

Tabellenbuch Elektrotechnik

Tabellen - Formeln - Normenanwendungen

von

Heinz O. Häberle, Gregor Häberle, Hans Walter Jöckel, Rudolf Krall, Bernd Schiemann, Siegfried Schmitt, Klaus Tkotz

1. Auflage

[Tabellenbuch Elektrotechnik – Häberle / Häberle / Jöckel / et al.](#)

schnell und portofrei erhältlich bei beck-shop.de DIE FACHBUCHHANDLUNG

Europa Lehrmittel 2011

Verlag C.H. Beck im Internet:

www.beck.de

ISBN 978 3 8085 3220 1



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische, elektronische,
mechatronische und informations-
technische Berufe

Tabellenbuch Elektrotechnik

Tabellen

Formeln

Normenanwendung

24. neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren an beruflichen Schulen
und Produktionsstätten (siehe Rückseite)

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 30103

Autoren des Tabellenbuchs Elektrotechnik:

Häberle, Gregor	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tettngang
Häberle, Heinz	Dipl.-Gewerbelehrer, VDE	Kressbronn
Jöckel, Hans-Walter	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Friedrichshafen
Krall, Rudolf	Ing. (grad.), Berufsschuloberlehrer	St. Leonhard
Schiemann, Bernd	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Ulm, Stuttgart
Schmitt, Siegfried	staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer	Friedrichshafen
Tkocz, Klaus	Dipl.-Ing. (FH)	Kronach

Leitung des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Häberle, Tettngang

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Das vorliegende Buch wurde auf der **Grundlage der aktuellen Rechtschreibregeln und lernfeldorientiert** erstellt. Wenn die Rechtschreibregeln mehrere Formen zulassen, wurde die von der Duden-Redaktion empfohlene Form angewendet.

Auszüge aus DIN-Normen mit VDE-Klassifikation sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 42.011 des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich.

Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE-VERLAG GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin und der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

24. Auflage 2011

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-3220-1

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
unter Verwendung eines Fotos der Bilddatenbank
www.fotolia.de : © erdquadrat-fotolia.com

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2011 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei GmbH, 94121 Salzweg b. Passau
Druck: B.o.s.s Druck und Medien GmbH, 47574 Goch

MATHEMATIK, PHYSIK, SCHALTUNGS-
THEORIE, BAUELEMENTE 11 ... 66

G

TECHNISCHE DOKUMENTATION,
MESSEN 67 ... 118

TM

ELEKTRISCHE INSTALLATION
119 ... 192

EI

SICHERHEIT, ENERGIEVERSORGUNG
193 ... 268

SE

INFORMATIONEN- UND KOMMUNIKA-
TIONSTECHNISCHE SYSTEME
269 ... 318

IK

AUTOMATISIERUNGS- UND ANTRIEBS-
SYSTEME, STEUERN UND REGELN
319 ... 402

AS

WERKSTOFFE, VERBINDUNGSTECHNIK
403 ... 434

W

BETRIEB UND SEIN UMFELD,
UMWELTTECHNIK, ANHANG
435 ... 512

BU

Die Weiterentwicklungen der Technik und der Lernorganisationen führte zu einer Überarbeitung und Erweiterung des Buches und macht es damit zu einem Kompendium. Neue und aktualisierte Inhalte sind nachstehend *kursiv* (schräg) gedruckt.

- **Teil M:
Mathematik,
Physik,
Schaltungstheorie,
Bauelemente**

Formelzeichen, Größen und Einheiten, mathematische Zeichen, Potenzen, Vorsätze, Kraft, Kraftmoment, Bewegungslehre, Arbeit, Leistung, Wärme, Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand, elektrisches und magnetisches Feld, Wechselgrößen. Schaltungen von R, L, C, Drehstrom, Oberschwingungen, Widerstände und Kondensatoren, Dioden, Transistoren, Thyristoren, magnetfeldabhängige und fotoelektronische Bauelemente.
- **Teil TM
Technische
Dokumentation,
Messen**

Technisches Zeichnen, Maßeintragung, Schaltpläne, Schaltzeichen, Vergleich von Schaltzeichen, Erstellen einer Dokumentation, Aufbau einer Betriebsanleitung. Messgeräte und Messwerke, Messkategorien, Messen in elektrischen Anlagen, Elektrizitätszähler, Oszilloskop, Messen mit Sensoren.
- **Teil EI
Elektrische
Installation**

Arbeiten in elektrischen Anlagen, Leitungsverlegung, Leitungsführung, Installationsschaltungen, Sprechanlagen, Dimmertypen, Elektroinstallation mit Niedervolt-Halogenlampen, feldarme Elektroinstallation, Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik, Hausanschluss, Hausinstallationen, Leitungsberechnung, Lichttechnik, Beleuchtungstechnik, LED-Leuchtmittel, Leuchtröhrenanlage.
- **Teil SE
Sicherheit,
Energieversorgung**

Erste Hilfe, Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Differenzstromgeräte, Basisschutz, Fehlerschutz, zusätzlicher Schutz, Leiter für die Schutzmaßnahmen, Kraftwerksarten, Isolierstoffklassen, Transformatoren, Freileitungsnetze, Erdkabel, PV-Anlage, Brennstoffzellen, Elektrochemie, Primärelemente, Akkumulatoren, SSV-Anlagen, elektromagnetische Verträglichkeit EMV, Blitzschutz, Qualität der Stromversorgung, Kompensation, Sicherheitstechnik, Raumheizung, Heizwärmeverbrauch, Energie-Effizienz, Hausgerätetechnik, Stromtarife.
- **Teil IK
Informations- und
kommunikations-
technische
Systeme**

Zahlensysteme, Codes, Schaltalgebra, Flipflops, DA-Umsetzer, AD-Umsetzer, Modulation und Demodulation, Personal-Computer PC, Netze der Informationstechnik, Komponenten für Datennetze, Ethernet, Funk-LAN, AS-i-Bussysteme, Interbus, PROFIBUS, Identifizierungssysteme, Anschluss an das Telefonnetz, Internet, Antennenanlagen, SAT-Anlagen, Multimediaverkabelung.
- **Teil AS
Automatisierungs-
und Antriebs-
systeme, Steuern
und Regeln**

Hilfsstromkreise von Steuerungen, Stromrichter, Schaltnetzteile, Kippschaltungen, Steuerrelais, Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS, Programmiersprachen für SPS, Steuerungstechnik, Ablaufsteuerung GRAFCET, Schütze, Motorschutz, elektrische Ausrüstung von Maschinen, Regelungstechnik, Drehstrommotoren, Wechselstrommotoren, Gleichstrommotoren, Effizienz von Antrieben, Servomotoren, Kleinstmotoren, Linearantriebe, Piezo-Antriebe.
- **Teil W
Werkstoffe,
Verbindungstechnik**

Periodensystem, Stoffwerte, Stahlnormung, Magnetwerkstoffe, Isolierstoffe, Leitungen, Erdkabel, Steckverbinder, lötfreie Anslusstechnik, Gewinde, Schrauben und Muttern.
- **Teil BU
Betrieb,
Umfeld,
Umwelttechnik,
Anhang**

Organisationsformen, Arbeiten im Team, Arbeitsplanung, Kosten und Kennzahlen, Qualifikationen der Elektrofachkraft, Durchführung von Projekten, Umgang mit Konflikten, Kommunikation mit Kunden, Umwelttechnische Begriffe, gefährliche Stoffe, Elektroschrott, Normen, Kurzformen, fachliches Englisch, Sachwortverzeichnis, Firmen und Dienststellen.

Normänderungen wurden übernommen, z. B. bei den Begriffen nach DIN VDE 0100-200. Allgemein ist zu beachten, dass vielfach die Normen verschiedene Formen zulassen, z. B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigung mit oder ohne „Punkt“. Davon wurde, wie in der beruflichen Praxis, auch im Buch Gebrauch gemacht.

Verlag und Autoren danken für die zahlreichen Benutzerhinweise, die zu einer weiteren Verbesserung des Buches führten. Gerne nehmen wir auch künftig konstruktive Verbesserungsvorschläge dankbar entgegen. Diese können auch mit E-Mail an lektorat@europa-lehrmittel.de gerichtet sein.

Lernfelderauswahl	9	Magnetfeldabhängige Bauelemente	62
Literaturverzeichnis	10	Fotoelektronische Bauelemente	63
Teil G:		Teil TM:	
Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente		Technische Dokumentation, Messen	
Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente	11	Technische Dokumentation, Messen	67
Formelzeichen dieses Buches	12	Grafische Darstellung von Kennlinien	68
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	13	Allgemeines Technisches Zeichnen	69
Internationale Formelzeichen	14	Zeichnerische Darstellung von Körpern	70
Größen und Einheiten	15	Maßpfeile, besondere Darstellungen	71
Mathematische Zeichen	17	Maßeintragung	72
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung	18	Maßeintragung, Schrägfüß	73
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen	19	Schaltpläne als funktionsbezogene Dokumente	74
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen	20	Weitere funktionsbezogene Dokumente	75
Längen und Flächen	21	Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente	76
Körper und Masse	22	Kennzeichnung in Schaltplänen	77
Masse, Kraft, Druck, Kraftmoment	23	Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel)	78
Bewegungslehre	24	Unterklassen für Aufgaben von Objekten	79
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	25	Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen	80
Übersetzungen	26	Schaltzeichen	81
Rollen, Keile, Winden	27	Allgemeine Schaltzeichen	82
Wärme	28	Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen	83
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	29	Messinstrumente und Messgeräte	84
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	30	Halbleiterbauelemente	85
Elektrisches Feld, Kondensator	31	Binäre Elemente	86
Wechselgrößen, Wellenlänge	32	Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifschaltgeräte	88
Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls	33	Elektroakustische Umsetzer und Antennenanlagen	89
Magnetisches Feld, Spule	34	Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne	90
Elektrische Feldstärken und magnetische Feldstärken	35	Installationsschaltpläne	92
Strom im Magnetfeld, Induktion	36	Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne	93
Schaltung von Widerständen	37	Spulen, Transformatoren, Transduktor, drehende Generatoren	94
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler	38	Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser	95
Potenzimeter	39	Drehstrommotoren und Anlasser	96
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung	40	Motoren mit Stromrichterspeisung	97
Grundsaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten	41	Vergleich von Schaltzeichen	98
Schalten von Kondensatoren und Spulen	42	Hydraulische und pneumatische Elemente	100
Reihenschaltung von R, L, C	43	Symbole der Verfahrenstechnik	101
Parallelschaltung von R, L, C	44	Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen	102
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung	45	Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung	103
Einfache Filter	46	Elektrische Messgeräte und Messwerke	104
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	47	Piktogramme für die Messtechnik	105
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlung, Brückenschaltung	48	Mess-Schaltungen zur Widerstandsbestimmung	106
Oberschwingungen	49	Messbereichserweiterung	107
Widerstände und Kondensatoren	50	Messung in elektrischen Anlagen	108
Farbkennzeichnung von Widerständen und Kondensatoren	51	Niederspannungs-Schaltungen für Leistungsmessgeräte	110
Bauarten von Widerständen und Kondensatoren	52	Elektrizitätszähler	111
Anwendungsgruppen und Aufbau von Kondensatoren	53	Elektronische kWh-Zähler	112
Halbleiterwiderstände	54	Oszilloskop	113
Gleichrichterbegriffe	55	Messen mit dem Oszilloskop	114
Dioden	56	Wegmessung und Winkelmessung mit Sensoren	115
Feldeffekttransistoren, IGBT	57	Kraftmessung und Druckmessung mit Sensoren	116
Bipolare Transistoren	58	Bewegungsmessung mit Sensoren	117
Thyristor	59	Temperaturmessung mit Sensoren	118
Thyristorarten und Triggerdiode	60	Teil EI:	
Gehäuseformen von Dioden, Transistoren und ICs	61	Elektrische Installation	
		Arbeiten in elektrischen Anlagen	120
		Werkstattausrüstung	121

Leitungsverlegung, Leitungsbearbeitung	122	Energieversorgung von Werkstätten und Maschinenhallen	177
Ausschaltung, Serienschaltung	123	Lichttechnik	178
Wechselschaltung, Kreuzschaltung	124	Planung der Arbeitsstättenbeleuchtung von Innenräumen	179
Treppenlichtzeitschalter, Hausklingelanlage mit Türöffner	125	Wartungsfaktoren von Arbeitsstättenbeleuchtung	180
Schaltungen mit Stromstoßschaltern	126	Berechnung von Beleuchtungsanlagen	181
Jalousieschaltungen	127	Beleuchtung und Blendung	182
Sprechanlagen	129	Glühlampen, Metaldampf lampen	183
Zweidraht-Türsprechanlagen	130	Energiesparlampen, Farbwiedergabe	184
Lampenschaltungen mit Dimmern	131	Induktionslampen und Lichtleiter	185
Tastdimmer, Dimmertypen	132	Leuchtstofflampen für 230 V	186
Automatikschalter mit Wärmesensor	133	Elektronische Vorschaltgeräte EVG für Leuchtstofflampen	187
Automatikschalter mit Ultraschall-Bewegungssensor	134	Schaltungen von Entladungslampen	188
Elektroinstallation mit Niedervolt-Halogenlampen	135	LED-Beleuchtung	189
Feldarme Elektroinstallation	136	LED-Leuchtmittel	190
Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik	137	Lichttechnische Daten von Leuchten	191
Linien und Bereiche des KNX	138	Leuchtröhrenanlagen	192
Schaltzeichen des KNX	139		
Systemkomponenten zum KNX	140	Teil SE:	
Spezielle Aktoren und Systemgeräte zum KNX	141	Sicherheit, Energieversorgung	191
Sensoren für den KNX	142	Erste Hilfe am Arbeitsplatz	194
Aktoren für den KNX	143	Persönliche Schutzausrüstung PSA	195
Installationsbus mit FSK-Steuerung	144	Zeichen zur Unfallverhütung	196
Projektion und Inbetriebnahme beim KNX	145	Zeichen und Farben der Unfallverhütung	197
LON	146	Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit	198
LON-Komponenten	147	Berührungsarten, Stromgefährdung, Fehlerarten	199
Elektroinstallation mit Funksteuerung	148	Schutzmaßnahmen, Schutzklassen	200
LCN	150	Verteilungssysteme (Netzformen)	201
Hausanschluss mit Schutzpotenzialausgleich	151	Schutz gegen elektrischen Schlag	202
Hauptleitungen in Wohnanlagen	152	Differenzstromgeräte	203
Zählerplatzeinrichtung	153	Fehlerschutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung	204
Elektrische Mindestausstattung in Wohngebäuden, Zählerplätze	154	Weitere Schutzmaßnahmen	205
Leitungsführung in Wohngebäuden	155	Weiterer Fehlerschutz in fachlich überwachten Anlagen	206
Leitungsberechnung ohne Verzweigung	156	Leiter für die Schutzmaßnahmen	207
Leitungsberechnung mit Verzweigung	158	Prüfung der Schutzmaßnahmen	208
Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen	159	Wiederkehrende Prüfungen	209
Verlegearten für feste Verlegung	160	Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte	210
Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta_U = 25\text{ °C}$	161	Transformatoren und Drosselspulen, Prüfung der Isolation	212
Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta_U = 30\text{ °C}$	162	Berechnung von Transformatoren	213
Strombelastbarkeit von flexiblen oder wärmefesten Leitungen	163	Kleintransformatoren	214
Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbarkeit	164	Kraftwerksarten	215
Mindest-Leiterquerschnitte, Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln	165	Drehende Generatoren	216
Überstrom-Schutzeinrichtungen (Niederspannungssicherungen)	166	Isolierstoffklassen, Leistungsschilder von Transformatoren	217
Überstrom-Schutzeinrichtungen	167	Transformatoren für Drehstrom	218
Räume mit Badewanne oder Dusche	168	Transformatoren in Parallelbetrieb	219
Räume und Anlagen besonderer Art, Arbeiten unter Spannung	169	Netze der Energietechnik	220
Saunaanlagen und Schwimmbecken	170	Freileitungen	221
Elektroinstallation in feuergefährdeten Betriebsstätten	171	Freileitungsnetze	222
Elektroinstallation in landwirtschaftlichen Betrieben	172	Durchhang von Freileitungen	223
Elektroinstallation in medizinisch genutzten Bereichen	173	Verlegung von Erdkabeln	224
Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen	175	Eigenerzeugungsanlagen	225
Elektroinstallation in explosionsgefährdeten Bereichen	176	Vergütung erneuerbarer Energien nach dem EEG, Windkraftanlagen	226
		Fotovoltaik	227
		Fotovoltaik-Anlage, PV-Anlage	228
		Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln	229
		Brennstoffzellen	230
		Schutzarten elektrischer Betriebsmittel	231
		Elektrochemie	232

Primärelemente 233
 Akkumulatoren 234
 Ladetechniken für Akkumulatoren 235
 Notstromversorgung und Notbeleuchtung 236
 Sicherheits-Stromversorgungsanlagen (SSV-Anlagen) 237
 USV-Systeme (Unterbrechungslose Stromversorgungssysteme) 238
 Elektromagnetische Verträglichkeit EMV 239
 Elektromagnetische Störungen EMI 240
 Maßnahmen gegen EMI 241
 Innerer Blitzschutz 242
 Äußerer Blitzschutz 243
 Fangeinrichtungen und Ableitungen 245
 Qualität der Stromversorgung 246
 Kompensation 247
 Kompensation der Blindleistung 248
 Überwachung der Endstromkreise 250
 Melde- und Überwachungsanlagen 251
 Sicherheitstechnik in Gebäuden 252
 Einbruchmeldeanlagen EMA 253
 Videoüberwachung 254
 Temperaturen für Wärmebedarf 255
 Wärmebedarf und Wärmeleitung von Gebäuden 256
 Heizwärmeverbrauch und Energiekennzahl eines Einfamilienhauses 257
 Raumheizung 258
 Fußboden- und Deckenheizung 259
 Klimatisierung 260
 Kochstellen für Elektroherde 261
 Energie-Effizienz-Klassen 262
 Energie-Einsparpotenziale 263
 CE-Kennzeichnung 264
 Warmwassergeräte 265
 Hausgeräte 266
 Wärmepumpen 267
 Stromtarife 268

Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme 269

Dualzahlen und Binärcodes 270
 Sedezialzahlen und Oktalzahlen 271
 ASCII-Code im Unicode 272
 Binäre Verknüpfungen 273
 Schaltalgebra 274
 Entwicklung von Schaltnetzen 275
 Code-Umsetzer 276
 Flipflops (bistabile Kippschaltungen) 277
 Digitale Zähler und Schieberegister 278
 DA-Umsetzer und AD-Umsetzer 279
 Modulation 280
 Mikrocomputer 281
 Personalcomputer PC 282
 Bildschirmgeräte 283
 Schnittstellen und Steckverbinder des PC 284
 Schnittstellenkopplungen 285
 Betriebssysteme Windows 286
 Elemente von Windows-Benutzeroberflächen 287
 Netze der Informationstechnik 288
 Komponenten für Datenetze 289
 Kommunikation bei Ethernet 291
 Errichten eines Ethernet-Netzwerkes 292
 Industrial Ethernet 293
 Signalübertragung 294
 Datenübertragung mittels Funk 295

