

Bestimmungen für Vielkristallhalbleiter-Gleichrichter**VDE**
0556 / 10.66**Dies sind VDE-Bestimmungen im Sinne von VDE 0022/1.64.**

Bearbeitet vom FNE/VDE-Gemeinschaftsausschuß 221.2/0556.

Inhalt**I. Gültigkeit**

- § 1 Geltungsbeginn
- § 2 Geltungsbereich

II. Begriffserklärungen**A. Allgemeine Begriffe und Benennungen**

- § 3 Halbleiter-Gleichrichterzelle
- § 4 Gleichrichterplatte, Gleichrichtertablette
- § 5 Gleichrichtersäule
- § 6 Schaltung der Gleichrichtersäule
- § 7 Gleichrichtersatz
- § 8 Gleichrichtergerät, Gleichrichteranlage
- § 9 Gleichrichterschaltung
- § 10 Zweig einer Gleichrichterschaltung

B. Gleichrichterplatten, -säulen und -sätze

- § 11 Physikalische Begriffe
- § 12 Elektrische Begriffe für Gleichrichterplatten
- § 13 Elektrische Größen für Gleichrichtersäulen und -sätze

C. Gleichrichtergeräte, Schaltungen

- § 14 Wicklungen des Gleichrichtertransformators
- § 15 Arten der Gleichrichterschaltungen
- § 16 Kommutierung, Kommutierungsgruppe, Kommutierungszahl, Pulszahl

D. Gleichrichtergeräte, elektrische Größen

- § 17 Spannungen
- § 18 Ströme
- § 19 Leistung, Wirkungsgrad

- § 20 Leistungsfaktor, Verschiebungsfaktor, Grundswingungsgehalt
- § 21 Netzspannung, Sinusform und Symmetrie
- § 22 Gleichgerichtete Spannung, überlagerte Wechselspannung, Wechselspannungsgehalt, Störspannung und Fernsprechformfaktor
- § 23 Kennlinien und Kennwerte von Gleichrichtergeräten

E. Gleichrichtergeräte, elektrische Ausrüstung und Bauformen

- § 24 Elektrische Ausrüstung
- § 25 Bauformen

F. Betriebsbedingungen

- § 26 Kühlung, Kühlarten
- § 27 Temperaturen
- § 28 Belastungsarten
- § 29 Betriebsarten

III. Bestimmungen für Gleichrichterplatten, -säulen und -sätze**A. Betriebseigenschaften und Belastbarkeit der Gleichrichterplatten**

- § 30 Bezugsschaltung
- § 31 Nennwerte
- § 32 Kennlinien
- § 33 Gleichsperrspannung

B. Betriebsbedingungen, Belastbarkeit und Bezeichnungen der Gleichrichtersäulen und -sätze

- § 34 Betriebsbedingungen
- § 35 Nennwerte
- § 36 Kriech- und Luftstrecken
- § 37 Bezeichnungen

Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V.

Die vorliegende Fassung gilt, bis eine Änderung oder Neufassung gemäß einer Bekanntmachung in der ETZ in Kraft tritt.

VDE-Verlag GmbH, 1 Berlin 12 (Charlottenburg)

C. Prüfung von Gleichrichterplatten, -säulen und -sätzen

- § 38 Arten der Prüfung
- § 39 Spannungsquellen für Prüfungen
- § 40 Typenprüfung der Gleichrichterplatten
- § 41 Stückprüfung der Gleichrichterplatten
- § 42 Typenprüfung der Gleichrichtersäulen und -sätze
- § 43 Stückprüfung der Gleichrichtersäulen und -sätze
- § 44 Ermittlung der Verluste, Kurzschluß- und Leerlaufmessung

IV. Bestimmungen für Gleichrichtergeräte und -anlagen

A. Belastbarkeit, Betriebseigenschaften und -bedingungen

- § 45 Nennwerte
- § 46 Schwankungen der Eingangsspannung und der Netzfrequenz
- § 47 Wirkungsgrad
- § 48 Leistungsfaktor und Verschiebungsfaktor
- § 49 Kennlinien von Gleichrichtergeräten
- § 50 Kühlbedingungen für Gleichrichtergeräte
- § 51 Belastungsarten
- § 52 Betriebsarten
- § 53 Ungewöhnliche Betriebsbedingungen
- § 54 Überlagerte Wechselspannung auf der Gleichstromseite und damit zusammenhängende Größen

B. Anforderungen an die elektrische Ausrüstung, Schutzbestimmungen

- § 55 Gleichrichtersätze

- § 56 Transformatoren, Transduktoren, Drosseln und Kondensatoren
- § 57 Sonstige Ausrüstungsteile
- § 58 Besondere Anforderungen
- § 59 Schutzarten
- § 60 Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung

C. Kennzeichnung und Leistungsschild

- § 61 Kennzeichnung der Gleichrichtergeräte
- § 62 Leistungsschild

D. Prüfung

- § 63 Arten der Prüfung
- § 64 Prüfbedingungen
- § 65 Funktionsprüfung
- § 66 Erwärmungsprüfung
- § 67 Aufnahme der Kennlinie des Gleichrichtergerätes
- § 68 Aufnahme von Kennwerten des Gleichrichtergerätes
- § 69 Ermittlung des Wirkungsgrades
- § 70 Ermittlung des Verschiebungsfaktors
- § 71 Isolationsprüfung
- § 72 Ermittlung der überlagerten Wechselspannung und der Störspannung sowie der damit zusammenhängenden Größen

E. Toleranzen

- § 73 Zulässige Abweichungen

V. Anhang

- A. Verwendete Formelzeichen
- B. VDE-Bestimmungen
- C. DIN-Normen
- D. IEC-Empfehlungen

I. Gültigkeit

§ 1

Geltungsbeginn

Diese Bestimmungen gelten ab 1. Oktober 1966¹⁾.

