

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist 2018-09-01.

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	10
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten	10
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	11
Einleitung	13
1 Anwendungsbereich.....	14
2 Normative Verweisungen	14
3 Begriffe	15
4 Allgemeine Systemeigenschaften von an das Versorgungsnetz angeschlossenen aktiven PWM-Stromrichtern	20
4.1 Allgemeines	20
4.2 Grundsätzliche Topologien und Arbeitsprinzipien.....	20
4.2.1 Allgemeines	20
4.2.2 Arbeitsprinzipien.....	20
4.2.3 Ersatzschaltbild eines AIC.....	22
4.2.4 Filter.....	23
4.2.5 Pulsmuster.....	23
4.2.6 Regelverfahren.....	24
4.2.7 Regelung von Stromkomponenten.....	24
4.2.8 Aktive Leistungsfaktorkorrektur.....	24
4.3 AIC-Auslegung	25
4.3.1 Allgemeines	25
4.3.2 Umrichterauslegung unter sinusförmigen Betriebsbedingungen	25
4.3.3 Umrichterauslegung bei harmonischen Strömen.....	25
4.3.4 Umrichterauslegung bei dynamischen Betriebszuständen	26
5 Betrachtungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) bei der Verwendung von AICs	26
5.1 Allgemeines	26
5.2 Niederfrequente Phänomene (< 150 kHz)	27
5.2.1 Allgemeines	27
5.2.2 Aufkommende Stromrichtertopologien und ihre Vorteile für das Stromversorgungsnetz.....	27
5.2.3 Aktive Symmetrierung des Netzwerks.....	28
5.2.4 Gemessene Netzimpedanzen im Bereich zwischen 2 kHz bis 20 kHz.....	34
5.2.5 Vorschlag für eine angemessene Netznachbildung (LISN) von 2 kHz bis 9 kHz	39
5.2.6 Auswirkungen auf industrielle Geräte im Frequenzband 2 kHz bis 9 kHz	43
5.3 Hochfrequente Phänomene (> 150 kHz).....	45

	Seite
5.3.1 Allgemeines.....	45
5.3.2 Abschwächung der Verzerrung.....	45
5.3.3 Immunität.....	46
5.3.4 EMV-Filter	46
5.4 Hörbare Geräuscheffekte.....	46
5.5 Ableitströme	47
5.6 Aspekte der Systemintegration und spezielle Prüfungen	47
6 Merkmale eines aktiven PWM-Spannungszwischenkreisumrichters in Zweipunkttechnik.....	47
6.1 Allgemeines.....	47
6.2 Allgemeine Funktion, grundlegende Schaltungstopologien.....	47
6.3 Leistungsregelung	50
6.4 Dynamische Leistungsfähigkeit.....	51
6.5 Gewünschte nicht sinusförmige Netzströme.....	51
6.6 Unerwünschte nicht sinusförmige Netzströme.....	51
6.7 Verfügbarkeit und Systemaspekte	52
6.8 Betrieb im aktiven Filtermodus.....	53
7 Merkmale eines PWM-aktiven Einspeisenumrichters mit Spannungszwischenkreis in Dreipunkt-Topologie.....	53
7.1 Allgemeine Funktion, grundlegende Schaltungstopologien.....	53
7.2 Leistungsregelung	54
7.3 Dynamische Leistungsfähigkeit.....	54
7.4 Unerwünschte nicht sinusförmige Netzströme.....	55
7.5 Verfügbarkeit und Systemaspekte	55
8 Merkmale eines aktiven PWM-Spannungszwischenkreisumrichters in Multi-Level-Topologie	56
8.1 Allgemeine Funktion, grundlegende Schaltungstopologien.....	56
8.2 Leistungsregelung	57
8.3 Dynamische Leistungsfähigkeit.....	57
8.4 Verzerrung der Netzspannung	58
8.5 Verfügbarkeit und Systemaspekte	58
9 Merkmale eines Spannungszwischenkreis-AIC vom Typ F3E	58
9.1 Allgemeine Funktion, grundlegende Schaltungstopologien.....	58
9.2 Leistungsregelung und wechsellspannungsseitige Netzfilter	59
9.3 Dynamische Leistungsfähigkeit.....	61
9.4 Oberschwingungsstrom	62
10 Merkmale eines Spannungszwischenkreis-AIC in Puls-Chopper-Topologie.....	62
10.1 Allgemeines.....	62
10.2 Allgemeine Funktion, grundlegende Schaltungstopologien.....	62
10.3 Erwünschter nicht sinusförmiger Netzstrom	64
10.4 Unerwünschter nicht sinusförmiger Netzstrom	64

