

Leseprobe

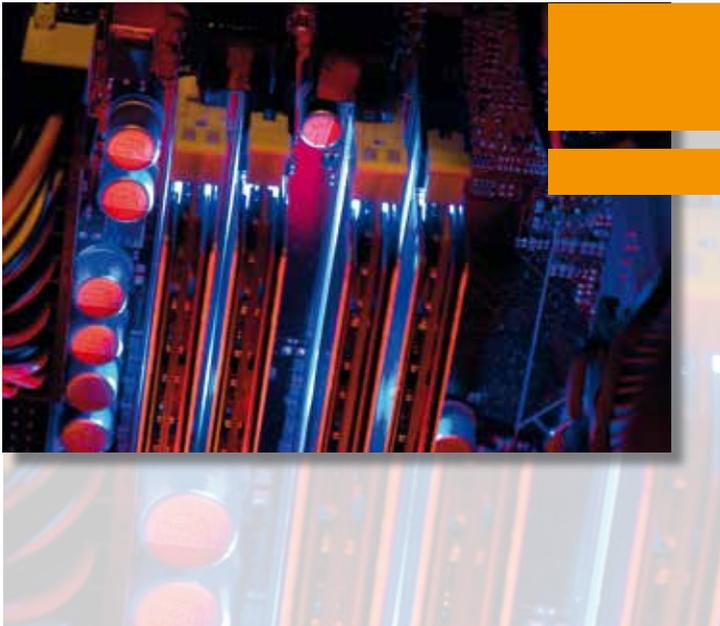
Christiani

Technisches Institut für
Aus- und Weiterbildung

Hermann Wellers · Hans Lennert

Tabellenbuch Elektrotechnik mit Formelsammlung

Betriebs- und Automatisierungstechnik



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

Grundlagen	11
Bauelemente der Elektrotechnik	63
Errichtung elektrischer Anlagen	111
Elektrische Maschinen und Antriebe	191
Messtechnik und Sensorik	237
Automatisierungstechnik	267
Stromrichter	337
Installationstechnik	371
Technische Dokumentation	413
Informationstechnik	457

Inhalt

Grundlagen.....	11
Physikalische Größen, Einheiten und Konstanten	11
Formelzeichen und Einheiten	13
Mathematische Zeichen	15
Zahlensysteme	16
Rechnen mit Dualzahlen	17
Codes	18
Mathematische Grundlagen	22
Formelumstellung	25
Flächenberechnung	26
Volumenberechnung	27
Physikalische Formeln	28
Mechanik	29
Einfache Antriebe	31
Formeln der Elektrotechnik	32
Gleichstromtechnik	32
Elektrisches Feld	36
Magnetisches Feld	38
Wechselstromtechnik	40
Drehstromtechnik	49
Symbole und Schaltzeichen der Elektrotechnik	52
Bauelemente der Elektrotechnik	63
Elektrische Widerstände	63
Nichtlineare Widerstände	66
Heißleiter	66
Kaltleiter	67
Spannungsabhängige Widerstände	67
Kondensatoren	68
Halbleiterbauelemente	71
Kennzeichnung von Halbleitern	71
Farbcodierung von Dioden	72
Bipolare Transistoren	74
Feldeffekttransistoren	76
Thyristoren	79
Optoelektronische Bauelemente	81
Operationsverstärker	85
Wichtige Kenndaten des Operationsverstärkers	85
Grundsaltungen mit Operationsverstärkern	86
Logische Verknüpfungen	88
NAND- und NOR-Schaltungstechnik	91
Bistabile Kippglieder	91
Zeitverzögerung	93
Schaltalgebra	94
Schaltkreisfamilien	95
Arbeitstabelle	96
Wahrheitstabelle	96
Kühlung von Halbleiterbauelementen	99
Elektrochemische Spannungsquellen	99
Primärelemente	99
Sekundärelemente	101
Akkumulatoren	102
Fotovoltaik	104
Errichtung elektrischer Anlagen	111
Netzsysteme	111
Elektrische Anlagen bis 1000 V, Begriffe	113
Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag	115