§ 2

Geltungsbereich

Diese Bestimmungen gelten für Vielkristallhalbleiter-Gleichrichter.

¹⁾ Genehmigt durch den Vorstand des VDE im August 1966, bekanntgegeben in ETZ-B 1964 S. 333 und 1966 Heft 18/19.

Sie sind in erster Linie im Hinblick auf **S e l e n g l e i c h r i c h t e r** (**S e - G l e i c h r i c h t e r**) aufgestellt, sind jedoch auch auf Kupferoxydulgleichrichter und ähnliche anzuwenden.

Sie gelten sowohl für Gleichrichterplatten, -säulen und -sätze zur Gleichstromversorgung aus Wechselstromquellen oder -netzen mit Frequenzen bis zu 2000 Hz als auch für damit ausgerüstete Gleichrichtergeräte und -anlagen [siehe auch § 34 g) 17. und § 53 Ziffer 19.].

Die Bestimmungen für Gleichrichterplatten, -säulen und -sätze gelten sinn gemäß auch für andere Anwendungen, z. B. als Sperrventile oder nichtlineare Widerstände.

Eine Übersicht von einschlägigen VDE-Bestimmungen und DIN-Normen sowie IEC-Empfehlungen enthält Abschnitt V. Anhang.

II. Begriffserklärungen

A. Allgemeine Begriffe und Benennungen

§ 3

H a l b l e i t e r - G l e i c h r i c h t e r z e l l e

Der Grundbaustein des Halbleiter-Gleichrichters ist die Halbleiter-Gleichrichterzelle. Hierunter wird eine Anordnung verstanden, die eine oder mehrere Halbleiterschichten enthält und eine stromrichtungsabhängige Leitfähigkeit aufweist.

Je nach dem kristallinen Aufbau des Halbleitermaterials unterscheidet man **V i e l** kristall-Gleichrichterzellen (z. B. Selen- oder Kupferoxydul-Gleichrichterzellen) und **E i n** kristall-Gleichrichterzellen (z. B. Silizium- oder Germanium-Gleichrichterzellen).

§ 4

G l e i c h r i c h t e r p l a t t e , G l e i c h r i c h t e r t a b l e t t e

Die Vielkristall-Gleichrichterzelle besteht aus der Grundplatte (Trägermetall), dem vielkristallinen Halbleitermaterial und der darüberliegenden Gegenelektrode. Sie wird im allgemeinen Gleichrichterplatte genannt (siehe DIN 41760).

Größere Gleichrichterplatten sind meist mit Befestigungslöchern versehen.

Kleine, lochfreie Platten werden auch Gleichrichtertabletten genannt.

§ 5

G l e i c h r i c h t e r s ä u l e

Gleichrichtersäule ist die konstruktive Einheit aus einer oder mehreren Gleichrichterplatten, Befestigungsteilen, elektrischen Anschlüssen und gegebenenfalls Kühleisen und Schaltverbindungen.

Üblicherweise werden mit Befestigungslöchern versehene Gleichrichterplatten auf Bolzen aufgereiht. Stapel aus lochfreien Gleichrichterplatten (Gleichrichtertabletten) werden auch als Stabgleichrichter bezeichnet.

§ 6

Schaltung der Gleichrichtersäule

Die Aufeinanderfolge der Gleichrichterplatten hinsichtlich ihrer Durchlaßrichtung und Sperrichtung (§ 12), die inneren elektrischen Verbindungen und gegebenenfalls Isolierungen, die vorgesehenen Anschlüsse und gegebenenfalls äußere Schaltverbindungen ergeben die Schaltung der Gleichrichtersäule.

§ 7

Gleichrichtersatz

Gleichrichtersatz ist der konstruktive Zusammenbau der für eine Gleichrichterschaltung (§ 9) erforderlichen Gleichrichtersäulen einschließlich der elektrischen Verbindungen.

Ein Gleichrichtersatz kann aus einer oder mehreren Gleichrichtersäulen bestehen.

Im Zusammenbau etwa enthaltene Kühleinrichtungen sind besonders anzugeben (siehe auch Abschnitt V. D).

Gleichrichtersätze kleiner Leistung, die als konstruktive Einheit aus Gleichrichtertabletten und üblicherweise gekapselt aufgebaut sind, werden als Kleingleichrichter bezeichnet.

§ 8

Gleichrichtergerät, Gleichrichteranlage

Gleichrichtergerät oder Gleichrichteranlage ist die betriebsfähige Einheit zum Umwandeln von Wechselstrom in Gleichstrom, bestehend aus einem oder mehreren Gleichrichtersätzen und den weiterhin erforderlichen Ausrüstungsteilen.

Hierzu gehört z. B. meist ein Gleichrichtertransformator.

Die Bezeichnung Gleichrichtergerät wird vornehmlich dann angewendet, wenn es sich um eine bauliche Einheit, z. B. in einem Gehäuse, handelt. Als Gleichrichteranlage gilt eine betriebliche Einheit, die nicht zugleich auch eine bauliche ist. In diesen Bestimmungen wird im allgemeinen nur der Ausdruck Gleichrichtergerät benutzt, doch gelten sie auch für Gleichrichteranlagen.

§ 9

Gleichrichterschaltung

Die Gleichrichterschaltung eines Gerätes ist die elektrische Schaltung des Gleichrichtersatzes, gegebenenfalls mit zugehörigem Gleich-

richtertransformator, Saugdrossel oder zugehörigen Vervielfacher-Kondensatoren (Tafel 1).

Die vollständige Schaltung des Gleichrichtergerätes umfaßt außerdem die weiteren Ausrüstungsteile (§ 24).

