

Leseprobe

Christiani

seit 1931

Tabellenbuch Elektrotechnik mit Formelsammlung



Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG
www.christiani.de

Inhalt

Grundlagen	18
Mathematische Grundlagen	19
Mathematische Zeichen.....	19
Dreisatzrechnung.....	19
Prozentrechnung.....	20
Potenzrechnung.....	20
Radizieren (Wurzelrechnung).....	20
Satz des Pythagoras.....	21
Höhensatz.....	21
Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck.....	21
Winkelfunktionen im schiefwinkligen Dreieck.....	21
Formelumstellung.....	22
Flächenberechnung.....	23
Volumenberechnung.....	23
Schwerpunkt von Flächen.....	24
Zahlensysteme.....	25
Vergleich zwischen Zahlensystemen.....	25
Umwandlung von Zahlensystemen.....	26
Umrechnungstabelle Hexadezimal – Dezimal.....	26
Rechnen mit Dualzahlen.....	26
Codes.....	27
Physikalische Grundlagen	30
Physikalische Größen, Einheiten und Konstanten.....	30
Römische Zahlen, griechisches Alphabet.....	31
Formelzeichen und Einheiten.....	32
Physikalische Formeln.....	34
Mechanik.....	35
Einfache Antriebe.....	36
Elektrotechnische Grundlagen	37
Formeln der Elektrotechnik.....	37
Symbole und Schaltzeichen der Elektrotechnik.....	58
Bauelemente	66
Elektrische Widerstände.....	66
Nichtlineare Widerstände.....	68
Kondensatoren.....	70
Halbleiterbauelemente.....	73
Logische Verknüpfungen.....	83
Kühlung von Halbleiterbauelementen.....	90
Tabellen	91
Spezifische Leitfähigkeit bei 20 °C, Temperaturbeiwert.....	91
Beziehung zwischen Einheiten.....	92
Dielektrizitätszahlen fester und flüssiger Stoffe.....	95
Permeabilitätszahlen einiger Werkstoffe.....	96
Koerzitivfeldstärken magnetischer Werkstoffe.....	96
Koerzitivfeldstärken magnetisch harter Werkstoffe.....	96
Eisenblechkerne.....	96
Stoffabscheidung durch Elektrolyse (Galvanisieren).....	97
Spannungsreihe der Elemente.....	97
Lote.....	98
Kunststoffe.....	98

4

Widerstandswerkstoffe	100
Heizleiterwerkstoffe	101
Kontaktwerkstoffe	101
Wichtige VDE-Vorschriften	101
Messtechnik.....	103
Grundbegriffe der Messtechnik.....	103
Darstellung von Messgrößen.....	104
Genauigkeitsklasse.....	104
Sinnbilder zur Beschriftung von Messgeräten	104
Zeigermessgeräte.....	105
Digitale Multimeter	105
Wandler/Stromzange	106
Messschaltungen.....	107
Elektrizitätszähler.....	108
Messen mit dem Oszilloskop	110
Schaltzeichen von Messkettengliedern	113
Errichtung elektrischer Anlagen.....	114
Elektrische Anlagen bis 1 000 V	115
Wichtige Begriffe.....	115
Netzsysteme	116
Widerstand des menschlichen Körpers R_K	118
Herzstromfaktor F	118
Schutzklassen der Betriebsmittel.....	118
Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag	119
Übersicht zu Schutzmaßnahmen.....	119
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung	119
Basisschutz.....	120
Basisschutz unter besonderen Bedingungen (überwachte Anlage).....	120
Fehlerschutz in überwachten elektrischen Anlagen (nur für Elektrofachkräfte).....	120
Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung von mehr als einem Verbrauchsmittel.....	121
Maximale Abschaltzeiten beim Fehlerschutz <i>Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall</i>	121
Anforderungen für Steckdosen in Endstromkreisen	121
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TN-System.....	122
Fehlerschutz <i>Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall (Schutzklasse I)</i>	122
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TT-System	122
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung im IT-System	122
Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung	123
Funktionskleinspannung (FELV) – Schutz durch Kleinspannung ohne sichere Trennung (Schutzklasse III).....	123
Schutzmaßnahme: Doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II)	123
Schutzmaßnahme: Schutztrennung (Schutzklasse II)	124
Schutzmaßnahme: Schutz durch Kleinspannung mit SELV oder PELV (Schutzklasse III)	124
Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)	125
Zusätzlicher Schutz	125
Schutzeinrichtungen.....	126
Schutzeinrichtungen Übersicht.....	126
Schmelzsicherungen	126
Geräte- und Feinsicherungen.....	127
Niederspannungs-Hochleistungssicherung (NH-System)	127
Leitungsschutzschalter (LS-Schalter).....	128
Selektiver Hauptleitungsschutzschalter (SLS-Schalter)	129
Motorschutzgeräte – Übersicht.....	130
Thermisches Überlastrelais (Motorschutzrelais).....	130
Motorschutzschalter.....	131

Schaltungen.....	131
Besonderheiten.....	131
Thermischer Motorvollschutz – Thermistor (PTC-Widerstand).....	131
Thermischer Motorvollschutz – Thermostat.....	132
Elektronische Motormanagementsysteme	132
Fehlerstromschutzeinrichtung – Residual Current Protective Device (RCD)	133
Brandschutzschalter	136
Leitungen und Kabel.....	138
Wichtige Begriffe.....	138
Übersicht der elektrischen Leitungen	138
Leiterform und Leiteraufbau	138
Kennzeichnung der Adern von Kabeln und Leitungen	139
Code zur Farbkennzeichnung	139
Kennzeichnung von Leitern durch Farben oder alphanumerische Anschlusszeichen	140
Empfohlene Farbcodierungen in Schaltanlagen und Verteilern	140
Empfohlene Farbcodierungen in Verteilungsnetz und Verbraucheranlagen	141
Spannungsangaben von Starkstromleitungen.....	141
Bauartkurzzeichen für Starkstromkabel mit Kunststoffisolierung.....	142
Leitungsnormen (nationale/harmonisierte).....	143
Häufig verwendete isolierte Starkstromleitungen für feste Verlegung	144
Häufig verwendete isolierte Starkstromleitungen für ortsveränderliche Geräte	148
Häufig verwendete Fernmeldeleitungen und -kabel.....	152
Fernmeldeleitungen und -kabel.....	154
Bemessung elektrischer Leitungen – Erläuterungen	155
Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnittes A mit Einflussfaktoren	156
Referenzverlegeart von isolierten Leitungen und Kabeln	159
Bemessungsstrom I_N der vorgeschalteten Überstromschutzeinrichtung in A	160
I_N maximale Strombelastbarkeit von flexiblen Leitungen bei 30 °C.....	160
Einflussfaktoren für Häufung	161
I_N Strombelastbarkeit von Leitungen für feste Verlegung in Gebäuden	162
I_N maximale Strombelastbarkeit im Erdboden bei 20 °C.....	162
Spannungsfall.....	163
Höchstzulässige Kabel- und Leitungslängen l_{max} für Dreh- und Wechselstromkreise	164
Höchstzulässige Leitungslängen für Drehstrom nach Auslösezeit	165
Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnittes bei Oberschwingungen	166
Strombelastbarkeit von Leitungen/Kabeln bei Oberschwingungen	166
Installationstechnik.....	168
Installation einer Wechselschaltung mit und ohne Abzweigdosen im Vergleich.....	168
Installationsschaltungen	170
Installationszonen in Wohnräumen.....	173
Räume mit Badewanne oder Dusche.....	173
Anlagen im Freien.....	175
Feuergefährdete Betriebsstätten	175
Explosionsgefährdete Bereiche.....	175
Einteilung der explosionsartigen Atmosphäre	176
Geräteschutzniveau.....	176
Licht- und Beleuchtungstechnik	177
Grundbegriffe.....	177
Grundgrößen	180
Wartungswert der (mittleren) Beleuchtungsstärke.....	182
Reflexionsgrad	182
Gütemerkmale und Kriterien für eine gute Beleuchtung	183
Farbwiedergabe und Farbtemperatur von Leuchtmitteln.....	183
Berechnung der Leuchten- bzw. Leuchtmittellanzahl nach dem Wirkungsgradverfahren.....	183

6

Lichtstärkeverteilungskurven, Raumwirkungsgrad und Leuchtenbetriebswirkungsgrad	185
Energielabel und Verpackungskennzeichnung für Leuchtmittel	186
Leuchtmitteltypen und Leuchtmittelsockel	187
Kennzeichen von Leuchten	188
Ausphasungstermine für Leuchtmittel	188
Elektrische Leuchten	189
Lichtsteuerung und -regelung	189
Möglichkeiten der Lichtsteuerung und -regelung	190
Treiber und Vorschaltgeräte	190
Vorteile und Nachteile einer intelligenten Lichtsteuerung und -regelung	190
Bussysteme und Schnittstellen für die Lichtsteuerung und -regelung	191
Grundlagen und Praxis der digitalen Lichtsteuerung	192
Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien (DIN EN 12464-2:2025)	195
Prüfung von Anlagen und elektrischen Betriebsmitteln	198
Erstprüfung	198
Messung der Durchgängigkeit des Schutzleiters – R_{Low}	198
Messung des Isolationswiderstandes R_{ISO}	199
Isolationswiderstandsmessung von Fußböden und Wänden (Anlagen unter der Überwachung durch Elektrofachkräfte).....	200
Prüfung der Spannungspolarität	200
Prüfung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)	201
Messung des Netzzinnenwiderstandes Z_N	203
Messung der Schleifenimpedanz Z_{Sch}	203
Messung des Erderwiderstandes	205
Prüfung des Drehfeldes	205
Spannungsprüfung	206
Schutz gegen Restspannung	206
Prüfung elektrischer Geräte	207
Schutzleiterprüfung	207
Messung des Isolationswiderstandes	208
Messung des Schutzleiterstromes	209
Messung des Berührungstromes	209
Nachweis der sicheren Trennung bei SELV und PELV	210
Funktionsprüfung	210
Auswertung, Beurteilung, Dokumentation	210
Wiederkehrende Prüfungen	211
E-Check IT	211
Gebäudeschutz und Meldeeinrichtungen	212
Schutz- und Meldeeinrichtungen	212
Rauchmelder	212
Brandschutz	214
VdS-Sicherungsklassen	215
Symbole Gefahrenmeldeanlagen	216
Blitzschutz	217
Überspannungsschutz	218
Gebäudesystemtechnik	219
Merkmale	219
Komponenten der Gebäudeautomation	219
Ebenen	219
Smart-Home-Bussysteme im Überblick	220
Datenübertragung per Datenleitung	220
Datenübertragung per Powerline	220
Datenübertragung per Funk	220
Zentrale Gebäudeautomation	221
Dezentrale Gebäudeautomation	221

