

**Grundlagen der
elektrischen
Antriebstechnik
mit
Berechnungsbeispielen**

J. Vogel u. a.

J. Vogel u. a.

**Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik
mit Berechnungsbeispielen**

Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen

Von Prof. Dr.-Ing. Johannes Vogel u. a.
Technische Hochschule „Otto von Guericke“ Magdeburg

2., durchgesehene Auflage

Mit 242 Bildern und 41 Tafeln

Dr. Alfred Hüthig Verlag Heidelberg

Autorenverzeichnis

- Abschnitt 1. Vogel, Johannes, Prof. Dr.-Ing., Magdeburg
Abschnitt 2. Vogel, Johannes, Prof. Dr.-Ing., Magdeburg
Abschnitt 3. Riefenstahl, Ulrich, Dr.-Ing., Magdeburg
Schauer, Winfried, Dr.-Ing., Magdeburg
Abschnitt 4. Vogel, Johannes, Prof. Dr.-Ing., Magdeburg
Abschnitt 5. Riefenstahl, Ulrich, Dr.-Ing., Magdeburg
Schauer, Winfried, Dr.-Ing., Magdeburg
Brandt, Walter, Dr.-Ing., Berlin
Poppe, Herbert, Doz. Dr.-Ing., Magdeburg
Abschnitt 6. Vogel, Johannes, Prof. Dr.-Ing., Magdeburg
Anhang Poppe, Herbert, Doz. Dr.-Ing., Magdeburg
Riefenstahl, Ulrich, Dr.-Ing., Magdeburg
Gesamtleitung Prof. Dr.-Ing. Johannes Vogel, Magdeburg

ISBN 3-7785-0437-1

Ausgabe des Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, 1980
© VEB Verlag Technik, Berlin, 1977
Unveränderter Nachdruck: © VEB Verlag Technik, Berlin, 1980
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Fachbuchdruck Naumburg

Vorwort

Elektrische Antriebe werden in allen Zweigen der Wirtschaft eingesetzt. Sie bestimmen mit ihren Eigenschaften in den verschiedenartigen technologischen Prozessen vielfach die Effektivität des Prozeßablaufs. Auch in energetischer Hinsicht verdienen sie Beachtung. Mehr als die Hälfte der erzeugten elektrischen Energie wird in elektrischen Antrieben in mechanische Arbeit umgewandelt. Die voranschreitende Mechanisierung und Automatisierung und eine rationelle Energieanwendung gebieten eine gut fundierte Auswahl und Dimensionierung elektrischer Antriebsanlagen.

Das vorliegende Buch wendet sich vorrangig an Studenten des Elektroingenieur- und Maschineningenieurwesens. Es vermittelt, auf den Grundkenntnissen der Elektrotechnik und der elektrischen Maschinen aufbauend, die Grundlagen über die Wirkungsweise elektrischer Antriebe für eine technisch-ökonomisch begründete Auswahl und Dimensionierung.

Neben den Gebieten der Elektrotechnik und Elektronik werden auch einige Fragen der Steuerungs- und Regelungstechnik berührt. Verschiedentlich wird auf Grundkenntnisse über die anzutreibenden Arbeitsmaschinen, wie auch über den Prozeßablauf selbst, zurückgegriffen.

Ein Einarbeiten in das vorliegende Buch dürfte mit den ergänzenden Literaturangaben auch im Selbststudium bei intensivem Bemühen keine Schwierigkeiten bereiten.

Der inhaltliche Aufbau ist nach methodischen Ausbildungsgesichtspunkten gewählt worden. Wie sich auch bei der Lösung praktischer Aufgaben bewährt hat, wird in der Reihenfolge – Ermittlung der Anforderungen aus dem technologischen Prozeß – Bestimmung der Anlagenstruktur – Auswahl und Dimensionierung der Anlage – vorgegangen.

Bei der Stoffauswahl wurden die bei der Ausbildung von Studenten verschiedener Disziplinen und aus der Zusammenarbeit mit der Anwenderindustrie gesammelten Erfahrungen mit einbezogen.

Mit den im Kleindruck angeführten Berechnungsbeispielen sollen die praktischen Anwendungen und Auswirkungen der gesetzmäßigen Zusammenhänge demonstriert und auch die vom Ingenieur zu treffenden Entscheidungen nach technisch-ökonomischen Zielsetzungen verdeutlicht werden.

