



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

Tabellenbuch Elektrotechnik

Tabellen

Formeln

Normenanwendung

27. 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

Europa-Nr.: 30160 XXL, mit CD

Autoren des Tabellenbuchs Elektrotechnik:

Häberle, Gregor	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tett nang
Häberle, Heinz	Dipl.-Gewerbelehrer, VDE	Kressbronn
Isele, Dieter	Ing. (HTL), Berufsschullehrer	Lauterach
Jöckel, Hans-Walter	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Friedrichshafen
Krall, Rudolf	Dipl.-Päd. Ing., Berufsschuloberlehrer	St. Leonhard
Schiemann, Bernd	Dipl.-Ing.	Durbach
Schmid, Dietmar	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Biberach a.d. Riß
Schmitt, Siegfried	staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer	Bad Bergzabern
Tkocz, Klaus	Dipl.-Ing. (FH)	Kronach

Leitung des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Häberle, Tett nang

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Auszüge aus DIN-Normen mit VDE-Klassifikation sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 372.015 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, www.vde-verlag.de, erhältlich sind.

27. Auflage 2016

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 978-3-8085-3430-4

ISBN 978-3-8085-3433-5 XXL, mit CD

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

© 2016 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: © erdquadrat-fotolia.com; Gossen Merawat GmbH, Nürnberg; Siemens AG, München;

ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Druck: B.O.S.S Medien GmbH, 47574 Goch

MATHEMATIK, PHYSIK, SCHALTUNGS-
THEORIE, BAUELEMENTE

11 ... 66

G

TECHNISCHE DOKUMENTATION,
MESSEN

67 ... 122

TM

ELEKTRISCHE INSTALLATION

123 ... 210

EI

SICHERHEIT, ENERGIEVERSORGUNG

211 ... 304

SE

INFORMATIONEN- UND KOMMUNIKA-
TIONSTECHNISCHE SYSTEME

305 ... 352

IK

AUTOMATISIERUNGS- UND ANTRIEBS-
SYSTEME, STEUERN UND REGELN

353 ... 446

AS

WERKSTOFFE, VERBINDUNGSTECHNIK

447 ... 480

W

BETRIEB UND SEIN UMFELD,
UMWELTTECHNIK, ANHANG

481 ... 560

BU

Die Weiterentwicklungen der Technik und der Lernorganisationen führte wie schon in der 26. Auflage zu einer Überarbeitung und Erweiterung des Buches zu einem Kompendium. Der Leser kann sich dadurch auch bezüglich der Anforderungen aus Industrie 4.0 selbst weiterbilden. Neue und aktualisierte Inhalte sind nachstehend *kursiv* (schräg) gedruckt.

- **Teil G**
Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente

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

Technisches Zeichnen, *Stromkreise und Schaltzeichen*, Schaltpläne, Erstellen einer Dokumentation, Aufbau einer Betriebsanleitung, Messgeräte und Messwerke, Messkategorien, *Messen in elektrischen Anlagen, Elektrizitätszähler, Kennzeichnungen in elektropneumatischen Steuerungen, Elektropneumatische Grundsaltungen*, Oszilloskop, Messen mit Sensoren.
- **Teil EI**
Elektrische Installation

Arbeiten in elektrischen Anlagen, Installationsschaltungen, Sprechanlagen, *Videoanlagen für Hauskommunikation*, Dimmertypen, feldarme Elektroinstallation, *Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik*, Hausanschluss, Leitungsberechnung, *Induktivitätsbelag und Spannungsfall, Strombelastbarkeit von Leitungen für 90 °C*, Lichttechnik, *Beleuchtungstechnik, LED-Leuchtmittel, Retrofit-Leuchtstofflampen, Lichtwerbeanlagen mit Niederspannung*, Leuchtröhrenanlage, *Gebäudeautomation über bestehende Stromleitungen*.
- **Teil SE**
Sicherheit, Energieversorgung

Arbeitssicherheit, *Stromgefährdung durch DC*, Unfallverhütung, *Differenzstromgeräte*, Basisschutz, Fehlerschutz, *zusätzlicher Schutz, Leiter für die Schutzmaßnahmen*, Kraftwerkarten, Isolierstoffklassen, Transformatoren, Freileitungsnetze, Erdkabel, PV-Anlagen, Brennstoffzellen, Elektrochemie, *Primärelemente, Akkumulatoren*, SSV-Anlagen, *Energieversorgung von Baustellen, Ladestationen für Elektrofahrzeuge*, Blitzschutz, Qualität der Stromversorgung, Kompensation, *Messen von Oberschwingungen, THD-Werte, Regelung der Netzspannung und Netzfrequenz*, *Sicherheitstechnik*, Raumheizung, *Heizwärmeverbrauch, Energie-Effizienz*, Hausgerätetechnik, *Stromtarife*.
- **Teil IK**
Informations- und kommunikationstechnische Systeme

Zahlensysteme, Codes, Schaltalgebra, Flipflops, DA-Umsetzer, AD-Umsetzer, *Modulation und Demodulation*, Netze der Informationstechnik, Ethernet, Funk-LAN, AS-i-Bussysteme, Interbus, PROFIBUS, Identifizierungssysteme, Anschluss an das Telefonnetz, Internet, Antennenanlagen, SAT-Anlagen, Multimediaverkabelung, *Fernwirken, Fernwarten, Bibliotheksfähige SPS-Bausteine, Funktionale Sicherheit SIL, Sensor-Anschlussstechnik*.
- **Teil AS**
Automatisierungssysteme, Steuern und Regeln

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

Periodensystem, Stoffwerte, *Stahlnormung*, Magnetwerkstoffe, Isolierstoffe, Leitungen, Erdkabel, Steckverbinder, *lötfreie Anschlussstechnik*, *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, *Statistische Auswertung im Qualitätsmanagement*, Umwelttechnische Begriffe, gefährliche Stoffe, *Normen*, Kurzformen, fachliches Englisch, Sachwortverzeichnis, Firmen und Dienststellen.

Normänderungen wurden übernommen. 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.

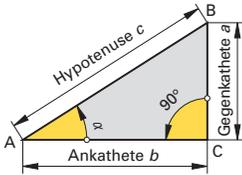
Lernfelderauswahl, Hauptabschnitte des Buches, Prüfungsteile	U2	Anwendungsgruppen und Aufbau von Kondensatoren	53
Literaturverzeichnis	10	Halbleiterwiderstände	54
Teil G: Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente	11	Dioden	55
Formelzeichen dieses Buches	12	IGBTs, Feldeffekttransistoren	56
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	13	Bipolare Transistoren	57
Internationale Formelzeichen	14	Thyristoren	58
Größen und Einheiten	15	Gehäuseformen von Dioden, Transistoren und ICs	61
Mathematische Zeichen	17	Magnetfeldabhängige Bauelemente	62
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung	18	Fotoelektronische Bauelemente	63
Logarithmisches Maß Dezibel	19	Schutzbeschaltung von Dioden und Transistoren	64
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen	20	Bauelemente für den Überspannungsschutz	65
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen	21	Kühlung von Halbleiter-Bauelementen	66
Längen und Flächen	22	Teil TM: Technische Dokumentation, Messen	67
Körper und Masse	23	Grafische Darstellung von Kennlinien	68
Masse, Kraft, Druck, Kraftmoment	24	Allgemeines technisches Zeichnen	69
Bewegungslehre	25	Maßpfeile, besondere Darstellungen	71
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	26	Maßeintragung	72
Übersetzungen	27	Maßeintragung, Schraffur	73
Rollen, Keile, Winden	28	Schaltpläne als funktionsbezogene Dokumente	74
Wärme	29	Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente	76
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	30	Kennzeichnung in Schaltplänen	77
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	31	Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel)	78
Elektrisches Feld, Kondensator	32	Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen	80
Wechselgrößen, Wellenlänge	33	Stromkreise und Schaltzeichen	81
Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls	34	Allgemeine Schaltzeichen	82
Magnetisches Feld, Spule	35	Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen	83
Elektrische Feldstärken und magnetische Feldstärken	36	Messinstrumente und Messgeräte	84
Strom im Magnetfeld, Induktion	37	Halbleiterbauelemente	85
Schaltung von Widerständen	38	Binäre Elemente	86
Bezugspfeile, Kirchhoffsche Regeln, Spannungsteiler	39	Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifschaltgeräte	88
Potenzimeter	40	Audiumsetzer, Videoumsetzer und Antennenanlagen	89
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung	41	Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne	90
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten	42	Installationsschaltpläne	92
Schalten von Kondensatoren und Spulen	43	Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne	93
Reihenschaltung von R, L, C	44	Spulen, Transformatoren, Transduktor, drehende Generatoren	94
Parallelschaltung von R, L, C	45	Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser	95
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung	46	Drehstrommotoren und Anlasser	96
Einfache Filter	47	Motoren mit Stromrichterspeisung	97
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	48	Vergleich von Schaltzeichen	98
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlung, Brückenschaltung	49	Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln	100
Widerstände und Kondensatoren	50	Hydraulische und pneumatische Elemente	101
		Kennzeichnung in elektropneumatischen Steuerungen	102

Elektropneumatische Grundsaltungen	103	Gebäudeautomation über bestehende Stromleitungen	159
Symbole der Verfahrenstechnik	104	Hausanschluss mit Schutzpotenzialausgleich . .	160
Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen	105	Fundamenterder im Beton oder in Erde	161
Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung	106	Hauptleitungen in Wohnanlagen	162
Elektrische Messgeräte und Messwerke	107	Zählerplatzinstallation	163
Piktogramme für die Messtechnik	108	Elektrische Mindestausstattung in Wohn- gebäuden, Zählerplätze	164
Mess-Schaltungen zur Widerstandsbestimmung	109	Leitungsführung in Wohngebäuden	165
Messbereichserweiterung	110	Leitungsberechnung ohne Verzweigung	166
Messung in elektrischen Anlagen	111	Leitungsberechnung mit Verzweigungen	168
Niederspannungs-Schaltungen für Leistungs- messgeräte	114	Induktivitätsbelag und Spannungsfall	169
Elektrizitätszähler	115	Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen	170
Oszilloskop	117	Verlegearten für feste Verlegung	171
Kraftmessung und Druckmessung mit Sensoren	120	Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	172
Bewegungsmessung mit Sensoren	121	Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	173
Temperaturmessung mit Sensoren	122	Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen für Leitertemperatur bis $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $\text{Al } 20\text{ mm}^2$	174
Teil EI: Elektrische Installation	123	Strombelastbarkeit von flexiblen oder wärme- festen Leitungen	175
Qualifikationen für elektrotechnische Arbeiten .	124	Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbar- keit	176
Arbeiten in elektrischen Anlagen	125	Leitungsberechnung bei Oberschwingungen . .	177
Werkstattausrüstung	126	Mindest-Leiterquerschnitte, Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln	178
Leitungsverlegung, Leitungsbearbeitung	127	Überstrom-Schutzeinrichtungen	179
Ausschaltung, Serienschaltung	128	Räume mit Badewanne oder Dusche	182
Wechselschaltung, Kreuzschaltung	129	Räume und Anlagen besonderer Art, Arbeiten unter Spannung	183
Reale Ausführung von Installationsschaltungen	130	Saunaaanlagen, Schwimmbecken, begehbare Becken	184
Treppenlichtzeitschalter, Hausklingelanlage mit Türöffner	131	Elektroinstallation in feuergefährdeten Betriebs- stätten	185
Schaltungen mit Stromstoßschaltern	132	Elektroinstallation in landwirtschaftlichen Betrieben	186
Jalousieschaltungen	133	Elektroinstallation in medizinisch genutzten Bereichen	187
Sprechanlagen	135	Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen	189
Videoanlagen für Hauskommunikation	137	Elektroinstallation in explosionsgefährdeten Bereichen	190
Lampenschaltungen mit Dimmern	138	Energieversorgung von Werkstätten und Maschinenhallen	191
Tastdimmer, Dimmertypen	139	Energieversorgung für Baustellen	192
Automatikschalter mit Wärmesensor	140	Ladestationen für Elektrofahrzeuge	193
Automatikschalter mit Ultraschall-Bewegungs- sensor	141	Lichttechnik	194
Elektroinstallation mit Niedervolt-Halogen- lampen	142	Planung der Arbeitsstättenbeleuchtung von Innenräumen	195
Feldarme Elektroinstallation	143	Wartungsfaktoren von Arbeitsstätten- beleuchtung	196
Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik	144	Berechnung von Beleuchtungsanlagen	197
Linien und Bereiche des KNX-TP	145	Beleuchtung und Blendung	198
Schaltzeichen des KNX-TP	146		
Systemkomponenten zum KNX-TP	147		
Sensoren für den KNX-TP	148		
Aktoren für den KNX-TP	149		
Installationsbus mit FSK-Steuerung	150		
Projektierung und Inbetriebnahme beim KNX .	151		
Smart Home Bush-free@home	153		
LON	154		
Elektroinstallation mit Funksteuerung	156		

