255
- [432] Corda, J.; Masic, S.; Stephenson, J. M.  
*Computation and Experimental Determination of Running Torque Waveforms in Switched Reluctance Motors.*  
IEE Proceedings Vol. 140 (1993), Pt. B, No. 6, S. 387–392
- [433] Davis, R. M.; Ray, W. F.; Blake, R. J.  
*Inverter Drive for Switched Reluctance Motor: Circuits and Component Ratings.*  
Proc. IEE Electric Power Applications Vol. 128 (1981), No. 2, S. 126–136
- [434] El-Khazendar, M. A.; Stephenson, J. M.  
*Analysis and Optimization of the 2-Phase Self-Starting Switched Reluctance Motor.*  
Proc. ICEM, München 1986, Pt. 3, S. 1031–1034

- [435] Ferreira, C.; Jones, W.  
*Detailed Design of a 30 kW Switched Reluctance Starter/Generator for a Gas Engine Application.*  
IEEE–IAS Annual Meeting, Toronto 1993, S. 97–105
- [436] Finch, J. W.; Harris, M. R.; Musoke, A.; Metwally, H.  
*Variable-Speed Drives Using Multi-Tooth per Pole Switched Reluctance Motors.*  
13. Incremental Motion Control Systems Society Symp., Univ. of Illinois (1984), S. 293–302
- [437] Finch, J.; Faiz, J.; Metwally, H.  
*Design Study of Switched Reluctance Motor Performance.*  
IEEE–IAS Annual Meeting, Houston 1992, S. 242–247
- [438] Fulton, N. N.; Lawrenson, P. J.  
*Switched Reluctance Drives for Electric Vehicles: a Comparative Assessment.*  
Proc. of Intelligent Motion Conf. (1993), S. 562–579
- [439] Goldenberg, A. A.; Laniado, I.; Kuzan, P.; Zhou, C.  
*Control of Switched Reluctance Motor Torque for Force Control Applications.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-41 (1994), No. 4, S. 461–466
- [440] Gotovac, S.  
*Geschalteter Reluktanzmotor für Positionierantriebe.*  
Dissertation, Univ. Berlin, 1994
- [441] Harris, M. R.; Andjargholi, V.; Lawrenson, P. J.; Hughes, A.; Ertran, B.  
*Limitations on Reluctance Torque in Doubly-Salient Structures.*  
Proc. of the Int. Conf. on Stepping Motors and Systems, Univ. of Leeds, 1974, S. 158–168
- [442] Harris, M. R.; Hughes, A.; Lawrenson, P. J.  
*Static Torque Production in Saturated Doubly-Salient Machines.*  
IEE Proceedings Vol. 122 (1975), No. 10, S. 1121–1127
- [443] Harris, M. R.; Finch, J. W.; Mallick, J. A.; Miller, T. J. E.  
*A Review of the Integral-Horsepower Switched Reluctance Drive.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-22 (1986), S. 716–721
- [444] Harris, M. R.; Miller T. J. E.  
*Comparison of Design and Performance Parameters in Switched Reluctance and Induction Motors.*  
IEE Conference on Electrical Machines and Drives, London 1989, S. 303–307
- [445] Hayashi, Y.; Miller, T. J. E.  
*A New Approach to Calculating Core Losses in the SRM.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. IA-31 (1995), No. 5, S. 1039–1046
- [446] Hendershot, J. R.  
*Short Flux Paths Cool SR Motors.*  
Machine Design 1998, S. 106–111
- [447] Hutton, A. J.; Miller, T. J. E.  
*Use of Flux-Screens in Switched Reluctance Motors.*  
IEE Fourth Int. Conf. on Electrical Machines and Drives (1991), S. 312–316
- [448] Krishnan, R.; Arumugam, R.; Lindsay, F.  
*Design Procedure for Switched Reluctance Motors.*  
IEEE Trans. IAS Vol. 24 (1988), No. 3, S. 456–460

- [449] Lawrenson, P. J.; Stephenson, J. M.; Blenkinsop, P. T.; Corda, J.; Fulton, N. N.  
*Variable Speed Switched Reluctance Motors.*  
Proc. IEE Electric Power Applications Vol. 127 (1980), No. 4, S. 253–265
- [450] Lawrenson, P. J.  
*Switched Reluctance Drives: A Perspective.*  
Proc. ICEM, Manchester 1992, Vol. I, S. 12–21
- [451] Lawrenson, P. J.  
*A Brief Status Review of Switched Reluctance Drives.*  
EPE Journal 2 (1992), No.3, S. 133–144
- [452] Lovatt, H. C.; Stephenson, J. M.  
*Measurement of Magnetic Characteristics of Switched-Reluctance Motors.*  
Proc. ICEM, Manchester 1992, Vol. 2, S. 465–469
- [453] Lovatt, H. C.; Stephenson, J. M.  
*Influence of the Number of Poles per Phase in Switched Reluctance Motors.*  
IEE Proceedings Vol. 139 (1992), Pt. B, No. 4, S. 307–314
- [454] MacMinn, S.; Jones, W.  
*A Very High Speed Switched Reluctance Starter-Generator for Aircraft Engine Applications.*  
Proceedings of NAECON, Dayton 1998, S. 1758–1764
- [455] Materu, P.; Krishnan, R.  
*Steady-State Analysis of the Variable-Speed Switched Reluctance Motor Drive.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-36 (1989), No. 4, S. 523–529
- [456] Materu, P.; Krishnan, R.  
*Estimation of Switched Reluctance Motor Losses.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-28 (1992), No. 3, S. 668–679
- [457] Miller, T. J. E.  
*Converter Volt-Ampere Requirements of the Switched Reluctance Motor Drive.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-21 (1985), No. 5, S. 1136–1144
- [458] Miller, T. J. E.; Bose, B. K.; Szczensny, P. M.; Bicknell, W. H.  
*Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor.*  
IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-22 (1986), S. 708–715
- [459] Miller, T. J. E.  
*Switched Reluctance Motor Drives.*  
PCIM Reference Book, Intertec Communications Inc., Ventura, California, 1988
- [460] Miller, T. J. E.  
*Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives.*  
Oxford Science Publication, Clarendon Press, Oxford, 1989
- [461] Miller, T. J. E.; McGilp, M.  
*Nonlinear Theory of the Switched Reluctance Motor for Rapid Computer-Aided Design.*  
IEE Proceedings Vol. 137 (1990), Pt. B, No. 6, S. 337–347
- [462] Miller, T. J. E.; Cossar, C.; Anderson, D.  
*A New Control IC for Switched Reluctance Motor Drives.*  
IEE Conf. on Power Electronics and Variable-Speed Drives, London 1990, S. 331–335

- [463] Miller, T. J. E.  
*PC-SRD 4 (CAD-Software for Switched Reluctance Drives)*.  
SPEED Consortium, University of Glasgow, 1991
- [464] Miller, T. J. E.  
*Switched Reluctance Motors and Their Control*.  
Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford 1993
- [465] Miller, T. J. E.; Blaabjerg, F.; Kjer, P. C.; Cossar, C.  
*Efficiency Optimization in Current Controlled Variable-Speed Switched Reluctance Motor Drives*.  
Proc. EPE, Sevilla 1995, S. 3.741–3.747
- [466] Moghbelli, H.; Adams, G.; Hoft, R.  
*Prediction of the Instantaneous and Steady State Torque of the Switched Reluctance Motor Using the Finite Element Method (FEM)*.  
IEEE–IAS Annual Meeting, Pittsburgh 1988, S. 59–70
- [467] Moghbelli, H.; Adams, G.; Hoft, R.  
*Performance of a 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors*.  
IEEE Trans. IAS, Vol. 27 (1991), No. 3, S. 531–537
- [468] Moghbelli, H.; Rashid, M.  
*The Switched Reluctance Motor Drive: Characteristics and Performance*.  
Proc. EPE, Florenz 1991, Vol. 1, S. 398–403
- [469] Nickel, A.  
*Die Geschaltete Reluktanzmaschine als gesteuerte Drehmomentquelle*.  
Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 1998
- [470] Orthmann, R.; Schöner, H. P.  
*Turn-Off Angle Control of Switched Reluctance Motors for Optimum Torque Output*.  
Proc. EPE, Brighton 1993, S. 20–25
- [471] Oza, A. R.; Krishnan, R.; Adkar, S.  
*A Microprocessor Control Scheme for Switched Reluctance Motor Drives*.  
Proc. IECON 1987, S. 448–453
- [472] Panda, S. K.; Amaratunga, G. A. J.  
*Waveform Detection Technique of Indirect Rotor-Position Sensing of Switched Reluctance Motor Drives*.  
IEE Proceedings Vol. 140 (1993), Pt. B, No. 1, S. 80–88
- [473] Ray, W. F.; Davis, R. M.; Blake, R. J.  
*The Control of SR Motors*.  
Conf. on Applied Motion Control, Minneapolis 1986, S. 137–145
- [474] Ray, W. F.; Lawrenson, P. J.; Davis, R. M.; Stephenson, J. M.; Fulton, N. N.; Blake, R. J.  
*High Performance Switched Reluctance Brushless Drives*.  
IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-22 (1986), No. 4, S. 722–730
- [475] Reay, D.; Green, T.; Williams, B.  
*Neural Networks Used for Torque Ripple Minimization from a Switched Reluctance Motor*.  
Proc. EPE, Brighton 1993, Vol. I, S. 1–6

- [476] Reinert, J.  
*Optimierung der Betriebseigenschaften von Antrieben mit geschalteter Reluktanzmaschine.*  
Dissertation, RWTH Aachen, 1998
- [477] Richter, E.  
*Switched Reluctance Machines for High Performance Operations in a Harsh Environment.*  
Proc. of the ICEM, Boston 1990, Vol. 1, S. 18–47
- [478] Richter, E.; Radun, A. V.; Ferreira, C.; Ruckstadtler, E.  
*An Integrated Electrical Starter/Generator System for Gas Turbine Application, Design and Test Results.*  
Proc. ICEM, Paris 1994, Vol. 3, S. 286–291
- [479] Rieke, B.  
*The Microprocessor Control of a Four Phase Star-Connected Multi-Pole Reluctance Motor.*  
Proc. ICEM, Athen 1980, Part. 1, S. 394–401
- [480] Rieke, B.  
*Untersuchung zum Betriebsverhalten stromrichtergespeister Reluktanzantriebe.*  
Dissertation, Hochschule der Bundeswehr München, 1981
- [481] Schenke, T.; Oesingmann, D.  
*Drehmomentwelligkeit von geschalteten Reluktanzmotoren.*  
VDI-Bericht Nr. 1269 (1996), S. 389–398
- [482] Schramm, D.; Williams, B.; Green, T.  
*Optimum Commutation-Current Profile on Torque Linearization of Switched Reluctance Motors.*  
Proc. ICEM, Manchester 1992, Vol. II, S. 484–488
- [483] Steiert, U.  
*Drehmomentsteuerung einer Reluktanzmaschine mit beidseitig ausgeprägten Polen und geringer Drehmomentwelligkeit.*  
Dissertation, Univ. Karlsruhe, 1992
- [484] Steiert, U.; Späth, H.  
*Torque Control of the Doubly-Salient Reluctance Motor.*  
ETEP Vol. 3 (1993), No. 4, S. 265–272
- [485] Stephenson, J. M.; Corda, J.  
*Computation of Torque and Current in Doubly Salient Reluctance Motors from Nonlinear Magnetization Data.*  
IEE Proceedings, Vol. 126 (1979), No. 5, S. 393–396
- [486] Stephenson, J. M.; El-Khazendar, M.  
*Saturation in Doubly Salient Reluctance Motors.*  
IEE Proceedings Vol. 136 (1989), Pt. B, No. 1, S. 50–58
- [487] Stephenson, J. M.; Blake, R. J.  
*The Design and Performance of a Range of General-Purpose SR-Drives from 1 kW to 110 kW.*  
Proc. IEEE-IAS Conf., San Diego 1989, S. 99–107
- [488] Stephenson, J. M.; Lovatt, H. C.  
*Measurement of Magnetic Characteristics of Switched Reluctance Motors.*  
Proc. ICEM, Manchester 1992, Vol. 2, S. 465–469

