

Halbleiter-StromrichterAllgemeine Bestimmungen
und besondere Bestimmungen
für netzgeführte Stromrichter**DIN**
VDE 0558
Teil 1

Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e. V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.

Semiconductor convertors;
general specifications
and particular specifications
for line-commutated convertors
Convertisseurs à semiconducteurs;
spécifications particulières
pour convertisseurs commutés par le réseau

Ersatz für
DIN 57558 Teil 1/
VDE 0558 Teil 1/08.77 und
DIN 57558 Teil 1a/
VDE 0558 Teil a/12.79

Zusammenhang mit der von der International Electrotechnical Commission (ICE) herausgegebenen Internationalen Norm ICE 146, 2. Ausgabe, 1973, siehe Erläuterungen.

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm (VDE-Bestimmung) gilt ab 1. Juli 1987.

Entwurf war veröffentlicht als DIN VDE 0558 Teil 1/06.84.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	5.2 Anforderungen hinsichtlich Belastbarkeit und Betriebseigenschaften	29
2 Begriffe	2	5.3 Anforderungen an die elektrischen Ausrüstungsteile	31
2.1 Allgemeine Begriffe und Benennungen	2	5.4 Anforderungen hinsichtlich Schutz	34
2.2 Begriffe bei Gleichrichterdiolen und Thyristoren	5	5.5 Anforderungen an Kennzeichnung und Leistungsschild	38
2.3 Begriffe für Stromrichtersätze	6	5.6 Anwendungsbedingte Anforderungen	40
2.4 Begriffe für Stromrichtertransformatoren	6	5.7 Prüfung	42
2.5 Begriffe für Drosselspulen	7	6 Ergänzende Hinweise	52
2.6 Begriffe für Kondensatoren	7	6.1 Verwendete Formelzeichen	52
2.7 Stromrichtergeräte und -anlagen, Begriffe für elektrische Größen	8	6.2 (bleibt frei)	53
2.8 Stromrichtergeräte und -anlagen, Begriffe für Arten, Aufbau und Betrieb	13	6.3 (bleibt frei)	53
3 Anforderungen und Prüfungen für Halbleiter-Ventilbauelemente	19	6.4 (bleibt frei)	53
3.1 Anforderungen an Gleichrichterdiolen und Thyristoren	20	6.5 Ermittlung der äußeren Gleichspannungsänderung	53
3.2 Prüfung von Gleichrichterdiolen und Thyristoren	20	6.6 Tabellen mit Kenndaten für Stromrichter-schaltungen und Stromrichtertransfor-matoren	54
4 Anforderungen und Prüfungen für Stromrichtersätze und Ventilbaugruppen ..	21	Tabelle 1	56
4.1 Anforderungen an Stromrichtersätze	21	Zitierte Normen und andere Unterlagen	74
4.2 Prüfung von Stromrichtersätzen	25	Weitere Normen	77
5 Anforderungen und Prüfungen für Strom-richtergeräte und -anlagen	28	Frühere Ausgaben	77
5.1 Anforderungen hinsichtlich Betriebs-bedingungen	28	Änderungen	77
		Erläuterungen	77
		Stichwortverzeichnis	82

Fortsetzung Seite 2 bis 88

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Stromrichter mit Einkristallhalbleiter-Ventilbauelementen (Gleichrichterdiolen, Thyristoren, Transistoren im Schaltbetrieb). Sie gilt für Gleichrichterdiolen und Thyristoren, für Stromrichtersätze und für damit ausgerüstete Stromrichtergeräte und -anlagen, soweit sie zum Umwandeln oder Steuern elektrischer Energie – unter Verwendung von Stromrichterventilen – bestimmt sind.

Diese Norm enthält allgemeine Bestimmungen für Halbleiter-Stromrichter und besondere Bestimmungen für netzgeführte Stromrichter (Gleichrichter, Wechselrichter, Wechselstromrichter). Sie gilt auch für andere Stromrichter, für die keine besonderen Bestimmungen vorliegen, soweit sie hierfür gegenständlich anwendbar ist.

Zur Zeit liegen folgende weitere besondere Bestimmungen vor:

DIN VDE 0558 Teil 2 Besondere Bestimmungen für selbstgeführte Stromrichter

DIN VDE 0558 Teil 3 Besondere Bestimmungen für Gleichstromsteller

DIN IEC 22B(Sec)50/ VDE 0558 Teil 5*) Unterbrechungsfreie Stromversorgung

DIN IEC 22B(Sec)55/ VDE 0558 Teil 6*) Schalter für Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV-Schalter)

Hinsichtlich steuerbarer Stromrichterventile ist diese Norm für Stromrichter mit rückwärts sperrenden Thyristor-Trioden aufgestellt. Sie ist sinngemäß für Stromrichter mit anderen Thyristoren und mit Transistoren im Schaltbetrieb anzuwenden.

Diese Norm gilt für Stromrichter für alle Anwendungen, soweit nicht für das jeweilige Anwendungsgebiet (z. B. Fahrzeuge) abweichende Bestimmungen vorliegen.

Hinsichtlich des Ausrüstens von Starkstromanlagen mit Betriebsmitteln nach dieser Norm ist DIN VDE 0160 zu beachten.

2 Begriffe

2.1 Allgemeine Begriffe und Benennungen

2.1.1 Halbleiter-Ventilbauelement (oder kurz Ventilbauelement)

Halbleiter-Ventilbauelement ist ein mechanisch nicht weiter unterteilbares Halbleiter-Bauelement, das einen oder auch mehrere Strompfade für jeweils eine Stromrichtung enthält, die entweder nicht oder bistabil steuerbar sind.

2.1.1.1 Gleichrichterdiode (Halbleiter-Gleichrichterdiode)

Sie ist ein zweipoliges Ventilbauelement mit mindestens einer Sperrschicht, einem Gehäuse sowie zwei elektrischen Anschlüssen, das in Vorwärtsrichtung einen kleinen, in Rückwärtsrichtung einen großen (Gleichstrom-) Widerstand aufweist (siehe auch DIN 41781).

2.1.1.2 Thyristor

Er ist ein Ventilbauelement mit mehreren Sperrschichten, einem Gehäuse sowie zwei Hauptanschlüssen und meist einem Steueranschluß, das in Schalttrichtung durch äußere Steuerung vom Sperr- in den Durchlaßzu-

stand umgeschaltet werden kann (siehe auch DIN 41786).

Abschalt-Thyristoren können durch äußere Steuerung auch vom Durchlaß- in den Sperrzustand umgeschaltet werden.

Rückwärts sperrende Thyristor-Trioden haben in Rückwärtsrichtung einen großen (Gleichstrom-)Widerstand, die Vorwärtsrichtung ist die Schalttrichtung. Sie besitzen einen Steueranschluß.

Zweirichtungs-Thyristoren (Zweirichtungs-Thyristor-Trioden, Triacs, siehe DIN 41786) weisen zwei Schalttrichtungen auf und werden als Zusammenfassung zweier Stromrichterventile entgegengesetzter Durchlaßrichtung angesehen.

2.1.1.3 Transistor im Schaltbetrieb

Er ist ein Ventilbauelement mit mehreren Sperrschichten, einem Gehäuse sowie meist drei Anschlüssen, das einen durch äußere Steuerung veränderbaren Widerstand besitzt, der periodisch auf einen großen und einen kleinen Wert eingestellt wird. Transistoren im Schaltbetrieb erfüllen im allgemeinen entsprechende Funktionen wie Thyristoren. Daher gelten alle in dieser Norm enthaltenen Angaben für Thyristoren sinngemäß auch für Transistoren im Schaltbetrieb.

2.1.2 Ventilbaugruppe

Ventilbaugruppe ist die konstruktive Einheit aus einem oder mehreren Ventilbauelementen mit den zugehörigen Montageteilen.

2.1.3 Stromrichtersatz (Ventilsatz)

Stromrichtersatz, auch Ventilsatz genannt, ist die konstruktive und elektrische Zusammenfassung der für eine Stromrichterschaltung erforderlichen, als Stromrichterventile wirkenden Ventilbauelemente einschließlich der elektrischen Verbindungen und gegebenenfalls der Kühleinrichtungen, Beschaltungs-Bauelemente, Steuerimpuls-Übertrager und Sicherungen.

Anmerkung: Je nach Art der verwendeten Ventilbauelemente sind auch die Bezeichnungen Diodensatz, Thyristorsatz usw. anwendbar.

2.1.4 Stromrichter, Stromrichtergerät, Stromrichteranlage

2.1.4.1 Stromrichter

Stromrichter sind Einrichtungen zum Stromrichten (siehe [Abschnitt 2.8.1.2.1](#)) mittels Stromrichterventilen, bestehend aus einem Stromrichtersatz (oder mehreren) sowie erforderlichenfalls Transformator, Steuersatz, Saugdrossel, Kommutierungseinrichtung, Energiespeicher im Zwischenkreis, Vervielfacher-Kondensatoren und gegebenenfalls Siebmitteln und Hilfseinrichtungen.

2.1.4.2 Netzgeführte Stromrichter

Netzgeführte Stromrichter sind Stromrichter, bei denen jede Stromübernahme (siehe DIN 41750 Teil 2) netzgeführt mit der Netzwechselspannung als Führungsspannung erfolgt.

2.1.4.3 Stromrichtergerät

Stromrichtergerät ist eine als Stromrichter betriebsfähige bauliche Einheit, z. B. in einem Gehäuse. Ein Stromrichtergerät enthält üblicherweise mindestens die Grundausrüstung nach [Abschnitt 2.8.2.1](#).

Anmerkung: Als Stromrichtergerät kann auch ein Gerät bezeichnet werden, bei dem einzelne Teile der Grundausrüstung (z. B. Saugdrosseln) getrennt

*) Z.Z. Entwurf

aufgestellt sind, sofern das Gerät ein Leistungsschild nach [Abschnitt 5.5.4](#) erhält.

2.1.4.4 Stromrichteranlage

Stromrichteranlage ist die Zusammenfassung der gemeinsam als Stromrichter wirkenden Teile, die in ihrem Aufbau selbständig sind und erst an ihrem Aufstellungsort ihrer Bestimmung gemäß elektrisch zusammengeschaltet werden. Dabei können z. B. der Stromrichtertransformator und der Steuersatz getrennt vom Stromrichtersatz aufgestellt sein.

Sofern für Stromrichteranlagen nicht besondere Begriffserklärungen gegeben werden, gelten auch für sie die Begriffserklärungen für Stromrichtergeräte.

2.1.5 Stromrichterventil

Stromrichterventil ist ein Funktionselement, das den elektrischen Strom nur in einer Richtung führt. Beim Stromrichten wird es periodisch abwechselnd in den elektrisch leitenden und in den nichtleitenden Zustand versetzt.

Ein Stromrichterventil enthält ein Ventilbauelement oder mehrere in Reihe und/oder parallel geschaltete Ventilbauelemente, die sich jeweils gleichzeitig im Durchlaß- oder Sperrzustand befinden.

Anmerkung 1: Ein Ventilbauelement kann gegebenenfalls die Funktion mehrerer Stromrichterventile ausüben (z. B. Zweirichtungsthyristor)

Anmerkung 2: Mehrere Stromrichterventile können körperlich in einem Ventilbauelement zusammengefaßt sein (z. B. Zweirichtungs-Thyristor, rückwärtsleitender Thyristor).

2.1.6 Stromrichterzweig

Stromrichterzweig ist jeder Teil einer Stromrichterschaltung, der die Funktion eines Stromrichterventils ausübt. Der Stromrichterzweig kann außer dem Stromrichterventil weitere Funktionselemente enthalten.

Anmerkung 1: Eine Stromrichterschaltung kann außer Stromrichterzweigen auch andere Zweige enthalten, wie z. B. Vervielfacher-Kondensatoren, Energiespeicher in Zwischenkreisen.

Anmerkung 2: Im Schaltplan kann ein aus Gleichrichterdiolen gebildeter Zweig durch das Schaltzeichen für eine Gleichrichterdiode nach DIN 40700 Teil 8/07.72, Nr 29, ein aus Thyristoren gebildeter Zweig durch das Schaltzeichen für einen Thyristor nach DIN 40700 Teil 8/07.72, Nr 43, dargestellt werden. Die Dreieckspitze zeigt in Vorwärtsrichtung.

2.1.6.1 Hauptzweig

Hauptzweige sind Zweige, die den wesentlichen Teil der durch den Stromrichter in der vorgesehenen Energieflußrichtung fließenden Energie führen.

2.1.6.2 Hilfszweig

Hilfszweige sind alle Zweige, die nicht Hauptzweige sind. Sie dienen im wesentlichen nicht dem Energietransport durch den Stromrichter in der vorgesehenen Energieflußrichtung, sondern erfüllen besondere Aufgaben (siehe auch DIN 41750 Teil 1 und Teil 5), z. B. als Freilaufzweig.

Anmerkung: Bei einem Wechsel der vorgesehenen Energieflußrichtung können Hilfszweige zu Hauptzweigen werden und umgekehrt.

2.1.7 Stromrichterschaltung

Stromrichterschaltung ist die elektrische Zusammenschaltung der Stromrichterzweige sowie der gegebenenfalls zu Hauptstromkreisen gehörenden Stromrichtertransformatoren, Saugdrosseln, Vervielfacherkondensatoren, Kommutierungseinrichtungen, Energiespeicher in Zwischenkreisen.

Anmerkung: Die Stromrichterschaltung enthält nicht die Hilfsstromkreise. In der vollständigen Schaltung des Stromrichtergerätes sind auch die weiteren Ausrüstungsteile (siehe [Abschnitt 2.8.2](#)) enthalten.

Eine Stromrichterschaltung (Stromrichtergrundschaltung) besteht mindestens aus den für die Grundfunktion des Stromrichters (siehe [Abschnitt 2.8.1.2](#)) erforderlichen Hauptzweigen.

Durch zusätzliche Hilfszweige, z. B. Freilaufzweige, sind Erweiterungen der Stromrichterschaltung möglich.

Die Arten der Stromrichterschaltungen netzgeführter Stromrichter sind in den Abschnitten 2.1.7.1 bis 2.1.7.3 aufgeführt.

[Tabelle 1 a\) bis d\)](#) (siehe [Abschnitt 6.6](#)) gibt Beispiele für Schaltungen von Stromrichtern zum Gleichrichten und Wechselrichten mit wesentlichen Rechenwerten. Nähere Angaben über Benennungen und Kennzeichen von Stromrichterschaltungen enthält DIN 41761.

2.1.7.1 Einwegschaltungen

Die wechselstromseitigen Anschlüsse des Stromrichtersatzes (und damit die ventilsseitigen Wicklungsstränge des Stromrichtertransformators bzw., falls ein solcher nicht vorhanden ist, die Anschlüsse des Wechselstromsystems) werden nur in einer Richtung vom Strom durchflossen. Sie sind jeweils mit nur einem Hauptzweig verbunden.

Zu den Einwegschaltungen gehören die in den Abschnitten 2.1.7.1.1 bis 2.1.7.1.3 aufgeführten Schaltungen.

2.1.7.1.1 Einzweigschaltung

Einzweigschaltung ist eine Einwegschaltung, die nur einen Hauptzweig enthält.

2.1.7.1.2 Mittelpunktschaltung

Mittelpunktschaltung ist eine Einwegschaltung mit zwei Hauptzweigen, deren gleichstromseitige (gleichpolige) Anschlüsse miteinander verbunden sind und einen Gleichstromanschluß bilden. Der zweite Gleichstromanschluß wird durch den Mittelpunkt des Stromrichtertransformators bzw. des Wechselstromsystems gebildet.

2.1.7.1.3 Sternschaltungen

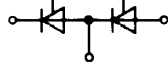
Sternschaltungen sind Einwegschaltungen, bei denen die gleichstromseitigen (gleichpoligen) Anschlüsse von drei oder mehr Hauptzweigen miteinander verbunden sind und einen Gleichstromanschluß bilden. Der zweite Gleichstromanschluß wird durch den Sternpunkt des Stromrichtertransformators bzw. des Wechselstromsystems gebildet.

2.1.7.2 Zweiwegschaltungen

Die wechselstromseitigen Anschlüsse des Stromrichtersatzes (und damit die ventilsseitigen Wicklungsstränge des Stromrichtertransformators bzw., falls ein solcher nicht vorhanden ist, die Anschlüsse des Wechselstromsystems) werden von Wechselstrom durchflossen.

Anmerkung: In besonderen Fällen sind hierunter die erst am Transformator oder am Netz zusammengefaßten Anschlüsse zu verstehen.

Grundelement einer Zweigwegschialtung ist das Zweigpaar. Es besteht aus zwei Stromrichterhauptzweigen, die gleichsinnig in Reihe geschaltet sind. Der Mittelanschluß des Zweigpaares bildet im allgemeinen einen Wechselstromanschluß des Stromrichtersatzes.



Zu den Zweigwegschialtungen gehören die in den Abschnitten 2.1.7.2.1 bis 2.1.7.2.5 aufgeführten Schaltungen.

2.1.7.2.1 Brückenschaltungen

Brückenschaltungen bestehen nur aus Zweigpaaren, deren Mittelanschlüsse jeweils die wechselstromseitigen Anschlüsse des Stromrichtersatzes bilden. Gleichpolige äußere Anschlüsse der Zweigpaare bilden jeweils einen Gleichstromanschluß.

2.1.7.2.2 Verdopplerschialtung

Die Verdopplerschialtung besteht aus einem Zweigpaar und zwei Speicherkondensatoren (in Reihe) zwischen den Gleichstromanschlüssen. Die jeweiligen Mittelanschlüsse bilden die wechselstromseitigen Anschlüsse.

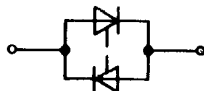
Anmerkung: Die Verdopplerschialtung ermöglicht eine Ausgangs-Gleichspannung vom doppelten Scheitelwert der Eingangs-Wechselspannung.

2.1.7.2.3 Vervielfacherschialtungen

Vervielfacherschialtungen bestehen aus Zweigpaaren, die (zur Spannungs-Vervielfachung) zu Zweigketten in Reihe geschaltete sind und denen Vervielfacherkondensatoren zugeordnet sind. Außerdem ist ihnen eine zwischen den Gleichstromanschlüssen liegende Kette von Speicherkondensatoren zugeordnet.

2.1.7.2.4 Wechselwegschialtungen

Bei Wechselwegschialtungen sind die äußeren Anschlüsse jedes Zweigpaares miteinander verbunden. Solche Zweigpaare werden als Wechselwegpaare bezeichnet.



Die Stromrichterschialtung besitzt Anschlüsse für zwei Wechselstromsysteme gleicher Anzahl der Phasen. Bei jedem Wechselwegpaar führt der eine Anschluß an das eine, der zweite Anschluß an das andere Wechselstromsystem.

Anmerkung: In Wechselstromstellern ermöglichen Wechselwegschialtungen eine Steuerung der Ausgangswechselspannung.

2.1.7.2.5 Ringschialtungen (Polygonschialtungen)

Bei Ringschialtungen sind mehrere Stromrichterhauptzweige ringförmig gleichsinnig in Reihe geschaltet. Der Verbraucher wird zwischen die dabei gebildeten Verbindungspunkte und das Wechselstromsystem geschaltet.

2.1.7.3 Zusammengesetzte Stromrichterschialtungen

Zusammengesetzte Stromrichterschialtungen bestehen aus Kombinationen von Stromrichtergrundschialtungen (nach den Abschnitten 2.1.7.1 und 2.1.7.2) zur Erhöhung der Leistung oder zur Erzielung besonderer Funktionen.

Anmerkung: Beispiele zusammengesetzter Stromrichterschialtungen:

- Parallelschialtung oder Reihenschialtung von Stromrichtergrundschialtungen.
- Gegenparallelschialtung, Kreuzschialtung oder H-Schialtung zur Bildung eines Doppel-Stromrichters,
- Hintereinanderschaltung von Stromrichterschialtungen mit verschiedenen Grundfunktionen zur Bildung eines Umrichters mit Zwischenkreis.

2.1.8 Ventilsteuereinrichtung (kurz Steuersatz)

Ventilsteuereinrichtung (Steursatz) ist der Teil eines Stromrichters, der zum Ein- und/oder Ausschalten des Stromflusses durch die steuerbaren Ventilbauelemente dient.

