

Stromrichter auf Bahnfahrzeugen

Einphasen-Stromrichter mit Thyristoren
auf elektrischen Triebfahrzeugen
IEC 411-1 Ausgabe 1975 modifiziert

DIN**VDE 0559**

Teil 1

Diese auch von 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.

Power convertors for rolling stock;
single-phase power convertors using thyristors for electric motor
vehicles;
IEC 411-1 edition 1975 modified

Convertisseurs de puissance pour le matériel roulant;
convertisseurs monophasés de puissance à thyristors pour véhicules
moteurs électriques;
CEI 411-1 édition 1975 modifiée

Die internationale Norm IEC 411-1, 1. Ausgabe, 1975, „Power convertors for electric traction; Part 1: Single-phase power convertors using thyristors“, ist mit nationalen Modifizierungen in diese Deutsche Norm übernommen worden; siehe Erläuterungen.

Die nationalen Modifizierungen sind durch Rasterung bei Ergänzungen oder durch lesbar bleibende Streichungen gekennzeichnet.

Beginn der Gültigkeit

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

Entwurf war veröffentlicht als DIN 57559 Teil 10/VDE 0559 Teil 10/09.81.

Fortsetzung Seite 2 bis 21

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Deutsche Übersetzung mit Modifizierungen

Stromrichter auf Bahnfahrzeugen

Teil 1: Einphasen-Stromrichter mit Thyristoren
auf elektrischen Triebfahrzeugen

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	3	Kapitel IV: Stromrichteranlagen und -sätze	
Einleitung	3	Hauptabschnitt sechs – Besondere Festlegungen	
Kapitel I: Allgemeines		24 Versorgungsspannungen	9
Hauptabschnitt eins – Anwendungsbereich und Betriebsbedingungen	3	25 Schaltungen	10
1 Anwendungsbereich	3	26 Berechnungsfaktoren	10
2 Verweisung auf andere Normen	3	27 Verluste und Wirkungsgrad	12
3 Betriebsbedingungen	4	28 Leistungsfaktor und Verschiebungsfaktor ..	12
Hauptabschnitt zwei – Begriffe		29 Oberschwingungen	13
4 Allgemeine Begriffe	4	30 Bemessungswerte von Stromrichteranlagen und -sätzen	13
5 Bemessungsdaten	5	31 Belastungsarten	13
6 Wirkungsgrad, Stromrichtgrad	6	32 Leistungsschild	13
7 Kenngrößen auf der Wechselstromseite ...	6	Hauptabschnitt sieben – Prüfungen an Stromrichtersätzen	
8 Gleichspannungsgrößen	6	33 Allgemeines	13
9 Kühlung	7	34 Kühlungsprüfung (Typprüfung)	13
10 Eigenschaften des Wechselstromnetzes ...	7	35 Rüttel- und Stoßprüfung (Typprüfung)	13
Hauptabschnitt drei – Prüfungen	8	36 Schwachlastprüfung (Stückprüfung)	13
11 Arten von Prüfungen	8	37 Stromprüfung bei niedriger Versorgungs- spannung (Typprüfung – wahlweise zu vereinbarende Stückprüfung)	14
Kapitel II: Thyristoren, Dioden und Halbleiter- Baugruppen		38 Erwärmungsprüfung (Typprüfung)	15
12 Thyristoren und Halbleiter-Baugruppen	8	39 Ermittlung der Verluste (Typprüfung)	15
13 Dioden und Halbleiter-Baugruppen	8	40 Prüfung der Eigenschaften des Steuersatzes (Stückprüfung)	15
Kapitel III: Triebfahrzeug-Stromrichter- transformatoren und -drosselpulen		41 Prüfung der Eigenschaften der Regel- einrichtung (Stückprüfung)	16
14 Allgemeines	8	42 Prüfung der Thyristorkennwerte	16
Hauptabschnitt vier – Prüfungen an Transformatoren		43 Isolationsprüfungen (Stückprüfungen)	16
15 Allgemeines	8	44 Prüfung der Zubehörteile von Stromrichtersätzen	16
16 Messung der Kurzschlußspannungen und der Kurzschlußverluste (Typprüfung)	8	Hauptabschnitt acht – Prüfungen an Stromrichtern	
17 Ermittlung der Gesamtverluste (Typprüfung) ..	9	45 Allgemeines	16
18 Erwärmungsmessungen (Typprüfungen) ...	9	46 Typprüfungen	16
19 Isolationsprüfungen (Stückprüfungen)	9	47 Zusätzliche Typprüfungen (nach Vereinbarung)	16
Hauptabschnitt fünf – Prüfungen an Drosselpulen		48 Stückprüfungen	17
20 Allgemeines	9	Kapitel V: Grenzabweichungen	
21 Messung der Induktivität (Typprüfung)	9	49 Grenzabweichungen	17
22 Erwärmungsmessungen (Typprüfungen) ...	9	Anhang –Thyristoren und Thyristor-Baugruppen	
23 Isolationsprüfungen (Stückprüfungen)	9		