7

Gebäudetechnik KNX	222
Übertragungsmedien	223
Bussystem Twisted Pair (TP).....	223
Busteilnehmer (Auswahl).....	223
Busankoppler.....	224
Busleitung.....	224
Busklemme.....	224
Linien und Bereiche	224
Bereiche.....	226
Busstrukturen.....	226
Symbole für KNX-Komponenten.....	227
Adressierung.....	228
Physikalische Adresse	228
Gruppenadresse	228
Telegrammaufbau	229
Energie- und Strombedarf	229
KNX PL Bussystem Power Line (PL).....	230
KNX RF.....	230
LON – Local Operation Network.....	231
LCN – Local Control Network	232
DigitalSTROM.....	233
Shelly.....	234
Loxone.....	236
Hauskommunikationsanlagen.....	237
Hausrufanlage	237
Gegensprechanlage (gegenseitiger Anruf).....	238
Türsprechanlage.....	238
Übertragungstechniken.....	238
E-CHECK IT	241

Energieversorgung 242

Energieversorgung	243
Spannungsebenen	243
Netzformen der Versorgungsnetze	243
Intelligente Stromnetze.....	244
Ortsnetz-Trafostation mit Mittelspannungs-Schaltanlage	245
MS-Schaltanlage für Ortsnetzstationen	245
Mechanische Schalter	246
Lasttrennschalter	247
Schalter – Schaltzeichen	247
Netzschutz – Schutztechnik.....	248
Überstromschutz.....	248
Vergleichsschutz.....	249
Distanzschutz	249
Buchholzschutz.....	250
Sternpunktbehandlung in Mittel- und Hochspannungsnetzen	250
Schienenverteilersystem.....	251
Freileitungen	252
Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ).....	253
Verlegung von Erdkabeln	253
Muffen, Endverschluss	254
Verlegeregeln für Erdkabel	255
Steckvorrichtungen	256
Kompensation der induktiven Blindleistung.....	259
Parallel- und Reihenkompensation.....	259

8

Vorgehensweise am Beispiel der Einzelkompensation in Dreieckschaltung eines Motors	260
Arten der Blindleistungskompensation	260
Aufbau einer dynamischen Blindleistungskompensationsanlage (6-stufig).....	261
Filterkreisdrossel – verdrosselte Kondensatoren	262
Wichtige Hinweise zur Kompensation	263
Transformatoren.....	264
Aufbau und Funktion.....	264
Wichtige Größen eines Transformators.....	264
Bemessungsgrößen.....	265
Ersatzschaltbild.....	265
Kurzschlussspannung.....	265
Drehstromtransformatoren.....	266
Schaltgruppen von Drehstromtransformatoren	266
Leistungsschild	268
Parallelschaltung von Drehstromtransformatoren	268
Wirkungsgrad von Transformatoren	271
Prüfen von Transformatoren (Trockentransformatoren)	271
Gewinnung elektrischer Energie	272
Installierte Nettonennleistung in Deutschland	272
Kraftwerke in Deutschland.....	273
Strommärkte	274
Drehende Generatoren.....	275
Brennstoffzellen.....	275
Windenergie.....	276
Primärelemente	277
Sekundärelemente.....	278
Kenngrößen.....	280
Betriebsarten von Akkumulatoren.....	281
Recycling von Lithium-Ionen-Batterien	281
Photovoltaikanlagen.....	282
Aufbau Solarzelle.....	282
Arten Solarzellen	282
Bemessungsleistung.....	283
Solarzelle, Solarmodul.....	283
Schaltung von Solarmodulen.....	284
Bypassdioden	284
Kennlinien Solarzellen	284
Fachbegriffe.....	285
Wechselrichter	286
Aufbau einer PV-Anlage (indirekter Netzanschluss).....	287
Photovoltaiksysteme	287
Flächenbedarf bei einer PV-Anlage.....	288
Erdung und Potenzialausgleich	288
Auswahlhilfe Schutzmaßnahmen	291
Prüfen von PV-Anlagen	292
Prüfungsablaufplan von PV-Anlagen.....	292
Speicher am Niederspannungsnetz	295
Stromspeichertechnologien	295
Auswahl Speicherkapazität.....	295
Anschluss Batteriesystem.....	296
Elektromobilität.....	297
Elektrofahrzeuge.....	297
Schaltbild Ladestation.....	297
Ladeleistung	298

Ladezeit	298
Energieverbrauch	299
Energiekosten	299
Ladebetriebsarten	300
Funktion Ladecontroller	301
Funktion In-Cable Control Box (ICCB)	301
Ladesysteme	302
Ladesteckerarten	302
Anforderung Personenschutz	303
Widerstandscodierung Fahrzeugzustand (CP-PE)	303
Widerstandscodierung Ladestrom (PP-PE)	303
Blitz- und Überspannungsschutz Ladestation	304
Prüfen von Ladestationen	305
Prüfen von Ladekabeln	307
Lastmanagement	308
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	310
Wichtige Begriffe	310
Netzqualität	313
Elektrische Maschinen und Antriebe	314
Mechanische Projektierung	315
Translations- und Rotationsbewegungen	315
Kinetische Größen und Gesetze der Translation und Rotation	316
Mechanische Übertragungselemente	318
Ermittlung mechanischer Drehmomente und Leistungen	322
Allgemeines zu elektrischen Maschinen	329
Bestandteile einer elektrischen Maschine	329
Energieeffizienz	329
Leistungsschild	330
Verschaltung der Statorwicklung von Drehfeldmaschinen	330
Drehrichtung einer elektrischen Maschine	330
Bauformen	331
Nennbetriebsarten	333
Erwärmung elektrischer Maschinen	335
Thermische Klassen	335
Kühlung	335
Erstprüfung von elektrischen Maschinen	336
Wirkungsgrad	336
Grundlegende Formeln	337
Maschinenrichtlinie	338
Mögliche Fehler an elektrischen Maschinen	338
Elektrische Maschinen am Netz	339
Drehfeldmaschinen	339
Synchronmaschinen am Netz	343
Asynchronmaschinen am Netz	349
Schaltungen	353
Wechselstrommotoren	355
Gleichstrommotoren	357
Elektrische Maschinen am Frequenzumrichter	359
Asynchronmaschinen am Umrichter mit U/f-Betrieb	359
Servosynchronmaschinen (Bürstenlose Motoren)	366
Reluktanzmaschine	386
Schrittmotor	387

10

Automatisierungstechnik	388
Grundlagen Steuerungstechnik – Definitionen.....	389
Merkmale einer Regelung und Steuerung	389
Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe (EVA-Prinzip)	389
Merkmale eines Sensors	389
Merkmale eines Aktors	390
Sensoren.....	391
Pegel und Analogsignale	391
Befehlsgeber inkl. Farben.....	391
Aktive und passive Sensoren	392
Grenztaster/Endlagentaster.....	392
Näherungssensoren/Näherungsschalter	392
Reedkontakt/magnetischer Näherungsschalter.....	392
Magnetoresistive Näherungsschalter	393
Induktive Näherungsschalter	393
Kapazitive Näherungsschalter	393
Übersicht Näherungsschalter	394
Schaltabstände	395
Einbaubedingungen von Näherungssensoren	396
Anschluss von Näherungssensoren	396
Reihen- und Parallelschaltung von Sensoren	397
Allgemeine Spezifikationen von Sensoren	397
Optoelektronische Sensoren und Lichtschranken	398
Lichtschranken.....	398
Lichtvorhänge	400
Kontrastsensoren.....	400
Lichtleiter	401
Ultraschallsensoren	401
Temperatursensoren.....	402
PTC/PTC-Thermistor	402
NTC	403
Thermoelement.....	403
Pyrometer	404
Weg- und Winkelmessung	404
Ohmscher Wegaufnehmer	404
Magnetischer Wegaufnehmer.....	405
Induktiver Wegaufnehmer.....	405
Kapazitiver Wegaufnehmer	405
Optischer Wegaufnehmer.....	405
Drehzahlmessung.....	406
Dehnungsmessung.....	407
DMS-Messschaltungen (Messbrücken).....	408
Erfassung von Kraft, Moment und Beschleunigung	409
Drucksensoren.....	410
Füllstandsmessung.....	411
Durchflussmessung	412
RFID	413
Aktoren.....	414
Ventile (elektropneumatisch)	414
Visualisierung/Panels (HMI)	414
Elektromagnetisch betätigte Schalter: Übersicht, Aufbau und Wirkungsweise	415
Auswahlkriterien eines Schützes für die Anwendung	415
Leistungsschütz: Anschluss- und Kontaktbezeichnungen.....	416
Gebrauchskategorien Leistungsschütz	416