Nähere Angaben über Ventilsteuereinrichtungen (Steursätze) und Steuerimpulse enthält DIN 41750 Teil 7.

2.1.9 Kühlung, Temperaturen

Die im Stromrichtersatz oder -gerät entstehende Verlustwärme wird durch Kühlung abgeführt. Nähere Angaben über Kühlmittel, Wärmeträger, Wärmeleiter sowie über die Kühlarten enthält DIN 41751.

2.1.9.1 Kühlmitteltemperatur

Kühlmitteltemperatur ist die Temperatur, mit der das Kühlmittel (Luft oder Wasser) dem Stromrichtersatz, dem Stromrichtergerät oder bei mittelbarer Kühlung dem Wärmeaustauscher zuströmt. Bei Luftkühlung wird die Temperatur 50 mm unterhalb des Stromrichtersatzes gemessen.

2.1.9.2 Umgebungstemperatur

Die Umgebungstemperatur eines Stromrichtersatzes oder -gerätes oder eines seiner Ausrüstungsteile ist die Temperatur der Luft in der nächsten Umgebung. Als nächste Umgebung gilt der halbe Abstand zum nächsten benachbarten Gerät, Ausrüstungsteil oder sonstigen Gegenstand, jedoch höchstens 300 mm, und zwar in halber Höhe.

Anmerkung: Bei im Gerät eingebautem Stromrichtersatz oder anderen Ausrüstungsteilen sind deren Umgebungstemperaturen häufig höher als die des Gerätes.

2.1.9.3 Temperatur des Wärmeträgers

Temperatur des Wärmeträgers ist die Temperatur, die der Wärmeträger (z. B. Wasser, Luft oder Öl) an seiner wärmsten Stelle annimmt.

2.1.9.4 Gehäusetemperatur

Gehäusetemperatur ist die Temperatur an einem vom Hersteller festzulegenden Punkt des Gehäuses (Bezugspunkt) eines Ventilbauelementes, eines gekapselten Stromrichtersatzes oder eines anderen Ausrüstungsteiles.

2.1.10 Stromkreise in Stromrichtergeräten und -anlagen

2.1.10.1 Hauptstromkreise eines Stromrichtergerätes oder einer Stromrichteranlage sind die vorwiegend dem Energietransport dienenden Strombahnen der jeweils elektrisch leitend verbundenen Ausrüstungsteile, Leitungen und Anschlüsse.

Dabei lassen sich unterscheiden:

- Hauptstromkreise, die den Stromrichtersatz (oder einzelne Strombahnen davon) enthalten,

- Hauptstromkreise, die mit dem führenden Wechselstromnetz verbunden werden, aber keine Strombahnen des Stromrichtersatzes enthalten,
- Hauptstromkreise, die weder mit dem Wechselstromnetz verbunden werden noch Strombahnen des Stromrichtersatzes enthalten.

2.1.10.2 Hilfsstromkreise eines Stromrichtergerätes oder einer Stromrichteranlage sind die nicht dem Energietransport dienenden Strombahnen. Hilfsstromkreise enthalten z. B. Ausrüstungsteile zum Zünden und zum Beschalten von Thyristoren, zum Messen, Steuern, Regeln, Überwachen, zur Funk-Entstörung, zur Kühlung.

Dabei lassen sich unterscheiden:

- Hilfsstromkreise, die mit einem Hauptstromkreis elektrisch leitend verbunden sind,
- Hilfsstromkreise, die nicht mit einem Hauptstromkreis elektrisch leitend verbunden sind.

Anmerkung: Maßnahmen nach **DIN VDE 0160/01.86**, Abschnitt **5.6.2**, gelten hierbei nicht als elektrisch leitende Verbindung.

2.1.10.3 Schutzkleinspannungskreise¹⁾ sind Haupt- oder Hilfsstromkreise, die die folgenden Bedingungen nach a) bis d) erfüllen.

- Im Stromkreis sowie zwischen Stromkreis und Erde tritt keine Wechselspannung und auch kein Wechselspannungsanteil auf, deren Effektivwert höher ist als 50 V;
- Im Stromkreis sowie zwischen Stromkreis und Erde tritt keine Gleichspannung auf, die höher ist als 120 V;
- Im Stromkreis sowie zwischen Stromkreis und Erde tritt keine Gleichspannung mit überlagerter Wechselspannung auf, deren Gesamteffektivwert höher ist als 120 V;
- Der Stromkreis weist eine sichere elektrische Trennung (siehe **Abschnitt 2.8.3.2.2**) gegenüber Stromkreisen auf, die nicht Schutzkleinspannungskreise sind. Eine leitfähige Verbindung mit anderen Stromkreisen besteht allenfalls über Bauelemente mit Schutzimpedanz (siehe **Abschnitt 2.8.3.6**).

2.1.10.4 Hochspannungskreise in Halbleiter-Stromrichtergeräten und -anlagen sind Haupt- oder Hilfsstromkreise, in denen mindestens eines der Merkmale nach a) bis d) gegeben ist.

- Es tritt eine Wechselspannung mit einem Effektivwert über 1 kV auf²⁾;
- es tritt eine Gleichspannung mit einem Mittelwert über 1,5 kV auf²⁾;
- es tritt eine Spannung mit einem periodischen Scheitelwert größer als 1,5 kV auf²⁾;
- es besteht keine Trennung gegenüber Stromkreisen mit einer Spannung nach a) bis c) durch eine Maßnahme nach **Abschnitt 5.4.3.1.4.1**.

¹⁾ Der Begriffsinhalt von „Schutzkleinspannungskreis“ ist angelehnt an **DIN VDE 0106 Teil 1/05.82**, erweitert um Grenzwerte für Gleichspannung.

²⁾ Es bleibt vorbehalten, zu späterem Zeitpunkt (Neuausgabe von IEC 146) die Grenzwerte zu erhöhen (z. B. bei Wechselspannung auf 2,5 kV und bei Gleichspannung auf 3,5 kV).

2.2 Begriffe bei Gleichrichterdiolen und Thyristoren

Die Formelzeichen für die folgenden Begriffe sind DIN 41785 Teil 3 zu entnehmen.

Anmerkung: Begriffe für Transistoren enthält DIN 41854.

2.2.1 Thermische Begriffe

Die folgenden thermischen Begriffe sind für Gleichrichterdiolen und Thyristoren von Bedeutung. Sie sind in DIN 41781, DIN 41786 und DIN 41862 erklärt.

- Betriebstemperaturbereich,
- Lagerungstemperaturbereich,
- Ersatzsperrschichttemperatur,
- Bezugstemperatur,
- Gehäusestemperatur,
- Umgebungstemperatur,
- Wärmewiderstand,
- Transienter Wärmewiderstand.

2.2.2 Elektrische Begriffe bei Gleichrichterdiolen

Die folgenden elektrischen Begriffe sind für Gleichrichterdiolen von Bedeutung. Sie sind in DIN 41781 erklärt.

- Anodenanschluß,
- Kathodenanschluß,
- Sperrspannung,
- Sperrstrom,
- Sperrkennlinie,
- Scheitelsperrspannung,
- Periodische Spitzensperrspannung,
- Stoßspitzensperrspannung,
- Sperrverzögerungsladung,
- Durchlaßstrom,
- Durchlaßspannung,
- Durchlaßkennlinie,
- Dauergrenzstrom,
- Überstrom,
- Grenzstromkennlinie,
- Stoßstrom-Grenzwert,
- Grenzlastintegral,
- Durchlaßverlustleistung,
- Sperrverlustleistung.

2.2.3 Elektrische Begriffe bei Thyristoren

Die folgenden elektrischen Begriffe sind für Thyristoren von Bedeutung. Sie sind in DIN 41786 erklärt.

- Hauptanschlüsse,
- Anodenanschluß,
- Kathodenanschluß,
- Steueranschluß,
- Durchlaßzustand,
- Vorwärts-Sperrzustand,
- Rückwärts-Sperrzustand,
- Durchlaßstrom,
- Durchlaßspannung,
- Durchlaßkennlinie,
- Dauergrenzstrom,
- Überstrom,
- Grenzstromkennlinie,
- Stoßstrom-Grenzwert,
- Grenzlastintegral,
- Haltestrom,
- Einraststrom,
- Steuerstrom,
- Steuerspannung,
- Steuerverlustleistung,
- Zündstrom,
- Zündspannung,
- Höchster nichtzündender Steuerstrom,

- Höchste nichtzündende Steuerspannung,
- Eingangskennlinie,
- Zündbereich,
- Vorwärts-Sperrstrom,
- Vorwärts-Sperrspannung,
- Vorwärts-Sperrkennlinie,
- Vorwärts-Scheitelsperrspannung,
- Periodische Vorwärts-Spitzensperrspannung,
- Vorwärts-Stoßspitzenspannung,
- Rückwärts-Sperrstrom,
- Rückwärts-Sperrspannung,
- Rückwärts-Sperrkennlinie,
- Rückwärts-Scheitelsperrspannung,
- Periodische Rückwärts-Spitzensperrspannung,
- Rückwärts-Stoßspitzenspannung,
- Zündverzug,
- Freiwerdezeit,
- Kritische Spannungssteilheit,
- Kritische Stromsteilheit,
- Durchlaßverlustleistung,
- Sperrverlustleistung,
- Schaltverlustleistung,
- Sperrverzögerungsladung.

2.3 Begriffe für Stromrichtersätze

Bemessungswerte siehe [Abschnitt 4.1.3](#), Nennwerte siehe [Abschnitt 4.1.4](#).

2.3.1 (bleibt frei).

2.3.2 Anschlußspannung eines Stromrichtersatzes ist der Effektivwert der Wechselspannung auf der Seite des Satzes, die an das Wechselstromnetz angeschlossen wird, das für die Führung des netzgeführten Stromrichters maßgebend ist. Dabei sind die Anschlüsse maßgebend, zwischen denen die höchste Spannung auftritt.

Anmerkung: Die Anschlußspannung ist im allgemeinen belastungsabhängig, z. B. infolge der Spannungsabfälle in einem Transformator. Sie kann weiterhin von bestimmten Eigenschaften der jeweiligen Stromrichterschaltung abhängen (z. B. Unwirksamwerden von Saugdrosseln im Leerlauf).

2.3.3 Anschlußstrom eines Stromrichtersatzes ist der Effektivwert des Stromes auf der Seite des Satzes, die an das Wechselstromnetz angeschlossen wird, das für die Führung des netzgeführten Stromrichters maßgebend ist.

2.3.4 Gleichspannung eines Stromrichtersatzes ist der arithmetische Mittelwert der Spannung auf der Gleichstromseite des Satzes.

2.3.5 Gleichstrom eines Stromrichtersatzes ist der arithmetische Mittelwert des Stromes auf der Gleichstromseite des Satzes.

2.3.6 Ausgangswechselspannung eines Stromrichtersatzes ist der Effektivwert der Spannung auf der Ausgangsseite bei ausgangsseitiger Wechselspannung.

2.3.7 Ausgangswechselstrom eines Stromrichtersatzes ist der Effektivwert des Stromes auf der Ausgangsseite bei ausgangsseitigem Wechselstrom.

2.3.8 Zweigstrom ist der in einem Zweig des Stromrichtersatzes fließende Strom.

Anmerkung: Es ist zu vermerken, ob er als Effektivwert oder als arithmetischer Mittelwert angegeben ist.

2.3.9 Prüfspannung eines Stromrichtersatzes ist die Spannung, mit der die Isolationsprüfung durchgeführt wird.

2.4 Begriffe für Stromrichtertransformatoren

Stromrichtertransformator ist ein Transformator, dessen Schaltung (Schaltgruppe) der vorgesehenen Stromrichterschaltung ([Abschnitt 2.1.7](#)) angepaßt ist und der für die Beanspruchungen und Stromkurvenformen beim vorgesehenen Stromrichterbetrieb bemessen ist.

Anmerkung: Stromrichtertransformatoren führen neben den Grundschwingungen der Ströme auch Oberschwingungsströme. Bei Einwegschaltungen enthalten die Ströme in den ventileitigen Wicklungen zusätzlich Gleichstromkomponenten.

2.4.1 Wicklungen

2.4.1.1 Netzseitige Wicklung

Sie ist die Gesamtheit der Wicklungsstränge, die unmittelbar oder mittelbar, z. B. unter Zwischenschaltung von Stell- oder Schwenktransformatoren, Drosselspulen, Transduktoren, Wechselstromstellern oder Siebkreisen, mit dem Wechselstromnetz verbunden ist.

2.4.1.2 Ventileitige Wicklung

Sie ist die Gesamtheit der Wicklungsstränge, die unmittelbar oder mittelbar, z. B. über Drosselspulen oder Transduktoren, mit dem Stromrichtersatz verbunden ist. Bei Gleichrichtern wird sie auch als gleichrichterseitige Wicklung bezeichnet.

2.4.1.3 Hauptanzapfung

Hauptanzapfung an einer Wicklung mit Anzapfungen ist diejenige, mit der sich bei Netznennspannung an den ventileitigen Anschlüssen die für Nennbetrieb des Stromrichters ermittelte ventileitige Leerlaufspannung (U_{V0}) zwischen den Wechselstromanschlüssen zweier kommutierender Stromrichterhauptzweige einstellt (siehe auch [Tabelle 6](#) in [Abschnitt 6.6](#)). Diese Spannung wirkt auch als Kommutierungsspannung (siehe [Abschnitt 2.7.2.2](#)).

2.4.2 Leistungsbegriffe

2.4.2.1 Nennleistung

Nennleistung (S_{LN}) des Stromrichtertransformators ist seine netzseitige Scheinleistung bei Nennbetrieb des Stromrichters.

Anmerkung: Die netzseitige Scheinleistung des Stromrichters kann z. B. infolge vorgeschalteter Drosselspulen oder Vorschalttransformatoren von der netzseitigen Scheinleistung des Stromrichtertransformators abweichen.

Bei Vollaussteuerung des Stromrichtersatzes und vernachlässigter Überlappung sowie vernachlässigter Magnetisierungsleistung ergibt sich die ideale netzseitige Scheinleistung (S_{Li}), die keine Grundschwingungsblindleistung enthält, aber wegen der auftretenden Verzerrungsblindleistung größer als die ideale Gleichstromleistung ($U_{di} \cdot I_d$) ist.

2.4.2.2 Wicklungsleistung

Wicklungsleistung ist das Produkt der Effektivwerte von Strom und Spannung einer Wicklung des Stromrichtertransformators (Scheinleistung).

2.4.2.3 Bauleistung

Die Bauleistung des Stromrichtertransformators errechnen sich aus der Wicklungsleistung und dem Wirkungsgrad.

net sich als halbe Summe der Wicklungsleistungen aller Wicklungen.

Anmerkung: Bei Stromrichtertransformatoren mit zwei Wicklungen (ohne Schwenkwicklungen) für Zweiwegschaltungen sind Nennleistung, Bauleistung, netz- und ventileitige Wicklungsleistung gleich.

2.5 Begriffe für Drosselspulen

2.5.1 Drosselspulen auf der Wechselstromseite und in den Stromrichterzweigen

2.5.1.1 Strangdrosseln

Sie liegen bei Zweiwegschaltungen in den Zuleitungen zum Stromrichtersatz und werden von Wechselstrom durchflossen.

Anmerkung: Werden Strangdrosseln in die Wechselstromzuleitungen mehrerer, voneinander unabhängig arbeitender Stromrichter an einer gemeinsamen Transformatorwicklung oder an einem gemeinsamen Netz eingesetzt, so werden sie auch als „Entkopplungsdrosseln“ bezeichnet.

2.5.1.2 Zweigdrosseln

Sie sind in die einzelnen Zweige des Stromrichters eingefügt und werden von pulsierendem Gleichstrom durchflossen.

Anmerkung zu den Abschnitten 2.5.1.1 und 2.5.1.2: Bei direktem Netzanschluß des Stromrichters können sowohl die Strang- als auch die Zweigdrosseln als Netzdrosseln bezeichnet werden.

2.5.1.3 Ventildrosseln

Ventildrosseln (auch noch Anodendrosseln genannt) sind bei Parallelschaltung von Ventilbauelementen innerhalb eines Zweiges in die einzelnen parallelen Pfade eingefügte Drosselspulen. Sie werden von pulsierendem Gleichstrom durchflossen.

Anmerkung zu den Abschnitten 2.5.1.1 bis 2.5.1.3: Diese Drosselspulen können auch als Kommutierungsdrosseln bezeichnet werden.

2.5.1.4 Stromteilerdrosseln

Sie sind magnetisch miteinander gekoppelte Ventildrosseln.

2.5.1.5 Transduktordrosseln

Sie sind steuerbare Drosselspulen (nähere Angaben siehe [DIN VDE 0534](#)). Sie können als Zweigdrosseln oder als Strangdrosseln geschaltet sein.

2.5.1.6 Siebdrosseln

Sie bilden zusammen mit Siebkondensatoren Schwingungskreise in Siebkreisen (z. B. Saugkreisen), die (im Unterschied zu Abschnitt 2.5.2.4) dem Stromrichter auf der Wechselstromseite parallel geschaltet sind.

2.5.2 Drosselspulen auf der Gleichstromseite des Stromrichters

2.5.2.1 Glättungsdrosseln

Sie liegen im Hauptstromkreis und werden vom gleichgerichteten Strom durchflossen.

Anmerkung: Glättungsdrosseln können durch einen Siebkondensator zu einem Siebkreis ergänzt werden.

2.5.2.2 Saugdrosseln

Sie sind magnetisch miteinander gekoppelte Drosselspulen, deren Wicklungsstränge von den gleichgerich-

teten Strömen parallel geschalteter phasenversetzter Kommutierungsgruppen durchflossen werden.

2.5.2.3 Kreisstromdrosseln

Sie sind Glättungsdrosseln, die getrennt für jeden der beiden gleichzeitig arbeitenden Teilstromrichter eines Doppelstromrichters vorgesehen sind und die den durch die Teilstromrichter fließenden Kreisstrom begrenzen.

2.5.2.4 Siebdrosseln

Sie bilden zusammen mit Siebkondensatoren Schwingungskreise in Siebkreisen (z. B. Saugkreisen), die (im Unterschied zu Abschnitt 2.5.1.6) dem Stromrichter auf der Gleichstromseite parallel geschaltet sind.

2.5.3 Funk-Entstördrosseln

Sie bilden allein oder zusammen mit Funk-Entstörkondensatoren Siebschaltungen zum Zweck der Funk-Entstörung (siehe Normen der Reihe DIN VDE 0565).

Anmerkung: Sie können eingangs- oder ausgangseitig in die Hauptstromkreise von Stromrichtern geschaltet sein.

2.6 Begriffe für Kondensatoren

2.6.1 Kondensatoren auf der Wechselstromseite des Stromrichters

2.6.1.1 Blindleistungskondensatoren

Sie sind – in größeren Anlagen häufig nicht einem einzelnen Stromrichter zugeordnete, sondern zentral angeschlossene – Kondensatoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors. Vielfach sind sie zugleich Siebkondensatoren in Saugkreisen.

2.6.1.2 Überspannungsschutzkondensatoren

Sie sind zwischen die Anschlüsse des Stromrichtersatzes unmittelbar oder über einen ungesteuerten Gleichrichtersatz entkoppelt angeschlossene Kondensatoren.

2.6.1.3 Transformator-Beschaltungskondensatoren

Sie sind induktivitätsarm an den ventileitigen Anschlüssen des Stromrichtertransformators angeordnete Kondensatoren mit hinreichend hoher Grenzfrequenz.

2.6.2 Kondensatoren im Stromrichtersatz

2.6.2.1 Ventilbeschaltungskondensatoren

Sie sind dem einzelnen Ventilbauelement, einer Gruppe parallel geschalteter Ventilbauelemente oder einem Zweig zugeordnete Kondensatoren.

2.6.2.2 Kondensatoren in Vervielfacherschaltungen

Sie sind Vervielfacherkondensatoren und Speicherkondensatoren, die zusammen mit Ventilbauelementen in Verdoppler- und Vervielfacherschaltungen wirken. Näheres siehe DIN 41761.