§ 10

Zweig einer Gleichrichterschaltung

Zweig einer Gleichrichterschaltung ist jeder Teil eines Gleichrichtersatzes, der zwischen einem Wechselstrom- und einem Gleichstromanschluß liegt.

Ausnahmen sind bei Vervielfacherschaltungen möglich.

Der Zweig einer Gleichrichterschaltung wird im Schaltplan durch das Schaltzeichen  dargestellt (DIN 40700 Blatt 8). Die Dreieckspitze zeigt in Durchlaßrichtung.

Ein Zweig besteht aus einer oder mehreren Platten, die in Reihe, parallel oder in Reihe und parallel geschaltet sein können.

B. Gleichrichterplatten, -säulen und -sätze

§ 11

Physikalische Begriffe

- a) **Sperrschicht** ist die Schicht in einer Gleichrichterplatte, in der die stromrichtungsabhängige Leitfähigkeit wirksam ist.
- b)
 1. **Formieren** ist die elektrische und thermische Behandlung einer Gleichrichterplatte, durch die die Wirksamkeit ihrer Sperrschicht, d.h. die Sperrfähigkeit, verstärkt wird.
 2. **Deformieren** ist das Nachlassen der Sperrfähigkeit einer Gleichrichterplatte, hervorgerufen durch innere Vorgänge, z. B. Diffusionsvorgänge.

Es kann auftreten, wenn die Gleichrichterplatte längere Zeit nicht mit voller Sperrspannung beansprucht wird, z. B. bei Lagerung.
 3. **Nachformieren** ist der Vorgang, durch den die Sperrfähigkeit der Gleichrichterplatte nach dem Deformieren wieder verstärkt wird. Es kann sich im Betrieb selbsttätig vollziehen.
- c) **Altern in der Durchlaßrichtung**, kurz **Altern** genannt, ist die fortschreitende, irreversible Erhöhung des Widerstandes der Gleichrichterplatte in Durchlaßrichtung.
- d) **Positiver Kriecheffekt** ist das Ansteigen des Sperrstromes, das bei Beanspruchung einer Gleichrichterplatte mit Gleichspannung in Sperrrichtung auftreten kann.

§ 12

Elektrische Begriffe für Gleichrichterplatten

- a) **Durchlaßrichtung** ist die Stromrichtung, bei der die Gleichrichterplatte den kleineren Widerstand hat.

Bei Selen-Gleichrichterplatten ist dies die Richtung von der Grundplatte (Anode) zur Gegenelektrode (Kathode) (vgl. § 4).

Daraus leiten sich ab:

1. **Durchlaßstrom**. Er ist der in Durchlaßrichtung fließende Strom.
2. **Durchlaßstromdichte**. Sie ist der auf die aktive Fläche der Gleichrichterplatte bezogene Durchlaßstrom.
3. **Durchlaßspannung**. Sie ist die an der Gleichrichterplatte beim Fließen eines Durchlaßstromes anliegende Spannung.
4. **Durchlaßkennlinie**. Sie ist die Zuordnung der Augenblickswerte von Durchlaßspannung (u_F) und Durchlaßstrom (i_F) bzw. Durchlaßstromdichte (g_F) (Bild 1).

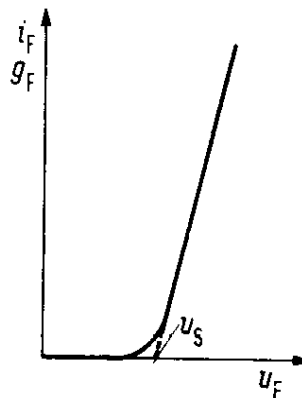


Bild 10 Durchlaßkennlinie

Die Durchlaßkennlinie besteht aus einem gekrümmten Anlauf, innerhalb dessen nur ein sehr geringer Strom fließt, und dem anschließenden etwa geradlinigen Teil, in dem der Durchlaßstrom annähernd linear mit der Durchlaßspannung wächst.

Die Verlängerung des geradlinigen Teiles schneidet an der Spannungsachse die Schleusenspannung (u_S) ab.

Angenähert läßt sich die Durchlaßkennlinie durch die Formel

$$u_F = u_S + i_F \cdot R_{\text{diff}}$$

darstellen (R_{diff} vgl. 5.).

Es ist üblich, die Durchlaßkennlinie als Zuordnung der Augenblickswerte von Durchlaßspannung und Durchlaßstromdichte darzustellen:

$$u_F = u_S + g_F \cdot r_{\text{diff}}$$

(r_{diff} vgl. 5.).

5. **Differentieller Durchlaßwiderstand.** Er ergibt sich aus der Neigung des geradlinigen Teiles der Durchlaßkennlinie zu

$$R_{\text{diff}} = \frac{u_F - u_S}{i_F}.$$

Im allgemeinen wird der spezifische differentielle Durchlaßwiderstand angegeben. Er ergibt sich, wenn in vorstehender Formel statt des Durchlaßstromes die Durchlaßstromdichte eingesetzt wird, zu

$$r_{\text{diff}} = \frac{u_F - u_S}{g_F}.$$

6. **Durchlaßkennwerte.** Dies sind ausgewählte Wertepaare aus der Durchlaßkennlinie.
7. **Durchlaßverlust.** Er ist die infolge des Durchlaßstromes in der Gleichrichterplatte in Wärme umgesetzte elektrische Leistung.

Die Durchlaßkennlinien und die davon abzuleitenden Werte sind von den Plattentemperaturen abhängig.

- b) **Sperrichtung** ist die Stromrichtung, bei der die Gleichrichterplatte den größeren Widerstand hat.

