

Elektrische Antriebstechnik

- Formeln
- Diagramme
- Schaltungen
- Tabellen

Dipl.-Ing. Heinz Stuben

Herausgegeben von der
BBC Brown Boveri AG
Mannheim
im Verlag W. Girardet • Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

1	Kinematik-Kinetik	1
1.1	Bewegung eines Punktes	1
1.2	Bewegung starrer Körper	5
1.3	Schwerpunkt, Massenmittelpunkt	8
1.4	Kinetik	10
	Arbeit	10
	spezielle Arbeiten	11
	Leistung	12
	Drehmoment	12
	Wirkungsgrad	12
	Arbeits- und Energiesatz	13
	Massenträgheitsmomente	13
	Umrechnung von Trägheitsmomenten	14
	Elastizität, Reibung, Rollwiderstand	16
1.5	Mechanische Elemente der Antriebstechnik	20
1.5.1	Kupplungen und Bremsen	20
1.5.2	Zugmittelgetriebe	25
1.5.3	Reibradgetriebe	25
1.5.4	Zahnradgetriebe	26
1.5.4.1	Stirnräder-Verzahnungsgeometrie	26
1.5.5	Schneckengetriebe	30
2	Elektrische Motoren	33
2.1	Gleichstrommotoren	33
2.1.1	Grundgleichungen des Gleichstrommotors mit Nebenschluß- oder Fremderregung	33
2.1.2	Gleichstrom-Servomotoren	35
2.1.3	Schaltungen und Betriebskennlinien	41
2.1.3.0	Allgemeine Angaben	41
2.1.3.1	Gleichstrom-Nebenschlußmotor	42
2.1.3.2	Fremderregter Gleichstrommotor	46
2.1.3.3	Reihenschlußmotor	46
2.1.3.4	Doppelschlußmotor	47
2.2	Drehstrommotoren	48
2.2.1	Drehstrom-Schleifringmotor	48
2.2.1.0	Allgemeine Formeln	48
2.2.1.1	Formeln bei kurzgeschlossenem Läuferkreis	49

2.2.1.2	Anlassen von Ds-SL-Motoren über Anlaßwiderstand.	52
2.2.1.3	Drehzahlverstellung bei Ds-SL-Motoren.	54
2.2.1.4	Elektrische Bremsung.	54
2.2.2	Drehstrom-Kurzschlußläufermotor.	54
2.2.2.1	Grundgleichungen.	54
2.2.2.2	Anlaufverfahren.	55
2.2.2.3	Bremsverfahren.	56
2.2.2.4	Drehzahlverstellung.	58
2.2.3	Synchronmotor (Vollpolmaschine).	61
2.2.4	Drehstrom-Servomotoren.	63
2.2.4.1	Drehstrom-Asynchronmotoren.	63
2.2.4.2	Bürstenlose Permanentmagnetmotoren.	63
2.2.5	Universalmotoren.	66
2.2.6	Schrittmotoren.	67
2.3	Normen für Motoren.	69
2.3.1	Normleistungen.	69
2.3.2	Normspannungen.	69
2.3.2.1	Gleichstrommaschinen.	69
2.3.2.2	Wechselstrommaschinen.	71
2.3.3	Drehzahlen.	73
2.3.4	Bauformen elektrischer Maschinen.	74
2.3.4.1	Maschinen mit Lagerschilden, waagerechte Anordnung.	74
2.3.4.2	Maschinen mit Lagerschilden, senkrechte Anordnung.	77
2.3.5	Achshöhen.	79
3	Stromrichter	81
3.1	Stromrichter mit Gleichstromausgang	81
3.1.0	Begriffsdefinitionen für netzgeführte Stromrichter.	81
3.1.1	Grundgleichungen im Gleichrichterbetrieb.	82
3.1.2	Grundgleichungen im Wechselrichterbetrieb.	87
3.1.3	Berechnung der einzelnen Spannungsabfälle.	89
3.1.4	Ermittlung der ideellen Gleichspannung U_{di} und der ideellen Gleichstromleistung P_{di}	92
3.1.5	Belastungskennlinien von Stromrichtern.	93
3.1.6	Bemessung von Stromrichtertransformatoren.	93
3.1.7	Umkehrantriebe.	101
3.1.8	Stromrichter für Gleichstromantriebe mit Feldschwächung.	102
3.1.9	Gleichspannungsüberschwingungen bei gesteuerten Stromrichtern auf der Gleichspannungsseite.	103
3.1.9.1	Allgemeines.	103
3.1.9.2	Induktivität einer Glättungsdrossel.	105
3.1.9.3	Lückdrossel.	107