Funk-LAN 296
 Identifizierungssysteme 297
 AS-i-Bussystem 298
 Interbus 299
 PROFIBUS 300
 Fernwirkssysteme 301
 Messumformer und Signalumsetzer für Fernwirkssysteme 302
 Programmierbarer Messumformer für Fernwirkssysteme 303
 Anschluss an das Telefonnetz 304
 Telekommunikation mit ISDN 305
 Einrichten von ISDN-Anlagen 306
 Internet-Zugang 307
 Suchen im Internet 308
 Sichern und Schützen von Daten 309
 Antennen, Betriebsmittel für Antennenanlagen 310
 Satellitenempfang 311
 SAT-Anlagen 312
 Satellitenantennenanlagen 313
 Digitales Fernsehen über terrestrische Antenne, DVB-T 314
 Gemeinschaftsantennenanlagen 315
 Errichtung von Antennenanlagen 316
 Breitband-Kommunikationsanlagen (BK-Anlagen) 317
 Multimediaverkabelung im Heimbereich 318

Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln 319

Verstärker-Grundsaltungen 320
 Grundlagen des Operationsverstärkers 321
 Schaltungen mit Operationsverstärkern 322
 Aufgaben von Stromrichtern 324
 Benennung von Stromrichterschaltungen 325
 Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter 326
 Wechselwegschaltung, Steuerkennlinie 327
 Betriebsquadranten bei Antrieben, Linearmotoren 328
 Halbgesteuerte Stromrichter 329
 Vollgesteuerte Stromrichter 330
 Wechselrichter 331
 Gleichstromsteller, U-Umrichter-Prinzip 332
 U-Umrichter 333
 Ansteuerschaltungen für Halbleiter 334
 Glättung und Spannungsstabilisierung 335
 Grundlagen der Schaltnetzteile 336
 Schaltnetzteile 337
 Schalttransistor, Kippschaltungen 338
 Halbleiterrelais 339
 Kleinststeuerung easy 340
 Kleinststeuerung LOGO! 341
 Struktogramme und Programmablaufpläne 342
 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS 343
 Signalkopplungen für SPS und Mikrocomputer 344
 Steueranweisungen für SPS 345
 Programmbeispiele für SPS 347
 Zähler und Zeitglieder in SPS 348
 Programmiersprachen Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS 349
 Programmstruktur für SPS S7 350
 Ablaufsteuerung mit GRAFCET 351
 Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse 353
 Steuerungstechnik 354
 Elektronische Steuerung von Verbrauchsmitteln 355

Grenzwerte der Anschlussleistung im öffentlichen Netz	356	Isolierstoffe	412
Hilfsstromkreise	357	Kunststoffe als Isolierstoffe	414
Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen	358	Weitere Isolierstoffe	415
Architekturen von Steuerungen	359	Hilfsstoffe	416
Elektrische Niederspannungsausrüstung von Maschinen	360	Leitungen und Kabel	417
Schütze	361	Isolierte Starkstromleitungen	418
Spezielle Schützarten	362	Starkstromleitungen	419
Kennzeichnung und Antriebe der Schütze	363	Weitere Leitungen für feste Verlegung	420
Gebrauchskategorien und Prüfbedingungen von Schützen	364	Leitungen zum Anschluss ortsveränderlicher Betriebsmittel	421
Schützschaltungen	365	Leitungen und Kabel für Melde- und Signalanlagen	422
Motorschutz	367	Leitungen in Datennetzen	423
Vollelektronischer Motorschutz	368	Leitungen für Kleinspannungsbeleuchtung	424
Steuerung durch Motorschalter	369	Code zur Farbkennzeichnung, Starkstromkabel ..	425
Optoelektronische Näherungsschalter (Lichtschranken)	370	Kabel für die Energieverteilung	426
Näherungsschalter (Sensoren)	371	Steckvorrichtungen der Energietechnik	427
Ultraschall-Sensoren	372	Steckverbinder	428
Regelungstechnik	373	Steckverbinder RJ45 und RJ11	429
Unstetige Regelglieder	374	Lötfreie Anslusstechik	430
Digitale stetige Regelglieder	375	Installationsrohre	431
Analoge stetige Regelglieder	376	Bezeichnungsbeispiele für Schrauben und Muttern	432
Digitale Regelung	377	Metrische ISO-Gewine	433
Einstellung von Regelkreisen	378	Toleranzen und Passungen	434
Betriebsarten und Grenzübertemperaturen	380	Teil BU:	
Effizienzklassen von elektrischen Antrieben	381	Betrieb und sein Umfeld, Umwelttechnik,	
Betriebsdaten von Käfigläufermotoren	382	Anhang	435
Oberflächengekühlte Käfigläufermotoren (Normmotoren)	383	Organisationsformen der Unternehmen	436
Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen	384	Organisation der Arbeit	437
Berechnungsformeln für drehende elektrische Maschinen	385	Arbeitsplanung, Netzplantechnik	438
Leistungsschilder von drehenden elektrischen Maschinen	386	Arbeiten im Team	439
Drehstrommotoren	387	Umgang mit Konflikten	440
Polumschaltbare Motoren	388	Prozesse analysieren und gestalten	441
Fehlerbeseitigung bei Drehstrom-Asynchronmotoren	389	Vorbereitung einer Präsentation	442
Einphasen-Wechselstrommotoren	390	Präsentation eines Projektes	443
Gleichstrommotoren	391	Diagramme für Präsentationen	444
Servomotoren	392	Durchführung von Projekten	445
Ansteuerung von Servomotoren	393	Systematisches Marketing	446
Schrittmotoren	394	Kommunikation mit Kunden	447
Kleinstmotoren	395	Durchführung von Kundens Schulungen	448
Daten von Kleinstantrieben, Getriebe für Kleinstmotoren	396	Bestandteile eines Tarifvertrages	449
Lineare Antriebe	397	Qualifikationen für elektrotechnische Arbeiten ..	450
Piezo-Aktoren und Piezo-Antriebe	398	Rechtsgeschäfte des Betriebes	451
Prüfung elektrischer Maschinen	399	Kosten und Kennzahlen	452
Antriebstechnik	400	Kalkulation der Kosten	453
Wahl des Antriebsmotors	401	Erstellen eines Angebotes	454
Anlassen von Kurzschlussläufermotoren	402	Lastenheft, Pflichtenheft	455
Teil W:		Computerunterstützte Planung einer Elektroinstallation	456
Werkstoffe, Verbindungstechnik	403	Reale Ausführung von Installationsschaltungen ..	457
Periodensystem, chemische Bindung	404	Zertifizierung, Auditierung	458
Stoffwerte	405	Gefährliche Stoffe	459
Stahlnormung	406	Risiko-Sätze (H-Sätze) für Gefahrstoffe	460
Leitende Werkstoffe der Elektrotechnik (Nichteisenmetalle)	407	Sicherheitsratschläge (P-Sätze) für Gefahrstoffe ..	461
Magnetisierungskennlinien	408	Umgang mit Elektroschrott	462
Magnetwerkstoffe	409	Normen	463
Lote, Thermobimetalle, Kohlebürsten	410	Wichtige Teile des VDE-Vorschriftenwerkes	466
Kontaktwerkstoffe, Freileitungen	411	Teile von DIN VDE 0100	467
		Glossar	469
		Kurzformen von Fachbegriffen	475
		Fachliches Englisch (Englisch-Deutsch)	481
		Sachwortverzeichnis (mit fachlichem Englisch) ..	488
		Bildquellenverzeichnis	509
		Unterstützende Firmen und Dienststellen	510

Lernfelderauswahl und Buchabschnitte

Selection of Fields of Learning and relevant Sections in this Book

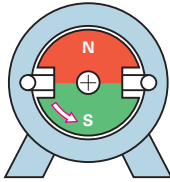
Lernfeld	Lernfeldinhalt	Hauptabschnitte im Tabellenbuch Elektrotechnik, zusätzliche Inhalte weiterer Hauptabschnitte
Lernfeldübersicht für industrielle und handwerkliche Elektroberufe (Beispiel)		
1	Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen	Teil M: Schaltungstheorie, Bauelemente Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
2	Elektrische Installationen planen und ausführen	Teil EI: Elektrische Installation Teil TM: Technische Dokumentation
3	Steuerungen analysieren und ausführen	Teil AS: Steuern und Regeln Teil M: Schaltungstheorie, Bauelemente Teil TM: Technische Dokumentation
4	Informationstechnische Systeme bereitstellen	Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme Teil TM: Technische Dokumentation
5	Elektroenergieversorgung und Sicherheit von Betriebsmitteln gewährleisten	Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil TM: Technische Dokumentation, Messen Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik Teil BU: Betrieb und sein Umfeld
6	Anlagen analysieren und deren Sicherheit prüfen	Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme
7	Steuerungen für Anlagen programmieren und realisieren	Teil AS: Steuern und Regeln Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme
8	Antriebssysteme auswählen und integrieren	Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln Teil TM: Technische Dokumentation Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung
9	Steuerungssysteme und Kommunikationssysteme integrieren	Teil AS: Steuern und Regeln Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
10	Automatisierungssysteme in Betrieb nehmen und übergeben	Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme Teil BU: Betrieb und sein Umfeld Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
11	Automatisierungssysteme in Stand halten und optimieren	Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme Teil EI: Elektrische Installation Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil BU: Umwelttechnik Teil TM: Technische Dokumentation, Messen
12 13	Automatisierungssysteme planen, Automatisierungssysteme realisieren	Teil AS: Automatisierungssysteme Teil EI: Elektrische Installation Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil BU: Umwelttechnik Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik
Lernfeldübersicht für elektrische Teile der Lernfelder Mechatronik		
1	Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen	Teil TM: Technische Dokumentation Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik
3	Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte	Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung Teil EI: Elektrische Installation
4	Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen Baugruppen	Teil AS: Automatisierungssysteme Teil W: Werkstoffe, Verbindungstechnik
5	Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungssystemen	Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme
8	Design und Erstellen mechatronischer Teilsysteme	Teil TM: Technische Dokumentation, Messen Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme

Literaturverzeichnis List of Literature

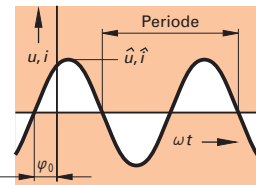
Automatisierungstechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Baumann u. a.
Betrieb von elektrischen Anlagen	VDE-Verlag, Berlin	DIN VDE 0105
Digitale Übertragungstechnik	B. G. Teubner, Stuttgart	Gerdsen
Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren	VDE-Verlag GmbH, Berlin	Budig
Elektrische Niederspannungsanlagen von Gebäuden	VDE-Verlag, Berlin	DIN VDE 0100
Elektrische Anlagen in Wohngebäuden	Beuth-Verlag, Berlin	DIN 18015
Fachwissen Betriebs- und Antriebstechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Fritsche u. a.
Elektrische Energieversorgung	Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden	Heuck u. a.
Elektrische Messgeräte und Messverfahren	Springer-Verlag, Berlin	Jahn u. a.
EMV nach VDE 0100	VDE-Verlag, Berlin	Rudolph u. a.
Fachkunde Elektrotechnik	Verlag Europa-Lehrmittel	Bastian u. a.
Fachkunde Industrieelektronik und Informationstechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Grimm u. a.
Handbuch Elektromagnetische Verträglichkeit	VDE-Verlag GmbH, Berlin	Habiger u. a.
Handbuch Elektrotechnik	Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Wiesbaden	Böge u. a.
IT-Handbuch	Westermann-Schulbuchverlag, Braunschweig	Hübscher u. a.
Leistungselektronik	Carl Hanser Verlag, München	Bystron
Moderne Leistungselektronik und Antriebe	VDE-Verlag, Berlin	Hofer
NetZRückwirkungen	VDE-Verlag, Berlin und VDEW-Energieverlag, Frankfurt a. M.	Hörmann u. a.
Optische Übertragungstechnik	Hüthig Buch Verlag, Heidelberg	Wrobel u. a.
Professionelle Stromversorgung	Franzis-Verlag GmbH, München	Freyer
Praxis Elektrotechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan	Bastian u. a.
Schutz durch DIN VDE 0100	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan	Fritsche u. a.
Sensoren, Messaufnehmer	expertverlag, Renningen	Bonfig u. a.
Tabellenbuch industrielle Computertechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Grimm u. a.
Tabellenbuch Informations- und Systemtechnik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	Burgmaier u. a.
Tabellenbuch Mechatronik	Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten	G. Häberle u. a.
Taschenbuch Elektrotechnik	Carl Hanser Verlag, München	Philipow u. a.
Transformatoren	VDE-Verlag, Berlin und VDEW-Energieverlag, Frankfurt a. M.	Janus u. a.

Wechselgrößen

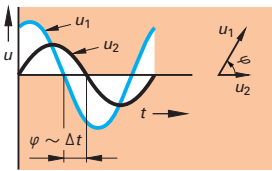
G



Innenpolmaschine mit einem Polpaar



Sinusspannung mit Nullphasenwinkel



Liniendiagramm Zeigerdiagramm

Phasenverschiebung

$$[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

$$[\omega] = \frac{1}{s}; [n] = \frac{1}{s}$$

Frequenz

$$f = \frac{1}{T} \quad 1$$

$$f = p \cdot n \quad 2$$

$$\omega = 2 \pi \cdot f \quad 3$$

Signalform				
Crestfaktor F_C	$\sqrt{2} = 1,41$	$\sqrt{3} = 1,73$	1	$\sqrt{\frac{T}{t_i}}$

Scheitelwert der Spannung

$$\hat{u} = U \cdot F_C \quad 6$$

Effektivwert bei Sinusform

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \quad 4$$

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \quad 5$$

Effektivwert allgemein

$$U = \frac{\hat{u}}{F_C} \quad 7$$

$$I = \frac{\hat{i}}{F_C} \quad 8$$

Augenblickswert

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad 9$$

$$u = \hat{u} \cdot \sin(360^\circ \cdot f \cdot t + \varphi_0^\circ) \quad 10$$

u_1 eilt u_2 um den Phasenverschiebungswinkel φ voraus.

$$\varphi = 2 \pi \cdot \frac{\varphi^\circ}{360^\circ}; \varphi^\circ = \Delta t \cdot \frac{360^\circ}{T}$$

$$[\varphi] = \text{rad}; [\varphi^\circ] = ^\circ$$

Spitze-Tal-Werte

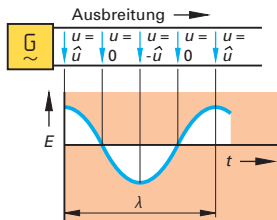
$$\hat{u}_\vee = 2 \cdot \hat{u} \quad 11$$

$$\hat{i}_\vee = 2 \cdot \hat{i} \quad 12$$

ab Zeitpunkt Nulldurchgang ($\varphi_0 = 0$):

$$u = \hat{u} \cdot \sin(360^\circ \cdot f \cdot t) \quad 13$$

Wellenlänge



Wellenlänge

im Vakuum:

allgemein:

$$c_0 = 299\,792\,458 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\approx 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$= 0,3 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad 14$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad 15$$

$$\lambda = c_0 \cdot T \quad 16$$

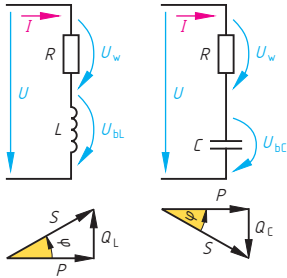
$$\lambda = c \cdot T \quad 17$$

- c Ausbreitungsgeschwindigkeit
- c_0 Lichtgeschwindigkeit im Vakuum oder in Luft
- E elektrische Feldstärke
- f Frequenz
- F_C Scheitelfaktor, Crestfaktor
- i Augenblickswert des Stromes
- \hat{i} Scheitelwert des Stromes
- I Effektivwert der Stromstärke

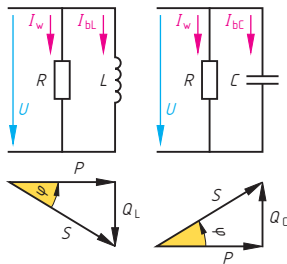
- \hat{i}_\vee Spitze-Tal-Wert des Stromes
- l Leiterlänge
- n Drehfelddrehzahl
- p Polpaarzahl der Maschine
- t Zeit
- t_i Impulszeit
- T Periodendauer
- u Augenblickswert der Spannung

- \hat{u} Scheitelwert der Spannung
- U Effektivwert der Spannung
- \hat{u}_\vee Spitze-Tal-Wert der Spannung
- α Winkel
- φ Phasenverschiebungswinkel
- φ_0 Nullphasenwinkel
- λ Wellenlänge
- ω Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit

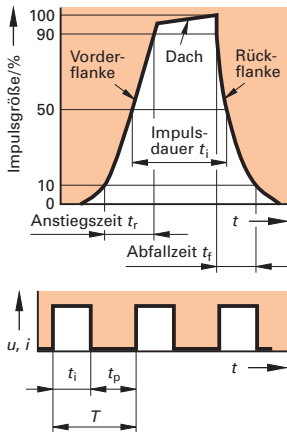
Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls Power of Alternating Sine-wave Current, Impulse



Reihenschaltung von Wirkwiderstand und Blindwiderstand



Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Blindwiderstand



Kenngrößen beim Impuls

- C Index für kapazitiv
- f Frequenz
- g Tastgrad
- I, i Stromstärke
- I_b Blindstrom
- I_{bC} kapazitiver Blindstrom
- I_{bL} induktiver Blindstrom
- I_w Wirkstrom
- L Index für induktiv

- P Wirkleistung
- Q Blindleistung
- S Scheinleistung, Flankensteilheit
- T Periodendauer
- t Zeit
- t_f Abfallzeit
- t_i Impulsdauer
- t_p Pausendauer
- t_r Anstiegszeit

- U_b Blindspannung
 - U_w Wirkspannung
 - V Tastverhältnis (nicht genormt)
 - Δ Zeichen für Differenz
 - φ Phasenverschiebungswinkel
 - λ Leistungsfaktor
- Bei Sinusform:
- cos φ Leistungsfaktor, Wirkfaktor
 - sin φ Blindfaktor

Der Spannungserzeuger gibt eine Scheinleistung an eine beliebige Schaltung ab.

$$[S] = V \cdot A = VA$$

$$S = U \cdot I$$

Im Wirkwiderstand tritt Wirkleistung auf.

$$[P] = V \cdot A = W$$

$$P = U_w \cdot I_w$$

Im Blindwiderstand tritt Blindleistung auf.

$$[Q] = V \cdot A = var$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

var = Volt-Ampere-reaktiv
(reaktiv = rückwirkend)

Q ist Q_C oder Q_L,
U_b ist U_{bC} oder U_{bL} und
I_b ist I_{bC} oder I_{bL}.

Bei Sinusform:

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

Blindleistung

$$Q = U_b \cdot I_b$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Bei Nichtsinusform:

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

Scheinleistung

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Die Anstiegszeit und die Abfallzeit werden zwischen dem 10%-Wert und dem 90%-Wert der Impulsgröße gemessen.

Für Spannungsimpuls:

$$S = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

Die Impulsdauer und die Pausendauer misst man zwischen den 50%-Werten der Impulsgröße.