Auf eine mathematisch einheitliche Behandlung des gesamten Gebiets wurde verzichtet. Dafür wurde großer Wert auf die Darstellung der Betrachtungs- und Bestimmungsmethoden gelegt, die für das jeweilige Problem eine zweckmäßige Lösung mit geringem Aufwand zulassen. Das entspricht auch dem Vorgehen in der Praxis.

Besonderer Dank gebührt den Herren Prof. Dr.-Ing. *Timpl* von der Technischen Hochschule „Otto von Guericke“ Magdeburg und Prof. Dr.-Ing. *Schmidt* vom VEB Schwermaschinenbau-Kombinat „Ernst Thälmann“ Magdeburg für ihr Interesse und für ihre Hinweise.

Ich danke weiterhin allen Mitarbeitern des Wissenschaftsbereichs Elektroantriebstechnik und Elektroautomatisierungstechnik der Sektion Technische Kybernetik/Elektrotechnik der Technischen Hochschule „Otto von Guericke“ Magdeburg, die das Vorhaben tatkräftig unterstützten. Mein Dank gilt ferner Herrn Ing. *Minke*, der die Vorlagen zu den Bildern anfertigte, und nicht zuletzt Frau Ing. *Epp* vom VEB Verlag Technik, Berlin, für die gute Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichenverzeichnis	13
1. Analyse der Stell- und Bewegungsvorgänge	17
1.1. Bestimmungsgrößen des Weges und Drehwinkels	17
1.1.1. Weg und Geschwindigkeit	17
1.1.2. Beschleunigung und Verzögerung	19
1.1.3. Ruck	19
1.1.4. Rotatorische und translatorische Übertragungsglieder	22
1.2. Bestimmungsgrößen der Kräfte und Drehmomente	23
1.2.1. Widerstandskraft bzw. Widerstandsmoment	23
1.2.2. Beschleunigungskraft bzw. Beschleunigungsmoment	25
1.2.3. Bewegungsgleichung	28
1.2.3.1. Anlauf	29
1.2.3.2. Stabiler Arbeitspunkt	31
1.3. Bestimmungsgrößen der mechanischen Antriebsleistung	32
1.3.1. Spanabhebende Werkzeugmaschinen	33
1.3.1.1. Drehmaschinen	33
1.3.1.2. Fräsmaschinen	34
1.3.1.3. Bohrmaschinen	34
1.3.2. Krane	35
1.3.2.1. Hubwerk	36
1.3.2.2. Katzfahrwerk	36
1.3.2.3. Laufkranfahrwerk	36
1.3.3. Aufzüge	37
1.3.4. Fahrzeuge	38
1.3.5. Lüfter	39
1.3.6. Pumpen	40
1.4. Bestimmungsgrößen der im Antriebssystem gespeicherten kinetischen Energie	41
1.5. Elastizitäten und Spiele im Zweimassensystem	43
1.5.1. Elastizitäten	43
1.5.2. Spiele	44
1.6. Prozeßanalytische Aufbereitung der Antriebsvorgänge	46
1.6.1. Bewegungs- und Belastungsvorgänge	46
1.6.2. Prozeßanalyse	47
1.6.3. Strukturen elektrischer Antriebssysteme	48
2. Kennlinienfelder und Stellmöglichkeiten elektrischer Antriebsmaschinen	53
2.1. Allgemeine Konstruktionsmerkmale und Maschinendaten	53
2.1.1. Baugröße	53
2.1.2. Bauformen	54
2.1.3. Schutzgrade	55
2.1.4. Schutzarten	55
2.1.5. Kühlungsarten und Kühlsysteme	56
2.1.6. Maschinendaten	56