Daraus leiten sich ab:

1. **Sperrspannung.** Sie ist die Spannung, mit der die Gleichrichterplatte in Sperrichtung beansprucht wird.
2. **Sperrstrom.** Er ist der infolge der angelegten Sperrspannung in Sperrichtung fließende Strom.
3. **Sperrkennlinie.** Sie ist die Zuordnung von Sperrspannung und Sperrstrom [Näheres in § 32 b)].
4. **Sperrkennwerte.** Dies sind ausgewählte Wertepaare aus der Sperrkennlinie.
5. **Sperrverlust.** Er ist die infolge des Sperrstromes in der Gleichrichterplatte in Wärme umgesetzte elektrische Leistung.
6. **Gleichsperrspannung.** Sie ist eine in Sperrichtung angelegte Gleichspannung.
7. **Durchschlagspannung.** Sie ist der Wert der in Sperrichtung angelegten Spannung, bei dem ein elektrischer Durchschlag der Sperrschicht erfolgt.

Die Sperrkennlinie, die davon abzuleitenden Werte und die Durchschlagspannung sind von der Plattentemperatur abhängig.

- c) **Kapazität der Gleichrichterplatte** ist die zwischen Grundplatte und Gegenelektrode, also die zwischen den Anschlüssen auftretende Kapazität.

Die Kapazität ist abhängig von der Sperrspannung und der Frequenz.

Tafel 1

Beispiele für Gleichrichterschaltungen

Gleichrichterschaltung		Netz-seitiger Anschluß	Wirk Schaltplan	Puls-zahl	Spannungsverlauf	$\frac{U_{di}}{U_{s0}}$	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U'_{di}}{U_{s0}}$ ¹⁾
Benennung	Kurz-zeichen							
1. Einwegschaltungen								
Einzweig-schaltung (Einphasige Einweg-schaltung)	E	ein-phasig		1		0,45	0,45	1,41
(Einphasige) Mittel-punkt-schaltung	M	ein-phasig		2		0,90	0,45	(1,41)
Stern-schaltung	S	Dreh-strom		3		1,17	0,675	(1,41)
Doppel-stern-schaltung	DS	Dreh-strom		6		1,35	1,35	(1,41)
Doppel-stern-schaltung mit Saugdrossel	DSS	Dreh-strom		6		1,17	0,675	(1,41)
1) mit Kondensator.								

Tafel 1 (Fortsetzung)

Gleichrichterschaltung		Netz-seitiger Anschluß	Wirk Schaltplan	Puls-zahl	Spannungsverlauf	$\frac{U_{dl}}{U_{s0}}$	$\frac{U_{dl}}{U_{v0}}$	$\frac{U'_{dl}}{U_{s0}}$ ¹⁾
Benennung	Kurz-zeichen							
2. Zweiwegschaltungen								
(Einphasige) Brücken-schaltung	B	ein-phasig		2		1,8	0,9	(2,83)
Drehstrom-Brücken-schaltung	DB	Dreh-strom		6		2,34	1,35	(2,45)
Einpuls-Verdoppler-schaltung	2)	ein-phasig		1				2,83
Zweipuls-Verdoppler-schaltung	V	ein-phasig		2				2,83
Einpuls-Vervielfacher-schaltung	4)	ein-phasig		1				1,41n ³⁾
Zweipuls-Vervielfacher-schaltung	4)	ein-phasig		2				1,41n ³⁾

1) mit Kondensator.

2) für den zugehörigen Gleichrichtersatz kann das Kurzzeichen V verwendet werden.

3) n Zahl der in Reihe geschalteten Gleichrichterzweige.

4) für den zugehörigen Gleichrichtersatz kann das Kurzzeichen n · E verwendet werden.

5) für den zugehörigen Gleichrichtersatz kann das Kurzzeichen n · V verwendet werden.

Es wird unterschieden zwischen:

1. **Nullkapazität.** Sie ist der Grenzwert der Kapazität bei gegen Null gehender Sperrspannung.
2. **Betriebskapazität.** Sie ist die Kapazität bei der im Betrieb anliegenden Sperrspannung.

§ 13

Elektrische Größen für Gleichrichtersäulen und -sätze

- a) **Anschlußspannung des Gleichrichtersatzes** ist der Effektivwert der höchsten Wechselspannung, die zwischen zwei wechselstromseitigen Klemmen des Gleichrichtersatzes anliegt.

Die Anschlußspannung erreicht ihren Höchstwert im allgemeinen im Leerlauf.

Bei Doppelsternschaltung mit Saugdrossel ist die Saugdrossel im Leerlauf nicht wirksam. Als Anschlußspannung gilt daher der doppelte Wert der Sternspannung, wenn nichts anderes angegeben ist.

- b) **Gleichspannung des Gleichrichtersatzes** ist der arithmetische Mittelwert der abgegebenen Spannung.
- c) **Gleichstrom des Gleichrichtersatzes** ist der arithmetische Mittelwert des abgegebenen Stromes.
- d) **Zweigstrom** ist der in einem Zweig des Gleichrichtersatzes fließende Strom.
- e) **Prüfspannung** einer Gleichrichtersäule oder eines Gleichrichtersatzes ist die Spannung, mit der die Isolierung geprüft wird.

C. Gleichrichtergeräte, Schaltungen

§ 14

Wicklungen des Gleichrichtertransformators

- a) **Netzseitige Wicklung** ist die Wicklung, die unmittelbar oder mittelbar (z. B. unter Zwischenschaltung von Drosseln, Transduktoren oder eines Stelltransformators) an die einspeisende Wechselspannung angeschlossen ist.
- b) **Gleichrichterseitige Wicklung** ist die Wicklung, die unmittelbar oder mittelbar (z. B. über Widerstände, Drosseln, Transduktoren oder Kondensatoren) mit dem Gleichrichtersatz verbunden ist.