2.6.3 Kondensatoren auf der Gleichstromseite des Stromrichters

2.6.3.1 Ladekondensatoren

Sie sind zwischen die gleichstromseitigen Anschlüsse des Stromrichtersatzes geschaltete Kondensatoren.

2.6.3.2 Glättungskondensatoren

Sie sind auf der Gleichstromseite des Stromrichters hinter einer Glättungsdrossel parallel zur Last angeordnete Kondensatoren.

2.6.3.3 Siebkondensatoren

Sie sind in Reihe mit Siebdrosseln zu Saugkreisen geschaltete, auf der Gleichstromseite des Stromrichters

hinter einer Glättungsdrossel parallel zur Last angeordnete Kondensatoren.

2.6.3.4 Lastbedämpfungskondensatoren

Sie sind mit vorgeschalteten Dämpfungswiderständen parallel zu einer induktiven Last (eventuell auch zu einer Glättungsdrossel) angeordnete Kondensatoren.

2.6.4 Funk-Entstörkondensatoren

Sie bilden allein oder zusammen mit Funk-Entstördrosseln Siebschaltungen zum Zweck der Funk-Entstörung und unterliegen **DIN VDE 0565 Teil 1**.

Anmerkung: Sie können eingangs- oder ausgangsseitig zwischen die Anschlüsse der Hauptstromkreise (X-Kondensatoren) und/oder zwischen diese Anschlüsse und Erde (Y-Kondensatoren) geschaltet sein.

2.7 Stromrichtergeräte und -anlagen, Begriffe für elektrische Größen

Nennwerte siehe [Abschnitt 5.2.1](#).

2.7.1 Begriffe zur Stromübernahme, zur Kommutierung und zur Aussteuerung

2.7.1.1 Stromübernahme, Kommutierung

Stromübernahme ist der Übergang des Stromes von einem Zweig des Stromrichters auf einen anderen.

Direkte Stromübernahme ist der Übergang des Stromes von einem Hauptzweig direkt auf den nächsten Hauptzweig.

Bei indirekter Stromübernahme geht der Strom von einem Hauptzweig zunächst auf einen Hilfszweig über und anschließend auf den nächsten Hauptzweig.

Anmerkung: Hierbei können auch mehrere Hilfszweige nacheinander beteiligt sein.

Kommutierung ist eine Stromübernahme, bei der beide Zweige während der Kommutierungszeit (Überlappungszeit) gleichzeitig Strom führen.

Weitere Begriffe zur Stromübernahme und zur Kommutierung (nähere Angaben siehe DIN 41750 Teil 2 und Teil 4):

- Führungsspannung,
- Kommutierungsspannung,
- Kommutierungsgruppe,
- Kommutierungszahl (q),
- Kommutierungskreis,
- Verlöschen,
- Verlöschspannung,
- Pulszahl (p),
- Kommutierungszeit (t_u) (Überlappungszeit),
- Überlappungswinkel (u),
- Stromflußzeit (t_F) (Durchlaßzeit),
- Sperrzeit (t_R),
- Lückzeit (t_L),
- Freiwerdezeit (t_q),
- Schonzeit (t_c),
- Löschwinkel (γ),
- Taktfrequenz.

2.7.1.2 Aussteuerung

Durch Aussteuerung eines Stromrichters wird das Verhältnis der Ausgangs- zur Eingangsspannung verändert und dadurch ermöglicht, daß der Stromrichter als Leistungsteilglied, d.h. zur Steuerung des Energieflusses wirkt.

Anschnittsteuerung ist ein Verfahren zur Aussteuerung,

bei dem in den Stromrichterzweigen der Beginn und/oder das Ende der Stromflußzeit – bezogen auf die Periode der taktgebenden Spannung – verändert wird. Der Steuereingriff (Zündung und/oder Löschung) auf die einzelnen Stromrichterzweige geschieht dabei einmal je Periode (sofern die Kommutierungsgruppe einen nicht-lückenden Strom führt).

Weitere Begriffe zur Aussteuerung (nähere Angaben siehe DIN 41750 Teil 2, Teil 4 und Teil 7):

- Vollaussteuerung,
- Teilaussteuerung,
- Aussteuerungsgrad,
- Steuerwinkel (α),
- Voreilwinkel (β) (beim Wechselrichten),
- natürlicher Zündzeitpunkt,
- Steuerimpuls,
- Zündimpuls,
- Löschimpuls,
- Zündsteuerung,
- Löschsteuerung,
- Pulssteuerung,
- Vielperiodensteuerung (Schwingungspaketsteuerung),
- Zündsperrung (z. B. durch Impulsverschiebung oder Impulsunterdrückung).

2.7.1.3 Symmetrisch und unsymmetrisch gesteuerte Stromrichter

Symmetrische Anschnittsteuerung liegt dann vor, wenn alle Hauptzweige des Stromrichters mit gleichem Steuerwinkel (α) angesteuert werden.

Bei unsymmetrischer Anschnittsteuerung werden die Hauptzweige des Stromrichters mit unterschiedlichen Steuerwinkeln angesteuert.

Bei halbgesteuerten Stromrichterschaltungen wird nur die Hälfte der Stromrichterhauptzweige angesteuert.

Bei der Folgesteuerung werden (in Reihe geschaltete) Teilstromrichter bzw. Kommutierungsgruppen eines Stromrichters in einer vorgegebenen Folge durch Anschnittsteuerung angesteuert.

Anmerkung: Durch Folgesteuerung kann z. B. die Blindleistung verringert werden.

2.7.2 Spannungen

Spannungen auf der Wechselstromseite werden als Effektivwert angegeben. Die Spannung auf der Gleichstromseite wird als arithmetischer Mittelwert (Gleichspannung U_d) angegeben.

DIN 41750 Teil 4 enthält nähere Angaben zu den folgenden Begriffen.

2.7.2.1 Spannungen, die durch den Energieeintritt bzw. -austritt bestimmt sind:

- Eingangsspannung,
- Ausgangsspannung.

2.7.2.2 Spannungen auf der Wechselstromseite:

- Netzseitige Spannung (bei Mehrphasenanschluß Leitterspannung) (U_L),
- ventilseitige Leerlaufspannung (U_{v0}) zwischen den Wechselstromanschlüssen zweier kommutierender Stromrichterhauptzweige (siehe [Abschnitt 6.6, Tabelle 6](#)),
- Führungsspannung, Kommutierungsspannung.

2.7.2.3 Spannungen am Stromrichterzweig:

- Ideelle Scheitelsperrspannung (U_{im}) (siehe DIN 41786).

- ideale Scheitelsperrspannung bei nichtwirksamer Saugdrossel (U_{i0m}).

Für eine Reihe von Schaltungen sind die Werte in [Tabelle 1](#) (siehe [Abschnitt 6.6](#)) angegeben.

2.7.2.4 Spannungen auf der Gleichstromseite

2.7.2.4.1 Ideale Gleichspannung

DIN 41750 Teil 4 enthält Formeln, nach denen die ideale Gleichspannung (U_{di}) für Gleichrichterbetrieb in Vollaussteuerung bzw. die gesteuert ideale Gleichspannung ($U_{di\alpha}$) errechnet wird.

Für eine Reihe von Schaltungen sind die Werte in [Tabelle 1](#) (siehe [Abschnitt 6.6](#)) angegeben.

2.7.2.4.2 Konventionelle Leerlaufgleichspannung

Nach DIN 41750 Teil 4 wird unterschieden zwischen der konventionellen Leerlaufgleichspannung (U_{d0}) bei Gleichrichterbetrieb in Vollaussteuerung und der gesteuerten konventionellen Leerlaufgleichspannung ($U_{d0\alpha}$).

2.7.2.4.3 Tatsächliche Leerlaufgleichspannung (U_{d00}) ist die bei Gleichrichterbetrieb in Vollaussteuerung im Leerlauf tatsächlich auftretende Gleichspannung.

Anmerkung: Sie kann z. B. infolge Aufladung von Kondensatoren nennenswert höher sein als die konventionelle Leerlaufgleichspannung.

2.7.3 Ströme

Ströme auf der Wechselstromseite werden als Effektivwert angegeben. Der Strom auf der Gleichstromseite wird als arithmetischer Mittelwert (Gleichstrom I_d) angegeben.

Anmerkung: Der dem Gleichstrom überlagerte Wechselstrom bleibt hierbei also unberücksichtigt.

Für zeitlich veränderliche Belastung sind zusätzliche Angaben in DIN 41756 Teil 1 enthalten.

Für eine Reihe von Schaltungen sind in [Tabelle 1](#) (siehe [Abschnitt 6.6](#)) Werte angegeben.

2.7.3.1 Weitere Begriffe für Ströme (nähere Angaben siehe DIN 41750 Teil 4):

- Eingangsstrom,
- Ausgangsstrom,
- kritischer Strom eines Stromrichters,
- Gleichstrom an der Lückgrenze,
- Gleichstrom-Formfaktor.

2.7.3.2 Kreisstrom ist ein Strom, der innerhalb eines Stromrichters (z. B. Doppel-Stromrichters) infolge unterschiedlicher Augenblickswerte der Spannungen auf der Gleichstromseite der Teilstromrichter fließt.

2.7.4 Strom-Spannungs-Kennlinien, Gleichspannungsänderungen

Die Strom-Spannungs-Kennlinie eines Stromrichters zum Gleich- und Wechselrichten ist die Zuordnung der Gleichspannung zum Gleichstrom bei der vorgesehenen Lastart.

Anmerkung: Die Kennlinie kann durch die Lastart (z. B. Last mit Gegenspannung kapazitive Last) erheblich beeinflusst werden. Ohne besondere Angabe beziehen sich die Kennlinien auf einen geglätteten Strom auf der Gleichstromseite.

Bei Angabe der Strom-Spannungs-Kennlinie wird konstante, sinusförmige und symmetrische Anschlußspannung sowie konstante Frequenz vorausgesetzt, was bei Anschluß an ein leistungsstarkes Wechselstromnetz im allgemeinen gegeben ist. Dies gilt nicht bei der Angabe von Kennlinien nach [Abschnitt 2.7.4.5](#).

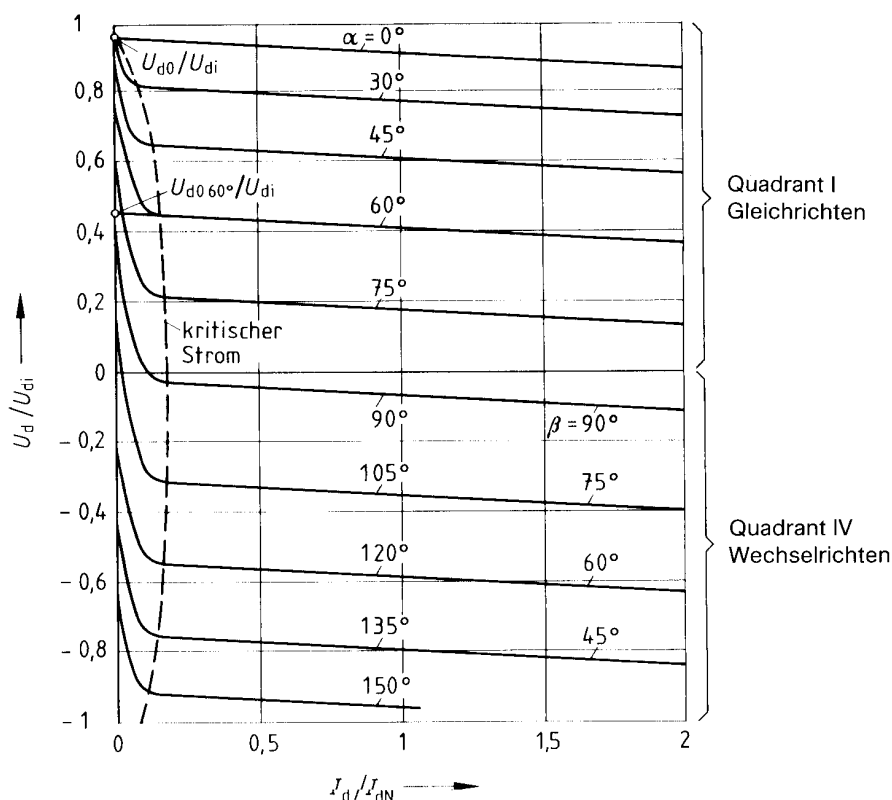


Bild 1. Beispiel für die Abhängigkeit der Gleichspannung eines netzgeführten Stromrichters vom Gleichstrom für verschiedene Steuerwinkel α

2.7.4.1 Natürliche Kennlinien

Die natürliche Kennlinie ergibt sich bei praktisch konstanten Blind- und Wirkwiderständen innerhalb des Stromrichters sowie gegebenenfalls konstanter Aussteuerung (siehe Bild 1). Sie wird im allgemeinen durch den Grundaufbau allein bestimmt. Die natürliche Kennlinie ist eine – bei Gleichrichterbetrieb fallende – Kennlinie, die zwischen benachbarten kritischen Stromwerten praktisch geradlinig verläuft.

Anmerkung: Kritische Stromwerte von besonderer Bedeutung sind der Gleichstrom an der Lückgrenze und der Gleichstrom bei Einsatz der Mehrfachüberlappung.

Für einen Vier-Quadrant-Stromrichter (Doppel-Stromrichter) ergeben sich – jeweils für verschiedene Steuerwinkel α_1 und α_2 der beiden Teilstromrichter – bei Annahme eines geglätteten Stromes auf der Gleichstromseite natürliche Strom-Spannungs-Kennlinien ähnlich Bild 2. Die Kippgrenze beim Wechselrichten wird dadurch erreicht, daß die Schonzeit auf den Wert der Freierzeit zurückgeht (siehe Abschnitt 2.7.1.1).

Die Kippgrenze bestimmt den stromabhängigen Höchstwert des Betrages der Eingangsgleichspannung U_{dmax} (siehe Bild 4) beim Wechselrichten.

Anmerkung: Obwohl bei Gleichrichterbetrieb eines Stromrichters die höchste Strom-Spannungs-Kennlinie beim Steuerwinkel $\alpha = 0$ gegeben ist, kann es beim Doppel-Stromrichter nötig sein, zur Vermeidung hoher Kreisströme einen Mindestwert des Steuerwinkels festzulegen.

2.7.4.2 Erzwungene Kennlinien

Bei der erzwungenen Kennlinie wird durch zusätzliche Maßnahmen oder Einrichtungen zur Kennliniengestaltung (siehe Abschnitt 2.8.2.2) eine Abweichung von der natürlichen Kennlinie bewirkt. Diese Abweichung kann durch nichtlineare Blind- oder Wirkwiderstände, durch Mittel zur Selbststeuerung (Störgrößenaufschaltung) oder durch Regelung erzwungen werden.

Anmerkung: Die Selbststeuerung erzwingt eine bestimmte Form der Kennlinie und deren Unabhängigkeit von bestimmten Störgrößen dadurch, daß

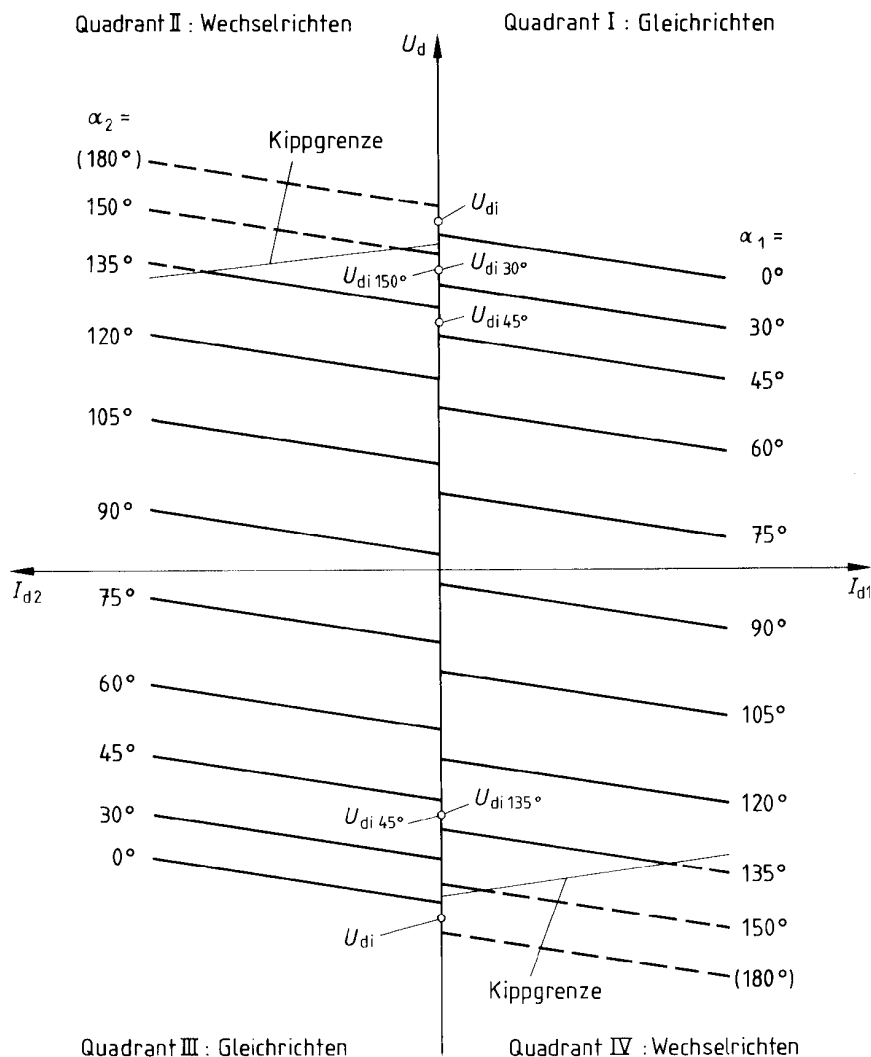


Bild 2. Beispiel für die Strom-Spannungs-Kennlinien auf der Gleichstromseite eines netzgeführten Doppel-Stromrichters (Vier-Quadrant-Stromrichter)

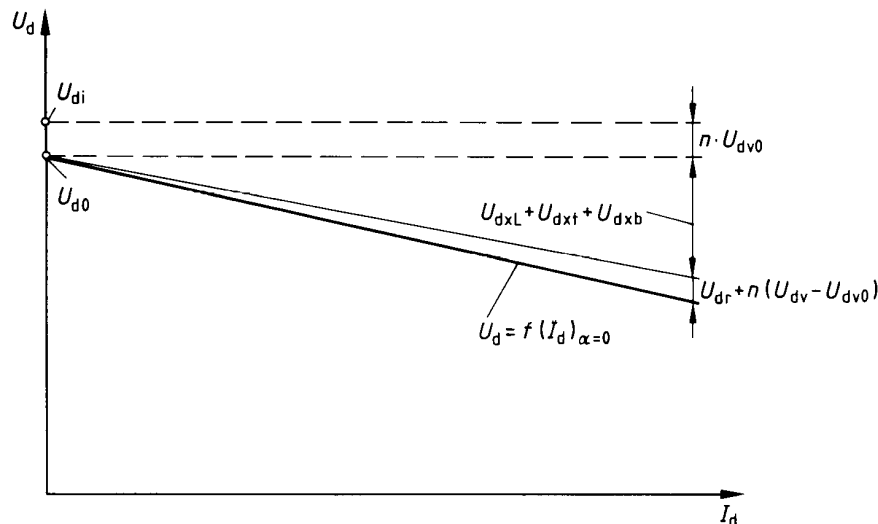


Bild 3. Erläuterung der Gleichspannungsänderung ($U_{d0} - U_d$) eines Gleichrichters (in Vollaussteuerung) in Abhängigkeit vom abgegebenen Gleichstrom (I_d)

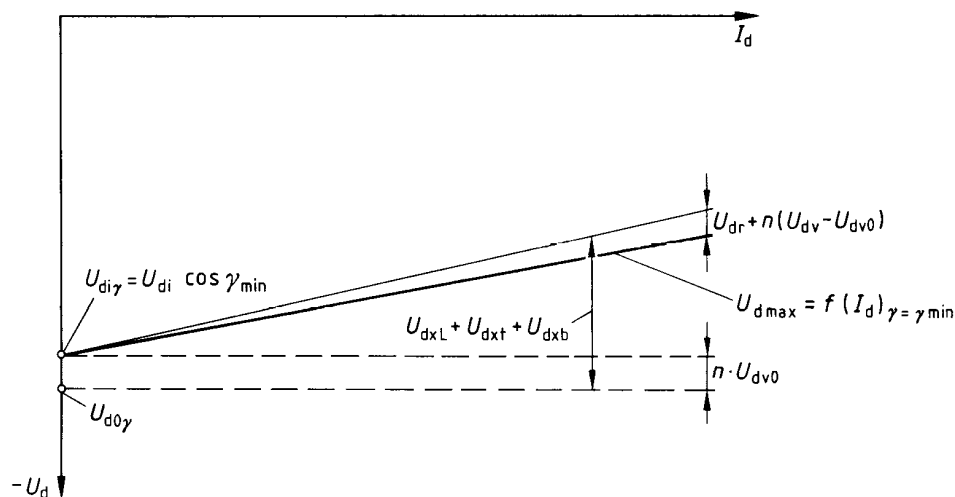


Bild 4. Erläuterung zur Kippgrenze im Quadranten IV: Maximaler Betrag der Eingangsgleichspannung U_{dmax} eines netzgeführten Wechselrichters in Abhängigkeit vom aufgenommenen Gleichstrom I_d an der Kippgrenze ($\gamma = \gamma_{min}$)

diese die ihnen zugeordneten Stellglieder unmittelbar steuern.