	Seite	
10.5	Zuverlässigkeit.....	64
10.6	Leistungsfähigkeit.....	64
10.7	Verfügbarkeit und Systemaspekte	64
11	Merkmale eines Zweipunkt-Stromzwischenkreis-PWM-AIC (CSC).....	64
11.1	Allgemeines	64
11.2	Allgemeine Funktion, grundlegende Umrichteranschlüsse	65
11.3	Leistungsregelung	66
11.4	Dynamische Leistungsfähigkeit.....	67
11.5	Netzstromverzerrung	68
11.6	Betrieb im aktiven Filtermodus	68
11.7	Verfügbarkeit und Systemaspekte	68
Anhang A	(informativ).....	69
A.1	Regelungsmethoden für AICs in VSC (Spannungszwischenkreis)-Topologie.....	69
A.1.1	Allgemeines	69
A.1.2	Überlegungen von Regelungsmethoden.....	69
A.1.3	Kurzschlussüberbrückungsfunktionalität für dezentrale Einprägungen mit AIC	70
A.1.4	Fehlerüberbrückungsmodus.....	70
A.2	Beispiele für in der Praxis realisierte AIC-Anwendungen.....	72
A.2.1	Stromzwischenkreis-AIC (CSC)	72
A.2.2	Aktiver Einspeisenumrichter mit Kommutierung auf der DC-Seite (Blindleistungsumrichter).....	73
A.3	Einzelheiten über Zweipunkt- und mehrstufige AICs in VSC-Topologie.....	76
A.3.1	Eigenschaften von aktiven Einspeisenumrichtern (PWM) mit unterschiedlicher Anzahl von Leveln	76
A.3.2	Beispiele für typische Kurvenformen von AICs	77
A.3.3	Aufbau und Realisierung	78
A.4	Grundlegende Übertragungsregeln zwischen Spannungs- und Stromverzerrung eines AIC.....	78
A.5	Beispiele für den Einfluss von AICs auf die Spannungsqualität.....	79
A.6	Widerstandsfähigkeit von Leistungskondensatoren bezüglich Verzerrung im Bereich von 2 kHz bis 9 kHz.....	80
A.6.1	Allgemeines	80
A.6.2	Kataloginformationen über zulässige harmonische Belastung	82
A.6.3	Frequenzgrenzen für zulässige Verzerrungspegel	82
A.6.4	Frequenzspektrum von aktiven Einspeisenumrichtern	83
A.6.5	Fazit.....	84
A.7	Auswirkungen zusätzlicher AIC-Filtermaßnahmen im Bereich von 2 kHz bis 9 kHz	84
A.7.1	Allgemeines	84
A.7.2	Beispiel einer PDS-Konstellation (AIC und CSI)	85
A.7.3	Fazit.....	88
A.8	Beispiel für die Messung der Netzimpedanz.....	88
A.8.1	Allgemeines	88