Leuchtstofflampen für 230 V	199	Windkraftanlagen	252
Glühlampen, Metaldampf lampen	200	Fotovoltaik	253
Energiesparlampen, Farbwiedergabe	201	Intelligente Stromnetze	255
Induktionslampen und Lichtleiter	202	Brennstoffzellen	256
Elektronische Vorschaltgeräte EVG für Leuchtstofflampen	203	Schutzarten elektrischer Betriebsmittel	257
Schaltungen von Entladungslampen	204	Elektrochemie	258
LED-Beleuchtung	205	Primärelemente	259
LED-Leuchtmittel	206	Akkumulatoren	260
Lichttechnische Daten von Leuchten	207	Notstromversorgung und Notbeleuchtung	262
Leuchtstofflampenersatz	208	Sicherheits-Stromversorgungsanlagen (SSV-Anlagen)	263
Lichtwerbeanlagen mit Niederspannung	209	USV-Systeme (Unterbrechungslose Stromversorgungssysteme)	264
Leuchtröhrenanlagen	210	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	265
Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung	211	Elektromagnetische Störungen EMI	266
Erste Hilfe am Arbeitsplatz	212	Maßnahmen gegen EMI	267
Persönliche Schutzausrüstung PSA	213	Innerer Blitzschutz	268
Zeichen zur Unfallverhütung	214	Äußerer Blitzschutz	269
Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit	218	Fangeinrichtungen und Ableitungen	271
Berührungsarten, Stromgefährdung, Fehlerarten	219	Qualität der Stromversorgung	272
Schutzmaßnahmen, Schutzklassen	221	Oberschwingungen	273
Verteilungssysteme (Netzformen)	222	Regelung der Netzspannung	276
Schutz gegen elektrischen Schlag	223	Regelung der Netzfrequenz	277
Differenzstromgeräte	224	Kompensation	278
Fehlerschutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung	225	Überwachung der Endstromkreise	281
Weitere Schutzmaßnahmen	227	Melde- und Überwachungsanlagen	282
Weiterer Fehlerschutz in fachlich überwachten Anlagen	228	Sicherheitstechnik in Gebäuden	283
Leiter für die Schutzmaßnahmen	229	Rauchwarnmelder	284
Prüfung der Schutzmaßnahmen	230	Brandschutzschalter	285
Wiederkehrende Prüfungen	231	Gefahrenmeldeanlagen	286
Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte	232	Einbruchmeldeanlagen EMA	287
Geräteprüfung bei Instandsetzung oder Änderung	234	Videoüberwachung	288
Transformatoren und Drosselspulen, Prüfung der Isolation	235	Energieeinsparverordnung	289
Berechnung von Transformatoren	236	Heizwärmeverbrauch und Energieverbrauchs-kennwert von Gebäuden	291
Weitere Betriebsgrößen von Transformatoren ..	237	Raumheizung	292
Kleintransformatoren	238	Fußboden- und Deckenheizung	293
Kraftwerksarten	239	Klimatisierung	294
Drehende Generatoren	240	Kochstellen für Elektroherde	296
Isolierstoffklassen, Leistungsschilder von Transformatoren	241	Warmwassergeräte	297
Netze der Energietechnik	244	Hausgeräte	298
Freileitungen	245	CE-Kennzeichnung	299
Verlegung von Erdkabeln	248	Energieeffizienzklassen	300
Eigenerzeugungsanlagen	249	Energie-Einsparpotenziale	302
Vergütung erneuerbarer Energien nach dem EEG	251	Wärmepumpen	303
		Stromtarife	304
		Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme	305
		Dualzahlen und Binär-codes	306
		Sedezimalzahlen und Oktalzahlen	307

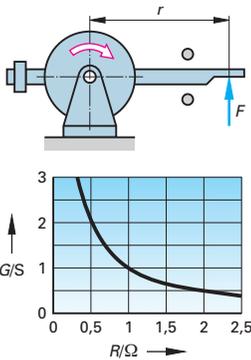
ASCII-Code im Unicode	308	Betriebsquadranten bei Antrieben, Linearmotoren	362
Binäre Verknüpfungen	309	Halbgesteuerte Stromrichter	363
Schaltalgebra	310	Vollgesteuerte Stromrichter	364
Entwicklung von Schaltnetzen	311	Wechselrichter	365
Code-Umsetzer	312	Gleichstromsteller, U-Umrichter-Prinzip	366
Komparatoren und Flipflops	313	U-Umrichter	367
Digitale Zähler und Schieberegister	314	Ansteuerschaltungen für Halbleiter	368
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	315	Glättung und Spannungsstabilisierung	369
Modulation und Demodulation	316	Grundlagen der Schaltnetzteile	370
Mikrocomputer	317	Schaltransistor und Kippschaltungen	372
Bildschirmgeräte	318	Halbleiterrelais	373
Schnittstellen und Steckverbinder des PC	319	Steuerungstechnik	374
Schnittstellenkopplungen	320	Kleinsteuerungen	375
Betriebssysteme Windows	321	Struktogramme und Programmablaufpläne	377
Elemente von Windows-Benutzeroberflächen	322	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	378
Netze der Informationstechnik	323	Signalkopplungen für SPS und Mikrocomputer	379
Komponenten für Datennetze	324	Steueranweisungen für SPS	380
Kommunikation bei Ethernet	325	Zähler und Zeitglieder in SPS	383
Errichten eines Ethernet-Netzwerkes	326	Programmiersprachen Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS	384
Industrial Ethernet	327	Wortverarbeitung bei SPS	386
Signalübertragung	328	Bibliotheksfähige SPS-Bausteine	387
Datenübertragung mittels Funk	329	Ablaufsteuerung mit GRAFCET	388
Funk-LAN	330	Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse	390
Identifizierungssysteme	331	Elektronische Steuerung von Verbrauchsmitteln	391
AS-i-Bussystem	332	Grenzwerte der Anschlussleistung im öffentlichen Netz	392
Querkommunikation bei Feldbussen	333	Hilfsstromkreise	393
PROFIBUS	334	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen	394
Fernwirkssysteme	335	Architekturen von Steuerungen	395
Messumformer und Signalumsetzer für Fern- wirkssysteme	337	Funktionale Sicherheit SIL	396
Anschluss an das Telefonnetz	339	EU-Maschinenrichtlinie	397
Telekommunikation mit ISDN	340	Elektrische Niederspannungsausrüstung von Maschinen	398
ISDN und Internet-Telefonie (VoIP)	341	Grenztaster, Befehlsgeräte	399
Internet-Zugänge	342	Schütze	400
Anwendungen des Internet	343	Gebrauchskategorien und Prüfbedingungen von Schützen	403
Sichern und Schützen von Daten	344	Schützschaltungen	404
Antennen, Betriebsmittel für Antennenanlagen	345	Motorschutz	407
Satellitenempfang	346	Steuerung durch Motorschalter	409
Digitales Fernsehen über terrestrische Antenne, DVB-T	349	Optoelektronische Näherungsschalter (Licht- schranken)	410
Gemeinschaftsantennenanlagen	350	Ultraschall-Sensoren	412
Errichtung von Antennenanlagen	351	Sensor-Anschluss technik	413
Breitbandkommunikationsanlagen (BK-Anlagen)	352	Regelungstechnik	414
Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln	353	Unstetige Regelglieder	415
Verstärker-Grundsaltungen	354	Digitale stetige Regelglieder	416
Grundlagen des Operationsverstärkers	355	Analoge stetige Regelglieder	417
Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter	360	Digitale Regelung	418
Wechselwegschaltung, Steuerkennlinie	361		

Mathematik



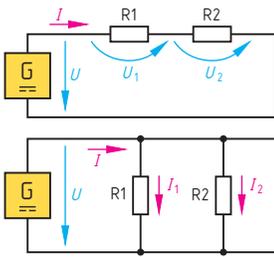
Formelzeichen dieses Buches	12
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches ..	13
Internationale Formelzeichen	14
Größen und Einheiten	15
Mathematische Zeichen	17
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung ..	18
Logarithmisches Maß Dezibel	19
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen	20
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen	21

Physik



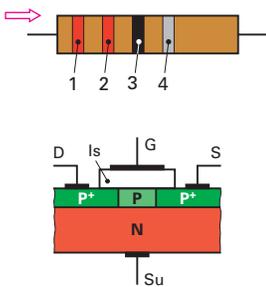
Längen und Flächen	22
Körper und Masse	23
Masse, Kraft, Druck, Kraftmoment	24
Bewegungslehre	25
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie ..	26
Übersetzungen	27
Wärme	29
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	30
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	31
Elektrisches Feld, Kondensator	32
Wechselgrößen, Wellenlänge	33
Magnetisches Feld, Spule	35
Elektrische Feldstärken und magnetische Feldstärken ..	36
Strom im Magnetfeld, Induktion	37

Schaltungstheorie



Schaltungen von Widerständen	38
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler ..	39
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung ..	41
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten ..	42
Schalten von Kondensatoren und Spulen	43
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung ..	46
Einfache Filter	47
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	48
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlungen, Brückenschaltung	49

Bauelemente

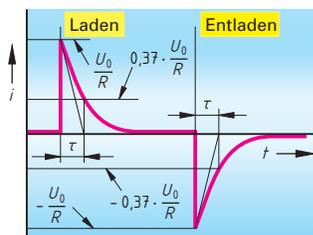
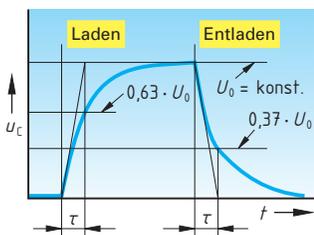
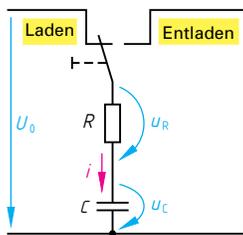


Widerstände und Kondensatoren	50
Halbleiterwiderstände	54
Dioden	55
IGBTs, Feldeffekttransistoren	56
Bipolare Transistoren	57
Thyristorarten	58
Gleichrichterbegriffe	60
Gehäuseformen von Dioden, Transistoren und ICs	61
Magnetfeldabhängige Bauelemente	62
Fotoelektrische Bauelemente	63
Schutzbeschaltung von Dioden und Transistoren	64
Kühlung von Halbleiter-Bauelementen	66

Schalten von Kondensatoren und Spulen Switching Capacitors and Coils

Schaltung, Zeitkonstante	Spannungsverlauf	Stromverlauf
--------------------------	------------------	--------------

Ladevorgang und Entladevorgang beim Kondensator an DC



Zeitkonstante

$$\tau = R \cdot C \quad \text{1}$$

$$[\tau] = \Omega \cdot F = \Omega \cdot \frac{As}{V} = s$$

Laden: $u_C = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \text{2}$

Entladen: $u_C = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{4}$

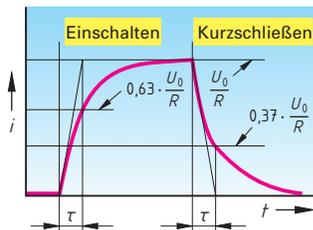
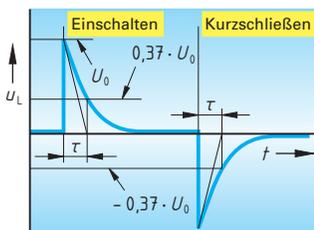
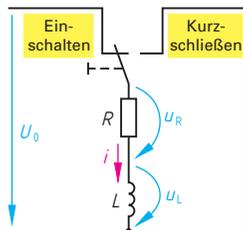
Laden und Entladen: $u_R = i \cdot R \quad \text{6}$

Laden: $i_C = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{3}$

Entladen: $i_C = -\frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{5}$

$\exp(x) = e^x$ mit $e = 2,71828 \dots$

Einschaltvorgang und Ausschaltvorgang (Kurzschließen) bei der Spule an DC



Zeitkonstante

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \text{7}$$

$$[\tau] = \frac{H}{\Omega} = \frac{Vs}{As} = s$$

Einschalten: $u_L = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{8}$

Kurzschließen: $u_L = -U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{10}$

Einschalten: $u_R = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \text{12}$

Einschalten: $i_L = \frac{U_0}{R} \cdot [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \text{9}$

Kurzschließen: $i_L = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{11}$

$\exp(x) = e^x$ mit $e = 2,71828 \dots$

C Kapazität	R Wirkwiderstand	u_C Kondensatorspannung
i Stromstärke (Augenblickswert)	t Zeit	u_L Spulenspannung
L Induktivität	τ Zeitkonstante	u_R Spannung an R
		U_0 Gleichspannung

$\exp(-t/\tau)$ ist die genormte Schreibweise von $e^{-t/\tau}$. Beim Taschenrechner muss man bei der Berechnung die Taste e^x verwenden und nicht die Taste exp.
Die Zeitkonstante gibt die Zeit an, nach der ein nach $\exp(x) = e^x$ verlaufender Vorgang beendet wäre, wenn der Vorgang mit der Anfangsgeschwindigkeit weiter verlaufen würde. Das ist aus den Tangenten der Bilder erkennbar. Endwerte von u und i sind erreicht nach $t \approx 5\tau$.