Für Stromimpuls:

$$S = \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$[S] = \frac{V}{s} \text{ oder } \frac{A}{s}$$

Frequenz

$$f = \frac{1}{T}$$

Periodendauer

$$T = t_i + t_p$$

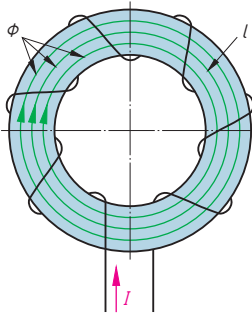
Tastverhältnis

$$V = \frac{t_i}{g}$$

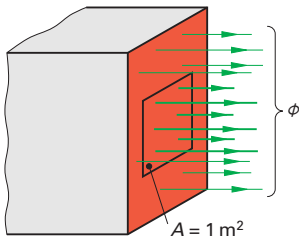
Tastgrad

$$g = \frac{t_i}{T}$$

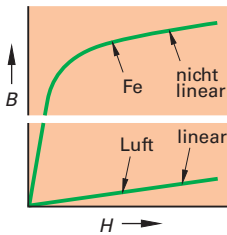
G



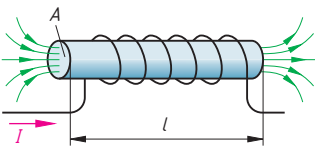
Magnetische Feldstärke



Magnetische Flussdichte, Induktion



Magnetisierungskennlinien



Induktivität

$$[\Theta] = A$$

$$[H] = \frac{A}{m}$$

$$[R_m] = \frac{A}{Vs} = \frac{1}{H}$$

magn. Leitwert

$$\Lambda = \frac{1}{R_m}$$

$$[\Phi] = Vs = Wb \text{ (Weber)}$$

$$[B] = \frac{Vs}{m^2} = T \text{ (Tesla)}$$

$$[\mu_0] = 1,257 \frac{\mu Vs}{Am} = 1,257 \mu H/m$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

Die Permeabilitätszahl μ_r gibt den Faktor an, um den die magnetische Leitfähigkeit des Kernes größer ist als die der Luft.

μ_r siehe Seite 410

Für Luft: $\mu_r = 1$

$$[F] = \frac{T^2 \cdot m^2 \cdot Am}{Vs} = \frac{Ws}{m} = N \text{ (Newton)}$$

$$[L] = \frac{Vs}{A} = H \text{ (Henry)}$$

$$[W] = \frac{Vs}{A} \cdot A^2 = Ws = J \text{ (Joule)}$$

$$[w] = \frac{J}{m^3}$$

Energiedichte

$$w = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H$$

$$w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \cdot \mu_r}$$

Durchflutung

$$\Theta = I \cdot N$$

magn. Feldstärke

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

magn. Widerstand

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

magn. Fluss

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m}$$

magn. Flussdichte

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

In Luft:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

In Magnetwerkstoffen:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \mu_0}$$

Induktivität

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l}$$

$$L = N^2 \cdot A_L$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$$w = \frac{W}{V}$$

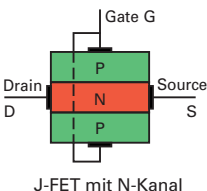
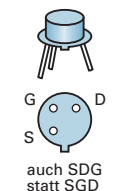
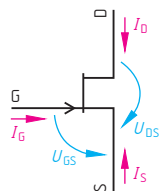
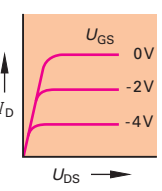
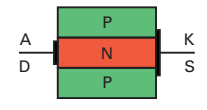
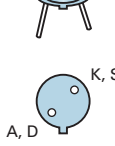
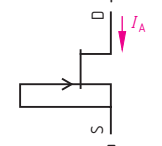
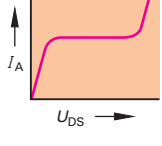
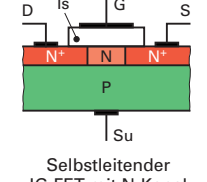
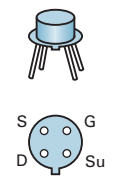
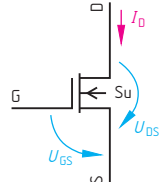
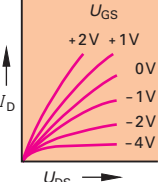
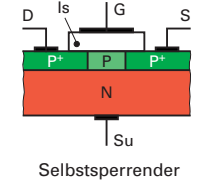
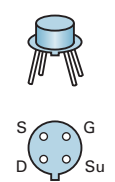
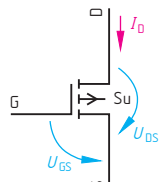
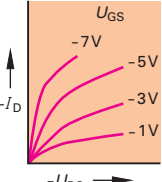
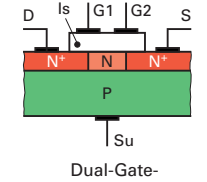
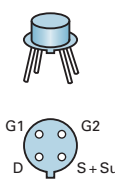
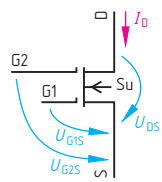
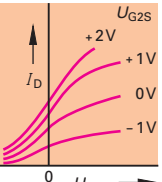
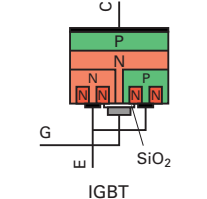
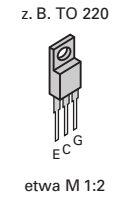
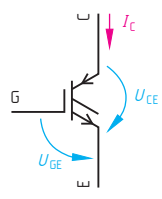
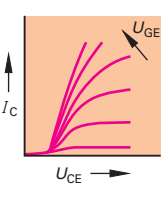
- A Polfläche, Spulenquerschnitt
- A_L Spulenkonstante
- B magnetische Flussdichte
- F Kraft (bei Elektromagneten)
- H magnetische Feldstärke
- I Stromstärke
- L Induktivität

- l mittlere Feldlinienlänge, Länge der Spule
- N Windungszahl
- R_m magnetischer Widerstand
- V Volumen
- W Energie
- w Energiedichte

- Φ magnetischer Fluss
- Λ magnetischer Leitwert (Lambda)
- Θ Durchflutung, magnetische Spannung
- μ Permeabilität
- μ_0 magnetische Feldkonstante
- μ_r Permeabilitätszahl

Feldeffekttransistoren, IGBT Field Effect Transistors, IGBT

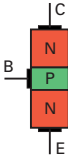
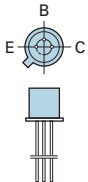
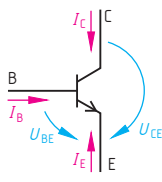
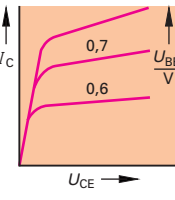
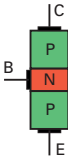
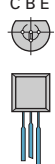
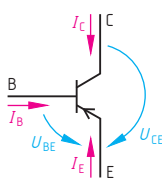
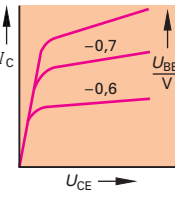
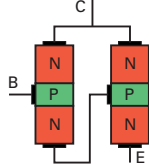
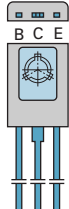
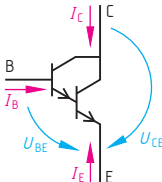
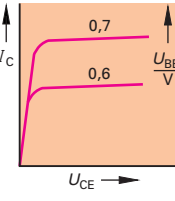
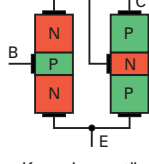
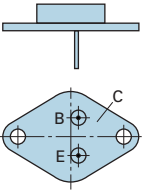
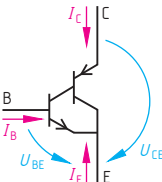
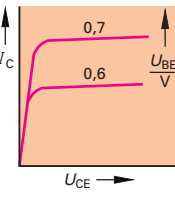
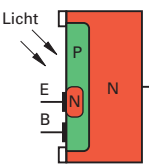
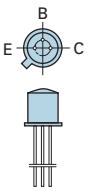
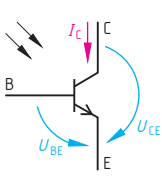
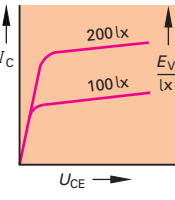
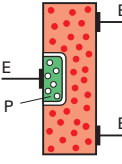
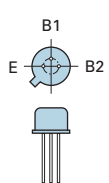
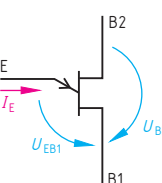
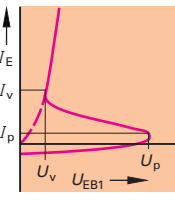
G

Prinzip, Bezeichnung	Gehäuse (Beispiele)	Schaltzeichen, Bezugspeile	Kennlinien	Anwendung, Spezialformen
 <p>J-FET mit N-Kanal</p>	 <p>auch SDG statt SGD</p>			<p>Verstärkerschaltungen, Anlogschalter, Vorverstärker Mikrofon, HF-Verstärker, Oszillatoren, Quarzoszillatoren, Mischstufen, Stellglieder bei Reglern.</p>
 <p>J-FET als Strombegrenzer</p>	 <p>A, D</p>	<p>Ersatzschaltung</p> 		<p>Stabilisierung, Strombegrenzung</p>
 <p>Selbstleitender IG-FET mit N-Kanal</p>	 <p>S, D, G, Su</p>			<p>Verstärkerschaltungen, insbesondere für Eingangsstufen, HF-Verstärker, Regelglieder, Leistungsverstärker.</p> <p>Typische Grenzwerte für Leistungsverstärker:</p> <p>$U_{DS} = 50\text{ V}$ $U_{GS} = \pm 20\text{ V}$ $I_D = 25\text{ A}$ maximale Verlustleistung $P_{tot} = 75\text{ W}$</p>
 <p>Selbstsperrender IG-FET mit P-Kanal</p>	 <p>S, D, G, Su</p>			<p>In Operationsverstärkern, in integrierten Schaltungen.</p>
 <p>Dual-Gate-IG-FET mit N-Kanal</p>	 <p>G1, G2, D, S+Su</p>			<p>Verstärker und Mischstufen bis 300 MHz</p> <p>In integrierten Schaltungen</p>
 <p>IGBT</p>	<p>z. B. TO 220</p>  <p>etwa M 1:2</p>			<p>U_F von 2 V bis 5 V, $U_R \leq 1600\text{ V}$, $I_F \leq 1\text{ kA}$, Frequenzen bis 20 kHz. In IGBT-Modulen sind oft Freilaufdioden (Rückstromdioden) enthalten. IGBT von Insulated Gate Bipolar Transistor.</p>

A Anode, D Drain, G Gate, Is Isolierung mit SiO₂, K Katode, N N-dotiert, N+ stark N-dotiert, P P-dotiert, P+ stark P-dotiert, S Source, Su Substrat

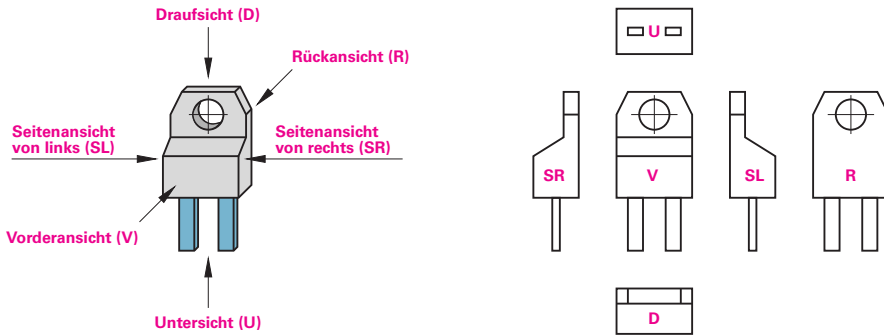
Bipolare Transistoren Bipolar Transistors

G

Prinzip, Bezeichnung	Gehäuse (Beispiele)	Schaltzeichen, Bezugspfeile	Typische Kennlinie	Anwendungen, Bemerkungen
 <p>NPN-Transistor</p>				<p>Verstärkerschaltungen, Oszillatoren, Leistungsstufen in Netzteilen.</p> <p>Typische Daten: $h_{21e} = 100$ bis 800 $B = 50$ bis 700</p>
 <p>PNP-Transistor</p>				<p>NPN-Transistoren: $I_C = 10$ mA...30 A $U_{BE} = 0,7$ V</p> <p>PNP-Transistoren: $I_C = -10$ mA bis -30 A $U_{BE} = -0,7$ V</p>
 <p>Darlington-Transistor</p>				<p>Leistungsverstärker für Relaissteuerungen.</p> <p>Darlingtonstufen bestehen aus zwei Transistoren in einem Gehäuse.</p>
 <p>Komplementär-Darlington-Transistor</p>				<p>Der Stromverstärkungsfaktor ist sehr groß.</p> <p>Typische Daten: $\beta = 200$ bis 1000 $B = 100$ bis 30000 $I_C = 0,1$ A bis 30 A</p>
 <p>Foto-Transistor</p>				<p>Optische Abtastung von Barcodes, Optokoppler.</p> <p>Fototransistoren gibt es mit und ohne Basisanschluss.</p>
 <p>Doppelbasis-Transistor (UJT)</p>				<p>Zum Zünden von Thyristoren</p> <p>I_V Talstrom I_P Höckerstrom U_V Talspannung U_P Höcker-spannung</p>

B Basis, B Gleichstromverhältnis, C Kollektor, E Emittor, E_V Beleuchtungsstärke, β Kurzschluss-Stromverstärkungsfaktor, I_C Kollektorstrom, UJT Unijunction Transistor

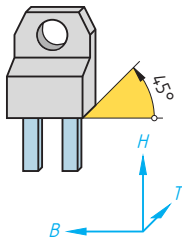
Anordnung der Ansichten



TM

Axonometrische Projektionen

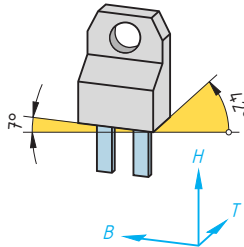
Rechtwinklige Parallelprojektion



$B : H : T = 1 : 1 : 0,5$

Anwendung für Skizzen.

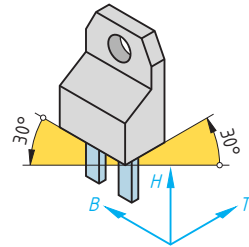
Dimetrische Projektion



$B : H : T = 1 : 1 : 0,5$

Zeigt in der Vorderansicht Wesentliches.

Isometrische Projektion

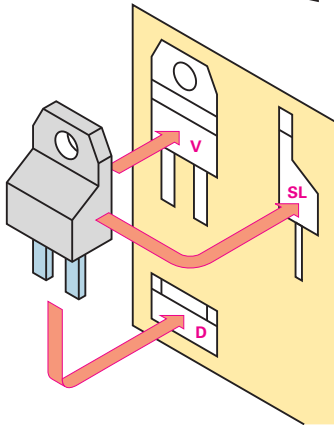


$B : H : T = 1 : 1 : 1$

Zeigt drei Ansichten gleichmäßig.

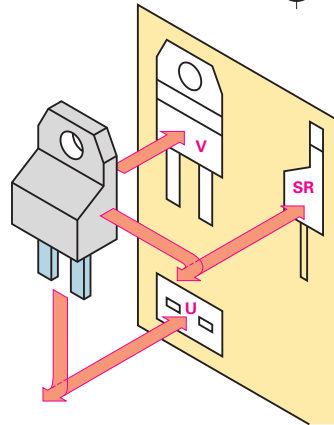
Normalprojektionen

Projektionsmethode 1: Kennzeichen:



Anwendung in europäischen Ländern.

Projektionsmethode 3: Kennzeichen:



Anwendung in amerikanischen Ländern und in Datenbüchern.

Maßlinienbegrenzung		Schreibrichtung	
<p>Maßpfeile:</p> <p>Immer anwenden bei Radien, Kreisbögen, Durchmessern. ausgefüllt $\alpha \approx 15^\circ$ $l \approx 5 d$ nicht ausgefüllt offen $\alpha = 15^\circ$ bis 90° $l \approx 3 d$ bis $5 d$ d Linienbreite</p>			
<p>Schrägstriche:</p> <p>Verlaufen von links unten nach rechts oben, bezogen auf die Maßlinie. $l \approx 6 d$</p>			
<p>Punkte:</p> <p>Dürfen nur bei Platzmangel verwendet werden, ausgefüllt: $\varnothing \approx 1,5 d$ nicht ausgefüllt: $\varnothing \approx 2,5 d$</p>			
Für jede Zeichnung ist nur eine Art anzuwenden. Bei Platzmangel sind Kombinationen möglich.		Leserichtung vorzugsweise von unten und rechts. Zulässig auch in Leselage des Schriftfeldes, nichthorizontale Maßlinien werden unterbrochen.	