2.2. Gleichstrom-Nebenschlußmaschine (GNM)	58
2.2.1. Wirkungsweise und Bestimmungsgleichungen	59
2.2.2. Drehzahlstellung und Kennlinienfelder	63
2.2.2.1. Spannungssteuerung	63
2.2.2.2. Feldsteuerung	64
2.2.2.3. Widerstandssteuerung	65
2.2.2.4. Gegenüberstellung der Drehzahlstellkennlinien	65
2.2.3. Anlauf und Bremsen	67
2.2.3.1. Anlauf	67
2.2.3.2. Bremsen	70
2.2.4. Übergangsverhalten	73
2.2.4.1. Übergangsverhalten bei sprunghafter Führungs- bzw. Störgrößenänderung	76
2.2.4.2. Übergangsverhalten beim Anlauf	79
2.2.4.3. Übergangsverhalten beim Bremsen	83
2.2.5. Schnellerregungs- und Dämpfungsschaltungen	84
2.2.5.1. Schnellerregung	84
2.2.5.2. Erregungsdämpfung	86
2.3. Gleichstrom-Reihenschlußmaschine (GRM)	87
2.3.1. Wirkungsweise und Bestimmungsgleichungen	88
2.3.2. Drehzahlstellung und Kennlinienfelder	88
2.3.3. Anlauf und Bremsen	91
2.4. Asynchronmaschine mit Schleifringläufer (AMSL)	93
2.4.1. Wirkungsweise und Bestimmungsgleichungen	94
2.4.2. Drehzahlstellung und Kennlinienfelder	100
2.4.2.1. Frequenzsteuerung	101
2.4.2.2. Ständerspannungssteuerung	101
2.4.2.3. Läuferspannungssteuerung	102
2.4.2.4. Widerstandssteuerung	102
2.4.3. Anlauf und Bremsen	105
2.4.3.1. Anlauf	105
2.4.3.2. Bremsen	106
2.4.4. Übergangsverhalten	112
2.4.4.1. Gleichungssystem	112
2.4.4.2. Anlauf	113
2.4.4.3. Belastungsschwankungen	114
2.5. Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer (AMKL)	118
2.5.1. Wirkungsweise und Einfluß der Stromverdrängung	119
2.5.2. Betriebskennlinien und Betriebswerte	121
2.5.3. Drehzahlstellung und Kennlinienfelder	123
2.5.4. Anlauf und Wiedereinschalten	126
2.5.4.1. Anlaufzeit	128
2.5.4.2. Sanftanlauf	129
2.5.5. Bremsen	132
2.5.5.1. Nutzbremsen	132
2.5.5.2. Bremsmotoren	132
2.6. Synchronmaschine mit Schenkelpolläufer (SM)	134
2.6.1. Wirkungsweise und Bestimmungsgleichungen	135
2.6.2. Erregung	137
2.6.3. Anlauf, Drehzahlstellung und Bremsen	137
2.6.3.1. Anlauf	137
2.6.3.2. Drehzahlstellung	137
2.6.3.3. Bremsen	138
2.6.4. Übergangsverhalten	138
2.6.4.1. Freie Schwingungen	140
2.6.4.2. Erzwungene Schwingungen	140

2.7.	Einphasen- und Drehstrom-Kommutatormaschinen	143
2.7.1.	Wechselstrom-Bahnmotor	143
2.7.2.	Läufergespeister Drehstrom-Nebenschluß-Kommutatormotor (IDNKM)	144
2.8.	Bemerkungen zur Auswahl elektrischer Antriebsmaschinen	145
3.	Spezielle Bauglieder und Schaltungen zur elektromechanischen Energieübertragung	147
3.1.	Elektromagnetische Kupplungen	147
3.1.1.	Elektromagnetische Reibkupplungen	148
3.1.2.	Induktionskupplungen	150
3.1.3.	Elektromagnetische Zahnkupplungen	152
3.2.	Gleichlaufschaltungen mit Asynchronmaschinen	153
3.2.1.	Dreiphasige elektrische Ausgleichswelle	154
3.2.2.	Einphasige elektrische Ausgleichswelle	157
3.2.3.	Ferndreherwelle	158
3.2.4.	Elektrische Arbeitswelle	158
4.	Bestimmung der Typenleistung, der Betriebsbedingungen und der Schutzeinrichtungen elektrischer Maschinen	163
4.1.	Mechanische und thermische Einflußfaktoren auf die Lebensdauer	163
4.1.1.	Betriebsbedingte Einflußfaktoren	163
4.1.2.	Umgebungsbedingte Einflußfaktoren	164
4.2.	Umweltbeeinflussung	164
4.3.	Thermische Vorgänge	166
4.3.1.	Verlustleistung	167
4.3.2.	Temperaturverlauf	170
4.4.	Bestimmung der Typenleistung nach der Methode der Ersatzverlustleistung	173
4.5.	Bestimmung der Typenleistung nach den Betriebsarten	177
4.5.1.	Dauerbetrieb (S1)	178
4.5.2.	Kurzzeitbetrieb (S2)	181
4.5.3.	Aussetzbetrieb (S3)	184
4.5.4.	Betriebsarten S4 bis S8	187
4.5.4.1.	Stromwärmeverluste bei Anlauf und Bremsen	188
4.5.4.2.	Schalzhäufigkeit	189
4.6.	Bestimmung der Typenleistung für nichtperiodische Belastungsspiele	192
4.7.	Motorschalter und Motorschutz	193
4.7.1.	Schalter und Schütze	193
4.7.2.	Motorschutz	194
4.7.2.1.	Fühler und Auslöser	195
4.7.2.2.	Motorschutzeinstellungen	197
5.	Elektrische Antriebssysteme mit Maschinenumformern und leistungselektronischen Stellgliedern	199
5.1.	Stellglieder für elektrische Maschinen	199
5.1.1.	Maschinenumformer	199
5.1.2.	Stromrichterstellglieder	200
5.2.	Gleichstromantriebe mit Maschinenumformer	201
5.2.1.	Aufbau und stationäres Verhalten	201
5.2.2.	Dynamisches Verhalten	202

