

# Inhalt

<b>Vorwort zur 9. Auflage</b> .....	5
<b>1 Einheiten und Zeichen</b> .....	13
1.1 Basiseinheiten .....	13
1.2 Ableitung der elektrischen Einheiten .....	13
1.3 Abkürzungen von Einheiten .....	14
1.4 Vorsätze von Einheiten .....	15
1.5 Umrechnung von Einheiten .....	15
1.6 Formelzeichen .....	16
1.7 Häufig gebrauchte Schaltsymbole .....	17
1.8 Das griechische Alphabet .....	20
<b>2 Mathematische Grundlagen, Formeln und grafische Lösungsverfahren</b> .....	21
2.1 Satz des Pythagoras .....	21
2.2 Winkelfunktionen (trigonometrische Funktionen) .....	22
2.3 Funktionsgleichungen .....	23
2.4 Formeln .....	24
2.5 Grafische Lösungsverfahren .....	32
2.6 Asynchronmotoren .....	36
<b>3 Einführung</b> .....	41
3.1 Normen, Vorschriften, Richtlinien .....	41
3.2 Einige Sicherheitshinweise .....	43
3.3 Vorgehensweise bei der Projektierung .....	45
3.4 Bemessung der Hauptleitung .....	48
3.5 Bemessungsstromstärke von Lasten .....	51
<b>4 Berechnung von Kurzschlussströmen</b> .....	59
4.1 Einführung .....	59
4.2 Allgemeine Gesichtspunkte für die Ermittlung von Kurzschluss- strömen .....	60
4.3 Generatorferner Kurzschluss .....	62
4.3.1 Anfangs-Kurzschlusswechselstrom $I_k''$ .....	62
4.3.1.1 Wirk- und Blindwiderstände des Hochspannungsnetzes, bezogen auf die Unterspannungsseite des Transformators .....	63

4.3.1.2	Wirk- und Blindwiderstände von Transformatoren . . . . .	63
4.3.1.3	Wirk- und Blindwiderstände des Leitungsnetzes . . . . .	65
4.3.2	Stoßkurzschlussstrom $i_p$ . . . . .	68
4.4	Kleinster Kurzschlussstrom $I''_{k1}$ . . . . .	71
4.4.1	Allgemeine Gesichtspunkte für die Ermittlung des kleinsten Kurzschlussstroms . . . . .	71
4.4.2	Berechnung des kleinsten einpoligen Kurzschlussstroms $I''_{k1}$ . . . . .	72
4.5	Generatornahe Kurzschlüsse in Niederspannungsnetzen . . . . .	79
<b>5</b>	<b>Spannungsfall auf elektrischen Kabeln und Leitungen . . . . .</b>	<b>93</b>
5.1	Grundsätze für die Ermittlung des Spannungsfalls . . . . .	93
5.2	Spannungsfall bei Gleichstrom . . . . .	94
5.3	Spannungsfall bei Wechselstrom . . . . .	97
5.4	Spannungsfall bei Drehstrom . . . . .	103
<b>6</b>	<b>Schutz durch Abschaltung . . . . .</b>	<b>109</b>
6.1	TN-System mit Überstrom-Schutzeinrichtung . . . . .	109
6.2	TN-System mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtung . . . . .	113
6.3	TT-System mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtung . . . . .	114
6.4	Empfehlungen von Fehlerstrom- und Überstrom- Schutzeinrichtungen . . . . .	115
<b>7</b>	<b>Erdungsanlagen für Gebäude . . . . .</b>	<b>119</b>
7.1	Änderungen . . . . .	119
7.2	Funktionen von Erdungsanlagen . . . . .	120
7.3	Planung und Errichtung von Erdungsanlagen . . . . .	121
7.4	Erdungswiderstand . . . . .	121
7.4.1	Oberflächenerder . . . . .	122
7.4.2	Tiefenerder . . . . .	122
7.4.3	Fundamenterder . . . . .	124
7.5	Arten von Erdern . . . . .	126
7.6	Ausführung von Erdungsanlagen . . . . .	126
7.7	Ringerder . . . . .	127
7.8	Bauliche Maßnahmen bei Erdungsanlagen . . . . .	131
7.9	Wirksamkeit des Schutzpotentialausgleichs . . . . .	133
7.9.1	Betrachtung des TN-Systems . . . . .	135
7.9.2	Betrachtung des TT-Systems . . . . .	139
7.9.3	Unterbrechung des Schutzleiters . . . . .	142
7.9.4	Vergleich der Ergebnisse . . . . .	143
7.10	Auswahl von Werkstoffen und Bauteilen . . . . .	143