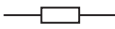











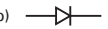











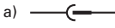
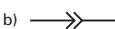
























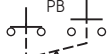




















TM

Schnitte **Bruchlinien und besondere Darstellungen**

Darstellung	Merkregeln	Darstellung	Merkregeln
	<p>(a) Schraffur: Dünne Volllinie unter 45° zur Achse oder zu den Hauptumrissen. Schnittflächen und Ausbrüche des gleichen Teiles in einer oder mehreren Ansichten werden in gleicher Art und Richtung schraffiert.</p>		<p>(h) Ausbrüche werden durch dünne Freihandlinien begrenzt.</p>
	<p>(b) Aneinanderstoßende Werkstücke erhalten entgegengesetzt gerichtete oder verschieden weite Schraffur.</p>		<p>Bei der Darstellung „halb Ansicht – halb Schnitt“ wird bei waagrechter Mittellinie (Beispiel d) der Halbschnitt unterhalb, bei senkrechter Mittellinie rechts von ihr angeordnet. Durch dünne Freihandlinien werden dargestellt:</p>
	<p>(c) Der Schraffurlinienabstand ist umso größer, je größer die Schnittfläche ist.</p>		<p>(i) der Bruch flacher Werkstücke, (k) der Abbruch von Rundkörpern,</p>
	<p>(d) Umlaufkanten, die durch den Schnitt sichtbar geworden sind, werden eingezeichnet.</p>		<p>(l) der Abbruch von hohlen Rundkörpern, z.B. Rohre.</p>
	<p>(e) Trennfugen sind als Kanten zu zeichnen.</p>		<p>(m) Spitzkörper sind in abgebrochener Darstellung zusammengeschoben zu zeichnen.</p>
	<p>(f) Vollkörper einfacher Form werden in der Längsrichtung nicht geschnitten. Beispiele: Niete, Bolzen, Wellen, Stifte, Rippen, Schrauben.</p>		<p>(n) Der Bruch geschnittener, hohler Rundkörper wird durch eine Freihandlinie begrenzt.</p>
	<p>(g) Ist der Schnittverlauf nicht ohne weiteres ersichtlich, so ist er durch dicke Strichpunktlinien zu kennzeichnen. Die Blickrichtung auf den Schnitt deuten Pfeile an. Buchstaben verwendet man nur zur besseren Übersicht.</p>		<p>(o) Gerundete Übergänge und Kanten können durch dünne Volllinien (Lichtkanten), die vor den Körperkanten enden, dargestellt werden, wenn das Bild dadurch anschaulicher wird.</p>
			<p>(p) Flach verlaufende Durchdringungskurven dürfen weggelassen werden.</p>

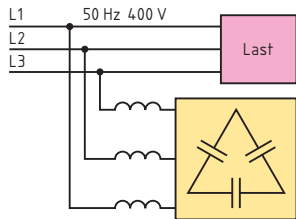
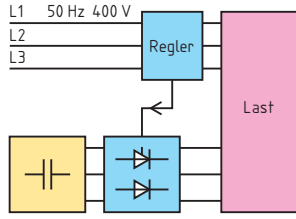
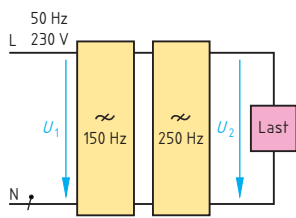
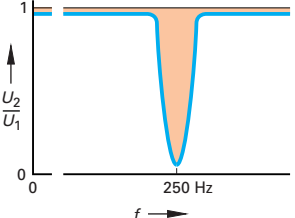
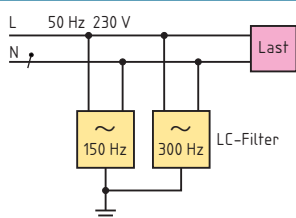
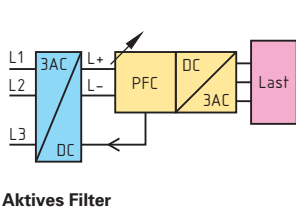
Vergleich von Schaltzeichen 1 Comparison of Circuit Symbols 1

TM

USA, z. B. ANSI, NEMA	Europa, praxisüblich, z. B. DIN EN	Benennung	USA, z. B. ANSI, NEMA	Europa, praxisüblich, z. B. DIN EN	Benennung
allgemeine Betriebsmittel			Schaltglieder		
a)  b) 		Widerstand, Wirkwiderstand (RES von Resistanz)	a)  b) 	a)  b) 	Schließer
a)  b) 		Kondensator	a)  b) 		Öffner
a)  b) 		Diode	a)  b) 		Wechsler
a)  b) 		Z-Diode		a)  b) 	Schließer mit Verzögerung beim Schließen
	a)  b) 	Stecker- verbindung	Steuergeräte		
a)  b)  c) 		Schmelz- sicherung			schließender Taster, druckbetätigt
		gepolte Suppressor- diode			öffnender Taster, druckbetätigt
a)  b) 		Leuchtmelder			Endschalter (Schließer)
a)  b) 	a)  b) 	Masse			Endschalter (Öffner)
a)  b) 		elektromechani- scher Antrieb, z. B. für Schütz			Schalter mit Raste, druckbetätigt
a)  b) 		Antrieb mit Anzugsver- zögerung			Näherungs- schalter (Schließer)
a)  b) 		Antrieb mit Abfallver- zögerung	a)  b) 		Druckwächter, öffnend (p von pressure)
		Rechteck- generator			Taster mit Schließer und Öffner
		Drehstrommotor (MTR Motor)			Schwimmer- schalter, öffnend

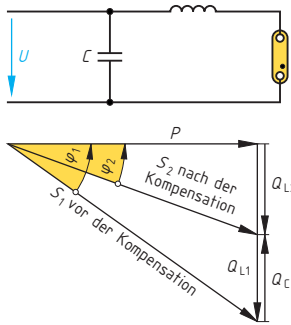
ANSI American National Standard Institute, NEMA National Electrical Manufacturer Association, DIN EN Deutsches Institut für Normung Europa-Norm.
* steht für Kennbuchstabe, z. B. Farbe oder Gerät. PB Pushbutton = Druckknopf, LS Limit switch = Grenzscharter

Kompensation Compensation

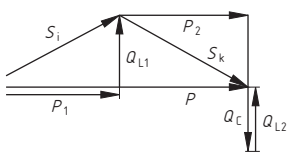
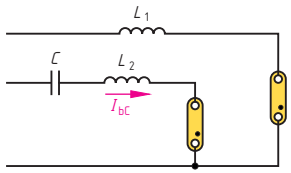
Schaltungsprinzip	Erklärung	Bemerkungen
 <p>Verdrosselte Kompensation</p>	<p>Schädliche Einflüsse auf die Stromversorgung, z.B. Blindleistung, periodische Spannungseinbrüche, Flicker (periodische Schwankungen der Spannung mit etwa 10 Hz), Spannungsänderungen durch Lastschwankung, Oberschwingungen (Harmonische) kann man durch Schaltungen kompensieren (aufheben).</p>	<p>Bei der <i>Blindleistungskompensation</i> wird die induktive Blindleistung von Motoren meist durch Kondensatoren kompensiert. Durch <i>Verdrosselung</i> der Kondensatoren werden die Oberschwingungen nicht kompensiert, die sonst ohne Drosseln oft verstärkt werden. Außerdem werden die Tonfrequenz-Signale der <i>Rundsteueranlagen</i> nicht geschwächt.</p>
 <p>Elektronisch gesteuerte Kompensation</p>	<p>Bei der <i>elektronisch gesteuerten Kompensation</i> wird der Spannungszustand der Lastspannung durch eine fortlaufende Messung im Regler ständig geprüft. Bei Bedarf wird über einen verzögerungsarmen elektronischen Schalter, z.B. mit Thyristoren, die erforderliche Kondensator-Kapazität zugeschaltet oder abgeschaltet.</p>	<p>Die zum Zuschalten vorgesehenen Kondensatoren sind ständig geladen, sodass beim Zuschalten im richtigen Zeitpunkt kein Stromstoß auftritt (<i>sanftes Schalten</i>). Die schwankende Blindleistung, z.B. durch Lastschwankungen von Motoren, wird innerhalb weniger Perioden der Netzspannung kompensiert. Auch <i>Flicker</i> werden oft dadurch beseitigt.</p>
 <p>Bandsperrfilter</p>	<p>Die Kompensation von <i>Oberschwingungen (Harmonischen)</i> erfolgt durch elektrische Filter. Ein <i>passives Filter</i> besteht z.B. aus einer Schaltung von Induktivitäten und Kapazitäten. Beim <i>Bandsperrfilter</i> sorgt eine 150-Hz-Bandsperre für die Sperre der 3. Harmonischen von der Last und zur Last. Für jede zu sperrende Harmonische ist ein Filter erforderlich.</p>	 <p>Übertragungskurve einer Bandsperre von 250 Hz</p>
 <p>Saugkreisfilter</p>	<p>Das <i>Saugkreisfilter</i> ist ein passives Filter. Bei ihm ist ein Saugkreis (Reihenschaltung von <i>L</i> und <i>C</i>) oder ein Bandpass auf die abzusaugende Harmonische abgestimmt, z.B. auf 150 Hz. Für jede abzusaugende Harmonische ist ein eigenes Filter erforderlich. Der Anschluss erfolgt an die Leiter des Netzes und an Erde, z.B. an die Haupterdungsschiene.</p>	<p>Alle passiven Filter werden durch Alterung der Kondensatoren verstimmt, sodass <i>Überlastungen</i> der Komponenten und auch unerwünschte <i>Resonanzen</i> für die verschiedenen Harmonischen auftreten können. Deshalb sind ständige <i>Überwachung</i> und bei Bedarf <i>Wartung</i> der Filter erforderlich.</p>
 <p>Aktives Filter</p>	<p>Ein <i>aktives Filter</i> ist ein System der Leistungselektronik. Es besteht im Prinzip aus einem gesteuerten Gleichrichter, einer <i>PFC-Steuerung</i> (PFC von Power Factor Correction, Seite 238) und einem davon gesteuerten Wechselrichter. Der Laststrom wird ständig überwacht und an die Erfordernisse angepasst.</p>	<p>Die <i>Oberschwingungskompensation</i> kann für jede Harmonische getrennt eingestellt werden. Außerdem ermöglicht dasselbe aktive Filter die Blindleistungskompensation, die Beseitigung von Flickern und den Ausgleich von Unsymmetrien der Spannungen. Aktive Filter sind die modernste Technik zur Kompensation von schädlichen Einflüssen.</p>

SE

Kompensation der Blindleistung 1 Compensation of Reactive Power 1



Parallelkompensation



Reihenkompensation

$$S_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1} \quad 1$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad 2$$

$$Q_{L1} = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad 3$$

$$Q_{L2} = S_2 \cdot \sin \varphi_2 \quad 4$$

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad 5$$

$$Q_C = Q_{L1} - Q_{L2} \quad 6$$

$\sin \varphi = \sin(\arccos \varphi)$ $\tan \varphi = \tan(\arccos \varphi)$
 Umrechnungen $\sin \varphi \Rightarrow \cos \varphi \Rightarrow \tan \varphi$ siehe auch Seite „Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen“

Parallelkompensation bei Einphasenwechselspannung:

$$\omega = 2 \pi \cdot f \quad 7$$

$$C = \frac{Q_C}{\omega \cdot U_{bc}^2} \quad 8$$

$$C = \frac{3000}{f} \frac{\mu F \cdot Hz}{kvar} \left(\frac{230 V}{U_{bc}} \right)^2 \cdot Q_C \quad 9$$

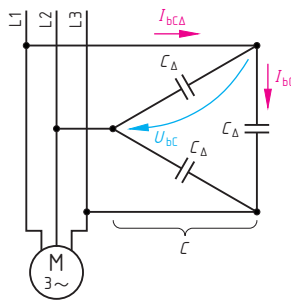
Hinweis zur Reihenkompensation:
 Eine Reihenkompensation auf $\cos \varphi = 1$ ist wegen der Spannungsüberhöhung an den Bauteilen nicht möglich. Deshalb wird z.B. bei der Duoschaltung von Leuchtstofflampen der Kondensator so gewählt, dass der kapazitive Phasenverschiebungswinkel φ_k besitzt. φ_k ist etwa gleich groß wie der induktive Phasenverschiebungswinkel φ_i im induktiven Zweig, aber entgegengesetzt. $\varphi_k \approx -\varphi_i$. Dadurch geht φ der gesamten Schaltung gegen Null.

Bei 50 Hz/230 V sind zur Kompensation 60 $\mu F/kvar$ erforderlich, bei 50 Hz/400 V nur 20 $\mu F/kvar$.

Reihenkompensation bei Einphasenwechselstrom:

$$C = \frac{I_{bc}^2}{\omega \cdot Q_C} \quad 10$$

SE



Einzelkompensation bei 3 AC

Bei Kondensatoren in Y :

$$U_{bc} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad 11$$

Bei Kondensatoren in Δ :

$$U_{bc} = U \quad 12$$

$$C_Y = \frac{1}{3} \cdot C \quad 13$$

$$C_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot C \quad 14$$

$$I_{bcY} = I_{bc} \quad 15$$

$$I_{bc\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{bc} \quad 16$$

Die Berechnung von Q_C und C erfolgt wie bei Einphasenwechselstrom.

C	berechnete Kapazität der Kompensationskondensatoren	L	Induktivität	U	Netzspannung (Leiterspannung) des Drehstromnetzes
C_{Δ}	Kapazität eines der in Δ geschalteten Kondensatoren	P	aufgenommene Wirkleistung	φ	Phasenverschiebungswinkel
C_Y	Kapazität eines der in Y geschalteten Kondensatoren	Q_C	kapazitive Blindleistung	φ_i	induktive Phasenverschiebung
f	Frequenz	Q_L	induktive Blindleistung	φ_k	kapazitive Phasenverschiebung
I_{bc}	Kondensatorstrom	S	Scheinleistung	Δ	Dreieckschaltung
$I_{bc\Delta}$	Leiterstrom zur Kondensatorbatterie in Δ -Schaltung	S_i	Scheinleistung im induktiven Zweig	Y	Sternschaltung
I_{bcY}	Leiterstrom zur Kondensatorbatterie in Y-Schaltung	S_k	Scheinleistung im kapazitiven Zweig		
		U_{bc}	Spannung an den Kondensatoren zur Kompensation		

Bedeutung weiterer Formelzeichen aus den Bildern erkennbar.

Bedeutung der Indizes 1 und 2:
 1 vor der Kompensation
 2 nach der Kompensation

Ermittlung der Kondensatorleistung

Vor der Kompensation		Erwünschter $\cos \varphi_2$				
		0,80	0,85	0,90	0,95	0,98
$\cos \varphi_1$	$\tan \varphi_1$	Kompensationsfaktor $F_K = \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2$				
0,48	1,83	1,08	1,21	1,34	1,50	1,63
0,50	1,73	0,98	1,11	1,25	1,40	1,53
0,52	1,64	0,89	1,03	1,16	1,31	1,44
0,54	1,56	0,81	0,94	1,08	1,23	1,36
0,56	1,48	0,73	0,86	1,00	1,15	1,28
0,58	1,41	0,66	0,78	0,92	1,08	1,21
0,60	1,33	0,58	0,71	0,85	1,01	1,13
0,62	1,27	0,52	0,65	0,78	0,94	1,07
0,64	1,20	0,45	0,58	0,72	0,87	0,99
0,66	1,14	0,39	0,52	0,66	0,81	0,94
0,68	1,08	0,33	0,46	0,59	0,75	0,88
0,70	1,02	0,20	0,40	0,54	0,69	0,82
0,72	0,96	0,21	0,34	0,48	0,64	0,76
0,74	0,91	0,16	0,29	0,43	0,58	0,71
0,76	0,86	0,11	0,23	0,37	0,53	0,66
0,78	0,80	0,05	0,18	0,32	0,47	0,59
0,80	0,75	-	0,13	0,27	0,42	0,55
0,82	0,70	-	0,08	0,21	0,37	0,49
0,84	0,65	-	0,02	0,16	0,32	0,45

Beispiel: Vor der Kompensation beträgt $\cos \varphi_1 = 0,68$; gewünscht $\cos \varphi_2 = 0,9$. Aufgenommene Wirkleistung $P_1 = 8 \text{ kW}$.
 Gesucht: Kondensatorleistung $Q_C = ? \text{ kvar}$

Lösung: Aus Tabelle Faktor $F_K = 0,59$

Kondensatorleistung $Q_C = F_K \cdot P_1 = 0,59 \cdot 8 = 4,72 \text{ kvar}$

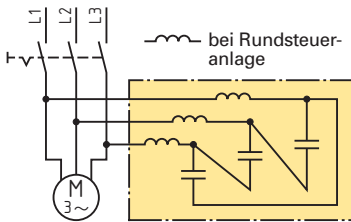
- Q_C Kondensatorleistung
- F_K Kompensationsfaktor aus Tabelle
- P_1 Aufnahmeleistung

$$Q_C = F_K \cdot P_1$$

SE

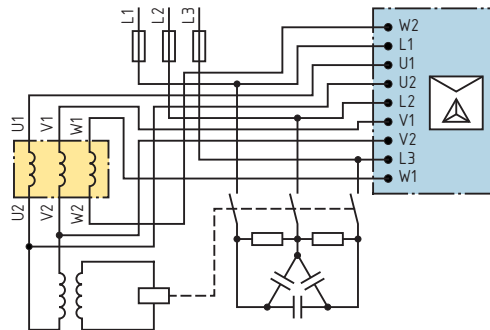
Schaltungen

Einzelkompensation bei Direkteinschaltung



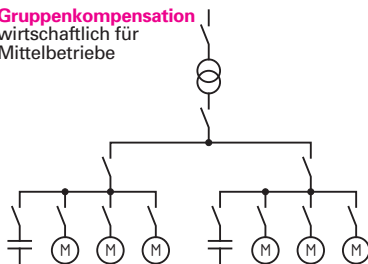
Kondensator-Betriebsspannung	
bei Sternschaltung 230V	bei Dreieckschaltung 400V