	Seite
A.8.2 Grundprinzip der Messung.....	89
A.8.3 Einprägungsmethoden harmonischer Komponenten für die Messung.....	89
A.8.4 Harmonische Stromerzeugung durch ein störendes Gerät	90
A.8.5 Referenzen basierend auf Stromeinprägung durch Störung (Methode A)	90
A.8.6 Literaturquellen basierend auf Einprägung einer einzelnen sinusförmigen Frequenz (Methode B).....	92
Anhang B (informativ).....	94
B.1 Grundlegende Überlegungen für Design-Empfehlungen von AICs im Bereich von 2 kHz bis 9 kHz.....	94
B.1.1 Übersicht	94
B.1.2 Allgemeines.....	94
B.1.3 Widerstandsfähigkeit von am Stromversorgungsnetz angeschlossenen Leistungskondensatoren und Empfehlung für die Kompatibilität im Frequenzbereich 2 kHz bis 9 kHz.....	95
B.1.4 Grundlegende Bedingungen für die Festlegung der Widerstandsfähigkeitskurve des Kondensators	95
B.1.5 Anpassung von AIC-Umrichtern (Zweipunkt-PWM) auf verschiedene Netzwerkbedingungen ohne Überlastung von Leistungskondensatoren.....	97
B.1.6 Überlegungen in Bezug auf Mittelspannungsnetze	99
B.1.7 Überlegungen zur Filterung von AICs	100
B.1.8 Technisch und wirtschaftlich angemessene Menge von AICs.....	100
B.1.9 Frequenzbereich von 2 kHz bis 9 kHz	101
B.2 Auslegungsempfehlungen für leitungsgebundene Emissionen von Niederspannungs-AICs im angemessenen Zusammenhang mit höheren Frequenzen zwischen 9 kHz und 150 kHz.....	102
B.2.1 Allgemeines.....	102
B.2.2 Ergebnisse der Datensammlung.....	103
B.2.3 Schlussfolgerungen.....	105
Literaturhinweise	107
Bilder	
Bild 1 – AIC in VSC-Topologie, grundlegende Struktur	21
Bild 2 – AIC in CSC-Topologie, grundlegende Struktur	21
Bild 3 – Ersatzschaltbild für das Zusammenspiel des Stromversorgungsnetzes mit einem AIC.....	22
Bild 4 – Spannungs- und Stromzeiger von Netz und Umrichter bei Grundfrequenz bei unterschiedlichen Betriebspunkten	25
Bild 5 – Die grundlegenden Felder von EMV als Stellgrößen der Wirtschaftlichkeit.....	26
Bild 6 – Typische(r) Netzstrom $i_L(t)$ und Netzspannung $u_{LN}(t)$ eines netzgeführten Stromrichters mit DC-Ausgang und induktiver Glättung.....	28
Bild 7 – Typische(r) Netzstrom $i_L(t)$ und Netzspannung $u_{LN}(t)$ eines ungesteuerten Gleichrichters mit DC-Ausgang und kapazitiver Glättung.....	28
Bild 8 – Typische(r) Netzstrom $i_L(t)$ und Netzspannung $u_{LN}(t)$ eines mit einem PWM-Umrichter realisierten AIC mit kapazitiver Glättung ohne zusätzliche Filter.....	28