4

Inhalt

Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper	115
Schutz sowohl gegen direktes als auch bei indirektem Berühren	115
Schutz durch Kleinspannung – SELV und PELV	115
Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen	116
Schutzklassen	120
Schutzmaßnahmen im TN-System	120
Schutzmaßnahmen im TT-System	121
Schutzmaßnahmen im IT-System	122
Schutztrennung	123
Schutz durch RCD	124
RCD-Typen	124
Leitungen und Kabel	126
Leitungsberechnung	126
Mindestquerschnitte von Kabeln und Leitungen	127
Aderfarben	128
Spannungsangaben	128
Bauartkurzzeichen	129
Harmonisierte Leitungen	130
Isolierte Starkstromleitungen für feste Verlegung	131
Flexible Starkstromleitungen	134
Leitungsverlegung	138
Schutz von Leitungen	139
Strombelastbarkeit und Zuordnung der Überstromschutzorgane	139
Schmelzsicherungen	143
Leitungsschutzschalter	146
Prüfung von Anlagen und Verbrauchsmitteln	149
Prüfung von Anlagen und Verbrauchsmitteln	143
Erstprüfung	149
Messung der Durchgängigkeit des Schutzleiters	149
Messung des Isolationswiderstandes	151
Messung der Schleifenimpedanz	153
Messung des Netzzinnenwiderstandes	154
Messung des Erdungswiderstandes	155
Prüfung des Drehfeldes	155
Prüfung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)	156
Spannungsprüfung	157
Schutz gegen Restspannung	157
Prüfung elektrischer Geräte	157
Schutzleiterprüfung	159
Messung des Isolationswiderstandes	160
Messung des Schutzleiterstromes	162
Messung des Berührungstromes	163
Nachweis der sicheren Trennung bei SELV und PELV	164
Funktionsprüfung	164
Beurteilung, Dokumentation	164
Wiederkehrende Prüfungen	165
Blindleistungskompensation	166
Berechnung der Kompensationskondensatoren	166
Überspannungsschutz	170
Starkstromkabel	174
Steckvorrichtungen	176
Schutz- und Meldeeinrichtungen	178
Elektrische Maschinen und Antriebe	191
Betriebsarten elektrischer Maschinen	191
Bauformen und Aufstellung	193
IP-Schutzarten	196
Wirkungsgradklassen	198
Erwärmung elektrischer Maschinen	199
Betriebswerte von oberflächengekühlten Drehstrommotoren	199
Normmaße von Drehstrommotoren	205
Drehstrom-Asynchronmotoren	207
Gleichstrommotoren	212

Inhalt

5

Schrittmotor	215
Bremsen von Elektromotoren	216
Servomotoren	217
Motorschutz	219
Standardschaltungen mit Motoren	223
Transformatoren	225
Wichtige Größen des Transformators	226
Kurzschlussspannung	227
Drehstromtransformator	228
Sondertransformatoren	230
Messwandler	232
Auswahl des Antriebsmotors	232
Kühlung	233
Anpassung an die Arbeitsmaschine	233
Inbetriebnahme elektrischer Maschinen	234
Störungen bei Elektromotoren	235

Messtechnik und Sensorik 237

Grundbegriffe der Messtechnik	237
Darstellung von Messgrößen	238
Genauigkeitsklasse	238
Sinnbilder zur Beschriftung von Messgeräten	238
Zeigermessgeräte	239
Digitale Multimeter	240
Leistungsmessung	241
Messen mit dem Oszilloskop	242
Sensoren	245
Digitales Sensorsystem	246
Schaltzeichen von Messkettengliedern	246
Temperatursensoren	247
Widerstandsmessfühler	247
Thermoelemente	248
Weg- und Winkelmessung	249
Drehzahlmessung	251
Drehgeber	252
DMS-Bauformen	253
DMS-Messschaltungen	254
Drucksensoren	257
Induktive Näherungsschalter	259
Kapazitive Näherungsschalter	261
Ultraschallsensoren	261
Optoelektronische Sensoren	262
Füllstandsmessung	265
Durchflussmessung	265