5.3. Gleichstromantriebe mit netzgeführten Stromrichtern	203
5.3.1. Grundsaltungen von netzgeführten Stromrichtern	204
5.3.2. Betriebsverhalten netzgeführter Stromrichter	207
5.3.2.1. Strom-Spannungs-Kennlinienfeld	207
5.3.2.2. Oberschwingungsgehalt der Gleichspannung	210
5.3.2.3. Übertragungsverhalten netzgeführter Stromrichterstellglieder	211
5.3.3. Betriebsverhalten der Gleichstrom-Nebenschlußmaschine bei Ankerspannungsspeisung über einen netzgeführten Stromrichter	212
5.3.3.1. Kennlinienfeld und Drosseldimensionierung	212
5.3.3.2. Dynamisches Verhalten	214
5.3.4. Stromrichter-Umkehrantriebe	217
5.3.4.1. Umkehrantriebe mit Polwendeschaltern	218
5.3.4.2. Umkehrantriebe mit Umkehrstromrichtern	219
5.3.5. Steuergeräte für netzgeführte Stromrichter	222
5.3.6. Schutz von netzgeführten Stromrichteranlagen	223
5.3.6.1. Überspannungsschutz	223
5.3.6.2. Überstromschutz	224
5.4. Gleichstromantriebe mit Transistor- bzw. Thyristorpulsstellern	224
5.4.1. Aufbau und Wirkungsweise von Pulsstellern	224
5.4.2. Einquadranten- und Mehrquadrantenantriebe	227
5.4.3. Betriebsverhalten und Anwendungsgebiete	228
5.5. Regelung von Antrieben mit Gleichstrom-Nebenschlußmaschinen	229
5.5.1. Bauglieder für die Antriebsregelung	230
5.5.1.1. Meßwertgeber	230
5.5.1.2. Sollwertgeber	235
5.5.1.3. Regler	235
5.5.2. Optimierung von Regelkreisen	237
5.5.2.1. Führungsverhalten	239
5.5.2.2. Störverhalten	242
5.5.2.3. Strukturen geregelter Gleichstromantriebe	243
5.6. Drehstromantriebe mit Thyristorstellgliedern	251
5.6.1. Asynchronmaschinenantriebe mit Drehstromsteller	252
5.6.1.1. Aufbau und Wirkungsweise	253
5.6.1.2. Betriebsverhalten des Antriebs	254
5.6.1.3. Regelung	256
5.6.2. Asynchronmaschinen- und Synchronmaschinenantriebe mit Umrichtern	257
5.6.2.1. Grundsaltungen von Umrichtern	257
5.6.2.2. Steuerung und Regelung von Asynchronmaschinen mit Umrichtern	261
5.6.2.3. Steuerung und Regelung von Synchronmaschinen mit Umrichtern	264
5.6.3. Asynchronmaschinenantriebe mit Stromrichtererkaskaden	266
5.6.3.1. Aufbau und Wirkungsweise der Stromrichtererkaskade	266
5.6.3.2. Steuerung und Regelung	270
5.6.4. Asynchronmaschinenantriebe mit Pulsstellern	272
5.6.4.1. Aufbau und Wirkungsweise des Antriebs	272
5.6.4.2. Steuerung und Regelung	273
5.7. NetZRückwirkungen von Stromrichtern	274
5.7.1. Blindleistung	275
5.7.2. Stromoberschwingungen auf der Netzseite	277
5.7.3. Maßnahmen zur Verminderung der NetZRückwirkungen	278
5.7.3.1. Netzseitige Kompensation der Blindleistung	278
5.7.3.2. Verringerung der Blindleistung durch ventilsseitige Schaltungs- und Steuerungsmaßnahmen	279
5.7.3.3. Verringerung der Stromoberschwingungen durch Gruppenschaltungen und netzseitige Saugkreise	281