Vorwort

1. Die offiziellen Beschlüsse oder Vereinbarungen der IEC über technische Fragen, die in Technischen Komitees von Vertretern aller an dem behandelten Thema besonders interessierten nationalen Komitees erarbeitet werden, bringen das höchstmögliche Maß internationaler Übereinstimmung für das behandelte Sachgebiet zum Ausdruck.
2. Sie stellen Empfehlungen zur internationalen Anwendung dar und sind als solche von den nationalen Komitees angenommen.
3. Um die internationale Vereinheitlichung zu fördern, wünscht die IEC, daß alle nationalen Komitees den Text der IEC-Empfehlungen so weit in ihre nationalen Regeln übernehmen, wie es die Gegebenheiten im jeweiligen Land gestatten. Jede Abweichung zwischen der IEC-Empfehlung und der entsprechenden nationalen Regel sollte in dieser, soweit möglich, deutlich gekennzeichnet werden.

Einleitung

Diese Norm wurde vom Unterkomitee 22D „Stromrichter auf Bahnfahrzeugen“ des Technischen Komitees Nr 22 „Leistungselektronik“ der IEC erarbeitet.

Der Entwurf, Schriftstück 22D(Central Office)9, wurde anlässlich der Sitzung im Oktober 1971 in Stockholm beraten und daraufhin im August 1973 den nationalen Komitees zur Abstimmung unter der Sechsmonatsregel vorgelegt.

Die nachstehend genannten Länder stimmten ausdrücklich für die Veröffentlichung:

Belgien	Japan	Rumänien	Türkei
Deutschland	Niederlande	Schweden	Ungarn
Frankreich	Polen	Schweiz	Vereinigte Staaten
Israel	Portugal	Südafrika	Vereinigtes
Italien			Königreich

Um die Veröffentlichung weiterer IEC-Publikationen zum gesamten Fragenkreis unter der allgemeinen Bezeichnung „Stromrichter auf Bahnfahrzeugen“ zu ermöglichen, ist vorgesehen, in Zukunft die Publikation IEC 411 (1973) und die Publikation IEC 411-1 (1975) in einer Veröffentlichung zu vereinen, die dann als zweite Ausgabe der Publikation IEC 411-1 herausgegeben werden soll. Die Publikation IEC 411 soll dann zurückgezogen werden.

Kapitel I: Allgemeines

Hauptabschnitt eins – Anwendungsbereich und Betriebsbedingungen

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt unter den nachstehend genannten Bedingungen für Stromrichter für den Betrieb auf elektrischen Triebfahrzeugen, die mit Einphasen-Wechselstrom einer Nennfrequenz zwischen 15 und 60 Hz versorgt werden.

1.1 Die Norm gilt nur für Stromrichter, bei denen rückwärtssperrende Thyristordioden oder eine Kombination von rückwärtssperrenden Thyristordioden und Halbleiter-Gleichrichterioden verwendet werden, sie darf jedoch auch, soweit anwendbar, für Stromrichter mit Zweirichtungs-Thyristoren (**Triacs**) verwendet werden. Der Begriff „Thyristor“ wird als Abkürzung für „rückwärtssperrende Thyristordiode“ verwendet.

Sie gilt ausschließlich für netzgeführte Einphasen-Stromrichter.

Sie wurde für Stromrichter zur Versorgung der Hauptstromkreise elektrischer Triebfahrzeuge ausgearbeitet. Im Grundsatz gilt sie auch für Stromrichter zur Versorgung der Hilfsbetriebe dieser Fahrzeuge.