Automatisierungstechnik 267

Grundbegriffe der Steuerungstechnik	267
Schütze	269
Relais	271
Schutzbeschaltung	273
Befehls- und Meldegeräte	274
Farben für Drucktaster, Leuchtdrucktaster und Anzeigen	274
Befehlsgeber und Leuchtmelder	274
Grenztaster	275
Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	276
Binäre Verknüpfungen	277
Steueranweisungen	277
Operanden/Zuordnungsliste	278
Programmiersprachen AWL, FUP, KOP	278
Merker – Klammern	280
Abfrage von Öffnern	280

6

Inhalt

Speicher	281
Zeitfunktionen und Zähler	282
Programmsprung	284
Flankenauswertung	284
Ablaufsteuerung, Schrittsteuerung	285
Befehle, Aktionen	286
Lineare Schrittkette	288
Verzweigung, Sprung und Schleife	289
GRAFCET	289
Strukturierte Programmierung	291
Programmbausteine	291
Sprachelemente, Datentypen und Variablen	292
Variablen und Variablendeklaration	293
Strukturierter Text	294
Wortverarbeitung	296
Operationen und Operanden	296
Arithmetische Funktionen	297
Vergleichsfunktionen	297
Analogwertverarbeitung	297
Kleinsteuerung	298
Regelungstechnik	300
Regelkreis	300
Elemente einer Regelstrecke	301
Zeitverhalten von Führungsgrößen	301
Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	302
Stetige Regeleinrichtungen	302
Stetige Regeleinrichtungen mit Operationsverstärkern	305
Regelstrecken	306
Zeitverhalten von Regelstrecken	307
Einstellung von Reglern	308
Verlauf eines Regelvorganges	308
Reglereinstellung nach Ziegler und Nichols	308
Reglereinstellung nach Chien, Hrones und Reswick	309
Zweipunktregelrichtung	309
Industriebussysteme	310
ASI-Bus	311
Profibus	314
Interbus	318
CAN-Bus	318
Profinet-Industrial Ethernet	319
Maschinensicherheit	320
Sicherheitskategorien	321
Risikobeurteilung	322
Not-Befehlseinrichtung	326
Not-Aus und Drahtbruchsicherheit	327
Zweihandverriegelung	327
Beschaltung einer SPS	327
Selbstüberwachende Sicherheitsschaltung	328
Not-Aus-Schaltgerät	328
Erdschlusssicherheit	329
Steuertransformator	330
Netzanschluss	330
Toleranzbereich der Versorgungsspannung	331
Elektromagnetische Verträglichkeit	332
Stromrichter	337
Kennzeichnung von Stromrichtern	337
Ungesteuerte Stromrichter (Gleichrichter)	338
Gesteuerte Stromrichter	338
Wechselrichter	343
Drehzahlsteuerung von Drehfeldmaschinen	344
Betriebsdiagramm von Stromrichterantrieben	346
Gleichstromsteller	347

Inhalt

7

Wechselstromsteller	347
Schutz von Halbleitern und Stromrichtern	348
Halbleiterschütz	349
Softstarter	350
Frequenzrichter	355
Netz- und Geräteventile	363
Schaltschrank und Leitungsführung	363
Spannungsversorgung von Betriebsmitteln	364
Kenndaten von Gleichrichterschaltungen zur Spannungsversorgung	364
Siebschaltungen und Spannungsstabilisierung	365
Schaltnetzteile	366
Oberschwingungen	368

