

Inhalt

Vorwort	5
1 Einführung	11
1.1 Einleitung	11
1.2 Übersicht im Bereich elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	12
1.3 Definition wichtiger Begriffe und Formeln	16
1.3.1 Grundschiwingung	16
1.3.2 Verzerrungsblindleistung und Leistungsfaktor λ	16
1.3.3 Oberschwingungen und Fourier-Analyse	20
1.3.4 Beispiel einer Anschnittsteuerung	21
1.3.5 Oberschwingungsauslöschung	25
1.3.6 Strom im Neutralleiter	25
2 Normen	27
2.1 Merkmale der Netzspannung	28
2.1.1 Spannungsschwankungen	29
2.1.2 Spannungseinbrüche und Spannungsausfälle	30
2.1.3 Netzspannungstransienten	31
2.1.4 Kommutierungseinbrüche	33
2.1.5 Spannungsunsymmetrie	34
2.1.6 Flicker	35
2.1.7 Oberschwingungen und Zwischenharmonische	37
2.1.8 Bezugsimpedanz	39
3 Ursachen für Netzurückwirkungen	41
3.1 Umrichterarten	41
3.1.1 Stromrichter	41
3.1.2 Frequenzumrichter	42
3.1.3 Aktive Gleichrichter	43
3.1.4 Anschnittsteuerung	44
3.2 Netzimpedanz, Blindstromkompensation, Netzvorbelastung und Leitungsresonanz	45
3.3 Gesteuerte Gleichrichter mit induktivem Zwischenkreis	49
3.4 Einphasige ungesteuerte Gleichrichter mit kapazitivem Zwischenkreis	54
3.5 Dreiphasige ungesteuerte Gleichrichter mit kapazitivem Zwischenkreis	59

4	Blindstromkompensationsanlagen	63
4.1	Einleitung	63
4.2	Unverdrosselte Kompensationsanlagen	64
4.2.1	Schwingkreise und Resonanz	65
4.2.2	Spannungstransienten durch Schaltvorgänge	68
4.2.3	Beeinträchtigung von Tonfrequenz-Rundsteueranlagen	70
4.3	Verdrosselte Kompensationsanlagen	70
4.3.1	Arbeitspunkte der verdrosselten Kompensationsanlage	71
4.3.2	Spannungstransienten bei Verdrosselung	74
4.3.3	Tonfrequenz-Rundsteueranlagen	74
4.3.4	Kombiverdrosselung – eine Sonderlösung	75
4.4	Aktive Oberschwingungskompensation	76
4.5	Zusammenfassung	76
5	Generatorbetrieb und Netzersatzanlagen	79
5.1	Anwendung und Belastbarkeit von Generatoren	79
5.2	Impedanz des Generators im Vergleich zum Transformator	81
5.3	Einphasenlasten und dritte Oberschwingung	84
5.4	Kondensatoren im Netz und Induktivitäten im Umrichter	86
5.5	Passives Oberschwingungsfilter zwischen Generator und Umrichter ..	87
6	Messtechnik	95
6.1	Auswirkung nicht sinusförmiger Signale auf Spannungs- und Strommessgeräte	95
6.2	Zu erfassende Messgrößen	98
6.3	Messgeräte zur Oberschwingungsmessung	98
6.3.1	Anbieter von Messgeräten	101
7	Maßnahmen gegen Netzzrückwirkungen	103
7.1	Netzbetreiber – Anlagenbetreiber – Gerätehersteller	103
7.2	Gleichstromseitige Induktivität und kapazitive Glättung	104
7.3	Netzseitige Induktivität und kapazitive Glättung	110
7.4	Oberschwingungsauslöschung durch unterschiedliche Geräte	118
7.5	Transformatorschaltgruppen, zwölf- und höherpulsige Gleichrichtung	122
7.5.1	Dreiwicklungstransformator	122
7.5.2	Unterschiedliche Transformatorschaltgruppen	122
7.5.3	Quasi-Zwölfpuls-Gleichrichtung mit Spartransformator	123
7.6	Passive Filter (AHF, Advanced Harmonic Filter)	124
7.7	Aktive Filter	128
7.7.1	Funktionsprinzip	128
7.7.2	Aufbau eines aktiven Filters	130
7.7.3	Funktionsweise von aktiven Filtern	132

7.7.4	Betriebsart Parallelbetrieb	135
7.7.5	Betriebsart Serienbetrieb	136
7.7.6	Auswirkungen auf die Umgebung und EMV-Probleme	136
7.8	Aktive geschaltete Netzgleichrichter	138
8	Projektierungsleitfaden	143
8.1	Anlagenbetrachtung	143
8.1.1	Blindstromkompensationen	144
8.1.2	Überdimensionierung erforderlich	145
8.1.3	Funktionssicherheit und Lebensdauer von Verbrauchern	145
8.2	Möglichkeiten der Oberschwingungsreduzierung	145
8.2.1	Verbesserung der Netzimpedanz	146
8.2.2	Reduzierung der Geräteemission	148
8.2.3	Spezifisch wirkende Saugkreise	149
8.2.4	Passive Oberschwingungsfilter	149
8.2.5	Zwölfpuls-Schaltung	150
8.2.6	Elektronische Filter	151
8.2.7	Zusammenfassung	152
8.3	Software zur Oberschwingungsberechnung	153
8.3.1	Harmonic Calculation Software HCS	154
8.3.2	Bedienung und Leistungsumfang der HCS-Software	154
8.3.3	Zusammenfassung	157
9	Ausblick	159
10	Literatur	161