Sie kann auch für Stromrichter auf Zweifrequenzfahrzeugen sowie für Wechselstromschalter **und Wechselstromsteller** angewendet werden, wenn diese Teil eines Stromrichters sind; Einzelheiten über solche Anwendungen sind zwischen Anwender und Hersteller zu vereinbaren.

1.2 Abweichungen von dieser Norm dürfen vor Unterzeichnung eines Vertrages vereinbart werden.

2 Verweisung auf andere Normen

Sofern nicht durch Abschnitte der vorliegenden Norm geändert, sind für die Stromrichter, die Gegenstand dieser Norm sind, Abschnitte der nachstehend genannten IEC-Publikationen *Normen* anwendbar.

Publikation 84:	~~Recommendations for mercury-arc converters.~~
DIN VDE 0555	Bestimmungen für Quecksilberdampfstromrichter (Hg-Stromrichter)
Publikation 84 A:	~~First supplement to Publication 84 (1957): Mercury-arc inverters.~~
Publikation 84 B:	~~Second supplement to Publication 84 (1957): Mercury-arc converters for reversible power.~~
Publication 146:	~~Semiconductor converters (second edition).~~
DIN VDE 0558 Teil 1	Halbleiter-Stromrichter; Allgemeine Bestimmungen und besondere Bestimmungen für netzgeführte Stromrichter
Publikation 411:	~~Single-phase traction power converters.~~
Publikation 310:	~~Rules for traction transformers and reactors.~~
DIN VDE 0535 Teil 2	Elektrische Maschinen, Transformatoren und Drosseln auf Schienen- und Straßenfahrzeugen, Transformatoren und Drosselspulen
Publikation 77:	~~Rules for electric traction equipment (second edition).~~

Publikation 165:	Rules for the testing of electric rolling stock on completion of construction and before entry into service (second edition).
Publikation 349:	~~Rules for rotating electrical machines for rail and road vehicles.~~
DIN VDE 0535 Teil 1	Elektrische Maschinen, Transformatoren und Drosselspulen auf Schienen- und Straßenfahrzeugen; Elektrische Maschinen

3 Betriebsbedingungen

3.1 Höhe

Bei Fehlen von Angaben über die Höhe über dem Meeresspiegel, bei welcher die Ausrüstung üblicherweise betrieben werden soll, wird vorausgesetzt, daß diese Höhe 1200 m nicht überschreitet.

3.2 Temperatur

Bei Fehlen von Angaben über die Umgebungstemperaturen, bei denen die Ausrüstung normalerweise betrieben werden soll, wird vorausgesetzt, daß diese zwischen -25°C und $+40^{\circ}\text{C}$ liegen, mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von nicht mehr als $+25^{\circ}\text{C}$.

Es gelten die Festlegungen nach DIN VDE 0115 Teil 1/06.86, Abschnitt 3.4.

3.3 Stoß- und Rüttelbeanspruchungen

Bei Fehlen von Angaben über Stoß- und Rüttelbeanspruchungen, denen der Stromrichter einschließlich seiner Halterungen im Betrieb ausgesetzt ist, wird vorausgesetzt:

- daß die Rüttelbeanspruchung die Form einer Sinusschwingung hat, deren Frequenz f zwischen 1 und 50 Hz 100 Hz liegt und deren Amplitude a ; ausgedrückt in mm, durch folgende Gleichungen als Funktion von f gegeben ist,

$$a = \frac{25}{f} \quad \text{für } 1 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ Hz}$$

$$a = \frac{250}{f^2} \quad \text{für } 10 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz}$$

- daß die Stoßbeanspruchung folgende maximale Beschleunigungen hat:

horizontal (in Richtung der Bewegung des Fahrzeuges)	30 m/s ² (3 g)
in Querrichtung	20 m/s ² (2 g) 30 m/s ² (3 g)
in vertikaler Richtung	10 m/s ² (1 g) 30 m/s ² (3 g)

(g entspricht der Fallbeschleunigung).

3.4 Lastarten

Da die Lastart das Betriebsverhalten eines Stromrichters oder eines Stromrichterbauteils beeinflussen kann, muß sie immer angegeben werden (z. B. induktive Last, Last mit Gegenspannung usw.).