6. Elektrische Kleinantriebe	284
6.1. Gleichstrom-Kleinantriebe	284
6.2. Wechselstrom-Kleinantriebe mit Reihenschlußcharakteristik (Universalmotoren)	288
6.3. Wechselstrom-Kleinantriebe mit Asynchroncharakteristik	291
6.4. Wechselstrom-Kleinantriebe mit Synchroncharakteristik	295
6.5. Schrittantriebe	297
7. Anhang	300
7.0. SI-Einheiten und Umrechnungsbeziehungen	300
7.1. Technologische Größen einiger Arbeitsmaschinen	301
7.1.1. Translatorische Bewegungsgrößen	301
7.1.2. Betriebsgrößen einiger Arbeitsmaschinen zur Förderung flüssiger bzw. gasförmiger Medien	302
7.2. Überschläglicher Leistungsbedarf einiger Arbeitsmaschinen	303
7.3. Bestimmung der Anlaufkennlinie und Anlaufzeit	303
7.4. Bestimmung und Auswertung der Stromortskurve für AMSL	304
7.5. Bestimmung der Erwärmungskonstanten elektrischer Maschinen nach dem Zweikörperprinzip	306
7.6. Eigenschaften von Halbleiterbauelementen für Stromrichterstellglieder	307
7.6.1. Gleichrichterioden, Thyristoren, Symistoren (Triacs)	307
7.6.2. Leistungstransistoren	308
7.7. Eigenschaften netzgeführter Stromrichterschaltungen	309
7.7.1. Netzgeführte Stromrichterschaltungen – Strom- und Spannungsverläufe für $L \rightarrow \infty$	309
7.7.2. Netzgeführte Stromrichterschaltungen – Kenndaten	310
7.8. Bestellangaben für elektrische Maschinen und Stromrichtergeräte	312
7.8.1. Angaben für elektrische Maschinen	313
7.8.2. Angaben für Stromrichtergeräte	314
7.9. Laplace-Transformationen	314
7.9.1. Rechenweg zur Lösung von Differentialgleichungen	314
7.9.2. Rechenregeln	315
7.9.3. Korrespondenzen	317
7.9.4. Auswertung einiger Funktionen	318
7.10. Ausgewählte Optimierungsverfahren für Regelkreise elektrischer Antriebe	318
7.10.1. Betragsoptimum	319
7.10.2. Symmetrisches Optimum	320
7.11. Verhalten des Schwingungsglieds	321
7.12. Lineare Reglerschaltungen	322
7.13. Nichtlineare Reglerschaltungen und Funktionsgeber	324
7.14. Standards	326
Literaturverzeichnis	328
Sachwörterverzeichnis	331