Installationstechnik 371

Sicherheitsregeln	371
Arbeiten unter Spannung	371
Zulässiger Spannungsfall	372
Installationsrohre	372
Installationsschaltungen	374
Schalten von Leuchtstofflampen	377
Licht- und Beleuchtungstechnik	377
Beleuchtungsberechnung	378
Lampendaten	380
Leuchtdioden	382
LED-Lampen	384
Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften	388
Anwendung von Leuchtstofflampen	388
Lampentypen und Sockel	389
Kennzeichnung von Leuchten	390
Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen	391
Gebäudesystemtechnik (EIB/KNX)	391
Aufbau des Bussystems	393
Linien und Bereiche	293
Topologie des Bussystems mit Linien und Bereichen	394
Busstrukturen	395
Busleitung	395
Informationsübermittlung	396
Adressierung	396
Telegrammaufbau	398
Powernet	398
KNX-Funk	398
Räume mit elektrischen Anlagen	398
Elektrische Betriebsstätten	398
Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten	399
Batterieräume und Ladestationen	399
Trockene Räume	399
Feuchte und nasse Räume	399
Anlagen im Freien	399
Feuergefährdete Betriebsstätten	400
Räume mit Badewanne oder Dusche	401
Baustellen	404
Explosionsgefährdete Bereiche	405

Technische Dokumentation 413

Normung	413
Technisches Zeichnen	413
Papierformate	413
Beschriftung	414
Maßstäbe	414
Linien	414
Projektionen	414

8

Inhalt

Körperansichten	415
Bemaßung	416
Gewinde	419
Kennzeichnung von Schaltplänen	419
Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel	420
Stromlaufpläne	425
Regeln für Stromlaufpläne	425
Klemmverbindungen	427
Übergangswiderstand von Klemmen	428
Kontakttabellen	429
Hauptstromkreis und Steuerstromkreis	431
Anschlussstabelle (Klemmenplan)	433
Anordnungsplan	433
Stromkreisverteiler	434
Ortsbezogene Pläne	434
Programmablaufplan (Flussdiagramm)	435
Elementare Programmstrukturen	435
Fluidtechnik	437
Grafische Symbole	437
Wegeventile	439
Pneumatik	439
Grundsaltungen der Elektropneumatik	444
Hydraulik	446
Instandhaltung	449
Dokumentation	451
Dokumentation eines betrieblichen Auftrags	452
Betriebsanleitung	453
Bedienungsanleitung	454
Kurzanleitung	454
Produktinformation	454
Lastenheft, Pflichtenheft	454
Informationstechnik	457
Anschlüsse eines Personalcomputers	457
Schnittstellen	457
Speichermedien	460
LAN/WLAN	461
Topologien	462
Wireless LAN	462
PC-Netzwerke	463
Netzwerkleitungen	463
Netzwerkkomponenten	465
Netzwerkprotokolle	466
Ethernet	466
Echtzeit-Ethernet	467
Industrial Ethernet	467
Datensicherheit	468
Verfahren der Datensicherung	468
Datenschutzstrategie	468
Virenschutz	469
Datenschutz	469
Bundesdatenschutzgesetz	469
Maßnahmen zum Datenschutz	469
Sicherheitskennzeichen	470
Farben und Formen	470
Verbotszeichen	470
Warnzeichen	471
Brandschutzzeichen	472
Gebotszeichen	472
Rettungszeichen	473
Gefahrensymbole	473
Kennzeichen von Druckgasflaschen	474
Prüfzeichen	475