3.1.9.4	Kreisstromdrosseln	109
3.1.10	Gleichstromsteller	115
3.2	Umrichter zur Drehzahlsteuerung von Drehstrommotoren	118
3.2.1	Zwischenkreisumrichter	121
3.2.1.0	Allgemeine Angaben	121
3.2.1.1	Umrichter mit Spannungszwischenkreis	122
3.2.1.2	Umrichter mit Stromzwischenkreis	125
3.2.1.3	Allgemeine Angaben zum Betrieb von Asynchronmotoren mit Zwischenkreisumrichtern	129
3.2.2	Direktumrichter	134
3.3	Untersynchrone Stromrichter	135
3.4	Drehstromsteller mit DS-AS-Motor	140
3.5	Drehstrom-Servo-Antriebe	141
3.5.1	Drehstrom-Servosysteme mit Drehstrom-Asynchronmotor	141
3.5.2	Drehstrom-Servosysteme für bürstenlose Permanentmagnetmotoren	143
3.6	Auswahl von Leistungshalbleitern für Stromrichter	146
3.6.1	Sperrspannungsbemessung	146
3.6.2	Strombelastbarkeit bei netzgeführten Stromrichterschaltungen	147
3.7	Netzurückwirkungen	149
3.7.1	Blindleistung	149
3.7.1.1	Grundgleichungen	149
3.7.1.2	Stromrichterblindleistung	150
3.7.1.3	Blindleistungskompensation in Netzen mit Stromrichterbelastung	153
3.7.2	Netzoberschwingungen	157
3.7.2.1	Stromoberschwingungen	157
3.7.2.2	Spannungsoberschwingungen	160
3.7.2.3	Filterkreise zur Absaugung von Stromoberschwingungen	160
4	Regelungstechnik	165
4.1	Regelkreisglieder	165
4.1.1	Übersicht über Regelkreisglieder	165
4.1.2	Verknüpfung von Regelkreisgliedern	166
4.1.3	Vereinfachung von Blockschaltbildern	168
4.1.4	Regelkreisglieder in der Antriebstechnik	170
4.2	Regelstrecken	179
4.3	Regeleinrichtungen	184
4.3.1	Übersicht	184

4.3.2	Regelkreis mit Hilfsgrößenaufschaltung.	187
4.3.3	Regelkreis mit 2 in Reihe geschalteten Reglern.	188
4.3.4	Regelkreis mit Strukturumschaltung.	188
4.3.5	Selbsteinstellende (adaptive) Regelungssysteme.	188
4.4	Regelung von stromrichteragespeisten Gleichstromantrieben.	189
4.4.1	Ansteuerung von Stromrichtern mit Gleichstromausgang.	189
4.4.1.1	Sinus-Vertikalsteuerung.	189
4.4.1.2	Sägezahnsteuerung.	1 92
4.4.2	Ankerstromregelkreis.	1 93
4.4.3	Ankerspannungsregelung.	1 96
4.4.4	Drehzahlregelkreis.	1 97
4.4.5	Regelkreis für Umkehrstromrichter.	199
4.5	Hinweise für die Inbetriebnahme und Optimierung von Regelantrieben.	200
4.5.1	Allgemeine Hinweise für den Reglerabgleich.	200
4.5.1.1	Bestimmung der Polarität von Führungs- und Regelgröße	200
4.5.1.2	Erreichbare Genauigkeit	200
4.5.1.3	Einfluß der Reglerbeschaltung auf den Regelkreis.	200
4.5.2	Optimierungsanweisung.	201
4.6	Beispiele von Regelkreisen für Antriebssysteme	201
5	Arbeitsmaschinen und Arbeitsverfahren	205
5.1	Kennlinien von Arbeitsmaschinen	205
5.1.1	Drehzahlabhängige Kennlinien.	205
5.1.2	Wegabhängige Kennlinien.	206
5.1.3	Winkelabhängige Kennlinien.	206
5.1.4	Zeitabhängige Kennlinien.	206
5.2	Ermittlung der Antriebsleistung für Arbeitsmaschinen	207
5.2.1	Antriebe für metallbearbeitende Maschinen.	207
5.2.1.1	Allgemeine Grundlagen.	207
5.2.1.2	Antriebsleistung beim Drehen.	207
5.2.1.3	Antriebsleistung beim Fräsen.	207
5.2.1.4	Antriebsleistung beim Bohren.	209
5.2.1.5	Antriebsleistung beim Scheren und Schneiden.	210
5.2.1.6	Antriebsleistung von Pressen.	210
5.2.1.7	Antriebsleistung bei Vorschubantrieben.	211
5.2.2	Walzwerksantriebe.	212
5.2.3	Rollangantriebe.	212
5.2.4	Rollenantriebe.	213
5.2.5	Drahtziehmaschinen.	213