Maßpfeile, besondere Darstellungen **Dimension Arrows, Special Representations**

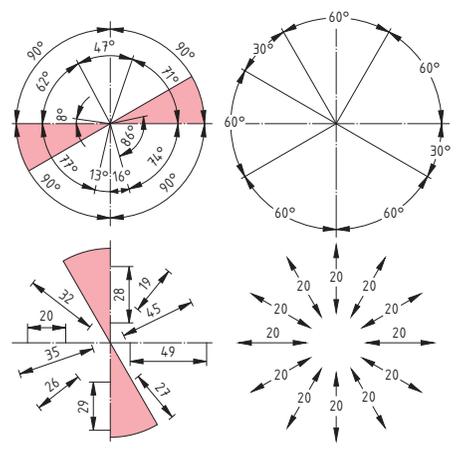
Maßlinienbegrenzung

Maßpfeile:
 Immer anwenden bei Radien, Kreisbögen, Durchmessern.
 ausgefüllt $\alpha \approx 15^\circ$
 $l = 5 d$
 nicht ausgefüllt
 offen $\alpha = 15^\circ$ bis 90°
 $l = 3 d$ bis $5 d$
 d Linienbreite

Schrägstriche:
 Verlaufen von links unten nach rechts oben, bezogen auf die Maßlinie.
 $l \approx 6 d$

Punkte:
 Dürfen nur bei Platzmangel verwendet werden,
 ausgefüllt: $\varnothing \approx 1,5 d$
 nicht ausgefüllt: $\varnothing \approx 2,5 d$

Schreibrichtung



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.

Schnitte

Darstellung	Merkregeln
	(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.
	(b) Aneinanderstoßende Werkstücke erhalten entgegengesetzt gerichtete oder verschiedene weite Schraffur.
	(c) Der Schraffurlinienabstand ist umso größer, je größer die Schnittfläche ist.
	(d) Umlaufkanten, die durch den Schnitt sichtbar geworden sind, werden eingezeichnet.
	(e) Trennfugen sind als Kanten zu zeichnen.
	(f) Vollkörper einfacher Form werden in der Längsrichtung nicht geschnitten. Beispiele: Niete, Bolzen, Wellen, Stifte, Rippen, Schrauben.
	(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.

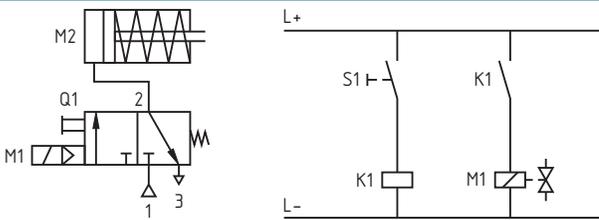
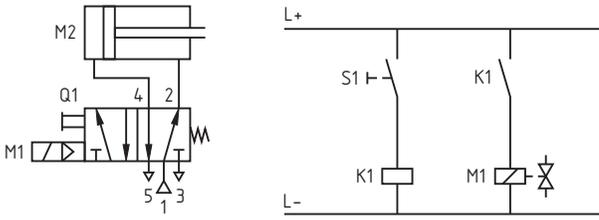
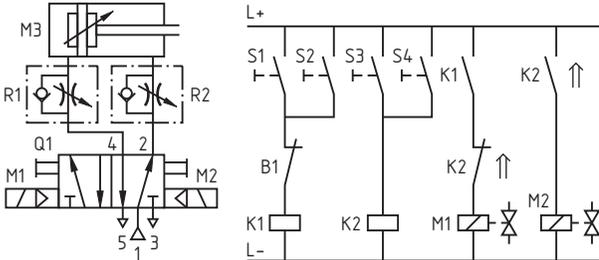
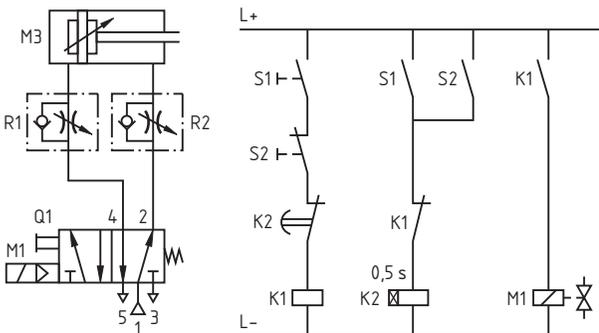
Bruchlinien und besondere Darstellungen

Darstellung	Merkregeln
	(h) Ausbrüche werden durch dünne Freihandlinien begrenzt.
	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:
	(i) der Bruch flacher Werkstücke,
	(k) der Abbruch von Rundkörpern,
	(l) der Abbruch von hohlen Rundkörpern, z.B. Rohre.
	(m) Spitzkörper sind in abgebrochener Darstellung zusammengeschoben zu zeichnen.
	(n) Der Bruch geschnittener, hohler Rundkörper wird durch eine Freihandlinie begrenzt.
	(o) Gerundete Übergänge und Kanten können durch dünne Volllinien (Lichtkanten), die vor den Körperkanten enden, dargestellt werden, wenn das Bild dadurch anschaulicher wird.
	(p) Flach verlaufende Durchdringungskurven dürfen weggelassen werden.

Elektropneumatische Grundschaltungen

Electropneumatical Basic Circuits

TM

Pneumatikschaltung mit Steuerstromkreis	Beschreibung
 <p>Einfach wirkender Zylinder mit Federrückstellung und elektrisch vorge-steuertem 3/2-Wegeventil</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● S1 wird betätigt. ● K1 zieht an. ● M1 bringt Q1. ● M2 fährt aus. ● S1 wird losgelassen. ● K1 fällt ab. ● Q1 wird durch die Feder rückge-stellt. ● M2 fährt ein durch Federrück-stellung.
 <p>Doppelt wirkender Zylinder mit elektrisch vorgesteuertem 5/2-Wege-ventil</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● S1 wird betätigt. ● K1 bringt M1. ● M1 bringt Q1. ● M2 fährt aus. ● S1 wird losgelassen. ● K1 fällt ab. ● Q1 wird durch die Feder rückge-stellt. ● M2 fährt ein.
 <p>Türsteuerung mit jeweils zwei Bedienstellen zum Öffnen und Schließen der Türe</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Die Türe kann mit S1 oder S2 geschlossen werden. ● Der Sensor B1 meldet, wenn sich jemand in der Türe befindet und verhindert ein Schließen der Türe. ● Die Türe kann mit S3 oder S4 geöffnet werden. ● Das Öffnen der Türe hat Vor-rang.
 <p>Zweihandsicherheitsschaltung für eine Presse mit Arretierungsüber-wachung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● S1 und S2 müssen innerhalb von 0,5 s betätigt werden, damit K1 anzieht. ● Wird nur ein Taster betätigt, zieht K1 nicht an. Nach 0,5 s unterbricht K2 die Zuleitung zu K1. ● Wird ein Taster festgeklemmt, so verhindert K2 ebenfalls ein Anziehen von K1, wenn der zweite Taster nicht innerhalb von 0,5 s betätigt wird.

Hinweis: Kennzeichnung der Betriebsmittel nach DIN EN 81346-2.

Änderungen gegenüber den Grundschaltungen

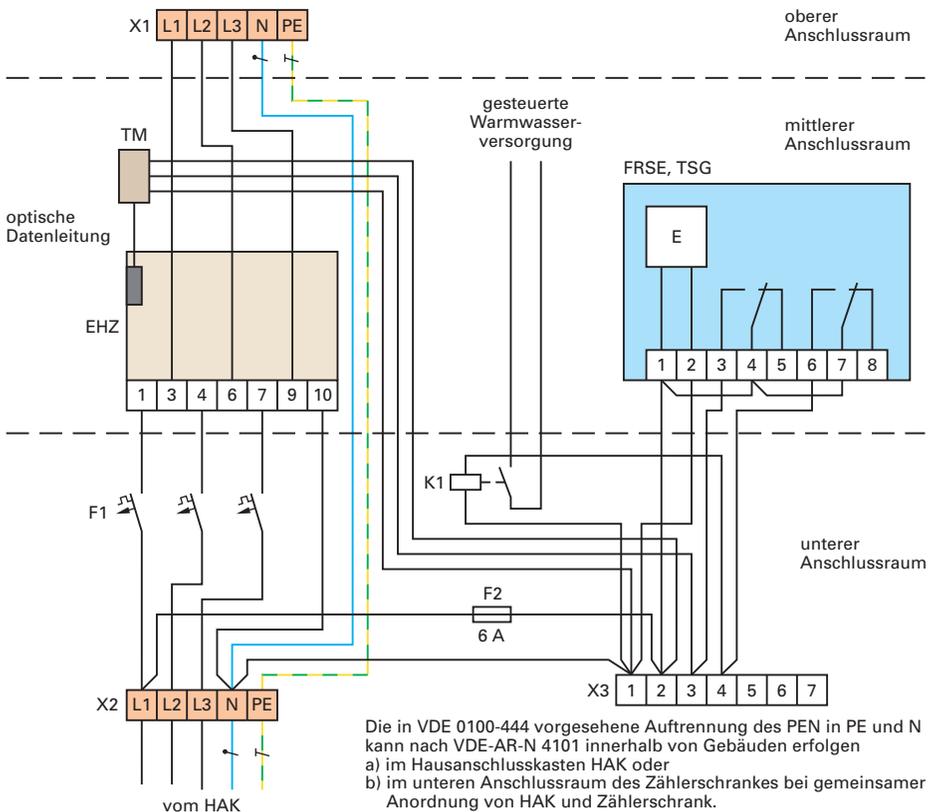
Grund	Erklärung	Beispiel
Lagerhaltung des Materials	Die Anzahl der vorzuhaltenden Leitungen sollte wegen der Kosten möglichst niedrig bleiben. So wird in vielen Betrieben der Elektroinstallation die Aderzahl von vorrätigen kabelähnlichen Leitungen auf 3 und 5 beschränkt. Dabei ist immer eine Ader grüngelb, also nur als PE, PB oder Erde verwendbar.	
dreifadrigere Leitung anstelle einer zweifadrigeren	Für die Leitung zu einem Ausschalter oder Taster kann eine dreifadrigere Leitung verwendet werden, wobei die grüngelbe Ader am Ausschalter bzw. Taster nicht zur Stromleitung angeschlossen wird.	
grüngelbe Ader, blaue Ader PE erleichtert die Überwachung	Die blaue Ader kann als N verwendet werden oder anderweitig, nicht aber als PE oder PEN. Ein PE in der Schalterleitung dient der Überwachung der Leitungsanlage. Der PE ermöglicht z. B. im betreffenden Leitungssegment die Messung des Isolationswiderstandes.	
RCD verhindert Missbrauch	Die missbräuchliche Verwendung des PE als PEN-Leiter wird verhindert, wenn der Fehlerschutz durch Abschaltung mittels RCD erfolgt.	
fünfadrigere Leitung anstelle von dreifadrigeren	Ermöglicht bei der Ausschaltung eine Steckdose und Verwendung des Ausschalters als Kontrollschalter.	
übrig bleibende Ader	Wenn bei Verwendung von nur 3- und 5-adrigen Mehraderleitungen eine Ader übrig bleibt, so ist diese an die entsprechende Klemme anzuschließen, sofern die vorliegt. Andernfalls legt man die Ader an eine zusätzliche lose Klemme oder isoliert sie.	

Weitere Beispiele mit kabelähnlichen Mehraderleitungen

Schaltung	Erklärung
	Bei der üblichen Wechselschaltung ermöglichen fünfadrigere Schalterleitungen zu den Schaltern eine Steckdose nur unter dem Schalter, der an L angeschlossen ist. Dagegen ist als Kontrollschalter nur der Schalter möglich, an den der Schalterdraht angeschlossen ist. Dabei muss die Glühlampe des Schalters parallel zur Last geschaltet sein. Dasselbe Verhalten erfolgt an den Wechselschaltern einer Kreuzschaltung.
	Mit der Sparwechselschaltung (Prinzip vorhergehende Seite) ist es möglich, bei Verwendung von fünfadrigeren Schalterleitungen, unter jedem Schalter eine Steckdose zu installieren. Desgleichen sind beide Schalter als Kontrollschalter verwendbar, wenn die Glühlampen der Schalter parallel zur Last geschaltet sind. Die Sparwechselschaltung kann nicht zur Kreuzschaltung erweitert werden.