3.5 Besondere Bedingungen

Besondere Vereinbarungen müssen zwischen Anwender und Hersteller getroffen werden, wenn die Bedingungen von den in den Abschnitten 3.1 bis 3.3 genannten abweichen, z. B.:

- Höhe über 1200 m
- Umgebungstemperatur über -40°C
- tiefste Temperatur unter -25°C

- hohe Durchschnittstemperatur bei hoher Luftfeuchte
 - Wolkenbrüche, Sand- oder Schneestürme usw.
- Durch zusätzliche Typprüfungen, die zwischen Anwender und Hersteller besonders zu vereinbaren sind, kann festgestellt werden, daß die Anlage den vorstehenden besonderen Bedingungen genügt. Diese Typprüfungen können am fertigen Fahrzeug ausgeführt werden.

Hauptabschnitt zwei – Begriffe

Anmerkung: Soweit in diesem Hauptabschnitt nicht anders festgelegt, gelten die allgemeinen Begriffe der in Abschnitt 2 genannten IEC-Publikationen Normen für die Stromrichter, die im Anwendungsbereich dieser Norm liegen.

4 Allgemeine Begriffe

4.1 Bezeichnungen der Transformatorentwicklungen

4.1.1 Netzseitige Wicklung

Die Wicklung, die direkt an den Stromabnehmer angeschlossen ist. Der Transformator kann einen oder mehrere magnetische Kreise sowie eine oder mehrere Zwischenwicklungen enthalten.

4.1.2 Stromrichterseitige Wicklungen

Die Wicklungen, die an die Anschlüsse des Stromrichtersatzes angeschlossen sind.

4.2 Halbe relative Schwingungsweite

Die halbe relative Schwingungsweite, ausgedrückt in Prozent, ist durch folgende Gleichung gekennzeichnet:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot 100$$

$I_{\max}$ bzw. $I_{\min}$ stellen die Maximal- und Minimalwerte der Stromkurve dar.

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{\bar{I}} \times 100$$

Hierin bedeuten

$I_{\max}$	Maximalwert des pulsierenden Gleichstromes
$I_{\min}$	Minimalwert des pulsierenden Gleichstromes
$\bar{I}$	arithmetischer Mittelwert des pulsierenden Gleichstromes über eine volle Periode.

4.3 Steuersatz (auch: Ventilsteuereinrichtung)

Einrichtung zur Umwandlung eines Steuersignals in geeignete Steuerimpulse für Thyristoren eines Stromrichters, die phasenschiebende und impulserzeugende Schaltungen sowie Versorgungsstromkreise enthält.

4.4 Regeleinrichtung

Einrichtung in einem Stromrichter, die eine selbsttätige Einstellung der Ausgangsgrößen des Stromrichters als Funktion einer Regelgröße durchführt (Motordrehzahl, Zugkraft usw.).

4.5 Ideelle Scheitelsperrspannung im Leerlauf U_{i0m}

Scheitelwert der Sperrspannung im Leerlauf, die zwischen den Enden eines Zweiges auftritt, wobei sowohl interne als auch externe Spannungserhöhungen und Spannungsfälle in Dioden oder Thyristoren vernachlässigt werden.

4.6 Ideelle Scheitelsperrspannung U_{im}

Scheitelsperrspannung, die zwischen den Enden eines Zweiges auftritt, wobei sowohl interne als auch externe Spannungserhöhungen und Spannungsfälle in Dioden oder Thyristoren vernachlässigt werden, bei einem Gleichstrom, der geringfügig über der Lückgrenze liegt.

5 Bemessungsdaten

5.1 Bemessungsdaten allgemein

Der Wert oder die Werte der elektrischen, thermischen, mechanischen oder der Umgebungsgrößen, die festgelegt sind, um jene Betriebsbedingungen zu definieren, unter denen ein Thyristor, eine Diode, eine Thyristor- oder Dioden-Baugruppe, ein -Satz oder ein Stromrichter einwandfrei arbeitet.

Anmerkung 1: Im Gegensatz zu vielen anderen elektrischen Bauteilen können Halbleiterbauelemente selbst bei kurzzeitiger Überschreitung der höchst zulässigen Bemessungswerte irreparabel beschädigt sein.

