

**Bestimmungen für Quecksilberdampfstromrichter
(Hg-Stromrichter)****VDE
0555/12.64**

VDE 0555 a/12.64 ist eingearbeitet.

1. red. geänd. Nachdruck

Inhalt**I. Gültigkeit**

- § 1 Geltungsbeginn
- § 2 Geltungsbereich
- § 3 Abweichungen von den Bestimmungen

II. Begriffserklärungen, Erläuterung von Aufbau und Wirkungsweise**A. Allgemeines**

- § 4 Verwendungszweck der Stromrichter
- § 5 Bestandteile von Hg-Stromrichteranlagen

B. Stromrichtergefäße, Bestandteile, Hilfseinrichtungen und Bauarten

- § 6 Bestandteile der Gefäße
- § 7 Hilfseinrichtungen der Gefäße und Gefäßsätze
- § 8 Bauarten der Gefäße
- § 9 Kühlung, Kühlungsarten

C. Stromrichterschaltungen

- § 10 Allgemeines
- § 11 Stromrichtergrundsaltungen
- § 12 Umkehrschaltungen

D. Besondere elektrische Begriffe für den Stromrichterbetrieb

- § 13 Kommutierung
- § 14 Durchlaßzeit, Sperrzeit und damit zusammenhängende Spannungen
- § 15 Zündensatzsteuerungen
- § 16 Störungen im Stromrichterbetrieb

E. Spannungen und Ströme in Stromrichterschaltungen

- § 17 Spannungen des Stromrichtertransformators
- § 18 Übersetzung des Stromrichtertransformators
- § 19 Spannungen auf der Gleichstromseite des Stromrichters
- § 20 Gleichspannungsänderung
- § 21 Ströme in Stromrichterschaltungen

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)

VDE-Vertr.-Nr. 0555000
Documents

Document Sharing Hub

F. Nenngrößen, Wirkungsgrad und Faktoren der Netzseite

- § 22 Nennbetrieb
- § 23 Nenngleichspannung
- § 24 Nenngleichstrom
- § 25 Nennleistung
- § 26 Wirkungsgrad
- § 27 Faktoren der Netzseite
- § 28 Sinusform der Netzspannung
- § 29 Symmetrie des Mehrphasensystems

III. Stromrichtergeräte

- § 30 Aufstellung und allgemeine Betriebsbedingungen
- § 31 Temperaturen von Umgebungsluft und Kühlmittel
- § 32 Temperaturgrenzen am Stromrichtergerät
- § 33 Gefäßnennstrom und Belastbarkeit
- § 34 Bestimmungen für Kennzeichnungen

IV. Spezielle Begriffe für Stromrichtertransformatoren und Drosselspulen

- § 35 Allgemeines
- § 36 Schaltungen
- § 37 Arbeitsbedingungen
- § 38 Leistungsbegriffe
- § 39 Bestimmungen für Kennzeichnungen

V. Prüfbestimmungen

- § 40 Durchführung der Prüfungen

A. Prüfbestimmungen für Gefäße

- § 41 Allgemeines
- § 42 Typenprüfung
- § 43 Stückprüfung
- § 44 Dichtheitsprüfung
- § 45 Isolationsprüfung
- § 46 Belastungsprüfung
- § 47 Verluste der Gefäßseite
- § 48 Messung der Brennspannung

B. Prüfbestimmungen für Stromrichtertransformatoren und Drosselspulen

- § 49 Allgemeines
- § 50 Wicklungsprüfung der gefäßseitigen Wicklungen des Transformators
- § 51 Wicklungsprüfung von Drosselspulen
- § 52 Kurzschlußmessungen
- § 53 Bestimmung der Lastverluste aus den Kurzschlußmessungen
- § 54 Bestimmung der Kurzschlußspannung und der Gleichspannungsänderung durch Kurzschlußmessungen
- § 55 Bestimmung der Verluste von Drosselspulen