Hilfsschütz: Anschluss- und Kontaktbezeichnungen	417
Gebauchskategorien Hilfsschütz	417
Anschlussbezeichnung von Antrieben, Auslösern und Leuchtmeldern	417
Anschlussbezeichnung Hauptschaltglieder und Überstrom-Schutzeinrichtungen	418
Anschlussbezeichnungen für Hilfsschaltglieder	418
Kennbuchstaben und Anschlussbezeichnungen für Hilfsschütze	418
Kennzahlen der Hilfsschaltblöcke von Schützen	419
Relais, Relaiskontakte, Schutzarten, Kontaktpellen	419
Relaisarten: Mono, Bi, Reed	419
Zeitrelais: Multifunktionsrelais	420
Steuerungstechnik	421
VPS	421
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS/PLC)	431
Ablaufsprache (AS)	451
Verzweigungen in Ablaufsprache (AS) und GRAFCET	454
GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etapes Transitions)	456
Gegenüberstellung von Ablaufsprache (AS) und GRAFCET	462
Pneumatik und Hydraulik	463
Grafische Symbole	463
Ventilbetätigungsarten	465
Wegeventile Kurzbezeichnung und Anschlusskennzeichnung	465
Bauarten von Wegeventilen	465
Kennzeichnung einer pneumatischen Anlage nach Haupt- und Unterklassen	465
Kolbenkraft	466
Bestimmung der Kolbenkraft	466
Luftverbrauch	466
Spezifischer Luftverbrauch	466
Funktionsdiagramme, Darstellung, Symbole	467
Elektropneumatik	468
Magnetventile: Aufbau, Arten, Beispiel Wegeventile	468
Grundsaltungen der Elektropneumatik	469
Schaltungsbeispiel Elektropneumatikpresse	471
Pneumatikplan – Darstellung mit Haupt- und Unterklasse	472
Stromlaufplan – Darstellung mit Haupt- und Unterklasse	473
Hydraulik: Vor- und Nachteile, Einzylindersteuerung	474
Hydraulikzylinder	474
Hydroventile	475
Regelungstechnik	476
Regelkreis, Beispiel Drehzahlregelung mit FU und SPS	476
Wichtige Elemente einer Regelstrecke	476
Größen der Regelungstechnik	476
Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	477
Zeitverhalten von Führungsgrößen	477
Stetige Regeleinrichtungen	477
Stetige Regeleinrichtungen mit Operationsverstärker	481
Regelstrecken	482
Strecken ohne und mit Ausgleich	482
Zeitverhalten von Regelstrecken	482
Einstellung von Reglern	483
Verlauf eines Regelvorgangs	483
Reglereinstellung nach Ziegler und Nichols	483
Reglereinstellung nach Chien, Hrones und Reswick	484
Zweipunktregelung	484
Dreipunktregelung	485

12

Digitale Regelung	485
Digitaler PID-Regler	486
Bussysteme	487
Industriebussysteme	487
Feldbussysteme	488
ISO/OSI-Referenzmodell	489
Datenübertragungsmedien	489
Netzwerktopologien	490
Industrielle Bussysteme Überblick	490
Aktor-Sensor-Interface (ASI)	491
ASI-Safety (AS-Interface Safety at Work)	493
PROFIBUS (Process Field Bus)	493
PROFIBUS DP	493
MODBUS RTU	496
PROFINET	497
PROFINET IO	499
CAN-Bus	502
Prozessleittechnik	504
EMSR-Technik	504
Symbole für Bezugslinie, Wirkungsweg und Messort	504
Kennbuchstaben für die Darstellung von PCE-Aufgaben	505
Kennbuchstaben der PCE-Kategorie und PCE-Verarbeitungsfunktionen für Aktoren	505
Alte und neue Normenübersicht von PCE-Kategorien	506
Grafische Symbole für die Darstellung von Einzelheiten	507
Grafische Fließbildsymbole	509
Robotik	512
Allgemein	512
Fachbegriffe	512
Robotertypen und ihre Kategorisierung	513
Bauarten von Industrierobotern	513
Aufbau	515
Wirkschema	515
Arbeitsraum	516
Kategorisierung von Arbeitsplätzen mit Robotern	517
Bewegungsformen	518
Industrieroboter – Bewegungsarten	519
Industrierobotik – Sensorik (Auswahl)	520
Industrierobotik – Aktorik (Auswahl)	521
Industrierobotik – Endeffektoren	522
Programmiermethoden	523
Sicherheit von Steuerungen	525
Grundbegriffe, Normen, Gesetze	525
Risikoanalyse nach DIN EN ISO 12100	525
Performancelevel nach DIN EN ISO 13849-1	529
Not-Aus- und Not-Halt-Schutzelemente	532
Sicherheitsschaltgerät	533
Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen	535
Informationstechnik	536
Hardware	537
Aufbau eines Computer-Mainboards	537
Schnittstellen	539
Speichermedien	543

13

Flachbildschirme.....	547
Drucker	549
3D-Druck.....	551
Netzwerktechnik.....	553
LANs und WANs.....	553
Das Internet	554
Intranet und Extranet.....	554
Technologien für den Internetzugang	554
Netzwerkarchitektur.....	555
Home-Router	556
Netzwerkmedien.....	557
Netzwerkprotokolle.....	572
IT-Sicherheit.....	588
Python 3.....	591
Eigenschaften.....	591
Datentypen	591
Reservierte Wörter.....	591
Operatoren.....	591
Interaktives Python	592
Unveränderbare und veränderbare Datentypen.....	592
Zuweisungsoperatoren.....	592
Boolesche Operatoren und Wahrheitswerte.....	592
Implementierungen Boolescher Operatoren.....	593
Logische Operatoren	593
Kontrollstrukturen.....	594
Operatoren.....	595
Ausnahmebehandlung.....	596
Python Package Installer (pip).....	596
Virtuelle Python-Umgebungen.....	597
Objektorientierte Programmierung.....	597
Vererbung, Polymorphie und Überschreibung.....	598
Abstrakte Klassen und abstrakte Methoden.....	598
Mehrfachvererbung.....	599
Kapselung.....	599
Dateioperationen	600
Weitere Funktionen und Methoden von Listen	600
Slicing	601
Slicing für Strings.....	602
Dictionary.....	602
Set	603
Frozenset.....	603
List- und Dictionary-Comprehension	603
Raspberry Pi 5.....	605
Datenschutz, Datensicherheit.....	608
Datenschutz.....	608
Datensicherheit.....	608
IT-Grundschutz	609
Datenschutzstrategie.....	610
Datenschutz-Grundverordnung	610
Personenbezogene Daten	611
DSGVO – TOM.....	612
KI-Act.....	613

Industrie 4.0	614
Definition Industrie 4.0	615
Cyberphysisches System (CPS).....	615
Datenfluss Industrie 4.0.....	615
Industrial Internet of Things (IIoT)	615
Smart Factory	616
Smart Product.....	616
Smart Product: Losgröße 1	617
Cloud Computing	617
Edge Computing	617
Big Data	618
Künstliche Intelligenz (KI)	618
Machine Learning	618
Deep Learning	618
RAMI 4.0	619
RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0).....	619
RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0): erste Dimension	619
RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0): zweite Dimension	620
RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0): dritte Dimension	620
Horizontale und vertikale Integration	620
Asset.....	620
Supply Chain Management	621
Deterministische Interaktion	621
Datengetriebene Entscheidungsfindung.....	621
Predictive Maintenance	621
Simulation/Digitale Zwillinge (Digital Twins)	622
M2M-Kommunikation (Machine-to-Machine-Kommunikation).....	622
Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR)	622
Cybersicherheit	623
Berufsübergreifende Qualifikationen	624
Wirtschaft, Recht, Unternehmen	625
Produktionsfaktoren, Betrieb und Unternehmung	625
Rechtsformen der Unternehmung	626
Umwelt und Betrieb	627
Arbeitsvertrag	627
Arbeitszeit	628
Arbeitszeugnis	628
Arbeitsschutz	628
Kündigung.....	629
Weiterbildung.....	629
Kernqualifikationen	629
Arbeitsgericht.....	630
Sozialgericht.....	630
Tarifrecht.....	630
Tarifverhandlung	630
Tarifvertragsarten.....	630
Entgelt.....	631
Entgeltabrechnung.....	631
Versicherungsarten, Versicherungsprinzipien	631
Gesetzliche Sozialversicherung.....	632
Betriebsrat (BR).....	633

Rechtsfähigkeit	634
Rechtsgeschäfte	634
Geschäftsfähigkeit	634
Besitz und Eigentum	634
Betriebliche Kennzahlen	635
Kalkulation	635
Kaufvertrag	637
Abschreibung	637
Qualitätsmanagement	638
Qualitätssicherung	638
Qualitätsmerkmale	638
Qualitätssicherungsmaßnahmen	638
Qualitätslenkung	639
Ursachen-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm)	639
Paretodiagramm	639
Fehlersammelliste	640
Histogramm	640
Korrelationsdiagramm	640
Qualitätsmerkmale	640
Statistik	641
Grundbegriffe des QM	645
Projektmanagement	648
Definition Projekt	648
Definition Projektmanagement	648
Projektorganisation	648
(Magisches) Projektdreieck	648
Vorgehensmodelle	648
Anforderungsdokumentation	649
Abwicklung eines Projektes	649
Projektmanagementmethoden	650
Stakeholderanalyse	651
SWOT-Analyse	651
Risikomanagement	651
Arbeitssicherheit	652
Arbeiten an elektrischen Anlagen	652
Unterspannungsetzen nach beendeter Arbeit	652
Arbeiten unter Spannung	653
Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen	653
Sicherheitskennzeichen	654
Warnzeichen	654
Verbotszeichen	654
Gebotszeichen	655
Brandschutzzeichen	656
Rettungszeichen	656
Kennzeichnung von Druckgasflaschen	656
Piktogramme Leitern	656
Prüfzeichen	657
Risikosätze für Gefahrstoffe (H-Sätze)	657
Sicherheitsratschläge für Gefahrstoffe (P-Sätze)	658
GHS/CLP	659
GHS-Symbole/GHS-Signalwörter	659
GHS – Hinweise	659
Gefahrenkennzeichnungen nach GHS	659
Kennzeichnung von Rohrleitungen	660