Die Regelung erzwingt eine bestimmte Form der Kennlinie und deren Unabhängigkeit von Störgrößen durch einen geschlossenen Regelkreis. Näheres siehe DIN 41745.

Kennlinien können erforderlichenfalls in ihrer Neigung oder ihrem Niveau verstellbar sein.

2.7.4.3 Kennwerte

Kennwerte eines Stromrichtergerätes sind ausgewählte Wertepaare der Kennlinie zur kurzen Kennzeichnung des Kennlinienverlaufs.

2.7.4.4 Gleichspannungsänderungen

Gleichspannungsänderung ist der Unterschied zwischen der (gegebenenfalls gesteuerten) konventionellen Leerlaufgleichspannung ($U_{d0\alpha}$) und der bei (im allgemeinen

Nenn-)Belastung und gleichbleibender Aussteuerung sich einstellenden Gleichspannung ($U_{d\alpha}$). Zur Erläuterung der Gleichspannungsänderung siehe Bild 3.

Die Begriffe der Gleichspannungsänderungen werden bevorzugt für den praktisch geradlinigen Teil der natürlichen Kennlinien angewendet (siehe auch DIN 41750 Teil 4).

Für die Gleichspannungsänderung gilt (mit $\alpha = \text{const}$):

$$U_{d0\alpha} - U_{d\alpha} = U_{dxL} + U_{dxt} + U_{dxb} + U_{dr} + n(U_{dv} - U_{dv0}).$$

Darin bedeuten:

$U_{d0\alpha}$ (gesteuerte) konventionelle Leerlaufgleichspannung (um $n U_{dv0}$ beim Gleichrichten kleiner, beim Wechselrichten größer als $U_{di\alpha}$).

U_{da} tatsächliche Gleichspannung bei Gleichstrom I_d ,

U_{dxL} äußere (induktive) Gleichspannungsänderung; bei starrem Wechselspannungsnetz ist $U_{dxL} = 0$ und es ergibt sich nur die innere Gleichspannungsän-

- derung; zur Ermittlung von U_{dxL} siehe [Abschnitt 6.5](#),
- U_{dxt} (innere) induktive Gleichspannungsänderung, hervorgerufen durch den Stromrichtertransformator (und gegebenenfalls dem Stromrichter zugeordnete Stell- und Schwenktransformatoren); zur Ermittlung von U_{dxt} siehe [Abschnitt 5.7.4](#),
- U_{dxb} (innere) induktive Gleichspannungsänderung, hervorgerufen durch zum Stromrichter gehörende Drosselspulen; zur Ermittlung von U_{dxb} siehe [Abschnitt 5.7.5](#),
- U_{dr} ohmsche Gleichspannungsänderung, hervorgerufen durch sämtliche Stromwärmeverluste (dividiert durch I_d) im Stromrichter, außer in Stromrichterventilen,
- U_{dv} Durchlaßspannung eines Ventilbauelements bei I_d ,
- U_{dv0} Schleusenspannung eines Ventilbauelements,
- n Anzahl der im Stromrichterbetrieb in Reihe vom Strom durchflossenen Ventilbauelemente.

Im Gleichrichterbetrieb wird bei Belastung die Gleichspannung um die Gleichspannungsänderung kleiner als die Leerlaufgleichspannung. Im Wechselrichterbetrieb muß die treibende Gleichspannung bei Belastung um die Gleichspannungsänderung größer sein als die Leerlaufgleichspannung.

Relative Gleichspannungsänderungen werden auf die ideale Gleichspannung U_{di} bezogen. Für den Stromrichtertransformator gilt z. B.:

- a) Relative induktive Gleichspannungsänderung

$$d_{xi} = \frac{U_{dxi}}{U_{di}}$$

ist die auf die ideale Gleichspannung (U_{di}) bezogene, durch die Streuinduktivitäten des Stromrichtertransformators bei Belastung des Stromrichters hervorgerufene Gleichspannungsänderung (U_{dxt}).

- b) Relative ohmsche Gleichspannungsänderung

$$d_{ri} = \frac{U_{dri}}{U_{di}} = \frac{P_{vt}}{U_{di} \cdot I_d}$$

ist die auf die ideale Gleichspannung (U_{di}) bezogene, durch die Wicklungswiderstände des Stromrichtertransformators bei Belastung des Stromrichters hervorgerufene Gleichspannungsänderung (U_{drt}), wobei P_{vt} die Wicklungsverluste sind.

2.7.4.5 Formen und Kurzzeichen von Kennlinien bei Gleichrichtergeräten

Man unterscheidet (nähere Angaben siehe DIN 41772):

- Fallende und steigende Kennlinie, Kurzzeichen W bzw. S,
- Konstantspannungs-Kennlinie, Kurzzeichen U,
- eingegrenzte Spannungskennlinie, Kurzzeichen (U),
- Konstantstrom-Kennlinie, Kurzzeichen I,
- eingegrenzte Stromkennlinie, Kurzzeichen (I),
- zusammengesetzte Kennlinien.

2.7.5 Wechselfspannung, Sinusform und Symmetrie

2.7.5.1 Eine Wechselfspannung gilt als praktisch sinusförmig, wenn keiner ihrer Augenblickswerte a (siehe Bild 5) vom Augenblickswert b ihrer Grundschiwingung um mehr als 5 % des Scheitelwertes c der Grundschiwingung abweicht, d.h., $|a - b| \leq 0,05 c$.

Die Größe $(a - b)/c$ wird auch als Überlagerungsfaktor bezeichnet (siehe DIN 40110).

Anmerkung 1: Bei 12pulsigen Stromrichtern kann es erforderlich sein, den Überlagerungsfaktor auf kleinere Werte, z. B. 2,5 %, zu begrenzen.

Anmerkung 2: Der Begriff der praktisch sinusförmigen Wechselfspannung wird vorzugsweise für die Festlegung der Prüfwechselfspannung verwendet.

Für betriebsmäßige Grenzabweichungen der Kurvenform der Netzwechselfspannung von der Sinusform siehe [DIN VDE 0160/01.86](#), Abschnitt [5.3.1](#).

2.7.5.2 Ein Dreiphasen-Spannungssystem (Drehstromnetz) gilt als praktisch symmetrisch, wenn weder die Spannung des Gegensystems noch die des Nullsystems mehr als 2 % der Spannung des Mitsystems beträgt.

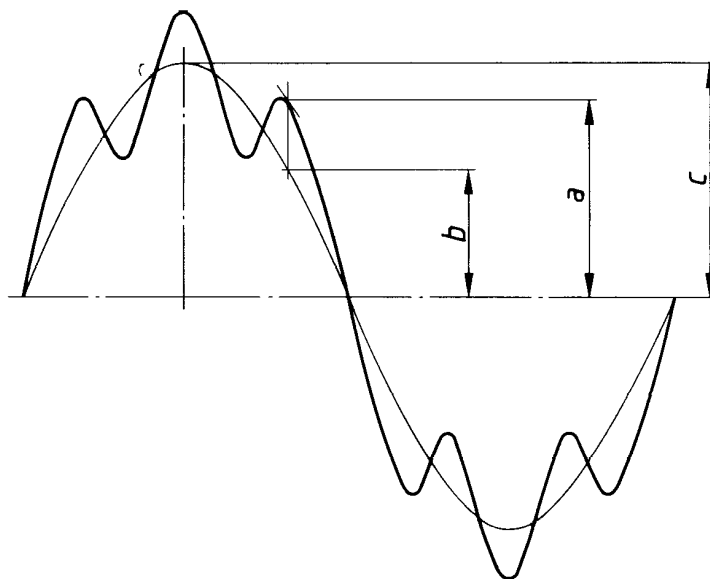


Bild 5. Sinusform der Wechselfspannung

Für ein praktisch symmetrisches Drehstromnetz gilt als Netzspannung der aus allen Leiterspannungen arithmetisch gemittelte Wert.

Anmerkung: Wenn der Neutralleiter nicht angeschlossen wird (kein Nullsystem), bedeutet dies

- a) bei gleich großen Beträgen der Sternspannung und einem unveränderten Winkel eine Winkelabweichung der beiden anderen Winkel von nicht mehr als 5°; oder
- b) bei gleich großen Winkeln zwischen den Sternspannungen und zwei unveränderten Beträgen der Sternspannung eine Abweichung der dritten Sternspannung von nicht mehr als 5 %.

2.7.6 Gleichgerichtete Spannung, überlagerte Wechselspannung

Als gleichgerichtete Spannung gilt die Spannung auf der Gleichstromseite eines Stromrichtergerätes zum Gleich- und/oder Wechselrichten.

Als Gleichspannung (U_d) wird der arithmetische Mittelwert des zeitlichen Verlaufs der gleichgerichteten Spannung angegeben. Dieser Gleichspannung ist eine Wechselspannung überlagert, deren Kurvenform und Effektivwert hauptsächlich von folgenden Einflußgrößen abhängen:

- Pulszahl (p),
- Steuerwinkel (α),
- Glättungseinrichtung,
- Lastart,
- Oberschwingungen der Netzspannung,
- Symmetrie der Netzspannung,
- Symmetrie der Ventilsteuereinrichtung (Steuersatz),
- Symmetrie des Stromrichtertransformators und der Kommutierungsinduktivitäten.

Weitere Größen (nähere Angaben siehe DIN 41755 Teil 1 und Beiblatt 1 zu DIN 41750 Teil 4):

- Überlagerte Wechselspannung ($U_{\bar{u}}$),
- Wechselspannungsgehalt (w_U),
- Störspannung (U_{st}) (siehe auch **DIN VDE 0228 Teil 1**),
- überlagerter Wechselstrom ($I_{\bar{u}}$),
- Wechselstromgehalt (w_I),
- Störstrom (I_{st}),
- relative Schwingungsweite (w_{ss}).

2.7.7 Leistung, Wirkungsgrad

2.7.7.1 Auf der Wechselstromseite werden folgende Leistungsbegriffe unterschieden (nähere Angaben siehe DIN 41750 Teil 2 und DIN 40110):

- Wirkleistung (P_L), bestehend aus Grundschwungswirkleistung (P_{1L}) und Oberschwungswirkleistung,
- Blindleistung (Q_L), bestehend aus Grundschwungswindleistung und Verzerrungsblindleistung,
- Scheinleistung (S_L), als Produkt der Effektivwerte von Strom und Spannung,
- Grundschwungsscheinleistung (S_{1L}) als Produkt der Grundschwungseffektivwerte von Strom und Spannung.

2.7.7.2 Auf der Gleichstromseite werden folgende Leistungsbegriffe unterschieden (siehe DIN 41750 Teil 2):

- Wirkleistung (P_d),

- Gleichstromleistung (P_{0d}) als Produkt von Gleichspannung und Gleichstrom (arithmetische Mittelwerte).

2.7.7.3 Als Eingangsleistung (P_E) und Ausgangsleistung (P_A) eines Stromrichtergerätes gelten die aufgenommene bzw. abgegebene Wirkleistung. Die entsprechenden Grundschwungsleistungen sind P_{1E} und P_{1A} .

2.7.7.4 Beim Stromrichter werden folgende Wirkungsgradbegriffe unterschieden (siehe DIN 41750 Teil 2):

- Wirkungsgrad ($\eta = P_A : P_E$),
- Gleichrichtgrad ($\eta_{d1} = P_{0d} : P_{1L}$),
- Wechselrichtgrad ($\eta_{1d} = P_{1L} : P_{0d}$),
- (Wechselstrom-)Umrichtgrad ($\eta_{11} = P_{1A} : P_{1E}$).

2.7.8 Leistungsfaktor, Grundschwungsgehalt

Auf der Wechselstromseite eines Stromrichters werden folgende Faktoren unterschieden (siehe DIN 41750 Teil 2 und DIN 40110):

- Leistungsfaktor ($\lambda = P_L : S_L$),
- Grundschwungs-Leistungsfaktor (Verschiebungsfaktor) ($\cos \phi_1 = P_{1L} : S_{1L}$),
- Grundschwungsgehalt, z. B. Grundschwungsgehalt des Stromes ($g_I = I_{1L} : I_L$).

Bei sinusförmiger Wechselspannung gilt:

$$\lambda = g_I \cdot \cos \phi_1.$$

2.8 Stromrichtergeräte und -anlagen, Begriffe für Arten, Aufbau und Betrieb

2.8.1 Arten von Stromrichtern

Die Arten von Stromrichtern werden nach der inneren Wirkungsweise und der äußeren Wirkungsweise unterschieden. Nähere Angaben siehe DIN 41750 Teil 1 und Teil 2.

2.8.1.1 Innere Wirkungsweise

2.8.1.1.1 Nach der Herkunft der Führungsspannung werden unterschieden:

- Fremdgeführte Stromrichter,
- – netzgeführte Stromrichter,
- – lastgeführte Stromrichter,
- – maschinengeführte Stromrichter,
- selbstgeführte Stromrichter.

2.8.1.1.2 Nach der Herkunft der Taktfrequenz werden unterschieden:

- Stromrichter mit Taktgebung von außen (fremdgetaktete Stromrichter),
- – Taktgebung durch das Netz (netzgetaktete Stromrichter),
- – Taktgebung durch die Last (lastgetaktete Stromrichter),
- Stromrichter mit Eigentaktgebung (eigengetaktete Stromrichter).

2.8.1.2 Äußere Wirkungsweise

2.8.1.2.1 Unter dem Oberbegriff Stromrichten werden folgende Grundfunktionen unterschieden:

- Gleichrichten,
- Wechselrichten,
- Wechselstromumrichten,
- Gleichstromumrichten.

2.8.1.2.2 Nach den möglichen Arbeitsbereichen von Stromrichtern, die ausgangs- oder eingangsseitig mit einem Gleichstromsystem verbunden sind, werden unterschieden:

- Ein-Quadrant-Stromrichter,
- Zwei-Quadrant-Stromrichter,
- Vier-Quadrant-Stromrichter.

2.8.1.3 Ausführungsarten

Wichtige Ausführungsarten von netzgeführten Stromrichtern sind:

- Gleichrichter, steuerbar oder nichtsteuerbar,
- Wechselrichter,
- Stromrichter zum Gleich- und Wechselrichten,
 - Einzel-Stromrichter,
 - Doppel-Stromrichter,
- Wechselstromumrichter,
 - Zwischenkreis-Wechselstromumrichter,
 - Direktumrichter,
 - Wechselstromsteller

2.8.2 Elektrische Ausrüstung

2.8.2.1 Grundausrüstung

Die Grundausrüstung (beim Stromrichtergerät auch Grundaufbau genannt) umfaßt den oder die Stromrichtersätze, gegebenenfalls mit Kühleinrichtungen, und alle weiteren für die vorgesehene Stromrichterschaltung oder Stromrichterfunktion erforderlichen Ausrüstungsteile, z. B.

- Ventilsteuereinrichtung (Steuersatz),
- Stromrichtertransformator,
- Saugdrossel,
- Kondensatoren in Vervielfacherschaltungen,
- Energiespeicher bei Zwischenkreis-Wechselstromumrichtern.

2.8.2.2 Zusatzausrüstung

Als Zusatzausrüstung gelten die Ausrüstungsteile, durch die das Stromrichtergerät (oder die Stromrichteranlage) in seiner Wirkungsweise bestimmte Eigenschaften erhält. Zur Zusatzausrüstung gehören:

- Siebmittel, z. B. Glättungseinrichtungen, Siebkreise,
- Einrichtungen zur Kennliniengestaltung. Sie umfassen zusätzliche Ausrüstungsteile zum Erzielen einer bestimmten Kennlinie. Dazu gehören einfache elektrische Bauelemente (z. B. feste ohmsche Widerstände, Drosselspulen) oder selbststeuernde Einrichtungen (z. B. Drosselspulen mit veränderlicher Induktivität, Schwingkreise mit veränderbarem Scheinwiderstand) oder Regeleinrichtungen, sofern der Regelkreis innerhalb des Stromrichtergerätes oder der Stromrichteranlage geschlossen ist.
- Einrichtungen zur Kennlinienverstellung. Sie umfassen Ausrüstungsteile, mit denen die Kennlinienneigung oder das Kennlinienniveau von außen her stufenweise oder stetig verändert werden kann. Dazu gehören z. B. verstellbare Widerstände, Stelltransformatoren, Transduktoren, Wechselstromsteller, Ausgangsgrößeneinsteller in Verbindung mit Einrichtungen zur Kennliniengestaltung.

2.8.2.3 Zubehör

Hierzu gehören Ausrüstungsteile für folgende Aufgaben: Schalten, Messen, Überwachen, Funk-Entstörung, Schutz sowie Steuern und Regeln, soweit diese Aufga-

ben nicht von den Einrichtungen zur Kennliniengestaltung oder von der Ventilsteuereinrichtung (Grundausrüstung) mit wahrgenommen werden.

2.8.3 Schutz gegen gefährliche Körperströme³⁾ und sich bewegende Teile

2.8.3.1 Aktive Teile, Körper, berührungsgefährliche und sich bewegende Teile

2.8.3.1.1 Aktives Teil

Jeder Leiter oder jedes leitfähige Teil, das dazu bestimmt ist, bei ungestörtem Betrieb unter Spannung zu stehen, einschließlich des Neutralleiters, aber vereinbarungsgemäß nicht der PEN-Leiter (aus: **DIN VDE 0100 Teil 200/07.85**).

Anmerkung: Dieser Begriff besagt nicht unbedingt, daß die Gefahr elektrischen Schlages besteht.

2.8.3.1.2 Körper (eines elektrischen Betriebsmittels)

Ein berührbares, leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das normalerweise nicht unter Spannung steht, das jedoch im Fehlerfall unter Spannung stehen kann (aus: **DIN VDE 0100 Teil 200/07.85**).

Anmerkung 1: Ein leitfähiges Teil der elektrischen Betriebsmittel, welches im Fehlerfall nur über andere Körper unter Spannung geraten kann, ist nicht als Körper anzusehen.

Anmerkung 2: Körper von Halbleiter-Stromrichtern wurden bisher als inaktive Teile bezeichnet.

2.8.3.1.3 Berührungsgefährliche Teile

Berührungsgefährliche Teile sind aktive Teile in Stromkreisen, in denen Spannungen, Ströme und Energien auftreten oder betriebsgemäß auftreten können (gegebenenfalls auch als induzierte oder kapazitiv übertragene Spannung), die bei einer Berührung zu Gefahren für Personen führen können (aus: **DIN VDE 0106 Teil 100/03.83**).

Anmerkung: Im Falle eines Isolationsversagens (siehe [Abschnitt 2.8.3.2.4](#)) können unter Umständen auch Körper zu berührungsgefährlichen Teilen werden.