VI. Stromrichteranlagen

A. Betriebsarten und Belastungsklassen von Stromrichtern

§ 56 Betriebsarten

§ 57 Belastungsklassen, Belastungsarten

B. Wirkungsgrad und Verluste

§ 58 Ermittlung des Wirkungsgrades

§ 59 Einzubeziehende Verluste

§ 60 Nicht einzubeziehende Verluste

C. Verschiebungsfaktor

§ 61 Allgemeines

§ 62 Ermittlung des Verschiebungsfaktors

D. Parallelbetrieb

§ 63 Parallelbetrieb

VII. Oberschwingungen, ihre Auswirkung und Verringerung

A. Stromrichter als Erzeuger von Oberschwingungen

§ 64 Allgemeines

§ 65 Ordnungszahl der Oberschwingungen

§ 66 Größe der Oberschwingungen der Gleichspannung und des Netzstromes bei vereinfachenden Bedingungen, ideelle Werte: $d_x = 0$, $\alpha = 0$ [vgl. § 64 a) 1; 2; 3]

§ 67 Größe der Oberschwingungen der Gleichspannung und des Netzstromes bei Berücksichtigung von Überlappung und Zündverzögerung

B. Einfluß der Oberschwingungen auf das Drehstromnetz und auf Fernmeldeanlagen

§ 68 Verzerrung der Netzspannung

§ 69 Resonanzerscheinungen im Drehstromnetz

§ 70 Beeinflussung von Fernmeldeanlagen

C. Maßnahmen zur Verringerung der Oberschwingungen in den Netzen

§ 71 Verringerung der Oberschwingungen durch Erhöhen der Pulszahl

§ 72 Verringerung der Oberschwingungen durch Siebkreise und Glättungsmittel

VIII. Toleranzen

§ 73 Zulässige Abweichungen gewährleisteter Größen

§ 74 Zulässige Abweichungen der Lastverteilung parallelarbeitender Gefäße oder Stromrichter

IX. Besondere Bedingungen für Wechselrichterbetrieb

§ 75 Grenzwerte für sichere Kommutierung

§ 76 Nachweis der Belastungsfähigkeit

- Anhang 1 Symbole und Indizes
 - I Symbole
 - II Indizes
- Anhang 2 VDE-Bestimmungen und Deutsche Industrie-Normen
 - I VDE-Bestimmungen
 - II Normen
- Anhang 3 Oszillographische Messung der Brennspannung
- Anhang 4 Bemessung von Stromrichtergefäßen bei veränderlicher Belastung
- Anhang 5 Ermittlung der gesamten Gleichspannungsänderung und der Nenngleichspannung
 - I Allgemeines
 - II Berechnungsbeispiele
- Anhang 6 Stromrichterschaltungen (Erläuterungen zur Tafel)
 - I Erläuterungen zu den Schaltungsbezeichnungen und den Schaltbildern
 - II Berechnung der ideellen Leerlaufgleichspannung
 - III Bestimmung der netzseitigen Leiternennströme
 - IV Bestimmung der induktiven Gleichspannungsänderung infolge der Transformatorinduktivität
 - V Bestimmung der Lastverluste des Stromrichtertransformators und der ohmschen Gleichspannungsänderung infolge der Lastverluste

I. Gültigkeit

§ 1

Geltungsbeginn

- a) Diese Bestimmungen galten ab 1. September 1962¹⁾.
Mit der Änderung a gelten sie ab 1. Dezember 1964¹⁾.
- b) Die bisherigen Regeln VDE 0555/1936 dürfen für Stromrichter angewendet werden, deren Herstellung vor dem 1.4. 1963 begonnen wird.

§ 2

Geltungsbereich

Diese Bestimmungen gelten für folgende Teile sowohl von ortsfesten als auch auf Fahrzeugen aufgestellten Quecksilberdampf(Hg)-Stromrichtern:

¹⁾ Genehmigt durch den Vorstand des VDE im August 1962, bekanntgegeben in ETZ-A 1961 S. 756 und 1962 S. 598. – Berichtigungen bekanntgegeben in ETZ-B 1964 S. 481. – Änderung a, gültig ab 1. Dezember 1964, genehmigt durch den Vorstand des VDE im Oktober 1964, bekanntgegeben in ETZ-B 1964 S. 286 und 727.