Inhalt

9

Bezeichnung der besonderen Gefahren (R-Sätze)	475
Sicherheitsratschläge (S-Sätze)	476
GHS/CLP	477
Kennzeichnung von Rohrleitungen	479
Gefahrstoffe am Arbeitsplatz	480
Lärmschutz	481
Entsorgung von Abfällen	482
Verpackungsverordnung	483
Persönliche Schutzausrüstung	484
Verhalten in Notfällen	485
Notfall-Rettungskette	485
Berufsübergreifende Qualifikationen	487
Produktionsfaktoren	487
Betrieb und Unternehmung	487
Umwelt und Betrieb	488
Kernqualifikationen	489
Arbeitsvertrag	489
Arbeitszeit, Arbeitszeugnis, Arbeitsschutz	490
Weiterbildung	491
Kündigung und Kündigungsschutz	492
Versicherungsarten, Versicherungsprinzipien	493
Gesetzliche Sozialversicherung	493
Lohn- und Gehaltsabrechnung	495
Arbeitsgericht	495
Sozialgericht	496
Tarifrecht	496
Betriebsrat	497
Jugend- und Auszubildendenvertretung	498
Rechtsgeschäfte	498
Besitz und Eigentum	498
Rechtsfähigkeit, Geschäftsfähigkeit	499
Betriebliche Kennzahlen	499
Kalkulation	500
Kaufvertrag	503
Abschreibung	503
Rechtsformen der Unternehmung	504
Qualitätsmanagement	506
Anhang	521
Spezifischer Widerstand, spezifische Leitfähigkeit, Temperaturbeiwert	521
Beziehung zwischen Einheiten	522
Dielektrizitätszahlen fester und flüssiger Stoffe	527
Permeabilitätszahlen von Werkstoffen	528
Koerzitivfeldstärken magnetischer Werkstoffe	528
Eisenblechkerne	529
Dauermagnetwerkstoffe	530
Stoffabscheidung durch Elektrolyse	532
Lote	532
Kunststoffe	533
Widerstandswerkstoffe	536
Heizleiterwerkstoffe	536
Kontaktwerkstoffe	536
Wichtige VDE-Vorschriften	537
Referenzkennzeichnung in Schaltplänen	539
Sachwortverzeichnis	551
shortregister	567

Größen, Gleichungen, Einheiten

11

Grundlagen

Physikalische Größen und Einheiten

Schreibweise einer physikalischen Größe

Physikalische Größe = Zahlenwert · Maßeinheit

Beispiel

Zeitdauer = 6 Sekunden

$$t = 6 \text{ s } (6 \cdot 1 \text{ Sekunde})$$

Physikalische Gleichungen

Größengleichung	Zugeschnittene Größengleichung	Einheitengleichung	Zahlenwertgleichung
$n = \frac{f}{p}$	$n = \frac{f \cdot 60}{p}$	1 h = 3600 s 1 kg = 1000 g	$v = 3,6 \cdot \frac{s}{t}$ v in km/h s in m t in s

Basiseinheiten (Système International d'Unités)

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kennzeichen der Einheit
Länge	<i>l</i>	Meter	m
Masse	<i>m</i>	Kilogramm	kg
Zeit	<i>t</i>	Sekunde	s
Stromstärke	<i>I</i>	Ampere	A
Temperatur ¹⁾	<i>T</i>	Kelvin	K
Stoffmenge	<i>n</i>	Mol	mol
Lichtstärke	<i>I_v</i>	Candela	cd

¹⁾ Thermodynamische Temperatur

Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten

Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen
Piko	10 ⁻¹²	p	Zenti	10 ⁻²	c	Kilo	10 ³	k
Nano	10 ⁻⁹	n	Dezi	10 ⁻¹	d	Mega	10 ⁶	M
Mikro	10 ⁻⁶	μ	Deka	10 ¹	da	Giga	10 ⁹	G
Milli	10 ⁻³	m	Hekto	10 ²	n	Tera	10 ¹²	T

Hinweis:

Nach Möglichkeit nur Vorsätze verwenden, dass die Zahlenwerte zwischen 0,1 und 1000 liegen. Vorsätze mit ganzzahliger Potenz von Tausend (10^{3 · n}) sind zu bevorzugen.