Zählerplatzinstallation Installation for the kWh-meter Location

Mehrarzähler mit Funkrundsteuerempfänger und Steuerung zur Warmwasserbereitung



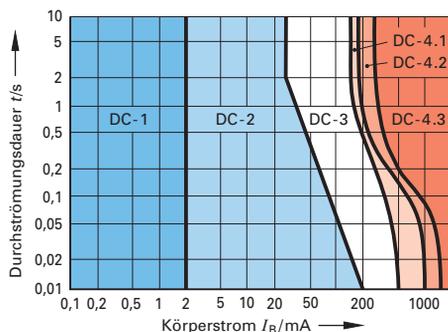
Schaltplan einer Standardverdrahtung mit indirekter Ansteuerung für Neuanlagen

Merkmale	Erklärung	Bemerkungen
Verdrahtung	Bis 63 A (Hausanschlussicherung) mit 10 mm ² Kupferleitungen, bis 100 A mit 16 mm ² Kupferleitungen.	Feindrätig
Anschlussraum	Unterer Anschlussraum: Strom ist noch ungezählt. Oberer Anschlussraum: Enthält Klemmen für Abgangsleitungen und Abgangssicherungen.	Der untere Anschlussraum ist verplombt.
Haushaltszähler	Der Raum für EHZ-Anwendungen befindet sich oben im mittleren Anschlussraum und ist 150 mm hoch. In ihm befindet sich eine Hutschiene mit 12 Teileinheiten. In ihm wird das Tarifmodul TM montiert, das die Kommunikation zwischen Tarifschalgerät und Zähler herstellt.	Bestückung ausschließlich nach den Angaben des Messstellenbetreibers.
Leitungsführung	Zwischen den Zählerplätzen im unteren Anschlussraum. Die vertikale Leitungsführung im Zählerplatz erfolgt mittig unter der Tragplatte für den Zähler.	Für das TSG ist ein eigenes Zählerfeld erforderlich.

E Funkempfänger, EHZ elektronischer Haushaltszähler, FRSE Funkrundsteuerempfänger, F1 selektiver Hauptschalter, F2 Schmelzsicherung für Tarifschalgerät (plombierbar), HAK Hausanschlusskasten, K1 Relais für Gerätesteuerung, TM Tarifmodul, TSG Tarifschalgerät, X1, X2 Hauptleitungsklemmen, X3 Steuerleitungsklemme (7-polig).

Stromgefährdung bei Gleichstrom

vgl. VDE V 0140-479-1



Sicherheitskurven nach VDE V 0140-479-1 für DC von linker Hand zu den Füßen

Zone	Physiologische Wirkung
DC-1	Leicht stechende Empfindung bei schneller Änderung des Stroms.
DC-2	Unwillkürliche Muskelkontraktion bei schneller Stromänderung, aber meist keine schädliche Wirkung.
DC-3	Starke Muskelkontraktion und Störungen der Reizleitung im Herzen können mit zunehmender Stromstärke und Dauer auftreten, meist kein organischer Schaden.
DC-4	Schädliche Wirkungen wie Herzstillstand, Atemstillstand, Zellschäden und Verbrennungen. Wahrscheinlichkeit Herzkammerflimmern: DC-4.1 ≤ 5 %, DC-4.2 ≤ 50 %, DC-4.3 ≥ 5 %.

Stromgefährdung bei verschiedenen Wegen des Körperstromes

Der Stromweg des Körperstromes ist umso gefährlicher, je mehr er zu einem Strom über das Herz führt. Der Herzstromfaktor F gibt an, um welchen Faktor die Stromwirkung anders ist als bei einem Strom derselben Größe, der von der linken Hand zum Fuß fließt.

Stromweg bei DC oder AC	Herzstromfaktor F
Linke Hand zu einem Fuß oder bei den Füßen	1,0
Beide Hände zu beiden Füßen	1,0
Linke Hand zur rechten Hand	0,4
Rechte Hand zu einem oder beiden Füßen	0,8
Rücken zur rechten Hand	0,3
Rücken zur linken Hand	0,7
Brust zur rechten Hand	1,3
Brust zur linken Hand	1,7
Gesäß zur linken Hand, rechten Hand oder beiden Händen	0,7
Linker Fuß zum rechten Fuß	0,04

Herzstromfaktor

I_B Körperstrom
 I_{Bn} Körperstrom Hand zu Fuß

$$F = \frac{I_B}{I_{Bn}}$$

Beispiel 1: Bei einer sitzend verrichteten Arbeit erhält Otto bei Arbeit unter Spannung einen Schlag von Hand zu Hand mit z. B. 50 mA. Wie groß hätte der Schlag sein können, wenn Otto auf einem leitenden Fußboden gestanden wäre?

Lösung: $F = 0,4 \rightarrow I_{Bn} = 50 \text{ mA} \cdot 0,4 = 20 \text{ mA}$

Sich ändernde Bedeutung von Gleichstrom

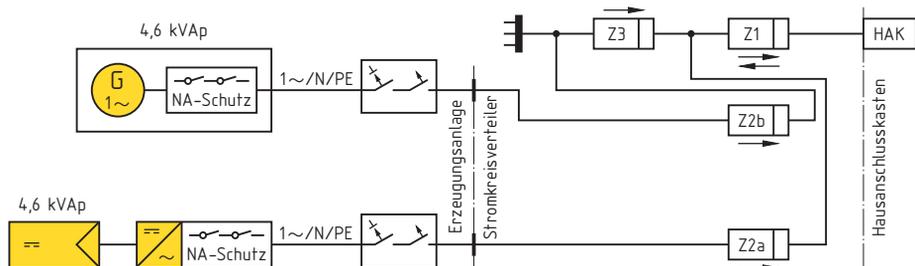
Jahre	Anwendungsbeispiele	Einige Normen wegen Gleichstrom	
bis 1800	Entwicklung der Elektrophysik mit DC, Anwendungen von DC, z.B. Telegrafie. DC-Generator.	Norm	Bezeichnung (gekürzt)
		VDE 0122-1	Laden von Elektrofahrzeugen an DC bis 1500 V.
1801 bis 1900	Entwicklung Nachrichtentechnik mit DC. Antriebe mit DC wegen der Steuerbarkeit, sonst AC und 3AC. Netztechnik zunehmend 3AC.	VDE-AR-E 2100-712	Maßnahmen für den DC-Bereich einer PV-Anlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit bei einer technischen Hilfeleistung.
1901 bis 2000	AC und 3 AC hat sich durchgesetzt bis auf wenige DC-Anwendungen in der Schienenfahrzeugtechnik und Kommunikationstechnik.	VDE 0117-3	Sicherheitsanforderungen mit Nennspannungen bis 240 V für Flurförderfahrzeuge.
ab 2001	DC wird wichtiger, bleibt aber bisher energetisch weiter hinter AC und 3AC. Ausnahmen: Netztechnik über große Entfernungen (HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung), Energieversorgung über Photovoltaik, Elektromobilität mit Akkumulatoren, Energieausgleich mit Akkumulatoren.	VDE 0553-1	Hochspannungs-Gleichstrom-Energieübertragung
		E DIN EN ISO 16230-1	Sicherheit in Landmaschinen mit Nennspannungen AC 50 V–1000 V oder DC 75 V bis 1500 V
		VDE 0845-3-1	Überspannungsschutzgeräte in IT-Netzwerken mit DC bis 1500 V

SE

Abrechnungsmessung

vgl. VDE-AR-N 4105

Benennung	Erklärung	Beispiele, Bemerkungen
Volleinspeisung Die gesamte erzeugte Energie wird in das VNB-Netz eingespeist und nach EEG vergütet. Erfordert zwei Zähler, der Zweirichtungszähler Z2 für Lieferung und Bezug Generatoreigenverbrauch.	Die selbst verbrauchte Energie aus dem VNB-Netz und der Eigenerzeugungsanlage wird vom Bezugszähler erfasst und nach dem VNB-Tarif berechnet. Dieser ist niedriger als die EEG-Vergütung.	Eigentlich genügen für die Volleinspeisung zwei normale Zähler mit Rücklaufsperrre. Die VDE-AR-N schlägt Z2 als Zweirichtungszähler vor, damit der Eigenverbrauch des Generators erfasst wird.
Überschusseinspeisung Nur der ins VNB-Netz eingespeiste Energieüberschuss wird mit dem hohen Tarif nach EEG vergütet. Erfordert 3 oder 2 Zähler mit zusammen 3 Messwerken.	Der selbst verbrauchte Anteil der Eigenerzeugung wird vom VNB auch vergütet, aber mit einem kleineren Tarif. Der Bezug aus dem VNB-Netz wird vom VNB berechnet und ist zu bezahlen.	Übliche Anlage für Anlagenbemessungsleistung ≤ 100 kVA, z. B. mittlere für PV-Anlagen oder Anlagen für Blockheizkraftwerk BHKW.
Generator, Einheit Jede Art von Spannungserzeuger, also z. B. PV-Anlage oder kleine Windkraftanlage.	Die erzeugte Energie jeder Generatorart ist getrennt zu messen. Bei zwei Generatorarten sind erforderlich 4 Zähler.	Kombinationen der Arten von Generatoren sind z. B. PV-Generator und BHKW oder Kleinwind- und Wasserkraftanlage.



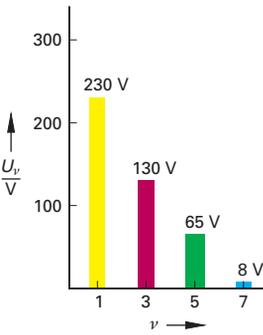
Anschluss einer Erzeugungsanlage von zwei verschiedenen Generatoren ≤ 30 kVA mit Überschusseinspeisung nach VDE-AR-N 4105

Zählerschaltungen (Beispiele)

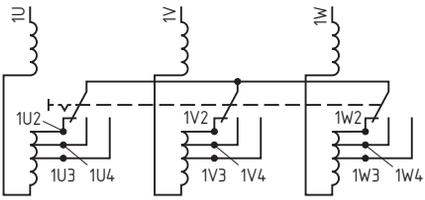
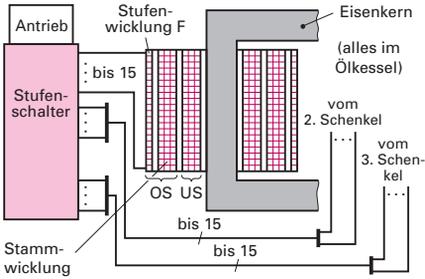
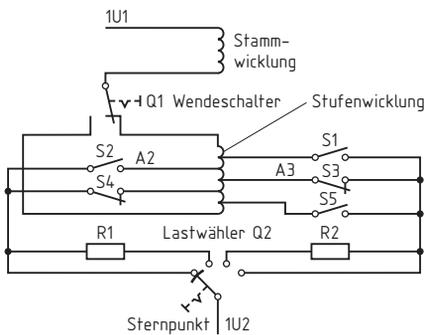
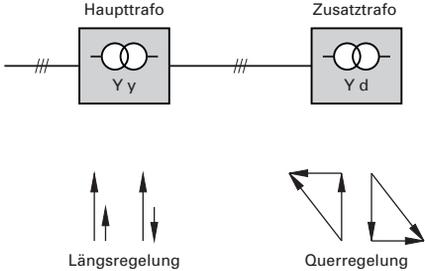
<p>einphasige Erzeugungseinheit</p>	<p>Nennleistung: $\leq 4,6$ kVA Zähler: Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheit Volleinspeisung</p>	<p>dreiphasige Erzeugungseinheit</p>	<p>Nennleistung: $\leq 13,8$ kVA Zähler: Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheit Volleinspeisung</p>
<p>dreiphasige Einheit</p>	<p>Nennleistung: < 30 kVA Zähler: Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheit Überschusseinspeisung</p>	<p>zwei dreiphasige Einheiten</p>	<p>Nennleistung: $\leq 4,6$ kVAp Zähler: Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheiten Überschusseinspeisung</p>

EEG erneuerbare Energiengesetz, kVA = Kilo-Voltampere, Bemessungswert, p (von peak) Spitzenwert, PV Photovoltaik, VDE-AR-N VDE-Anwendungsrichtlinie Netz, VNBW Verteilungs-Netzbetreiber