Einzelkompensation bei Stern-Dreieckschaltung



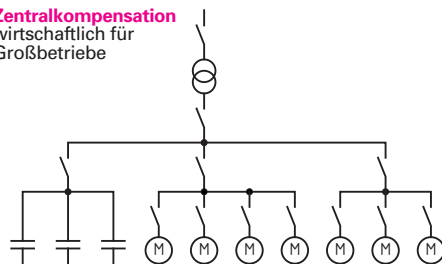
Gruppenkompensation

wirtschaftlich für Mittelbetriebe



Zentralkompensation

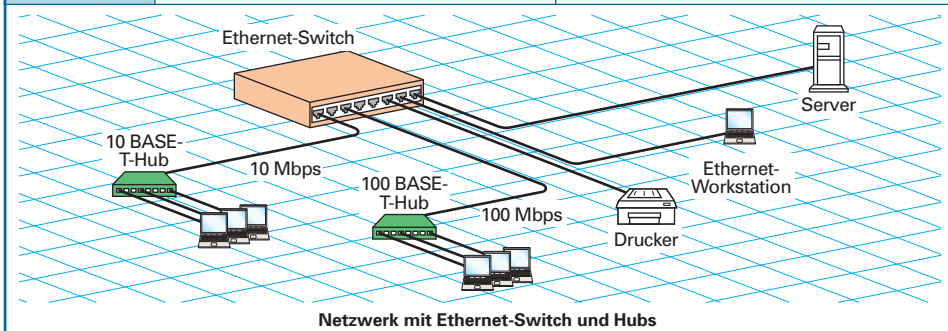
wirtschaftlich für Großbetriebe



Komponenten für Datennetze 1 Components for Data Networks 1

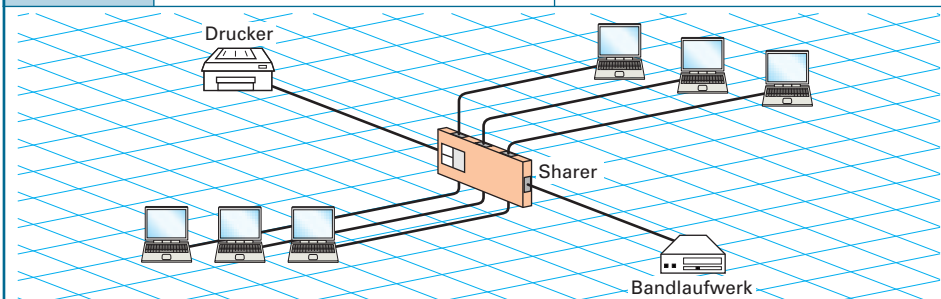
Bezeichnung	Erklärung	Bemerkungen, Anwendung, Daten
AUI-Anschluss	Von Access Unit Interface = Zugriff-Einheit-Schnittstelle.	Spezielle Steckverbindung von Datengeräten.
Balun (Mehrzahl Balune)	Von Balanced/unbalanced. Modul zur Impedanz-Anpassung	Ursprünglich Modul zum Übergang von Koax zu Twisted Pair.
Bridge	Von bridge = Brücke. Eine Bridge kann zwei LAN-Segmente miteinander verbinden oder ein LAN in zwei Segmente teilen.	Sobald die Bridge mit dem Netzwerk verbunden ist, lernt sie automatisch die Adressen. Bridges sind protokollunabhängig, sodass sie Daten übertragen, z.B. zwischen PCs.
Elektronischer Switch (elektronisch wirkender Mehrstellschalter)	Von switch = Schalter. Umschaltvorgänge laufen über Halbleiterbauteile, z.B. Transistoren. Umschalten kann über Computer, Modem oder Tastentelefon erfolgen.	Ein codegesteuerter Switch ermöglicht einem Gerät die Steuerung von bis 64 Geräten, z.B. wenn ein Modem acht Geräte steuern soll. Beim Matrix-Switch kann jeder Port mit jedem anderen Port verbunden werden. Ein Matrix-Switch ermöglicht mehr als einem Gerät die Steuerung anderer Geräte, z.B. wenn vier PC sich zwei Drucker und ein Modem teilen.
Ethernet-Switch	Der Ethernet-Switch übernimmt die Daten und verschickt sie paketweise zur Zieladresse. Sender und Empfänger werden entsprechend ihrer Adressen durchgeschaltet.	Jeder Port am Switch stellt einen Weg mit der vollen Bitrate dar, z.B. 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s oder 10 Gbit/s.
Frame-Relay (Rahmen-Relais)	Das Frame-Relay ist eine Übertragungstechnik. Es multiplext und sendet Daten in Form von Paketen.	Wird in Komponenten wie Bridges, Routers, Switches umgesetzt. Diese ermöglichen Verbindungen zu LANs und WANs.
HDSL-Modem	HDSL von High Bitrate Digital Subscriber Loop = digitale Übertragungsschleife mit hoher Bitrate. Ermöglicht Breitbanddienste über vorhandene Kupferleitungen ohne Repeater.	Verfügbar sind Versionen für 2 oder für 3 Aderpaare. Bei Drahtdurchmesser 0,4 mm Reichweite bei 2-Paar-Version z.B. 3,6 km, bei Drahtdurchmesser 1,2 mm und 3-Paar-Version 15,4 km.
Hub	Von hub = Mittelpunkt, Radnabe. Gerät, an das mehrere PC oder PC-Linien angeschlossen werden können. Die zu übertragenden Daten werden ungefiltert an alle angeschlossenen Teilnehmer gesendet.	Beim Repeater-Hub erfolgt zusätzlich eine Regenerierung der zum Hub eintreffenden Signale. Die Signale gehen an alle Teilnehmer.
Konverter	Von to convert = umsetzen. Sammelbezeichnung für Geräte, die Übergänge von einem System in ein anderes erlauben.	Medienkonverter für Übergang von z.B. Glasfaserleitung auf Twisted-Pair-Leitung oder umgekehrt.
Load Balancer	Ist ein Lastverteiler, der Antwortzeiten und Auslastung (Performance) von Netzwerk-Servern beurteilt und Anfragen aus dem Internet zum Server mit aktuell bester Performance weiterleitet.	Die öffentliche Internet-Domain einer Firma ist dem Load-Balancer-Computer zugewiesen. Die eigentlichen Firmen-Web-Server besitzen nach außen nicht bekannte Adressen.
Manueller Switch	Im Wesentlichen mechanisch wirksamer Schalter zum Umschalten ohne Stromversorgung.	Benutzer können sich ein Peripheriegerät teilen oder ein Benutzer kann zwischen zwei Peripheriegeräten wählen.

IK



Komponenten für Datennetze 2 Components for Data Networks 2

Bezeichnung	Erklärung	Bemerkungen, Anwendung, Daten
Modem	Kunstwort aus Modulator und Demodulator.	Ermöglicht den Anschluss von Digitalgeräten, z. B. einem PC, an das analoge Telefonnetz.
Multiplexer, lokaler (Mux, lokaler)	In der Datentechnik Gerät, welches das Zeitmultiplexverfahren ermöglicht.	Lokale Muxe machen den Anschluss von z. B. 48 Kanälen über ein einziges Kabel möglich.
Netzwerkkarte (Ethernet-Karte)	Steckkarte für den Steckplatz (Slot = Schlitz) im PC, womit ein Ethernet-Netzwerk ermöglicht wird.	Außer der Netzwerkkarte müssen Software-Treiber installiert werden.
Parallel-Seriell-Konverter	Der Konverter macht einen parallelen Anschluss kompatibel zu einem seriellen Gerät.	Ermöglicht den Anschluss eines seriellen Druckers an einen parallelen Anschluss.
Patchfeld (Rangierfeld)	Ein Umsteckfeld, das dem Anschluss, dem Verteilen und Rangieren (Verändern) von Netzverbindungen dient.	Das Patchfeld erleichtert durch das Umstecken auch den Anschluss von Analysegeräten.
Puffer (Spooler, Cache)	Einrichtung zur zeitweisen Speicherung (Zwischenspeicher). Puffer enthalten RAMs zur Aufnahme und anschließender Ausgabe von Daten. Cache ist ein Zwischenspeicher für oft verwendete Daten.	Ein Puffer sorgt z. B. für den Ausgleich von Geschwindigkeitsunterschieden beim Datenfluss zwischen zwei Geräten. Puffer können serielle und parallele Ports haben.
Router	Von route = Weg. Gerät zur Verbindung verschiedener LANs. Untersuchen Pakete und stellen sie bei Fehlern wieder her, ohne Fehler weiterzugeben.	Multiprotokoll-Router unterstützen eine Vielzahl von LAN-Protokollen. Router müssen konfiguriert und installiert werden.
Repeater	Von to repeat = wiederholen. Gerät, welches Signale regeneriert und so umbildet, dass Netzsegmente miteinander kommunizieren können.	Infolge Signaldämpfung sind Netzsegmente ohne Repeater in der Länge begrenzt, z. B. auf 500 m.
Sharer (Drucker-Switch)	Der Sharer (to share = aufteilen) teilt einem Gerät bis z. B. sechs Geräte zu. Enthält meist einen Puffer.	Print-Sharer ermöglichen den Anschluss von mehreren PC an einen einzigen Drucker.
Terminaladapter	ISDN-Terminaladapter wandelt die digitalen ISDN-Signale in Signale des anzuschließenden Endgerätes um und umgekehrt. Häufigster Typ ist der Terminaladapter a/b.	Terminaladapter mit Bonding (to bond = bündeln) ermöglichen Datenverkehr mit 128 kbit/s durch Bündelung beider 64-kbit/s-Kanäle.
Terminaladapter a/b	Mit diesem Adapter können analoge Endgeräte an das ISDN-Netz angeschlossen werden, z. B. Fax oder Telefon.	Bei der Datenübermittlung im ISDN muss auch der Empfänger mit einem Terminaladapter a/b arbeiten.
Transceiver, Sende-Empfänger	Kunstwort von to transmit = übertragen und to receive = empfangen. Gerät, welches in den Datenweg geschaltet wird, um die Übertragung zu ermöglichen oder zu verbessern.	Z. B. setzen Faseroptik-Transceiver die elektrischen Signale in Lichtsignale oder Infrarot-Signale zur Übertragung über LWL um und optische Signale der LWL in elektrische Signale.
Verstärker	Gerät, welches die Datenübertragung über längere Strecken als ohne Verstärker ermöglicht, und zwar oft auch bei größeren Bitraten als ohne Verstärker.	Anders als bei einem analogen Signalverstärker sind zusätzlich Signalregenerierer und Konverter enthalten.



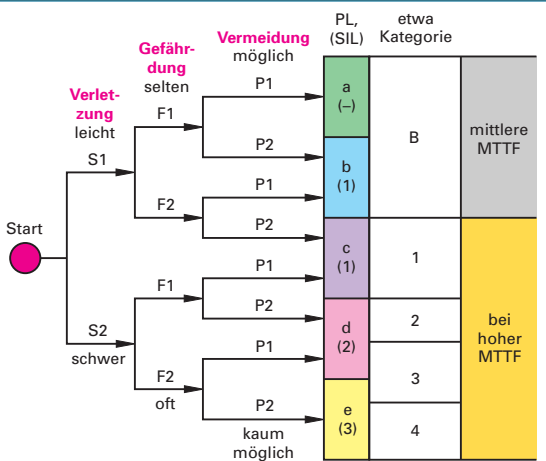
Netzwerk mit Sharer und einem Drucker

Begriff	Erklärung	Schaltungen, Bemerkungen
<p>Hilfsstromkreis</p> <p>Stromversorgung</p> <p>Transformator</p>	<p>Ein <i>Hilfsstromkreis</i> ist ein Stromkreis, der kein Hauptstromkreis ist. <i>Steuerstromkreise</i> und <i>Messstromkreise</i> sind Hilfsstromkreise.</p> <p><i>Stromversorgung</i> des Hilfsstromkreises erfolgt durch AC 50 Hz bis 230 V, AC 60 Hz bis 227 V oder DC bis 220 V. Meist erfolgt sie aus dem Hauptstromkreis, bei DC über einen Gleichrichter.</p> <p>Ein <i>Transformator</i> bewirkt die erwünschte <i>Trennung</i> vom Hauptstromkreis. Bei SELV oder PELV muss das ein Sicherheitstransformator sein.</p>	<p>Stromversorgungen für den Hilfsstromkreis</p>
<p>Trennung vom Hauptstromkreis</p> <p>Überstrom-Schutzeinrichtung</p>	<p>Die Transformatoren müssen beim Drehstromnetz eingangsseitig (primärseitig) an zwei Außenleiter angeschlossen sein. Hilfsstromkreise ohne Trennung vom Hauptstromkreis muss man an einen Außenleiter und den Neutralleiter anschließen.</p> <p>Ungeerdete Hilfsstromkreise erfordern eine Isolationsüberwachungseinrichtung. Überstromschutz dient nur dem Kurzschlusschutz.</p>	<p>Anordnung der Überstrom-Schutzeinrichtungen</p>
<p>Messstromkreis</p> <p>Direktmessung</p> <p>Wandlermessung</p>	<p>Bei direktem Anschluss von Messstromkreisen an den Hauptstromkreis sind anzuwenden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überstrom-Schutzeinrichtungen zum Kurzschlusschutz oder • Kurzschluss- und erdschlussssichere Verlegung, z. B. Mantelleitung, Verlegung nicht in der Nähe von brennbaren Stoffen. <p>Bei <i>Spannungswandlern</i> muss die Ausgangsseite (Sekundärseite) geerdet und gegen Kurzschluss gesichert sein. Bei <i>Stromwandlern</i> erfolgt nie eine Sicherung gegen Kurzschluss und bei Niederspannung auch keine Erdung.</p>	<p>Wandlermessungen</p>
<p>Einschalten Abschalten</p> <p>Wirkglieder, z. B. Schützspulen</p>	<p>Hilfsstromkreise müssen so ausgeführt sein, dass ein einzelner Leiterbruch, Körperschluss oder Erdschluss die Anlage in einem sicheren Zustand, z. B. AUS, erhält oder in einen solchen überführt. Deshalb erfolgt das Abschalten durch Öffner und das Einschalten durch Schließer.</p> <p><i>Wirkglieder</i>, z. B. Schützspulen, sind auf einer Seite direkt (ohne Schaltglieder) mit dem geerdeten Leiter zu verbinden. Beim IT-System dürfen Wirkglieder an zwei Außenleiter angeschlossen sein. Dann sind die Außenleiter durch zwei-polige Schaltglieder zu schalten. Die Außenleiter sind gegen Kurzschluss zu sichern.</p>	<p>Anordnung der Taster</p>
<p>Doppelte Schlüsse (Körperschlüsse, Erdschlüsse)</p>	<p>Hilfsstromkreise müssen auch bei doppelten Schlüssen gegen Fehlschaltungen, z. B. Einschalten ohne Einschaltsignal, geschützt sein. Das wird bei geerdeten Hilfsstromkreisen durch Überstrom-Schutzeinrichtungen bewirkt, die beim 1. Körperschluss oder Erdschluss innerhalb von 5 s die Stromversorgung abschalten. Bei ungeerdeten Hilfsstromkreisen muss eine Anzeige den Isolationsfehler optisch und/oder akustisch melden. Der Isolationswiderstand muss je V der Nennspannung mindestens 100 Ω betragen.</p>	<p>Verhinderung von Fehlschaltungen bei Erdschluss</p>

AS

Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen Safety Related Machine Controls

Beurteilung von Risiko und Steuerung



Risikograph nach EN ISO 13849-1

Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen müssen dort verwendet werden, wo bei Versagen der Steuerung eine Gefährdung eintritt. Man erhält den erforderlichen Performance Level PL durch eine Risikoabschätzung mittels Risikograph (**Bild**).

Der PL ist abhängig von der Architektur (logischer Aufbau) der Schaltung und von der mittleren Ausfallzeit MTTF der Komponenten. Die Architektur der Schaltung wird durch Kategorien Cat angegeben (folgende Seite). Bei MTTF genügt die Unterscheidung in niedrige, mittlere und hohe MTTF. Ergibt die Risikoabschätzung einen PL der Größe c, dann muss mindestens Cat 1 mit hoher MTTF angewendet werden.

Anstelle von PL wird bei fertigen Steuerungen, z.B. SPS, der Wert von SIL angegeben, z.B. SIL2. Damit liegt ein PL der Größe d vor. Bei SIL2 muss mindestens Cat 2 mit hohem MTTF vorliegen.

Abkürzungen und Begriffe

Begriff	Erklärung	Bemerkungen												
PL	Performance Level = Gütepegel. Man unterscheidet die PL a bis e zur Festlegung der Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung hinsichtlich des Ausführens einer Sicherheitsfunktion. Der PL ist abhängig von der Kategorie und der MTTF. PL e ist der höchste Level (Pegel).	Eine Sicherheitsfunktion ist die Funktion einer Steuerung, z.B. Funktion zum Stillsetzen einer Maschine im Notfall. Der Ausfall solch einer Funktion erhöht die Sicherheitsrisiken unmitelbar.												
SIL	Safety Integrity Level = Sicherheits-Integritäts-Pegel. Es gibt vier Stufen (Levels) von SIL. SIL 3 ist die höchste, praktisch vorkommende Stufe. <table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <td>PL</td> <td>a</td> <td>b</td> <td>c</td> <td>d</td> <td>e</td> </tr> <tr> <td>SIL</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	PL	a	b	c	d	e	SIL	-	1	1	2	3	Nach SIL erfolgt meist das Zertifizieren einer Steuerung bzw. Maschine.
PL	a	b	c	d	e									
SIL	-	1	1	2	3									
Kategorie (Cat)	Cat von category = Kategorie. Ermöglicht die Beurteilung der Leistungsfähigkeit sicherheitsbezogener Teile einer Steuerung beim Auftreten von Fehlern, d.h. Einstufung bzgl. Widerstand gegen Fehler und Verhalten im Fehlerfall.	Kategorie B ist die Basiskategorie (Grundkategorie), bei den Kategorien 1 bis 4 nimmt die Sicherheit steigend zu, die Steuerungsstrukturen (Architekturen) werden komplexer.												
SRP/CS	Safety-Related Parts of Control Systems = sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung, das auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt.	Maschinensteuerungen, Auswerteeinheiten, Sicherheitsschaltgeräte.												
MTTF	Mean Time To Failure = mittlere Zeit bis zum Ausfall eines Gerätes. Die Angabe erfolgt als Wahrscheinlichkeit, z.B. > 10 ⁻⁵ bis 10 ⁻⁴ je Stunde.	<table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <th>MTTF</th> <th>Zeit</th> </tr> <tr> <td>niedrig</td> <td>3 Jahre bis 10 Jahre</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>10 Jahre bis 30 Jahre</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>30 Jahre bis 100 Jahre</td> </tr> </table>	MTTF	Zeit	niedrig	3 Jahre bis 10 Jahre	mittel	10 Jahre bis 30 Jahre	hoch	30 Jahre bis 100 Jahre				
MTTF	Zeit													
niedrig	3 Jahre bis 10 Jahre													
mittel	10 Jahre bis 30 Jahre													
hoch	30 Jahre bis 100 Jahre													
FMEA	Failure Mode Effect Analysis = Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. Analytische Methode zur systematischen und vollständigen Erfassung potenzieller Fehler und Ausfallzuständen von Komponenten eines Systems sowie deren Auswirkungen.	Eine FMEA ist während der Konzeptionsphase einer Steuerung durchzuführen.												
Diversität	Zum Erfüllen der Sicherheitsaufgabe mit hoher Zuverlässigkeit sind die Betriebsmittel derart redundant auszulegen, dass die Umsetzung mit ungleichartigen Mitteln erfolgt.	Eine Drehzahlüberwachung wird z.B. durch einen elektrischen Tachogenerator und einen mechanischen Fliehkraftschalter verwirklicht.												