Anmerkung 2: Wenn Abweichungen eines Bemessungswertes nicht offenkundig sind, aber bedeutsam sein können, müssen sie festgelegt sein. Einige der Bemessungswerte sind Grenzwerte. Diese Grenzwerte können entweder Höchst- oder Mindestwerte sein.

5.2 Bemessungsdaten für Triebfahrzeug-Stromrichtertransformatoren

5.2.1 Die Dauerleistungen der verschiedenen Transformatorwicklungen müssen vom Hersteller in Übereinstimmung mit den Anforderungen nach Abschnitt 6 von IEC 310 DIN VDE 0535 Teil 2/04.82 bestimmt werden, wobei das für das Fahrzeug festgelegte Betriebsprogramm, die Last an den Hilfswicklungen und die durch Glättung und den Überlappungswinkel hervorgerufene Verzerrung der Kurvenform nach Vereinbarung zwischen Anwender und Hersteller zu berücksichtigen sind.

5.2.2 Bemessungsfrequenz f_N

Die Nennfrequenz des Versorgungsnetzes unter Berücksichtigung ihrer Schwankungen.

5.2.3 Bemessungsspannung an der Netzseite U_{LN}

Der Effektivwert der Spannung, die unter normalen Betriebsbedingungen für die netzseitige Wicklungsgruppe gilt. Wenn diese Wicklung Anzapfungen hat, muß die Bemessungsspannung auf die Hauptanzapfung bezogen sein.

Sofern zwischen Anwender und Hersteller keine andere Vereinbarung getroffen ist, ist die netzseitige Bemessungsspannung als gleich der Nennspannung des Fahrleitungsnetzes festgelegt.

Als Bemessungsspannung auf der Netzseite gilt die Nennspannung des Fahrleitungsnetzes unter Berücksichtigung ihrer Schwankungen nach DIN VDE 0115 Teil 1/06.82, Abschnitt 3.2.

Anmerkung: IEC 349 DIN VDE 0535 Teil 1 enthält eine Liste der Nennspannungen für Bahnsysteme.

5.2.4 Bemessungsspannung an der Stromrichterseite U_{v0}

Der Effektivwert der Spannung im Leerlauf zwischen den Wechselstromschlüssen zweier aufeinanderfolgender kommutierender Zweige einer Kommutierungsgruppe,

bei Bemessungsspannung auf der Netzseite (siehe Bild 1).

Wenn die stromrichterseitige Wicklung Anzapfungen hat, muß sich die Bemessungsspannung auf die Hauptanzapfung beziehen.



Bild 1. Schaltungen der stromrichterseitigen Wicklungen

Anmerkung: Die Begriffe „Zweiwegschaltung“ und „Einwegschaltung“ beziehen sich auf die Stromflußrichtung in der entsprechenden Transformatorwicklung.

5.2.5

Anmerkung: Die in IEC 310 DIN VDE 0535 Teil 2 angegebene Begriffsbestimmung für „Hauptanzapfung“ ist wie folgt wiedergegeben:

Die Hauptanzapfung ist diejenige Anzapfung, die es gestattet, an den Leiteranschlüssen der Fahrmotoren die Nennspannung zu erhalten, wenn diese den ihrem Dauerbetrieb entsprechenden Strom aufnehmen, wobei die fahrleitungsseitige Wicklung des Transformators mit ihrer Nennspannung bei Nennfrequenz gespeist wird.

Wenn hoch- und niederspannungsseitig Anzapfungen vorhanden sind, ist je eine als Hauptanzapfung festzulegen.

5.2.6 Bemessungs-Dauerstrom an der Stromrichterseite I_{vN}

Der Effektivwert des Stromes an den stromrichterseitigen Anschlüssen des Transformators, errechnet aus dem Bemessungs-Dauergleichstrom des Stromrichters. Die Berechnungsgrundlage ist zwischen Anwender und Hersteller zu vereinbaren.

5.2.7 Bemessungs-Dauerstrom an der Netzseite, I_{LN} , entsprechend dem Bemessungs-Dauerstrom an der Stromrichterseite

Der Effektivwert des Stromes an den netzseitigen Anschlüssen des Transformators, errechnet aus dem Auslegungs-Dauergleichstrom des Stromrichters. Die Berechnungsgrundlage ist zwischen Anwender und Hersteller zu vereinbaren.