- [489] Stiebler, M.; Li, R.  
*Calculation of Magnetic Field of a Switched Reluctance Motor Using a Micro-computer.*  
EPEE Vol. 2 (1992), No. 2, S. 97–100
- [490] Stiebler, M.; Ge, J.  
*A Low Voltage Switched Reluctance Motor with Experimentally Optimized Control.*  
Proc. ICEM, Manchester 1992, Vol. II, S. 532–536
- [491] Stiebler, M.  
*Der geschaltete Reluktanzmotor – Eigenschaften und Aussichten.*  
Drives, 1993, S. 385–396
- [492] Sugden, D.; Webster, P.; Stephenson, J. M.  
*The Control of SR Drives: Review and Current Status.*  
Proc. EPE, Aachen 1989, Vol. I, S. 35–40
- [493] Torrey, D. A.; Lang, J. H.  
*Optimal Efficiency Excitation of Variable Reluctance Motor Drives.*  
IEE Proceedings Vol. 138 (1991), Pt. B, Nr. 1, S. 1–14
- [494] van der Broeck, H.; Gerling, D.; Bolte, E.  
*Switched Reluctance Drive and PWM Induction Motor Drive Compared for Low Cost Applications.*  
Proc. EPE, Brighton 1993, S. 71–75
- [495] Wehner, H.-J.  
*Untersuchung eines Antriebs mit geschaltetem Reluktanzmotor.*  
ETG-Fachbericht 47, 1993, S. 207–214
- [496] Wehner, H.-J.  
*Untersuchung der Schwingungsanregung bei geschalteten Reluktanzmotoren.*  
ETG-Fachbericht 57, 1995, S. 137–142
- [497] Wehner, H.-J.  
*Betriebseigenschaften, Ausnutzung und Schwingungsverhalten bei geschalteten Reluktanzmotoren.*  
Dissertation, Univ. Erlangen-Nürnberg, 1997
- [498] Williams, S.; Shaikh, A.  
*Three Dimensional Effects in  $\lambda/i$  Diagrams for Switched Reluctance Motors.*  
Proc. ICEM, Manchester 1992, Vol. II, S. 489–493
- [499] Wolf, J.; Späth, H.  
*Switched Reluctance Motor with 16 Stator Poles and 12 Rotor Teeth.*  
Proc. EPE, Trondheim 1997, Vol. 3, S. 3.558–3.563

## Geberlose Reluktanzmaschine

- [500] Acarnlay, P. P.; Hill, R. J.; Hooper, C. W.  
*Detection of Rotor Position in Stepping and Switched Reluctance Motors by Monitoring of Current Waveforms.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-32 (1985), No. 3, S. 215–222



- [501] Ehsani, M.; Husain, I.; Kulkarni, A. B.  
*Elimination Of Discrete Position Sensor and Current Sensor in Switched Reluctance Motor Drives.*  
IEEE Trans. on Industry Applicatins IA-28 (1992), No. 1, S. 128–135
- [502] Ehsani, M.  
*Position Sensor Elimination Technique for the Switched Reluctance Motor Drive .*  
US Patent Nr. 5072166
- [503] Husain, I.; Ehsani, M.  
*Error Analysis in Indirect Rotor Position Sensing of Switched Reluctance Motors.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-41 (1994), No. 3, S. 301–307
- [504] Lumsdaine, A.; Lang, J. H.; Ballas, M. J.  
*State Observers for Variable Reluctance Motors.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-37 (1990), No. 2, S. 133–142
- [505] MacMinn, S. R.; Rzesos, W. J.; Szczesny, P. M.; Jahns, T. M.  
*Application of Sensorless Integration Techniques to Switched Reluctance Motor Drives.*  
IEEE Trans. on Industry Applicatins IA-28 (1992), No. 6, S. 1339–1344
- [506] Ramani, K. R.; Ehsani, M.  
*New Communication Methods in Switched Reluctance Motors Based on Active Phase Vectors.*  
PESC 1994, S. 493–499

## Linearmotoren

- [507] Anders, M.; Andresen, E.-C.; Binder, A.  
*Ein sphärischer Linearmotor als Direktantrieb eines optischen Infrarotteleskops.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [508] Bauer, R.; Franke, K.-P.  
*Linearantriebe für den vollautomatischen Containerumschlag der Zukunft.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [509] Breil, J.; Oedl, G.; Sieber, B.  
*Gesteuerter Linearantrieb für viele simultan bewegte Objekte.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [510] Budig, P.-K.  
*Drehstromlinearmotoren.*  
Hüthig, Heidelberg, 1977
- [511] Budig, P.-K.  
*Elektrische Linearmotoren – Ihre Anwendung.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999

- [512] Diede, J.; Spyra, J.  
*Technik und Einsatz von Linearmotoren.*  
Antriebstechnik 35 (1996), Nr. 6, S. 37–42
- [513] Eastham, J.  
*Novel Synchronous Machines: Linear and Disk.*  
IEEE Proc., 1990
- [514] Greubel, K.; Helbig, F.; Heinemann, G.; Papiernik, W.  
*Einsatz von Linearantrieben zur Herstellung von Konturenwirkware.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [515] Gutmann, M.  
*Aufbau, Auswahl und Einsatzgebiete von AC-Linearmotoren.*  
Antriebstechnik 36 (1997), Nr. 5, S. 28–32
- [516] Heinemann, G.  
*Linearmotoren: Bauformen und Einsatzbedingungen.*  
Proc. Lineare Direktantriebe für schnelle Maschinen, ADITEC, 1999
- [517] Henneberger, G.  
*Antriebe und Steuerungen.*  
Vorlesungsskript RWTH, 1999
- [518] Henneberger, G.  
*Forschung und Lehre.*  
Institutsbroschüre RWTH, 1999
- [519] Henneberger, G.  
*Linearantriebe für den industriellen Einsatz: Stand der Technik, Entwicklungstendenzen.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [520] Laithwaite, E.  
*A History of Linear Electric Motors.*  
Macmillan, 1987
- [521] Lammers, M.  
*Linears Lead in Ultrasmooth Motion.*  
Machine Design, 1994
- [522] Ohsaki, H.  
*Linear Drives for Industry Applications in Japan.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [523] Rossberg, R. R.  
*Radlos in die Zukunft.*  
Orell Füssli, Zürich, 1983
- [524] Schnurr, B.  
*Regelungs- und Steuerungskonzepte für lineare Direktantriebe.*  
Proc. Lineare Direktantriebe für schnelle Maschinen, ADITEC, 1999
- [525] Schnurr, B.  
*Elektrische Direktantriebstechnik.*  
VDI-Z, Spezial Antriebstechnik, 1999
- [526] Schnurr, B.; Winkler, S.  
*Lineare Direktantriebe: Neue Möglichkeiten im Werkzeugmaschinenbau.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999

- [527] Schnurr, B.  
*Hochdynamische Linearmotoren für moderne Werkzeugmaschinen.*  
Antriebstechnik 39 (2000), Nr. 2, S. 32–35
- [528] Uhl, A.  
*Linearmotoren in Produktionsmaschinen.*  
A&D Kompendium, 1999
- [529] Wahner, U.; Ben Yahia, K.; Weck, M.; Henneberger, G.  
*Optimisation of Linear Magnetic Bearing for Machine Tools.*  
Proc. MOVIC, Zürich, 1998
- [530] Wehner, H.-J.; Wolf, R.  
*Antriebssysteme mit elektrischen Linearmotoren für die Logistik und den Transport von schweren Lasten.*  
Fachtagung Linearantriebe im industriellen Einsatz, ETG-Tage 1999
- [531] MVP: *Magnetbahn Transrapid.*  
Hestra, Darmstadt, 1989
- [532] *Firmendruckschriften:*  
Baumüller, Bautz, Brückner, ETEL, Krauss-Maffei, Maccon/Anorad, Mannesmann, Rexroth/Indramat, NSK-RHP, Oswald, SEW, Siemens, SKF

## Lagerlose Permanentmagnetmotoren

- [533] Amrhein, W.; Silber, S.  
*Bearingless Single-Phase Motor with Concentrated Full Pitch Windings in Interior Rotor Design.*  
Sixth International Symposium on Magnetic Bearings, Cambridge, 1998
- [534] Amrhein, W.; Silber, S.  
*Single Phase PM Motor with Integrated Magnetic Bearing Unit.*  
International Conference on Electrical Machines, Istanbul, 1998
- [535] Amrhein, W.; Silber, S.; Nenninger, K.  
*Levitation Forces in Bearingless Permanent Magnet Motors.*  
International Magnetics Conference, Kyongju, 1999
- [536] Amrhein, W.; Silber, S.; Nenninger, K.  
*Finite Element Design of Bearingless Permanent Magnet Motors.*  
Fifth International Symposium on Magnetic Suspension Technology, Santa Barbara, 1999
- [537] Barletta, N.  
*Der lagerlose Scheibenmotor.*  
Dissertation, ETH Zürich, 1998
- [538] Bichsel, J.  
*Beiträge zum lagerlosen Elektromotor.*  
Dissertation, ETH Zürich, 1990
- [539] Bichsel, J.  
*The Bearingless Electrical Machine.*  
International Symposium on Magnetic Suspension Technology, Hampton, 1991

- [540] Bikle-Kirchhofer, U.  
*Die Auslegung lagerloser Induktionsmaschinen.*  
Dissertation, ETH Zürich, 1999
- [541] Chiba, A.; Chida, K.; Fukao, T.  
*Principles and Characteristics of a Reluctance Motor with Windings of Magnetic Bearings.*  
International Power Electronic Conference IPEC, Tokyo, 1990
- [542] Chiba, A.; Fukao, T.  
*The Maximum Radial Force of Induction Machine Type Bearingless Motor using Finite Element Analysis.*  
Fourth International Symposium on Magnetic Bearings, Zürich, 1994
- [543] Gempp, T.; Schöb, R.  
*Design of a Bearingless Canned Motor Pump.*  
Fifth International Symposium on Magnetic Bearings, Kanazawa, 1996
- [544] Gempp, T.; Gerster, C.; Schöb, R.  
*Arrangement and Method for Operating a Magnetically Suspended Electromotoric Drive Apparatus in the Event of a Mains Disturbance.*  
US Patent 5 917 297, 1996
- [545] Hugel, J.  
*The Vector Method for Determination of Torque and Forces of the Lateral Force Motor.*  
International Power Electronic Conference IPEC, Yokohama, 1995
- [546] Ohishi, T.; Okada, Y.; Dejima, K.  
*Analysis and Design of a Concentrated Wound Stator for Synchronous-Type Levitated Motor.*  
Fourth International Symposium on Magnetic Bearings, Zürich, 1994
- [547] Ooshima M., Chiba A., Fukao T., Rahman A. M.  
*Design and Analysis of Permanent Magnet-Type Bearingless Motors.*  
IEEE Trans. on Industrial Electronics IE-43 (1996), No. 2
- [548] Ooshima, M.; Miyazawa, S.; Deido, T.; Chiba, A.; Nakamura, F.; Fukao, T.  
*Characteristics of Permanent Magnet Type Bearingless Motor.*  
IEEE Trans. on Industry Applications IA-32 (1996), No. 2
- [549] Schöb, R.  
*Beiträge zur lagerlosen Asynchronmaschine.*  
Dissertation, ETH Zürich, 1993
- [550] Schöb, R.; Barletta, N.  
*Principle and Application of a Bearingless Slice Motor.*  
Fifth International Symposium on Magnetic Bearings, Kanazawa, 1996
- [551] Schöb, R.; Bichsel, J.  
*Vector Control of the Bearingless Motor.*  
Fourth International Symposium on Magnetic Bearings, Zürich, 1994
- [552] Schulze, J. O.  
*Dynamisches Modell der Querkraft-Asynchronmaschine.*  
Dissertation, ETH Zürich, 1996