— Vornorm —

DIN IEC/TS 62578 (VDE V 0558-578):2018-09

	Seite
Bild 9 – Beispiel erreichbarer Wirk- und Blindleistung eines AIC (Typ Spannungszwischenkreis) bei unterschiedlichen verketteten Netzspannungen in Prozent (mit 10 % Kurzschlussspannung, kombiniert aus Trafo- und Filterinduktivität, X/R Verhältnis = 10/1, Zwischenkreisspannung = 6,5 kV)	29
Bild 10 – Prinzip der Kompensation vorgegebener Oberschwingungen im Stromversorgungsnetz durch die gleichzeitige Verwendung von einem AIC und geeignetem Regelverfahren	30
Bild 11 – Typische Spannungsverzerrung der verketteten Spannung und der Phasenspannung, verursacht von einem AIC ohne zusätzliche Filter (u in % und t in Grad).....	31
Bild 12 – Grundlegendes Verhalten der relativen Spannungsverzerrung (59. Harmonische) von einem mit einer Pulsfrequenz von 3 kHz betriebenen AIC über R_{SCe} mit der Netzimpedanz nach 5.2.4	32
Bild 13 – Grundlegendes Verhalten der relativen Störströme (59. Harmonische) von einem mit einer Pulsfrequenz von 3 kHz betriebenen AIC über R_{SCe} mit der Netzimpedanz nach 5.2.4	33
Bild 14 – Einphasiges Ersatzschaltbild der drei passiven verketteten Filtertopologien für VSC und ein Beispiel für passive Dämpfung	33
Bild 15 – Beispiel für die Dämpfung der verketteten VSC-Spannung zur verketteten Spannung am IPC mit verketteten Filtertopologien nach Stand der Technik	34
Bild 16 – Anschluss der Geräte zur Messung der Netzimpedanz	35
Bild 17 – Beispiel der gemessenen Impedanz eines Niederspannungstransformators im Leerlauf S = 630 kVA, $u_k = 6,08\%$	36
Bild 18 – Gemessene Variation der Netzimpedanz im Laufe eines Tages an einem Standort	36
Bild 19 – Netzimpedanz mit teilweise negativen Imaginärteil.....	37
Bild 20 – Verteilung der Netzimpedanz (gemessen zwischen Phase und Neutralleiter) in Niederspannungssystemen über der Frequenz	37
Bild 21 – Statistische Verteilung der Mitimpedanz über der Frequenz in Niederspannungsnetzen	38
Bild 22 – Ersatzschaltbild zur Beschreibung der Netzimpedanz	39
Bild 23 – Schaltungstopologie für die Netzsimulation.....	40
Bild 24 – Approximierte und gemessene 50-%-Impedanzkurve	41
Bild 25 – Einphasige Schaltungstopologie gemäß IEC 61000-4-7+ für die Netznachbildung.....	41
Bild 26 – Dreiphasige Schaltungstopologie für die Netznachbildung	42
Bild 27 – Impedanzveränderung der in Bild 26 beschriebenen LISN in der 90-%-Kurve.....	43
Bild 28 – PDS mit großer Zwischenkreiskapazität.....	44
Bild 29 – PDS mit großer Kapazität und Netzdrossel.....	44
Bild 30 – PDS mit einer großen Kapazität und Zwischenkreisdrosseln	45
Bild 31 – Grundlegende EMV-Filtertopologie	46
Bild 32 – Blockschaltbild des PDS mit Hochfrequenz-EMV-Filtersystem.....	46
Bild 33 – Darstellung einer grundlegenden Topologie eines PWM-Spannungszwischenkreis-AIC in Zweipunkttechnik.....	48
Bild 34 – Typische Kurvenformen von Spannungen $u_{S1N} / U_{LN,1}$ und der Spannung $u_{S12} / U_{LN,1}$ bei einer Pulsfrequenz von 4 kHz	49
Bild 35 – Typische Kurvenformen der Gleichtaktspannung $u_{CM} / U_{LN,1}$ bei einer Pulsfrequenz von 4 kHz, Netzfrequenz ist 50 Hz.....	49