AS

Merkmal	Erklärung	Darstellungen, Bemerkungen
<p>Computer-gestützte Regelung</p>	<p>Bei der computergestützten Regelung ist ein Computer, z. B. ein PC, die Regeleinrichtung. Der Computer muss mit entsprechenden Boards (Steckkarten) für die Signaleingabe und Signalausgabe ausgestattet sein. Das Regelungsprogramm ist im Computer mittels CD-Eingabe oder über entsprechende Speicherchips installiert.</p> <p>In den Computer sind der Sollwert der Regelgröße sowie, über einen Sensor erfasst, der Istwert der Regelgröße (Prozessgröße), z. B. ein Temperaturwert, einzugeben.</p>	<p style="text-align: center;">Regelkreis mit PC</p>
<p>Digitalisierung</p>	<p>Die meist analogen Prozessgrößen werden von einem Analog-Digital-Umsetzer (ADU) der Datenerfassungskarte des PC digitalisiert. Die Digitalsignale werden dann vom PC mittels des installierten Regelungsprogrammes bearbeitet.</p> <p>Die Ergebniswerte des Regelungsprogrammes stellen das digitale Ausgangssignal des Computers dar. Dieses ist bei Bedarf vor seiner Weitergabe an eine entsprechende Stelleinrichtung mit einem Digital-Analog-Umsetzer (DAU) in ein analoges Signal umzuwandeln.</p>	<p style="text-align: center;">Abtastung und Quantisierung</p>
<p>Digitale Rege-lungsfunk-tionen</p>	<p>Digitale Regler besitzen meist mehrere Funktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Handregelung, automatische Regelung, • Festwertregelung, Folgeregelung, • Zweipunktregelung, Dreipunktregelung, • P-Regelung, PI-Regelung, PD-Regelung, PID-Regelung. <p>Neben Regelungsaufgaben können auch Steuerungsaufgaben bewältigt werden.</p>	<p>Mit einem digitalen Regler können meist mehrere Regelkreise unabhängig voneinander betrieben werden.</p> <p>Die Regelparameter für eine optimale Regelung der Anlage sind meist nicht bekannt. Die Werkseinstellungen der Regelparameter sorgen für einen stabilen Regelkreis. Die Optimierung der Regelparameter erfolgt durch empirisches Vorgehen (vorhergehende Seite).</p>
<p>Universal-regler SIPART</p>	<p>SIPART besteht aus einem Grundgerät mit Bedienfeld, analogen und binären Eingängen und Ausgängen, in welches rückseitig Steckkarten für DAU, ADU, weitere Eingänge und Ausgänge (analog, digital), Schnittstellen für RS232 oder Profibus gesteckt werden können. Die Bedienung erfolgt über eine Folientastatur mit Schutzart IP64. 1 Anzeige Regelgröße, 2 Anzeige Regelgrößen-Sollwert, 3 Taste für Sollwertänderung, 4 Anzeige Stellgröße, 5 Taster intern/extern, 6 Taster Hand/Automatik, 7 Taster für Stellgröße.</p> <p style="text-align: left;">www.siemens.com</p>	<p style="text-align: center;">Bedienfeld des Universal-reglers SIPART</p>
<p>Einstel-lung</p>	<p>Mit drei Bedienebenen erfolgt das Einstellen des Reglers. In der Auswahlebene wird eine Parameterliste ausgewählt, deren Parameter in der Konfigurierebene geändert und aktiviert werden können.</p> <p>Es gibt Listen für Parameter des Online-Betriebs, des Offline-Betriebs, von Zeitprogramm-Reglern sowie der Strukturschalter. Mit Strukturschaltern (menügeführter Dialog) werden die Funktion und Struktur des Reglers, z. B. Festwertregler, Folgeregler, Zweipunktregler, P-Regler und Ansprechschwellen, einschließlich der Art der Eingangssignale und Ausgangssignale, festgelegt. In der Liste für die Parameter des Online-Betriebs sind z. B. enthalten die Reglerparameter für den Proportionalbeiwert K_P, die Nachstellzeit T_I, die Vorhaltezeit T_D und die Vorhalteverstärkung V_d.</p> <p>In der Konfigurierebene werden den jeweiligen Parametern der ausgewählten Liste ihre Werte manuell zugewiesen.</p>	<p style="text-align: center;">Bedienebenen des digitalen Reglers SIPART</p>

Reglerwerte und Einstellkennwerte für Regelstrecken höherer Ordnung					
Reglertyp	Einstellbereich			Einstellkennwerte für Regelstrecken	
P-Regler	Proportionalbereich	$X_{p\%} = 1\% \text{ bis } 30\%$ $K_p = \frac{100\%}{X_{p\%}} = 100 \text{ bis } 3,3$		$K_p \approx 0,3 \frac{T}{T_t \cdot K_s} \text{ bis } 0,7 \frac{T}{T_t \cdot K_s}$	
PI-Regler	Proportionalbereich	$X_{p\%} = 2\% \text{ bis } 40\%$ $K_p = 50 \text{ bis } 2,5$		$K_p \approx 0,3 \frac{T}{T_t \cdot K_s} \text{ bis } 0,7 \frac{T}{T_t \cdot K_s}$	
	Nachstellzeit	$T_i = 2 \text{ s bis } 150 \text{ s}$ oder $0,5 \text{ min bis } 30 \text{ min}$		$T_i \approx 1 T \text{ bis } 4 T$ $T = T_t + T_i$	
PID-Regler	Proportionalbereich	$X_{p\%} = 2\% \text{ bis } 40\%$ $K_p = 50 \text{ bis } 2,5$		$K_p \approx 0,6 \frac{T}{T_t \cdot K_s} \text{ bis } 1,2 \frac{T}{T_t \cdot K_s}$	
	Nachstellzeit	$T_i = 2 \text{ s bis } 150 \text{ s}$ oder $0,5 \text{ min bis } 30 \text{ min}$		$T_i \approx 1 T \text{ bis } 2 T$	
	Vorhaltezeit	$T_d = 0,5 \text{ s bis } 30 \text{ s}$ oder $0,1 \text{ min bis } 5 \text{ min}$		$T_d \approx 0,4 T_t \text{ bis } 0,5 T_t$	
Einstellende Parameter für die wichtigsten verfahrenstechnischen Regelgrößen					
Reglertyp	Regelgröße	K_p	$X_{p\%}$	T_i	T_d
PID	Temperatur	10 bis 2	10% bis 50%	1 min bis 20 min	0,2 min bis 3 min
PI	Druck	10 bis 3	10% bis 30%	10 s bis 60 s	–
PI	Durchfluss	1 bis 0,5	100% bis 200%	10 s bis 30 s	–
PID	Analyse	0,5 bis 0,2	200% bis 500%	10 min bis 20 min	2 min bis 5 min
P	Niveau	20 bis 1	5% bis 100%	–	–
PI	Niveau	20 bis 2	5% bis 50%	1 min bis 20 min	–
Kennwerte von Regelstrecken					
Regelgröße	Regelstrecke (Beispiele)	T_t bzw. T_e	T_s bzw. T_b	$K_{is} \cdot \gamma_h$	
Temperatur	Kleiner, elektrisch beheizter Ofen	0,5 min bis 1 min	5 min bis 15 min	1 K/s	
	Großer, elektrisch beheizter Ofen	1 min bis 5 min	10 min bis 60 min	0,3 K/s	
	Destillationskolonne	1 min bis 7 min	40 min bis 60 min	0,1 bis 0,5 K/s	
	Dampfüberhitzer	30 s bis 2,5 min	1 min bis 4 min	2 K/s	
	Raumheizung	1 min bis 5 min	10 min bis 60 min	1 K/min	
	Großer, gasbeheizter Glühofen	0,2 min bis 5 min	3 min bis 60 min	–	
	Autoklav (2,5 m ³)	0,5 min bis 0,7 min	10 min bis 20 min	–	
Hochdruckautoklav (1000 °C, 40 bar)	12 min bis 15 min	200 min bis 230 min	–		
Druck	Gasrohrleitung	0	0,1 s	–	
	Trommelkessel mit Ölfeuerung	0	150 s	–	
Drehzahl	Kleiner elektrischer Antrieb	0	0,2 s bis 10 s	–	
	Großer elektrischer Antrieb	0	5 s bis 40 s	–	
Elektrische Spannung	Kleine Generatoren	0	1 s bis 5 s	–	
	Große Generatoren	0	5 s bis 10 s	–	
Niveau	Trommelkessel	0,6 s bis 1 s	–	0,1 cm/s bis 0,3 cm/s	
Durchfluss	Rohrleitung (Gas)	0 s bis 5 s	0,2 s bis 10 s	–	
	Rohrleitung (Flüssigkeit)	0	0	–	
K_p	Proportionalbeiwert des Reglers	Q	Ausgleichswert der Strecke	T	Verzögerungszeit der Strecke, Regelbereich des P-Reglers
k_{pkrit} (K_{ps})	Kritischer Proportionalbeiwert, bei dem die Regelgröße ungedämpft schwingt	T_i	Nachstellzeit des I-Reglers	X_{pkrit} (X_{ps})	Regelbereich des P-Reglers, bei dem der Regelkreis gerade instabil wird
K_s	Übertragungsbeiwert einer Regelstrecke mit Ausgleich	T_d	Vorhaltezeit des D-Reglers	$X_{p\%}$	prozentualer Regelbereich (Skalenbereich)
K_{is}	Übertragungsbeiwert einer Regelstrecke ohne Ausgleich	T_b	Ausgleichszeit der Strecke	X_R	Reglereinganggröße
		T_s	Zeitkonstante der Strecke	γ_h	größter Stellbereich der Stellgröße
		T_t	Totzeit der Strecke		
		T_e	Verzugszeit der Strecke		
		T_{krit}	Schwingungszeit des instabilen Regelkreises		

Einstellregeln (nach Ziegler und Nichols) und Einstelldaten aus der Sprungantwort

Reglertyp	Einstellregeln	Einstelldaten aus der Sprungantwort
P	$K_p = \frac{T_s}{K_s \cdot T_t}$	$X_p = 1 \text{ bis } 1,5 \cdot X_R$
PI	$K_p = 0,9 \cdot \frac{T_s}{K_s \cdot T_t}, \quad T_i = 3,3 \cdot T_t$	$X_p = 1,1 \cdot X_R, \quad T_i = 2,5 \text{ bis } 3,5 (T_t + T_e)$
PID	$K_p = 1,2 \cdot \frac{T_s}{K_s \cdot T_t}, \quad T_i = 2 \cdot T_t, \quad T_d = 0,5 \cdot T_t$	$X_p = 0,8 \cdot X_R, \quad T_i = 2 \cdot (T_t + T_e), \quad T_d = 0,5 (T_t + T_e)$

Reglereinstellung nach der Stabilitätsgrenze (Verfahren nach Ziegler und Nichols)

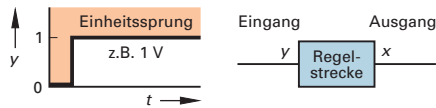
Reglertyp	kritische Einstellwerte	kritische Reglerbereiche
P	$K_p = 0,5 \cdot K_{pkrit}$	$X_{p\%} = 2 \cdot X_{pkrit\%}$
PI	$K_p = 0,45 \cdot K_{pkrit}, \quad T_i = 0,83 \cdot T_{krit}$	$X_{p\%} = 2,2 \cdot X_{pkrit\%}, \quad T_i = 0,85 \cdot T_{krit}$
PID	$K_p = 0,6 \cdot K_{pkrit}, \quad T_i = 0,5 \cdot T_{krit}, \quad T_d = 0,125 \cdot T_{krit}$	$X_{p\%} = 1,7 \cdot X_{pkrit\%}, \quad T_i = 0,5 \cdot T_{krit}, \quad T_d = 0,12 \cdot T_{krit}$

Liegen die Daten der Strecke nicht vor, so lässt sich die optimale Reglereinstellung auf folgendem Weg finden: Man betreibt den Regler als reinen P-Regler ($T_i \rightarrow \infty, T_d = 0$) und wählt den Übertragungsbeiwert K_p so klein, dass der Regelkreis stabil ist. Anschließend wird K_p so lange vergrößert, bis im Regelkreis Dauerschwingungen einsetzen und der Regelkreis instabil, d. h. kritisch wird. Die kritischen Daten werden zur Einstellung verwendet.

Zeitverhalten von Regelstrecken

Sprungantwort-Verfahren

Beim Sprungantwort-Verfahren wird die Übergangsfunktion experimentell ermittelt.



Bezeichnung Kenngrößen	Stell-Sprungantwort	Beispiel	Übergangsverhalten
Regelstrecke ohne Verzögerung P ₀ -Strecke $K_{ps} = \frac{x}{y}$			x folgt proportional unverzögert der Eingangsgröße y.
Regelstrecke 1. Ordnung PT ₁ -Strecke $K_{ps} = \frac{x_\infty}{y}$			x folgt proportional der Eingangsgröße, aber bei Änderungen verzögert nach einer e-Funktion.
Regelstrecke mit Totzeit PT _T -Strecke $K_{ps} = \frac{x}{y}$			x folgt proportional der Eingangsgröße y, jedoch um die Zeit T _t verzögert.

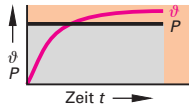
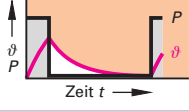
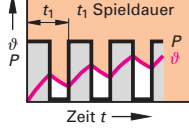
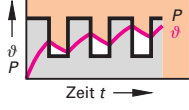
Für Regelstrecken ohne Ausgleich sind statt K_s der Ausdruck K_{is} und statt $\frac{T_e}{K_g}$ der Ausdruck T_e einzusetzen.

l Länge, v Strömungsgeschwindigkeit, I_B Basisstrom, U_e Eingangsspannung, U_a Ausgangsspannung, x_∞ Reglerausgangsgröße nach Einschwingvorgang, sonstige Erklärung der Formelzeichen siehe vorhergehende Seite.

Betriebsarten und Grenzübertemperaturen

Operating Modes and Temperature Rise Limits

Betriebsarten S1 bis S9

Betriebsarten S1 bis S9		
Betriebsart	Leistung, Temperatur	Betriebsbedingungen, Bemerkungen, Anwendungen
Dauerbetrieb S1		Unter Bemessungslast wird eine gleichbleibende Temperatur erreicht, die auch bei längerem Betrieb nicht mehr ansteigt. Das Betriebsmittel kann pausenlos unter Bemessungslast arbeiten, ohne dass die zulässige Temperatur überschritten wird. Beispiel: Antriebsmotor für Wasserwerkspumpe.
Kurzzeitbetrieb S2		Die Betriebsdauer unter Bemessungslast ist kurz im Vergleich zur Pause. Genormte Betriebsdauern 10 min, 30 min, 90 min. Diese Zeit kann das Betriebsmittel unter Bemessungslast arbeiten, ohne dass die zulässige Temperatur überschritten wird. Beispiel: Antriebsmotor für Garagentor.
Aussetzbetriebe ¹ S3, S4, S5		Betriebsdauer unter Bemessungslast und die folgende Pause sind kurz. Das Betriebsmittel kann unter Bemessungslast nur während der angegebenen ED (Einschaltdauer) in % der Spieldauer arbeiten. Genormte ED: 15%, 25%, 40%, 60%. Die Spieldauer beträgt 10 min, wenn nicht anders angegeben. Beispiele: Hebezeugmotor (S3), Antriebsmotor für Schalttisch (S4), Antriebsmotor für Positionierung (S5).
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Aussetzbelastung S6		Diese Betriebsart entspricht S3, jedoch bleibt in den Belastungspausen das Betriebsmittel eingeschaltet, arbeitet also im Leerlauf. Einschaltdauer und Spieldauer werden wie bei S3 angegeben. Beispiel: Bohrmaschine (sofern leer durchlaufend).
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung S7		Die Maschine läuft an, wird belastet und danach elektrisch gebremst, z. B. durch Einspeisen von Gleichstrom. Anschließend läuft sie sofort wieder hoch. Die Maschine kann in dieser Weise pausenlos arbeiten, wenn die angegebenen Trägheitsmomente J_M des Motors und J_{ext} der Last sowie die Spieldauer nicht überschritten werden. Wenn keine Spieldauer angegeben ist, so beträgt sie 10 min. Beispiel: Antriebsmotor für Fertigungseinrichtung.
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Drehzahländerung S8		Die Maschine läuft dauernd unter wechselnder Last und mit häufig wechselnder Drehzahl. Die Maschine kann in dieser Weise pausenlos arbeiten, wenn für jede Drehzahl die angegebenen Werte nicht überschritten werden (Trägheitsmomente J_M und J_{ext} , Spieldauer, wenn von 10 min abweichend, Bemessungsleistungen und Einschaltdauer. Beim Trägheitsmoment von $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ liegt ein Verhalten gegen Beschleunigung wie bei einer Masse von 1 kg im Abstand von 1 m von der Drehachse vor). Beispiel: Aufzugsmotor.
Ununterbrochener Betrieb mit nicht-periodischer Last- und Drehzahländerung S9		Ein Betrieb, bei dem sich Last und Drehzahl innerhalb des Betriebsbereiches nicht-periodisch ändern. Dabei treten Lastspitzen auf, die weit über der Bemessungsleistung liegen können. Beispiel: Motor für Presse.

AS

¹ Bei S3 ist der Anlaufstrom für die Erwärmung unerheblich. Bei S4 ist der Anlaufstrom für die Erwärmung erheblich. Bei S5 erwärmt zusätzlich der Bremsstrom die Maschine. Bei S4 und S5 sind zusätzlich zur Einschaltdauer ED das Trägheitsmoment J_M des Motors und das externe (äußere) Trägheitsmoment J_{ext} der Last angegeben.

Grenzübertemperaturen in K (Kelvin)

Thermische Klasse/Isolierstoffklasse	105/A	120/E	130/B	155/F	180/H
1. Einlagige Feldwicklungen	65	80	90	110	135
2. Sonstige Wicklungen	60	75	80	105	125
3. Stromwender, Schleifringe	60	70	80	90	100
4. Sonstige Teile in Berührung mit Wicklungen	60	75	80	100	125

Übersteigt die Eintrittstemperatur des gasförmigen Kühlmittels, z. B. Luft, 40°C oder von Wasser 25°C , so ist die höchstzulässige Übertemperatur im gleichen Umfang zu verringern.

Bei Betrieb in 1000 m bis 4000 m über Meeresspiegel sind die zulässigen Übertemperaturen kleiner.

Bei Maschinen: Um 1% je 100 m Höhenzunahme über 1000 m.

Bei Transformatoren mit Selbstkühlung (S): Öltransformatoren um 2%, Trockentransformatoren um 2,5%/100 m, mit Fremdlüftung (F): Öltransformatoren um 3%, Trockentransformatoren um 5% je 500 m Höhenzunahme über 1000 m.

Effizienz von elektrischen Antrieben Efficiency of Electrical Drives

Daten	Erklärung	Bemerkungen
-------	-----------	-------------

Standards für effiziente Antriebe

IEC-Bezeichnung	US-Bezeichnung	alte EU-Bezeichnung	Elektromotoren benötigen etwa die Hälfte des erzeugten Stromes. Bei elektrischen Antrieben besteht ein großes Potenzial zum Energiesparen. Deshalb werden elektrische Antriebe nach ihrer Effizienz unterschieden.	Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Effizienz ist der Einsatz von Cu anstelle von Al für den Läuferkäfig und von besserem Magnetmaterial (Elektroblech) mit kleineren Verlusten bei Käfigläufermotoren.
IE1	Standard Efficiency	EFF3		
IE2	High Efficiency	EFF2		
IE3	Premium Efficiency	EFF1		
IE4	Super Premium Efficiency	–		

Wirkungsgrade nach IEC 60034 bei vierpoligen Motoren (gerundete Werte)

Mindestwirkungsgrade von vierpoligen Elektromotoren bei voller Last für Nennleistungen von 0,75 kW bis 370 kW für 50 Hz

Der Wirkungsgrad großer Motoren ist höher als bei kleinen Motoren, weil durch die kompakte Bauart weniger verloren geht vom Magnetfeld und von der magnetischen Wirkung des Stromes. Der Wirkungsgrad von vierpoligen Motoren ist meist am größten, weil für diese häufige Bauart die Abmessung der Maschine günstiger als bei anderen Motoren gewählt wird. Bei sechspoligen Motoren ist dagegen der Wirkungsgrad kleiner, weil bei gleicher Leistung das Kraftmoment größer sein muss. Der Wirkungsgrad von Motoren für 60 Hz ist größer als der von 50 Hz, weil bei 60 Hz die Drehzahl größer ist als bei 50 Hz.

Die angegebenen Wirkungsgrade gelten nur für den Betrieb bei Nennlast. Bei herabgesetzter Belastung sinkt der Wirkungsgrad stark ab, weil dann der Leistungsfaktor der Maschine sinkt. Deshalb wird bei von Umrichtern gespeisten Antrieben bei Teillast die Spannung oft herabgesetzt. Dadurch verhält sich der Motor wie ein Motor mit kleinerer Nennlast. Für niedrige Drehzahlen sind Motoren mit großer Polzahl weniger geeignet als Getriebemotoren mit hoher Drehzahl.