5.2.8 Gesamter Bemessungs-Dauernetzstrom I_{LGN}

Der Effektivwert des Stromes an den netzseitigen Anschlüssen des Transformators, errechnet aus dem Bemessungs-Dauergleichstrom des Stromrichters und unter Berücksichtigung der Last an den Hilfswicklungen.

5.2.9 Gesamte Bemessungs-Dauerscheinleistung an der Netzseite

Das Produkt der Bemessungsspannung U_{LN} (siehe Abschnitt 5.2.3) und des gesamten Bemessungs-Dauernetzstromes I_{LGN} (siehe Abschnitt 5.2.8).

5.3 Bemessungsdaten für Stromrichter

5.3.1 Bemessungs-Dauergleichstrom I_{dN}

Der Mittelwert des Gleichstromes, den der Stromrichter dauernd führen kann.

Anmerkung: Den Bemessungs-Dauergleichstrom kann der Stromrichter bei jedem Steuerwinkel dauernd führen.

5.3.2 Bemessungs-Gleichspannung U_{dN}

Der Mittelwert der Spannung zwischen den Gleichstromanschlüssen des Stromrichters, entsprechend dem Bemessungs-Dauergleichstrom I_{dN} bei Auslegungs-Netzspannung U_{LN} an der Transformator-Hauptanzapfung (siehe Abschnitt 5.2.5) und gegebenenfalls bei festgelegtem Steuerwinkel.

5.3.3 Bemessungs-Dauergleichstromleistung

Das Produkt der Bemessungs-Gleichspannung U_{dN} und des Bemessungs-Dauergleichstromes I_{dN} .

5.3.4 Kurzzeit-Bemessungsdaten

Stromrichtern können kurzzeitig auch höhere Gleichstrom-Bemessungswerte zugeordnet werden, um kurzzeitige Überlast, Fehler und gegebenenfalls den Netzbremssstrom zu berücksichtigen. Die vom Gleichstrom abhängigen Größen (z. B. der Strom auf der Netzseite) verändern sich entsprechend; im allgemeinen werden sie jedoch nicht festgelegt oder verbindlich angegeben.

5.3.5 Festgelegtes Lastspiel

Dieses Lastspiel ist durch ein Diagramm gegeben, in dem die zeitlichen Veränderungen des Gleichstromes und der Spannung, gegebenenfalls unter Berücksichtigung des Netzbremsbetriebs dargestellt sind.

Es ist im allgemeinen zyklisch.

6 Wirkungsgrad, Stromrichtgrad

Wirkungsgrad und Stromrichtgrad beschreiben das Verhältnis der Ausgangsleistung zur Eingangsleistung. Ausgangs- und Eingangsleistung können eine Gleichstrom- oder Wechselstromleistung sein, je nachdem, ob der Stromrichter als Gleichrichter oder als Wechselrichter arbeitet.

6.1 Wirkungsgrad

Das Verhältnis des Mittelwertes der Leistung auf der Gleichstromseite zum Mittelwert der Leistung auf der Wechselstromseite oder umgekehrt.

Anmerkung: Der Wirkungsgrad kann entweder durch Messung der Leistungen mit Wattmetern an der Wechselstrom- oder Gleichstromseite bestimmt werden (direktes Meßverfahren) oder durch Berechnung, wobei die Verluste im Stromrichter zu berücksichtigen sind (Verfahren der Einzelverluste).

6.2 Stromrichtgrad

Bei Einphasen-Stromrichtern, die Fahrmotoren über Glättungsdrosselspeulen speisen, wird im allgemeinen die Anwendung des Stromrichtgrades bevorzugt, der als das Verhältnis des Produktes der Mittelwerte der Spannung und des Stromes auf der Gleichstromseite zum Mittelwert der Leistung auf der Wechselstromseite oder umgekehrt definiert ist.

Anmerkung: Der Stromrichtgrad kann durch Messung der Leistung an der Wechselstromseite mit einem Wattmeter und der Leistung der Gleichkomponenten des gleichgerichteten Stromes mit einem Spannungsmesser und Strommesser bestimmt werden.