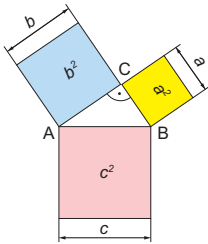
16

Gefahrstoffe am Arbeitsplatz	660
Schutz vor Gefahrstoffen am Arbeitsplatz	661
Lärmschutz	661
Persönliche Schutzausrüstung	662
Qualifikationen	662
Verhalten in Notfällen	663
AED	664
Unfälle durch elektrischen Strom	664
Umweltschutz	665
Entsorgung von Abfällen	665
Tätigkeiten mit Asbest	665
Nachhaltigkeit	666
Verwertung, Entsorgung, Elektroschrott	668
Verpackungsgesetz	669
Recycling von Kunststoffen und Metallen	669
Technische Dokumentation	670
Normung	671
Technisches Zeichnen	671
Papierformate	671
Beschriftung	671
Maßstäbe	672
Linien	672
Projektionen	672
Körperansichten	673
Bemaßung	673
Gewinde	675
Darstellung elektrischer Objekte	676
Leiter und Leiteranschlüsse	676
Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel bis 2000	676
Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel (Objekte) – aktuelle Norm	677
Kennbuchstaben zur Objektklassifizierung – Eingangsklassen Tabelle 2	678
Klassifizierungsschema laut Tabelle 3 (Auswahl)	679
Klassifizierungsschema für Räume laut Tabelle 4 (Auswahl)	682
Kennbuchstaben gemessener Variablen	683
Kennzeichnung in fluidtechnischen Systemen	683
Darstellung nach DIN ISO 1219	684
Kennzeichnung einer pneumatischen Anlage nach Haupt- und Unterklassen	684
Kennzeichnung einer Hydraulikanlage nach Haupt- und Unterklassen	685
Stromlaufpläne	686
Regeln für Stromlaufpläne	686
Übersichtsschaltplan	686
Betriebsmittelanschlüsse	686
Darstellung mit Betriebsmittelanschlüssen	687
Technische Daten und Fertigungshinweise	687
Leitungsverbindungen	687
Öffner und Schließer	687
Klemmen	687
Klemmverbindungen	687
Lage der Betriebsmittel	689
Hauptstromkreis und Steuerstromkreis	690
Anschlussstabelle (Klemmenplan)	692
Kabelplan	692
Anordnungsplan	692

	17
Stromlaufpläne.....	693
Ortsbezogene Pläne.....	693
Programmablaufplan (Flussdiagramm).....	694
Elementare Programmstrukturen.....	695
Instandhaltung	696
Elementare Programmstrukturen.....	696
Dokumentation.....	698
Dokumentation eines betrieblichen Auftrags	699
Betriebsanleitung.....	700
Bedienungsanleitung.....	700
Kurzanleitung.....	700
Produktinformation.....	700
Lastenheft, Pflichtenheft	701
Sachwortverzeichnis	702
Normenverzeichnis	723

Mathematische Grundlagen

Satz des Pythagoras



In einem rechtwinkligen Dreieck ist die Summe der Flächen der beiden Kathetenquadrate gleich der Fläche des Hypotenusenquadrates.

1 $c^2 = a^2 + b^2$

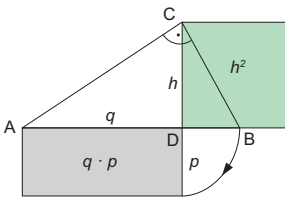
$a = \sqrt{c^2 - b^2}$

$b = \sqrt{c^2 - a^2}$

$c = \sqrt{a^2 + b^2}$

a, b Katheten
 c Hypotenuse (längste Seite)

Höhensatz



In einem rechtwinkligen Dreieck ist das über der Höhe gebildete Quadrat genauso groß wie das Rechteck, welches sich aus den Hypotenusenabschnitten p und q bilden lässt.

2 $h^2 = p \cdot q$

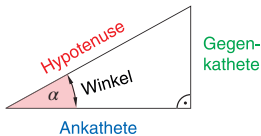
$h = \sqrt{p \cdot q}$

$p = \frac{h^2}{q}$

$q = \frac{h^2}{p}$

h Höhe
 p, q Hypotenusenabschnitte

Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck



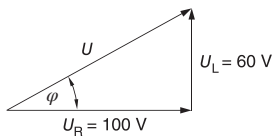
3 $\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$

5 $\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$

4 $\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$

6 $\cot \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$

Beispiel



$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$

$\cos \varphi = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{U_R}{U}$

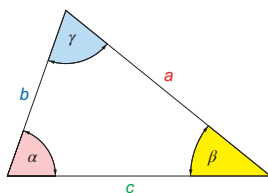
$U = \sqrt{(100 \text{ V})^2 + (60 \text{ V})^2} = 116,6 \text{ V}$

$\cos \varphi = \frac{100 \text{ V}}{116,6 \text{ V}} = 0,857$

$\varphi = 31^\circ$

Bestimmen Sie U und phi.

Winkelfunktionen im schiefwinkligen Dreieck



Sinussatz

7 $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta}$

8 $\frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$

9 $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{c}{\sin \gamma}$

Kosinussatz

10 $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha$

11 $b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos \beta$

12 $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma$

Tangensatz

13 $\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{\alpha+\beta}{2}}{\tan \frac{\alpha-\beta}{2}}$

14 $\frac{b+c}{b-c} = \frac{\tan \frac{\beta+\gamma}{2}}{\tan \frac{\beta-\gamma}{2}}$

15 $\frac{c+a}{c-a} = \frac{\tan \frac{\gamma+\alpha}{2}}{\tan \frac{\gamma-\alpha}{2}}$

Elektrotechnische Grundlagen

Formeln der Elektrotechnik

Drehstromtechnik

Sternschaltung, Ausfall eines Außenleiters

$$I_2 = \frac{U_{Str}}{R_2} \quad I_3 = \frac{U_{Str}}{R_3}$$

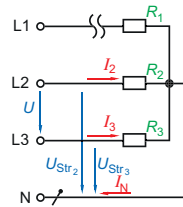
Wenn zusätzlich der Neutralleiter unterbrochen ist gilt:

$$I_2 = I_3 = \frac{U}{R_2 + R_3}$$

$$P' = \frac{2}{3} \cdot P$$

P' Leistung bei Ausfall eines Außenleiters in W
 P Leistung bei Normalbetrieb in W
 Bei Ausfall von zwei Außenleitern reduziert sich die Leistung auf

$$P' = \frac{1}{3} \cdot P$$



Sternschaltung, unsymmetrische Belastung mit N-Leiter

An jedem Widerstand liegt die Strangspannung.

$$U_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

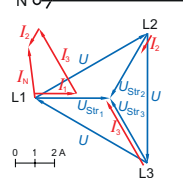
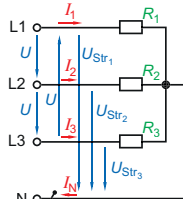
Ströme:

$$I_1 = \frac{U_{Str}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_{Str}}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U_{Str}}{R_3}$$

Der Strom I_N kann durch ein maßstäbliches Zeigerbild ermittelt werden.



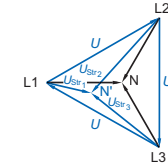
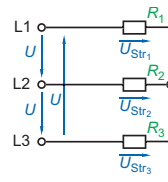
Sternschaltung, unsymmetrische Belastung ohne N-Leiter

Die Außenleiterspannungen sind konstant. Die Strangspannungen sind abhängig von den Strangwiderständen und bei unsymmetrischer Belastung unterschiedlich groß.

Je größer der Strangwiderstand, umso größer ist die Strangspannung. Der Sternpunkt wird verschoben.

$$S = S_{Str1} + S_{Str2} + S_{Str3}$$

S Scheinleistung in VA



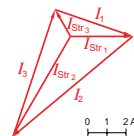
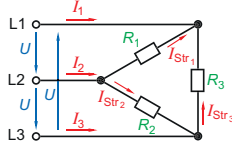
Dreieckschaltung – unsymmetrische Belastung

$$I_{Str1} = \frac{U}{R_1}$$

$$I_{Str2} = \frac{U}{R_2}$$

$$I_{Str3} = \frac{U}{R_3}$$

Die Außenleiterströme können aus den Strangströmen mithilfe eines maßstäblichen Zeigerbildes ermittelt werden.



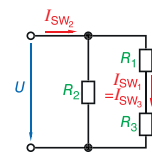
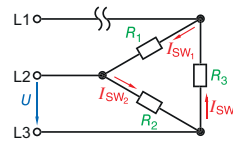
Dreieckschaltung – Ausfall eines Außenleiters

$$I_{Str2} = \frac{U}{R_2}$$

$$I_{Str1} = I_{Str3} = \frac{U}{R_1 + R_3}$$

$$P' = \frac{1}{2} \cdot P$$

P' Leistung bei Ausfall eines Außenleiters in W
 P Leistung bei Normalbetrieb in W



Kompensation

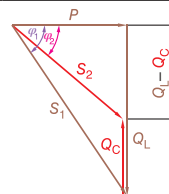
Kondensatoren in Sternschaltung

$$C_Y = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{\omega \cdot U^2}$$

Kondensatoren in Dreieckschaltung

$$C_\Delta = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{3 \cdot \omega \cdot U^2}$$

- C_Y Kompensationskondensator (Stern) in F
- C_Δ Kompensationskondensator (Dreieck) in F
- φ_1 Winkel vor Kompensation
- φ_2 Winkel nach Kompensation
- P elektrische Leistung in W
- ω Kreisfrequenz in $\frac{1}{s}$
- U Außenleiterspannung in V

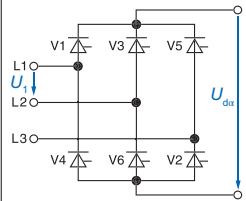
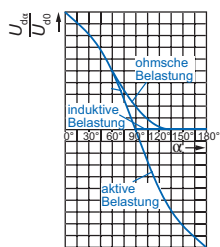
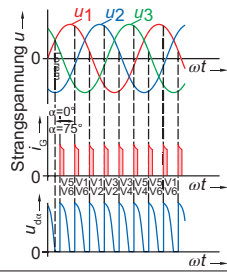
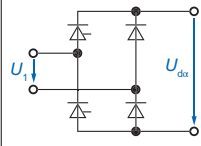
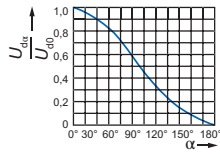
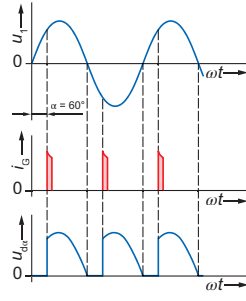
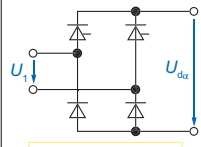
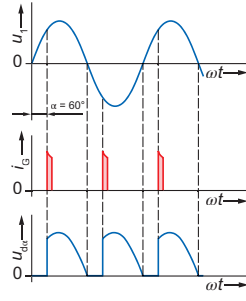