Mindestwirkungsgrade von Motoren verschiedenen Effizienzklassen und Polzahlen vgl. IEC 60034-30

Nennleistung kW	IE1			IE2			IE3		
	2 Pole	4 Pole	6 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole

Motoren für 50 Hz

0,75	0,72	0,72	0,7	0,77	0,79	0,76	0,81	0,82	0,79
1,5	0,77	0,77	0,75	0,81	0,83	0,80	0,84	0,85	0,82
3,0	0,82	0,82	0,80	0,85	0,86	0,83	0,87	0,88	0,86
5,5	0,85	0,85	0,83	0,87	0,88	0,86	0,89	0,90	0,88
7,5	0,86	0,86	0,85	0,88	0,89	0,87	0,90	0,90	0,89
11	0,88	0,88	0,86	0,89	0,90	0,89	0,91	0,91	0,90
15	0,89	0,89	0,88	0,90	0,91	0,90	0,92	0,92	0,91
375	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,958	0,96	0,958

Bei 50 Hz entsprechen 2 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 3000/min, 4 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 1500/min und 6 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 1000/min.

Motoren für 60 Hz

0,75	0,77	0,78	0,73	0,76	0,83	0,80	0,77	0,86	0,83
1,5	0,81	0,82	0,77	0,84	0,84	0,87	0,86	0,87	0,89
5,5	0,86	0,87	0,85	0,89	0,90	0,90	0,90	0,92	0,91
15	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,91	0,93	0,92
375	0,94	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96

Bei 60 Hz entsprechen 2 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 3600/min, 4 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 1800/min und 6 Pole der synchronen Drehzahl (Drehfelddrehzahl) von 1200/min.

AS

Betriebsdaten von Käfigläufermotoren Operating Data of Squirrel Cage Motors

Größe	P_N in kW	n_N in 1/min	I_N in A	M_N in Nm	η in %	$\cos \varphi$	$\frac{I_A}{I_N}$	$\frac{M_A}{M_N}$	$\frac{M_K}{M_N}$	m in kg
Drehstrommotoren bei 50 Hz / 400 V, nicht polumschaltbar										
Drehfelddrehzahl $n_s = 3000$/min										
56	0,12	2760	0,4	0,42	55	0,80	4,5	2,0	2,0	3,5
63	0,25	2765	0,7	0,86	65	0,81	4,5	2,3	2,2	4,0
71	0,55	2800	1,3	1,88	70	0,85	4,9	2,3	2,2	6,5
80	1,1	2850	2,4	3,69	77	0,85	5,2	2,4	2,3	8,1
90S	1,5	2860	3,2	5,0	82	0,82	6,2	2,5	2,4	12,9
90L	2,2	2860	4,6	7,3	82	0,85	6,8	2,8	2,6	14,8
100L	3	2895	6,1	9,9	83	0,85	7,2	2,4	2,6	21
112M	4	2895	7,8	13	84	0,88	7,6	2,4	2,8	25
132S	5,5	2925	10,6	18	85	0,88	7,0	2,2	2,6	43
132M	7,5	2925	14,3	24	86	0,88	7,5	2,4	2,6	50
160M	15	2935	29	49	90	0,84	7,1	2,1	3,0	82
160L	18,5	2940	34	60	91	0,86	7,5	2,3	3,1	92
Drehfelddrehzahl $n_s = 1500$/min										
56	0,09	1300	0,3	0,66	52	0,75	2,7	1,7	2,0	3,3
63	0,18	1325	0,6	1,30	60	0,77	2,7	1,7	2,0	3,8
71	0,37	1375	1,1	2,6	62	0,78	3,2	1,7	2,0	4,5
80	0,75	1400	1,8	5,1	74	0,80	5,0	2,3	2,1	8,0
90S	1,1	1405	2,6	7,5	75	0,81	5,0	2,1	2,2	12,3
90L	1,5	1410	3,5	10	75	0,82	5,2	2,2	2,2	14,5
100L	3	1415	6,5	20	81	0,82	6,2	2,7	2,5	24
112M	4	1435	8,4	27	83	0,83	7,0	2,9	2,6	29
132S	5,5	1450	11	36	84	0,85	7,0	2,2	2,3	39
132M	7,5	1450	15	49	86	0,85	7,6	2,4	2,7	53
180S	18,5	1460	35	121	91	0,85	6,2	2,6	2,8	165
180M	22	1460	41	144	91	0,85	6,4	2,6	2,8	180
Polumschaltbare Drehstrommotoren in Dahlanderschaltung $n_s = 1500$/min bzw. 3000/min										
71	0,37 0,55	1370 2760	1,2 1,7	2,6 1,9	62 65	0,72 0,74	3,2 3,3	1,6 1,7	2,0 2,0	5,0
80	0,55 0,75	1400 2850	1,6 2,0	3,8 2,6	65 70	0,75 0,77	4,3 4,5	1,7 1,8	1,9 2,0	8,0
90S	1,0 1,2	1430 2890	2,7 3,0	6,7 4,0	69 75	0,77 0,78	5,3 5,4	1,8 1,9	2,0 2,0	13
100L	2,0 2,6	1450 2900	5,0 5,8	13 8,36	72 76	0,80 0,85	5,9 6,6	2,1 2,2	2,1 2,1	21
Einphasenwechselstrommotoren mit Betriebskondensator bei 50 Hz/230 V										
Größe	P_N in kW	n_N in 1/min	I_N in A	$\cos \varphi$	$\frac{I_A}{I_N}$	$\frac{M_A}{M_N}$	C_B in μF	U_C in V	$\frac{M_K}{M_N}$	m in kg
63	0,12	2800	1,2	0,94	3,0	0,6	4	400	2,0	5
71	0,5	2760	2,4	0,95	3,0	0,45	10	400	2,0	8
80	0,9	2800	6,2	0,97	4,0	0,35	20	400	2,0	11
90S	1,1	2820	7,4	0,97	3,4	0,38	30	400	2,6	14
90L	1,7	2800	11	0,97	3,5	0,35	40	400	2,8	17
63	0,12	1390	1,2	0,94	2	0,54	5	400	3,0	5
71	0,3	1380	1,6	0,95	2,6	0,52	12	400	3,0	8
80	0,6	1380	4,1	0,94	3,3	0,64	16	400	2,9	11

C_B Kapazität des Betriebskondensators, $\cos \varphi$ Leistungsfaktor, I_A Anzugsstrom, I_N Bemessungsstrom, m Masse, M_A Anzugsmoment, M_K Kippmoment, M_N Bemessungsmoment, n_N Bemessungsdrehzahl, n_s Drehfelddrehzahl, P_N Bemessungsleistung, U_C Kondensatorspannung, η (Eta) Wirkungsgrad, φ (Phi) Phasenverschiebungswinkel. S von short = kurz, L von long = lang, M von medium = mittel

Die Werte der Tabelle wurden Firmenkatalogen entnommen und entsprechen nicht immer den Normen.

AS

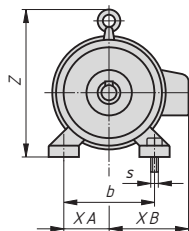
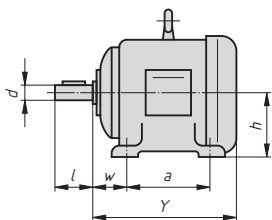
Oberflächengekühlte Käfigläufermotoren (Normmotoren) Surface-cooled Squirrel Cage Motors (Standard Motors)

Wellenenden bei IM B3, IM B6, IM B7, IM B8, IM V5, IM V6 und Bemessungsleistungen

Größe (h in mm) (siehe Bild)	d x l in mm		Bemessungsleistung in kW			
	3000/min	1500/min	3000/min	1500/min	1000/min	750/min
56	9 x 20		0,09/0,12	0,06/0,09	–	–
63	11 x 23		0,18/0,25	0,12/0,18	–	–
71	14 x 30		0,37/0,55	0,25/0,37	–	–
80	19 x 40		0,75/1,1	0,55/0,75	0,37/0,55	–
90 S	24 x 50		1,5	1,1	0,75	–
90 L			2,2	1,5	1,1	–
100 L	28 x 60		3	2,2/3	1,5	0,75/1,1
112 M			4	4	2,2	1,5
132 S	38 x 80		5,5/7,5	5,5	3	2,2
132 M			–	7,5	4/5,5	3
160 M	42 x 110		11/15	11	7,5	4/5,5
160 L			18,5	15	11	7,5
180 M	48 x 110		22	18,5	–	–
180 L			–	22	15	11
200 L	55 x 110		30/37	30	18,5/22	15
225 S	55 x 110	60 x 140	–	37	–	18,5
225 M				45		30
250 M	60 x 140	65 x 140	55		37	30
280 S	65 x 140	75 x 140	75		45	37

Abmessungen bei IM B3, IM B6, IM B7, IM B8, IM V5, IM V6

Baugröße h in mm	a in mm	b in mm	w in mm	Schraube s	XA in mm	XB in mm	Y in mm	Z in mm
56	71	90	36	M 5	62	104	174	166
63	80	100	40	M 6	73	110	210	181
71	90	112	45	M 6	78	130	224	196
80	100	125	50	M 8	96	154	256	214
90 S	100	140	56	M 8	104	176	286	244
90 L	125						298	
100 L	140	160	63	M 10	122	194	342	266
112 M	140	190	70		134	218	372	300
132 S	140	216	89	M 10	158	232	406	356
132 M	178						440	
160 M	210	254	108	M 12	186	274	545	480
160 L	254						562	
180 M	241	279	121	M 12	208	312	602	554
180 L	279						632	
200 L	305	318	133	M 16	240	382	680	600
225 S	286	356	149	M 16	270	428	764	675
225 M	311						792	
250 M	349	406	168	M 20	300	462	874	730
280 S	368	457	190	M 20	332	522	984	792
280 M	419						1036	



Bauformen IM siehe folgende Seite.


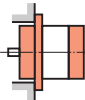
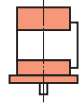

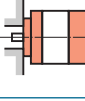
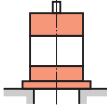


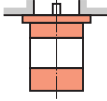

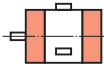
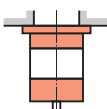

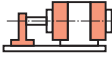
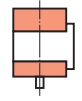

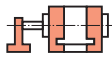
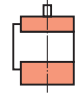




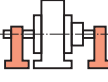
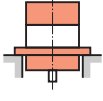

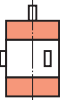

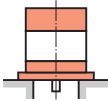
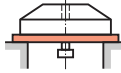
Bei Größenangabe bedeuten L lange Form, S (von short) kurze Form, M mittelkurze Form.

Die Motoren brauchen der nebenstehenden Zeichnung nicht zu entsprechen.

Die angegebenen Maße sind jedoch einzuhalten.

Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen

Types of Construction of Rotating Electrical Machines

Bild	Erklärung IEC-Code I IEC-Code II	Bild	Erklärung IEC-Code I IEC-Code II	Bild	Erklärung IEC-Code I IEC-Code II	
Maschinen ohne Lager						
	Ohne Welle, FüÙe hochgezogen A2 IM 5510		Wie IM B35, aber ohne FüÙe IM B10 IM 4001		2 Schildlager, Flansch unten, mit FüÙen zur Wandbefestigung IM V15 IM 7201	
	Wie IM 5510, aber mit Fußplatte – IM 5710		Wie IM B34, aber ohne FüÙe IM B14 IM 3601		Wie IM V 1, aber Wellenende oben IM V2 IM 3231	
Maschinen mit Schildlagern für waagerechte Anordnung						
	2 Schildlager, 1 freies Wellenende IM B3 IM 1001		Wie IM B3, aber ohne Lager auf Antriebsseite IM B15 IM 1201		Wie IM V2, aber mit Flansch oben IM V3 IM 3031	
	Flanschmotor mit FüÙen IM B35 IM 2001		Ohne FüÙe, ohne Flansch (Einbau in Rohr) IM B30 IM 9201		Wie IM V3, aber Wellenende unten IM V4 IM 3211	
Maschinen mit Schildlagern und Stehlagern						
	Wie IM B35, aber kein Zugang von der Gehäuseseite IM B34 IM 2101		2 Schildlager, 1 Stehlager, Grundplatte C2 IM 6010		Wie IM V15, aber ohne Flansch IM V5 IM 1011	
	Wie IM B35, aber ohne FüÙe (Flanschbau) IM B5 IM 3001		Wie IM 6010, ohne Grundplatte – IM 6100		Wie IM V5, aber Wellenende oben IM V6 IM 1031	
Maschinen mit Stehlagern						
	Wie IM B3, aber für Wand- befestigung; FüÙe links IM B6 IM 5051		Ohne Schildlager, 1 Stehlager, mit FüÙen – IM 7001		1 Schildlager, ohne Wälzlager am Wellenende IM V8 IM 9111	
	Wie IM B3, aber für Wand- befestigung; FüÙe rechts IM B7 IM 1061		2 Stehlager, mit FüÙen D9 IM 7201		Wie IM V1, aber Flansch in Gehäusenähe IM V10 IM 4011	
	Wie IM B3, aber für Decken- befestigung IM B8 IM 1071	Maschinen für senkrechte Anordnung				Ohne FüÙe, ohne Flansch, zum Einbau in Rohr IM V31 IM 9231
	Wie IM B5, aber ohne Lagerschild IM B9 IM 9101		Mit 2 Führungs- lagern, Flansch und Wellenende unten, Flansch in Lagnähe IM V 1 IM 3011		Querlager oben, Kupplungsflansch unten W1 IM 8015	

Berechnungsformeln für drehende elektrische Maschinen Calculation Formulas for Rotating Electrical Machines

Synchronmotor, Synchrongenerator

n Drehzahl, Umdrehungsfrequenz
 n_s Drehfeldfrequenz
 f Netzfrequenz
 p Polpaarzahl (halbe Polzahl)

$n = n_s$ 1

$n_s = \frac{f}{p}$ 2

Asynchronmotor, Asynchrongenerator

Formelzeichenbedeutung wie oben. Zusätzlich:

M(n)-Kennlinie für Kurzschlussläufer

M(n)-Kennlinien für Schleifringläufer

f_L Frequenz im Läufer
 s Schlupf (in %)
 M Kraftmoment, Moment
 M_A Anzugsmoment
 M_K Kippmoment
 M_N Bemessungsmoment
 M_S Sattelmoment
 s_K Kippschlupf (Schlupf beim Kippmoment)
 C_M Kraftmoment-Koeffizient der Maschine
 U_{Str} Strangspannung
 I Stromstärke (Leiterstrom)
 P Leistungsabgabe (mechanisch)
 η Wirkungsgrad
 U Netzspannung, bei Drehstrom Dreiecksspannung
 $\cos \varphi$ Leistungsfaktor
 Berechnung des Läuferstromes von Schleifringläufermotoren siehe Anlasser für Elektromotoren.

$n_s = \frac{f}{p}$ 3

$f_L = \frac{f \cdot s}{100\%}$ 4

$s = \frac{(n_s - n) \cdot 100\%}{n_s}$ 5

$f_L = f - \frac{f \cdot n}{n_s}$ 6

$\frac{M}{M_K} = \frac{2}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$ 7

$n = \frac{f}{p} \left(1 - \frac{s}{100}\right)$ 8

$M = C_M \cdot U_{Str}^2$ 9

Bei Einphasenmotoren:

$I = \frac{P}{\eta \cdot U \cdot \cos \varphi}$ 10

Bei Drehstrommotoren:

$I = \frac{P}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$ 11

Fremderregter Motor (Nebenschlussmotor)

Schaltung

Belastungskennlinie

Formelzeichenbedeutung wie oben. Zusätzlich:

s Abnahme in % gegenüber Leerlauf
 I_a Ankerstrom
 M_{St} Kraftmoment im Stillstand
 I_{St} Ankerstrom im Stillstand
 U_i induzierte Spannung
 C_U Spannungskoeffizient der Maschine
 Φ_e Erregerfluss
 P_a mechanische Ankerleistung
 U_a Ankerspannung (Netzspannung des Ankerkreises)
 R_a Ankerwiderstand
 R_v Vorwiderstand
 I_e Erregerstrom
 U_e Erregerspannung
 R_e Widerstand der Erregerwicklung

$s = \frac{M \cdot 100\%}{M_{St}}$ 12

$s = \frac{I_a \cdot 100\%}{I_{St}}$ 13

$s = \frac{(n_s - n) \cdot 100\%}{n_s}$ 14

$U_i = C_U \cdot \Phi_e \cdot n$ 15

$U_i \approx \frac{P_a}{I_a}$ 16

$U_a = U_i + (R_a + R_v) \cdot I_a$ 17

$I_{St} = \frac{U_a}{R_a + R_v}$ 18

$M = C_M \cdot \Phi_e \cdot I_a$ 19

$I_a = \frac{P_a}{\eta \cdot U_a}$ 20

$I_e = \frac{U_e}{R_e}$ 21

Reihenschlussmotor

Formelzeichenbedeutung wie oben.

$I_{St} = \frac{U}{R_e + R_v + R_a}$ 22

$I = I_a$

$I = \frac{P}{\eta \cdot U}$ 23

$M = \frac{C_M}{n^2}$ 24

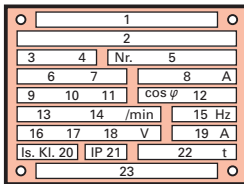
AS

Leistungsschilder von drehenden elektrischen Maschinen Nameplates of Rotating Electrical Machines

Motoren, Generatoren, Umformer

Feld	Erklärung			
1	Firmenzeichen			
2	Typenbezeichnung der Maschine			
3	Stromart			
4	Arbeitsweise (z. B. Motor, Generator)			
5	Maschinennummer der Fertigung			
6	Schaltart der Ständerwicklung bei Synchron- und Induktionsmaschinen, und zwar			
		Phasenzahl	Schaltung	Zeichen
		1 ~	offen mit Hilfsstrang	 ⊥
		3 ~	unverkettet	
		3 ~ verkettet in Schaltung	Stern	Y
			Dreieck	△
			Stern mit herausgeführten Mittelpunkt	⋄
		6 ~ verkettet in Schaltung	Doppeldreieck	☆
			Sechseck	⬡
			Stern	✳
2 ~	unverkettet	²		
	verkettet, allgemein, z. B. in L-Schaltung	L		
n ~	unverkettet	ⁿ		
7	Bemessungsspannung, Nennspannung			
8	Bemessungsstrom, Nennstrom			
9	Bemessungsleistung (Abgabe). Bei Synchron- generatoren in kVA oder VA, sonst in kW oder W.			
10	Einheiten kW, W, kVA, VA			
11	Betriebsart (entfällt bei S1 = Dauerbetrieb) und Bemessungsbetriebszeit bzw. relative Ein- schaltdauer. Beispiel: S2 30 min, S3 40% ED			
		12	Bemessungsleistungsfaktor λ bzw. $\cos \varphi$. Bei Synchronmaschinen ist das Zeichen u (untererregt) anzufügen, wenn Blindleistung aufgenommen werden soll.	
		13	Drehrichtung (auf die Antriebseite gesehen): → (Rechtslauf) ← (Linkslauf)	
14	Bemessungsdrehzahl. Außerdem wird angegeben: Bei Motoren mit Reihenschlussverhalten die Höchstzahl n_{max} ; bei Generatoren, die von Wasserturbinen angetrieben werden, die Durchgangs- drehzahl n_d der Turbine; bei Getriebemotoren die Enddrehzahl n_z des Getriebes.			
		15	Bemessungsfrequenz, Nennfrequenz	
			bei Schleifringläufer	bei Gleichstrom- maschine und Synchronmaschine
		16	„Läufer“ bzw. „Lfr“	„Erreger“ bzw. „Err“
		17	Schaltart, wenn keine 3 AC-Schaltung	-
18	Läuferstillstands- spannung in V	Bemessungserreger- spannung in V		
19	Läuferstrom in Bemessungsbetrieb. Angabe entfällt, falls Ströme kleiner als 10 A.	Erregerstrom		
20	Isolierstoffklasse (Y, A, E, B, F, H, C). Gehören Ständer und Läufer zu verschiedenen Klassen, wird zuerst die Klasse des Ständers, dann die Klasse des Läufers angegeben (z. B. E/F).			
21	Schutzart, z. B. IP 23			
22	Angenähertes Gewicht in Tonnen (t). Angabe entfällt, wenn leichter als 1 t.			
23	Zusätzliche Vermerke, z. B. VDE 0530/..., Kühlmittelmenge bei Fremdbelüftung und bei Wasserkühlung.			