2.8.3.1.4 Sich bewegende Teile

Hinsichtlich des Schutzes gegen Gefährdung durch sich bewegende Teile sind in einem Halbleiter-Stromrichter insbesondere die Laufräder von Ventilatoren zu berücksichtigen, bei denen

- a) die Laufradschaufeln Schneidstellen besitzen oder Scherstellen vorhanden sind oder
- b) die Wucht folgende Werte übersteigt:
 - beim Zugriff von der Saugseite: 0,5 Ws,
 - beim Zugriff von der Druckseite: 1,0 Ws.

Auch auf der Druckseite gilt der Grenzwert von 0,5 Ws, wenn keine abweisende Fläche vorhanden ist, z. B., wenn die Laufräder von Radialventilatoren keine stark rückwärts gekrümmten Schaufeln besitzen.

2.8.3.2 Isolation

³⁾ Gefährliche Körperströme sind nach **DIN VDE 0100 Teil 200/07.85, Abschnitt 2.3.7**, nicht Ströme durch Körper nach Abschnitt 2.8.3.1.2, sondern gefährliche Ströme durch den Körper (Leib) eines Menschen oder Tieres.

2.8.3.2.1 Isolation durch Basisisolierung**Isolation durch Basisisolierung**

- zweier Stromkreise voneinander liegt vor, wenn sich zwischen diesen Stromkreisen mindestens eine Basisisolierung befindet, die für die höchste zwischen den beiden Stromkreisen auftretende Spannung bemessen ist, mindestens für die höhere der beiden Nennisolationsspannungen, jedoch im Grenzfall und bei Kriechstrecken für die Summe der beiden Werte,
- eines Stromkreises gegen Körper liegt vor, wenn sich zwischen dem Stromkreis und Körper mindestens Basisisolierung entsprechend der Nennisolationsspannung des Stromkreises befindet.

Durch eine elektrische Verbindung entsprechend DIN VDE 0160/01.86, Abschnitt 5.6.2 (z. B. über gemeinsame Erdverbindung), wird eine elektrische Trennung nicht aufgehoben.

2.8.3.2.2 Sichere elektrische Trennung

Sichere elektrische Trennung liegt vor, wenn zusätzliche Vorkehrungen (siehe [Abschnitt 5.4.3.3](#)) vorhanden sind, die beim Isolationsversagen (siehe Abschnitt 2.8.3.2.4) das Übertreten von Spannungen, Strömen und Energien verhindern, die bei einer Berührung zu Gefahren für Personen führen können (Grenzwerte siehe [Abschnitt 5.7.13.3](#), zweiter Absatz).

Durch eine elektrische Verbindung über Schutzimpedanz (siehe [Abschnitt 2.8.3.6](#)) wird eine sichere elektrische Trennung nicht aufgehoben.

2.8.3.2.3 Nennisolationsspannung

Nennisolationsspannung ist die Wechselspannung, die für die Bemessung der Isolierung (einschließlich Luft- und Kriechstrecken) zwischen einem Stromkreis und Körper maßgebend ist. Die Nennisolationsspannung ist mindestens gleich dem durch " geteilten periodischen Scheitelwert der höchsten Spannung zwischen zwei Punkten des betreffenden Stromkreises, die bei Nenn-Eingangsspannung auftreten kann. Ist betriebsmäßig im Gesamtstromkreis (z. B. einer Anlage) gegen Erdpotential eine höhere Spannung als im Teilstromkreis (z. B. eines Gerätes bei Reihenschaltung mehrerer Geräte) vorhanden, so ist für die Isolierung aller Teilstromkreise diese höhere Spannung maßgebend.

2.8.3.2.4 Isolationsversagen

Isolationsversagen ist ein Fehler der Basisisolierung, bei dem ihre Spannungsfestigkeit so vermindert wird, daß eine elektrische Trennung (Isolation durch Basisisolierung nach Abschnitt 2.8.3.2.1) nicht mehr sichergestellt ist. Als Isolationsversagen gilt auch das Überbrücken einer Isolierstrecke (Luft- oder Kriechstrecke) durch ein leitfähiges Teil, das sich gelöst hat.

Anmerkung: Das selbständige Lösen von leitfähigen Teilen gilt als ausgeschlossen, soweit

- Schrauben gegen Lösen gesichert sind,
- Lötverbindungen zusätzlich durch mechanisches Abfangen gesichert sind,
- Lötverbindungen so ausgebildet sind, daß die Leitung bereits vor dem Löten an der richtigen Stelle festgehalten und daran gehindert wird, sich loszulösen, wenn die Lötverbindung brechen sollte.

Es wird nicht als wahrscheinlich vorausgesetzt, daß sich zwei voneinander unabhängige Befestigungen gleichzeitig lösen.

Ist durch die Einsatzbedingungen nicht auszuschließen, daß fremde, leitfähige Teile in das Stromrichtergerät geraten, so müssen geeignete Schutzmaßnahmen zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

2.8.3.3 Schutzaufgaben**2.8.3.3.1 Schutz gegen direktes Berühren**

Schutz gegen direktes Berühren sind alle Maßnahmen zum Schutz von Personen und Nutztieren vor Gefahren, die sich aus einer Berührung mit aktiven Teilen elektrischer Betriebsmittel oder aus einer gefahrbringenden Annäherung an berührungsgefährliche Teile von Hochspannungskreisen ergeben.

2.8.3.3.2 Schutz bei indirektem Berühren

Schutz bei indirektem Berühren ist der Schutz von Personen und Nutztieren vor Gefahren, die sich im Fehlerfall aus einer Berührung mit Körpern oder fremden leitfähigen Teilen ergeben können (aus: [DIN VDE 0100 Teil 200/07.85](#)).

Anmerkung: Unter „Fehlerfall“ wird Isolationsversagen (siehe Abschnitt 2.8.3.2.4) verstanden.

2.8.3.3.3 Schutz gegen Gefährdung durch sich bewegende Teile

Als Schutz gegen Gefährdung durch sich bewegende Teile gelten alle Maßnahmen zum Schutz von Personen vor Gefahren, die sich aus einer Berührung sich bewegender Teile ergeben.

2.8.3.4 Berührbarkeit

Als berührbar gilt jedes Teil, das mit dem Prüffinger nach DIN VDE 0470 Teil 1 berührt werden kann.

Abweichend hiervon gilt jedes Teil von Hochspannungskreisen als berührbar, an das eine Annäherung mit dem gleichen Prüffinger derart möglich ist, daß die nach [Abschnitt 5.4.2](#) erforderlichen Luft- und Kriechstrecken unterschritten werden. Bei Nennisolationsspannungen über 10 kV gelten die herabgesetzten Werte der „Mindestabstände für Innenraum“ bzw. „Mindestabstände für Erdfehlerfaktoren < 1,4“ nach DIN VDE 0101/11.80, Tabelle 5, anstelle der Kriech- und Luftstrecken nach [Abschnitt 5.4.2](#).

2.8.3.4.1 Unmittelbar berührbare Teile

Unmittelbar berührbare Teile sind Teile, die berührt werden können, ohne daß vorher eine mechanische Einrichtung (z. B. Tür, Schutzgitter) betätigt wurde.

2.8.3.4.2 Bedingt berührbare Teile

Bedingt berührbare Teile sind Teile, die erst berührt werden können, nachdem eine oder mehrere mechanische Einrichtungen entfernt oder geöffnet wurden, ohne daß hierfür ein Werkzeug oder Schlüssel benutzt werden mußte.

2.8.3.4.3 Geschützte Teile

Geschützte Teile sind Teile, die erst berührt werden können, nachdem entweder eine oder mehrere mechanische Einrichtungen mit Hilfe eines Werkzeugs oder Schlüssels entfernt oder geöffnet wurden oder nachdem eine Verriegelung wirksam wurde, die Spannungen an berührungsgefährlichen Teilen sofort abschaltet. Bei Stromrichtergeräten für Fußbodenmontage gelten Teile, die nur über die Oberkante einer Abdeckung zugänglich sind, als geschützte Teile, wenn sie nach [Bild 6](#) beim Hinüberreichen nicht berührbar (siehe Abschnitt 2.8.3.4) sind.

2.8.3.4.4 Doppelt geschützte Teile

Doppelt geschützte Teile sind Teile, die nur berührt werden können, nachdem sowohl eine oder mehrere mechanische Einrichtungen mit Hilfe eines Werkzeugs oder Schlüssels entfernt oder geöffnet wurden, als auch zusätzlich eine Verriegelung wirksam wurde, die Spannungen an berührungsgefährlichen Teilen sofort abschaltet.

2.8.3.5 Isolierung

Isolierung ist die Gesamtheit aller Isoliermaterialien, Kriechstrecken und Luftstrecken, die dazu dient, elektrische Potentialunterschiede zu ermöglichen und aufrechtzuerhalten. Die verschiedenen Arten der Isolierung sind anhand eines Beispiels in Bild 7 dargestellt.

2.8.3.5.1 Basisisolierung

Basisisolierung ist die Isolierung von aktiven Teilen, um den grundlegenden Schutz gegen gefährliche Körperströme zu gewährleisten (aus: DIN VDE 0100 Teil 200/07.85).

Anmerkung 1: Die Basisisolierung ist nicht notwendigerweise identisch mit dem früher verwendeten Begriff „Betriebsisolierung“.

Anmerkung 2: Lack, Emaille, Papier, Baumwolle, Oxidschichten auf Metallteilen, Vergußmassen usw. sowie Sperrschichten in Halbleiter-Bauelementen gelten im allgemeinen für die Basisisolierung eines Stromkreises nicht als ausreichend.

Für Leiterplatten sind besondere Bestimmungen für die Isolierung in Vorbereitung.

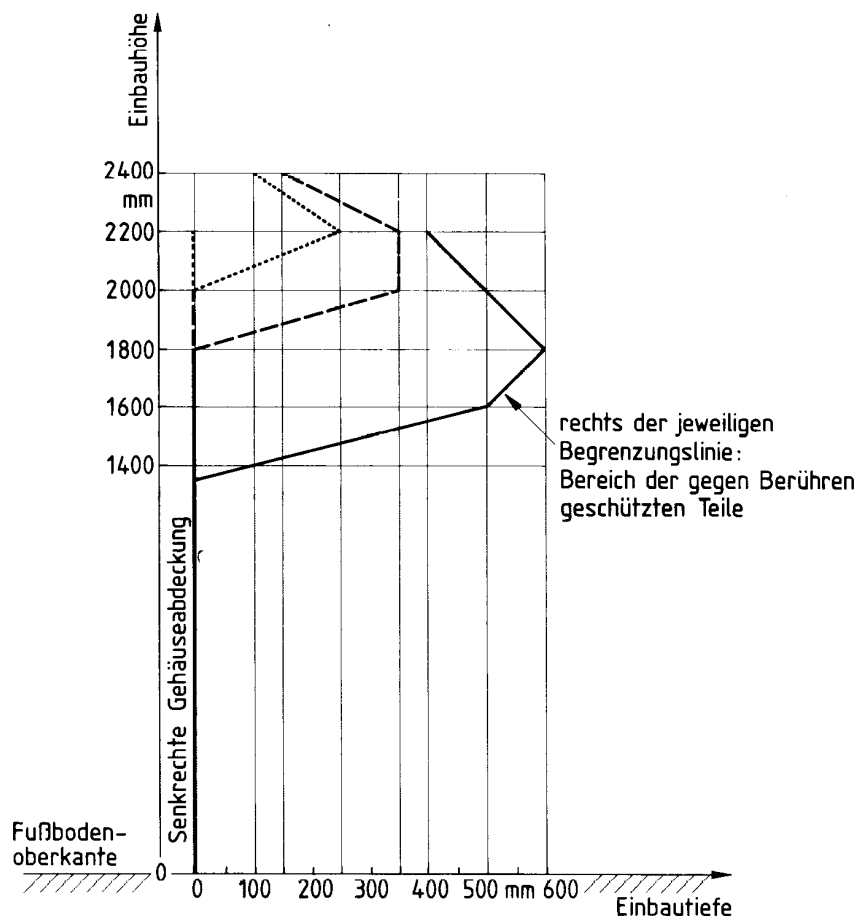
2.8.3.5.2 Zusätzliche Isolierung

Zusätzliche Isolierung ist eine unabhängige, zusätzlich zur Basisisolierung vorhandene Isolierung, die die Isolation des Stromkreises auch beim Isolationsversagen gewährleistet.

Anmerkung: Eine zusätzliche Isolierung kann auch auf Körpern als Schutz gegen im Störfall induzierte oder kapazitiv übertragene Spannungen erforderlich sein.

2.8.3.5.3 Doppelte Isolierung

Doppelte Isolierung ist eine Isolierung, die sowohl Basisisolierung als auch zusätzliche Isolierung umfaßt.



Höhe der senkrechten Gehäuseabdeckung

- 2200 mm
- 2000 mm
- 1800 mm

Bild 6. Grenzen des Bereichs der gegen Berühren beim Hinüberreichen geschützten Teile

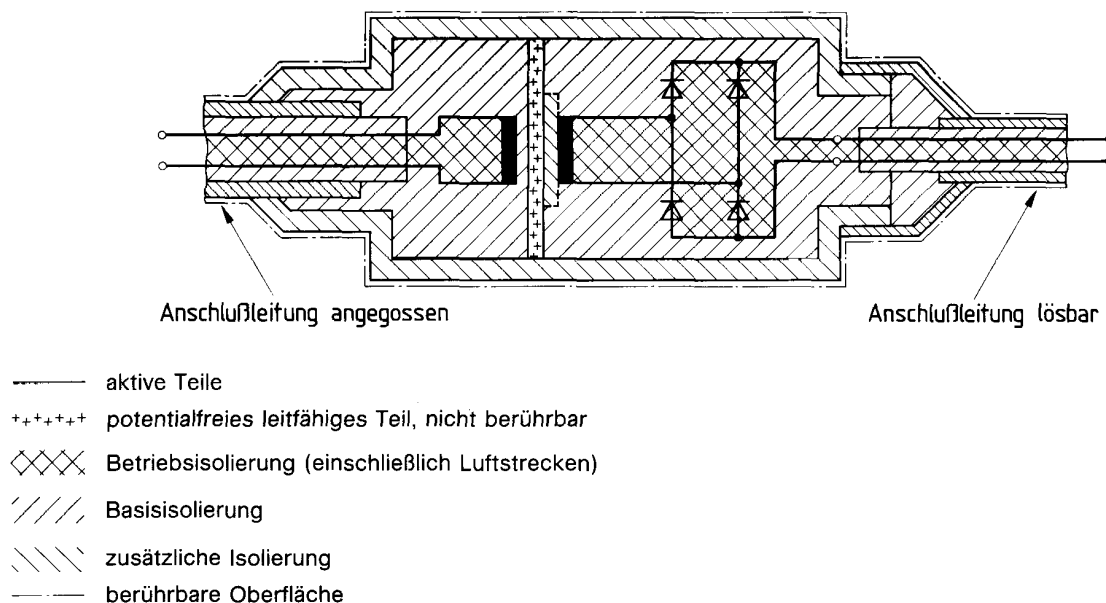


Bild 7. Isolierung in einem Betriebsmittel (schematisch)
Beispiel: Gerät der Schutzklasse II mit zwei Stromkreisen, die gegeneinander sichere elektrische Trennung aufweisen

2.8.3.6 Schutzimpedanz⁴⁾

Ein Teil oder eine Anordnung von Teilen, deren Impedanz, Aufbau und Zuverlässigkeit derart sind, daß sie bei Anschluß zwischen aktiven Teilen (oder Teilen, die im Fehlerfall Spannung annehmen können) und berührbaren leitfähigen Teilen einen Schutz gegen gefährliche Körperströme bieten, der nicht geringer ist, als bei doppelter Isolierung.

Anmerkung: Festlegungen enthält [Abschnitt 5.4.3.1.5](#).

2.8.3.7 Schutzschirmung

Schutzschirmung ist eine Anordnung, bei der zwischen zwei voneinander elektrisch getrennten leitfähigen Teilen ein mit dem Schutzleiteranschluß bzw. mit dem Erdungsleiteranschluß verbundenes Metallteil derart eingefügt ist, daß beim Isolationsversagen ein Spannungsübertritt nur auf dieses Metallteil erfolgen kann.

2.8.3.8 Schutzklassen für Stromrichtersätze und -geräte

Die folgenden Schutzklassen beziehen sich auf den Schutz bei indirektem Berühren. Die für Stromrichtergeräte erklärten Schutzklassen I bis II sind sinngemäß auch auf Stromrichtersätze anwendbar. Sie können unter bestimmten Voraussetzungen auch auf Teile eines Stromrichtergerätes beschränkt sein.

2.8.3.8.1 Schutzklasse I

Schutzklasse I bei Stromrichtergeräten liegt vor, soweit Körper von Stromrichtergeräten nach [Abschnitt 5.4.3.1.1](#) dauerhaft leitend mit dem Schutzleiteranschluß verbunden sind und soweit das Stromrichtergerät für den Anschluß an äußere Stromkreise bemessen ist, die weder Schutzkleinspannungskreise noch Hochspannungskreise sind.

2.8.3.8.2 Schutzklasse II

Schutzklasse II bei Stromrichtergeräten liegt vor, soweit die Isolierung zwischen aktiven Teilen und allen unmittelbar und bedingt berührbaren Teilen mindestens als doppelte Isolierung ausgeführt ist und soweit das Gerät für den Anschluß an äußere Stromkreise bemessen ist, die weder Schutzkleinspannungskreise noch Hochspannungskreise sind.

2.8.3.8.3 Schutzklasse III

Schutzklasse III bei Stromrichtergeräten liegt vor, soweit in dem Gerät keine Spannungen zwischen aktiven Teilen oder zwischen aktiven Teilen und Erde auftreten, die höher sind als nach [Abschnitt 2.1.10.3 a\) bis c\)](#) zulässig und soweit es zum ausschließlichen Anschluß an Schutzkleinspannungskreise (siehe [Abschnitt 2.1.10.3](#)) bemessen ist.

Anmerkung: Die aktiven Teile derartiger Geräte sind normalerweise nicht geerdet, jedoch sind Geräte auch dann nicht von der Anwendung der Schutzklasse III ausgeschlossen, wenn sie einen Erdungsanschluß aufweisen.

2.8.3.9 Hochspannungs-Stromrichtergerät

Hochspannungs-Stromrichtergerät ist ein Gerät, das für den Anschluß an äußere Hochspannungskreise (siehe [Abschnitt 2.1.10.4](#)) bemessen ist.

Anmerkung: Durch das Vorhandensein innerer Hochspannungskreise, die nicht an äußere Anschlüsse geführt werden, wird ein Stromrichtergerät noch nicht zum Hochspannungs-Stromrichtergerät.

Bei inneren Hochspannungskreisen, in denen gefährliche Ströme und Energien (Grenzwerte siehe [Abschnitt 5.7.13.3](#), zweiter Absatz) auftreten oder betriebsmäßig auftreten können, sind jedoch die gleichen Anforderungen wie an Hochspannungskreise in Hochspannungsgeräten zu erfüllen.

⁴⁾ Die Begriffsbestimmung entspricht den neuen Beschlüssen von IEC/TC 64. Nach Übernahme in [DIN VDE 0106 Teil 1](#) erfolgt eine Anpassung.

2.8.4 Lastarten

Die Lastart ist von Einfluß auf die Beanspruchung und die Betriebseigenschaften (z. B. Kennlinie) des Stromrichters.

2.8.4.1 Stromrichter mit Gleichstromausgang

Es werden folgende Lastarten unterschieden (nähere Angaben siehe DIN 41756 Teil 2):

- Widerstandslast (W),
- – Belastung mit Lichtbogen (Li),
- induktive Last (L),
- Last mit Gegenspannung, angegeben als
 - – Batterielast (B),
 - – Motorlast (M),
 - – kapazitive Last (C),
- verzerrende Last (V).

Liegt eine gemischte Last vor, bei der z. B. ein Verbraucher mit Gegenspannung eine Induktivität oder einen ohmschen Widerstand enthält, so wird das Kurzzeichen derjenigen Lastart angegeben, die vorwiegend das Betriebsverhalten des Stromrichters bestimmt.

2.8.4.2 Stromrichter mit Wechselstromausgang

Es werden Lastarten nach den in den Abschnitten 2.8.4.2.1 und 2.8.4.2.2 aufgeführten Merkmalen unterschieden (nähere Angaben siehe DIN 41756 Teil 3).