THD-Werte von Oberschwingungen Total Harmonic Distortions

Vorgang, Aufgabe	Erklärung, Lösung	Bild, Formeln												
<p>Zum Messen der Oberschwingungen verwendet man Netzanalysegeräte, z. B. beim Einphasennetz einen speziellen Zangenstromwandler (Bild). Dieser hat wie ein ScopeMeter (Seite 117) ein Display zur Darstellung von Strom- und Spannungsverlauf. Außerdem können die Oberschwingungen grafisch angezeigt werden.</p> <p>www.fluke.de/fluke345</p>	<p>Aus dem Oszillogramm von U und I kann der Anwender erkennen, ob Oberschwingungen vorliegen. Diese können getrennt nach ihren Ordnungszahlen gemessen werden, z. B. die Grundschwingung und die 3. Teilschwingung. Angezeigt werden die Effektivwerte. Auch der gesamte Effektivwert ist messbar und zusammen mit den einzelnen Effektivwerten als Histogramm anzeigbar (Bild unten).</p>	 <p>Netzqualitätsmesszange</p>												
<p>Beispiel 1: In einer Einphasenanlage wurden gemessen: $U_1 = 230\text{ V}$, $U_3 = 120\text{ V}$, $U_5 = 50\text{ V}$, $U_7 = 8\text{ V}$. Wie groß ist der THD-Wert?</p> <p>Die Angabe erfolgt meist in %. Hier also nach Lösung $0,3207 = \mathbf{32,07\%}$</p>	<p><i>Lösung:</i></p> $THD = \frac{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2}{U_1^2}$ $= \frac{(120\text{ V})^2 + (50\text{ V})^2 + (8\text{ V})^2}{(230\text{ V})^2}$ $= \frac{14\,400 + 2\,500 + 64}{52\,900}$ $= \mathbf{0,3207}$	<p style="text-align: center;">THD-Wert der Spannung</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $THD = \frac{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_x^2}{U_1^2}$ </div> <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">1</p> <p>U_x mit $x = 1, 3, 5, 7$ Spannung der Ordnungszahl x In entsprechender Weise mit I ist der THD-Wert des Stromes zu ermitteln.</p>												
<p>Für die Energietechnik ist der THD-Wert der Spannung als THD_V-Wert festgelegt.</p> <p>Beispiel 2: Der Effektivwert einer Spannung beträgt 232 V, der Effektivwert der Grundschwingung ist 230 V. Wie groß ist der THD_V-Wert?</p> <p>Die Angabe erfolgt meist in %. Hier also nach Lösung $0,132 = \mathbf{13,2\%}$</p>	<p><i>Lösung:</i></p> $THD_V = \frac{\sqrt{V^2 - V_1^2}}{V_1}$ $= \frac{\sqrt{(232\text{ V})^2 - (230\text{ V})^2}}{230\text{ V}}$ $= \frac{\sqrt{53\,824 - 52\,900}}{230}$ $= \mathbf{0,132}$	<p style="text-align: center;">THD_V-Wert der Spannung in der Energietechnik nach IEEE-Standard 1459</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $THD_V = \frac{\sqrt{V^2 - V_1^2}}{V_1}$ </div> <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">2</p> <p>V Spannung mit Oberschwingungen V_1 Grundschwingung (V von Voltage)</p>												
 <p style="text-align: center;">Histogramm zu Beispiel 1</p>	<p>Bei Erzeugungsanlagen, z.B. PV-Anlagen, Biogasanlagen oder Windrädern, dürfen die Oberschwingungsströme Grenzen nach Tabelle 1 nicht überschreiten, da sonst die Oberschwingungsspannungen im Netz zu groß würden. Wenn durch Messungen festgestellt wird, dass zulässige Grenzen überschritten werden, muss der Anteil an Oberschwingungen reduziert werden, z. B. durch Kompensation (Seite 278).</p>	<p style="text-align: center;">Tabelle 1: Zulässige Oberschwingungsströme bei Erzeugungsanlagen vgl. VDE-AR-N 4105</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>ν</th> <th>I_ν in mA je kVA der Anlage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>11</td><td>0,5</td></tr> </tbody> </table> <p>ν (griech. Nü) Ordnungszahl</p>	ν	I_ν in mA je kVA der Anlage	3	3	5	1,5	7	1	9	0,7	11	0,5
ν	I_ν in mA je kVA der Anlage													
3	3													
5	1,5													
7	1													
9	0,7													
11	0,5													
<p>Die Verzerrung von Spannung oder Strom wird oft als THD_u oder als THD_i angegeben. Der gesamte Oberschwingungsstrom THC (Total Harmonic Current) ist ein Effektivwert (Formel 3).</p>	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $THC = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 \dots I_{40}^2}$ </div> <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">3</p> <p>I_x mit $x = 2, 3, 4 \dots 40$ Strom der Ordnungszahl x</p>	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $THD_i = \frac{THC}{I_1}$ </div> <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">4</p> <p>THD_u mit $U_1, U_2 \dots$ entsprechend Formel 3, 4 I_1 Grundschwingungstrom</p>												

SE

Begriffe	Erklärung	Schaltung, Daten
<p>Umsteller</p> <p>stromlose Betätigung</p> <p>nicht für Regelung</p>	<p>Die Änderung der Spannung erfolgt durch Änderung der Windungszahl durch einen Umsteller genannten Schalter, und zwar über Anzapfungen der OS-Wicklung in Stufen bis etwa 4% der Nennspannung vom Trafo. Der Umsteller darf gegen Kurzschlüsse beim Umschalten nur stromlos betätigt werden und ist deshalb ungeeignet für eine fortlaufende Regelung.</p>	 <p style="text-align: center;">Schaltung des Umstellers</p>
<p>Stelltransformator</p> <p>Wicklungsanzapfung</p> <p>Stufenwicklung</p> <p>Stammwicklung</p>	<p>Für die fortlaufende Regelung sind <i>Stelltransformatoren</i> geeignet, bei denen die Windungszahl unter Netzspannung geändert werden kann. Dafür wird wegen des kleineren Stroms die Windungszahl der Oberspannungswicklung über Anzapfungen mittels eines Stufenschalters eingestellt. Meist genügt eine Änderung der Windungszahl bis etwa 4%. Deshalb sind etwa 4% der OS-Wicklung als Stufenwicklung mit Anzapfungen ausgeführt. Der Teil der OS-Wicklung ohne Anzapfungen ist die <i>Stammwicklung</i>.</p>	 <p style="text-align: center;">Anschluss des Stelltransformators</p>
<p>SE</p> <p>Stufenschalter</p> <p>häufige Spannungsänderung</p> <p>elektronische Regelung</p> <p>Stufenwähler</p> <p>Lastwähler</p> <p>Thyristoren</p> <p>Wendeschalter</p>	<p>Die Trafospaltung muss wegen der täglichen Änderung von Last und Einspeisung, z. B. bei Änderung von Wind oder Beleuchtung, täglich bis zu 1000 Mal geregelt werden. Dazu wird die Spannung im 400-V-Netz gemessen und elektronisch im Oberspannungsnetz geregelt. Beim dafür erforderlichen Stufenschalter wird die beabsichtigte Windungszahl der Stufenwicklung stromlos über Stufenwähler eingestellt und dann über dämpfende Widerstände durch Lastwähler umgeschaltet. Die Umschaltung erfolgt z. B. mit Thyristoren. Ein Wendeschalter Q1 ermöglicht das Umschalten der Stufenwicklung von Erhöhung der Spannung auf Herabsetzung derselben.</p>	 <p style="text-align: center;">Prinzip eines Stranges des Stufenschalters für 3AC-Transformator</p>
<p>Zusatztransformator</p> <p>Längsregelung</p> <p>Querregelung</p>	<p>Beim obigen Stelltransformator haben die Spannungszeiger von Stufen- und Stammwicklungen dieselbe Richtung. Man spricht von Längsrichtung und <i>Längsregelung</i>. Man kann aber die Stränge der Stufenwicklung mit Teilen der Stammwicklung zu einem <i>Zusatztransformator</i> schalten. Hat dieser statt der Sternschaltung eine Dreieckschaltung, so können die Zeiger der Spannungen von Stamm- und Stufenwicklung quer zueinander liegen. Die Regelung ist dadurch eine <i>Querregelung</i>.</p>	 <p style="text-align: center;">Zeiger bei Längs- und Querregelung von Drehstromtransformatoren</p>

Regelung der Netzfrequenz Control of Frequency in a Grid

Begriffe	Erklärung	Bemerkungen, Daten, Bilder
<p>Frequenzhaltung 50 Hz europäisches Verbundnetz Toleranz $\pm 0,2$ Hz Synchron-generator</p>	<p>Unter Frequenzregelung des Netzes versteht man Regelvorgänge, die zu einer an den Hausanschlüssen annähernd konstanten Frequenz von 50 Hz führen. Man spricht dabei auch von <i>Frequenzhaltung</i>. Im europäischen Verbundnetz ist die <i>Toleranz</i> $\pm 0,2$ Hz. Die Frequenz soll also mindestens 49,8 Hz und höchstens 50,2 Hz betragen.</p>	<p>Die Netzfrequenz geben die Synchrongeneratoren der Großkraftwerke vor. Deren Frequenz f ist proportional der Drehzahl n ihrer Läufer.</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> Netzfrequenz $f = n \cdot p$ 1 </div> <p>f Frequenz n Drehzahl p Zahl der Polpaare</p>
<p>Netzlast Großkraftwerke Primärregelung Turbinenleistung Sekundärregelung Dämpfung von Laststößen</p>	<p>Netzlast bremst die Synchrongeneratoren und ihre Drehzahl und Frequenz sinken. Bei abnehmender Netzlast nehmen die Generatordrehzahl und Frequenz zu. Es muss also die Drehzahl der Turbinen von <i>Großkraftwerken</i> auf konstante Drehzahl nach Formel 1 geregelt werden.</p> <p>Bei der <i>Primärregelung</i> wird die Leistung der Turbinen geregelt, bei der <i>Sekundärregelung</i> die Netzfrequenz. Zu einer Dämpfung von Laststößen führt die mechanische Energie der rotierenden Läufer von Generatoren und Motoren im Netz.</p>	<p style="text-align: center;">Primärregelung eines Synchrongenerators</p>
<p>P-Regelung Sekundärregelung PI-Regelung positive Regelenergie Spannungsregelung</p>	<p>Für die Primärregelung liegt eine <i>P-Regelung</i> vor, die einen Fehler schnell, aber nicht vollständig, ausregelt. Bei der <i>Sekundärregelung</i> ist die zusätzliche Regelgröße die Netzfrequenz. Hier liegt eine <i>PI-Regelung</i> vor, die den Fehler der P-Regelung langsam ausgleicht.</p> <p>Bei zu niedriger Netzfrequenz wird zusätzliche Einspeisung oder kleinere Netzlast gebraucht (<i>positive Regelenergie</i>). Bei zu kleiner Netzfrequenz ist auch die Generatorspannung zu klein, sodass die Spannungsregelung des Netzes wirksam wird.</p>	<p style="text-align: center;">Wirkungsweise der Sekundärregelung</p>
<p>negative Regelenergie Zuständigkeit ÜBN Sekundenreserve</p>	<p>Bei zu hoher Netzfrequenz wird kleinere Einspeisung oder größere Netzlast gebraucht (<i>negative Regelenergie</i>). Zuständig für die Netzregelung sind die ÜBN. Die Primärregelung erfolgt dezentral in für die Regelung vorgesehenen Großkraftwerken, die ihre Netzfrequenz messen und danach die Leistung steuern.</p>	<p>Die Primärregelung muss innerhalb von 30 Sekunden wirksam werden, wenn $\Delta f \approx 20 \text{ mHz} = 0,02 \text{ Hz}$. Diese <i>Sekundenreserve</i> muss mindestens für 15 Minuten verfügbar sein zum Aufwärtsregeln von großen Wärmekraftwerken mit über 1000 MW Leistung oder zum Abwärtsregeln auch von Wasserkraftwerken der ÜBN.</p>
<p>Pumpspeicherkraftwerke Gaskraftwerke Minutenreserve Übertragungsdistanzen</p>	<p>Die <i>Sekundärregelung</i> erfolgt im Übertragungsnetz in Pumpspeicherkraftwerken und Gaskraftwerken innerhalb von maximal 15 Minuten (<i>Minutenreserve</i>). Ein <i>zentraler Regler</i> erfasst die Netzfrequenz und die Leistungen der verschiedenen Regionen und regelt in diesen die Frequenz so, dass Leistungen möglichst über kurze Übertragungsdistanzen bewegt werden.</p>	<p>Für die Sekundärregelung wird ein PI-Regler eingesetzt. Der Beitrag des I-Reglers (Integralregler) steigt ständig an, auch wenn 50 Hz erreicht sind. Dadurch schwankt die Frequenz um etwa $10 \text{ mHz} = 0,01 \text{ Hz}$ um 50 Hz. Die Regelung soll den Mittelwert der Netzfrequenz längere Zeit hindurch bei 50 Hz halten, damit die mit Netzfrequenz gesteuerten Uhren genau gehen.</p>
<p>e Regeldifferenz f Frequenz n Drehzahl, Umdrehungsfrequenz p Polpaarzahl, halbe Polzahl; Druck</p>	<p>Δf Frequenzabweichung P-Regler Proportionalregler PI-Regler Proportional-Integral Regler ÜBN Übertragungsnetzbetreiber</p>	

SE

Binäre Verknüpfungen Binary Operations

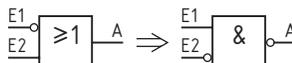
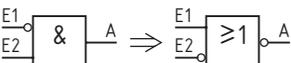
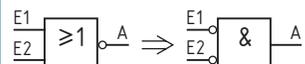
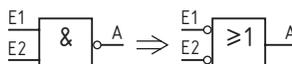
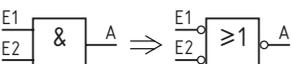
Schaltzeichen	Benennung der Verknüpfung	Kontaktschaltung	Schaltfunktion (Sprechweise)	Wertetabelle		
				b	a	x
	NICHT (Negation)		$x = \bar{a}$ oder $x = \neg a$ (a nicht) nicht genomt: $x = a \setminus a$			
	UND (Konjunktion)		$x = a \wedge b$ (a und b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 0 1
	ODER (Adjunktion, Disjunktion)		$x = a \vee b$ (a oder b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1
	NAND		$x = \bar{a} \vee \bar{b} = \overline{a \wedge b}$ $= a \setminus b$ (a nand b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 1 1 0
	NOR		$x = \bar{a} \wedge \bar{b} = \overline{a \vee b}$ $= a \setminus b$ (a nor b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 0
	Exklusiv-ODER Antivalenz, Exklusiv-OR, XOR		$x = (a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b)$ $= a \oplus b$ (a xor b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 0
	Exklusiv-NOR, Äquivalenz, XNOR		$x = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b})$ $= a \leftrightarrow b$ (a Doppelpfeil b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 1
	Inhibition (Sperrerelement)		$x = \bar{a} \wedge b$	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 1 0
	Implikation, Subjunktion		$x = \bar{a} \vee b = a \rightarrow b$ (a Pfeil b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 1 1
	(m aus n)-Element		Z. B. bei 2 aus 3: $x = (\bar{a} \wedge b \wedge c) \vee (b \wedge a \wedge c) \vee (\bar{c} \wedge a \wedge b)$			$x = 1$, nur wenn an m von n Eingängen Wert 1 anliegt (m < n).

