

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

Mit 242 Bildern und 41 Tafeln



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

## 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

1. Auflage

© VEB Verlag Technik, Berlin, 1977

Lizenz 201 · 370/83/77

DK 621.312.62-83 · LSV 3515 · VT 3/5261-1

Lektor: Ing. Inge Epp

Schutzumschlag: Kurt Beckert

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Fachbuchdruck Naumburg

Bestellnummer: 552 468 4

DDR 22,00 M

# 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

<b>Formelzeichenverzeichnis</b> . . . . .	13
<b>1. Analyse der Stell- und Bewegungsvorgänge</b> . . . . .	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
<b>2. Kennlinienfelder und Stellmöglichkeiten elektrischer Antriebsmaschinen</b> . . . . .	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
<b>3. Spezielle Bauglieder und Schaltungen zur elektromechanischen Energieübertragung</b>	<b>147</b>
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
<b>4. Bestimmung der Typenleistung, der Betriebsbedingungen und der Schutzeinrichtungen elektrischer Maschinen</b>	<b>163</b>
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. Schalthäufigkeit . . . . .	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
<b>5. Elektrische Antriebssysteme mit Maschinenumformern und leistungselektronischen Stellgliedern</b>	<b>199</b>
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 Stromrichter-kaskaden . . . . .	266
5.6.3.1.	Aufbau und Wirkungsweise der Stromrichter-kaskade . . . . .	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 ventileitige Schaltungs- und Steuerungsmaßnahmen . . . . .	279
5.7.3.3.	Verringerung der Stromoberschwingungen durch Gruppenschaltungen und netzseitige Saugkreise . . . . .	281

<b>6. Elektrische Kleinantriebe</b> . . . . .	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
<b>7. Anhang</b> . . . . .	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: $\Theta_{e1}$ , $\Theta_{e2}$ , $\tau_1$ , $\tau_2$ . . . . .	306
7.6. Eigenschaften von Halbleiterbauelementen für Stromrichterstellglieder . . . . .	307
7.6.1. Gleichrichterdiolen, 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
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	328
<b>Sachwörterverzeichnis</b> . . . . .	331



# 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>	Beschleunigung	<i>k</i>	Maschinenflußfaktor = $c \cdot \Phi$
<i>a</i>	Spantiefe	<i>L</i>	Induktivität
<i>a</i>	Zahl paralleler Ankerzweigpaare	<i>l</i>	Länge
<i>B, b<sup>1)</sup></i>	Induktion	<i>M</i>	Masse
<i>b</i>	Breite	<i>M, m</i>	Moment
<i>C</i>	Ausnutzungsfaktor	<i>m</i>	Strangdrehzahl
<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
		<i>v</i>	Verzerrungsfaktor

<sup>1)</sup> großer Buchstabe stationäre Größe, kleiner Buchstabe zeitlich veränderliche Größe

$W$	Energie	$\xi$	Übertragungsfaktor
$w$	Führungsgröße	$\xi$	Verstärkungsfaktor der Pendelleistung
$w$	spezifischer mechanischer Widerstand	$\xi$	Wicklungsfaktor
$w$	Welligkeit	$\rho$	Dichte
$w$	Windungszahl	$\rho$	Übertragungsfaktor
$X$	Blindwiderstand, Reaktanz	$\sigma$	Gesamtstreuzyiffer
$X, x$	Signal	$\sigma$	mech. Spannung
$Z$	Impedanz	$\sigma$	Wirbelstromverlustbeiwert
$z$	Impulsanzahl	$\tau$	Teilung
$z$	Schalhäufigkeit	$\tau$	Zeitkonstante
$z$	Störgröße	$\Phi, \varphi$	magnetischer Fluß
$z$	Zähnezahl	$\varphi$	Phasenwinkel
$\alpha$	Drehwinkel, mechanisch	$\psi$	verketteter magn. Fluß
$\alpha$	Koeffizient	$\Omega, \omega$	Winkelgeschwindigkeit
$\alpha$	Polbedeckungsfaktor	$\omega$	Frequenz
$\alpha$	Zündwinkel	$\omega$	(Fouriertransformation)
$\beta$	Koeffizient	$\omega$	Kreisfrequenz
$\beta$	Polradwinkel		
$\gamma$	Forcierkoeffizient		
$\gamma$	Winkel	<b>2. Indizes</b>	
$\delta$	Dicke	A	Ankerkreis
$\delta$	Phasenwinkel	A	Anlauf
$\delta$	Stromführungsdauer	a	Anfang
$\delta$	Ungleichförmigkeitsgrad	a	Anregelung
$\varepsilon$	Winkelbeschleunigung	a	Ausgang
$\zeta$	Streuzyiffer	a	außen
$\eta$	Hystereseverlustbeiwert	ad	Ankerlängsrichtung
$\eta$	Wirkungsgrad	aq	Ankerquerrichtung
$\Theta$	Durchflutung	asyn	asynchron
$\Theta, \vartheta$	Übertemperatur	B	Basis
$\vartheta$	Temperatur	B	Betrieb
$\vartheta$	el. Winkel bei Stromfluß	B	Bürste
$\Lambda$	magnetischer Leitwert	Br	Bremsen
$\Lambda$	Wärmeleitwert	b	Ausregelung
$\lambda$	Rohrwiderstandsziffer	b	Beschleunigung
$\lambda$	Schaltverhältnis	C	Kollektor
$\mu$	Reibungszahl	D	Diode
$\nu$	beliebige Zahl	Dr	Drossel
$\nu$	bezogene Zahl	d	Dämpfung
$\nu$	Ordnungszahl harmonischer Schwingungen	d	Durchtritt
		d	Gleichstrom
		d	längs
		dyn	dynamisch
		E	Emitter
		E	Erregung

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, 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	<i>U, u</i>	Spannung
max	maximal	ü	Überschwingen
min	minimal	V	Verlust
mit	mit	V	vor
N	Nennwert	v	Verzögerung
N	Nutz-	v	Verzug
Netz	Netz	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

$\alpha$	bei Steuerwinkel $\alpha$
$\delta$	Luftspalt
$\mu$	Magnetisierung
$\nu$	Oberschwingung
$\sigma$	Streuung
$\Phi$	Fluß
$\Omega$	drehzahlabhängig
$\omega$	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
$\underline{X}^*$	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