Römische Zahlen

I = 1	VII = 7	XXX = 30	XC = 90	D = 500
II = 2	VIII = 8	XL = 40	C = 100	DC = 600
III = 3	IX = 9	L = 50	CX = 110	DCC = 700
IV = 4	X = 10	LX = 60	CC = 200	DCCC = 800
V = 5	XI = 11	LXX = 70	CCC = 300	CM = 900
VI = 6	XX = 20	LXXX = 80	CD = 400	M = 1000

Grund-
lagen

12

Physikalische Konstanten, griechisches Alphabet

Physikalische Konstanten		
Formelzeichen	Konstante	Wert und Einheit
m_u	Atommassenkonstante	$1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg
N_A	Avogadrokonstante	$6,02214129 \cdot 10^{23}$ 1/mol
ε_0	elektrische Feldkonstante	$8,854187817 \cdot 10^{-12}$ As/Vm
μ_0	magnetische Feldkonstante	$1,2566370614 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am
e	Elementarladung	$1,60217733 \cdot 10^{-19}$ As
F	Faradaykonstante	96485,309 As/mol
c_0	Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)	299792458 m/s
k	Bolzmannkonstante	$1,380658 \cdot 10^{-23}$ J/K
h	Planckkonstante	$6,6260755 \cdot 10^{-34}$ Js
G	Gravitationskonstante	$6,67259 \cdot 10^{-11}$ Nm ² /kg ²
g_N	Normalfallbeschleunigung	9,80665 m/s ²
m_e	Ruhemasse Elektron	$9,1093897 \cdot 10^{-31}$ kg
m_p	Ruhemasse Proton	$1,6726231 \cdot 10^{-27}$ kg
m_n	Ruhemasse Neutron	$1,6749286 \cdot 10^{-27}$ kg
T_0	absoluter Nullpunkt der thermodynamischen Temperatur	0 K (- 273,15 °C)

Griechisches Alphabet							
Buchstabe		Name	Zuordnung	Buchstabe		Name	Zuordnung
klein	groß			klein	groß		
α	A	Alpha	a	ν	N	Ny	n
β	B	Beta	b	ξ	Ξ	Xi	X
γ	Γ	Gamma	g	\omicron	O	Omikron	O
δ	Δ	Delta	d	π	Π	Pi	p
ε	E	Epsilon	e	ρ	P	Rho	rh
ζ	Z	Zeta	z	σ	Σ	Sigma	s
η	H	Eta	e	τ	T	Tau	t
ϑ	Θ	Theta	th	υ	Y	Ypsilon	y
ι	I	Jota	i	φ	Φ	Phi	ph
κ	K	Kappa	k	χ	χ	Chi	ch
λ	Λ	Lambda	l	ψ	Ψ	Psi	ps
μ	M	My	m	ω	Ω	Omega	O