Zusammenstellung der Berechnungsbeispiele

Nr.	Thema	Seite	Nr.	Thema	Seite
1.1	Bewegungsablauf, Aufzug	21	2.30	SM, Übergangsverhalten	141
1.2	Drehzahlstellbereich, Förderleistung	25	3.1	Elektromagnetkupplung, Auswahl	152
1.3	Bewegungsgrößen, Haspelantrieb	27	3.2	Induktionskupplung, Auswahl	152
1.4	Bewegungsgrößen, Aufzug	28, 49	3.3	Gleichlaufschaltung mit AMSL	160
1.5	Anlaufzeit, Anlaufvorgang	30	3.4	Gleichlaufschaltung mit AMSL	161
1.6	Bestimmungsgrößen, Drehmaschine	33	4.1	El. Masch.; Umgebungsbedingungen	165
1.7	Bestimmungsgrößen, Fräsmaschine	34	4.2	El. Masch.; Umgebungsbedingungen	165
1.8	Bestimmungsgrößen, Bohrmaschine	35	4.3	El. Masch.; Umgebungsbedingungen	165
1.9	Antriebsleistung, Kran	36	4.4	Verluste GNM	168
1.10	Bestimmungsgrößen, Aufzug	37	4.5	Verluste AM, Teillast	169
1.11	Antriebsleistung, Fahrzeug	38	4.6	Übertemperatur el. Maschinen	173
1.12	Antriebsleistung, Lüfter	39	4.7	Typenleistung el. Maschinen	175
1.13	Antriebsleistung, Pumpe	40	4.8	Typenleistung, S1-Betrieb	180
1.14	Ungleichförmigkeitsgrad	42	4.9	Typenleistung, S2-Betrieb	183
1.15	Eigenfrequenz, Federkonstante	45	4.10	Typenleistung, S3-Betrieb	186
1.16	Bestimmungsgrößen, Aufzug	49	4.11	GNM, Leistungsumsatz bei Anlauf	190
2.1	Vergleich Motorgetriebesätze	58	4.12	Leerschalthäufigkeit von AMKL	191
2.2	Bestimmungsgrößen GNM	62	4.13	Typenleistung, nichtperiodischer Betrieb	192
2.3	GNM, Drehzahlstellverfahren	65	4.14	Motorschutz AM	198
2.4	GNM, Anlauf	69	4.15	Schutzeinrichtungen AM	198
2.5	GNM, Dimensionierung Anlasser	69	5.1	Vergleich GNM – Leonardsatz	203
2.6	GNM, Widerstandsbremsen	72	5.2	SR-Schaltung, Ventilauswahl	215
2.7	GNM, Gegenstrombremsen	73	5.3	SR-Schaltung, Glättungsdrosseln	216
2.8	GNM, Führungsverhalten	78	5.4	SR-Schaltung, Mehrquadrantenbetrieb	221
2.9	GNM, Störverhalten	79	5.5	Dimensionierung Pulssteller	229
2.10	GNM, Übergangsverhalten beim Anlauf	81	5.6	Drehzahl- und Stromregelung	249
2.11	GNM, Widerstandsbremung	84	5.7	Drehzahlregelung mit Feldschwächung	251
2.12	GNM, Feldforcierung	86	5.8	Drehstromsteller, AM	256
2.13	GRM, Drehzahlsteuerung	90	5.9	Frequenzsteuerung, AM	265
2.14	GRM, Widerstands-Senkbremsung	92	5.10	Dimensionierung USK	271
2.15	AMSL, Bestimmungsgrößen	99	5.11	Pulssteller für AMSL	274
2.16	AMSL, Widerstandssteuerung	104	5.12	Blindleistung, SR-Schaltung	276
2.17	AMSL, Widerstands-Pulssteuerung	104	5.13	Oberschwingungen, SR-Schaltung	277
2.18	AMSL, max. Anlaufmoment	110	5.14	Blindleistungskompensation	282
2.19	AMSL, Gleichstrombremsung	111	6.1	Vorschubantrieb mit GNM	287
2.20	AMSL, Gegenstrombremsung	111	6.2	Steuerschaltung, Universalmotor	290
2.21	AMSL, Schwungradantrieb	116	6.3	Ferrarismotorantrieb	293
2.22	AMKL, Spannungseinfluß	122	6.4	SM-Kleinstmotorantrieb	295
2.23	AMKL, Teillastbetrieb	123	6.5	Schrittmotorantrieb	298
2.24	AMKL, Polumschaltung	125			
2.25	AMKL, Ab- und Wiedereinschalten	130			
2.26	AMKL, Teilspannungsanlauf	130			
2.27	AMKL, Kusa-Schaltung	131			
2.28	AMKL, Bremsmotor	132			
2.29	SM, Synchron- und Reaktionsmoment	138			