- [553] Silber, S.; Amrhein, W.  
*Bearingless Single-Phase Motor with Concentrated Full Pitch Windings in Exterior Rotor Design.*  
Sixth International Symposium on Magnetic Bearings, Cambridge, 1998
- [554] Silber, S.; Amrhein, W.  
*Design of a Bearingless Single-Phase Motor.*  
PCIM '98 Intelligent Motion, Nürnberg, 1998
- [555] Silber, S.; Amrhein, W.  
*Force and Torque Model for Bearingless PM Motors.*  
International Power Electronics Conference IPEC, Tokyo, 2000
- [556] Zhang, J.  
*Power Amplifier for Active Magnetic Bearings.*  
Dissertation, ETH Zürich, 1995
- [557] Nussbaumer, T.; Raggl, K.; Boesch, P.; Kolar, J.W.  
*Trends in Integration for Magnetically Levitated Pump Systems*  
Power Conversion Conference 2007, PCC '07, Nagoya, Japan, 2.-5. April 2007, Seiten: 1551 - 1558
- [558] Raggl, K.; Kolar, J.W.; Nussbaumer, T.  
*Comparison of winding concepts for bearingless pumps*  
7th International Conference on Power Electronics, ICPE '07, Daegu, Korea, 22.-26. Oktober 2007, Seiten: 1013 - 1020
- [559] Raggl, K.  
*Integrierte lagerlose Pumpsysteme hoher Leistungsdichte*  
Dissertation ETH, Nr. 18252, 2009
- [560] Bartholet, M.  
*Complexity Reduced Bearingless Pump System*  
Dissertation ETH, Nr. 18162, 2008
- [561] Warberger, B.; Kaelin, R.; Nussbaumer, T.; Kolar, J.W.  
*50- Nm/2500-W Bearingless Motor for High-Purity Pharmaceutical Mixing*  
IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 59, Issue: 5, 2012, Seiten: 2236 - 2247
- [562] Reichert, T.; Nussbaumer, T.; Gruber, W.; Kolar, J.W.  
*Design of a novel bearingless permanent magnet motor for bioreactor applications*  
35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics 2009, IECON '09, Porto, Portugal, 3.-5. November 2009, Seiten: 1086 - 1091
- [563] Zurcher, F.; Nussbaumer, T.; Gruber, W.; Kolar, J.W.  
*Design and Development of a 26-Pole and 24-Slot Bearingless Motor*  
IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 45, Issue: 10, 2009, Seiten: 4594 - 4597
- [564] Schneeberger, T.; Nussbaumer, T.; Kolar, J.W.  
*Magnetically Levitated Homopolar Hollow-Shaft Motor*  
IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume: 15, Issue: 1, 2010, Seiten: 97 - 107
- [565] Karutz, P.; Nussbaumer, T.; Gruber, W.; Kolar, J.W.  
*The Bearingless 2-Level Motor*

- 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, PEDS '07, 27.-30. November 2007, Bangkok, Thailand, Seiten: 365 - 371
- [566] Tera, T.; Yamauchi, Y.; Chiba, A.; Fukao, T.; Azizur Rahman, M.  
*Performances of bearingless and sensorless induction motor drive based on mutual inductances and rotor displacements estimation*  
IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 53, Issue: 1, 2005, Seiten: 187 - 194
- [567] Hiromi, T.; Katou, T.; Chiba, A.; Azizur Rahman, M.; Fukao, T.  
*A Novel Magnetic Suspension-Force Compensation in Bearingless Induction-Motor Drive With Squirrel-Cage Rotor*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 43, Issue: 1, 2007, Seiten: 66 - 76
- [568] Suzuki, T.; Chiba, A.; Azizur Rahman, M.; Fukao, T.  
*An air-gap-flux-oriented vector controller for stable operation of bearingless induction motors*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 36, Issue: 4, 2000, Seiten: 1069 - 1076
- [569] Chiba, A.; Akamatsu, D.; Fukao, T.; Azizur Rahman, M.  
*An Improved Rotor Resistance Identification Method for Magnetic Field Regulation in Bearingless Induction Motor Drives*  
IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 55, Issue: 2, 2008, Seiten: 852 - 860
- [570] Takemoto, M.; Chiba, A.; Akagi, H.; Fukao, T.  
*Radial force and torque of a bearingless switched reluctance motor operating in a region of magnetic saturation*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 40, Issue: 1, 2004, Seiten: 103 - 112
- [571] Takemoto, M.; Suzuki, H.; Chiba, A.; Fukao, T.; Azizur Rahman, M.  
*Improved analysis of a bearingless switched reluctance motor*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 37, Issue: 1, 2001, Seiten: 26 - 34
- [572] Takemoto, M.; Chiba, A.; Akagi, H.; Fukao, T.  
*Radial force and torque of a bearingless switched reluctance motor operating in a region of magnetic saturation*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 40, Issue: 1, 2004, Seiten: 103 - 112
- [573] Ooshima, M.; Chiba, A.; Rahman, A.; Fukao, T.  
*An improved control method of buried-type IPM bearingless motors considering magnetic saturation and magnetic pull variation*  
IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume: 19, Issue: 3, 2004, Seiten: 569 - 575

- [574] Asama, J.; Amada, M.; Tanabe, N.; Miyamoto, N.; Chiba, A.; Iwasaki, S.; Takemoto, M.; Fukao, T.; Rahman, M.A.  
*Evaluation of a Bearingless PM Motor With Wide Magnetic Gaps*  
IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume: 25, Issue: 4, 2010, Seiten: 957 - 964
- [575] Ooshima, M.  
*Analyses of Rotational Torque and Suspension Force in a Permanent Magnet Synchronous Bearingless Motor with Short-pitch Winding*  
IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, Florida, USA, 24.-28. Juni 2007, Seiten: 1 - 7
- [576] Amemiya, J.; Chiba, A.; Dorrell, D.G.; Fukao, T.  
*Basic characteristics of a consequent-pole-type bearingless motor*  
IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 41, Issue: 1, Part: 1, 2005 , Seiten: 82 - 89
- [577] Asano, Y.; Mizuguchi, A.; Amada, M.; Asama, J.; Chiba, A.; Ooshima, M.; Takemoto, M.; Fukao, T.; Ichikawa, O.; Dorrell, D.G.  
*Development of a Four-Axis Actively Controlled Consequent-Pole-Type Bearingless Motor*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 45, Issue: 4, 2009, Seiten: 1378 - 1386
- [578] Sugimoto, H.; Kamiya, K.; Nakamura, R.; Asama, J.; Chiba, A.; Fukao, T.  
*Design and Basic Characteristics of Multi-Consequent-Pole Bearingless Motor With Bi-Tooth Main Poles*  
IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 45, Issue: 6, 2009, Seiten: 2791 - 2794
- [579] Asama, J.; Nakamura, R.; Sugimoto, H.; Chiba, A.  
*Evaluation of Magnetic Suspension Performance in a Multi-Consequent-Pole Bearingless Motor*  
IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 47, Issue: 10, 2011, Seiten: 4262 - 4265
- [580] Gruber, W.; Amrhein, W.; Haslmayr, M.  
*Bearingless Segment Motor With Five Stator Elements-Design and Optimization*  
IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 45, Issue: 4, 2009, Seiten: 1301 - 1308
- [581] Gruber, W.; Silber, S.; Amrhein, W.; Nussbaumer, T.  
*Design variants of the bearingless segment motor*  
International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), Pisa, Italien, 14.-16. Juni 2010, Seiten: 1448 - 1453
- [582] Gruber, W.; Nussbaumer, T.; Grabner, H.; Amrhein, W.  
*Wide Air Gap and Large-Scale Bearingless Segment Motor With Six Stator Elements*  
IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 46, Issue: 6, 2010, Seiten: 2438 - 2441

- [583] Stallinger, T.; Gruber, W.; Amrhein, W.  
*Bearingless segment motor with a consequent pole rotor*  
IEEE International Electric Machines and Drives Conference 2009. IEMDC '09, Miami, Florida, 3.-6. Mai 2009, Seiten: 1374 - 1380
- [584] Mitterhofer, H.; Andessner, D.; Amrhein, W.  
*Analytical and experimental loss examination of a high speed bearingless drive*  
International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), Sorrento, Italien, 20.-22. Juni 2012, Seiten: 146 - 151
- [585] Mitterhofer, H.; Amrhein, W.  
*Design aspects and test results of a high speed bearingless drive*  
IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS), Singapore, 5.-8. Dezember 2011, Seiten: 705 - 710
- [586] Mitterhofer, H.; Amrhein, W.  
*Motion control strategy and operational behaviour of a high speed bearingless disc drive*  
6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), Bristol, England, 27.-29. März 2012, Seiten: 1 - 6
- [587] Silber, S.; Amrhein, W.; Bosch, P.; Schob, R.; Barletta, N.  
*Design aspects of bearingless slice motors*  
IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume: 10, Issue: 6, 2005, Seiten: 611 - 617
- [588] Grabner, H.; Amrhein, W.; Silber, S.; Gruber, W.  
*Nonlinear Feedback Control of a Bearingless Brushless DC Motor*  
IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume: 15, Issue: 1, 2010, Seiten: 40 - 47
- [589] Bauer, W.; Amrhein, W.  
*Design and sizing relations for a novel bearingless motor concept*  
International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Peking, China, 20.-23. August 2011, Seiten: 1 - 6
- [590] Silber, S.; Amrhein, W.; Grabner, H.; Lohninger, R.  
*Design Aspects of Bearingless Torque Motors*  
The 13th International Symposium on Magnetic Bearings, Arlington, Virginia, USA, 6.-9. August 2012, Seiten: 1-6
- [591] Gruber, W.; Bauer, W.; Amrhein, W.; Schoeb, Reto T.  
*Betrachtungen zum lagerlosen Flux-Switching Scheibenläufermotor*  
9. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz, Chemnitz, Deutschland, 2.-3. September 2013

## Kleinantriebe

- [592] BünGENER, W.  
*Prüfung und Beurteilung der Positions- und Schrittwinkelabweichungen von Hybridschrittmotoren.*  
Dissertation, Univ. Kaiserslautern, 1995



- [593] Duane, C.; Hanselmann  
*Brushless Permanent-Magnet Motor Design.*  
McGraw-Hill, New York 1994
- [594] Hendershot Jr., J. R.; Miller, T. J. E.  
*Design of Brushless Permanent-Magnet Motors.*  
Magna Physics Publ., Hillsboro (Ohio) 1994
- [595] Kenjo, T.; Sugawara, A.  
*Stepping Motors.*  
Claredon Press, Oxford 1994
- [596] Kreuth, H.  
*Schrittmotoren.*  
Oldenbourg Verlag, München, Wien 1988
- [597] Maas, S.; Weis, H.-P.; Nordmann, R.  
*Auslegung eines Schrittmotorantriebs mit einem Modell hoher Ordnung.*  
Antriebstechnik 35 (1996), Nr. 7, S. 52–54 und Nr. 8, S. 57–60
- [598] Moczala, H.  
*Elektrische Kleinmotoren.*  
Expert Verlag, Ehingen 1987
- [599] Morales Serrano, F. J.  
*Ein Beitrag zur sensorlosen Ansteuerung von Mehrphasen-Schrittmotoren.*  
Dissertation, TU Berlin, 1994
- [600] Obermeier, C.  
*Modellbildung und sensorlose Regelung von Hybridschrittmotoren.*  
Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8, Nr. 725,  
VDI Verlag, Düsseldorf 1998
- [601] Prautzsch, F.  
*Schrittmotor-Antrieb.*  
Handbuch, Escap, 1995
- [602] Richter, C.  
*Elektrische Stellantriebe kleiner Leistung.*  
VDE-Verlag, Berlin 1988
- [603] Rummich, E.  
*Elektrische Schrittmotoren und -antriebe.*  
Expert Verlag, Renningen-Malmsheim 1995
- [604] Schörlin, F.  
*Mit Schrittmotoren steuern, regeln und antreiben.*  
Franzis-Verlag, Poing 1995
- [605] Schörlin, F.  
*Mikroschrittansteuerung für Schrittmotoren.*  
Antriebstechnik 36 (1997), Nr. 1, S. 35–36
- [606] Sokira, T. J.; Jaffe, W.  
*Brushless DC Motors.*  
TAB Books, Blue Ridge Summit 1989
- [607] Stemme, O.; Wolf, P.  
*Wirkungsweise und Eigenschaften hochdynamischer Gleichstrom-Kleinstmotoren.*  
Techn. Veröffentlichung, Maxon Motor, Sachseln (Schweiz) 1994