1. Stromrichtergefäße aus Stahl oder Glas mit Quecksilberkathode einschl. Einrichtungen zur Vakuumhaltung und -messung, zum Zünden und Aufrechterhalten des Lichtbogens und zur Temperaturhaltung des Gefäßes.
2. Stromrichtertransformatoren und Vorschalttransformatoren.
3. Einrichtungen zur Parallelschaltung von Ventilzweigen gleicher oder verschiedener Phasenlage, z. B. Anodendrosseln und Saugdrosseln
4. Einrichtungen zur Einstellung der den Ventilstrecken zugeführten Wechselspannung, z. B. Stufen- oder Drehtransformatoren.
5. Einrichtungen zur Beeinflussung des Zündeinsatzes, z. B. Gittersteuerungen, Zündstiftsteuerungen.
6. Glättungseinrichtungen und Siebkreise.

Diese Bestimmungen gelten für Hg-Stromrichter zur Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom (Gleichrichter) oder Gleichstrom in Wechselstrom (Wechselrichter) für eine Nennleistung von wenigstens 50 kW, einen Nenngleichstrom von 10 A aufwärts und eine Nenngleichspannung bis zu 5000 V.

Für Wechselrichterbetrieb wird in diesen Bestimmungen ein führendes Wechselstromnetz vorausgesetzt (netzgeführter Wechselrichter).

Für selbstgeführte Wechselrichter und Umrichter gelten diese Bestimmungen, soweit sie der Sache nach zutreffen.

Nicht unter diese Bestimmungen fallen Glühkathoden-, Halbleiter- und mechanische Stromrichter.

Für das Errichten von Stromrichteranlagen gelten VDE 0100 und VDE 0101.

Die maßgebende Spannung für die Anlagenteile zwischen Stromrichtertransformator und Gefäßsatz (vgl. § 5) ist die Nennwechselspannung zwischen beliebigen Leitern.

Die maßgebende Spannung auf der Gleichstromseite ist der größte Augenblickswert der Leerlauf-Gleichspannung bei Speisung des Stromrichters mit Nennwechselspannung.

Sinngemäß gilt in Stromrichteranlagen mit den Grundsaltungen (vgl. § 11) für die Gleichstromseite VDE 0101, wenn

- a) bei Mittelpunktschaltungen der Effektivwert der gefäßseitigen Nennsternspannung²⁾ des Stromrichtertransformators (vgl. § 17),

²⁾ Liegt dieser unter 1000 V, so gilt für die Gleichstromseite VDE 0100, auch wenn für die Anlagenteile zwischen Stromrichtertransformator und Gefäßsatz VDE 0101 gilt.

- b) bei Brückenschaltungen der Effektivwert der gefäßseitigen Nennspannung zwischen beliebigen Leitern des Stromrichtertransformators mehr als 1 kV beträgt.

§ 3

Abweichungen von den Bestimmungen

Abweichungen von diesen Bestimmungen sind ausdrücklich zu vereinbaren. Die Bestimmungen über Leistungsschildangaben nach § 34 und § 39 müssen jedoch immer erfüllt sein.

II. Begriffserklärungen, Erläuterungen von Aufbau und Wirkungsweise

A. Allgemeines

§ 4

Verwendungszweck der Stromrichter

Stromrichter sind Einrichtungen zum Umformen elektrischer Energie über nur in einer Richtung stromdurchlässige Geräte (Ventile), in der Regel in Verbindung mit Stromrichtertransformatoren.