	Seite
Bild 36 – Kurvenform des Stromes I_{L1} / I_{equ} bei einer Pulsfrequenz von 4 kHz, relative Impedanz $u_{SCV, equ}$ von = 6 %	50
Bild 37 – Blockschaltbild eines Zweipunkt-PWM-AIC	50
Bild 38 – Verzerrung des Stromes I_{L1} der Reaktanz X_{equ} , Pulsfrequenz 4 kHz, relative Reaktanz $u_{SCV, equ} = 6 %$	52
Bild 39 – Typische Spannungen $u_{L1N} / U_{LN,1}$ und $u_{L12} / U_{LN,1}$ bei einer Puls-Frequenz von 4 kHz, relative Reaktanz $u_{SCV, equ} = 6 %$, $R_{SCe} = 100$	52
Bild 40 – Grundlegende Topologie eines Dreipunkt-AIC. Für ein Antriebssystem (PDS) darf die gleiche Topologie auch auf der Lastseite verwendet werden	53
Bild 41 – Typische Kurvenform der verketteten Spannung eines Dreipunkt-PWM-Umrichters	54
Bild 42 – Beispiel für eine plötzliche Laständerung eines 13-MW-Dreipunktumrichters, bei dem die Stromregelung eine Reaktionszeit innerhalb von 5 ms erreicht	55
Bild 43 – Typische Topologie eines freischwebenden Kondensator (FC)-Vierpunkt-AIC unter Verwendung von IGBTs	56
Bild 44 – Typische Kurvenform der verketteten Spannung eines Multi(Vier-)-Level-AIC	57
Bild 45 – Verzerrungsfrequenzen und Amplituden in der Netzspannung (gemessen direkt an den Brückenabzweig in Bild 25 und beim Netzstrom eines Mehrpunkt(Vier)-AIC (Transformator mit 10 % Kurzschlussspannung)	58
Bild 46 – Topologie eines F3E-AIC	59
Bild 47 – Netzseitiger Filter und Ersatzschaltbild für das F3E-Umrichter-Verhalten für das Stromversorgungsnetz	60
Bild 48 – Stromübertragungsfunktion bei $R_{SCe} = 100$ und $R_{SCe} = 750$ und einem netzseitigen Filter: $G(f) = i_{L1} / i_{conv}$	60
Bild 49 – PWM-Spannungsverzerrung über der Netzimpedanz für eine F3E-Einspeisung mit wechsellastseitigem Netzfilter	61
Bild 50 – Eingangsstromspektrum eines F3E-75-kW-Umrichters	61
Bild 51 – Oberschwingungsspektrum des Eingangstromes eines F3E-Umrichters mit $R_{SCe} = 100$	62
Bild 52 – Darstellung eines Verzerrungseffekts, der durch einen Einphasen-Umrichter mit kapazitiver Last verursacht wird	63
Bild 53 – AC zu AC-AIC-Puls-Chopper, grundlegende Schaltung	63
Bild 54 – Darstellung einer Stromzwischenkreis-Umrichter-AIC-Topologie	65
Bild 55 – Typische Kurvenformen der Ströme und Spannungen eines Stromzwischenkreis-AIC mit hoher Schaltfrequenz	66
Bild 56 – Typisches Blockschaltbild eines Stromzwischenkreis-PWM-AIC	67
Bild 57 – Stromzwischenkreis-AIC als aktiver Filter, um die Oberschwingungsströme durch eine nichtlineare Last zu kompensieren	67
Bild 58 – Sprungantwort (Sollwert und Istwert) des Stromzwischenkreis-AIC mit niedriger Schaltfrequenz	68
Bild A.1 – Prinzipskizze für kombiniertes spannungs- und stromeinprägendes Modulationsbeispiel für Phasenabschnitt R	71
Bild A.2 – Beispiel für geregelten Netzstrom bei einem Spannungseinbruch des Stromversorgungsnetzes unter Verwendung von Hysterese und PWM-Regelung	72
Bild A.3 – Typische Kurvenformen von elektrischem Netzstrom und elektrischer Netzspannung für einen Stromzwischenkreis-AIC mit niedriger Schaltfrequenz	72