Elektrotechnische Grundlagen

Formeln der Elektrotechnik

Stromrichter

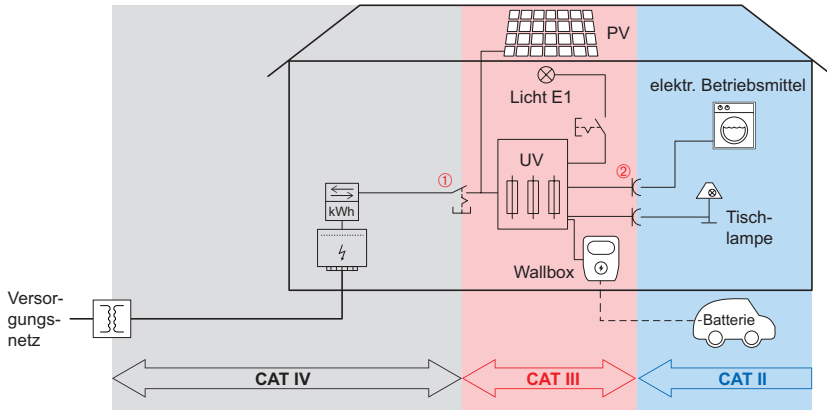
Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter, gesteuert

Bezeichnung	Schaltung	Steuerkennlinien	Hinweis
B6C Sechspuls- Brücken- schaltung	 <p>Steuerwinkel $\alpha = 0$</p> $U_{d0} = 1,35 \cdot U_1$ <p>Steuerwinkel $\alpha = 60U_{d0}$ bis 120°</p> $U_{dk} = 0,5 \cdot U_{d0} \cdot [1 + 1,154 \cdot \cos(30^\circ + \alpha)]$	 <p>Ohmsche Last ($\alpha = 75^\circ$)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Erst ab $\alpha \geq 60^\circ$ ist Lückbetrieb möglich • Transformatorbauleistung relativ gering • Bedeutung vor allem bei Gleichstromantrieben $U_N > 300\text{ V}$
B2HZ Halbge- steuerte Brücken- schaltung	 $U_{d0} = 0,9 \cdot U_1$ $\frac{U_{dk}}{U_{d0}} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$	 	<ul style="list-style-type: none"> • Beide Thyristoren sind in einem Stromrichterzweig angeordnet (B2 HZ) • Leistung bis etwa 10 kW • Interner Freilaufkreis (Entlastung der Stromrichter bei Teilansteuerung)
B2HK Halbge- steuerte Zweipuls- Brücken- schaltung	 $U_{d0} = 0,9 \cdot U_1$ $\frac{U_{dk}}{U_{d0}} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$		<ul style="list-style-type: none"> • Die beiden Thyristoren sind kathodenseitig zusammengeschaltet • Leistung bis etwa 10 kW, eine Energieflussrichtung • Geringe Anforderungen an die Welligkeit • Für Steuerbereich bis Null ist eine Freilaufdiode notwendig

Messtechnik

Messkategorien (CAT)

DIN EN IEC 61010 VDE 0411



In der Norm DIN EN IEC 61010 VDE 0411 und ihren Unterteilen ist festgelegt, welche Sicherheitsanforderungen für Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte gelten. Sie gelten sowohl für Prüf- und Messschaltungen als auch Mess- und Prüfgeräte. Ziel ist dabei die Aufrechterhaltung des Schutzes gegen Stromschlag bei normalem Betrieb aber auch Fehlern wie Unterbrechungen, Überlast aber auch Erd- und Kurzschlüssen. Die Auslegung der Geräte erfolgt in Messkategorien, den CAT-Einstufungen. Die Messkategorien berücksichtigen:

- Transiente Überspannungsspitzen
- Kurzschlussstromwerte
- Den Standort in der Gebäudeinstallation, an dem die Prüfung oder Messung durchgeführt werden soll
- Einige Formen der Energiebegrenzung oder des Transientenschutzes, die in der Gebäudeinstallation vorhanden sein können

Messkategorie	Beschreibung
CAT II	Gilt für Prüf- und Messstromkreise, die direkt an Verbrauchsstellen (z. B. Steckdosen, jedoch ohne installierte Beleuchtung) der Niederspannungsanlage angeschlossen sind ②.
CAT III	Anwendbar auf Prüf- und Messstromkreise, die zwischen Messkategorie II und Messkategorie IV der Niederspannungsanlage des Gebäudes verbunden sind. Hierzu gehören neben den fest installierten Systemen des Gebäudes auch z. B. die PV-Anlage oder die Wallbox für ein E-Fahrzeug. (Die Zuleitung und das Fahrzeug mit seiner Batterie wird hingegen der Messkategorie II zugeordnet.)
CAT IV	Betrifft Prüf- und Messstromkreise, die zwischen der Niederspannungsquelle des Gebäudes und dem ersten zugänglichen Trennschalter ① angeschlossen sind. Dieser Trennschalter trennt alle Netz- und Neutralleiterverbindungen. In diesen Stromkreisen können hohe Kurzschlussströme von über 50 kA auftreten, was bei einem Kurzschluss zu gefährlichen Lichtbögen führen kann.

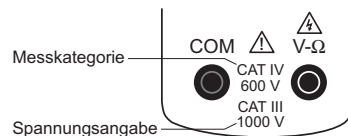
Spannungsangaben

Für jede Kategorie wird eine Spannung angegeben, die der maximal zulässigen Phase-Erde-Systemspannung entspricht. Übliche Spannungen sind 50 V, 100 V, 150 V, 300 V, 600 V oder 1000 V.

Eine CAT-Einstufung ohne zugehörige Spannung ist nicht aussagekräftig.

CAT-Einstufung

Die Einstufung eines Mess- oder Prüfgerätes erfolgt durch die Messkategorie und Spannungsangabe. Eine Angabe mehrerer Einstufungen mit unterschiedlichen Spannungsangaben ist möglich.








Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag DIN VDE 0100-410

Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) VDE 0470-1

IP-Code (International Protection) ist ein Kurzzeichen und kennzeichnet die Stärke des Schutzes gegen das Eindringen von Staub und Wasser mit 2 Ziffern.

- **Kennziffer 1:** Schutz vor Berührung gefährlicher Gehäuseteile und Eindringen fester Fremdkörper.
- **Kennziffer 2:** Schutz vor Wassereintritt.

Der **zusätzliche** und der **ergänzende Buchstabe** dienen der Erläuterung der Kennziffern und werden selten verwendet (optional).

1. Ziffer	Berührungs- und Fremdkörperschutz	Bild-zeichen	2. Ziffer	Wasserschutz	Bild-zeichen	
Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ...			Schutz gegen ...			
IP0X	Nicht geschützt		IPX0	Nicht geschützt		
IP1X	≥ 50 mm	–	IPX1	Senkrecht tropfendes Wasser		
IP2X	≥ 12,5 mm	–	IPX2	senkrecht tropfendes Wasser, Betriebsmittel bis 15° geneigt	–	
IP3X	≥ 2,5 mm	–	IPX3	Sprühwasser (Regen) bis zu einem Winkel von 60° zur senkrechten		
IP4X	≥ 1 mm	–	IPX4	Spritzwasser aus allen Richtungen		
IP5X	staubgeschützt		IPX5	Strahlwasser (Düse) aus allen Richtungen		
IP6X	staubdicht		IPX6	starker Wasserstrahl oder schwere See aus allen Richtungen	–	
3. Ziffer: Schutz gegen Zugang mit ...		4. Ziffer: Speziell für...		IPX7	Wasser beim Eintauchen unter Druck – Zeitbedingungen	
A	Handrücken	H	Betriebsmittel für Hochspannung	IPX8	andauerndes Untertauchen des Betriebsmittels	
B	Finger	M	Bewegung während Wasserprüfung			
C	Werkzeug	S	Stillstand während Wasserprüfung	IPX9	Hochdruck und hohe Strahlwassertemperaturen	–
D	Draht	W	Wetterbedingungen			

Zusätzlicher Schutz DIN VDE 0100-410

Ein **zusätzlicher Schutz** ist unter bestimmten Bedingungen von äußeren Einflüssen und in besonderen Bereichen nach DIN VDE 0100 Gruppe 700 erforderlich.

Zusätzlicher Schutz durch: Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta N} \leq 30$ mA

RCD **ergänzt** die vorhandene Schutzmaßnahme und begrenzt die Einwirkdauer des Stroms auf den menschlichen Körper. Ein RCD $I_{\Delta N} \leq 30$ mA am Eingang eines Endstromkreises darf gleichzeitig **Fehlerschutz** und **zusätzlichen Schutz** gewährleisten. Zulässig sind: RCD ohne integrierten Überstromschutz (RCCB) oder mit integrierten Überstromschutz (RCBO) nach VDE 0664-10.