§ 15

Arten der Gleichrichterschaltungen

- a) Je nach Art des netzseitigen Anschlusses werden unterschieden:
 - 1. Schaltungen für einphasigen Anschluß
 - 2. Schaltungen für Drehstrom-Anschluß
- b) Je nach Art der Stromführung der gleichrichterseitigen Wicklung des Gleichrichtertransformators werden unterschieden:
 - 1. Einwegschaltungen (z. B. Mittelpunktschaltung und Sternschaltung), bei denen die gleichrichterseitigen Wicklungsstränge des Gleichrichtertransformators nur in einer Richtung vom Strom durchflossen werden,
 - 2. Zweiwegschaltungen (z. B. Brückenschaltungen), bei denen die gleichrichterseitigen Wicklungsstränge des Gleichrichtertransformators in jeder Periode in beiden Richtungen Strom führen.

Anmerkung zu b) 1. und 2.:

Beide Arten von Schaltungen können auch ohne Gleichrichtertransformator ausgeführt werden, wenn auf die galvanische Trennung zwischen Gleichstromverbraucher und einspeisendem Wechselstromnetz verzichtet werden kann und die sich ergebende Gleichspannung für die vorgesehene Anwendung geeignet ist. Bei Einwegschaltungen ist dann zu beachten, daß der einspeisende Wechselstrom eine Gleichstromkomponente enthält und daß bei Sternschaltung der Mittel(punkt)leiter den vollen Gleichstrom führt.

Tafel 1 gibt Beispiele üblicher Gleichrichterschaltungen an (siehe auch DIN 41761).

Die Gleichstromklemme, an der der Strom austritt, ist mit Plus, die andere mit Minus bezeichnet.

§ 16

Kommutierung, Kommutierungsgruppe,
Kommutierungszahl, Pulszahl

- a) Kommutierung ist der Übergang des Stromes von einem Zweig zum nächsten.
- b) Kommutierungsgruppe ist eine Gruppe von Gleichrichterzweigen und Wicklungssträngen verschiedener Phasen, die unabhängig von anderen Gruppen im Zyklus kommutieren.

Parallel geschaltete Kommutierungsgruppen kommen bei Saugdrosselschaltungen, in Reihe geschaltete (Anzahl $s = 2$) bei Brückenschaltungen vor.

- c) Kommutierungszahl (q) ist die Anzahl der Kommutierungen, die während einer Periode in einer Kommutierungsgruppe stattfinden.
- d) Pulszahl (p) ist die Gesamtzahl der nicht gleichzeitigen Kommutierungen einer Gleichrichterschaltung während einer Periode des Wechselstromes.

Die Pulszahl ist damit das Verhältnis der Grundfrequenz der der Gleichspannung überlagerten Wechselspannung (Pulsfrequenz pf) zur Netzfrequenz (f) (siehe auch Tafel 1).

D. Gleichrichtergeräte, elektrische Größen

§ 17

S p a n n u n g e n

- a) **Eingangsspannung** des Gleichrichtergerätes ist der Effektivwert der speisenden Wechselspannung zwischen den netzseitigen Klemmen.

Dies ist die Leiterspannung des einspeisenden Netzes, bei Drehstromnetzen auch Dreiecksspannung genannt.

- b) **Gleichspannung** des Gleichrichtergerätes ist der arithmetische Mittelwert der Spannung zwischen den gleichstromseitigen Klemmen.

- c) **Ideelle Leerlaufgleichspannung** (U_{di}) des Gleichrichtergerätes ist ein von der Gleichrichterschaltung (§ 9) des Gerätes und der gleichrichterseitigen Transformatorspannung (U_{s0} bzw. U_{v0}) abhängiger, nach folgender Formel²⁾ errechneter Wert:

$$U_{di} = \sqrt{2} \cdot U_{s0} \cdot \frac{q \cdot s}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{q} = U_{v0} \cdot \frac{q \cdot s}{\sqrt{2} \cdot \pi}$$

In den Formeln bedeuten:

U_{s0} Effektivwert der gleichrichterseitigen Sternspannung des Transformators, d. h. der Leerlaufspannung (Nennwert) zwischen einer gleichrichterseitigen Leiterklemme und dem bei symmetrischen Schaltungen vorhandenen oder gedachten Sternpunkt (s. Tafel 1).

U_{v0} Effektivwert der gleichrichterseitigen Leerlaufspannung des Transformators zwischen zwei kommutierenden Wicklungssträngen.

q Kommutierungszahl einer Kommutierungsgruppe [§ 16 c)].

s Anzahl der in Reihe geschalteten Kommutierungsgruppen [§ 16 b)].

Bei Einwegschaltungen ist $s = 1$,

bei Brückenschaltungen $s = 2$.

Bei Gleichrichterschaltungen mit Saugdrossel wird angenommen, daß diese bis zum Leerlauf herab wirksam ist.

²⁾ gilt nicht für die Einzeigschaltung.

Bei Gleichrichtergeräten mit Kondensatoren zwischen den Gleichstromanschlüssen tritt im Leerlauf eine Gleichspannung U'_{di} in Höhe des Scheitelwertes der gleichgerichteten Spannung auf. Das gilt auch bei Entlastung bis zum Strom Null von Gleichrichtergeräten, die bei Gegenspannung (Batterie oder Maschine) arbeiten.

U'_{di} gilt unter der Voraussetzung, daß der Sperrstrom vernachlässigbar klein ist.

Bei Verdoppler- und Vervielfacherschaltungen beträgt die ideelle Leerlaufgleichspannung U'_{di} ein entsprechendes Vielfaches (n) des Scheitelwertes der gleichrichterseitigen Transformatorspannung U_{s0} (s. Tafel 1).