— Vornorm —

DIN IEC/TS 62578 (VDE V 0558-578):2018-09

	Seite
Bild A.4 – Ströme und Spannungen in einem (Halbleiter-)Ventilbauelement eines AIC und eines maschinenseitigen Umrichters, beide mit Stromzwischenkreis mit niedriger Pulsfrequenz	73
Bild A.5 – Der Klirrfaktor von Stromversorgungsnetz und Motorstrom bleibt immer unter 8 % (Dreiecke in gerader Linie) in dieser Anwendung	73
Bild A.6 – Grundlegende Topologie eines AIC mit Kommutierung auf der DC-Seite (sechspulsige Variante)	74
Bild A.7 – Dynamische Leistung eines Blindleistungsumrichters	75
Bild A.8 – Netzstrom für einen zwölfpulsigen Blindleistungsstromrichter in einer kapazitiven und induktiven Betriebsart ($u_{SCV, equ} = 15\%$)	75
Bild A.9 – Entstehung der Stromkurvenform eines Blindleistungsstromrichters aus der Netzspannung (sinusförmig) und der Umrichterspannung (rechteckig)	76
Bild A.10 – Zweipunkttopologie mit einer Nennspannung von maximal 1 200 V und einer Zeitablenkung von 5 ms/div	77
Bild A.11 – Zweipunkttopologie mit einer Nennspannung von maximal 2 400 V und einer Zeitablenkung von 5 ms/div	77
Bild A.12 – Vierpunkttopologie mit einer Nennspannung von maximal 3 300 V und einer Zeitablenkung von 5 ms/div	78
Bild A.13 – Allgemeiner Einfluss der wesentlichen Eigenschaften auf die Spannungsverzerrung und Stromverzerrung	79
Bild A.14 – Gemessene Reduzierung der Spannungsverzerrung, wenn vier AICs an das Stromversorgungsnetz angeschlossen sind	80
Bild A.15 – Auszüge aus Katalogdaten eines Herstellers von Leistungskondensatoren; 760 V AC; (Bemessungsspannung: 690 V AC) für die Temperaturberechnung	80
Bild A.16 – Blindleistung und Verluste eines Leistungskondensators bei Versorgung durch eine Quelle mit konstanter Referenzspannung und variabler Frequenz ($R_{cp} = f(h)$)	81
Bild A.17 – Scheinleistung und Verluste eines typischen Leistungskondensators bei verschiedenen Spannungsverzerrungspegeln und den kritischen Frequenzgrenzen (bei einer einzigen Frequenz), an denen der Temperaturanstieg beträchtliche Werte erreicht (vertikale Pfeile)	83
Bild A.18 – Spannungsspektrum eines AIC und die Auswirkungen einer Netzimpedanzreduzierung auf die Temperatur des Kondensators (von 10 K bis 0,44 K) und die Zusammensetzung des Spektrums	84
Bild A.19 – Eine Windkraftanlage und ein Bergwerkshaspelantrieb, an das gleiche Netz angeschlossen	85
Bild A.20 – Netzwerkconfiguration für die Anlage aus Bild A.19 mit zugewiesenen Messpunkten	86
Bild A.21 – Normaler Strom des CSI (AIC-Filter deaktiviert) und Verstärkung des Stroms bei Resonanz verursacht durch die AIC-Filterschaltung (wenn der AIC-Filter aktiviert ist)	86
Bild A.22 – Grundprinzip der Impedanzmessung	89
Bild A.23 – Harmonische Stromerzeugung durch ein störendes Gerät	90
Bild A.24 – Messung durch Schalten eines Widerstandes	90
Bild A.25 – Messung durch eine Kondensatorbatterie	91
Bild A.26 – Ein 6,6-kV-Netzimpedanzmesssystem für Inselnetzerkennung durch die Einprägung von Zwischenharmonischen	92
Bild B.1 – Störfestigkeitspegel gegen Oberschwingungsspannungen im Stromversorgungsnetz im Hinblick auf zulässige Temperaturerhöhung in Kondensatoren, wenn die Spannungsverzerrung entweder durch eine vorherrschende Frequenz (obere Linie) bestimmt ist oder wenn die Verzerrung überwiegend durch ein harmonisches Spektrum, verursacht durch mehrere parallel betriebene AICs (Zweipunkt-PWM), bestimmt ist (untere Linie)	96