2.8.4.2.1 Die Größe des Verschiebungswinkels φ_1 zwischen den Grundschwingungen von Strom und Spannung bei (der höchsten) Betriebsfrequenz ist das wesentliche Unterscheidungsmerkmal. Dabei ergeben sich aufgrund bestimmter Bereiche des Verschiebungswinkels Lastarten, die mit einem Kurzzeichen, bestehend aus einem Kennbuchstaben und – wenn notwendig – den Grenzwinkeln des Verschiebungswinkelbereichs, gekennzeichnet werden:

- Wirklast (W),
- Last mit nacheilendem Strom (L),
- Last mit voreilendem Strom (C).

Bei erweitertem Lastbereich werden die Kennbuchstaben in der Reihenfolge C, W, L entsprechend der zunehmenden Größe des Verschiebungswinkels angegeben.

2.8.4.2.2 Zusätzliche Merkmale der Lastarten werden, ergänzend zur Kennzeichnung nach Abschnitt 2.8.4.2.1, nach folgender Unterscheidung angegeben:

- Verzerrende Last (V),
- Last mit Gleichstromanteil (D),
- Motorlast (M).

Der Kennbuchstabe V wird durch Angabe des Oberschwingungsgehalts des Laststromes, der Kennbuchstabe D durch Angabe des Gleichstromgehalts des Laststromes, der Kennbuchstabe M durch das Verhältnis Anlaufstrom/Nennstrom zu einem Kurzzeichen ergänzt.

2.8.4.2.3 Periodisch veränderliche Last entsteht mit einer die Last schaltenden Steuerung oder Regelung (z. B. Vielperiodensteuerung bei Wechselstromstellern) und führt zu einem Belastungsspiel entsprechend der Taktfrequenz. Eine solche zeitlich veränderliche Last entspricht dann einer Betriebsart nach DIN 41756 Teil 1, allerdings für sehr kurze Spieldauer (siehe auch Abschnitt 2.8.5).

2.8.5 Betriebsarten

Die Betriebsart kennzeichnet den zeitlichen Verlauf der

Belastung eines Stromrichters und bestimmt damit den Temperaturverlauf in den Ausrüstungsteilen.

Es wird unterschieden:

- Dauerbetrieb (DB),
- Grundlastbetrieb mit zusätzlicher Kurzzeitbelastung (GKB),
- Grundlastbetrieb mit zeitweise abgesenkter Belastung (GAB),
- Kurzzeitbetrieb (KB),
- Durchlaufbetrieb mit Kurzzeitbelastung (DKB),
- Aussetzbetrieb (AB),
- Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung (DAB),
- Wechsellastbetrieb (WLB),
- Betrieb mit Batterien (BB).

Der grundsätzliche zeitliche Verlauf von Gleichstrom und Übertemperatur ist in [Bild 8](#) dargestellt.

Bei Grundlastbetrieb mit zusätzlicher Kurzzeitbelastung (GKB) sind Stromrichter über ihren Grundlaststrom hinaus belastbar. Für die Bemessung und Prüfung können Belastungsklassen zugrunde gelegt werden.

Nähere Angaben siehe DIN 41756 Teil 1.

2.8.6 Stromrichtfehler

Stromrichtfehler sind Störungen, die beim Stromrichterbetrieb auftreten können. Außer den nachfolgend aufgeführten können weitere Stromrichtfehler z. B. durch überlagerte Schwingungen hervorgerufen werden.

2.8.6.1 Sperrschicht-Durchschlag

Sperrschicht-Durchschlag ist der dauernde Verlust der Sperrfähigkeit eines Ventilbauelementes und bedeutet Zerstörung des Bauelementes.

2.8.6.2 Falschzündung

Falschzündung ist ein unerwünschter Übergang eines Thyristors aus dem Sperrzustand (in Vorwärtsrichtung) in den Durchlaßzustand.

Anmerkung: Eine Falschzündung kann auch durch einen Zündfehler verursacht werden. Als Folge von Falschzündungen können unter Umständen unzulässige Stoßströme (und damit unzulässige Sperrschichttemperaturen) oder unzulässige Stromanstiegsgeschwindigkeiten auftreten, die zur Zerstörung des Bauelementes führen können. Auch können unter Umständen Überspannungen auftreten und andere Bauelemente gefährden.

2.8.6.3 Zündfehler

Zündfehler sind solche Störungen, bei denen Thyristoren nicht im vorgesehenen Zeitpunkt oder gar nicht gezündet werden.

Ursache von Zündfehlern können Fehlimpulse (Störimpulse) sein, die die Thyristoren im falschen Zeitpunkt zünden lassen oder Zündversager (z. B. infolge Impulsausfall), bei denen die Thyristoren gar nicht zünden (siehe DIN 41750 Teil 7).

2.8.6.4 Kommutierungsversager

Kommutierungsversager ist das Nichtzustandekommen der vorgesehenen Stromübernahme durch den nächsten Stromrichterzweig.

Anmerkung: Er kann als Folge eines Zündversagers, also bei fehlendem oder nicht ausreichendem Zündimpuls eintreten. Kommutierungsversager können bei Wechselrichterbetrieb auch dadurch verursacht werden, daß die Kommutierungsspan-

nung nicht hoch genug ist oder nicht lange genug zur Verfügung steht (z. B. bei Ausfall der führenden Netzspannung), oder dadurch eintreten, daß die durch den Aussteuerungsgrad gegebene Schonzeit nicht ausreicht.

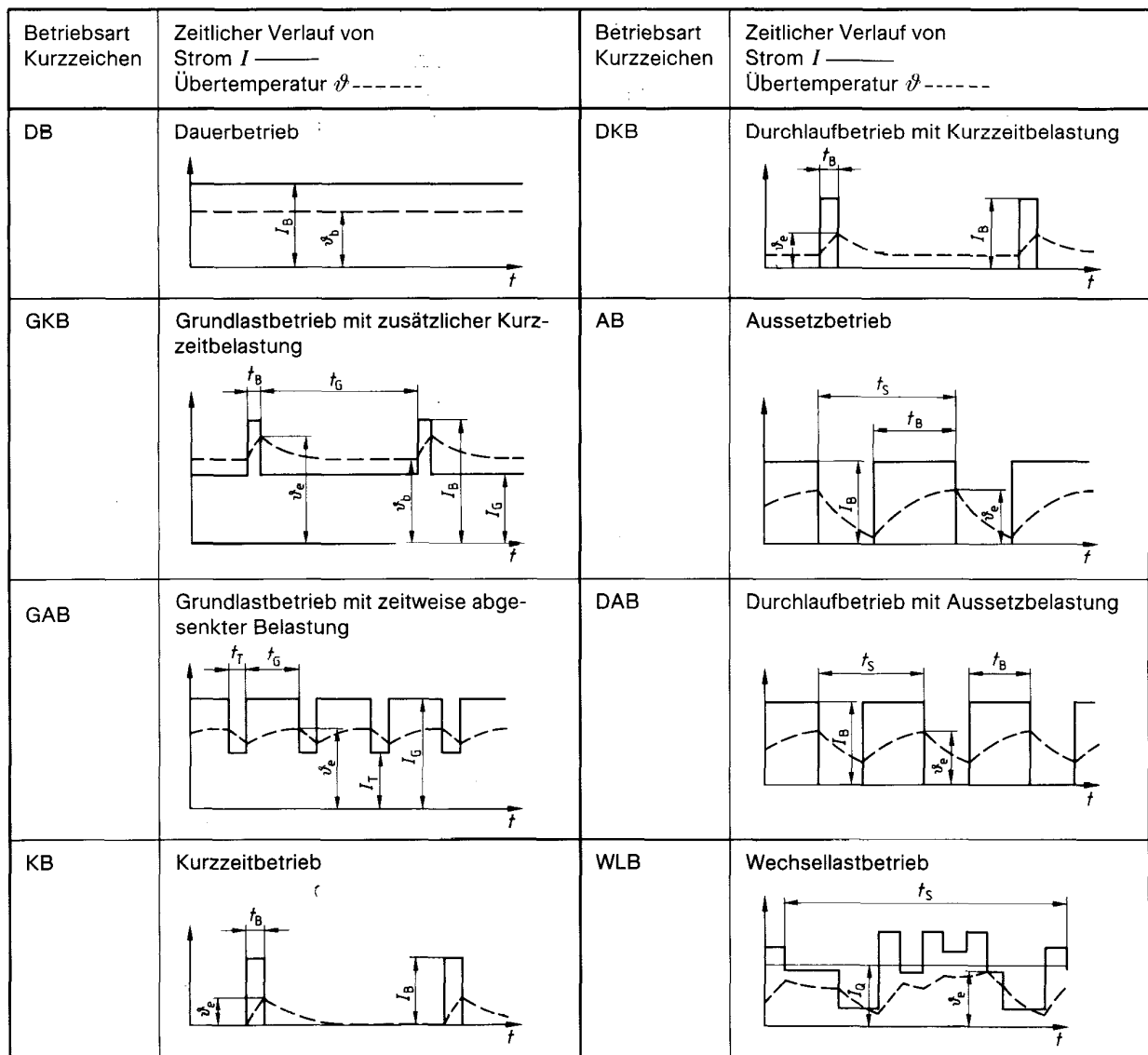
2.8.6.5 Wechselrichterkippping

Wechselrichterkippping ist ein Kommutierungsversager im Wechselrichterbetrieb.

3 Anforderungen und Prüfungen für Halbleiter-Ventilbauelemente

Die Festlegungen dieses Abschnittes 3 gelten bis zum Erscheinen spezieller Normen für Halbleiter-Ventilbauelemente, die für den Einsatz in Stromrichtern bestimmt sind.

Für Transistoren im Schaltbetrieb gelten DIN 41791 Teil 6, DIN 41792 und Beiblatt 1 zu DIN 41792.



I_G Grundlaststrom
 I_B Strom während der Belastungsdauer (bei GKB Überstrom während der zusätzlichen Kurzzeitbelastung)
 I_T Strom während der Teillastdauer
 I_Q Quadratischer Mittelwert des Stromes
 t_B Belastungsdauer (bei GKB Dauer der zusätzlichen Kurzzeitbelastung, Überstromdauer)

t_T Teillastdauer
 t_S Spieldauer (SD)
 t_G Grundlastdauer
 ϑ_b Beharrungsübertemperatur
 ϑ_e Endübertemperatur

Bild 8. Grundsätzlicher zeitlicher Verlauf von Gleichstrom und Übertemperatur bei den verschiedenen Betriebsarten

3.1 Anforderungen an Gleichrichterdiode und Thyristoren

3.1.1 Grenzwerte

Die Angaben über die Belastbarkeit von Gleichrichterdiode und Thyristoren sind in Form von Grenzwerten zu machen. Diese Grenzwerte sind maßgebend für die Bemessung von Stromrichtersätzen. Jedes Überschreiten der Grenzwerte kann zur bleibenden Funktionsunfähigkeit oder sogar zur körperlichen Zerstörung des betroffenen Ventilbauelementes führen.

Im Datenblatt sind mindestens folgende Grenzwerte nach DIN 41782*) bzw. nach DIN IEC 747 Teil 6 anzugeben:

- Dauergrenzstrom,
 - Stoßstrom-Grenzwert,
 - höchstzulässige periodische Spitzensperrspannung,
 - höchstzulässige Stoßspitzenspannung,
 - höchstzulässige Steuerverlustleistung,
 - kritische Stromsteilheit,
 - kritische Spannungssteilheit,
 - höchstzulässige Ersatzsperrschichttemperatur,
 - Lagerungstemperaturbereich.
- } nur bei Thyristoren

3.1.2 Kennwerte

Kennwerte sind Werte elektrischer oder thermischer Größen, die die Eigenschaften einer Gleichrichterdiode oder eines Thyristors kennzeichnen, ohne den Charakter von Grenzwerten zu besitzen. Im Gegensatz zu den Grenzwerten können sie direkt am Bauelement gemessen werden (Meßverfahren siehe DIN 41783 und DIN 41784 Teil 1). Sie sind stets mit einer Typstreuung behaftet. In besonderen Fällen ist es deshalb erforderlich, Streugrenzen anzugeben.

Im Datenblatt sind mindestens folgende Kennwerte nach DIN 41782*) bzw. nach DIN IEC 747 Teil 6 anzugeben:

- Durchlaßkennlinie,
 - Haltestrom,
 - oberer Zündstrom (Mindeststeuerstrom),
 - obere Zündspannung (Mindeststeuerspannung),
 - Eingangskennlinien und Zündbereich,
 - (innerer) Wärmewiderstand,
 - transienter Wärmewiderstand.
- } nur bei Thyristoren

3.1.3 Überstrombelastbarkeit

Gleichrichterdiode und Thyristoren sind unter bestimmten Bedingungen mit Überstrom belastbar. Als Überstrom gilt jeder zeitlich begrenzte Durchlaßstrom, der ohne diese Zeitbegrenzung zum Überschreiten der höchstzulässigen Ersatzsperrschichttemperatur führen würde. Dieser Überstrom darf im Betrieb beliebig oft auftreten, sofern sichergestellt ist, daß die höchstzulässige Ersatzsperrschichttemperatur nicht überschritten wird.

*) Z.Z. Entwurf

Anmerkung: Neben der Ersatzsperrschichttemperatur kann auch die Temperaturwechselfestigkeit von Einfluß sein. Normen und Bestimmungen hierfür liegen noch nicht vor.

Der unter den jeweils gegebenen Betriebsbedingungen zulässige Überstrom muß im allgemeinen aus der höchstzulässigen Ersatzsperrschichttemperatur und dem transienten Wärmewiderstand errechnet werden.

Zur leichten Ermittlung in einfachen Fällen können vom Hersteller die folgenden Kennlinien nach DIN 41782*) bzw. nach DIN IEC 747 Teil 6 angegeben werden:

- Überstrom-Kennlinien für Kurzzeitbetrieb,
- Überstrom-Kennlinien für Aussetzbetrieb.

Weiterhin wird empfohlen, Überstrom-Kennlinien für Grundlastbetrieb mit zusätzlicher Kurzzeitbelastung anzugeben.

Zur Bemessung von Schutzeinrichtungen für Störfälle sind außerdem nach DIN 41782*) und nach DIN IEC 747 Teil 6 Grenzstrom-Kennlinien vom Hersteller anzugeben.

3.1.4 (bleibt frei).

3.1.5 Kennzeichnung

Gleichrichterdiode und Thyristoren müssen folgende Kennzeichen tragen (siehe DIN 41789):

- a) Eindeutige Firmenbezeichnung des Herstellers oder Lieferers,
- b) Typbezeichnung, die die eindeutige Zuordnung zum jeweiligen Datenblatt ermöglicht,
- c) Kennzeichnung der Polarität durch das Schaltzeichen (nach DIN 40700 Teil 8) auf dem Gehäuse. Reicht hierfür der Platz nicht aus, so wird das kathodenseitige Ende des Gehäuses oder der Kathodenanschluß in geeigneter Weise gekennzeichnet.

Anmerkung: Bei Zweirichtungsthyristoren ist eine Kennzeichnung der Polarität im allgemeinen nicht erforderlich.

Hat bei Thyristoren der dem Steueranschluß zugeordnete Hauptanschluß einen besonderen Anschluß für die Steuereinrichtung, so ist der Steueranschluß selbst gelb zu kennzeichnen.

Bei Zweirichtungsthyristoren, bei denen der dem Steueranschluß zugeordnete Hauptanschluß keinen besonderen Anschluß für die Steuereinrichtung hat, ist dieser Hauptanschluß in geeigneter Weise zu kennzeichnen.

3.2 Prüfung von Gleichrichterdiode und Thyristoren

Die an Gleichrichterdiode und Thyristoren nach [Tabelle 2](#) vorzunehmenden Typ- und Stückprüfungen sind nach den in DIN 41783 (Gleichrichterdiode) und DIN 41784 Teil 1 (Thyristoren) angegebenen oder gleichwertigen Verfahren auszuführen.

3.2.1 Typprüfung

Die Typprüfung dient dem Nachweis, daß der Bauelementtyp die vom Hersteller nach Abschnitt 3.1 angegebenen Eigenschaften besitzt.

Es sind mindestens die in den Spalten „Typprüfung“ der [Tabelle 2](#) durch ein Kreuz gekennzeichneten Eigenschaften zu prüfen.

Gleichrichterdioden und Thyristoren haben die Typprüfung hinsichtlich der Grenzwerte bestanden, wenn sie nach der Typprüfung noch den Anforderungen der Stückprüfung genügen.

3.2.2 Stückprüfung

Die Stückprüfung dient dem Nachweis einer gleichbleibenden Qualität der Fertigung. Es sind mindestens die in den Spalten „Stückprüfung“ der Tabelle 2 durch ein Kreuz gekennzeichneten Eigenschaften an jeder Gleichrichterdiode bzw. jedem Thyristor zu prüfen, die mit dem Hinweis auf die Fußnote versehenen, jedoch nur in dem in der Fußnote angegebenen Falle.

Dabei dürfen die Werte der geprüften Eigenschaften die im Datenblatt angegebenen Grenzen der Typstreuung nicht überschreiten.

In Sonderfällen, z. B. bei Fertigung großer Stückzahlen, kann an die Stelle der Stückprüfung einzelner Eigenschaften eine Stichprobenprüfung treten, wenn durch diese eine gleichbleibende Qualität der Fertigung sichergestellt ist.

4 Anforderungen und Prüfungen für Stromrichtersätze und Ventilbaugruppen

Die Festlegungen dieses Abschnittes 4 gelten für Stromrichtersätze, die nicht in Stromrichtergeräten eingebaut geliefert werden. Stromrichtersätze (und Ventilbaugruppen), die in Stromrichtergeräten eingebaut geliefert werden, werden durch die Anforderungen an das Stromrichtergerät nach [Abschnitt 5](#) mit erfaßt.

Die Festlegungen dieses Abschnittes 4 gelten auch für Ventilbaugruppen, die nicht in Stromrichtersätzen oder Stromrichtergeräten eingebaut geliefert werden. Dafür ist in Abschnitt 4 „Ventilbaugruppe“ anstelle von Stromrichtersatz zu lesen.

Die Festlegungen dieses Abschnittes 4 gelten auch für zum Einbau in ein Stromrichtergerät oder ein Gehäuse (z. B. Schaltschrank) bestimmte Stromrichtersätze. Für diese Stromrichtersätze zum Einbau sind teilweise besondere Anforderungen angegeben.

4.1 Anforderungen an Stromrichtersätze

4.1.1 Betriebsbedingungen für normale Bemessung von Stromrichtersätzen

Unter Betriebsbedingungen werden alle äußeren Einwirkungen zusammengefaßt, die die Belastbarkeit, das Betriebsverhalten und die konstruktive Ausführung beeinflussen. Die durch die Bemessungswerte (siehe [Abschnitt 4.1.3](#)) gekennzeichnete übliche Bemessung der Stromrichtersätze muß den in diesem Abschnitt aufgeführten Betriebsbedingungen entsprechen, sofern nicht ausdrücklich andere Betriebsbedingungen angegeben werden. Für die Angabe von Nennwerten können andere Betriebsbedingungen vereinbart werden (siehe [Abschnitte 4.1.4](#) und [4.1.5.3](#)).

4.1.1.1 Kühlbedingungen

Die Kühlart eines Stromrichtersatzes ist mit Kurzzeichen nach DIN 41751 anzugeben. Bei Luftselbstkühlung kann die Angabe entfallen.

Bei den folgenden üblichen Kühlbedingungen wird vorausgesetzt, daß keine zusätzliche Erwärmung des Stromrichtersatzes durch in der Nähe befindliche Wärmequellen, z. B. durch Wärmestrahlung, stattfindet.

4.1.1.1.1 Stromrichtersätze mit Luft als Kühlmittel

Umgebungstemperatur (siehe [Abschnitt 2.1.9.2](#)):

- Bei Stromrichtersätzen zum Einbau: 0 bis + 45 °C,
- bei allen anderen Stromrichtersätzen: 0 bis + 40 °C.