- [608] Stölting, H.; Beisse, A.  
*Elektrische Kleinmaschinen.*  
Teubner, Stuttgart 1987
- [609] *Innovative Kleinantriebe.*  
VDI-Berichte 1269, VDI-Verlag, Düsseldorf 1996

# Stichwortverzeichnis

- Aligned Position, 430
- Analogie thermisch–elektrisch, 55
- Analogie Translation–Rotation, 9
- Anfahrvorgang, 50, 190
  - I–Umrichter, 570
  - in Stufen, 50, 51, 190
  - Stromrichtermotor, 558
- Ankerkreis Grundgleichung, 156
- Ankerstellbereich, 184, 185, 188, 197, 247, 331, 332, 338–340, 342, 345, 350–352, 355, 356, 395, 401, 403, 404, 538
- Ankerstrombegrenzung, 267
- Ankerstromumkehr, 250, 251
- Ankerumschaltung, 251
- Ankerzeitkonstante, 158, 161
- Anlaufzeit, 61
- Anregelzeit, 232, 266
- Antiparallelschaltung, 251
- Antriebsanordnungen, 9
- Antriebsmaschine, 28
  - asynchrones Verhalten, 32
  - Nebenschlußverhalten, 32
  - stationäres Verhalten, 31
  - synchrones Verhalten, 33
- Antriebsmoment, 17, 18
- aperiodisches Verhalten, 177
- Arbeitsbereich–Grenzen, 197
- Arbeitsbereiche, 197, 199, 329
- Arbeitsmaschine, 28
  - stationäres Verhalten, 28
  - Widerstandsmoment, 28
- Arbeitspunkt, 179, 181
- ASCR, 212
- ASM, *siehe* Asynchronmaschine
- Asynchron–Linearmotor, 455, 456, 459, 464
  - asynchrones Verhalten, 32
  - Asynchronmaschine, 32, 277, 278, 284, 294
    - Ankerstellbereich, 331, 332, 338–340, 342, 345, 350–352, 355, 356, 538
    - Arbeitsbereich, 329
    - Blondelscher Streukoeffizient, 314, 326, 334
    - Differenzgeschwindigkeit, 297
    - direkte Feldorientierung, 612
    - doppeltgespeiste Asynchronmaschine, 550
    - Drehmoment, 297, 312, 314, 325, 327, 340, 347, 353, 356, 460
    - Drehzahl–Drehmoment–Kennlinien, 36, 297, 326–330, 332, 546
    - Drehzahlregelung, 549, 576, 577, 585, 610, 613, 615
    - Entkopplung, 608
    - Entkopplungsnetzwerk, 608, 609
    - Ersatzschaltbild, 333, 334, 458, 576
    - feldorientierte Drehzahlregelung, 613
    - Feldschwächbereich, 331, 332, 338, 339, 342, 349, 356, 538
    - Flußmaximum, 298
    - Flußverkettungsgleichungen, 311
    - Hauptinduktivität, 333
    - Heylandkreis, 336, 337
    - I–Umrichter, 338, 564
    - indirekte Feldorientierung, 612, 614, 615
    - induktives Verhalten, 297
    - Kippmoment, 328–330, 332, 341, 342
    - Kippschlupf, 327, 329, 330
    - Kippunkt, 328
    - Klemmenspannungsregelung, 576

- Kloss'sche Gleichung, 328, 329
- Koordinatensysteme, 306
- Koordinatentransformation, 305, 312, 320, 322, 610, 613
- Koordinatenwandlung, 610, 613
- Kreisdiagramm, 334, 336, 337, 459
- Kurzschlußläufermaschine, 310, 311, 321, 323, 325, 342, 344, 350, 546, 547
- Kurzschlußläufer, 290
- lagerlose Asynchronmaschine, 472
- Leerlaufdrehzahl, 327
- linearisierte Kennlinie, 329
- Linearmotor, 455, 456, 459, 464
- Luftspalt, 302
- Luftspaltflußorientierung, 338
- Luftspaltmoment, 312, 314
- Magnetfeld, 302
- Magnetisierungskennlinie, 305, 309
- Magnetisierungsstrom, 334
- Nebenschlußverhalten, 329, 330, 340, 343
- Netzbetrieb, 325, 331, 339, 340
- Polpaarzahl, 302, 326
- Polumschaltung, 330
- Querkraft-Asynchronmaschine, 472
- Rotorflußorientierung, 338, 350, 359, 612
- Rotorstrommaximum, 298
- Rotorvorwiderstand, 330, 546
- Sättigung, 309, 331
- Schleifringläufermaschine, 311, 321, 323, 330, 545
- Schleifringläufermaschine, 546
- Schlupf, 327, 334
- Schlupf-Strom-Kennlinienregelung, 577
- Schlupfleistung, 547
- Schubkraft, 460
- Signalflußplan, 319, 323, 346, 347, 349, 351, 352, 357–359
- Spannungseinprägung, 344, 350
- Spannungsgleichungen, 311
- stationäre Kennlinien, 345, 355
- stationärer Betrieb, 325
- Statorflußorientierung, 326, 338, 339
- Steuerbedingungen, 338, 340, 348, 350, 353
- Steuerverfahren, 339, 350
- Stillstandsspannung, 547
- Streuinduktivität, 333, 334, 342
- Streukoeffizient, 314, 326, 334
- Stromeinprägung, 347, 356
- Stromortskurve, 334, 337, 459
- Stromregelung, 359
- synchrone Drehzahl, 327
- U-Umrichter, 338, 342, 585
- übersynchrone Drehzahl, 299
- Umrichterspeisung, 316, 325, 330–332, 338–341, 344
- Untersynchrone Stromrichter-kaskade, 545
- Verschiebungsfaktor, 461
- Wicklungsachse, 303
- Wicklungsfaktor, 302
- Windungszahl, 302
- Wirkungsgrad, 461
- Zeigerdiagramm, 345, 354, 574, 576
- atomare magnetische Dipole, 96
- Aufstellungshöhe, 72
- Ausschaltentlastung, 211
- Ausschaltwinkel, 438, 451
- Ausschaltzeit, 208
- Aussetzbetrieb, 63, 66
- Axiallager, 470
- B6-Schaltung, 240
- Bahnantriebe, 3
- Bearingless Motor, 470
- Begrenzungskennlinien, 513
- Belüftung, 73
- Bemessung
  - Antriebsmaschine, 41
  - Arbeitsmaschine, 40
  - Bemessungsbetrieb, 72
  - Bemessungsdaten, 61
  - Bemessungsfrequenz, 79
  - Bemessungsleistung, 76
  - Bemessungsspannung, 76, 79
  - Beruhigungszeit, 513, 529
  - Beschleunigungsmoment, 18, 512, 535
  - Bestromungstabelle, 522, 530
  - Betragsoptimum, 232, 264, 273
  - Betriebsarten, 59, 61
    - Aussetzbetrieb, 63, 66
    - Bemessungsbetrieb, 72

- Dauerbetrieb, 62, 77
- Kurzzeitbetrieb, 62
- Mittelwertbetrieb, 69
- nichtperiodischer Betrieb, 68
- periodischer Betrieb, 66
- unterbrochener Betrieb, 66
- ununterbrochener Betrieb, 66
- Betriebsfrequenz, 514
- Betriebsgrenzfrequenz, 514
- Betriebsgrenzmoment, 513, 518, 536
- Betriebskennlinien, 458
- Betriebszeit, 61
- Bewegungsdifferentialgleichung, 18
- Bewegungsgleichung, 525, 532
- Bewegungsinduktion, 154, 293
- Bewegungsinduktions Grundgleichung, 154
- Bewegungsvorgang, 21
  - analytische Behandlung, 21
  - graphische Behandlung, 24
  - numerische Lösung, 27
- Bezugswerte, 371, 373, 383, 387
- Bipolar-Leistungstransistor, 210
- Blindleistung, 244
- blindleistungssparende Schaltungen, 245
- Blockbetrieb, 438, 441, 444
- Blondelscher Streukoeffizient, 314, 326, 334
- BO, *siehe* Betragsoptimum
- Bohrsches Atommodell, 95
- Boost-Wandler, 217
- Brechungsgesetz, 134
- Bremszeit, 61
- Buck-Wandler, 217
- bürstenlose Antriebe, 469
- Bürstenreibung, 57
  
- Capacitor Clamped VSI, 602
- Cascaded MVSI, 604
- Cascaded VSI, 604
- Contiflux-Verfahren, 259
- Coulombkraft, 292
  
- Dämpferwicklung, 365, 382, 386
- Dämpfung, 525, 529
- Dämpfungsfaktor, 177, 526
- Dämpfungszeitkonstante, 512, 526
- Dauerbetrieb, 62, 77
- DC-DC-Wandler, *siehe* Gleichstromsteller
- Dichtheit, 469
- Differenzdrehzahl, 296
- Diode Clamped VSI, 601
- Direktantrieb, 409, 455
- direkte Feldorientierung, 612
- Direktumrichter, 539
  - Einsatzgebiet, 542
  - Matrix-Umrichter, 543
  - Matrix-Umrichter, 543
  - Regelung, 542
  - Schaltungsvarianten, 541
- Doppelkamm-Lineararmotor, 455
- doppeltgespeiste Asynchronmaschine, 550
- Drehfeld, 279, 291
- Drehfeldleistung, 458, 460
- Drehfeldmaschine, 277, 278, 309
  - Drehmoment, 312, 314
  - Flußverkettungsgleichungen, 311
  - Koordinatensysteme, 306
  - Koordinatentransformation, 305, 312
  - Luftspaltmoment, 312, 314
  - Regelung, 607
  - Signalfußplan, 319
  - Spannungsgleichungen, 311
- Drehmoment, 157, 325, 327, 340, 347, 353, 356, 369, 382, 425, 433, 434, 436, 458, 460, 472, 508, 509, 525, 530, 562
  - Antriebsmoment, 17, 18
  - Beschleunigungsmoment, 18, 512, 535
  - Betriebsgrenzmoment, 513, 518, 536
  - Drehmomentberechnung, 480
  - Drehmomentbilanz, 17, 18
  - Drehmomentpendelungen, 559
  - Drehmomentsteuerung, 451–454
  - Drehmomentumkehr, 250
  - Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien, 32, 35, 185, 187, 188, 326–330, 332, 546
  - Fortschaltmoment, 512, 513
  - Haltemoment, 510, 513, 527
  - Kippmoment, 328–330, 332, 341, 342
  - Lastmoment, 511–513
  - Luftspaltmoment, 17, 312, 314
  - Reibmoment, 17
  - Selbsthaltemoment, 501, 504, 510