Zusätzlicher Schutz durch: zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich

- Es umfasst die elektrische Verbindung aller gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teile, einschließlich der Körper fest installierter elektrischer Betriebsmittel und fremder leitfähiger Teile wie metallischer Rohrleitungen und, soweit möglich, der metallischen Hauptbewehrung des Stahlbetons bis hin zu den Schutzleitern aller elektrischen Betriebsmittel und Schutzleitern der Steckdosen.
- in speziellen Betriebsbereichen z. B. Schwimmbädern gefordert
- Querschnitt der Leitung (DIN VDE 0100-701):
 geschützte Verlegung: $A_{Kupfer} \geq 2,5 \text{ mm}^2$
 ungeschützte Verlegung: $A_{Kupfer} \geq 4 \text{ mm}^2$

Der Widerstand R zwischen gleichzeitig berührbaren Körpern und fremden leitfähigen Teilen muss folgende Bedingung erfüllen:

Wechselspannung (AC)

$$1 \quad R \leq \frac{50 \text{ V}}{I_a}$$

Gleichspannung (DC)

$$2 \quad R \leq \frac{120 \text{ V}}{I_a}$$

Schutzeinrichtungen

Fehlerstromformen und geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)

RCD-Typen		Ersatzschaltbild mit Fehlerstrom	Laststrom i_L	Fehlerstrom i_F		
A	F				B	B+
●	●	●	●	●	<p>einphasig ohne Gleichrichtung</p>	
●	●	●	●	●	<p>Phasenanschnittsteuerung</p>	
●	●	●	●	●	<p>Burst-Steuerung</p>	
●	●	●	●	●	<p>einphasig</p>	
●	●	●	●	●	<p>Zweipulsbrückenschaltung</p>	
●	●	●	●	●	<p>Zweipulsbrückenschaltung halbgesteuert</p>	
	●	●	●	●	<p>Frequenzrichter mit Zweipulsbrückenschaltung</p>	
	●	●	●	●	<p>einphasig mit Glättung</p>	
	●	●	●	●	<p>Frequenzrichter mit Zweipulsbrückenschaltung und PFC-Stufe</p>	
	●	●	●	●	<p>Zweipulsbrückenschaltung zwischen Außenleitern</p>	
	●	●	●	●	<p>Frequenzrichter mit Zweipulsbrückenschaltung zwischen Außenleitern</p>	
	●	●	●	●	<p>Drehstrom-Sternschaltung</p>	

Elektrische Anlagen

Leitungen und Kabel

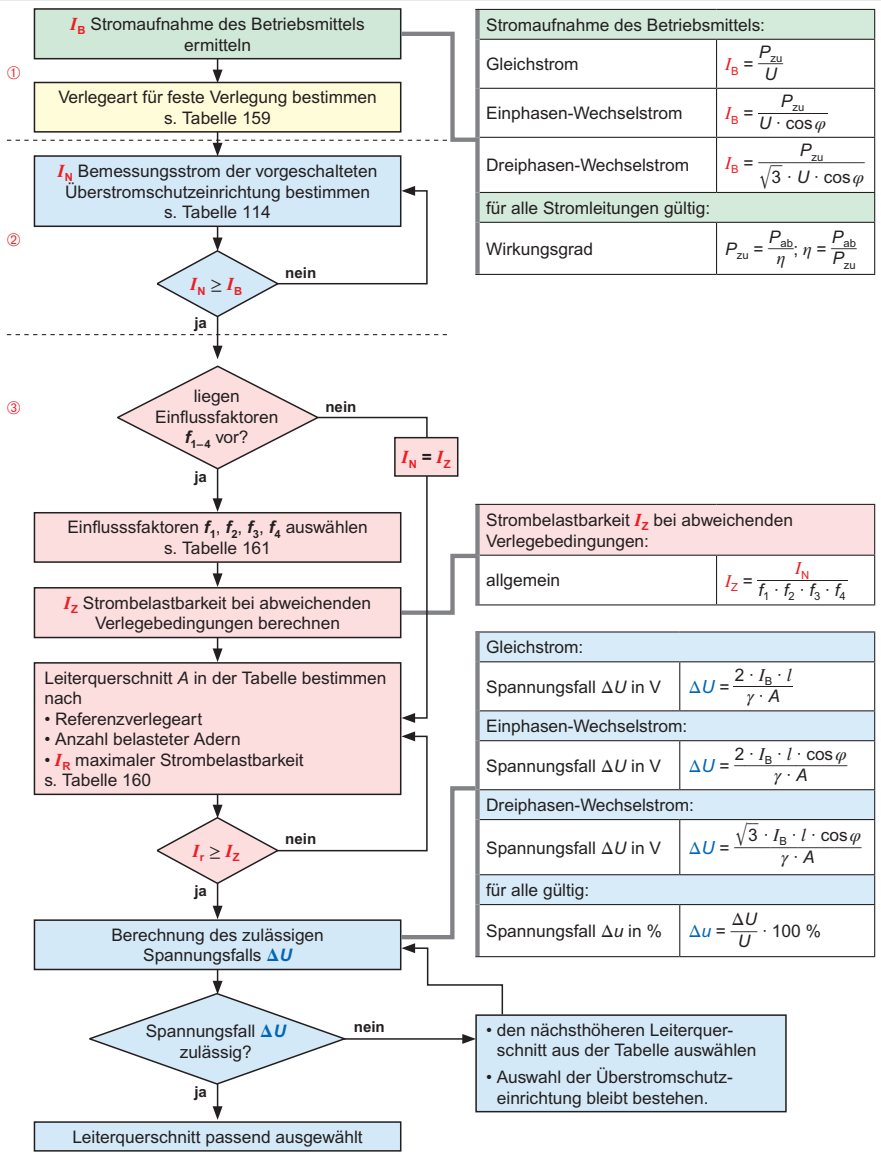
Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnittes A mit Einflussfaktoren

Ablaufplan

Bedingung: $I_B \leq I_N \leq I_Z (I_R)$

① ② ③

Elektrische Anlagen



Licht- und Beleuchtungstechnik

Berechnung der Leuchten- bzw. Leuchtmittelanzahl nach dem Wirkungsgradverfahren

Beispielaufgabe zur Ermittlung der Leuchtmittelanzahl nach dem Wirkungsgradverfahren

Gegeben ist eine Ausbildungswerkstatt mit den Abmessungen von 27 m Breite und 12 m Tiefe und einer Höhe der Leuchtmittel über dem Arbeitsbereich (auch Nutzebene genannt) von 2,7 m. Es werden LED-Röhren (37 W) mit einem Lichtstrom von 10400 lm verwendet. Die Leuchten sind vorwiegend direkt, breitstrahlend, in Wannenförmig und prismatisch. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad beträgt 0,65. Der Raum ist sauber (Wartungsfaktor $WF = 0,67$) und Decke, Wand und Boden sind in hellgrauer Farbe gehalten.

Elektrische Anlagen

Ablaufschritte

Berechnung/Ergebnis

- 1.** Wertungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_v nach DIN EN 12464-1 aus Tabellenbuch

500 lx (da Ausbildungswerkstatt)
- 2.** Einfluss der Raumgeometrie auf den Raumwirkungsgrad → Raumindex k berechnen

Arbeitsbereich

$$k = \frac{l \cdot b}{(l + b) \cdot h}$$

$$k = \frac{27 \text{ m} \cdot 12 \text{ m}}{(27 \text{ m} + 12 \text{ m}) \cdot 2,7 \text{ m}} = 3,08$$
- 3.** Reflexionsgrade ρ aus Tabelle

$\rho_{\text{Decke}} = \rho_{\text{Wand}} = \rho_{\text{Boden}} = 0,4 \dots 0,55$ (da hellgrau)
- 4.** Raumwirkungsgrad η_R in Abhängigkeit der Reflexionsgrade und des Raumindex k aus dem Datenblatt der Leuchte ablesen

Lichtverteilung direkt, Raumindex $k = 3$
 Spalte: $\rho_{\text{Decke}} = \rho_{\text{Wand}} = 0,5$; $\rho_{\text{Boden}} = 0,3$

Lichtstärkeverteilungskurven, Raumwirkungsgrad und Leuchtenbetriebswirkungsgrad									
Reflexionsgrade ρ , Raumindex k und Raumwirkungsgrad η_R									
Reflexionsgrade ρ	Raumindex k								
Decke ρ_1	0,8			0,5			0,3		
Wände ρ_2	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1
Boden ρ_3	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
Raumindex k	Raumwirkungsgrad η_R in %								
0,6	41	39	31	30	37	35	29	28	27
1,0	59	55	49	46	52	50	44	43	41
1,5	74	67	64	60	66	61	58	55	52
2,0	83	74	73	67	73	68	66	62	59
3,0	95	83	87	77	83	76	77	71	68
5,0	106	91	99	86	91	83	87	80	76

vorwiegend direkt, breitstrahlend

Leuchte	Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} in %
Nurglasleuchte, Glühlampe	70
Wanne, prismatisch	65
Wanne, opal	50

Raumwirkungsgrad $\eta_R = 0,83$
- 5.** Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} aus Datenblatt und Beleuchtungswirkungsgrad η_B berechnen

$\eta_{LB} = 0,65$ (da Wanne, prismatisch)
 $\eta_B = \eta_R \cdot \eta_{LB}$
 $\eta_B = 0,83 \cdot 0,65 = 0,5395$
- 6.** Wartungsfaktor aus Tabelle

Wartungsfaktor (WF) = 0,67 (aus den Referenz-Wartungsfaktoren für saubere Räume entnommen)
- 7.** Lichtstrom Φ_{La} je Leuchtmittel notieren

$\Phi_{La} = 10400 \text{ lm}$ (hier aus der Aufgabenstellung entnommen, alternativ aus Herstellerunterlagen)
- 8.** Leuchtmittelanzahl n berechnen

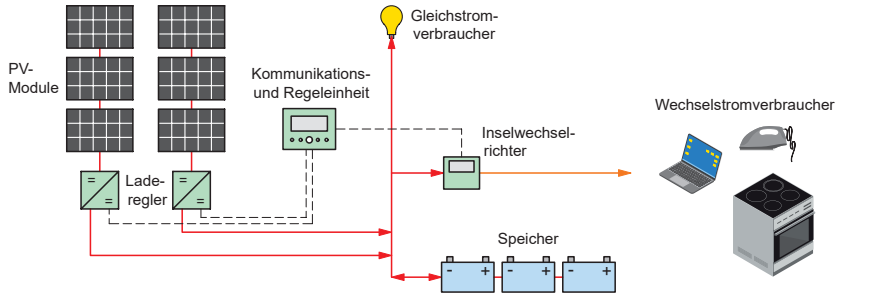
$$n = \frac{\bar{E}_v \cdot A}{\Phi_{La} \cdot \eta_B \cdot WF} \quad n = \frac{500 \text{ lx} \cdot 324 \text{ m}^2}{10400 \text{ lm} \cdot 0,5395 \cdot 0,67} \approx 43 \text{ Leuchtmittel}$$

288

Photovoltaikanlagen DIN VDE 0100-112, 2022-10

Photovoltaiksysteme

Inselanlage



- PV-Inselanlagen benötigen keine Anmeldung beim Versorgungsnetzbetreiber, da sie nicht mit dem öffentlichen Niederspannungsnetz verbunden sind.
- Die Anlagen sind nicht anmeldepflichtig.