Es werden unterschieden:

1. Gleichrichter zum Umformen von ein- oder mehrphasigem Wechselstrom in Gleichstrom.
2. Wechselrichter zum Umformen von Gleichstrom in ein- oder mehrphasigen Wechselstrom.
 - 2.1 Netzgeführte Wechselrichter arbeiten in Verbindung mit einem Wechselstromnetz oder einer Wechselstrommaschine, welche die Kommutierungsspannung liefern und die Frequenz vorgeben.

Wenn der Wechselrichter einen wesentlichen Teil der Leistung des Wechselstromnetzes liefert, können Wechselspannung und Frequenz durch ihn beeinflußt werden.

Der Wechselrichter kann nur Wirkleistung aus dem Gleichstromnetz in das Wechselstromnetz übertragen. Das Wechselstromnetz muß neben der von den angeschlossenen Verbrauchern geforderten Blindleistung auch die Kommutierungs- und Steuerblindleistung des Wechselrichters und die Magnetisierungsblindleistung des Stromrichtertransformators liefern (§ 62).

- 2.2 Selbstgeführte Wechselrichter arbeiten ohne führendes Wechselspannungsnetz. Die Kommutie-

nungsspannung und die Blindleistung werden durch Kondensatoren geliefert.

2.21 Selbstgeführte Wechselrichter mit Fremdsteuerung werden von einem Taktgeber gesteuert, der die Frequenz bestimmt.

2.22 Selbstgeführte Wechselrichter mit Selbststeuerung werden von der selbsterzeugten Wechselspannung gesteuert. Ihre Frequenz ist lastabhängig.

3. Umrichter zum Umformen von ein- oder mehrphasigem Wechselstrom einer Frequenz in Wechselstrom einer anderen Frequenz oder Phasenzahl.

§ 5

Bestandteile von Hg-Stromrichteranlagen

- a) Stromrichtergefäß ist das in Quecksilberdampf-Stromrichteranlagen verwendete nur in einer Richtung stromdurchlässige Gerät, in diesen Regeln kurz als „Gefäß“ oder in einanodiger Ausführung auch als „Ventil“ bezeichnet. Es besteht aus einem evakuierten Behälter mit einem oder mehreren Entladungswegen (Ventilstrecken). Der Strom tritt an Anoden aus festem Material in das Gefäß ein und über eine Quecksilberkathode aus diesem aus.
- b) Gefäßsatz (Ventilsatz): Bauliche Einheit bestehend aus einem oder mehreren Gefäßen mit ihren Hilfseinrichtungen.
- c) Hg-Stromrichter³⁾: Eine Anordnung zum Umformen elektrischer Energie, bestehend aus einem oder mehreren Gefäßsätzen und in der Regel einem Stromrichtertransformator.
- d) Stromrichteranlage: Ein oder mehrere Stromrichter mit allen erforderlichen Betriebsmitteln auf der Wechsel- und Gleichstromseite.

B. Stromrichtergefäße, Bestandteile, Hilfseinrichtungen und Bauarten

§ 6

Bestandteile der Gefäße

- 1. Vakuumgefäß aus Stahl oder Glas
- 2. Quecksilberkathode
- 3. Eine oder mehrere Hauptanoden, die den Laststrom führen

³⁾ Im folgenden werden diese kurz Stromrichter genannt.

4. Zündelektrode zur Erzeugung des Brennflecks
5. Erregeranoden zur Aufrechterhaltung des Brennflecks
6. Anodenschutzrohre (Anodenhülsen) oder Anodenarme zur Abschirmung der Anoden gegen Dampf- und Ioneneinströmung
7. Steuergitter vor den Anoden zur Steuerung oder Unterdrückung des Zündeinsatzes der Hauptanoden
8. Entionisierungsgitter oder Blenden zur Lenkung der Quecksilberdampfströmung, zur Abschirmung der Wärmestrahlung der Anoden, zur Beeinflussung der Stromverteilung im Lichtbogenweg und zur Entionisierung der Ventilstrecke nach Beendigung der Stromführung der Anode.
9. Vakuumdichte und isolierende Durchführungen für die Elektroden des Gefäßes.
10. Zündstifte bei einem Zündstiftgefäß (Ignitron)
 Der Zündstift ist eine feststehende, in das Kathodenquecksilber eintauchende Halbleiterelektrode, die durch einen Stromstoß den Brennfleck zündet und wie ein Steuergitter zur Beeinflussung des Zündzeitpunktes dienen kann.
11. Kühlmäntel zur Führung des Kühlmittels für das Gefäß
12. Zusätzliche Einrichtungen am Gefäß für die Kondensation des Quecksilberdampfes (Kondensationsraum, Kühlraum).