- Widerstandsmoment, 17, 18
- Drehoperator, 303
- Drehschwingungen, 525
- Drehstrom-Brückenschaltung, 240, 554
- Drehstrom-Sollwertquelle, 542
- Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien, 32, 35, 185, 187, 188, 326–330, 332, 546
- Drehzahlbereich, 469
- Drehzahlregelung, 615
- Asynchronmaschine, 549, 576, 577, 585, 610, 613, 615
- Gleichstrom-Hauptschlußmaschine, 204
- Gleichstrommaschine, 229, 265
- I-Umrichter, 576, 577
- Klemmenspannungsregelung, 576
- lagerlose Permanentmagnetmotoren, 492
- Reluktanzmotor, 448
- Schlupf-Strom-Kennlinienregelung, 577
- Stromrichtermotor, 562
- Synchronmaschine, 562
- U-Umrichter, 585
- USK, 549
- Drehzahlsteuerung, 184
- Drei Finger Regel, 94
- Dreieck-Rechteck-Modulation, 592
- Dreieck-Sinus-Modulation, 591
- Dreifachtaktung, 590, 591
- Dreiphasen-Brückenschaltung, 240
- Dreiphasen-Mittelpunktschaltung, 234
- Dreipunkt-Wechselrichter, 600, 601, 606
- Durchflutungsgesetz, 90
- Durchzugsbelüftung, 75
- dynamisches Grundgesetz, 10
- Eigenfrequenz, 512, 525, 526
- Eigeninduktivität, 296
- Eigenkreisfrequenz, 512, 526
- Eigenkühlung, 74
- Ein-Massen-System, 177
- Einschaltdauer, 61
- Einschaltentlastung, 211
- Einschaltwinkel, 438, 451
- Einschaltzeit, 208
- Einzelkamm-Linearmotor, 455
- Einzelschritt, 511, 512
- Eisenverluste, 57, 58
- elektronisch kommutierte Gleichstrommaschine, 537
- EMK-Aufschaltung, 231, 264
- Energie-Umwandlungsfaktor, 439
- Energiesatz, 16
- Entkopplung, 607, 608
- Entkopplungsnetzwerk, 394, 608, 609
- Entlastungsschaltungen, 211
- Ausschaltentlastung, 211
- Einschaltentlastung, 211
- RCD-Schutzbeschaltung, 211
- Erregerinduktion, 412
- Erregerstromumkehr, 250, 255
- Erregerverluste, 57
- Erregerzeitkonstante, 165
- Ersatz-Übertragungsfunktion, 265, 266
- Ersatzschaltbild
- Asynchronmaschine, 333, 334, 458, 576
- Schrittmotor, 516
- Synchron-Schenkelpolmaschine, 380, 381
- Synchron-Vollpolmaschine, 392, 393
- Erwärmung, 44, 52
- Erwärmungsprüfung, 76
- Erwartungswert, 230
- F-Thyristor, 212
- Faltung, 158
- FCT, 210
- Feldbilddarstellungen, 421
- feldorientierte Drehzahlregelung, 613
- feldorientierte Regelung, 394, 462, 490, 607, 612
- direkte Feldorientierung, 612
- Drehzahlregelung, 613, 615
- indirekte Feldorientierung, 612, 614, 615
- Koordinatenwandlung, 613
- Rotorflußorientierung, 612
- sensorlose Regelung, 616
- Strommodell, 615
- Vektordreher, 614
- Feldorientierung, 607
- Feldschwäcbereich, 186, 188, 198, 249, 268, 331, 332, 338, 339, 342, 349, 356, 395, 405, 538

- Feldschwächung, 179, 491  
 Feldstellbereich, *siehe* Feldschwächbereich  
 Feldstromumkehr, 250, 255  
 ferromagnetische Materialien, 100  
 Flachmagnet-Anordnung, 410, 414, 415  
 Flüssigkeitskühlung, 75  
 Fluß-Strom-Kennlinien, 431  
 Fortschaltmoment, 512, 513  
 Fortschaltewinkel, 508  
 Fourier-Analyse, 244  
 Fourier-Koeffizienten, 478  
 Frässpindeltrieb, 469  
 Fremdkühlung, 74  
 Frequenzgrenze, 78  
 Frequenzrampe, 533  
 Führungs-Übertragungsfunktion, 176, 232, 265, 266, 273  
 Führungsglättung, 267  
 Führungsverhalten, 271  
 Fünfpunkt-Wechselrichter, 604
- Gaskühlung, 75  
 GATT, 212  
 GCT, 210  
 Gegeninduktivität, 368  
 Gegenparallelschaltung, 251  
 Gegensystem, 76  
 Generatorbetrieb, 396  
 Gesamtwirkungsgrad, 423  
 geschaltete Reluktanzmaschine, 425, 455
  - Aligned Position, 430
  - Aufbau, 428
  - Ausschaltwinkel, 438, 451
  - Betriebsbereiche, 438
  - Betriebsverhalten, 430
  - Blockbetrieb, 438, 441, 444
  - Drehmomentsteuerung, 451–454
  - Drehmomentverlauf, 433, 434, 436, 444, 445
  - Drehzahlregelung, 448
  - Einschaltwinkel, 438, 451
  - Energie-Umwandlungsfaktor, 439
  - Energieumwandlung, 439
  - Fluß-Strom-Kennlinien, 431
  - Gleichstromsteller, 442
  - Grenzdrehzahl, 438
  - Hard Chopping, 437, 445
  - Induktivität, 436
  - Leistungsfaktor, 439
  - magnetische Energie, 431
  - magnetische Koenergie, 432
  - Pulsbetrieb, 433, 437, 438, 444
  - Pulsweitenmodulation, 443
  - Regelung, 448
  - rotatorische Spannung, 430, 444
  - Rotorlagegeber, 429, 448–450
  - Rotorzähne, 429
  - Schaltwinkel, 438, 443, 449, 451
  - Schrittwinkel, 429
  - Selbsterregung, 444
  - Soft Chopping, 437, 445
  - Statorzähne, 429
  - Steuerung, 448
  - Stromregelung, 443
  - Stromrichterschaltungen, 442
  - Stromverlauf, 433, 444, 445
  - Unaligned Position, 430
  - ungesättigte Maschine, 436
  - Zahnzahl, 429
  - Zweipunktregelung, 443, 445
- Geschwindigkeit, 456  
 Getriebe, 13  
 Gleichgewichtslage, 508  
 Gleichrichterbetrieb, 235, 240  
 Gleichspannungs-Zwischenkreis, 580  
 Gleichstrom-Nebenschlußmaschine, *siehe* Gleichstrommaschine  
 Gleichstrom-Hauptschlußmaschine, 200
  - Kennlinien, 202–204
  - Normierung, 201
  - Regelung, 204
  - Signalfußplan, 204
- Gleichstrom-Reihenschlußmaschine, *siehe* Gleichstrom-Hauptschlußmaschine  
 Gleichstrom-Zwischenkreis, 545, 551  
 Gleichstrommaschine, 32, 34, 80, 157
  - Anfahrvorgang, 190
  - Ankerkreis, 157, 173
  - Ankerkreis Grundgleichung, 156
  - Ankerstellbereich, 184, 185, 188, 197, 247
  - Ankerstrombegrenzung, 267
  - Ankerstromumkehr, 250, 251

- Ankerumschaltung, 251
- Ankerzeitkonstante, 158, 161
- aperiodisches Verhalten, 177
- Arbeitsbereich-Grenzen, 197
- Arbeitsbereiche, 197, 199
- atomare magnetische Dipole, 96
- bei Stromeinprägung, 195
- Betriebsbereiche, 247
- Bewegungsinduktion, 154
- Bewegungsinduktions Grundgleichung, 154
- Bohrsches Atommodell, 95
- Brechungsgesetz, 134
- Contiflux-Verfahren, 259
- Drehmomentumkehr, 250
- Drehrichtungsumkehr, 254, 255
- Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien, 35, 185, 187, 188
- Drehzahlregelung, 229, 265
- Drehzahlsteuerung, 184
- Drei Finger Regel, 94
- Durchflutungsgesetz, 90
- elektronisch kommutierte Gleichstrommaschine, 537
- EMK-Aufschaltung, 231, 264
- Erregerkreis, 163, 174
- Erregerstromumkehr, 250, 255
- Erregerzeitkonstante, 165
- Feldkreis, 163
- Feldschwächbereich, 186, 188, 198, 249, 268
- Feldschwächung, 179
- Feldstellbereich, *siehe* Feldschwächbereich
- Feldstromumkehr, 250, 255
- ferromagnetische Materialien, 100
- Fluß, 118
- fremderregte Gleichstrommaschine, 157
- Führungs-Übertragungsfunktion, 176
- Führungsverhalten, 176
- Grundgleichungen, 138
- hartmagnetisches Material, 105
- Hochlauf bei Strombegrenzung, 267
- Hysteresekurve, 103
- Kaskadenregelung, 229, 261
- Kennlinien, 187
- Kennlinienfeld, 188, 190
- Kleinsignalverhalten, 166
- Kommutator, 143
- Lastsprung, 180
- Lastverhalten, 179
- Lenzschen Regel, 90
- Linearisierung, 166, 179, 181
- Lorentzkraft, 94
- Luftspalt, 109
- Luftspaltfeld, 141
- magnetfeldbündelnde Wirkung, 107
- Magnetische Feldstärke, 90
- Magnetische Feldtheorie, 81
- Magnetische Flussdichte, 94
- magnetischer Kreis, 114, 139
- magnetischer Längszug, 121
- magnetischer Querdruck, 121
- Magnetisierung, 99
- Magnetisierungskennlinie, 164
- Maschinenkonstante, 147, 154
- Maxwellsche Flächenspannungen, 122
- Mechanik Grundgleichung, 152
- mit Vorwiderstand, 189
- Momenten Grundgleichung, 147
- Nennwerte, 160
- Neukurve, 104
- nicht ferromagnetischen Materialien, 100
- Normierung, 160, 165, 168, 173, 174
- Nuten, 148
- Oberflächenstrom, 109
- Physikalisches Funktionsprinzip, 138
- Quellenfreiheit, 107
- Rechtsschrauben Regel, 91
- Regelung, 206, 229, 261
- Segmentspannung, 197
- Signalflußplan, 157, 160, 163, 169–171, 176, 181, 183, 231, 263, 264, 266
- Spannungsumschaltung, 194
- stationäres Verhalten, 187
- Stegspannung, 197
- Stellglieder, 206
- stetige Feldumkehr, 259
- Steuerung durch Vorwiderstände, 189
- Stillstandszeitkonstante, 177, 189
- Stör-Übertragungsfunktion, 179
- Strecken-Übertragungsfunktion, 231
- Stromregelung, 229, 231, 262