Für die gebräuchlichsten Schaltungen zeigt die Tafel 1 die Werte für

$$\frac{U_{di}}{U_{s0}}, \quad \frac{U_{di}}{U_{v0}} \quad \text{und} \quad \frac{U'_{di}}{U_{s0}}.$$

§ 18

Ströme

- a) **Eingangsstrom des Gleichrichtergerätes** ist der Effektivwert des Stromes auf der einspeisenden Wechselstromseite.

Dies ist der Leiterstrom aus dem einspeisenden Netz.

- b) **Eingangs-Mittel(punkt)leiterstrom des Gleichrichtergerätes** ist der Effektivwert des Stromes im Mittel(punkt)leiter auf der einspeisenden Wechselstromseite.

Bei Anschluß des netzseitigen Sternpunktes eines Gleichrichtergerätes mit Gleichrichtertransformator an den Mittel(punkt)leiter des Netzes kann hier ein Oberschwingungsstrom fließen.

Bei Sternschaltung des Gleichrichtergerätes ohne Gleichrichtertransformator wird der Mittel(punkt)leiter mit dem vollen Gleichstrom belastet [§ 15 b)].

- c) **Gleichstrom eines Gleichrichtergerätes** ist der arithmetische Mittelwert des gleichgerichteten Stromes.
- d) **Formfaktor des gleichgerichteten Stromes** ist das Verhältnis seines Effektivwertes zum arithmetischen Mittelwert.

§ 19

Leistung, Wirkungsgrad

- a) **Eingangsleistung eines Gleichrichtergerätes** ist die netzseitig aufgenommene Wirkleistung.

- b) **L e i s t u n g** eines **G l e i c h r i c h t e r g e r ä t e s** ist das Produkt von Gleichspannung und Gleichstrom (arithmetische Mittelwerte).

Dabei wird die Leistung der auf der Gleichstromseite überlagerten Wechselstromkomponenten nicht berücksichtigt, weil sie im allgemeinen keine im Verbraucher nutzbare Leistung ergibt.

- c) **G l e i c h r i c h t u n g s - W i r k u n g s g r a d** eines **G l e i c h r i c h t e r g e r ä t e s** – kurz **W i r k u n g s g r a d** genannt – ist das Verhältnis der Leistung des Gleichrichtergerätes zur Eingangsleistung.

Wird in Ausnahmefällen die Wirkleistung der auf der Gleichstromseite überlagerten Wechselstromkomponenten in die Leistungsangabe einbezogen, so wird der sich ergebende Wirkungsgrad als Effektiv-Wirkungsgrad bezeichnet. Der (Gleichrichtungs-)Wirkungsgrad ist daher kleiner als der **E f f e k t i v - W i r k u n g s g r a d** z. B. beträgt bei der einphasigen Brückenschaltung und Widerstandsbelastung der (Gleichrichtungs-)Wirkungsgrad 81 %, der Effektiv-Wirkungsgrad dagegen 100 %, wenn das Gleichrichtergerät selbst als verlustlos angesehen wird.

§ 20

L e i s t u n g s f a k t o r , V e r s c h i e b u n g s f a k t o r , G r u n d s c h w i n g u n g s g e h a l t

- a) **L e i s t u n g s f a k t o r** (λ) eines Gleichrichtergerätes ist das Verhältnis von aufgenommener Wirkleistung zu aufgenommener Scheinleistung und läßt sich bei sinusförmiger Eingangsspannung als Produkt aus Verschiebungsfaktor ($\cos \varphi$) und Grundswingungsgehalt (Verzerrungsfaktor v) darstellen:

$$\lambda = v \cdot \cos \varphi$$

- b) **V e r s c h i e b u n g s f a k t o r** ($\cos \varphi$) ist der Kosinus des Phasenwinkels zwischen den Grundswingungen von Eingangsspannung und Eingangsstrom.
- c) **G r u n d s c h w i n g u n g s g e h a l t** (Verzerrungsfaktor v) ist das Verhältnis des Effektivwertes der Grundswingung des Eingangsstromes zu seinem Effektivwert.

§ 21

N e t z s p a n n u n g , S i n u s f o r m u n d S y m m e t r i e

- a) Eine Wechselspannung gilt als praktisch sinusförmig, wenn keiner ihrer Augenblickswerte a (Bild 2) vom Augenblickswert g ihrer Grundswingung um mehr als 5 % des Scheitelwertes S der Grundswingung abweicht, d.h.

$$a - g \leq 0,05 S$$

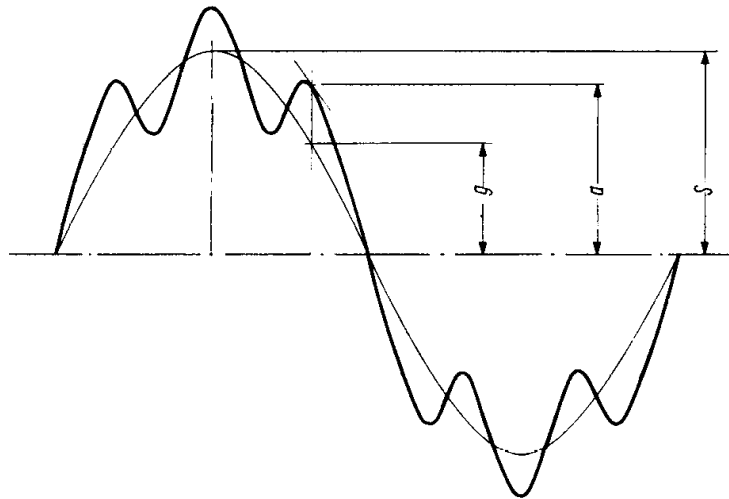


Bild 2 Sinusform der Netzspannung

- b) Ein mehrphasiges Netz gilt als praktisch symmetrisch, wenn weder Gegen- noch Nullsystem mehr als 5 % des Mitsystems betragen.