Werte von μ_r und $\varepsilon_r \rightarrow$ 527, 528

Geräteverdrahtungsplan, Anschlussplan, Verbindungsplan

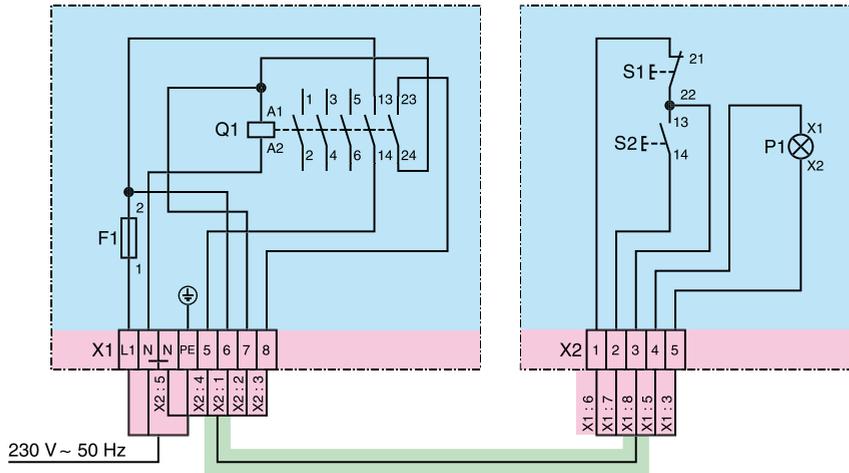
429

Technische Dokumentation

Normung

Stromlaufpläne

Beispiel



- Geräteverdrahtungsplan**
 Gibt die *Innenverbindung* von Geräten an. Hinweise zu äußeren Verbindungen dürfen hinzugefügt werden.
- Anschlussplan**
 Gibt *innere* und *äußere Verbindungen* (beispielsweise an Klemmleisten) an. Hinweise auf Anordnungspläne oder Stromlaufpläne sind möglich.
- Verbindungsplan**
 Gibt Verbindungen zwischen Geräten und Baugruppen *ohne* interne Verbindungen an. Hinweise auf Stromlaufpläne sind möglich.

Lage der Betriebsmittel

Bei aufgelöster Darstellung muss die *Lage der Betriebsmittel* erkennbar sein. Ferner sind Hilfsmittel zum *Auffinden der Betriebsmittel* unverzichtbar.

Kontakttabellen (nicht genormt)

- Die einzelnen Stromwege werden fortlaufend nummeriert.
- Bei den Stromwegen des Hauptstromkreises werden zusätzlich die Anzahl der Hautschaltglieder angegeben.
- Die Stromwege des Steuerstromkreises werden ohne Zusatzangabe nummeriert.
- Die Kontakttabellen stehen unterhalb der Spulensymbole.
- H:** Hauptstrompfad; **S:** Schließer; **Ö:** Öffner

Dokumentation

430

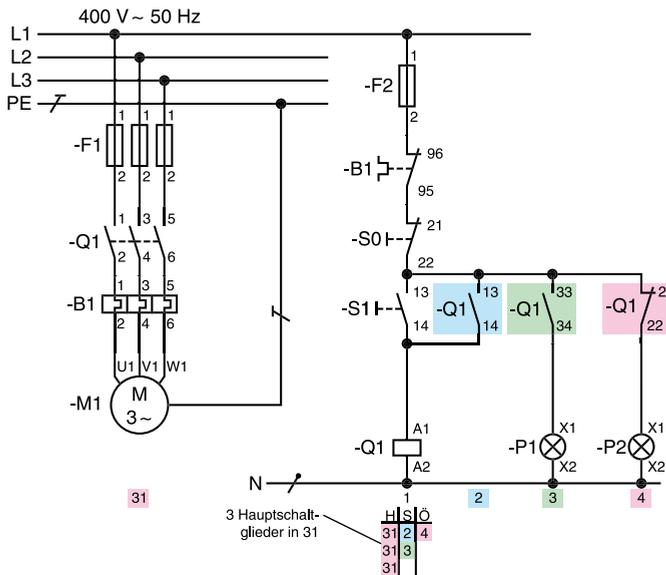
Kontakttable

Technische Dokumentation

Normung

Stromlaufpläne

Kontakttabellen (nicht genormt)



- Das Schütz Q1 hat 3 Hauptschaltglieder im Stromweg 31.
- Das Schütz Q1 hat Schließer in den Stromwegen 2 und 3.
- Das Schütz Q1 hat einen Öffner im Stromweg 4.

Hinweise

- Möglicherweise soll die Anzahl der nicht verwendeten Kontakte in der Kontakttable ersichtlich sein. Für jeden nicht benutzten Kontakt wird ein Strich (-) eingetragen.
- Die Kontakte der Befehlsgeräte werden so verbunden, dass der Aufwand für die Verdrahtung gering ist. Auf die Reihenfolge der Zahlen wird dann keine Rücksicht genommen. Wegen der Doppelunterbrechung der Kontakte spielt das technisch auch keine Rolle.
- EN 61082 sieht vor, dass die Kontakte Anschlussbezeichnungen erhalten, die von rechts lesbar eingetragen werden. Im Einzelfall hängt das aber vom verwendeten CAD-System ab. Entscheidend sind Eindeutigkeit und Lesbarkeit.

H	S	Ö
31	6	4
31	-	-
31	-	-

Dokumentation