Formelzeichenverzeichnis

1. Hauptzeichen

<i>A</i>	Ankerstrombelag	<i>K</i>	Faktor
<i>A</i>	Aussteuerung	<i>K</i>	Konstante
<i>A</i>	Fläche	<i>K</i>	Übertragungsfaktor
<i>A</i>	Wärmeabgabefähigkeit	<i>k</i>	Maschinenflußfaktor = $c \cdot \Phi$
<i>a</i>	Beschleunigung	<i>L</i>	Induktivität
<i>a</i>	Spantiefe	<i>l</i>	Länge
<i>a</i>	Zahl paralleler Ankerzweigpaare	M	Masse
<i>B, b¹⁾</i>	Induktion	<i>M, m</i>	Moment
<i>b</i>	Breite	<i>m</i>	Strangzahl
<i>C</i>	Ausnutzungsfaktor	<i>n</i>	Drehzahl
<i>C</i>	Kapazität	<i>P, p</i>	Leistung
<i>C</i>	Wärmekapazität	<i>p</i>	Druck
<i>C</i>	Maschinenkonstante	<i>p, p</i>	Polpaarzahl
<i>D, d</i>	Durchmesser	<i>p</i>	Pulszahl
<i>D</i>	Spannungsabfall im Stromrichter	<i>Q</i>	Blindleistung
<i>d</i>	Dämpfung	<i>Q</i>	Förderstrom
<i>d</i>	Dicke	<i>q</i>	Verlustvergrößerungsfaktor
<i>E, e</i>	induzierte Spannung, Ursprung	<i>q</i>	Pulszahl einer Kommutierungsgruppe
<i>ED</i>	rel. Einschaltdauer	Re	Realteil
<i>F</i>	Kraft	<i>R</i>	Widerstand
<i>F</i>	Last	<i>r</i>	Ruck
<i>F</i>	Übertragungsfunktion	<i>S</i>	Scheinleistung
<i>FI</i>	Trägheitsfaktor	<i>S</i>	Steigung
<i>f</i>	Faktor	<i>S</i>	Stellbereich
<i>f</i>	Frequenz	<i>s</i>	Schlupf
<i>G, g</i>	allgemeine Zahl	<i>s</i>	Schritt
<i>g</i>	Faktor	<i>s</i>	Weg
<i>g</i>	Fallbeschleunigung	<i>T</i>	Integrationszeit
<i>H</i>	Höhe	<i>T</i>	Periodendauer
<i>h</i>	Überschwingweite	<i>T</i>	Taktperiode, Pulsdauer
<i>I, i</i>	Strom	<i>t</i>	Zeit
Im	Imaginärteil	<i>U, u</i>	Spannung
<i>i</i>	Übersetzungsverhältnis, mechanisch	<i>ü</i>	Übersetzungsverhältnis, elektrisch
<i>J</i>	Trägheitsmoment	<i>V</i>	Verstärkung
		<i>v</i>	Geschwindigkeit

¹⁾ großer Buchstabe stationäre Größe, kleiner Buchstabe zeitlich veränderliche Größe

v	Verzerrungsfaktor	ν	Ordnungszahl harmonischer Schwingungen
W	Energie	ξ	Übertragungsfaktor
w	Führungsgröße	ξ	Verstärkungsfaktor der Pendelleistung
w	spezifischer mechanischer Widerstand	ξ	Wicklungsfaktor
w	Welligkeit	ρ	Dichte
w	Windungszahl	ρ	Übertragungsfaktor
X	Blindwiderstand, Reaktanz	σ	Gesamtstreuiziffer
X, x	Signal	σ	mech. Spannung
Z	Impedanz	σ	Wirbelstromverlustbeiwert
z	Impulsanzahl	τ	Teilung
z	Schalhäufigkeit	τ	Zeitkonstante
z	Störgröße	Φ, φ	magnetischer Fluß
z	Zähnezahl	φ	Phasenwinkel
α	Drehwinkel, mechanisch	ψ	verketteter magn. Fluß
α	Koeffizient	Ω, ω	Winkelgeschwindigkeit
α	Polbedeckungsfaktor	ω	Frequenz
α	Zündwinkel	ω	(Fouriertransformation)
β	Koeffizient	ω	Kreisfrequenz
β	Polradwinkel		
γ	Forcierkoeffizient		
γ	Winkel		
δ	Dicke		
δ	Phasenwinkel		
δ	Stromführungsdauer		
δ	Ungleichförmigkeitsgrad		
ε	Winkelbeschleunigung		
ζ	Streuiziffer		
η	Hystereseverlustbeiwert		
η	Wirkungsgrad		
Θ	Durchflutung		
Θ, ϑ	Übertemperatur		
ϑ	Temperatur		
ϑ	el. Winkel bei Stromfluß		
Λ	magnetischer Leitwert		
Λ	Wärmeleitwert		
λ	Rohrwiderstandsziffer		
λ	Schaltverhältnis		
μ	Reibungszahl		
ν	beliebige Zahl		
ν	bezogene Zahl		
		2. Indizes	
		A	Ankerkreis
		A	Anlauf
		a	Anfangswert
		a	Anregelung
		a	Ausgang
		a	außen
		ad	Ankerlängsrichtung
		aq	Ankerquerrichtung
		asyn	asynchron
		B	Basis
		B	Betrieb
		B	Bürste
		Br	Bremsen
		b	Ausregelung
		b	Beschleunigung
		C	Kollektor
		D	Diode
		Dr	Drossel
		d	Dämpfung
		d	Durchtritt
		d	Gleichstrom
		d	längs
		dyn	dynamisch