- Trägheits-Nennzeitkonstante, 162
- Übergangsverhalten, 176
- un stetige Feldumkehr, 259
- Vorwiderstand, 191
- weichmagnetisches Material, 104
- Weissche Bezirke, 101
- Wirbelströme, 167, 169
- Wirkungsgrad, 160
- Zweipunkt-Hysterese-Regelung, 214, 229
- Gleichstromsteller, 207, 442, 519, 529, 530
  - Ausschaltentlastung, 211
  - Ausschaltzeit, 208
  - Boost-Wandler, 217
  - Buck-Wandler, 217
  - Ein-Quadrant-Schaltung, 219, 221
  - Einschaltentlastung, 211
  - Einschaltzeit, 208
  - Entlastungsschaltungen, 211
  - Hochsetzsteller, 217
  - Pulsfolgesteuerung, 212, 229
  - Pulsweitensteuerung, 212, 229
  - RCD-Schutzbeschaltung, 211
  - Steuerverfahren, 212, 223, 224, 226
  - Tastgrad, 209
  - Tiefsetzsteller, 208, 217
  - Träger-Schaltung, 211
  - Vier-Quadrant-Schaltung, 226
  - Wartezeit, 230
  - Zwei-Quadrant-Schaltung, 222
  - Zweipunkt-Hysterese-Regelung, 214
- GM, *siehe* Gleichstrommaschine
- GNM, *siehe* Gleichstrom-Nebenschlußmaschine
- Grenzdrehzahl, 438
- Grenzkennlinien, 513
- Grundfrequenztaktung, 581, 582, 595
- Grundsicherungs-Blindleistung, 244
- Grundsicherungs-Scheinleistung, 244
- Grundsicherungs-Wirkleistung, 243
- Grundwelle, 282, 287
- Grundwellenfelder, 368
- GTO, 210
- Halbschrittbetrieb, 504, 505, 519, 520, 523, 527
- Haltemoment, 510, 513, 527
- Hard Chopping, 437, 445
- hartmagnetisches Material, 105
- Hauptfeldspannung, 381, 393
- Hauptinduktivität, 333, 368
- Heylandkreis, 336, 337
- Hochlauf bei Strombegrenzung, 267
- Hochsetzsteller, 217
- HY-Schrittmotor, 505, 506, 526
- Hybrid-Schrittmotor, 505, 506
- Hysterese-Regelung, 214, 229, 530
- Hysteresekurve, 103
- I-Umrichter, 338, 342, 564
  - Anfahren, 570
  - I-Umrichter mit sinusförmigen Maschinenströmen, 578
  - Klemmenspannungsregelung, 576
  - Kommutierung, 566
  - Kommutierungs-Schwingkreis, 568
  - Phasenfolgelöschung, 564
  - Pulsbetrieb, 570
  - Pulsmuster, 570
  - Regelung, 575
  - Schlupf-Strom-Kennlinienregelung, 577
  - Weiterentwicklungen, 577
- IGBT, 210
- IGCT, 210
- Imbricated Cell Multilevel VSI, 602
- indirekte Feldorientierung, 612, 614, 615
- Induction machine, 279
- Induktionsmaschine, 277
  - lagerlose Induktionsmaschine, 472
- Induktionsspannung, 293, 294
- induktiver Gleichspannungsabfall, 238
- Isolation, 77, 79
- Käfig, 291, 294
- Kaskadenregelung, 229, 261, 463
- Kennlinienfeld, 41, 42, 190
- kinetische Energie, 48
- Kippmoment, 328–330, 332, 341, 342
- Kippmoment, Asynchronmaschine
  - Kippmoment, 297
- Kippschlupf, 327, 329, 330
- Kippunkt, 328
- Klauenpol-Schrittmotor, 504
- Kleinantriebe, 499

- Kleinmotoren, 499
- Kleinsignalverhalten, 166
- Klemmenspannungsregelung, 576
- Kloss'sche Gleichung, 328, 329
- Koenergie, 432, 474
- Koinzidenzstellung, 503, 508, 537
- Kommutator, 143
- Kommutierung
  - induktiver Gleichspannungsabfall, 238
  - Kommutierungs-Schwingkreis, 568
  - Kommutierungsbedingung, 562
  - lastgeführte Kommutierung, 537, 552, 554
  - netzgeführte Kommutierung, 236
  - Phasenfolgelöschung, 566
  - selbstgeführte Kommutierung, 566, 581
  - Überlappungswinkel, 237, 555, 557, 606
- Kommutierungsbedingung, 562
- Kompressoren, 469
- Konstanzspannungstreiber, 517
- Konstantstromtreiber, 519, 529
- Konvektion, 52
- Koordinatensysteme, 306, 366
- Koordinatentransformation, 305, 312, 320, 322, 376, 377, 610, 613
- Koordinatenwandlung, 610, 613
- Kopplungsfaktor, 372
- Kopplungsinduktivität, 371, 373
- Kraftberechnung, 481
- Kraftdichte, 411, 420, 422
- Kraftdichte-Gleichungen, 413
- Kraftortskurve, 485
- Kreisdiagramm, 334, 336, 337, 459
- Kreislaufkühlung, 75
- kreisstromarme Umkehrstromrichter, 254
- kreisstrombehaftete Umkehrstromrichter, 251
- kreisstromfreie Umkehrstromrichter, 251
- Kreuzschaltung, 251
- Kühlmittel, 72, 75
- Kühlmitteltemperatur, 72
- Kühlung, 73
  - Durchzugsbelüftung, 75
  - Eigenkühlung, 74
  - Flüssigkeitskühlung, 75
  - Fremdkühlung, 74
  - Gaskühlung, 75
  - Kreislaufkühlung, 75
  - Kühlmittel, 75
  - Leiterkühlung, 75
  - Oberflächenbelüftung, 75
  - Selbstkühlung, 74
  - Wärmetauscher, 75
  - Zwischenkühlmittel, 75
- Kupferverluste, 58
- Kurzschlußläufermaschine, 310, 311, 321, 323, 325, 342, 344, 350, 546, 547
- Kurzschluß-Käfig, 278
- Kurzschlußläufer, 293
- Kurzstator-Linearmotor, 455
- Kurzzeitbetrieb, 62
- Lageregelung, 463, 472
- lagerlose Asynchronmaschine, 472
- lagerlose Induktionsmaschine, 472
- lagerloser Motor, 470
- lagerloser Permanentmagnetmotor, 473
- lagerloser Reluktanzmotor, 473
- Lagerreibung, 57
- Lagertechnik, 469
- Langstator-Linearmotor, 455, 466
- lastabhängige Verluste, 57
- lastgeführte Kommutierung, 537, 552, 554
- Lastmoment, 511, 512
- Lastsprung, 180
- Lastwinkel, 510, 524
- Lebensdauer, 469
- Leerlaufdrehzahl, 32, 327
- Leerlaufverluste, 57, 58
- Leerlaufzeit, 61
- Leistungs-MOSFET, 210
- Leistungsaufteilung, 45
- Leistungsbilanz, 44–46
- Leistungsfaktor, 242, 244, 439, 606
- Leistungsfaktor-Korrektur, 245, 606
- Leistungsfluß, 58
- Leistungshalbleiter-Schalter, 209
- Leistungstreiber, 517
- Leiterkühlung, 75
- Leiterschleife, 296
- Lenzsche Regel, 314
- Lenzschen Regel, 90

- Linearantrieb, 455
- Lineardirektantrieb, 455
- Linearisierung, 38, 166, 179, 181
- Linearmotor, 409, 455
  - Anwendungen, 463, 466
  - Asynchronmaschine, 455
  - Ausführungen, 457, 465
  - Betriebskennlinien, 458
  - Doppelkamm-Bauform, 455
  - Drehfeldleistung, 458, 460
  - Drehmoment, 458, 460
  - Einzelkamm-Bauform, 455
  - Ersatzschaltbild, 458
  - feldorientierte Regelung, 462
  - Geschwindigkeit, 456
  - Gleichstrommaschine, 455
  - Kreisdiagramm, 459
  - Kurzstator-Ausführung, 455
  - Langstator-Ausführung, 455
  - Regelung, 462
  - Reluktanzmaschine, 455
  - Schubkraft, 458, 460
  - Schwebesystem, 466
  - Schwebetechnik, 455
  - Steuerung, 462
  - Stromortskurve, 459
  - Synchronmaschine, 455
  - Systemübersicht, 463
  - Transrapid, 455, 466–468
  - Verlustleistung, 458
  - Verschiebungsfaktor, 461
  - Vorteile, 464
  - Wanderfeld, 456
  - Wirkungsgrad, 461
- Longitudinalfluß-Anordnung, 410
- Lorentzkraft, 94, 292, 477
- lückender Betrieb, 236
- Lüfter, 74
- Luftreibung, 57
- Luftspalt, 109, 302
- Luftspaltfeld, 141
- Luftspaltflußorientierung, 338
- Luftspaltleistung, 58, 547
- Luftspaltmoment, 17, 312, 314
- M3-Schaltung, 234
- Magnetfeld, 302
  - magnetfeldbündelnde Wirkung, 107
  - Magnethöhe, 410, 411
  - magnetische Energie, 431, 474
  - Magnetische Feldstärke, 90
  - Magnetische Flussdichte, 94
  - magnetische Koenergie, 432, 474
  - magnetische Kopplung, 296
  - magnetischer Kreis, 114, 139
  - magnetischer Längszug, 121
  - magnetischer Querdruck, 121
  - Magnetisierung, 99
  - Magnetisierungskennlinie, 164, 305, 309, 364
  - Magnetisierungsstrom, 334, 380
  - Magnetkreis, 413, 416, 419
  - Magnetschnellbahn, 466
  - Magnetschwebetechnik, 455
  - Maschinenkonstante, 147, 154
  - Matrix-Umrichter, 543
  - Matrix-Umrichter, 543
  - Maxwellkraft, 477
  - Maxwellscher Spannungstensor, 474
  - MCT, 210
  - Mechanik Grundgleichung, 152
  - mechanische Eigenkreisfrequenz, 512
  - mechanische Grundgesetze, 9
  - mechanische Spannung, 474
  - Mehrpunkt-Wechselrichter, 600
    - Capacitor Clamped VSI, 602
    - Cascaded MVSI, 604
    - Cascaded VSI, 604
    - Diode Clamped VSI, 601
    - Dreipunkt-Wechselrichter, 600, 601, 606
    - Fünfpunkt-Wechselrichter, 604
    - Imbricated Cell Multilevel VSI, 602
    - Multi Point Clamped Inverter, 601
    - Serien-Zellen-Wechselrichter, 604
    - Series Cell Inverter, 605
    - Three Level Neutral Point Clamped Inverter, 601
    - Vierpunkt-Wechselrichter, 602, 604
    - Zweipunkt-Wechselrichter, 600
  - Mikroschrittbetrieb, 519, 522
  - Mitsystem, 76
  - Mittelwertbetrieb, 69
  - Modellbildung, 529

- Modulationsverfahren, 588
  - Dreieck-Rechteck-Modulation, 592
  - Dreieck-Sinus-Modulation, 591
  - Dreifachtaktung, 590, 591
  - Neunfachtaktung, 592
  - Pulsweitenmodulation, 587
  - Raumzeigermodulation, 596, 602
  - Zweipunktregelung, 588
- Momenten Grundgleichung, 147
- Motorbetrieb, 396
- Motorkennlinien, 513
- Motorwicklungen, 472
- MPCI, *siehe* Multi Point Clamped Inverter
- Multi Point Clamped Inverter, 601
- Nachzündung, 242
- natürlicher Zündzeitpunkt, 233, 240
- Nebenschlußverhalten, 32, 329, 330, 340, 343
- Nennverlustleistung, 61
- netzgeführte Kommutierung, 236
- netzgeführte Stromrichter, 232, 551, 606
  - B6-Schaltung, 240
  - blindleistungssparende Schaltungen, 245
  - Drehstrom-Brückenschaltung, 240
  - Dreiphasen-Brückenschaltung, 240
  - Dreiphasen-Mittelpunktschaltung, 234
  - Gleichrichterbetrieb, 235, 240
  - Grundprinzip, 233
  - induktiver Gleichspannungsabfall, 238
  - Kommutierung, 236
  - lückender Betrieb, 236
  - M3-Schaltung, 234
  - Nachzündung, 242
  - natürlicher Zündzeitpunkt, 233, 240
  - nichtlückender Betrieb, 236
  - Steuerwinkel, 233
  - Überlappungswinkel, 237
  - Umkehrstromrichter, 539
  - Wechselrichterbetrieb, 238, 240, 551
  - Wechselrichterkippen, 238
- Neukurve, 104
- Neunfachtaktung, 592
- Neutral Point Clamped Inverter, 602
- nicht ferromagnetischen Materialien, 100
- nichtlückender Betrieb, 236
- nichtperiodischer Betrieb, 68
- Normalkraft, 456
- Normalkraftdichte, 412
- Normierung, 18, 49, 160, 165, 168, 173, 174, 201, 370, 373, 383, 387
- Nullkomponenten, 305
- Nullsystem, 76
- Nuten, 148
- Oberflächen-Strombelag, 361
- Oberflächenbelüftung, 75
- Oberflächenstrom, 109
- Oberschwingungsfaktor, 76
- Oberwellenfelder, 472
- Optimierung, 232, 276
  - Betragsoptimum, 232, 264, 273
  - Drehzahlregelkreis, 266
  - Stromregelkreis, 232, 264
  - symmetrisches Optimum, 266
- parametrische Anregung, 526, 527
- Pausenzeit, 61
- Pendelschwingungen, 525
- periodische Anregung, 526
- periodischer Betrieb, 66
- Permanentmagnete, 407
- permanentmagneterregte Synchronmaschine, 401, 410, 472, 516, 537
  - Ankerstellbereich, 401, 403, 404
  - Feldschwächbereich, 405
  - Gleichungssystem, 401
  - Signalfußplan, 401–404
  - Steuerbedingung, 404
- permanentmagneterregter Schrittmotor, 503, 520
- Permanentmagnetmaschine, 469
  - lagerloser Permanentmagnetmotor, 473
- PFC, *siehe* Power Factor Correction
- Phasenfolgelöschung, 564
- PM-Maschine, *siehe* permanentmagneterregte Synchronmaschine
- PM-Schrittmotor, 503, 508, 526, 529
- Polpaar, 299
- Polpaarzahl, 299, 300, 302, 326
- Polrad, 365, 381
- Polrad,Synchronmaschine
  - Polrad, 360