§ 22

Gleichgerichtete Spannung überlagerte Wechselspannung, Wechselspannungsgehalt, Störspannung und Fernsprechformfaktor

a) Überlagerte Wechselspannung

Die an den Ausgangsklemmen eines Gleichrichtergerätes auftretende Spannung besteht aus der Gleichspannung (arithmetischer Mittelwert) und einer überlagerten Wechselspannung, die als Effektivwert angegeben wird.

Die überlagerte Wechselspannung besteht aus sinusförmigen Komponenten verschiedener Frequenzen $v \cdot f$. (Näheres vgl. VDE 0555/12.64 § 64 bis § 72).

Die Ordnungszahlen v dieser Komponenten sind ganzzahlige Vielfache der Pulszahl p [§ 16 d)]:

$$v = k \cdot p \text{ mit } k = 1, 2, 3, \dots$$

Die Größe dieser Komponenten nimmt im allgemeinen mit wachsender Ordnungszahl v ab. Sie hängt außerdem von der Art der Steuerung, z. B. durch Transduktoren, ab.

Zusätzliche Wechselspannungen anderer Frequenzen können durch Unsymmetrien und Oberschwingungen im speisenden Netz und durch Unsymmetrien im Gerät auftreten.

Die überlagerte Wechselspannung kann z. B. Fernmeldeanlagen störend beeinflussen, sei es bei Speisung der Fernmeldeanlage durch ein Gleichrichtergerät, sei es infolge induktiver oder kapazitiver Kopplung.

b) **Wechselspannungsgehalt**

Wechselspannungsgehalt (Welligkeit) w ist das Verhältnis der überlagerten Wechselspannung zur Gleichspannung:

$$w = \frac{U_{\ddot{u}}}{U_d} = \frac{\sqrt{\sum_{\nu} U_{\nu f}^2}}{U_d}.$$

Hierin bedeuten:

$U_{\ddot{u}}$ überlagerte Wechselspannung

U_d Gleichspannung (arithmetischer Mittelwert)

$U_{\nu f}$ Wechselspannungskomponente (Effektivwert) mit der Frequenz νf .

c) **Störspannung**

Die einzelnen Komponenten der überlagerten Wechselspannung wirken sich wegen der frequenzabhängigen Empfindlichkeit des menschlichen Ohres verschieden stark aus. Dies ist von Bedeutung für den Störeinfluß in Fernsprech- und Rundfunkanlagen. Zur leichteren Erfassung dieses Störeinflusses wird eine sinusförmige Ersatzspannung eingeführt, die das Störgewicht der einzelnen Frequenzen berücksichtigt.

Störspannung (U_{st}) ist diejenige Ersatzspannung (mit festgelegter Bezugsfrequenz), die an Stelle der überlagerten Wechselspannung des Gleichrichtergerätes in einer Fernmeldeanlage die gleiche Störung erzeugen würde.

Die Bezugsfrequenz ist bei Fernsprechanlagen 800 Hz, bei Rundfunkanlagen 1000 Hz.

Für Fernsprechanlagen, die von Gleichrichtergeräten gespeist werden, gilt

$$U_{st} = \frac{1}{p_{800}} \cdot \sqrt{\sum_{\nu} (p_{\nu f} \cdot U_{\nu f})^2}$$

Hierin bedeuten:

p_{800} das der Frequenz 800 Hz zugeordnete Störgewicht

$p_{\nu f}$ das der Frequenz νf zugeordnete Störgewicht
[vgl. VDE 0227/1. 59 § 20 k) Tafel 6]

Für Rundfunkanlagen wird statt p_{800} das Störgewicht p_{1000} eingesetzt (Näheres vgl. VDE 0227).

d) Für den **Störstrom** gilt sinngemäß das gleiche wie in c).e) Der **Fernsprechformfaktor der Spannung** einer Gleichrichteranlage ist das Verhältnis der Störspannung zur Gleichspannung (VDE 0227).f) Für den **Fernsprechformfaktor des Stromes** gilt sinngemäß das gleiche wie in e).

§ 23

Kennlinien und Kennwerte von
Gleichrichtergeräten

Die Kennlinie eines Gerätes ist Zuordnung der Gleichspannung zum Gleichstrom bei der vorgesehenen Belastungsart.

Kennwerte eines Gerätes sind ausgewählte Wertepaare der Kennlinie, die ihren Verlauf kennzeichnen.

Es gibt natürliche und erzwungene Kennlinien.

Die natürliche Kennlinie ist durch den Grundaufbau allein bestimmt [§ 24 a)]. Sie ist eine fallende Kennlinie [§ 49 a) 1.].

Die erzwungene Kennlinie erfordert zusätzliche Mittel zur Kennliniengestaltung [§ 24 d)]. Sie kann durch zusätzliche Widerstände, durch Mittel zur Selbststeuerung (Störwertaufschaltung) oder durch Regelung erzwungen werden.

Die Selbststeuerung erzwingt eine bestimmte Form der Kennlinie oder deren Unabhängigkeit von bestimmten Störgrößen dadurch, daß diese die ihnen zugeordneten Stellglieder unmittelbar steuern.