7 Kenngrößen auf der Wechselstromseite

7.1 Leistungsfaktor λ

$$\lambda = \frac{\text{Wirkleistung}}{\text{Scheinleistung}}$$

7.2 Grundschrwingungs-Leistungsfaktor oder Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{\text{Grundschrwingungswirkleistung}}{\text{Scheinleistung der Grundschrwingung}}$$

7.3 Verzerrungsfaktor ν

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

Strom oder Spannung verlaufen dabei zeitlich sinusförmig.

8 Gleichspannungsgrößen

8.1 Ideelle Leerlauf-Gleichspannung U_{di0}

Die ideelle Leerlauf-Gleichspannung (Mittelwert) eines Stromrichters, bei welcher angenommen wird, daß keine Teilaussteuerung, kein Spannungsfall in den Baugruppen und keine Spannungszunahme bei kleinen Lasten vorliegt, wird aus der Spannung U_{v0} (siehe Abschnitt 5.2.4) durch folgende Gleichungen erhalten:

$$U_{di0} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{v0} = 0,45 U_{v0}$$

bei Einwegschaltungen,

$$U_{di0} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{v0} = 0,9 U_{v0}$$

bei Zweiwegschaltungen.

Wird die Gleichspannung durch die Reihenschaltung mehrerer Einphasen-Stromrichter gebildet, gelten vorstehende Gleichungen für jeden einzelnen Stromrichter. Die sich daraus ergebende, ideelle Leerlauf-Gleichspannung ist dann die Summe der ideellen Leerlauf-Gleichspannungen aller Stromrichter.

8.2 Ideelle Leerlauf-Gleichspannung $U_{di0\alpha}$ bei Teilaussteuerung

Die ideelle Leerlauf-Gleichspannung (Mittelwert) eines Stromrichters bei Teilaussteuerung unter der Voraussetzung, daß kein Spannungsfall in den Baugruppen und keine Spannungserhöhung bei kleiner Last auftreten. Sie ist als Funktion des Steuerwinkels α durch folgende Gleichungen gegeben:

8.2.1 Vollsteuerbare Stromrichter-Schaltungen (siehe Tabelle 2)

Symmetrische Steuerung

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

Unsymmetrische Steuerung

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{2}$$

8.2.2 Halbsteuerbare Stromrichter-Schaltungen

$$U_{di0\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

9 Kühlung

9.1 Begriffe

9.1.1 Luft-Selbstkühlung

Kühlung durch natürliche Übertragung an die Umgebungsluft.

9.1.2 Verstärkte Luftkühlung

Kühlung durch Zwangsbelüftung, z. B. mit einem Lüfter oder durch Fahrtwind. Die Kühlluft kann aus der unmittelbaren Umgebung oder von einer Stelle entnommen werden, deren Luft eine andere Temperatur als die Umgebungsluft aufweist.

9.1.3 Flüssigkeits-/Luft-Kühlung

Kühlung durch ein zirkulierendes Kühlmittel (Gas oder Flüssigkeit), das durch Luft rückgekühlt wird. Die Zirkulation des Kühlmittels und die Luftkühlung können natürlich oder verstärkt sein.

9.1.4 Kühlmittel-Selbstkühlung

Kühlung durch eine mit zirkulierendem flüssigen Kühlmittel arbeitende Wärmeübertragung nach dem Schwerkraftprinzip, wobei die Rückkühlung durch natürliche Luftzirkulation an der Außenseite des Behälters erfolgt.

9.1.5 Verstärkte Kühlmittelkühlung

Kühlung durch eine mit zirkulierender Flüssigkeit arbeitende Wärmeübertragung nach dem Schwerkraftprinzip, wobei die Rückkühlung durch verstärkte Luftkühlung an der Außenseite des Behälters erfolgt.

9.2 Temperaturen

9.2.1 Kühllufttemperaturen für Baugruppen bei Luft-Selbstkühlung

Die Lufttemperatur unter der Baugruppe bei Betrieb unter Bemessungs-Betriebsbedingungen, gemessen an einer gegen Wärmestrahlen geschützten Stelle, etwa 50 mm von der Kühleinrichtung der Baugruppe entfernt.