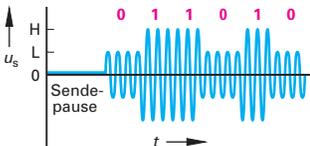
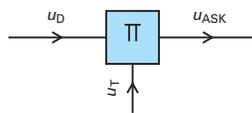
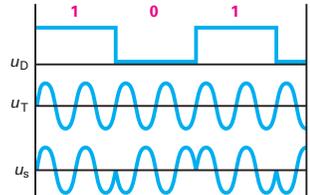
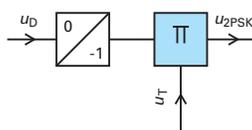
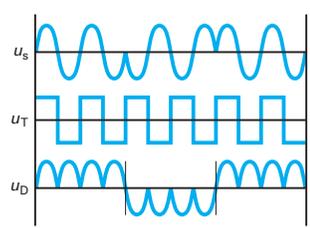
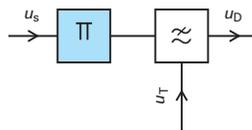
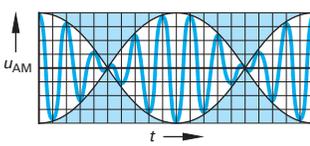
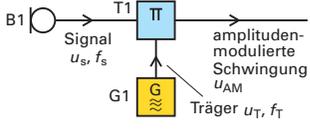
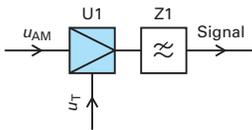
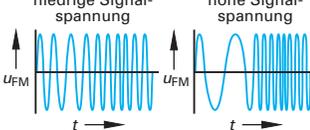
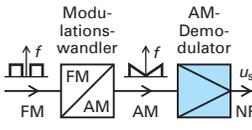
IK

Gleichwertige Darstellung von binären Verknüpfungselementen mit & und ≥ 1

Ein gleichwertiges Schaltzeichen wird entsprechend den de Morgan'schen Regeln wie folgt gebildet (Ausnahme beim NICHT-Element):

1. Alle & werden ≥ 1;
2. Alle ≥ 1 werden &;
3. Alle Anschlüsse werden gegenüber dem Ausgangszustand invertiert.



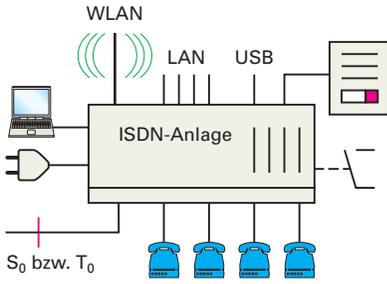
Prinzip, Vorgang	Erklärung	Bemerkungen															
Digitale Modulation und Demodulation																	
 <p>ASK mit Kontrolle auf Sendepause</p>	<p>Bei Amplitudenumtastung ASK (von Amplitude Shift Keying) wird vom Modulator, z.B. einem Multiplizierer, eine hochfrequente Trägerspannung getastet.</p> <p>Bei Frequenzumtastung FSK (von Frequency Shift Keying) wird z.B. beim Datenbit 1 eine höhere Frequenz als beim Datenbit 0 gesendet.</p>	 <p>Modulator für ASK</p> <p>Bei Datenbit 1 wird ein höherer Pegel der Trägerspannung verwendet.</p>															
 <p>Modulation von 2-PSK</p>	<p>Bei PSK (Phase Shift Keying = Verschlüsselung durch Phasenänderung) liegt die Information im Phasenwechsel einer hochfrequenten Trägerspannung. Bei PSK mit Bezugsphase bezieht sich der Phasenwechsel auf die nicht modulierte Trägerspannung, beim Differenz-PSK auf den vorhergehenden Zustand.</p>	 <p>Modulator für 2-PSK</p> <p>Die Modulation bei 2-PSK erfolgt durch einen Ringmischer (Umsetzglied von 0 auf 1 mit einem Multiplizierer). Bei höheren PSK-Verfahren werden IQ-Modulatoren verwendet.</p>															
 <p>Demodulation von 2-PSK</p> <p>u_D Datenspannung u_s Signalspannung u_T Trägerspannung</p>	<p style="text-align: center;">Arten von PSK</p> <table border="1" data-bbox="453 690 763 868"> <thead> <tr> <th>Art</th> <th>Winkel</th> <th>Bits je Wechsel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2-PSK</td> <td>180°</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4-PSK</td> <td>90°</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>8-PSK</td> <td>45°</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>16-PSK</td> <td>22,5°</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>Die Bitrate ist umso höher, je mehr Bits bei einem Phasenwechsel übertragen werden.</p> <p>Bei Quadraturmodulation QAM sind ASK und PSK kombiniert, z.B. bei 4-QAM, 8-QAM usw. bis 1024-QAM.</p>	Art	Winkel	Bits je Wechsel	2-PSK	180°	1	4-PSK	90°	2	8-PSK	45°	3	16-PSK	22,5°	4	 <p>Demodulator von 2-PSK</p>
Art	Winkel	Bits je Wechsel															
2-PSK	180°	1															
4-PSK	90°	2															
8-PSK	45°	3															
16-PSK	22,5°	4															
Analoge Modulation und Demodulation																	
 <p>Spannungen bei Amplitudenmodulation</p>	 <p>Prinzip der Amplitudenmodulation AM</p> <p>Die Amplitude der Trägerspannung u_T wird von der Signalspannung u_s moduliert.</p>	 <p>Prinzip der Demodulation</p> <p>Die Demodulation kann auch durch eine Diode mit nachgeschaltetem Tiefpass erfolgen.</p>															
 <p>FM-Spannungen (frequenzmodulierte Spannungen)</p>	<p>Bei der Frequenzmodulation FM wird die Frequenz f_T eines Trägers mit der Signalspannung u_s moduliert. Die Amplitude von u_s erzeugt den Frequenzhub (Abweichung der Frequenz von der f_T), die Frequenz (Tonhöhe) von u_s erzeugt die Zahl der Frequenzänderungen je Zeit.</p>	 <p>Prinzip der Demodulation bei FM</p>															

IK

ISDN und Internet-Telefonie (VoIP) ISDN and Voice over IP

Verfahren	Erklärungen	Bemerkungen, Daten, Formeln
-----------	-------------	-----------------------------

ISDN



Weitere Einstellungen:

- Einstellung des Wahlverfahrens IWW (Impulswahl) oder MFV (Mehrfrequenzwahl) für jedes der angeschlossenen Telefone,
- Festlegung eines Programmierpassworts,
- Klingelton, Anklöpfen, Anrufweiterschaltung, Amts-Berechtigung, Gebührenerfassung und -zuteilung, ISDN-Diensterkennung, direkter Amtszugang, Konferenz, Kurzwahl, Freigabe- und Sperrnummern, Vorzugsamt, Wählen, Makeln (Hin- und Herschalten).

Anlagenmerkmale:

- Interner S₀-Bus (Anschluss von ISDN-Telefonen),
- Schnittstelle zu Türsprechanlagen („FTZ123 D12“),
- Schnittstelle zu Alarmanlagen,
- potenzialfreie Schaltrelais,
- Einspeisung von Wartemusik,
- ADSL-Modem,
- LAN-Router,
- LAN-Switch mit WLAN.

Programmierschritte:

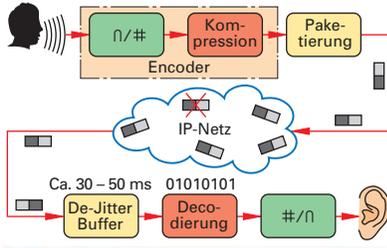
Anlagenanschluss:

- „Anlagenanschluss“ in der Anlage einstellen,
- Eintragung der Anlagenrufnummer und der DDIs (direct dial in Durchwahlnummern),
- Festlegung, welches Telefon bei welcher DDI klingelt.

Mehrgeräteanschluss:

- „Mehrgeräteanschluss“ einstellen,
- Eintragung der MSNs (Rufnummern),
- Festlegung, welches Telefon bei welcher MSN klingelt,
- Festlegung, welche MSN einen abgehenden Ruf übernimmt.

VoIP-Prinzip



VoIP bedeutet Sprach- und Bildübertragung über IP-Netzwerke, z. B. Internet, Intranet, LAN.

Funktionsprinzip:

Verbindungsaufbau und Verbindungsabbau erfolgen über SIP. Der Teilnehmer erhält von einem Provider, z. B. sipgate, eine SIP-Adresse, z. B. sip:Meier@sipgate.de. Endgeräte muss man einmalig während der Startphase bei dem zugewiesenen SIP-Server, z. B. sipgate.de, registrieren.

Verbindungsaufbau:

- Endgerät schickt Nachricht an den Server.
- Der Server leitet den Verbindungswunsch an das Endgerät des Anzurufenden weiter.
- Das Endgerät schickt eine entsprechende Nachricht zurück an den Server, die von diesem an den Anrufer weitergeleitet wird.
- Beim Anrufen klingelt es, der Anrufer hört ein Rufzeichen.

Gesprächsübertragung:

Die Endgeräte senden sich die Sprachdatenpakete direkt über das Protokoll RTP in Echtzeit mit üblich 93,6 kBit zu.

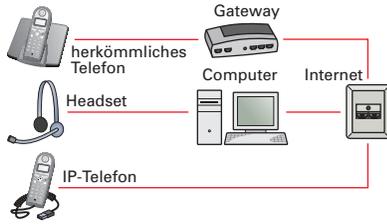
Endgeräte:

- IP-Telefon,
- Headset, Soundkarte im PC,
- Analogtelefon mit Gateway.

Wählprogramm



VoIP-Endgeräte



VoIP von Voice over = Sprache über und IP Internet Protocol; MSN von Mutiple Subscribe Number = Mehrfachrufnummer; SIP von Session Initiation Protocol = Sitzungsbeginn Protokoll; RTP von Real Time Transport Protocol = Echtzeit-Transportprotokoll; Gateway = Protokollumsetzer

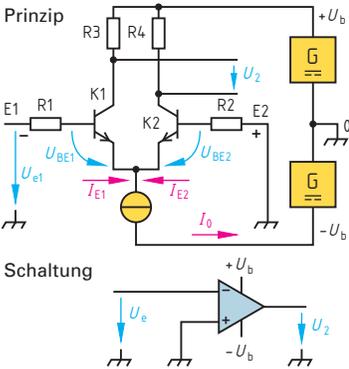
IK

Grundlagen des Operationsverstärkers

Basics of the Operational Amplifier

Schaltung, Kennlinie	Erklärung	Bemerkungen
----------------------	-----------	-------------

Differenzverstärker



Differenzverstärker als Invertierer geschaltet

Ein Differenzverstärker besteht aus zwei Transistorstufen mit einer gemeinsamen Konstantstromquelle. R3 und K1 sowie R4 und K2 lassen sich als Zweige einer Brückenschaltung auffassen. Die Basis E2 des Transistors K2 wird an Masse gelegt. Die zweite Basis dient als Eingang E1. Durch Anlegen einer kleinen Spannung an E1 wird K1 angesteuert, d.h. sein Durchlasswiderstand ändert sich. Dadurch ändern sich gleichzeitig U_{BE2} gegenseitig und damit auch der Widerstand von K2. Die Ausgangsspannung U_2 ist proportional zur Differenz der Eingangsspannungen an E1 und E2. Je nach Eingangssignal liegt die Ausgangsspannung zwischen einem positiven oder negativen Maximalwert ($\pm U_b$).

Meist werden zur Spannungsversorgung zwei Spannungsquellen benötigt (z.B. $U_b = \pm 15\text{ V}$). Diese werden an den Schaltzeichen des Operationsverstärkers meist nicht dargestellt.

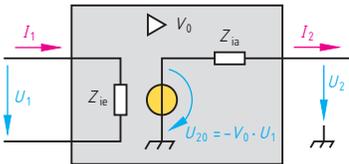
Die Eingänge werden nach ihrer Wirkung auf den Ausgang als -Eingang (invertierender Eingang) oder +Eingang (nicht invertierender Eingang) bezeichnet.

Die meisten Verstärker-IC haben als erste Stufe eine Differenzverstärkerschaltung.