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

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

E. Gleichrichtergeräte, elektrische Ausrüstung und Bauformen

§ 24

Elektrische Ausrüstung

- a) Der Grundaufbau eines Gleichrichtergerätes umfaßt den Gleichrichtersatz, gegebenenfalls mit einer Kühleinrichtung, Anschlüsse für Wechsel- und Gleichspannung, im allgemeinen einen Gleichrichtertransformator und gegebenenfalls eine Saugdrossel oder Vervielfacher-Kondensatoren (Tafel 1).
- b) Das Zubehör umfaßt Ausrüstungsteile, die zum Schalten, Überwachen, Messen und zum Schutz des Gerätes dienen.
- c) Die Glättungseinrichtung umfaßt Ausrüstungsteile, die zum Glätten der Gleichspannung dienen, z. B. Drosseln und Kondensatoren.
- d) Die Einrichtung zur Kennliniengestaltung umfaßt Ausrüstungsteile, die zum Erzielen einer bestimmten Kennlinie dienen. Dazu gehören einfache elektrische Bauelemente (z. B. feste ohmsche Widerstände, Drosseln, Transformatoren mit erhöhter Streuung) oder selbststeuernde Einrichtungen (z. B. Drosseln mit veränderbarer Induktivität, Schwingkreise mit veränder-

barem Scheinwiderstand) oder Regeleinrichtungen (z. B. Transduktoren, steuerbare Halbleiter-Bauelemente und die zum geschlossenen Regelkreis gehörenden Glieder).

- e) Die Einrichtung zur Kennlinienverstellung umfaßt Ausrüstungsteile, mit denen die Kennlinienneigung oder das Kennlinienniveau von außen her stufenweise oder stetig verändert werden können. Dazu gehören z. B. verstellbare Widerstände, Stelltransformatoren, Transduktoren, steuerbare Halbleiter-Bauelemente, Sollwerteinsteller in Verbindung mit Regeleinrichtungen.

§ 25

B a u f o r m e n

Nach dem konstruktiven Aufbau wird unterschieden zwischen:

Wandgeräten,
Standgeräten,
Einbau-, Einschubgeräten,
Schalttafelgeräten.

Geräte können zum festen Einbau bestimmt, tragbar oder fahrbar sein.

F. Betriebsbedingungen

§ 26

K ü h l u n g , K ü h l a r t e n

- a) Kühlmittel, Wärmeträger, Wärmeleiter

Durch das Kühlmittel wird die Verlustwärme abgeführt.

Die Verlustwärme kann an das Kühlmittel unmittelbar vom Gleichrichtersatz und anderen Ausrüstungsteilen abgegeben (unmittelbare Kühlung) oder mittelbar über einen Wärmeträger oder Wärmeleiter an dieses herangetragen werden (mittelbare Kühlung).

Kühlmittel sind:

Luft (Kennbuchstabe S bzw. F) [siehe b) 1.]
Wasser (Kennbuchstabe W).

Wärmeträger sind üblicherweise:

Öl (Kennbuchstabe O)
Luft (Kennbuchstabe L).

Wärmeleiter sind:

Kühlbleche oder Teile des Geräteaufbaues, die in gutem Wärmekontakt mit dem Gleichrichtersatz stehen (Kennbuchstabe K).

Ein Teil der Verlustwärme wird auch durch Strahlung abgeführt. Dies wird bei Angabe der Kühlart nicht berücksichtigt.

b) Gebräuchliche Kühlarten

Im folgenden sind die gebräuchlichsten Kühlarten angeführt.

Bei den Kurzzeichen gibt die Reihenfolge der Buchstaben die Richtung des Wärmeflusses an. Wird ein Wärmeträger durch eine Pumpe oder einen Lüfter zwangsweise umgewälzt, so wird hinter seinem Kurzzeichen der Buchstabe U eingefügt.

1. Unmittelbare Kühlung**1.1 Luftselbstkühlung (S)**

Die Verlustwärme wird unmittelbar an die umgebende Luft bei natürlichem Luftzug abgegeben.

1.2 Fremdlüftung (F)

Die Verlustwärme wird unmittelbar an durch Lüfter bewegte Luft abgegeben.

Die Luft kann der nächsten Umgebung des Gleichrichtergerätes entnommen oder von einer anderen Stelle herangeführt werden.

2. Mittelbare Kühlung**2.1 Öl-Luftselbstkühlung (OS)**

Der Gleichrichtersatz und gegebenenfalls andere Ausrüstungsteile sind in einem geschlossenen, mit Öl oder einer anderen isolierenden Flüssigkeit als Wärmeträger gefüllten Gehäuse untergebracht. Die Verlustwärme wird vom Gehäuse an die umgebende Luft bei natürlichem Luftzug abgegeben.

2.2 Öl-Fremdlüftung (OF)

Wie 2.1, jedoch wird die das Gehäuse umgebende Luft durch einen Lüfter bewegt.

Die Luft kann der nächsten Umgebung des Gleichrichtergerätes entnommen oder von einer anderen Stelle herangeführt werden.

2.3 Öl-Wasserkühlung (OW)

Der Gleichrichtersatz und gegebenenfalls andere Ausrüstungsteile sind in einem geschlossenen, mit Öl oder einer anderen isolierenden Flüssigkeit als Wärmeträger gefüllten Gehäuse untergebracht. Die Verlustwärme wird vom Öl an einen Wärmeaustauscher übertragen. Der Wärmeaustauscher wird mit Wasser gekühlt.

Die Bewegung des Öles ist nicht erzwungen.

2.4 Wärmeleitung-Selbstkühlung (KS)

Die Verlustwärme wird durch Wärmeleiter (z. B. Kühl- und Befestigungsbleche) aufgenommen, verteilt und an die umgebende Luft bei natürlichem Luftzug abgegeben.

2.5 Innere-äußere Luftselbstkühlung (LS)

Die Luft im Innern eines geschlossenen Gehäuses überträgt die Verlustwärme durch natürliche Luftbewegung an