- Polradinduktivität, 368
- Polradspannung, 381, 393
- Polradwinkel, 33, 396, 397, 400, 557, 562
- Polumschaltung, 330
- Positionierfehler, 523
- Positioniergenauigkeit, 511, 523, 524, 532
- Positionierzeit, 534
- Power Factor Correction, *siehe*  
Leistungsfaktor-Korrektur
- Produktionsanlagen, 3
- Produktregel, 179, 309, 317
- Pulsbetrieb, 433, 437, 438, 444
- Pulsfolgesteuerung, 212, 229
- Pulsmuster, 570
- Pulsumrichter, 585, 588
- Pulsweitenmodulation, 443, 587, 589
  - Dreieck-Rechteck-Modulation, 592
  - Dreieck-Sinus-Modulation, 591
  - Dreifachtaktung, 590, 591
  - Neunfachtaktung, 592
- Pulsweitensteuerung, 212, 229
- Pumpen, 2, 469
  
- Quantisierungsfehler, 523
- Quellenfreiheit, 107
- Querkraft-Asynchronmaschine, 472
  
- radiale Tragkraft, 472
- radiale Zugkraft, 472
- Radiallager, 470
- Raumzeiger, 277, 283, 301, 507, 519, 595, 607
  - Definition, 302
  - Differentiation, 308
  - Koordinatensysteme, 306
  - Koordinatentransformation, 305, 312, 610, 613
  - Raumzeigerdiagramm, 602
  - Raumzeigermodulation, 596, 602
  - Rücktransformation, 305
- RCD-Schutzbeschaltung, 211
- RCT, 212
- Rechtsschrauben Regel, 91
- Regelfehler, 272, 273, 275, 276
- Regelkreis
  - mit I-Regler, 273
  - mit IT<sub>1</sub>-Strecke, 266, 273–275
  - mit P-Regler, 272, 274
  - mit PI-Regler, 264, 266, 275
  - mit PT<sub>1</sub>-Strecke, 272
  - mit PT<sub>2</sub>-Strecke, 264
- Reibmoment, 17
- Reibungsverluste, 57, 58
- relative Kurzschlußspannung, 238
- Relativgeschwindigkeit, 292
- Reluktanz-Schrittmotor, 499, 501
- Reluktanzmaschine, 425
  - geschaltete Reluktanzmaschine, 425, 455
  - lagerloser Reluktanzmotor, 473
- Remanenzinduktion, 412
- Resonanzfrequenz, 525
- Resonanzkreisfrequenz, 177
- Restflußdichte, 414
- RET, 210
- RLT, 212
- Rotation, 9
- rotatorische Spannung, 430, 444
- Rotorflußorientierung, 338, 350, 359, 612
- Rotorlagegeber, 429, 448–450
- Rotorvorwiderstand, 330, 546
- Rotorzähne, 429
- Rücktransformation, 305
  
- Sättigung, 309, 331
- Sättigungsgrenze, 412
- Sammleranordnung, 414, 415
- Schaltwinkel, 438, 443, 449, 451
- Scheibenmagnet-Schrittmotor, 504
- Scheinleistung, 244
- Schenkelpolmaschine, 360, *siehe*  
Synchron-Schenkelpolmaschine
- Schenkelpolrotor, 361
- Schleifringläufermaschine, 311, 321, 323, 330, 545
- Schleifringläufermaschine, 546
- Schleifspindelantrieb, 469
- Schlupf, 292, 294, 297, 327, 334
- Schlupf-Strom-Kennlinienregelung, 577
- Schlupfleistung, 547
- Schonzeit, 557
- Schonzeitwinkel, 558
- Schrittfehler, 532
- Schrittfeld, 507
- Schrittfortschaltung, 511, 512

- Schrittfrequenz, 500, 514  
 Schrittmotor, 499  
 – Ansteuerung, 516  
 – Auslegung, 532  
 – Begrenzungskennlinien, 513  
 – Beruhigungszeit, 513, 529  
 – Beschleunigungsbereich, 514  
 – Beschleunigungsmoment, 535  
 – Bestromungstabelle, 522, 530  
 – Betriebsarten, 519  
 – Betriebsbereiche, 513  
 – Betriebsfrequenz, 514  
 – Betriebsgrenzfrequenz, 514  
 – Betriebsgrenzmoment, 513, 518, 536  
 – Bewegungsgleichung, 525, 532  
 – bipolare Speisung, 516  
 – Blockschaltbild, 532  
 – Dämpfung, 525, 529  
 – Dämpfungsfaktor, 526  
 – Dämpfungszeitkonstante, 512, 526  
 – Drehmoment, 508, 509, 525, 530  
 – Drehschwingungen, 525  
 – Drehzahlverhalten, 525  
 – Eigenfrequenz, 525, 526  
 – Eigenkreisfrequenz, 526  
 – Einzelschritt, 511, 512  
 – Ersatzschaltbild, 516  
 – Fortschaltmoment, 512, 513  
 – Fortschaltwinkel, 508  
 – Frequenzrampe, 533  
 – Gleichgewichtslage, 508  
 – Gleichstromsteller, 529  
 – Grenzkennlinien, 513  
 – Halbschrittbetrieb, 504, 505, 519, 520, 523, 527  
 – Haltemoment, 510, 513, 527  
 – HY-Schrittmotor, 505, 506, 526  
 – Hybrid-Schrittmotor, 505, 506  
 – Klauenpol-Schrittmotor, 504  
 – Koinzidenzstellung, 508  
 – Konstantstromtreiber, 529  
 – Lastwinkel, 510, 524  
 – Leistungstreiber, 517  
 – mechanische Eigenfrequenz, 512  
 – Mikroschrittbetrieb, 519, 522  
 – Modellbildung, 529  
 – Motorkennlinien, 513  
 – parametrische Anregung, 526, 527  
 – Pendelschwingungen, 525  
 – periodische Anregung, 526  
 – permanentmagneterregter Schrittmotor, 503, 520  
 – PM-Schrittmotor, 503, 508, 526, 529  
 – Positionierfehler, 523  
 – Positioniergenauigkeit, 511, 523, 524, 532  
 – Positionierzeit, 534  
 – Quantisierungsfehler, 523  
 – Reluktanz-Schrittmotor, 499, 501  
 – Resonanzfrequenzen, 525  
 – Scheibenmagnet-Schrittmotor, 504  
 – Schrittfehler, 532  
 – Schrittfeld, 507  
 – Schrittfortschaltung, 511, 512  
 – Schrittfrequenz, 500, 514  
 – Schrittverlust, 512  
 – Schrittwinkel, 500, 504  
 – Schrittwinkelfehler, 523, 524  
 – Schrittzahl, 500, 502, 504  
 – Selbsthaltemoment, 501, 504, 510, 527, 530  
 – Start-Stopp-Bereich, 514  
 – Start-Stopp-Betrieb, 533  
 – Startbereich, 514  
 – Startfrequenz, 514  
 – Startgrenzfrequenz, 514, 533  
 – Startgrenzmoment, 514  
 – Stromaufbau, 517, 519  
 – Stromregelung, 530  
 – unipolare Speisung, 516  
 – Variable Reluctance Motor, 501  
 – Vollschrittbetrieb, 504, 505, 519, 530  
 – VR-Schrittmotor, 501, 508, 526  
 – Winkeltoleranz, 524  
 – Zweipunkt-Hysteresse-Regelung, 530  
 Schrittverlust, 512  
 Schrittwinkel, 429, 500, 504  
 Schrittwinkelfehler, 523, 524  
 Schrittzahl, 500, 502, 504  
 Schubkraft, 458, 460  
 Schutzklassen, 59  
 Schwebesystem, 466  
 Schwebetechnik, 455  
 Segmentspannung, 197

- Sehnung, 280  
 Selbsterregung, 444  
 selbstgeführter Stromrichter, 564, 580, 606  
 Selbsthaltungsmoment, 501, 504, 510, 527, 530  
 Selbstkühlung, 74  
 sensorlose Regelung, 616  
 Serien-Zellen-Wechselrichter, 604  
 Series Cell Inverter, 605  
 Servoantrieb, 462  
 SIT, 210  
 SITh, 210  
 SM, *siehe* Synchronmaschine  
 SO, *siehe* symmetrisches Optimum  
 Soft Chopping, 437, 445  
 Spannungs-Oberschwingungsfaktor, 76  
 Spannungseinprägung, 344, 350, 374  
 Spannungsgrenze, 78  
 Spannungsumschaltung, 194  
 Spieldauer, 61  
 Spulenpaar, 299  
 Spulentripel, 299  
 Stabilität im Arbeitspunkt, 36  
 Start-Stopp-Bereich, 514  
 Start-Stopp-Betrieb, 533  
 Startbereich, 514  
 Startfrequenz, 514  
 Startgrenzfrequenz, 514, 533  
 Startgrenzmoment, 514  
 Statorflußorientierung, 326, 338, 339  
 Statorinduktivität, 368  
 Statorstrombelag, 537  
 Statorzähne, 429  
 Stegspannung, 197  
 Stern-Dreieck-Anlauf, 72  
 stetige Feldumkehr, 259  
 Steuerbedingungen, 338, 340, 348, 350, 353, 364, 394, 404  
 Steuerverfahren, 339, 350  
 Steuerwinkel, 233  
 Stillstandsspannung, 547  
 Stillstandszeitkonstante, 177, 189  
 Stör-Übertragungsfunktion, 179, 274, 276  
 Störgröße, 274  
 Störverhalten, 271  
 Strecken-Übertragungsfunktion, 231, 263, 264  
 Streuinduktivität, 333, 334, 342, 368  
 Streukoeffizient, 314, 326, 334, 373, 388  
 stromabhängige Verluste, 58  
 Strombelag, 369, 502  
 Strombelastung, 57  
 Stromeinprägung, 347, 356, 378  
 Strommodell, 615  
 Stromortskurve, 334, 337, 459  
 Stromregelung, 530  
 – Asynchronmaschine, 359  
 – Gleichstrommaschine, 229, 231, 262  
 – Reluktanzmotor, 449  
 – Zweipunkt-Hysterese-Regelung, 214, 229, 530  
 – Zweipunktregelung, 443, 445, 588  
 Stromrichtermotor, 537, 551, 564  
 – Anfahrvorgang, 558  
 – Betriebsfälle, 553  
 – Drehmomentpendelungen, 559  
 – Drehmomentverlauf, 561  
 – Drehrichtungsumkehr, 554  
 – Gleichstrom-Zwischenkreis, 551  
 – Kommutierungsbedingung, 562  
 – lastgeführte Kommutierung, 552, 554  
 – prinzipielle Funktion, 552  
 – Regelung, 562  
 – Schaltbild, 551  
 – Zeigerdiagramm, 557, 560  
 – Zwischenkreisstrom-Taktung, 558  
 Stromrichterschaltungen, 206, 232, 442  
 Stromwärmeverluste, 57  
 Stufenfaktor, 191–193  
 Stufenzahl, 192, 193  
 subtransiente Längsreaktanz, 385  
 subtransiente Querreaktanz, 385  
 Switched Reluctance Motor, 428  
 symmetrisches Optimum, 266  
 Synchron-Linearmotor, 455, 464  
 Synchron-Schenkelpolmaschine, 365, 382, 425  
 – Bezugswerte, 371, 373, 383  
 – Drehmoment, 369, 382  
 – Ersatzschaltbild, 380, 381  
 – Gegeninduktivität, 368