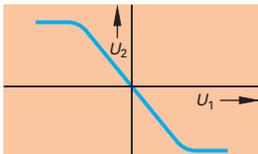
Konstanter Strom

$$I_0 = I_{E1} + I_{E2}$$

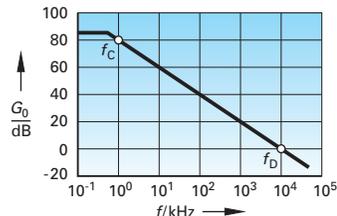
Verhalten des Operationsverstärkers



Ersatzschaltung des Operationsverstärkers



Ausgangsspannung U_2 des Invertierers als Funktion von U_1



Frequenzverhalten

Ein Operationsverstärker besteht meist aus einem Differenzverstärker als Eingangsschaltung und mehreren gleichspannungsgekoppelten Verstärkerstufen, sodass sein Leerlaufverstärkungsfaktor V_0 sehr groß ist. Selbst sehr kleine Eingangsspannungen bewirken recht große Ausgangsspannungsänderungen, die nur durch $\pm U_b$ begrenzt werden. Daher wird der Operationsverstärker beschaltet.

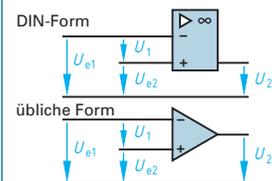
Ein Operationsverstärker wirkt invertierend, da U_2 positiv bei negativer Ansteuerung an E1 ist. Der Eingang E1 erhält im Schaltzeichen deshalb ein Minuszeichen. Ein Operationsverstärker wirkt dann nicht invertierend, wenn bei positiver Ansteuerung an E2 auch die Ausgangsspannung U_2 positiv ist.

Infolge interner Phasendrehung bei hohen Frequenzen besteht Schwingneigung. Daher ist eine Reduzierung der Verstärkung um 20 dB/Dekade notwendig. Es wird dazu eine Gegenkopplung mit einer RC-Schaltung verwendet (Frequenzkompensation). Meist ist diese bereits im IC vorhanden.

Kenngrößen

Größe	Typischer Wert	Näherung
V_0	10^4 bis 10^7	∞
Z_{ie}	100 k Ω bis 10^3 G Ω	∞
Z_{ia}	10 Ω bis 5 k Ω	0

Schaltzeichen und Formelzeichen



$$Z_{ie} = \frac{U_1}{I_1} \quad Z_{ia} = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$$

$$V_0 = \frac{U_2}{U_1} \quad G_0 = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

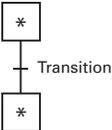
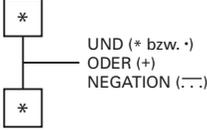
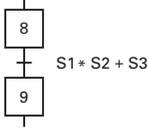
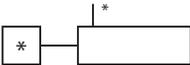
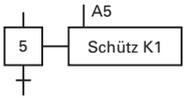
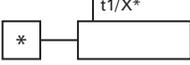
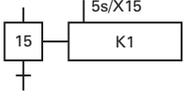
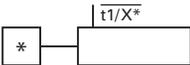
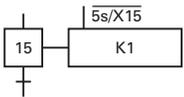
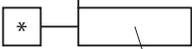
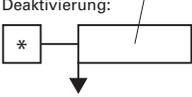
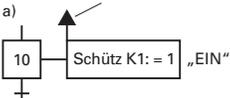
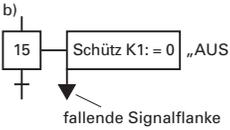
$$G_{CM} = 20 \lg \frac{U_2}{U_{1CM}}$$

$$f_c = \frac{f_D}{V}$$

- f_c Grenzfrequenz
- f_D Durchtrittsfrequenz
- G_0 Leerlauf-Spannungsverstärkungsmaß in dB
- G_{CM} Gleichaktverstärkungsmaß in dB
- I_1 Eingangstrom
- I_{E1}, I_{E2} Emitterströme

- I_2 Ausgangsstrom
- U_{e1}, U_{e2} Eingangsspannungen
- U_1 Differenzeingangsspannung
- U_2 Differenzausgangsspannung
- U_{1CM} Eingangsspannung bei gleichphasiger Ansteuerung
- U_b Betriebsspannung

- V Spannungsverstärkungsfaktor
- V_0 Leerlauf-Spannungsverstärkungsfaktor
- Z_{ie} Eingangswiderstand bei Differenzansteuerung
- Z_{ia} Ausgangswiderstand
- Δ Zeichen für Differenz

Symbol	Beschreibung	Beispiel
	Anfangsschritt (Quellschritt, Initialschritt). Das Symbol bedeutet, dass dieser Schritt die Anfangssituation darstellt. Schritte erhalten alphanumerische Kennzeichnungen. Der * in den Symbolen ist durch die jeweilige Schrittnummer zu ersetzen.	 Anfangsschritt, Initialschritt   Schrittbeispiele
	Zwischen zwei Schritten steht eine Weiterschaltbedingung (Transition) auf der rechten Seite. Es ist immer nur ein Schritt aktiv. Schritte und Transitionen wechseln sich ab. Kommentare werden in Anführungszeichen angegeben.	
	Transitionsbedingungen dürfen in Textform, durch grafische Symbole und mithilfe Boole'scher Ausdrücke beschrieben werden. Für Boole'sche Ausdrücke gilt: UND \Rightarrow *, ODER \Rightarrow +, NEGATION \Rightarrow \bar{X}	
	Aktion mit Zuweisungsbedingung ist erfüllt, wenn der zugehörige Schritt aktiv und die Zuweisungsbedingung erfüllt ist. Beispiel: Wird der Schritt 5 aktiviert und ist die Zuweisungsbedingung A5 erfüllt, dann wird Schütz K1 aktiv (Wert 1). In allen anderen Fällen ist der Wert „0“.	
	Zeitliche Transitionen werden durch eine vorgestellte Zeitangabe beschrieben. Die Transition kann einen Namen erhalten, der links und in Klammern stehen muss. Wird im Beispiel Schritt 15 aktiviert, so wird nach Ablauf von 5 s K1 aktiv.	
	Zeitbezogene Aktion erhält man durch Negation der Bedingung einer zeitverzögerten Aktion. Im Beispiel wird K1 für 5 s nach Aktivierung des Schrittes 15 aktiv.	
Aktivierung:  Deaktivierung:  * = Wert	Speichernde Aktionen werden zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einem Befehl einmal ausgeführt. Ein weiterer Befehl bestimmt die Rücknahme. Man unterscheidet: • Aktion bei Aktivierung des Schrittes, • Aktion bei Deaktivierung des Schrittes. Beispiele: a) Sobald Schritt 10 aktiv wird, wird das Schütz K1 aktiv (Wert 1). Ist Schritt 10 nicht mehr aktiv, so bleibt der Wert 1 aktiv. b) Schütz K1 wird auf 0 gesetzt, wenn Schritt 15 deaktiviert wird.	steigende Signalfanke a)  fallende Signalfanke b) 

GRAFCET, nach franz. GRAPHE Fonctionnel de Commande Étape Transition = Darstellung der Steuerungsfunktion mit Schritten und Weiterschaltbedingungen. Man verwendet GRAFCET für Programmierung und Beschreibung von Ablaufbeschreibungen in der Automatisierungstechnik.

Elektronische Steuerungen von Verbrauchsmitteln

Electronic Control of Electrical Consumers

Name	Liniendiagramme	Bemerkungen, Schaltungsprinzip
Symmetrische Anschnittsteuerung (symmetrische Phasenanschnittsteuerung)		<p>Häufiges Verfahren zur Steuerung von Wechselstromlasten, insbesondere von Beleuchtungsanlagen mittels Dimmer. Nachteil: Induktiver Blindleistungsbedarf und hochfrequente Störung.</p>
Symmetrische Abschnittsteuerung (symmetrische Phasenabschnittsteuerung)		<p>Steuerung von Wechselstromlasten, z.B. mit Dimmern vom Typ C. Das Einschalten erfolgt mittels Nullspannungsschalter, das Abschalten mit IGBT oder Transistor.</p> <p>Vorteile gegen Anschnittsteuerung: Weniger hochfrequente Störstrahlung. Aufnahme von kapazitiver Blindleistung, wie Kondensator.</p>
Symmetrische Sektorsteuerung		<p>Steuerung von Wechselstromlasten, z.B. mit Dimmern vom Typ RLC. Die symmetrische Sektorsteuerung ist eine Kombination von Anschnitt- und Abschnittsteuerung. Bei ihr wird keine Phasenverschiebung hervorgerufen, sie erzeugt aber eine stoßartige Netzbelastung und ruft Oberschwingungen hervor.</p>
Symmetrische Vielperiodensteuerung (symmetrische Schwingungspaketsteuerung)		<p>Häufiges Verfahren zur Steuerung von Wechselstromlasten, insbesondere von elektrischen Heizungsanlagen. Nicht geeignet zur Beleuchtungssteuerung und zur Drehzahlsteuerung. Einschalten erfolgt durch Nullspannungsschalter, Abschalten durch Thyristor infolge Unterschreiten des Haltestroms.</p>
Unsymmetrische Anschnittsteuerung (Schaltung E1C)		<p>Stromrichter zur Steuerung von kleinen Gleichstromlasten. Nachteil: Magnetisierung des vorgeschalteten Transformators.</p>
Unsymmetrische Vielperiodensteuerung		<p>Verfahren zur Steuerung von Gleichstromlasten, bei denen stromlose Pausen von mehreren Perioden möglich sind, z.B. beim Laden von Akkumulatoren. Einschalten und Abschalten wie bei der symmetrischen Vielperiodensteuerung. Nachteil ihr gegenüber: Magnetisierung vorgeschalteter Transformatoren.</p>

Anschnittsteuerung (Phasenanschnittsteuerung), Abschnittsteuerung und Sektorsteuerung dürfen nur angewendet werden, wenn eine andere Steuerung, z.B. mit Schwingungspaketen, nicht ausreicht, z.B. bei der Helligkeitssteuerung von Lampen. Alle elektronischen Steuerungen rufen störende Einflüsse im Netz (Netzurückwirkung) hervor. Deshalb gelten Grenzwerte der Anschlussleistung (siehe folgende Seite).

i Stromstärke, t Zeit, u Spannung, α Zündwinkel, Steuerwinkel, β Löschwinkel

Elektrische Niederspannungs-Ausrüstung von Maschinen

Electrical Low-Voltage Equipment of Machines

vgl. EN 60204-1 (VDE 0113-1)