Vorteile:

- Unabhängigkeit vom öffentlichen Stromnetz
- ideal für abgelegene Gebiete oder Orte ohne Stromversorgung.
- umweltfreundlich und Nutzung erneuerbarer Energie
- niedrige Betriebskosten nach der Installation
- Notstromversorgung bei Stromausfällen

Nachteile:

- hohe anfängliche Kosten für die Installation
- Energieerzeugung abhängig von Wetter und Tageslichtdauer
- begrenzte Leistungsfähigkeit für energieintensive Anwendungen
- Batterien erfordern regelmäßige Wartung und Ersatz.
- nicht für alle Anwendungsfälle geeignet

Flächenbedarf bei einer PV-Anlage

Spitzenleistung des Solarmoduls

1 $P_M = G_N \cdot \eta_M$

Gesamtfläche der PV-Anlage

2 $A_g = n \cdot A_M$

benötigte Dach- oder Landfläche

3 $A_L = L_F \cdot A_g$

- P_M Spitzenleistung des Solarmoduls
- P_g Spitzenleistung des Solargenerators
- η_M Wirkungsgrad des Solarmoduls
- G_N globale Beleuchtungsstärke
- n Anzahl der Solarmodule

Wirkungsgrad

5 $\eta = \frac{P_G}{P_M}$

globale Bestrahlungsfläche
(ca. 1 kW/m²)

5 $G_N = \frac{P_G}{A_g \cdot \eta_M}$

- L_F Landfaktor (2 bis 3)
- A_g Gesamtfläche des Solargenerators
- A_L Land- oder Dachfläche
- A_M Fläche eines Solarmoduls

Erdung und Potenzialausgleich

DIN VDE 0100-112, 2016-10; DIN EN 62446-1: 2019-04

Schutz gegen Überspannungen in PV-Anlagen:

- PV-Anlagen können Überspannungen ausgesetzt sein.
- verschiedene Arten von Solaranlagen: Aufdach-, Freiflächen- und Inselanlagen
- DIN EN-Normen erfordern Blitzschutz-Potenzialausgleich zwischen diesen Systemen.
- Potenzialausgleich verbindet:
 - Metallteile der Gebäude,
 - Metallrohre und
 - Leitungen (Energie und Daten).
- Trennungsabstand zwischen PV- und Blitzschutzanlage verhindert Überspannungsverschleppung.

Energie-
versorgung

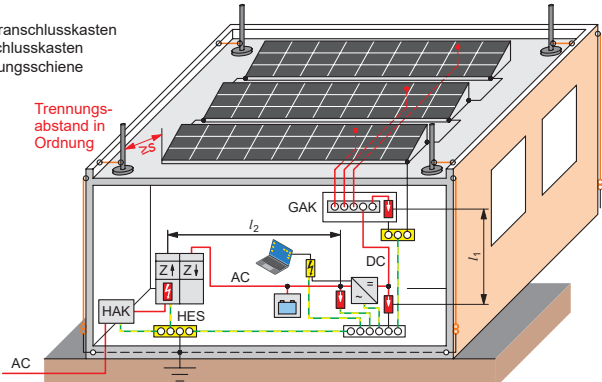
290

Photovoltaikanlagen DIN VDE 0100-112, 2022-10

Erdung und Potenzialausgleich DIN VDE 0100-112, 2016-10; DIN EN 62446-1: 2019-04

Photovoltaikanlage auf Gebäude – Potenzialausgleich mit Blitzschutz

GAK = Generatoranschlusskasten
 HAK = Hausanschlusskasten
 HES = Haupterdungsschiene
 Z = Zähler

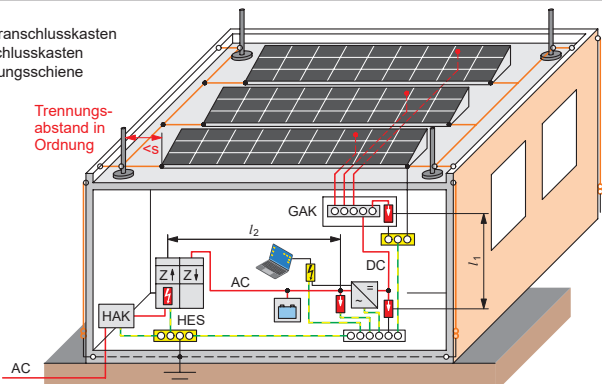


Wenn ein Trennungsabstand zwischen der PV-Anlage und den Blitzableitern besteht:

- Trennungsabstand s zwischen PV-Anlage und Blitzschutzanlage einhalten.
- Der Trennungsabstand beschreibt den notwendigen Abstand, der verhindert, dass es bei einem Blitzschlag in den äußeren Blitzschutz zu einer unkontrollierten Überspannung in benachbarten metallenen Teile kommt.
- Trennungsabstand ist individuell und muss berechnet werden (häufig ist der zwischen 0,5–1 m).
- Fangeinrichtung der Blitzschutzanlage über Ableitungen mit dem Fundamente der verbinden.
- Funkenbildung bei Blitzeinschlag auf die PV-Anlage verhindern.
- Metallene Teile der PV-Anlage über die Potenzialausgleichsschiene mit der Haupterdungsschiene (HES) verbinden, um die Funktionserdung herzustellen.

Gemeinsamer Blitzschutz-Potenzialausgleich bei geringem Abstand zwischen PV-Anlage und den Fangspitzen

GAK = Generatoranschlusskasten
 HAK = Hausanschlusskasten
 HES = Haupterdungsschiene
 Z = Zähler



Wenn kein Trennungsabstand zwischen der PV-Anlage und den Blitzableitern besteht:

- Metallene Komponenten des PV-Montage-Systems müssen mit einer blitzstromtragfähigen Verbindung verbunden werden.
- Querschnitt der Ableitungen muss $A \geq 16 \text{ mm}^2$ (Kupfer) oder gleicher Leitwert betragen.

Energie-
versorgung

330

Allgemeines zu elektrischen Maschinen

Leistungsschild DIN EN 60034-1

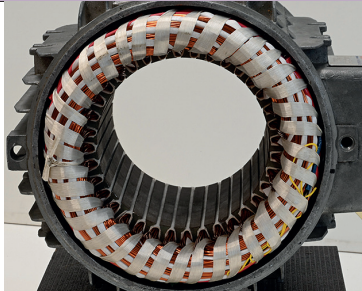
Bauform B = horizontal V = vertikal	3 Fußaufstellung	Baufgröße Wellenhöhe 200 mm	Baulänge Paketlänge S, M, L	Polzahl 2-polig	Maschinenart Motor oder Generator																				
International Mounting	<p style="text-align: center;">THREE PHASE INDUCTION MOTOR IE3</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>3~ Type IM B3</td> <td>200L-2</td> <td>37 kW</td> <td>49,6 HP</td> </tr> <tr> <td>50 Hz</td> <td>400/690 V</td> <td>65/37,5 A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP 55</td> <td>Th. Cl. 155 (F)</td> <td>PF 0,88</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearing</td> <td>DE 6212 ZC3</td> <td>NDE 6212 ZV3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2955 min⁻¹</td> <td>S1</td> <td>Conn. Δ/Y</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">IE – 93,7 (100 %) – 94,1 (75 %) – 93,8 (50 %) 250 kg No. MB123456789 Made in EU IEC/EN 60034-1</p>				3~ Type IM B3	200L-2	37 kW	49,6 HP	50 Hz	400/690 V	65/37,5 A		IP 55	Th. Cl. 155 (F)	PF 0,88		Bearing	DE 6212 ZC3	NDE 6212 ZV3		2955 min ⁻¹	S1	Conn. Δ/Y		Effizienzklasse IE2, IE3, IE4
3~ Type IM B3					200L-2	37 kW	49,6 HP																		
50 Hz					400/690 V	65/37,5 A																			
IP 55					Th. Cl. 155 (F)	PF 0,88																			
Bearing					DE 6212 ZC3	NDE 6212 ZV3																			
2955 min ⁻¹	S1	Conn. Δ/Y																							
Stromart Drehstrom	Bemessungsleistung abgegebene Wellenleistung																								
Bemessungsfrequenz	Bemessungsstromstärke																								
Bemessungsspannung	Wirkleistungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$																								
IP-Schutzart 5 = staubgeschützt 5 = strahlwasser- geschützt	Verkettungsart																								
Bemessungsdrehzahl in min⁻¹	Wirkungsgrad Voll- und Teillast $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$																								
Gewicht ohne Anbauten	Thermische Klasse Temperaturfestigkeit F = 155 °C																								
Lagerung DE Antriebsseite NDE Nichtantriebsseite Rillenkugellager Einseitig geschlossen, mit erhöhter Lagerluft	Betriebsart S1 = Dauerbetrieb, fehlt die Angabe → S1																								

■ elektrische Größen ■ mechanische Größen ■ stromunabhängige und sonstige Größen

Maschinen und Antriebe

Verschaltung der Statorwicklung von Drehfeldmaschinen

Angaben auf dem Leistungsschild zur Bemessungsspannung und Verkettungsart	Schaltungsart der Statorwicklung		
	230 V	400 V	690 V
230 / 400 V	Δ	Y	–
400 V Y	–	Y	–
230 V Y	Y	–	–
400 V Δ / 690 V Y	–	Δ	Y
230 V Δ / 400 V Y	Δ	Y	–
690 V Y	–	Δ	Y
400 / 690 V	–	Δ	Y



Eingelegte und verdrahtete Spulen im Stator einer Drehfeldmaschine. Die Verschaltung erfolgt über das Klemmbrett auf der rechten Seite.