Bei der Temperaturmessung sollte der Abstand zur Wand eines gegebenenfalls vorhandenen Gehäuses wesentlich größer als 50 mm sein.

9.2.2 Kühllufttemperatur für Baugruppen bei verstärkter Luftkühlung

Die Temperatur der Kühlluft in einer Entfernung von etwa 50 mm vor Eintritt in die Kühleinrichtung.

9.2.3 Umgebungstemperatur für ein Gerät

Die Temperatur der Umgebungsluft in einer Entfernung von etwa 1 m von dem Gerät in halber Höhe des Gerätes, an einer Stelle, die sowohl gegen Wärmeabstrahlung als auch gegen verstärkte Luftbewegung geschützt ist.

9.2.4 Temperatur des Kühlmittels

Temperatur des eintretenden Kühlmittels am Eingang des Prüflings.

10 Eigenschaften des Wechselstromnetzes

10.1 Kurvenform der Wechselspannung

Alle Bemessungswerte und anderen Angaben dieser Norm gelten unter folgenden Bedingungen:

- Sinusförmige Netzwechselspannung, wenn der Gleichrichter oder Stromrichter ausgeschaltet ist.
- Niedriger Scheinwiderstand des Wechselstromnetzes. Bei Fehlen allgemeiner Festlegungen müssen die Grenzwerte zwischen Hersteller und Anwender bei Abschluß des Vertrages vereinbart werden. Die Kurvenform einer Spannung wird in dieser Norm als sinusförmig betrachtet, wenn die größte Abweichung $(a - b)$ in Bild 2, vom Augenblickswert b der Grundschiwingung 10 % des Scheitelwertes c der Grundschiwingung nicht überschreitet.

Das heißt: $|a - b| \leq |0,10 c|$

Anmerkung: Wenn die Netzwechselspannung nicht vollständig sinusförmig ist, auch wenn sie innerhalb der oben festgelegten Grenzen liegt, kann der gemessene Wert der Stromrichter-Gleichspannung vom berechneten Wert abweichen.

10.2 Schwankungen der Wechselspannung

Für Dioden, Thyristoren und Baugruppen ist keine Erhöhung der Sperrspannungen über die Bemessungswerte hinaus zulässig. Dies muß bei der Auswahl von Dioden, Thyristoren und Baugruppen berücksichtigt werden.

10.3 Schwankungen der Netzfrequenz

Die Netzfrequenz darf wie folgt schwanken:

- von 15 Hz bis 17,5 Hz bei Systemen mit $16 \frac{2}{3}$ Hz;
 - von 48 Hz bis 51 Hz bei Systemen mit 50 Hz;
 - bei $16 \frac{2}{3}$ Hz zwischen + 2 % und – 3 %
 - bei 50 und 60 Hz zwischen + 2 % und – 2 %
- sofern nicht zwischen Hersteller und Anwender andere Werte vereinbart wurden.

Für andere Frequenzen müssen die zulässigen Schwankungen nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Anwender festgelegt werden.

10.4 Scheinwiderstand des Wechselstromnetzes

Da der Scheinwiderstand des Wechselstromnetzes das Verhalten eines Stromrichters beeinflusst und sich mit dem Standort des Fahrzeuges verändert, müssen die Höchst- und Mindestwerte dieses Scheinwiderstandes vom Anwender angegeben werden.

Hauptabschnitt drei – Prüfungen

Anmerkung: Es ist zweckmäßig, die Ausführung aufwendiger Prüfungen auf die unbedingt notwendigen Prüfungen zu beschränken. Die vorliegende Norm ist so abgefaßt, daß die meisten Prüfungen

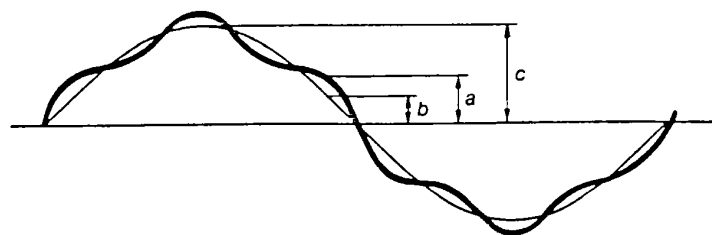


Bild 2.