	Seite
Bild B.2 – Oberschwingungsspannungsspektrum eines Zweipunkt-PWM-AIC mit akzeptabler Temperaturerhöhung eines Leitungskondensators von nicht mehr als 10 K	97
Bild B.3 – Maximale Spannungsverzerrung eines Spektrums, verursacht durch mehrere AICs (einphasige Topologien).....	98
Bild B.4 – Maximale Spannungsverzerrung eines Spektrums, verursacht durch mehrere AICs (dreiphasige Topologien)	98
Bild B.5 – Tabelle zur Anpassung einphasiger AICs (Zweipunkt) an verschiedene Bedingungen des Stromversorgungsnetzes, um die Grenzkurven für Leistungskondensatoren anzuwenden	99
Bild B.6 – Tabelle zur Anpassung dreiphasiger AICs (Zweipunkt) an verschiedene Bedingungen des Stromversorgungsnetzes, um die Grenzkurven für Leistungskondensatoren anzuwenden	99
Bild B.7 – Bild der typischen Netzresonanzfrequenz durch Erhöhung des AIC-Filtervorkommens über dem Spannungsverzerrungspegel.....	100
Bild B.8 – Skizze der typischen Größe/Kosten einer AIC-Anwendung im Vergleich zur Schaltfrequenz des AIC	101
Bild B.9 – Bild der Wahrscheinlichkeit von Überlastungs- und Stressproblemen für das Netz und die daran angeschlossenen Einrichtungen, je nach festgelegtem Verzerrungspegel unter verschiedenen Annahmen	101
Bild B.10 – Ergebnisse der Datenerhebung im Vergleich zu den in der IEC/TS 62578 vorgeschlagenen Maximalwerten für über 75 kVA bemessene Produkte	103
Bild B.11 – Ergebnisse der Datenerhebung im Vergleich zu den in der IEC/TS 62578 vorgeschlagenen Maximalwerten für unter 75 kVA bemessene Produkte	104
Bild B.12 – Ergebnisse der Datenerhebung im Vergleich zu den in der IEC/TS 62578 vorgeschlagenen Maximalwerten für über 75 kVA bemessene Produkte	104
Bild B.13 – Maximale empfohlene Emissionswerte für AIC verschiedener Kategorien im Bereich von 9 kHz bis zu 150 kHz	105
Tabellen	
Tabelle 1 – Parameter der Netznachbildung für verschiedene Netzimpedanzkurven.....	40
Tabelle 2 – Parameter der in Bild 25 und Bild 26 beschriebenen LISN.....	42
Tabelle A.1 – Zustand 1: positive Stromgrenze erreicht, Transistor T1 ist auszuschalten, um den Strom zu senken	71
Tabelle A.2 – Zustand 2: negative Stromgrenze erreicht, Transistor T2 ist auszuschalten, um den Strom zu senken	71
Tabelle A.3 – Zustand 0: Strom in Phase R im Toleranzbereich, Pure-Spannungseinprägung aktiv (z. B. mit PWM).....	71
Tabelle A.4 – Vergleich von verschiedenen PWM-AICs in VSC-Topologie.....	76
Tabelle A.5 – Die Spannungsverzerrung auf beiden Leitungen (II und III) ohne und mit Filterschaltung (der Filter wurde bemessen, um 0,2-%-Verzerrung auf der MV-Power-Line zu erreichen)	87
Tabelle A.6 – Stromverteilung innerhalb des Netzwerks, beschrieben für bestimmte Frequenzen und an den in Bild A.20 aufgezeigten zugewiesenen Messpunkten.....	88
Tabelle B.1 – AIC-Auslegungsempfehlungen für einen maximalen Verzerrungsfaktor im Frequenzbereich von 2 kHz bis 9 kHz	102
Tabelle B.2 – Maximale empfohlene Emissionswerte für AIC verschiedener Kategorien im Bereich von 9 kHz bis zu 150 kHz.....	106