

Inhaltsverzeichnis

A Grundlagen

1 Einführung	13
1.1 Besonderheiten von Industrienetzen	13
1.2 Notwendigkeit netz- und anlagentechnischer Gesamtlösungen	15
1.3 Aufgabe der Netzplanung	16
2 Grundsätzlicher Ablauf einer Planungsaufgabe	19
2.1 Top-down-Prinzip	19
2.2 Ermittlung des bestehenden Netzzustandes	19
2.3 Ermittlung der Anforderungen	22
2.3.1 Leistungsbedarf	22
2.3.2 Versorgungsqualität	24
2.3.2.1 Versorgungszuverlässigkeit	24
2.3.2.2 Spannungsqualität	27
2.4 Ermittlung prozessadäquater Stromversorgungsvarianten	34
2.5 Suche der optimalen Lösung	42
2.5.1 Entscheidungsziele	42
2.5.2 Entscheidungsmethodik	43

B Planungsempfehlungen Mittelspannung

3 Wahl der MS-Netznennspannung	47
3.1 Einspeiseebene	47
3.2 Verteilungsebene	48
4 Bestimmung von Kurzschlussbeanspruchung und erforderlicher Kurzschlussfestigkeit	51
4.1 Wahl der Kurzschlussleistung	51
4.2 Kurzschlussfestigkeit der Betriebsmittel	53
4.2.1 MS-Schaltanlagen	53
4.2.2 MS-Kabel	58
4.2.3 MS-Verteilungstransformatoren	60
5 Festlegung optimaler Netzkonfigurationen für die industrielle Stromversorgung	62
5.1 MS-Verbraucherstruktur in der metallverarbeitenden Industrie	62
5.2 Netztechnisch vorteilhafteste MS/NS-Einspeisevariante	62

5.3 Optimale Netzform für den Anschluss von Transformator-Schwerpunktstationen	63
5.4 Anforderungsgerechte Netzstrukturen und -konzepte für Industriebetriebe	67
5.4.1 Kleiner Industriebetrieb	67
5.4.2 Mittlerer Industriebetrieb	69
5.4.3 Große Industriebetriebe	71
5.4.4 Fertigungsstätten von Hochtechnologieunternehmen	78
5.5 Schaltanlagen-Klassifikation für die anlagentechnische Umsetzung der MS-Netzkonzepte	83
6 Wahl der Sternpunktterdung	86
6.1 Bedeutung der Sternpunktterdung	86
6.2 Arten der Sternpunktterdung	86
6.3 Auswahlkriterium und Entscheidungshilfe	106
6.4 Auswahlempfehlung für den Betrieb von MS-Kabelnetzen in der Industrie	109
6.5 Beidseitige Erdung der Übergabetransformatoren beim Betrieb von MS-Industrienetzen	110
7 Auslegung des MS-Netzschutzes	113
7.1 Schutz- und gerätetechnische Grundlagen	113
7.2 Schutz von einspeisenden 110-kV/MS-Transformatoren	128
7.3 Schutz von MS-Verteilungstransformatoren	129
7.3.1 Schutz mit Lastschalter-Sicherungs-Kombination	132
7.3.2 Schutz mit Leistungsschalter-Relais-Kombination	146
7.4 Strombegrenzender Kurzschlusschutz von Motoren und Kondensatoren	149
7.4.1 Absicherung von HS-Motoren	149
7.4.2 Absicherung von Kondensatoren	153
7.5 Schutz von Sammelschienen	154
7.6 Schutz von Leitungen	155
7.6.1 Schutz bei Doppelstich-Anschluss von Netz-Unterstationen	156
7.6.2 Schutz bei Einschleifung von Netz-Unterstationen	156
7.7 Schutzkonzept für ein fiktives 20-kV-Industrienetz mit niederohmiger Sternpunktterdung	158

C Planungsempfehlungen Niederspannung

8 Wahl der NS-Netzspannung	160
8.1 Kategorisierung der NS-Ebene als Prozess- und Verbraucherebene	160
8.2 Spannungen für die Prozess- und Verbraucherebene	160
9 Kurzschlussleistung und -ströme im NS-Netz	165
9.1 Maßgebende Fehlerarten und -ströme für die Netz- und Anlagenauslegung	165
9.2 Ausnutzung von Betriebsmittelreserven bei der Beherrschung von Kurzschlussströmen	169