Art	Erklärung	Bemerkungen																																																								
Stromversorgung	Die Größen müssen im <i>Toleranzbereich</i> liegen. Die <i>Oberschwingungsspannungen</i> bis zur 5. Teilschwingung dürfen höchstens 10 % des gesamten Effektivwertes betragen. Bei DC darf die <i>Welligkeit</i> (Spitze zu Tal) höchstens 15 % der Nennspannung betragen.	Toleranzbereiche der Versorgung																																																								
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Größe</th> <th>bei AC</th> <th>bei DC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dauerbetriebsspannung</td> <td>0,9 bis 1,1 U_n</td> <td>bei Bb 0,85 bis 1,15 U_n bei Fz 0,7 bis 1,2 U_n bei Ub 0,9 bis 1,1 U_n</td> </tr> <tr> <td>Frequenz, d</td> <td>0,99 bis 1,01 f_n</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>Frequenz, k</td> <td>0,98 bis 1,02 f_n</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table> <p>f_n Nennfrequenz, U_n Nennspannung, Bb Batteriebetrieb, d dauernd, Fz Fahrzeug, k kurzzeitig, Ub Umrichterbetrieb</p>	Größe	bei AC	bei DC	Dauerbetriebsspannung	0,9 bis 1,1 U_n	bei Bb 0,85 bis 1,15 U_n bei Fz 0,7 bis 1,2 U_n bei Ub 0,9 bis 1,1 U_n	Frequenz, d	0,99 bis 1,01 f_n	–	Frequenz, k	0,98 bis 1,02 f_n	–																																												
Größe	bei AC	bei DC																																																								
Dauerbetriebsspannung	0,9 bis 1,1 U_n	bei Bb 0,85 bis 1,15 U_n bei Fz 0,7 bis 1,2 U_n bei Ub 0,9 bis 1,1 U_n																																																								
Frequenz, d	0,99 bis 1,01 f_n	–																																																								
Frequenz, k	0,98 bis 1,02 f_n	–																																																								
Toleranzen																																																										
Oberschwingungen	Wegen <i>EMV</i> (Seite 265) sind																																																									
EMV	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse strahlungssicher auszuführen, empfindliche Stromkreise zu erden, Leiter möglichst dicht an Masse zu führen. 																																																									
Netz-Trenneinrichtung	<p><i>Netz-Trenneinrichtung</i> muss vorhanden sein, z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> ein Leistungsschalter mit Trennstrecke, ein anderes trennendes Schaltgerät, z.B. ein RCD oder ein Motorschutzschalter, eine Stecker-Steckdosenkombination bei flexibler Zuleitung. 	Strombelastbarkeit von PVC-isolierten Cu-Leitern bei Maschinen (Umgebungstemperatur 40 °C)																																																								
		<p>symmetrisch belastete Drehstromleitung</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">A in mm²</th> <th colspan="4">Verlegeart</th> </tr> <tr> <th>B1</th> <th>B2</th> <th>C</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,75</td> <td>8,6</td> <td>8,5</td> <td>9,8</td> <td>10,4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>10,3</td> <td>10,1</td> <td>11,7</td> <td>12,4</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>13,5</td> <td>13,1</td> <td>15,2</td> <td>16,1</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>18,3</td> <td>17,4</td> <td>21</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>24</td> <td>23</td> <td>28</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> <p>Steuerstromkreise AC oder DC</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">A in mm²</th> <th colspan="4">Verlegeart</th> </tr> <tr> <th>nicht anwendbar</th> <th>B2</th> <th>C</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,2</td> <td></td> <td>4,3</td> <td>4,4</td> <td>4,4</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td></td> <td>7,5</td> <td>7,5</td> <td>7,8</td> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td></td> <td>9,0</td> <td>9,5</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>weitere Werte siehe VDE 0113, Verlegearten Seite 171</p>	A in mm ²	Verlegeart				B1	B2	C	E	0,75	8,6	8,5	9,8	10,4	1	10,3	10,1	11,7	12,4	1,5	13,5	13,1	15,2	16,1	2,5	18,3	17,4	21	22	4	24	23	28	30	A in mm ²	Verlegeart				nicht anwendbar	B2	C	E	0,2		4,3	4,4	4,4	0,5		7,5	7,5	7,8	0,75		9,0
A in mm ²	Verlegeart																																																									
	B1	B2	C	E																																																						
0,75	8,6	8,5	9,8	10,4																																																						
1	10,3	10,1	11,7	12,4																																																						
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1																																																						
2,5	18,3	17,4	21	22																																																						
4	24	23	28	30																																																						
A in mm ²	Verlegeart																																																									
	nicht anwendbar	B2	C	E																																																						
0,2		4,3	4,4	4,4																																																						
0,5		7,5	7,5	7,8																																																						
0,75		9,0	9,5	10																																																						
Halbleiterschütze	Halbleiterschütze sind zum Trennen nicht geeignet. Stromkreise zur Instandhaltung sollten davon getrennt eine eigene Trenneinrichtung haben. <i>Basisschutz</i> und <i>Fehlerschutz</i> erfolgen nach Seite 223. Wegen der Erdung der Steuerstromkreise wird PELV an Stelle von SELV angewendet.																																																									
Basischutz, Fehlerschutz, Überstromschutz	<i>Überstrom-Schutzeinrichtungen</i> sind nach der Bemessungsstromregel (Seite 170) auszuwählen, wobei die Belastbarkeit der Leitungen in der Maschine kleiner ist als bei 25 °C (Tablele).																																																									
Motoren	<i>Motoren</i> mit Bemessungsleistungen über 0,5 kW müssen gegen unzulässige Erwärmung geschützt sein, z.B. durch Motorschutzschalter.																																																									
Potenzialausgleich	<i>Schutzpotenzialausgleich</i> (Maßnahme für den Fehlerschutz) und <i>Funktionspotenzialausgleich</i> (zur Verminderung von Betriebsstörungen infolge von Isolationsfehlern) sind bei Maschinen auszuführen (Bild).																																																									
Steuerstromkreis	<i>Steuerstromkreise</i> sind als Hilfsstromkreise (Seite 393) auszuführen und zu erden, meist durch Verbindung mit dem Schutzleiter. Steuergeräte und optische Anzeigen müssen farblich gekennzeichnet sein (Seite 215). Drucktaster sollen zusätzliche Symbole haben (Tablele).																																																									
Drucktaster	<i>Handlungen im Notfall</i> erfolgen durch Einrichtungen zum <i>NOT-AUS</i> (Abschalten) oder <i>NOT-HALT</i> (Abschalten und Abbremsen).																																																									
NOT-AUS	Verdrahtungstechnik. Anschlüsse müssen gegen Lockern gesichert sein, z.B. durch Zahnscheiben. Jeder Leiter muss an jedem Anschluss wie in der Dokumentation gekennzeichnet sein.																																																									
NOT-HALT	Wenn die Leiter durch Farben identifiziert (kennlich gemacht) werden, so sind die Leiter																																																									
Leiterfarben	<ul style="list-style-type: none"> schwarz für AC- oder DC-Hauptstromkreise, rot für AC-Steuerstromkreise, blau für DC-Steuerstromkreise, orange für Stromkreise, die nicht von der Netz-Trenneinrichtung abgeschaltet werden. 	Schutzpotenzialausgleichsleiter und Funktionspotenzialausgleichsleiter																																																								
		Symbole für Drucktaster																																																								
Dokumentation	Dokumentation Über Errichten, Betrieb und Instandhaltung muss eine Dokumentation angefertigt werden mit z.B. Schaltplänen, Stücklisten, Betriebsanweisungen und Instandhaltungshinweisen.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>START oder EIN</th> <th>STOPP oder AUS</th> <th>wechselweise EIN oder AUS</th> <th>Drücken EIN, Loslassen AUS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">⊥</td> <td style="text-align: center;">⊕</td> </tr> </tbody> </table>	START oder EIN	STOPP oder AUS	wechselweise EIN oder AUS	Drücken EIN, Loslassen AUS		○	⊥	⊕																																																
	START oder EIN	STOPP oder AUS	wechselweise EIN oder AUS	Drücken EIN, Loslassen AUS																																																						
	○	⊥	⊕																																																							

AS

Sprungantwort einer Regelstrecke	Bemerkungen
<p>Beharrungswert Wendetangente T_t Anregelzeit T_{an} T_e T_b Ausregelzeit T_{aus} Sprungantwort x Sprungfunktion y Toleranzband x_m</p>	<p>Für die Bewertung der Qualität einer Regelung gelten die Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genauigkeit • Stabilität • Schnelligkeit • Dämpfung <p>Die Stabilität einer Regelung kann erreicht werden durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inbetriebnahme der Regelung mit Erfahrungswerten für die Reglerparameter und Anpassung dieser, • Ermittlung der Parametrierwerte des Reglers anhand von Einstellregeln (siehe folgende Seite).

Stabilität von Regelvorgängen	Bemerkungen
<p>instabil Schwingungsdauer Stabilitätsgrenze stabil, periodisch stabil, aperiodisch</p>	<p>Bei der Beurteilung der Stabilität einer Regelung unterscheidet man drei Betriebsarten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • stabil • Betrieb an der Stabilitätsgrenze • instabil <p>Die Regelkreisstruktur und die Reglerparametrierung bestimmen die Stabilität der Regelung.</p> <p>Stellt sich nach einer Stellgrößenänderung der Störung ein neuer stationärer Wert der Regelgröße ein, liegt eine Regelstrecke mit Ausgleich vor.</p>

Zeitverhalten von Regelstrecken

<p>Sprungantwort-Verfahren Beim Sprungantwort-Verfahren wird die Übergangsfunktion experimentell ermittelt.</p>	<p>Einheitssprung z.B. 1 V Eingang y Ausgang x Regelstrecke</p>
--	---

AS

Bezeichnung Kenngrößen	Stell-Sprungantwort	Beispiel	Übergangsverhalten
<p>P₀-Strecke Proportional-Beiwert $K_{ps} = x/y$</p>	<p>$K_{ps} \cdot Y$</p>	<p>$I_B \hat{=} y$ $U \hat{=} x$</p>	<p>x folgt proportional unverzögert der Eingangsgröße y.</p>
<p>PT_t-Strecke Proportional-Beiwert $K_{ps} = x/y$ Totzeit T_t</p>	<p>T_t $K_{ps} \cdot Y$</p>	<p>$T_t = \frac{s}{v}$</p>	<p>x folgt proportional, um die Zeit T_t verzögert, der Eingangsgröße y.</p>
<p>PT_t-T₁-Strecke Proportional-Beiwert $K_{ps} = x_{\infty}/y$ Totzeit T_t Zeitkonstante T_S</p>	<p>T_t T_S $K_{ps} \cdot Y$</p>	<p>Mischung im Behälter</p>	<p>x folgt proportional, mit einer e-Funktion und einer Totzeit verzögert, der Eingangsgröße y.</p>
<p>I₀-Strecke Integrierzeit T_{IS} $K_{is} = v_x/y$ $v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$</p>	<p>T_{IS} Δx Δt</p>		<p>x ist das Zeitintegral der Eingangsgröße y.</p>

Für Regelstrecken ohne Ausgleich ist statt K_s der Ausdruck K_{is} einzusetzen, siehe vorhergehende/folgende Seite.
 I_B Basisstrom, x_{∞} Reglergröße nach Einschwingvorgang, sonstige Erklärungen der weiteren Formelzeichen siehe vorhergehende Seite.

Merkmal	Erklärung	Bemerkungen
Wahrscheinlichkeit	Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis A auftritt, ist gleich der Anzahl der auftretenden Fälle A dividiert durch die Anzahl aller Fälle.	Die Wahrscheinlichkeit von 10 fehlerhaften Teilen in einer Menge von 400 Teilen eines davon zu ergeben, beträgt nach Formel 1 → 2,5%
Häufigkeit	Relative Häufigkeit ist die absolute Häufigkeit eines Merkmals einer Menge dividiert durch die Anzahl aller Merkmale der Menge.	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Wahrscheinlichkeit</p> $p = \frac{g}{m} \cdot 100\%$ <p style="text-align: right; color: red;">1</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Relative Häufigkeit</p> $h_j = \frac{n_j}{n} \cdot 100\%$ <p style="text-align: right; color: red;">2</p> </div> </div>

Normalverteilung		<p>arithmetischer Mittelwert</p> $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ <p style="text-align: right; color: red;">3</p> <p>Standardabweichung</p> $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ <p style="text-align: right; color: red;">5</p> <p>Spannweite</p> $R = x_{\max} - x_{\min}$ <p style="text-align: right; color: red;">7</p>
		<p>Gesamtmittelwert</p> $\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$ <p style="text-align: right; color: red;">4</p> <p>Mittelwert der Standardabweichungen</p> $\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m}$ <p style="text-align: right; color: red;">6</p> <p>mittlere Spannweite</p> $\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$ <p style="text-align: right; color: red;">8</p>

<p>Qualitätsregelkarte</p> <p>Mittels Qualitätsregelkarten soll durch Beobachten von Messwerten sowie durch eventuelles Beeinflussen des Prozesses dieser seinen Sollzustand beibehalten.</p>	<p>Die Eingriffs- und Warngrenzen werden über Prozessschätzwerte bestimmt.</p>
--	--

Mittelwert-Standardabweichungskarte	<p>\bar{x}-s-Karte</p> <p>Verdeutlicht die Tendenz der Mittelwertentwicklung. Ein computerunterstütztes Führen der Regelkarte ist zweckmäßig.</p>
Natürlicher Prozessverlauf	<p>Alle Werte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen, 2/3 der Werte im Bereich $\pm s$. Der Prozess ist unter Kontrolle.</p> <p style="text-align: right;">OEG M UEG</p>
Überschreiten der Eingriffsgrenzen	<p>In den Prozess muss eingegriffen werden, z. B. falsch eingestellte Maschine.</p> <p style="text-align: right;">OEG M UEG</p>
Trendverlauf	<p>Aufeinanderfolgende Werte zeigen eine Tendenz, z. B. wegen Werkzeugverschleiß.</p> <p style="text-align: right;">OEG M UEG</p>

Prüfmerkmal: ϕ	Kontrollmaß: $5 \pm 0,05$				
Stichproben: $n = 5$	Kontrollintervall: 60 min				
Messwerte mm	x_1	4,98	4,96	5,03	4,97
	x_2	4,97	4,99	5,01	4,96
	x_3	4,99	5,03	5,02	5,01
	x_4	5,01	4,99	4,99	4,99
	x_5	5,01	5,00	4,98	5,02
	\bar{x}	4,992	4,994	5,006	4,990
s	0,018	0,025	0,021	0,025	
Mittelwerte \bar{x} in mm	5,02	OEG			
	5,01	OWG			
	5,00	M			
	4,99	UWG			
	4,98	UEG			
Standardabweichung s	0,026	OEG			
	0,024	OWG			
	0,022	M			
	0,020	UWG			
	0,018	UEG			
Probennr.	1	2	3	4	
Uhrzeit	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	

Mittelwert-Standardabweichungskarte

a	Anzahl aller Fälle	s	Standardabweichung	R	Spannweite
g	Anzahl günstiger Fälle	x_j	Einzelmesswert	M	Mittelwert des Merkmals
h_j	relative Häufigkeit in %	x_{\max}	größter Messwert	OEG, UEG	obere, untere Eingriffsgrenze
n_j	absolute Häufigkeit	x_{\min}	kleinster Messwert	OWG, UWG	oberer, unterer Grenzwert
n, m	Anzahl Einzelwerte	\bar{x}	arithmetischer Mittelwert	OWG, UWG	obere, untere Warngrenze
p	Wahrscheinlichkeit	$\bar{\bar{x}}$	Gesamtmittelwert		