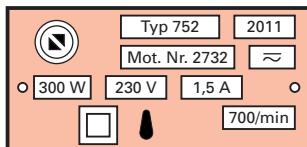
AS



Wird die Wicklung einer Maschine neu gewickelt oder umgeschaltet, so muss zusätzlich ein weiteres Schild mit Firmenbezeichnung, Jahreszahl und gegebenenfalls neuen Angaben angebracht werden.

(Leistungsschilder von Transformatoren siehe Seite 217).

Geräte mit elektrischen Maschinen



Leistungsschild einer Handbohrmaschine

Außerdem sind anzugeben:
Bemessungsaufnahme in W;
bei Schutzklasse II Symbol ;
ein Symbol für die Feuchtigkeits-
Schutzart, z. B. .

Bei Kleingeräten, wie tragbaren Elektrowerkzeugen, Staubsaugern, Küchenmaschinen, Tonbandgeräten, wird kein genormtes Leistungsschild verwendet. Die Inhalte folgender Felder sind aber meist auf dem Leistungsschild angegeben: Felder 1, 2, 3, 6, 7, 11, 14, 15 (teilweise).

Drehstrommotoren Three-phase Motors			
Motorart	Synchronmotor	Schleifringläufermotor	Käfigläufermotor
Schaltzeichen und Anschluss für Rechtslauf			
Kraftmomentkennlinien			
Drehrichtungs-umkehr	Durch Vertauschen zweier Außenleiter		
Schaltung an den Anschlussklemmen	<p>Der Ständer ist wie beim Käfigläufermotor anzuschließen.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Läuferanschluss</p> <p>Entfällt bei Dauermagnet- erregung</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Läufer in Y oder Δ</p> <p>Läufer in V (zweiphasig)</p> </div> </div>		<div style="text-align: center;"> <p>bei Stern- schaltung</p> <p>bei Dreieck- schaltung</p> </div>
Häufigstes Anlassen	bei Anlaufkäfig: direktes Einschalten ohne Erregung	Anlasswiderstände im Läuferkreis	direktes Einschalten (falls möglich bei Einstellung für niedrige Drehzahl)
M_A / M_N	0,5 bis 1 mit Anlaufkäfig	kleine Motoren bis 4, große Motoren bis 2	0,4 bis 2
I_A / I_N	3 bis 7	≈ 1 bei Anlauf mit M_N	3 bis 7
Kurzzeitige Überlastbarkeit	1,5- bis 4-fach	1,6- bis 2,5-fach	1,6- bis 3-fach
Steuern der Drehzahl	Steuern der Frequenz durch FU (Frequenzumrichter)	Läuferzusatzwiderstände	Polumschaltung, Frequenzsteuerung
Drehzahlstellbereich	bis 1: ∞ bei Servomotoren bis 1: 10 bei Schiffsantrieben	bei Läuferzusatzwiderständen bis 1:3	bei Polumschaltung mit 4 Stufen bis 1:8
	bei Frequenzsteuerung mit Umrichter bis 1:100, mit Drehzahlregler bis 1: ∞		
Elektrisches Bremsen ohne zusätzliche Bremse	Nutzbremmung durch Betrieb als Generator. Mit Anlaufkäfig auch Gegenstrombremmung.	Nutzbremmung durch Betrieb als Generator, insbesondere bei Polumschaltung. Verlustbremmung durch Gegenstrombremmung sowie durch Speisen des Ständers mit Gleichstrom oder Einphasenwechselstrom.	
Anwendungsbeispiele	Servomotoren, Kolbenverdichter, Umformer, Propellerantriebe auf Schiffen	Hebezeuge, Förderanlagen, Verdichter, Steinbrecher, Verschiebebühnen	Werkzeugmaschinen, Verarbeitungsmaschinen, Landwirtschaftsmaschinen, Hebezeuge

AS

I_A Anzugsstrom, I_N Bemessungsstrom, M Moment, Kraftmoment, M_A Anzugsmoment, M_N Bemessungsmoment, n Drehzahl, n_s Drehfeldzahl (synchrone Drehzahl), R_V Anlasswiderstand, ∞ unendlich.

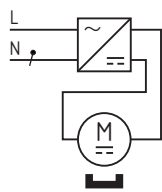
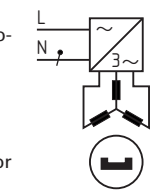
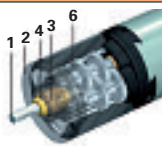
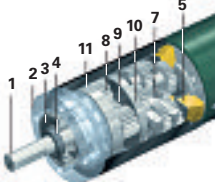
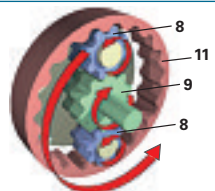
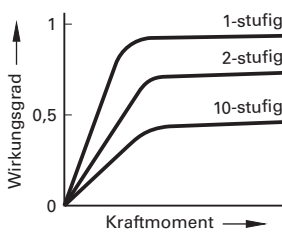
Kleinstmotoren Micromotors

Begriffe	Erklärung, typische Daten	Ansichten
<p>Leistungsarten</p> <p>Umgebungs-temperatur</p> <p>Leistungs-bereich</p> <p>Kurzzeit-betrieb</p> <p>Anwen-dungen</p>	<p><i>Typenleistung</i> ist die im empfohlenen Leistungs-bereich maximale Abgabeleistung.</p> <p><i>Dauerbetriebsbereich</i> ist der Bereich für dauernde Belastung bei einer Umgebungs-temperatur von 25 °C.</p> <p><i>Empfohlener Leistungs-bereich</i> ist kleiner als der Dauerbetriebsbereich.</p> <p>Motor darf <i>kurzzeitig</i> und wiederholt über-lastet werden.</p> <p>Roboter, Positionierungsantriebe, zahnärzt-liche Geräte, Dialysegeräte, Lüfter, Kfz-Mechatronik, Nivelliergeräte, Beamer, Fahr-tenschreiber, Lesegeräte.</p>	<p style="text-align: center;">Betriebsbereiche eines Kleinstmotors 0,5 W</p>
<p>DC-Motor mit Edelmetallbürsten</p> <p>Permanentmagnete</p> <p>eisenloser Außenläufer</p> <p>Spezial-wicklung</p>	<p>Der Läufer ist eisenlos mit einer Spezial-wicklung aus Cu-Drähten und läuft als Außenläufer um den innen liegenden Dau-ermagnet-Ständer. Die Welle besteht oft aus Keramik.</p> <p>$P_{typ} = 0,5\text{ W bis }8\text{ W}$,</p> <p>z.B. bei $P_{typ} = 0,5\text{ W}$: $n \leq 16\ 000/\text{min}$, $T \leq 0,6\text{ mNm}$ $\eta = 0,6$, $U_N = 12\text{ V}$, $I_a \leq 130\text{ mA}$</p> <p>1 Flansch, 2 Permanentmagnet, 3 Gehä- use (magnetischer Rückschluss), 4 Welle, 5 Wicklung, 6 Kollektor-Wicklung-Platte, 7 Kollektor, 8 Gleitlager, 9 Bürsten, 10 De- ckel, 11 Anschluss</p>	<p style="text-align: center;">DC-Motor mit Edelmetallbürsten www.maxonmotor.com</p>
<p>DC-Motor mit Graphitbürsten</p>	<p>$P_{typ} = 1,5\text{ W bis }250\text{ W}$, z.B. bei $P_{typ} = 60\text{ W}$: $n \leq 7\ 800/\text{min}$, $T \leq 47\text{ mNm}$ $\eta = 0,79$, $U_N = 12\text{ V}$, $I_a \leq 60\text{ A}$</p>	<p>Aufbau entsprechend wie bei DC-Motor mit Edel- metallbürsten, jedoch hier mit Graphitbürsten, Kupferkollektor und Kugellagern. Geeignet für größere Leistungen.</p>
<p>EC-Motor</p> <p>elektroni-sche Kom-mutierung</p> <p>Ständer mit Spezial-wicklung</p> <p>Innen- oder Außenläufer mit Permanent-magneten</p> <p>Ansteuerung der drei Stränge</p>	<p>Im Prinzip liegt ein dreiphasiger Synchron-motor vor, der über die Elektronik mit Gleichspannungen angesteuert wird. Die drei Stränge sind in Stern oder in Dreieck geschaltet.</p> <p>$P_{typ} = 1,5\text{ W bis }400\text{ W}$, z.B. bei $P_{typ} = 15\text{ W}$: $\eta \leq 50\ 000/\text{min}$, $T \leq 44\text{ mNm}$ bei 10 000/min, $\eta = 0,68$, $U_N = 24\text{ V}$</p> <p>Je nach Elektronik der Steuerschaltung wird jeder Strang mit <i>blockförmiger</i> oder <i>sinus-förmiger</i> Spannung angesteuert. Dadurch entsteht ein magnetisches Drehfeld.</p>	<p style="text-align: center;">EC-Motor mit Innenläufer www.maxonmotor.com</p>
	<p style="text-align: center;">Ansteuerung der Stränge</p>	
<p>I_a maximaler Anlaufstrom</p> <p>T maximales Dauerdrehmoment</p>	<p>n Grenzdrehzahl</p> <p>U_n Bemessungsspannung</p>	<p>P_{typ} Typenleistung</p> <p>η Wirkungsgrad</p>

AS

Daten von Kleinantrieben, Getriebe von Kleinstmotoren

Data of Microdrives, Gearboxes of Mini Drives

Typ	∅ in mm	Länge in mm	Kommutierung	Typenleistung in W	Masse in g	maximaler Wirkungsgrad in %	Schaltung zur Stromversorgung
DC-Motoren mit eisenlosem Läufer (Beispiele)							www.maxonmotor.com
RE8	8	16	EB	0,5	4,1	68	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">4-Q-Servoverstärker</div>  </div>
RE13	13	19,2/21,6	EB	1,2	12/15	68/70	
RE13	13	31,4/33,8	EB	2,5	12-15	78/80	
RE15	15	22,3	EB CLL	1,6	20	71 bis 74	
RE35	35	70,9	GB	90	340	66 bis 86	
RE40	40	71	GB	150	480	83 bis 92	
RE75	75	201,5	GB	250	2800	77 bis 84	
DC Servomotor, umrichterspeist (Beispiele)							www.maxonmotor.com
EC6	6	21	BL	1,2	2,8	41 bis 50	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">4-Q-EC-Servoverstärker</div>  </div>
EC16	16	40,2	BL	15	34	67 bis 68	
EC22	22	bis 67,7	BL	bis 50	85 bis 130	73 bis 86	
EC6 flach	6	2,2	BL	0,03	0,32	-	
EC14 flach	13,6	11,7	BL	1,5	8,5	39,4	
EC20 flach	20	9,5	BL	3	15	62,5	
EC90 flach	90	27,1	BL	90	648	86	
Getriebe von Kleinstmotoren							
 <p>Stirnradgetriebe</p>			<p>Oft sollen Kleinstmotoren ein größeres Kraftmoment abgeben als ihrer Baugröße entspricht. Mechanische Getriebe setzen die Drehzahl herunter, das Kraftmoment aber fast im umgekehrten Verhältnis herauf. Wird z.B. die Drehzahl auf 1/10 herabgesetzt, steigt das Kraftmoment auf das 10-Fache. Besonders große Untersetzungsverhältnisse bis 6000:1 werden mit Planetengetrieben möglich. Diese besitzen mehrere Planeten-zahnräder, die um ein Sonnenzahnrad kreisen.</p>			<p>Stirnradgetriebe bestehen meist aus mehreren Stufen. Jede Stufe besteht aus der Paarung eines kleinen Zahnra des mit einem großen. Das erste Zahnrad ist direkt auf die Motorwelle gesetzt. Je nach Stufenzahl sind Untersetzungen bis etwa 5000:1 möglich.</p>	
 <p>Planetengetriebe</p>			<p>1 Abgangswelle, 2 Flansch, 3 Lager Abgangswelle, 4 axiale Sicherung, 5 Zwischenplatte, 6 Zahnrad, 7 Motorritzel, 8 Planetenräder, 9 Sonnenrad, 10 Planetenträger, 11 Hohlrad</p>			 <p>Prinzip des Planetengetriebes</p>	
Getriebedaten							
Typ	∅ in mm	Länge in mm	Getriebeart	Moment (je nach Länge in Nm)	Masse (je nach Länge) in g	Untersetzung (je nach Länge)	
GP6	6	7 bis 17,3	PG	0,002 bis 0,03	1,8 bis 3,4	3,9:1 bis 854:1	
GS 16 K	16	11,8 bis 20,8	SG	0,01 bis 0,03	9 bis 11,7	12,1 bis 5752:1	
GP 81	81	84 bis 127	PG	20 bis 120	2 300 bis 3 700	3,7:1 bis 308:1	
<p>A Metallausführung, BL bürstenlos, CLL Capacitor Long Life, DC Gleichstrom,</p>			<p>EB Edelmetallbürsten, EC elektronisch kommutiert, GB Graphitbürsten,</p>			<p>K Kunststoffausführung, PG Planetengetriebe, SG Stirnradgetriebe, Q Quadrant</p>	

AS

Linearantriebe Linear Drives																		
Begriff, Name	Erklärung, Prinzip	Bemerkungen, Ansichten, Daten																
Arten der Linearantriebe LA																		
Linearmotoren	Elektromagnetischer, nicht drehender Motor, beruhend auf der Kraftwirkung von Strom im Magnetfeld.	AC-Linearmotoren (Seite 328) und DC-Linearmotoren.																
Hydraulische LA	Lineare Verstellung eines Kolbens durch eine Flüssigkeit unter Wirkung einer Pumpe.	Ähnliche Wirkung durch Pneumatik möglich. (Siehe Seite 100)																
LA mit drehendem Motor	Die Drehbewegung des drehenden Motors wird durch mechanische Mittel in eine Linearbewegung (Längsbewegung) umgesetzt.	Typische Größen: Geschwindigkeiten 0,2 mm/s bis 150 mm/s, Positioniergenauigkeit 0,04 mm.																
Sonstige LA	Wirkung von Piezoeffekt und Ultraschall oder Wirkung von Joule-Effekt (Magnetostriktion).	Beim Piezo-LA erreichbare Genauigkeit bis 0,02 µm.																
Linearantriebe mit drehenden Elektromotoren																		
Zahnriementrieb Zahnriemen, Antriebswelle, Schlitten	Die motorisch angetriebene Antriebswelle greift mit ihren Zähnen in einen Zahnriemen ein und bewegt ihn. Am Zahnriemen ist ein Schlitten befestigt. Dieser bewegt sich mit dem Zahnriemen in einer Führung und trägt das Arbeitsgerät, z. B. eine Transportwanne oder auch ein Werkzeug.	<p>Führung Schlitten Antriebsrad Zahnriemen oder Kette</p> <p>Zahnriementrieb</p>																
Zahnstangentrieb	Beim Zahnstangentrieb greift ein Zahnrad als Antrieb in eine Zahnstange ein, sodass ein Schlitten bewegt wird. Die Genauigkeit ist wegen des Spiels bei beiden Antrieben gering.																	
Spindel-antriebe	Bei Spindelantrieben wird eine <i>Mutter</i> durch die Spindeldrehung axial zur Spindel bewegt. Die Mutter ist dabei verbunden mit dem zu bewegenden Teil, z. B. einem Werkzeugträger.	<p>Mutter Werkzeugträger Spindel Kupplung Motor</p> <p>Teile des Spindelantriebs</p>																
Spindelarten	<ul style="list-style-type: none"> metrische Spindel mit metrischem Gewinde, Trapezspindel mit Trapezgewinde, Kugelumlaufspindel (Kugelspindel) mit Rundgewinde. 	<p>Metrische Spindel mit Spindelmotor www.maxonmotor.de</p>																
Spindelmutter	Die <i>Spindelmutter</i> hat ein entsprechendes Gewinde.																	
metrische Spindel	<ul style="list-style-type: none"> Preiswert, einfache Herstellung, selbsthemmend, niedriger Wirkungsgrad, nicht spielfrei, geringe Genauigkeit, 	<p>Daten von Spindelantrieben</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Spindel</th> <th>i_{mot}</th> <th>$F \leq$</th> <th>v mm/s</th> <th>η</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M6 x 1</td> <td rowspan="2">1:1 bis 850:1</td> <td>350 N</td> <td>0,2 bis 5,6</td> <td>0,2 bis 0,35</td> </tr> <tr> <td>Kugelumlaufspindel (Kugelspindel) 6 x 2</td> <td>500 N</td> <td>0,3 bis 150</td> <td>0,47 bis 0,81</td> </tr> </tbody> </table> <p>F Vorschubkraft, i_{mot} Untersetzung, v Vorschubgeschwindigkeit, η Wirkungsgrad</p>			Spindel	i_{mot}	$F \leq$	v mm/s	η	M6 x 1	1:1 bis 850:1	350 N	0,2 bis 5,6	0,2 bis 0,35	Kugelumlaufspindel (Kugelspindel) 6 x 2	500 N	0,3 bis 150	0,47 bis 0,81
Spindel	i_{mot}				$F \leq$	v mm/s	η											
M6 x 1	1:1 bis 850:1	350 N	0,2 bis 5,6	0,2 bis 0,35														
Kugelumlaufspindel (Kugelspindel) 6 x 2		500 N	0,3 bis 150	0,47 bis 0,81														
Trapezspindel	<ul style="list-style-type: none"> wie metrische Spindel aber stärker belastbar. 																	
Kugelumlaufspindel (Kugelspindel)	In der Kugelspindel wälzen sich Kugeln durch die geschliffenen Laufrinnen der Spindel und der Mutter und gelangen anschließend über einen Rückführkanal in der Mutter zurück.																	
Antriebsmotor	Synchronmotor mit Dauermagneterregung oder Asynchronmotor, meist über Elektronik (Zwischenkreisumrichter) vom Netz gespeist. Oft mit Untersetzungsgetriebe, z. B. Planetengetriebe. Motordrehzahl bis $n_{mot} = 8\ 000/\text{min}$.																	
Anwendung	Antriebe an Maschinen für die Zustellung von Werkzeugen oder Bearbeitungsmodulen in beliebigen Richtungen mit Verschiebelängen von 0,10 m bis etwa 2 m.																	

AS