Inhaltsverzeichnis

10 Anforderungsgerechte Gestaltung des NS-Netzes	172
10.1 Analyse der Verbraucherstruktur	172
10.1.1 Charakteristische Verbrauchergruppen in der metallverarbeitenden Industrie	172
10.1.1.1 Werkzeugbau und mechanische Werkstätten	172
10.1.1.2 Stanzereien und Presswerke	176
10.1.1.3 Schweißanlagen	182
10.1.1.4 Lackier- und Härteanlagen	194
10.1.1.5 Beleuchtungsanlagen	195
10.1.1.6 EDV- und IT-Anlagen	198
10.2 Wahl der Netz- bzw. Systemart	201
10.2.1 Normativ in Betracht kommende Systemarten	203
10.2.1.1 IT-System	207
10.2.1.2 TT-System	211
10.2.1.3 TN-System	216
10.2.2 EMV-gerechte TN-Systeme bei Mehrfacheinspeisung	224
10.2.2.1 Zentral-mehrfachgespeistes TN-EMV-System	225
10.2.2.2 Dezentral-mehrfachgespeistes TN-EMV-System	227
10.3 Festlegung der Netzform	229
10.3.1 Netzformen für die Energieeinspeisung und -verteilung	229
10.3.1.1 Einfaches Strahlennetz	229
10.3.1.2 Strahlennetz mit Umschaltreserve	230
10.3.1.3 Strahlennetz im Netzverband	232
10.3.1.4 Mehrstrangig gespeistes Maschennetz	233
10.3.1.5 Mehrfachstrahlennetz mit Schienenverteilern	234
10.3.2 Auswahl der wirtschaftlich und technisch vorteilhaftesten Netzform	235
11 Auswahl und Auslegung der Betriebsmittel	237
11.1 Verteilungstransformatoren	237
11.2 Niederspannungs-Schaltanlagen und -Verteiler	243
11.2.1 Schaltanlage SIVACON S8	248
11.2.2 Installationsverteiler ALPHA 630	254
11.2.3 Isolierstoff-Verteilersystem ALPHA 8HP	255
11.2.4 Schienenverteiler-System SIVACON 8PS	255
11.2.5 Transformator-Schwerpunktstation mit SIVACON S8/8PS	259
11.3 Kabel	262
11.3.1 Zulässige Strombelastbarkeit	262
11.3.2 Schutz bei Überlast	271
11.3.3 Schutz bei Kurzschluss	274
11.3.4 Schutz gegen elektrischen Schlag	279
11.3.5 Einzuhalternder Spannungsfall	282
11.3.6 Dimensionierungsbeispiel	289
12 Blindleistungskompensation	296
12.1 Technische und wirtschaftliche Begründung der Kompensation	296
12.2 Kompensation bei Betrieb linearer Verbraucher	296
12.2.1 Bestimmung der erforderlichen Kondensatorleistung	297
12.2.2 Arten der Blindleistungskompensation	301

12.2.2.1 Einzelkompensation	301
12.2.2.2 Gruppenkompensation	302
12.2.2.3 Zentralkompensation	302
12.2.2.4 Gemischte Kompensation	304
12.2.3 Wahl der vorteilhaftesten Kompensationsart	304
12.2.4 Blindleistungskompensation bei Drehstrom-Asynchronmotoren und Verteilungstransformatoren	305
12.2.4.1 Drehstrom-Asynchronmotoren	305
12.2.4.2 Verteilungstransformatoren	308
12.2.5 Anschluss und Betrieb regelbarer Kompensationsanlagen	311
12.2.5.1 Stromwandlerauswahl für den Regler	312
12.2.5.2 Festlegung der Stufenzahl und -leistung	313
12.2.5.3 Einstellung des Regleransprechwertes (C/k-Wert)	314
12.2.5.4 Anforderungen an Leistungskondensatoren sowie Anschluss und Absicherung	315
12.2.5.5 Rückwirkungen auf Tonfrequenz-Rundsteueranlagen	319
12.3 Kompensation bei Betrieb nichtlinearer Verbraucher	322
12.3.1 Negative Auswirkungen von Oberschwingungen im Netz	322
12.3.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Oberschwingungen	327
12.3.2.1 Einbau verdrosselter Kondensatoren	327
12.3.2.2 Einsatz abgestimmter Filterkreise	331
12.3.2.3 Betrieb mit Aktivfiltern	334
12.4 Planung von Kompensationsanlagen mit Produkten der Fa. Modl	335
12.5 Nachweis des wirtschaftlichen und technischen Nutzens der Blindleistungskompensation	338
13 Auslegung des NS-Netzschutzes	344
13.1 Schutz- und gerätetechnische Grundlagen	344
13.1.1 Sicherungen	345
13.1.2 Leistungsschalter	346
13.1.3 Schaltkombinationen	350
13.1.4 Vergleichende Bewertung der Eigenschaften von Schutzeinrichtungen	353
13.2 Selektivität in NS-Netzen	355
13.2.1 Radial betriebene Netze	355
13.2.1.1 Selektivität zwischen NH-Sicherungen	356
13.2.1.2 Selektivität zwischen Leistungsschaltern	357
13.2.1.3 Selektivität zwischen Leistungsschalter und NH-Sicherung	361
13.2.1.4 Selektivität bei parallelen Einspeisungen	364
13.2.1.5 Selektivität und Unterspannungsschutz	370
13.2.2 Geschlossen betriebene NS-Netze	371
13.2.2.1 Selektivität in Maschennetzen mit Knotenpunktsicherungen	371
13.2.2.2 Selektivität bei Betrieb von Strahlennetzen im Netzverband	372
13.2.2.3 Selektivität in Mehrfachstrahlennetzen mit Schienenverteilern	374
13.3 Beispiel einer selektiven Schutzkoordination mit SIMARIS® design	374
14 Verzeichnis der verwendeten Akronyme, Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes	381
14.1 Akronyme und Abkürzungen	381
14.2 Formelzeichen	384

Inhaltsverzeichnis

14.2.1 Ströme	384
14.2.2 Spannungen	384
14.2.3 Widerstände	385
14.2.4 Leistungen und Energie	385
14.2.5 Zeit/Dauer	385
14.2.6 Faktoren	385
14.2.7 Sonstige Größen	386
14.3 Indizes	387
Literaturverzeichnis und weiterführendes Schrifttum	388
Stichwortverzeichnis	411