5.2.6	Krane, Hebezeuge, Aufzüge.	214
5.2.6.1	Hubwerke für Krane.	214
5.2.6.2	Katzfahrwerke.	215
5.2.6.3	Laufkranfahrwerk.	215
5.2.6.4	Aufzüge für Personen und Lasten.	215
5.3	Elektrische Triebfahrzeuge	216
5.4	Lüfter	217
5.5	Pumpen	217
5.6	Kunststoff maschinen	219
5.6.1	Extruder.	219
5.6.2	Abzugskalander.	220
5.7	Wickelmaschinen	221
6	Auswahl und Bestimmung elektrischer Antriebe	223
6.1	Schritte zur Antriebsbestimmung	223
6.2	Formeln und Diagramme zur Antriebsbestimmung	232
6.2.1	Drehmoment.	232
6.2.2	Leistung an der Antriebswelle.	232
6.2.3	Aufgenommene Leistung der Motoren.	232
6.2.4	Synchrondrehzahl bei Ds-AS-Motoren.	232
6.2.5	Trägheitsmomente/Schwungmomente.	234
6.2.6	Beschleunigungs- und Verzögerungszeit.	234
6.2.7	Betriebsarten.	236
6.2.7.1	Dauerbetrieb S1.	236
6.2.7.2	Kurzzeitbetrieb S2.	237
6.2.7.3	Aussetzbetrieb S3 ohne Einfluß des Anlaufvorganges.	237
6.2.7.4	Aussetzbetrieb S4 mit Einfluß des Anlaufvorganges.	239
6.2.7.5	Aussetzbetrieb S5 mit Einfluß des Anlaufes und der elektrischen Bremsung.	239
6.2.7.6	Durchlaufbetrieb S6 mit Aussetzbelastung.	240
6.2.7.7	Ununterbrochener Betrieb S7 mit Anlauf und elektrischer Bremsung.	241
6.2.7.8	Ununterbrochener Betrieb S8 mit periodischer Drehzahländerung.	241
6.2.7.9	Umrechnung der erforderlichen Motor-Nennleistung bei unterschiedlichen Betriebsarten.	242
6.2.8	Einfluß der Umgebungstemperatur und der Aufstellhöhe	244
6.2.8.1	Einfluß bei Elektromotoren.	244
6.2.8.2	Einfluß bei Strom- und Umrichtern.	244

7	Sicherheitsmaßnahmen	247
7.1	Zu beachtende Vorschriften.	247
7.2	Schutz des Menschen	247
7.3	Schutz der Maschinen.	247
7.4	Schutz der elektrischen Antriebe.	248
7.4.1	Schutz von Gleichstrom-Antrieben.	248
7.4.1.1	Gleichstrommotoren.	248
7.4.1.2	Stromrichter.	248
7.4.2	Schutz von Drehstromantrieben.	250
7.4.2.1	Schutz der Umrichter.	250
7.4.2.2	Schutz der Drehstrommotoren.	251
8	Tabellenanhang	259
8.1	Genormte Größen und ihre Einheiten.	259
8.2	Vorsatzsilben zur Bezeichnung von Zehnerpotenzen bzw. von Vielfachen und Teilen einer Maßeinheit .	269
8.3	Umrechnungstabellen.	270
8.4	Technische Werte	280
8.5	Verwendete Formelzeichen.	281
9	Normen und Bestimmungen	289
10	Quellenangaben	293