Drehrichtung einer elektrischen Maschine DIN EN 60034-8

Die Drehrichtung bzw. der Drehsinn ergibt sich beim Blick auf die Seite der Maschine, an die die Last angekoppelt wird (A-Seite/Abtriebsseite):
 Maschine dreht im Uhrzeigersinn → Rechtslauf ■
 Maschine dreht gegen den Uhrzeigersinn → Linkslauf ■



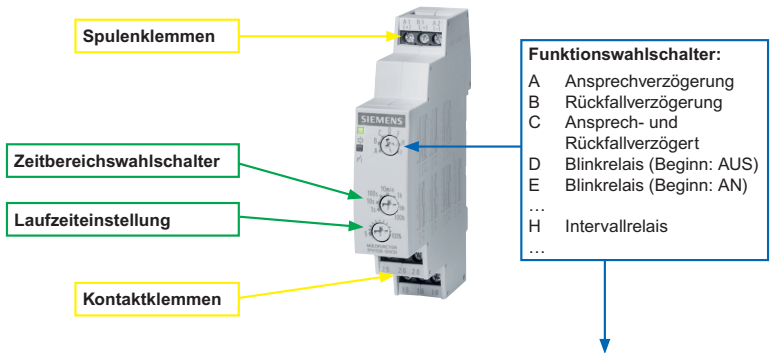
Quelle: alexsanderdn / 123RF.com

Aktoren

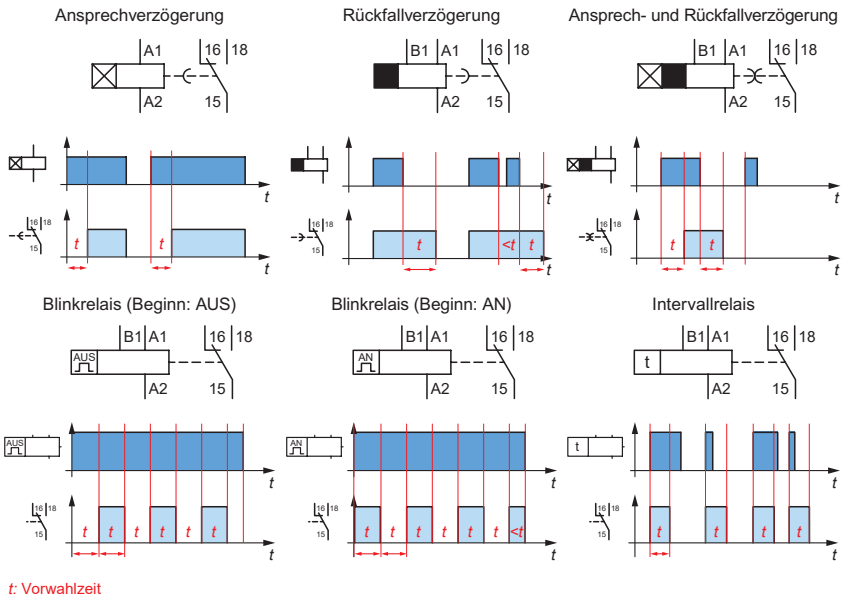
Zeitrelais: Multifunktionsrelais

- Für zeitverzögerte Signalverläufe in der Steuerungstechnik verwendet man Zeitrelais.
- Die erforderlichen Verzögerungszeiten können mechanisch, pneumatisch oder elektronisch erreicht werden.
- Heutzutage werden Multifunktionsrelais mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten eingesetzt für einen flexiblen Einsatz.
- Multifunktionsrelais sind mit einem Mikrocontroller ausgestattet.
- Die gewünschten Funktionen werden durch einen Funktionswahlschalter eingestellt.
- Es wird zusätzlich zur Ansteuerung (A1 und A2) eine Betriebsspannung (B1) benötigt.

Multifunktionsrelais



Symbole – Spule mit Schaltglied und Zeitdiagramm:

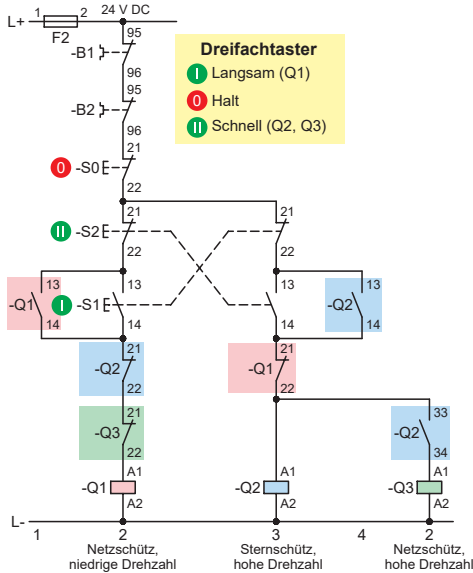


Automatisierungstechnik

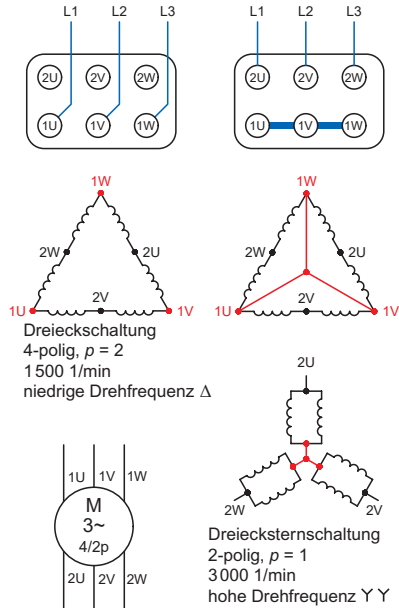
Steuerungstechnik

VPS

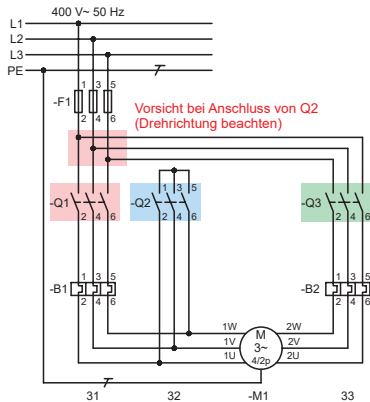
Dahlanderschaltung (Zwei Drehzahlen)



Auf richtigen Anschluss achten:
 Wenn: L1 1U, L2 1V, L3 1W
 dann: L1 2U, L2 2V, L3 2W
 Gleiche Drehrichtung bei beiden Drehzahlen.



Automatisierungstechnik



- Die Dahlanderschaltung ermöglicht es, den Motor mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten zu betreiben.
- Die beiden Geschwindigkeiten entstehen, indem die Wicklungen des Motors auf unterschiedliche Weise miteinander verbunden werden.
- Vorteile:
 - Die beiden Geschwindigkeiten sind möglich, ohne dass ein zusätzliches Getriebe oder ein Frequenzumrichter erforderlich sind.
 - Bei Verwendung der Dahlanderschaltung behält der Motor seinen hohen Wirkungsgrad bei beiden Drehzahlen.

Steuerungstechnik			
GRAFCET		DIN EN 60848	
Aktion			
Symbol	Bedeutung	Symbol	Bedeutung
Aktion, speichernd		Zeitabhängige Zuweisungsbedingung	
<p>↑Aktivierung Aktion ↓Deaktivierung</p>	<p>Zu unterscheiden ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aktion bei Aktivierung ↑ Aktion bei Deaktivierung ↓ <p>6 → Motor M6 := 1 „Ein“</p> <ul style="list-style-type: none"> Bei Aktivierung von Schritt 6 wird M6 speichernd eingeschaltet, Wenn vorherige Transition aktiv ist. <p>12 → Motor M6 := 0 „Aus“</p> <ul style="list-style-type: none"> Bei Deaktivierung von Schritt 12 wird M6 ausgeschaltet (wenn die Nachfolgetransition aktiv ist). 	<p>t1/X.../t2</p> <p>Schritt</p> <p>Aktion</p> <ul style="list-style-type: none"> kontinuierlich wirkende Aktion, die nach einer Zeit t_1 aufgrund eines Ereignisses für die Zeit t_2 aktiviert wird (Einschalt- $[t_1]$ mit Ausschaltverzögerung $[t_2]$) Gilt nur während der Aktivität des Schrittes! 	
Aktion, zeitverzögert		Aktion, zeitbegrenzt	
<p>t1/X...</p> <p>Schritt</p> <p>Aktion</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Aktion ist zeitverzögert. Sie wird um die Zeit t_1 nach Aktivierung des Schrittes verzögert ausgegeben. <p>6 → Motor M6</p> <p>12s/X6</p> <p>12 Sekunden nach Aktivierung von Schritt 6 wird der Motor M6 eingeschaltet.</p>	<p>t1/X...</p> <p>Schritt</p> <p>Aktion</p> <ul style="list-style-type: none"> Negation der zeitverzögerten Aktion Befehlsausgabe zeitlich begrenzen (bei weiter aktivem Schritt). Nach Schrittaktivierung wird das Ventil für 4 s geöffnet. gilt nur während der Aktivität des Schrittes 		
Flankensteuerung		Mehrere Aktionen an einem Schritt	
<p>↑B...</p> <p>Aktion</p> <p>6 → M10 := 1</p> <p>↑B12</p>	<p>Zuordnung, wenn Schritt X6 aktiv ist UND B12 von „0“ nach „1“ wechselt (positive Flanke).</p> <p>Mehrere Aktionen an einem Schritt können auf unterschiedliche Weise dargestellt werden. Möglich ist auch:</p>		

Automatisierungstechnik