E	Emitter	N	Nutz-
E	Erregung	Netz	Netz
e	eigen	o	offener Kreis
e	Eingang	P	parallel
e	Einschaltgröße	P	Pause
e	Endwert	p	Pol
e	Ersatz	p	Polrad
eff	effektiv	p	Puls
el	elektrisch	q	quer
Ers	Ersatz	R	radial
F	Fahren	R	Regler
F	Fahrkorb	R	Reibung
Fe	Eisen	R	Sperr-
G	Generator	Rech	Rechenwert
G	Getriebe	r	Reaktanz
G	Gleichrichter	r	Rückführung
Gr	Grenzwert	r	Widerstand
g	gegen	res	Resonanz
g	gesamt	rot	rotatorisch
H	Hochlauf	S	Regelstrecke
H	Hub	S	Schnitt
H	Sattel-	S	Schritt
h	Haupt-	S	Seilscheibe
hi	Hilfsgröße	S	Span
I, i	Strom	S	Steigung
Ist	Istwert	S	Strecke
i	ideell	Schl	Schleich-
i	innen	SG	Stellglied
K	Katz-	Soll	Sollwert
K	Kipp-	Sp	Spiel
K	Kurzschluß	St	Steuer-
Kat	Katalogwert	St	Stillstand
Ko	Kommutierung	S1	Dauerbetrieb
Kr	Kreis	S2	Kurzzeitbetrieb
k	bestimmte Zahl	S3	Aussetzbetrieb
L	Lauf	s	Soll
L	Läufer	s	Weg
L	Lösch-	syn	synchron
Last	Last	T	tangential
Leer	Leer-	T	Thyristor
l	Lück-	Tr	Transformator
M	elektromagnetisch	Tr	Trommel
M	mechanisch	trans	translatorisch
M	Motor	U, u	Spannung
max	maximal	ü	Überschwingen
min	minimal	V	Verlust
mit	mit	V	vor
N	Nennwert	v	Verzögerung

v	Verzug
v	Vorschub
W	Arbeitsmaschine
W	Wechselrichter
W	Widerstand
WA	Arbeitsmaschine, bezogen
w	Führung
w	Welligkeit

x induktiv

Z	Zusatz
z	Schneiden
z	Störung
zul	zulässig

α	bei Steuerwinkel α
δ	Luftspalt
μ	Magnetisierung
ν	Oberschwingung
σ	Streuung
Φ	Fluß
Ω	drehzahlabhängig
ω	Winkelgeschwindigkeit

0	Ausgangswert
0	eigen
0	Integration
0	Leerlauf
0	Steuerwinkel $\alpha = 0$
0	synchron
1/2	Punkte 1/2 betreffend
1/2	Ständer/Läufer
1/2	Kreis 1/Kreis 2
1,2	Ordnungszahl

3. Hochgestellte Zeichen

\bar{X}	zeitlicher Mittelwert
\bar{X}	Raumzeiger
\underline{X}	Zeigerdarstellung sinusförmiger Größen

X^*	konjugiert komplexer Zeiger
\hat{X}	Amplitude
X'	transformierte Größe
X'	bezogene Größe
X'	transiente Größe
X'	reduzierte Größe
X^*	neue Größe nach einem Zeitabschnitt

Verzeichnis wichtiger Abkürzungen

AM	Asynchronmaschine
AMKL	Asynchronmaschine mit Käfigläufer
AMSL	Asynchronmaschine mit Schleifringläufer
GM	Gleichstrommaschine
GNM	Gleichstrom-Nebenschlußmaschine
GRM	Gleichstrom-Reihenschlußmaschine
SM	Synchronmaschine
DS	Drehstromsteller
GR	Gleichrichter
GS	Gleichstromsteller
SG	Stellglied
SR	Stromrichter
UR	Umrichter
USK	Untersynchrone Stromrichter-kaskade
WR	Wechselrichter
D	Diode
Dr	Drossel
FD	Freilaufdiode
SD	Saugdrossel
T	Thyristor
T	Transistor
KG	Kommandogerät
MV	Multivibrator
OV	Operationsverstärker
R	Regler
StG	Steuergerät