Tabelle 2. Typ- und Stückprüfung der Gleichrichterdioden und Thyristoren

zu prüfende Eigenschaft	Typprüfung Dioden	Thyristoren	Stückprüfung Dioden	Thyristoren
Durchlaßkennlinie	x	x		
Vorwärts-Sperrkennlinie		x		
Rückwärts-Sperrkennlinie	x	x		
Durchlaßkennwerte	x	x	x	x
Höchstzulässige Stoßspitzenspannung dito in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung	x	x		
Sperrkennwerte			x	x
Haltestrom		x		
Einraststrom		x		x ¹⁾
Stoßstrom-Grenzwert	x	x		
Kritische Stromsteilheit		x		
Kritische Spannungssteilheit		x		x ¹⁾
Sperrverzögerungsladung	x	x		
Freiwerdezeit		x		x ¹⁾
Wärmewiderstand	x	x		
Transienter Wärmewiderstand	x	x		
Zündstrom und Zündspannung		x		x
Höchste nicht zündende Steuerspannung		x		
Zündverzug		x		

¹⁾ Diese Prüfung ist nur dann als Stückprüfung durchzuführen, wenn vom Hersteller Mindest- oder Höchstwerte angegeben werden.

Kühlmitteltemperatur (siehe [Abschnitt 2.1.9.1](#)):

- Bei Luftselbstkühlung gleicher Bereich wie Umgebungstemperatur,
- bei verstärkter Luftkühlung: 0 bis + 35 °C.

Bei Sätzen ohne eingebauten Lüfter sind die vom Hersteller angegebenen Kühlbedingungen einzuhalten.

Es wird unbehindertes Zu- und Abströmen der Kühlluft vorausgesetzt.

4.1.1.1.2 Stromrichtersätze mit Flüssigkeit als Kühlmittel bzw. Wärmeträger

Umgebungstemperatur:

- Bei Stromrichtersätzen zum Einbau: über 0 bis + 45 °C,
- bei allen anderen Stromrichtersätzen: über 0 bis + 40 °C.

Temperatur der eintretenden Flüssigkeit: + 5 bis + 25 °C.

Bei Flüssigkeit als Kühlmittel sind vom Hersteller der erforderliche Kühlmittelstrom und der Druck anzugeben.

Bei Wasserkühlung darf der Wasserablauf nicht behindert werden. Die Qualität des Kühlwassers bzw. die Ausführung des Kühlers ist zwischen Hersteller und Anwender zu klären. Als Richtlinie für die Beurteilung des Wassers gelten die Normen der Reihe DIN 50930.

4.1.1.2 Lastart

Die Bemessungswerte (siehe Abschnitt 4.1.3) gelten im allgemeinen für Widerstandslast bzw. Wirklast (W). Nur bei Sätzen, die für kapazitive Last (C) bestimmt sind (einschließlich Sätzen für Verdoppler- und Vervielfacher-schaltungen), gelten sie für diese Lastart.

4.1.1.3 Betriebsart, Aussteuerung

Die Bemessungswerte gelten für Dauerbetrieb (DB) (siehe [Abschnitt 2.8.5](#)) und Vollaussteuerung.

4.1.1.4 Abweichungen der Anschlußspannung und Frequenz von Wechselstromnetzen

Stromrichtersätze müssen eine Abweichung der Anschlußspannung von ihrem Nenn- bzw. Bemessungswert bis $\pm 10\%$ dauernd ohne Schaden aushalten. Dabei darf die Belastung den Nenn- bzw. Bemessungswert des Ausgangsstromes nicht überschreiten.

Stromrichtersätze müssen bei Abweichungen der Netzfrequenz bis $\pm 2\%$ ⁵⁾ vom Nennwert dauernd betrieben werden können.

4.1.1.5 Aufstellungshöhe

Die Bemessungswerte gelten für eine Aufstellungshöhe bis 1000 m über NN.

4.1.2 Ungewöhnliche Betriebsbedingungen

Ungewöhnliche Betriebsbedingungen erfordern zusätzliche Maßnahmen, mit denen sicherzustellen ist, daß im übrigen diese Norm eingehalten ist. Sofern ungewöhnliche Betriebsbedingungen vorliegen, sind sie von vornherein vom Anwender anzugeben.

Solche ungewöhnlichen Betriebsbedingungen sind z. B.:

- a) Ungewöhnliche mechanische Beanspruchungen (Schütteln, Stöße) (siehe [DIN VDE 0160](#)),
- b) Kühlwasser mit Bestandteilen, die Korrosion oder Rohrverstopfungen verursachen können (Seewas-

ser, hartes Wasser) (siehe auch [Abschnitt 5.1.1.1.2](#)),

- c) feste Bestandteile in der Kühlluft und in der umgebenden Luft (übermäßiger Staub oder Schmutz),
- d) salzhaltige Luft (z. B. in Meeresnähe), hohe Feuchtigkeit, Tropfwasser oder aggressive Gase oder Dämpfe,
- e) Einwirkung von Wasserdampf oder Öldampf,
- f) Vorhandensein von explosivem Staub oder Gasgemisch,
- g) Einwirkung von radioaktiver Strahlung,
- h) Kühlmitteltemperaturen außerhalb der in [Abschnitt 4.1.1.1](#) angegebenen Bereiche,
- i) Lagerung bei Umgebungstemperaturen unter -25 °C oder über $+55\text{ °C}$,
- j) Betrieb und Betriebspausen bei Umgebungstemperaturen außerhalb der in [Abschnitt 4.1.1.1](#) angegebenen Bereiche,
- k) hohe relative Luftfeuchte und Umgebungstemperaturen ähnlich subtropischer und tropischer Klimabedingungen,
- l) beträchtliche und rasche Schwankungen von Temperatur (mehr als 5 K/h) und relativer Luftfeuchtigkeit (mehr als 5 % in 1 h),
- m) Aufstellungshöhe mehr als 1000 m über NN,
- n) überlagerte Hochfrequenzspannungen,
- o) ungewöhnlich hohe Überspannungen auf der Wechselstrom- oder Gleichstromseite, z. B. infolge von Schaltvorgängen, soweit sie über die Grenzwerte in [DIN VDE 0160/01.86](#), Abschnitt 5.3.1.1.2, hinausgehen,
- p) Eingangsspannungen, die hinsichtlich der Kurvenform und Symmetrie über die Grenzwerte in [DIN VDE 0160/01.86](#), [Abschnitte 5.3.1.2](#) und [5.3.1.3](#), hinausgehen,
- q) Bahnbetrieb,
- r) Spannungs- und Frequenzschwankungen, die über die Werte nach Abschnitt 4.1.1.4 hinausgehen.

Anmerkung: Weitere ungewöhnliche Betriebsbedingungen sind für Stromrichtergeräte in [Abschnitt 5.1.2](#) aufgeführt.

4.1.3 Bemessungswerte des Stromrichtersatzes

Für serienmäßige Sätze, deren Verwendungszweck noch unbestimmt ist, werden Bemessungswerte angegeben.

Als Bemessungswerte gelten diejenigen Werte der elektrischen Größen, die die Bemessung des Stromrichtersatzes kennzeichnen. Sie werden aus den Grenzwerten der Ventilbauelemente und gegebenenfalls der weiteren Bauelemente des Stromrichtersatzes abgeleitet und gelten für normale Betriebsbedingungen nach [Abschnitt 4.1.1](#). Für den Einsatz unter anderen Betriebsbedingungen müssen die Werte umgerechnet werden.

Sind für bestimmte Bezugspunkte beim Stromrichtersatz Grenztemperaturen angegeben, z. B. höchstzulässige Gehäusetemperatur (siehe [Abschnitt 2.1.9.4](#)) bei gekappten Stromrichtersätzen, so dürfen diese bei Betrieb mit den Bemessungswerten nicht überschritten werden.

Die in den folgenden Abschnitten aufgeführten Bemessungswerte gelten für Stromrichtersätze, die für Gleichrichter-, Wechselrichter- oder Umrichterbetrieb vorgesehen sind.

⁵⁾ Mit einer Änderung auf $\pm 1\%$ in Anpassung an [DIN VDE 0160/01.86](#) ist zu rechnen, vorbehaltlich einer entsprechenden Änderung in IEC 146.

Bei Stromrichtersätzen, die sowohl Gleichrichter- als auch Wechselrichterbetrieb ermöglichen, werden die Werte im allgemeinen für Gleichrichterbetrieb angegeben.

4.1.3.1 Bemessungs-Anschlußspannung

Als Bemessungs-Anschlußspannung des Stromrichtersatzes ist die (bei Bemessungs-Gleichstrom bzw. Bemessungs-Ausgangswechselstrom) dauernd zulässige – wechselstromseitige – sinusförmige Anschlußspannung (siehe [Abschnitt 2.3.2](#)) anzugeben. Dabei sind Abweichungen der Anschlußspannung und ihrer Frequenz nach [Abschnitt 4.1.1.4](#) zulässig.

Die Bemessungs-Anschlußspannung wird aus den höchsten zulässigen periodischen Spitzenspannungen der Ventilbauelemente abgeleitet unter Berücksichtigung eines angemessenen Abstandes für normalerweise zu erwartende Überspannungen und gegebenenfalls eines im Satz enthaltenen Überspannungsschutzes. Wird der Stromrichtersatz an eine nicht sinusförmige Spannung angeschlossen, so dürfen weder Scheitel- noch Effektivwert dieser Spannung die entsprechenden Werte der Bemessungs-Anschlußspannung überschreiten.

Bei Stromrichtersätzen für die Stromrichterschaltung M 3.2 (mit Saugdrossel, siehe [Tabelle 1 a](#)) ist als Bemessungs-Anschlußspannung der doppelte Wert der Sternspannung anzugeben, wenn nichts anderes festgelegt wird. Bei anderen Schaltungen mit Saugdrossel ist sinngemäß zu verfahren.

Der Angabe der Bemessungs-Anschlußspannung ist die zugehörige Frequenz hinzuzufügen, sofern diese Angabe erforderlich ist.

4.1.3.2 Bemessungs-Anschlußstrom

Als Bemessungs-Anschlußstrom des Stromrichtersatzes ist der wechselstromseitige Anschlußstrom anzugeben, den der Satz bei Bemessungs-Anschlußspannung und -Gleichstrom (bzw. Bemessungs-Ausgangswechselstrom) in betriebswarmem Zustand bei Volllaststeuerung führt.

4.1.3.3 Bemessungs-Gleichspannung

Als Bemessungs-Gleichspannung des Stromrichtersatzes ist die Gleichspannung anzugeben, die der Satz in der vorgesehenen Schaltung bei (sinusförmiger) Bemessungs-Anschlußspannung und bei Belastung mit dem Bemessungs-Gleichstrom in betriebswarmem Zustand bei Volllaststeuerung abgibt.

4.1.3.4 Bemessungs-Gleichstrom

Als Bemessungs-Gleichstrom eines Stromrichtersatzes ist ein Wert anzugeben, der unter den Betriebsbedingungen nach [Abschnitt 4.1.1](#) zulässig ist. Er wird aus den Dauergrenzströmen der Ventilbauelemente für die angegebene Kühlart und gegebenenfalls von der Belastbarkeit eingebauter Sicherungen oder anderer Bauelemente abgeleitet.

Im Anschluß an Dauerbetrieb mit dem Bemessungs-Gleichstrom sind höhere Belastungen – auch kurzzeitig – nicht zulässig. Im Anschluß an Belastungen unterhalb des Bemessungs-Gleichstromes sind Belastungen über den Bemessungs-Gleichstrom nur innerhalb der vom Hersteller angegebenen Überstrombelastbarkeit zulässig.

4.1.3.5 Bemessungs-Ausgangswechselspannung

Bei Stromrichtersätzen mit ausgangsseitiger Wechsel-

spannung ist anstelle der Bemessungs-Gleichspannung diejenige Ausgangswechselspannung, die der Satz bei Bemessungs-Anschlußspannung und bei Belastung mit dem Bemessungs-Ausgangswechselstrom in betriebswarmem Zustand bei Volllaststeuerung abgibt, als Bemessungs-Ausgangswechselspannung anzugeben.

4.1.3.6 Bemessungs-Ausgangswechselstrom

Bei Stromrichtersätzen mit ausgangsseitigem Wechselstrom ist anstelle des Bemessungs-Gleichstromes ein Wert, der unter den Betriebsbedingungen nach [Abschnitt 4.1.1](#) zulässig ist, als Bemessungs-Ausgangswechselstrom anzugeben.

Für die Ermittlung dieses Wertes und darüber hinausgehende Belastungen gilt sinngemäß das gleiche wie in [Abschnitt 4.1.3.4](#).

4.1.4 Nennwerte des Stromrichtersatzes

Als Nennwerte gelten diejenigen Werte der elektrischen und thermischen Größen, für die der Stromrichtersatz vorgesehen ist und für die die Anforderungen dieser Norm erfüllt sein müssen.

Die Nennwerte für Stromrichtersätze gelten im allgemeinen für normale Betriebsbedingungen nach [Abschnitt 4.1.1](#). Sollen die Nennwerte für andere Betriebsbedingungen gelten, so muß dies angegeben werden (z. B. nach [Abschnitt 4.1.5](#)). Anstelle eines Nennwertes kann auch ein Bereich angegeben werden.

Die in den folgenden Abschnitten aufgeführten Nennwerte gelten für Stromrichtersätze, die für Gleichrichter-, Wechselrichter- oder Umrichterbetrieb vorgesehen sind. Bei Stromrichtersätzen, die sowohl Gleichrichter- als auch Wechselrichterbetrieb ermöglichen, werden die Werte im allgemeinen für Gleichrichterbetrieb angegeben.

4.1.4.1 Nennanschlussspannung

Als Nennanschlussspannung des Stromrichtersatzes ist die – wechselstromseitige – Anschlußspannung (siehe [Abschnitt 2.3.2](#)) bei Nenngleichstrom (bzw. Nenn-Ausgangswechselstrom) anzugeben, für die der Satz vorgesehen ist.

Anmerkung: Damit unterscheidet sich die Nennanschlussspannung des Stromrichtersatzes von der stromrichterseitigen Nennspannung eines evtl. vorgesehenen Transformators, sofern diese nach [DIN VDE 0532 Teil 1](#) für Leerlauf angegeben wird.

Bei Stromrichtersätzen für Schaltungen mit Saugdrossel gilt das gleiche wie in [Abschnitt 4.1.3.1](#).

Der Angabe der Nennanschlussspannung ist die zugehörige Frequenz hinzuzufügen (Nennfrequenz), sofern diese Angabe erforderlich ist.

4.1.4.2 Nennanschlusstrom

Als Nennanschlusstrom des Stromrichtersatzes ist der wechselstromseitige Anschlußstrom (siehe [Abschnitt 2.3.3](#)) anzugeben, den der Satz bei Nennanschlussspannung und Nenngleichstrom (bzw. Nenn-Ausgangswechselstrom) in betriebswarmem Zustand führt.

Anmerkung: Der Nennanschlusstrom ist für die Bemessung des wechselstromseitigen Anschlusses maßgebend.

Hierfür sind außerdem die jeweiligen Betriebsbedingungen zu berücksichtigen.

4.1.4.3 Nenngleichspannung

Als Nenngleichspannung des Stromrichtersatzes ist die

Gleichspannung (siehe [Abschnitt 2.3.4](#)) anzugeben, die der Satz in der vorgesehenen Schaltung bei Nennanschlußspannung und bei Belastung mit Nengleichstrom in betriebswarmem Zustand beim höchsten vorgesehenen Aussteuerungsgrad abgibt.

4.1.4.4 Nengleichstrom

Als Nengleichstrom des Stromrichtersatzes ist der Gleichstrom (siehe [Abschnitt 2.3.5](#)) anzugeben, für den der Satz in der vorgesehenen Schaltung und unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen bestimmt ist.

4.1.4.5 Nenn-Ausgangswechselspannung

Bei Stromrichtersätzen mit ausgangsseitiger Wechselspannung ist anstelle der Nengleichspannung diejenige Ausgangswechselspannung (siehe [Abschnitt 2.3.6](#)), die der Satz in der vorgesehenen Schaltung bei Nennanschlußspannung und bei Belastung mit Nenn-Ausgangswechselstrom in betriebswarmem Zustand beim höchsten vorgesehenen Aussteuerungsgrad abgibt, als Nenn-Ausgangswechselspannung anzugeben.

4.1.4.6 Nenn-Ausgangswechselstrom

Bei Stromrichtersätzen mit ausgangsseitigem Wechselstrom ist anstelle des Nengleichstromes derjenige Ausgangswechselstrom (siehe [Abschnitt 2.3.7](#)), für den der Satz in der vorgesehenen Schaltung und unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen bestimmt ist, als Nenn-Ausgangswechselstrom anzugeben.

4.1.5 Kennzeichnung

4.1.5.1 Anschlüsse

Die Anschlüsse von Stromrichtersätzen sind nach DIN V 42 403 zu kennzeichnen.

4.1.5.2 Kennzeichnung von serienmäßigen Stromrichtersätzen und Stromrichtersätzen zum Einbau

Serienmäßige Stromrichtersätze, deren Verwendungszweck bei der Herstellung noch nicht festliegt, und Stromrichtersätze zum Einbau müssen neben der eindeutigen Firmenbezeichnung des Herstellers oder Liefers und gegebenenfalls einer zusätzlichen firmengebundenen Kennzeichnung, von diesen Angaben getrennt, ein Leistungskennzeichen tragen.

Das Leistungskennzeichen muß DIN 41762 Teil 2 entsprechen.

Die Angaben im Leistungskennzeichen beziehen sich grundsätzlich auf Gleichrichterbetrieb bei Vollaussteuerung. Dies gilt auch, wenn der Stromrichtersatz im Wechselrichterbetrieb verwendet wird.

Sofern ein Stromrichtersatz zum Einbau ein Leistungsschild erhält, ist der Zusatz „Einbau-“ vor der Art des Stromrichtersatzes anzugeben.

Für Silicium-Kleingleichrichter gilt DIN 41744.

4.1.5.3 Kennzeichnung von Stromrichtersätzen für vorbestimmte Anwendungsfälle

Diese Stromrichtersätze, ausgenommen Stromrichtersätze zum Einbau, müssen ein Leistungsschild erhalten, das mit dem Satz fest verbunden ist. Das Leistungsschild muß auch im Betrieb erkennbar sein. Dies gilt auch, wenn der Satz serienmäßig und bereits mit einem Leistungskennzeichen versehen ist.

Für die Maße des Leistungsschildes gelten die Normen der Reihe DIN 30641.

4.1.5.3.1 Das Leistungsschild muß folgende Angaben enthalten, die den Nennwerten des Stromrichters entsprechen:

- a) Eindeutige Firmenbezeichnung des Herstellers oder Lieferers,
 - b) Bezeichnung der Art des Stromrichtersatzes, Beispiel: Thyristorsatz,
 - c) Fertigungsnummer,
 - d) Kennzeichen der Stromrichterschaltung nach DIN 41761 einschließlich Kennzeichnung der Steuerbarkeit,
 - e) Nennanschlußspannung mit Angabe der Stromart⁶⁾
 - Gleichstrom Kurzzeichen DC,
 - Einphasen-Wechselstrom Kurzzeichen AC,
 - Drehstrom Kurzzeichen 3AC,
 - f) Nennfrequenz der Anschlußspannung,
 - g) Nennanschlußstrom,
 - h) Nengleichspannung bzw. Nenn-Ausgangswechselspannung mit Angabe der zugehörigen Frequenz,
 - i) Nengleichstrom bzw. Nenn-Ausgangswechselstrom,
 - j) Betriebsart mit Kurzzeichen nach [Abschnitt 2.8.5](#) (Angabe kann bei Dauerbetrieb entfallen),
 - k) Lastart mit Kurzzeichen nach [Abschnitt 2.8.4](#); diese Angabe kann bei Widerstandslast bzw. bei Wirklast entfallen,
 - l) Kühlart mit Kurzzeichen nach DIN 41751,
 - m) höchste zulässige Kühlmitteltemperatur; diese Angabe ist nur bei Abweichung von [Abschnitt 4.1.1.1](#) erforderlich.
- Auf dem Leistungsschild dürfen weitere Angaben hinzugefügt werden, insbesondere:
- n) Typbezeichnung,
 - o) IP-Schutzart mit Kurzbezeichnung nach [Abschnitt 5.4.1](#),
 - p) Baujahr,
 - q) Gesamtgewicht, gegebenenfalls Gewicht des Wärmeträgers,
 - r) Mindest-Kühlmittelstrom,
 - s) VDE 0558 Teil 1, wenn der Stromrichtersatz dieser Norm entspricht.