- Gleichungssystem, 370, 372, 373, 378, 382, 383
- Grundwellenfelder, 368
- Hauptinduktivität, 368
- Kopplungsfaktor, 372
- Kopplungsinduktivität, 371, 373
- mit Dämpferwicklung, 366, 382
- normiertes Gleichungssystem, 372, 373, 378, 383
- Normierung, 370, 373, 383
- ohne Dämpferwicklung, 365
- Polradinduktivität, 368
- Signalflußplan, 375, 379, 384
- Spannungseinprägung, 374, 375
- Statorinduktivität, 368
- Streuinduktivität, 368
- Streukoeffizient, 373
- Stromeinprägung, 378
- subtransiente Längsreaktanz, 385
- subtransiente Querreaktanz, 385
- transiente Längsreaktanz, 385
- Synchron-Vollpolmaschine, 386
  - Bezugswerte, 387
  - Ersatzschaltbild, 392, 393
  - Gleichungssystem, 387, 389
  - mit Dämpferwicklung, 386, 391
  - normiertes Gleichungssystem, 389
  - Normierung, 387
  - ohne Dämpferwicklung, 386, 390
  - Signalflußplan, 390, 391
  - stationärer Betrieb, 392
  - Steuerbedingungen, 394
  - Streukoeffizienten, 388
- synchrone Drehzahl, 327
- synchroner Punkt, 294, 296, 297
- synchrones Verhalten, 33
- Synchronmaschine, 33, 310, 360
  - Ankerstellbereich, 395, 538
  - Dämpferwicklung, 382
  - Direktumrichter, 399, 400
  - Drehzahlregelung, 562
  - Entkopplungsnetzwerk, 394
  - feldorientierte Regelung, 394
  - Feldschwäcbereich, 395, 538
  - Generatorbetrieb, 396
  - Hauptfeldspannung, 381, 393
  - Koordinatensysteme, 366
  - Koordinatentransformation, 376, 377
  - lagerlose Synchronmaschine, 472
  - Leerlauf, 396
  - Linearmotor, 455, 464
  - Magnetisierungskennlinie, 364
  - Magnetisierungsstrom, 380
  - Motorbetrieb, 396
  - permanentmagneterregte Synchronmaschine, 401, 410, 472, 516, 537
  - Polrad, 365, 381
  - Polradspannung, 381, 393
  - Polradwinkel, 33, 396, 397, 400, 557, 562
  - Schenkelpolmaschine, *siehe* Synchron-Schenkelpolmaschine
  - Steuerbedingungen, 364, 394
  - Stromrichtermotor, 399, 551, 552, 557
  - übererregte Synchronmaschine, 395–397
  - untererregte Synchronmaschine, 395, 396
  - Vollpolmaschine, *siehe* Synchron-Vollpolmaschine
  - Zeigerdiagramm, 396, 397, 399, 400, 557, 560
- Tangentialkraftdichte, 412
- Tastgrad, 209
- Temperaturbereich, 469
- Testsignale, 21
- Theorie der Felder, 81
- thermische Klassifizierung, 79
- thermischer Leitwert, 55
- Three Level Neutral Point Clamped Inverter, 601
- Thyristor, 209, 232
- Thyristorkennlinie, 234
- Tiefsetzsteller, 208, 217
- Totzeit, 231, 263, 264
- Trägheits-Nennzeitkonstante, 19, 162
- Trägheitsmoment, 11
- Tragwicklungen, 472
- Traktion, 3, 455, 466
- Traktionsantrieb, 451
- transiente Längsreaktanz, 385
- Translation, 9
- Transport, 455



- Transrapid, 409, 455, 466–468  
 Transversalfluß-Anordnung, 413  
 Transversalfluß-Magnetkreis, 413, 416, 419  
 Transversalflußmaschine, 406  
 – Drehmoment, 423  
 – Drehmomentverlauf, 417  
 – Drehmomentwelligkeit, 418  
 – Erregerinduktion, 412  
 – Felddarstellungen, 421  
 – Flachmagnet-Anordnung, 410, 414, 415  
 – Gesamtwirkungsgrad, 423  
 – Kraftdichte, 411, 420, 422  
 – Kraftdichte-Gleichungen, 413  
 – Longitudinalfluß-Anordnung, 410  
 – Magnethöhe, 410, 411  
 – Magnetkreis, 413, 416, 419  
 – Merkmale, 424  
 – Normalkraftdichte, 412  
 – Permanentmagnete, 407  
 – Remanenzinduktion, 412  
 – Restflußdichte, 414  
 – Sättigungsgrenze, 412  
 – Sammleranordnung, 414, 415  
 – Stromverlauf, 417  
 – Tangentialkraftdichte, 412  
 – Transversalfluß-Anordnung, 410, 413  
 – Wicklungsdurchflutung, 412  
 Träger-Schaltung, 211  
 Turbokompressor, 469  
  
 U-Umrichter, 338, 580  
 – Capacitor Clamped VSI, 602  
 – Cascaded MVSI, 604  
 – Cascaded VSI, 604  
 – Diode Clamped VSI, 601  
 – Dreieck-Rechteck-Modulation, 592  
 – Dreieck-Sinus-Modulation, 591  
 – Dreifachtaktung, 590, 591  
 – Dreipunkt-Wechselrichter, 600, 601  
 – Fünfpunkt-Wechselrichter, 604  
 – Grundfrequenztaktung, 581, 582, 595  
 – Imbricated Cell Multilevel VSI, 602  
 – konstante Zwischenkreisspannung, 585  
 – Mehrpunkt-Wechselrichter, 600  
 – Modulationsverfahren, 588  
 – Multi Point Clamped Inverter, 601  
 – Neunfachtaktung, 592  
 – phasenversetzte Ansteuerung, 586  
 – Prinzipschaltung, 582, 586  
 – Pulsrichter, 585, 588  
 – Pulsweitenmodulation, 587  
 – Raumzeiger-Darstellung, 595  
 – Raumzeigerdiagramm, 602  
 – Raumzeigermodulation, 596, 602  
 – Regelung, 585, 588  
 – Reihenschaltung, 586  
 – Serien-Zellen-Wechselrichter, 604  
 – Series Cell Inverter, 605  
 – Spannungsverläufe, 582  
 – Three Level Neutral Point Clamped Inverter, 601  
 – variable Zwischenkreisspannung, 581  
 – Vierpunkt-Wechselrichter, 602, 604  
 – Zweipunkt-Wechselrichter, 587  
 – Zweipunktregelung, 588  
 übererregte Synchronmaschine, 395–397  
 Übergangsverluste, 57  
 Überlappung, 236  
 Überlappungswinkel, 237, 555, 557, 606  
 Überlastungszeit, 61  
 Übertemperatur, 53, 55  
 Übertragungsstelle, 13, 44  
 Umkehrstromrichter, 251, 539  
 – Antiparallelschaltung, 251  
 – Gegenparallelschaltung, 251  
 – kreisstromarme Schaltungen, 254  
 – kreisstrombehaftete Schaltungen, 251  
 – kreisstromfreie Schaltungen, 251  
 – Kreuzschaltung, 251  
 Ummagnetisierung, 57  
 Umrichter mit Gleichspannungs-  
   Zwischenkreis, *siehe* U-Umrichter  
 Umrichter mit Gleichstrom-  
   Zwischenkreis, *siehe* I-Umrichter  
 Umrichterantriebe, 538  
 – Direktumrichter, 539  
 – I-Umrichter, 564  
 – Matrix-Umrichter, 543  
 – Mehrpunkt-Wechselrichter, 600  
 – Pulsrichter, 585, 588  
 – Stromrichtermotor, 551  
 – U-Umrichter, 580  
 – USK, 545

- Unaligned Position, 430
- unstetige Feldumkehr, 259
- unterbrochener Betrieb, 66
- untererregte Synchronmaschine, 395, 396
- Untersynchrone Stromrichter-kaskade, 545
  - Betriebsbereich, 549
  - Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien, 546
  - elektrische Verhältnisse, 547
  - Gleichstrom-Zwischenkreis, 545
  - Prinzipschaltplan, 545
  - Regelung, 548, 549
- ununterbrochener Betrieb, 66
- USK, *siehe* Untersynchrone Stromrichter-kaskade
- Vakuumpumpe, 469
- Variable Reluctance Motor, 501
- Vektordreher, 614
- Verlustrarbeit, 47
- Verlustaufteilung, 58, 61
- Verluste, 44, 57, 547
  - Bürstenreibung, 57
  - Eisenverluste, 57, 58, 547
  - Erregerverluste, 57
  - Kupferverluste, 58, 547
  - Lagerreibung, 57
  - lastabhängige Verluste, 57
  - Leerlaufverluste, 57, 58
  - Lüftungsverluste, 547
  - Luftreibung, 57
  - Nennbetrieb, 58
  - Nennverlustleistung, 61
  - Reibungsverluste, 57, 58, 547
  - stromabhängige Verluste, 58
  - Stromwärmeverluste, 57
  - Übergangsverluste, 57
  - Verlustaufteilung, 58, 61
  - Zusatzverluste, 57, 58
- Verlustleistung, 52, 458
- Verschiebungsfaktor, 242, 461, 606
- Verschleiß, 469
- Verzerrungs-Blindleistung, 244
- Vier-Quadrant-Stromrichter, 251
- Vierpunkt-Wechselrichter, 602, 604
- Vollpolmaschine, *siehe* Synchron-Vollpolmaschine
- Vollschrittbetrieb, 504, 505, 519, 530
- Voltage Source Inverter, *siehe* U-Umrichter
- Vorschubkraft, 456
- Vorwiderstand, 189, 191
  - geschaltete Vorwiderstände, 190
  - gestufte Vorwiderstände, 191
- Stufenfaktor, 191–193
- Stufenzahl, 192, 193
- VR-Schrittmotor, 501, 508, 526
- VSI, *siehe* Voltage Source Inverter
- Wärmeabgabefähigkeit, 53, 55
- Wärmekapazität, 53, 55
- Wärmeklasse, 79
- Wärmeleistung, 55
- Wärmeleitung, 52
- Wärmestrom, 55
- Wärmetauscher, 75
- Wärmetransport, 52
- Wärmewiderstand, 53
- Wärmezeitkonstante, 53, 55
- Wanderfeld, 456
- Wanderfeldwicklung, 466
- Wartezeit, 230
- Wartungsfreiheit, 469
- Wechselrichterbetrieb, 238, 240, 551
- Wechselrichterkippen, 238
- weichmagnetisches Material, 104
- Weissche Bezirke, 101
- Werkzeugmaschinen, 3
- Wicklungsachse, 303
- Wicklungsdurchflutung, 412
- Wicklungsfaktor, 302
- Widerstandsmoment, 17, 18, 28
- Windungszahl, 302
- Winkeltoleranz, 524
- Wirbelströme, 167, 169
- Wirkleistung, 243
- Wirkungsgrad, 160, 461
- Zahnzahl, 429
- Zentrifugen, 469
- Zusatzverluste, 57, 58
- Zwei-Körper-Modell, 55
- Zweipunkt-Hystereseregung, 530
- Zweipunkt-Wechselrichter, 587, 600, 606
- Zweipunktregelung, 214, 443, 445, 588

Zwischenkreisdrossel, 551  
Zwischenkreisstrom-Taktung, 558  
Zwischenkühlmittel, 75