7.11	Überprüfung auf Übereinstimmung und Dokumentation . . . . .	144
7.11.1	Dokumentation . . . . .	144
7.11.2	Durchgangsmessung . . . . .	144
7.12	Beispiele zur Erdung . . . . .	145
<b>8</b>	<b>Blitzschutzanlagen</b> . . . . .	<b>147</b>
8.1	Trennungsabstand . . . . .	151
8.2	Innerer Blitzschutz. . . . .	152
8.3	Hauptschutzpotentialausgleich . . . . .	154
8.4	Ausführung der Erdungsanlage für den Potentialausgleich. . . . .	154
8.5	Schutzpotentialausgleichsleiter . . . . .	154
8.6	Haupterdungsklemme . . . . .	155
8.7	Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich. . . . .	155
8.8	Auswahl, Installation und Montage von Überspannungsschutzgeräten (SPD) . . . . .	156
8.9	Beispiele für Blitzschutz und Erdung . . . . .	158
<b>9</b>	<b>Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen</b> . . . . .	<b>161</b>
9.1	Strombelastbarkeit von Leitungen. . . . .	161
9.1.1	Strombelastbarkeit $I_Z$ bei anderen Umgebungstemperaturen ab 30 °C . . . . .	164
9.1.2	Strombelastbarkeit $I_Z$ von gehäuft verlegten Leitungen . . . . .	165
9.1.3	Strombelastbarkeit $I_Z$ von vieladrigen Leitungen . . . . .	166
9.2	Strombelastbarkeit von Kabeln . . . . .	167
9.2.1	Strombelastbarkeit $I_Z$ von Kabeln bei Verlegung in Luft und besonderen Umgebungsbedingungen. . . . .	168
9.2.2	Strombelastbarkeit $I_Z$ von in Erde verlegten Kabeln, die durch Abdeckhauben oder Rohre geschützt werden . . . . .	168
9.2.3	Strombelastbarkeit $I_Z$ von gehäuft verlegten Kabeln im Erdreich. . . . .	169
9.2.4	Strombelastbarkeit $I_Z$ von vieladrigen Kabeln bei Verlegung im Erdreich . . . . .	169
9.3	Strombelastbarkeit $I_Z$ für Leitungen und Kabel mit anderen Grenztemperaturen als 70 °C. . . . .	170
9.4	Strombelastbarkeit als quadratischer Mittelwert . . . . .	171
9.5	Strombelastbarkeit $I_Z$ bei Kurzzeit- und Aussetzbetrieb . . . . .	172
9.5.1	Kurzzeitbetrieb . . . . .	173
9.5.2	Aussetzbetrieb . . . . .	174
9.6	Strombelastbarkeit $I_Z$ parallel geschalteter Leitungen und Kabel. . . . .	176
9.7	Strombelastbarkeit $I_Z$ bei gleichzeitig mehreren Umrechnungsfaktoren . . . . .	177

<b>10</b>	<b>Schutz von Leitungen und Kabeln bei Überlast</b> . . . . .	179
10.1	Auswahl der Schutzeinrichtungen . . . . .	179
10.2	Überstromschutz von Leitungen . . . . .	180
10.3	Maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen. . . . .	190
<b>11</b>	<b>Schutz von Leitungen und Kabeln bei Kurzschluss</b> . . . . .	195
11.1	Gemeinsame Schutzeinrichtung für Überlast und Kurzschluss. . . . .	195
11.2	Berechnung der zulässigen Ausschaltzeit . . . . .	196
<b>12</b>	<b>Beispiele zur Bemessung von Leitungen und Kabeln</b> . . . . .	203
<b>13</b>	<b>Bemessung von Schutzleitern</b> . . . . .	213
13.1	Bemessung von Schutzleitern durch Tabellen . . . . .	213
13.2	Bemessung von Schutzleitern durch Berechnung . . . . .	214
13.3	Bemessung der Schutzpotentialausgleichsleiter . . . . .	217
<b>14</b>	<b>Prüfung und Inbetriebnahme von Elektroinstallationen</b> . . . . .	219
14.1	Beurteilung von Messfehlern. . . . .	219
14.2	Messen des Schleifenwiderstands . . . . .	220
14.3	Messen des Erdungswiderstands . . . . .	221
14.4	Messen des Isolationswiderstands. . . . .	222
<b>15</b>	<b>Transformatoren und deren Parallelbetrieb</b> . . . . .	227
15.1	Lastverteilung bei gleichen relativen Kurzschlussspannungen . . . . .	227
15.2	Lastverteilung bei verschiedenen relativen Kurzschlussspannungen . .	228
<b>16</b>	<b>Selektiver Netzaufbau</b> . . . . .	229
16.1	Grundsätzliche Anforderungen . . . . .	229
16.2	Grundsätzliche Vorgehensweise . . . . .	235
16.3	Selektivitätsnachweis. . . . .	236
16.3.1	Selektivitätsnachweis durch Messung . . . . .	237
16.3.2	Selektivitätsnachweis durch Berechnung . . . . .	239
<b>17</b>	<b>Blindstromkompensation</b> . . . . .	255
<b>18</b>	<b>Innenraum-Beleuchtungsanlagen</b> . . . . .	261
18.1	Beleuchtungskonzepte . . . . .	263
18.1.1	Raumbezogene Beleuchtung . . . . .	264
18.1.2	Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung . . . . .	264
18.1.3	Teilflächenbezogene Beleuchtung. . . . .	265

18.2	Wartungswert und Wartungsfaktor . . . . .	265
18.3	Beurteilung der Begrenzung der Direktblendung . . . . .	266
18.4	Lichttechnische Anforderungen . . . . .	267
18.5	Beleuchtungsstärke . . . . .	267
18.6	Berechnung der Beleuchtungsstärke . . . . .	268
18.7	Erforderliche Leuchtenanzahl $z$ . . . . .	273
18.8	Gleichmäßigkeit der Beleuchtung . . . . .	274
18.9	Begrenzung der Blendung . . . . .	275
18.9.1	Begrenzung der Direktblendung . . . . .	276
18.9.2	Begrenzung der Reflexblendung . . . . .	280
18.10	Lichtrichtung und Schattigkeit . . . . .	280
18.11	Lichtfarbe und Farbwiedergabe . . . . .	280
<b>19</b>	<b>Projektierung einer Lagerhalle . . . . .</b>	<b>283</b>
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>309</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>311</b>