4.1.5.3.2 Bei Teil-Stromrichtersätzen muß jede Baueinheit ein eigenes Leistungsschild tragen.

Dabei ist

- dem Schaltungskennzeichen das Verhältnis voranzusetzen, das die Anzahl der in der Einheit enthaltenen Zweige zur Gesamtanzahl der Zweige des Satzes angibt,
- den Spannungsangaben das Verhältnis voranzusetzen, das den auf die Einheit entfallenden Spannungsanteil zur Gesamtspannung angibt,
- der Stromangabe das Verhältnis voranzusetzen, das den auf die Einheit entfallenden Stromanteil zum Gesamtstrom angibt.

Beispiel:

Gleichrichtersatz in Schaltung B 6 U für 500 V Nengleichspannung und 10 000 A Nengleichstrom, bestehend aus zwei Baueinheiten, jede für sich mit drei in Stern geschalteten Gleichrichterzweigen.

⁶⁾ Anstelle der Kurzzeichen DC, AC, 3AC können, wenn keine Verwechslung möglich ist, auch noch die Kurzzeichen G, E, D verwendet werden.

Bezeichnung der ersten Baueinheit:

Schaltung $\frac{1}{2}$ B 6 UA
Nenngleichspannung $\frac{1}{2} \cdot 500$ V
Nenngleichstrom 10 000 A

Bezeichnung der zweiten Baueinheit:

Schaltung $\frac{1}{2}$ B 6 UK
Nenngleichspannung $\frac{1}{2} \cdot 500$ V
Nenngleichstrom 10 000 A

4.1.6 Kriech- und Luftstrecken, Abstände

Für die Bemessung der Kriech- und Luftstrecken sowie der Abstände zwischen betriebsmäßig unter Spannung stehenden Teilen sowie zwischen diesen und nicht zu Stromkreisen gehörenden leitfähigen Teilen gilt DIN VDE 0160/01.86, Abschnitt 5.7, in Verbindung mit DIN VDE 0110.

Bei Stromrichtersätzen für vorbestimmte Anwendungsfälle sind gegebenenfalls die besonderen Anforderungen des [Abschnittes 5.6](#) zu berücksichtigen.

4.1.7 Schutz gegen gefährliche Körperströme und sich bewegende Teile

Die Anforderungen des [Abschnittes 5.4.3](#) gelten sinngemäß auch für Stromrichtersätze.

4.2 Prüfung von Stromrichtersätzen

4.2.1 Arten der Prüfung

Zweck der Prüfung ist der Nachweis, daß die Stromrichtersätze hinsichtlich ihrer elektrischen und mechanischen Eigenschaften, insbesondere Belastbarkeit und Isolierung, den gestellten Anforderungen entsprechen.

4.2.1.1 Die Typprüfung gilt dem Nachweis, daß der Typ des Stromrichtersatzes den Anforderungen dieser Norm nach den [Abschnitten 4.1.1](#) bis 4.1.6 entspricht. Sie braucht an nur einem Satz durchgeführt zu werden. Der zu prüfende Satz muß in jeder Beziehung repräsentativ für diesen Typ sein (siehe auch [DIN VDE 0160/01.86, Abschnitt 7.1](#)).

4.2.1.2 Die Stückprüfung dient dem Nachweis einer gleichbleibenden Qualität der Fertigung. Sie ist an allen Stromrichtersätzen durchzuführen.

Bei Stromrichtersätzen zum Einbau kann die Stückprüfung zusammen mit der Prüfung des Stromrichtergerätes erfolgen.

4.2.2 Spannungsquellen für Prüfungen

Spannungsquellen, die bei den Prüfungen unmittelbar mit den Hauptstromkreisen verbunden werden, müssen während der Prüfung die in den Abschnitten 4.2.2.1 bis 4.2.2.3 aufgeführten Bedingungen erfüllen.

4.2.2.1 Wechselspannungen dürfen im Effektivwert um nicht mehr als ± 5 % von ihrem Nennwert abweichen. Sie müssen bei der Aufnahme von Kennlinien bzw. Kennwerten (siehe [Abschnitt 5.7.8](#)) praktisch sinusförmig und bei mehrphasigen Netzen praktisch symmetrisch sein (siehe [Abschnitt 2.7.5](#)).

4.2.2.2 Gleichspannungen dürfen im Mittelwert um nicht mehr als ± 5 % von ihrem Nennwert abweichen. Werden Gleichrichter als Gleichspannungsquelle verwendet, so darf der Wechselspannungsgehalt 5 %, die relative Schwingungsweite der überlagerten Wechselspannung 15 % nicht überschreiten.

Werden Akkumulatoren als Gleichspannungsquelle verwendet, so darf die relative Schwingungsweite einer

überlagerten Wechselspannung 5 % nicht überschreiten.

4.2.2.3 Beim Ein- und Ausschalten der Spannungsquellen dürfen keine über die Grenzwerte der Ventilbauelemente hinausgehenden Überspannungen auftreten.

4.2.3 Erforderliche Prüfungen

Die bei der Typprüfung und der Stückprüfung jeweils erforderlichen Prüfungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3. Prüfung von Stromrichtersätzen

Art der Prüfung	Typprüfung	Stückprüfung nach Abschnitt
Bemessungs- bzw. Nennwerte	4.2.3.1	— — —
Isolationsprüfung	4.2.3.2 (5.7.9)	4.2.3.2 (5.7.9)
Funktionsprüfung	4.2.3.4	4.2.3.4
Ermittlung der Verluste	4.2.3.5	— — —
Beanspruchung mit ungewöhnlichen Betriebsbedingungen	4.2.3.3	— — —

4.2.3.1 Prüfung mit den Bemessungs- bzw. Nennwerten

Bei den Stromrichtersätzen sind im allgemeinen besondere Prüfungen mit den Bemessungs- bzw. Nennwerten nicht erforderlich. Zur Feststellung des Bemessungs-Gleichstromes oder Nenngleichstromes – bzw. des Bemessungs-Ausgangswechselstromes oder Nenn-Ausgangswechselstromes – für Dauerbetrieb genügt es, bei den Betriebsbedingungen nach [Abschnitt 4.1.1](#) vom für den verwendeten Kühlkörper zulässigen Dauergrenzstrom der Ventilbauelemente auszugehen; dabei sind die Umrechnungsfaktoren für die Stromrichterschaltung und erforderlichenfalls für die Frequenz zu berücksichtigen. Zur Feststellung des Nenngleichstromes bzw. des Nenn-Ausgangswechselstromes für andere Betriebsarten genügt eine rechnerische Kontrolle, daß unter den ungünstigsten vorgesehenen Bedingungen die höchstzulässige Ersatzsperrschichttemperatur in keinem Augenblick überschritten wird. Für Parallelschaltung von Ventilbauelementen sowie für abweichende Betriebsbedingungen können weitere Umrechnungsfaktoren verwendet werden, sofern sie durch Messungen ermittelt wurden.

Sinngemäß ist zu verfahren, wenn der Bemessungs-Gleichstrom oder Nenngleichstrom bzw. der Bemessungs-Ausgangswechselstrom oder Nenn-Ausgangswechselstrom des Satzes durch die Belastbarkeit eingebauter Sicherungen oder durch die Erwärmung anderer Bauelemente, z. B. Beschaltungskondensatoren und -widerstände, begrenzt wird. Dabei ist, falls erforderlich, die zulässige Abweichung der Anschlußspannung (siehe [Abschnitt 4.1.1.4](#)) zu berücksichtigen.

Prüfungen mit den Bemessungs- bzw. Nennwerten sind daher nur dann erforderlich, wenn die geforderte Belastbarkeit nicht auf die oben angegebene Weise nachgewiesen werden kann. In diesen Fällen ist der Satz mit dem Bemessungs-Gleichstrom bzw. Bemessungs-Ausgangswechselstrom unter den Betriebsbedingungen

nach [Abschnitt 4.1.1](#) oder mit Nenngleichstrom bzw. Nenn-Ausgangswechselstrom unter der vorgesehenen Betriebsart zu belasten. Die Prüfung muß den Nachweis erbringen, daß die für Ventilbauelemente und weitere Bauelemente, z. B. Kondensatoren, zulässigen Temperaturen nicht überschritten werden. Wird die Prüfung nicht unter den ungünstigsten Verhältnissen der vorgesehenen Betriebsbedingungen durchgeführt, so sind die gemessenen Temperaturen entsprechend umzurechnen.

Enthält der Satz Widerstände, z. B. Beschaltungswiderstände, die eine zusätzliche Erwärmung anderer Bauelemente hervorrufen können, so ist diese Prüfung bei der höchstzulässigen Anschlußspannung durchzuführen. Hilfsweise können diese Widerstände an eine getrennte Spannungsquelle angeschlossen werden, die in ihnen die gleichen Verluste hervorruft.

4.2.3.2 Isolationsprüfung

Die Isolationsprüfung von Stromrichtersätzen erfolgt nach [Abschnitt 5.7.9](#); dabei ist anstelle von „Stromrichtergerät“ jeweils „Stromrichtersatz“ zu lesen.

4.2.3.3 Prüfung bei Beanspruchung mit ungewöhnlichen Betriebsbedingungen

Soll der Stromrichtersatz ungewöhnlichen Betriebsbedingungen (siehe [Abschnitt 4.1.2](#)) ausgesetzt werden, so ist eine entsprechende Prüfung zwischen Hersteller und Anwender rechtzeitig zu vereinbaren. Bei unzumutbarem Aufwand genügt eine Prüfung lediglich an kritischen Bauteilen.

4.2.3.4 Funktionsprüfung

Die Funktion des Hauptstromkreises und der Hilfseinrichtungen ist zu prüfen. Dabei ist der Hauptstromkreis bei der Typprüfung an eine Wechselspannung in Höhe von 110 % und bei der Stückprüfung an eine Wechselspannung in Höhe von 100 % der Bemessungs-Anschlußspannung bzw. der Nennanschlußspannung anzuschließen.

Gleichstromseitig bzw. ausgangsseitig ist eine geringe Grundlast erforderlich, die die normale Stromrichterfunktion als solche sicherstellen soll.

Die Gleichspannung bzw. Ausgangswechselspannung ist zu überprüfen. Dabei sind steuerbare Stromrichtersätze innerhalb ihres vorgesehenen Steuerbereiches auszusteuern, Stromrichtersätze zum Gleich- und Wechselrichten jedoch nur in Gleichrichterbetrieb.

4.2.3.5 Ermittlung der Verluste

Die Verluste eines Stromrichtersatzes sind entweder durch direkte Messung oder durch auf Messungen beruhende Rechnung zu bestimmen. Soll die Ermittlung der Verluste durch direkte Messungen erfolgen, so ist dies zwischen Hersteller und Anwender rechtzeitig zu vereinbaren. Bei Stromrichtersätzen zum Gleich- und/oder Wechselrichten sind die Verluste im Gleichrichterbetrieb zu bestimmen.

Bei Stromrichtersätzen mit einer Nennleistung oder einer Bemessungsleistung bis 300 kW und einem Nenn- oder Bemessungs-Gleichstrom bis 5000 A können die Verluste durch Messen der Eingangs- und Ausgangsleistung bei Nennlast ermittelt werden, wenn dieses Verfahren durchführbar ist.

Bei Stromrichtersätzen für Einphasenanschluß können die Verluste nach Wahl des Herstellers entweder durch Messen der Eingangs- und Ausgangsleistung bei Nenn-

last oder durch Errechnen aus Einzelverlustmessungen ermittelt werden.

Bei allen anderen Stromrichtersätzen sind die Verluste aus den Einzelverlusten der Ventilbauelemente und gegebenenfalls der übrigen Ausrüstungsteile (z. B. Spannungsteiler, Kühleinrichtungen) zu ermitteln. Hierfür gilt:

Die Messung der Durchlaßverluste kann nach einer der Kurzschlußmessungen nach den Abschnitten 4.2.3.5.1 bis 4.2.3.5.3 bei normaler Umgebungstemperatur erfolgen. Die Messungen sollen vorgenommen werden, wenn alle Teile des Stromrichtersatzes ihre Endtemperatur bei Nenn- bzw. Bemessungs-Gleichstrom erreicht haben.

Die Durchlaßverluste ergeben sich aus der Ersatzgeraden der Durchlaßkennlinie für betriebswarmen Zustand und dem Durchlaßstrom, wobei bei mehrphasigen Stromrichterschaltungen eine rechteckige Kurvenform des Stromes in den Zweigen der Stromrichterschaltung angenommen wird.

Schaltverluste und Steuerverluste in den Ventilbauelementen sind, besonders bei einer erhöhten Anzahl von Zünd- und Löschzeitpunkten je Zeiteinheit, mit einzubeziehen.

Die Sperrverluste von Ventilbauelementen sind normalerweise vernachlässigbar.

Die Ermittlung der Leerlaufverluste nach [Abschnitt 4.2.3.5.4](#) erfolgt nur, wenn diese nicht gegenüber den Durchlaßverlusten vernachlässigbar sind.

4.2.3.5.1 Kurzschlußmessung bei Mehrphasen-Zweigschaltungen

Die prinzipielle Meßschaltung zeigt Bild 9.

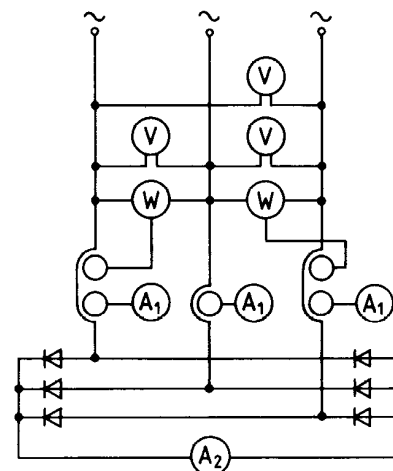


Bild 9. Meßschaltung zur Ermittlung der Durchlaßverluste bei Mehrphasen-Zweigschaltungen

Die Gleichstromausgänge des Stromrichtersatzes werden kurzgeschlossen. Die Induktivität im Eingangskreis wird so groß gewählt, daß bei Nennfrequenz der Eingangsstrom praktisch sinusförmig ist. Folgende Meßgeräte werden verwendet:

- Strommeßgeräte A_1 , Effektivwert anzeigend,
- Strommeßgerät A_2 , Mittelwert anzeigend,
- Spannungsmeßgeräte V , Effektivwert anzeigend,
- Leistungsmeßgeräte W , geeignet für niedrige Spannungen.

Es werden in unmittelbarer Folge zwei Leistungsmessungen durchgeführt, die erste Messung beim 1,1fachen

des Nenngleichstromes bzw. Bemessungs-Gleichstromes (Eingangsleistung P_2), die zweite beim Nenngleichstrom bzw. Bemessungs-Gleichstrom (Eingangsleistung P_1). Die im Nennbetrieb auftretende Verlustleistung ergibt sich dann nach

$$P = 1,91 \cdot P_2 - 1,1 \cdot P_1.$$

Wenn der Eingangsstrom bei dieser Kurzschlußmessung nicht sinusförmig ist, so wird die erste Messung beim k -fachen Nenngleichstrom bzw. Bemessungs-Gleichstrom durchgeführt, wobei für k unter Vernachlässigung der Überlappung im Nennbetrieb gilt:

$$k = \frac{\text{Formfaktor des Zweigstroms im Nennbetrieb}}{\text{Formfaktor des Zweigstroms bei der Prüfung}}$$

Die Verlustleistung im Nennbetrieb ergibt sich dann nach

$$P = \frac{k+1}{k} \cdot P_2 - k \cdot P_1.$$

Die Verluste in der Kurzschlußverbindung und in den Strommeßpfaden sind von P_1 und P_2 abzuziehen.

Können die verlangten Stromwerte nicht genau eingestellt werden, so ist geringfügig über und unter dem verlangten Stromwert zu messen und die Leistung aus den gemessenen Leistungen zu interpolieren.

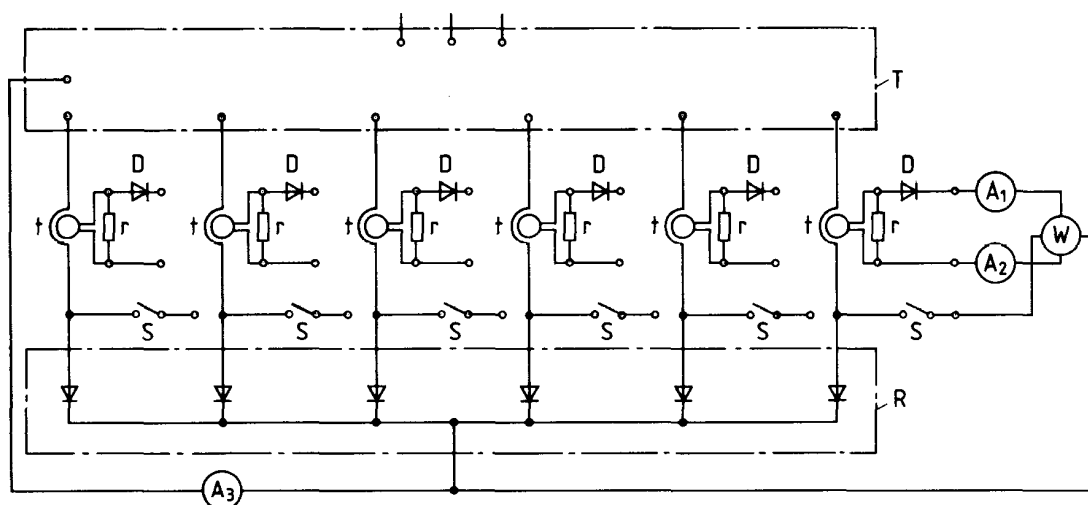
4.2.3.5.2 Kurzschlußmessung bei Mehrphasen-Einwegschaltungen

Diese Messung wird nach Verfahren a bzw. Verfahren b oder c durchgeführt.

Verfahren a

Die prinzipielle Meßschaltung zeigt Bild 10.

Zur Überprüfung der Strommessung im Zweig des Stromrichtersatzes ist das Verhältnis der Ströme $I_{p \text{ mittel}}$ und I_{dN} anhand der Meßwerte von A_2 und A_3 festzustellen.



Es bedeuten:

R Stromrichtersatz mit n Zweigen

S Synchroschalter

T Prüftransformator

t Stromwandler mit dem Übersetzungsverhältnis a . Liegt bei offener Primärwicklung an der Sekundärwicklung eine sinusförmige Spannung von $10 \cdot U_F$ (U_F = Vorwärtsspannung der Gleichrichterdiode D), so darf der Magnetisierungsstrom i_M den Wert $0,02 I_p/a$ nicht überschreiten, worin I_p der Mittelwert des Primärstromes bei der Verlustmessung ist.

r Ohmscher Widerstand mit einem Wert annähernd U_F/i_M

D Gleichrichterdiode, so eingesetzt, daß sich die Gleichstromanteile in der Primär- und Sekundärwicklung des Stromwandlers aufheben. Der Sperrstrom der Gleichrichterdiode soll bei einer Sperrspannung $15 \cdot U_F$ vernachlässigbar klein sein.

W Leistungsmeßgerät für niedrige Spannung. Der Widerstand der Stromspule soll kleiner als $r/1000$ sein.

A_1 Strommeßgerät, Effektivwert anzeigend

A_2 Strommeßgerät, Mittelwert anzeigend

A_3 Strommeßgerät, Mittelwert anzeigend.

Es ist

$I_{p \text{ eff}}$ Effektivwert des Zweigstromes (A_1)

$I_{p \text{ mittel}}$ Mittelwert des Zweigstromes (A_2)

I_{dN} Nenngleichstrom bzw. Bemessungsgleichstrom (A_3)

P Verlustleistung im Nennbetrieb (W)

f Formfaktor des Zweigstromes I_p bei der Kurzschlußmessung

$$f = \frac{I_{p \text{ eff}}}{I_{p \text{ mittel}}}$$

Bild 10. Meßschaltung zur Ermittlung der Durchlaßverluste bei Mehrphasen- Einwegschaltungen