§ 7

Hilfseinrichtungen der Gefäße und Gefäß- sätze

a) Einrichtung für die Vakuumhaltung des Gefäßes

Sie dient zur Erzeugung und Aufrechterhaltung eines Vakuums von wenigen Milli-Torr Fremdgasdruck im Gefäß, sowie zur Entgasung (Formierung) seiner inneren Teile.

Sie besteht im allgemeinen aus:

1. Vorvakuumpumpe
2. Vorvakuumhahn oder Rückschlagventil
3. Vorvakuumbehälter
4. Hochvakuumpumpe
5. Vakuumhahn am Gefäß
6. Vakuumleitungen zwischen den einzelnen Teilen
7. Vakuummeßeinrichtung

Bei pumpenlosen Gefäßen fehlt diese Einrichtung. Die Evakuierung und Formierung wird beim Hersteller vorgenommen, und das Gefäß wird von der Pumpleitung getrennt und vakuumdicht verschlossen.

- b) Kühl- und Heizeinrichtungen für das Gefäß bzw. dessen Kühlkreis.
- c) Einrichtungen zur Temperaturhaltung durch Kühlung oder Heizung.
- d) Einrichtungen zur Zündung und Erregung.
- e) Einrichtungen zur Gitter- oder Zündstiftsteuerung.
- f) Einrichtung zur Sperrung des Gefäßes durch eine gegen die Kathode negative Spannung an den Steuergittern.

§ 8

Bauarten der Gefäße

Es werden unterschieden:

- a) Stahlgefäße und Glasgefäße (Glaskolben)
- b) Gefäße mit Vakuumpumpen und pumpenlose Gefäße
- c) Wassergekühlte und luftgekühlte Gefäße
- d) Einanoden- und Mehranodengefäße

Einanodengefäße werden eingeteilt in:

1. Gefäße mit Dauererregung (Excitron)
2. Gefäße mit Zündung durch Zündstift vor jeder Stromführungsperiode (Zündstiftgefäß oder Ignitron)

Zur Erläuterung sind in Bild 1 Beispiele von verschiedenen Gefäßbauarten mit ihren Bauteilen dargestellt.

§ 9

Kühlung, Kühlungsarten

- a) Unmittelbare Kühlung: Die Verlustwärme wird von dem Stromrichtergefäß unmittelbar an das Kühlmittel abgeführt.

Es werden unterschieden:

1. Luftselbstkühlung (Kurzzeichen S)

Das Stromrichtergefäß gibt seine Verlustwärme unmittelbar an die umgebende Luft durch natürlichen Luftzug ab.

2. Fremdlüftung (Kurzzeichen F)

Die Kühlluft wird durch Lüfter bewegt. Sie wird der unmittelbaren Umgebung des Gerätes entnommen oder von einer anderen Stelle zugeführt.

3. Wasserkühlung (Kurzzeichen W)

Die Verlustwärme wird unmittelbar von dem Stromrichtergefäß durch Frischwasser abgeführt.

- b) **Mittelbare Kühlung:** Die Verlustwärme wird vom Stromrichtergefäß unter Zwischenschaltung eines Wärmeträgers oder Wärmeleiters an das Kühlmittel (Luft oder Frischwasser) abgeführt.

Als Wärmeträger dienen:

Wasser (Umlaufwasser) (Kurzzeichen W)

Isolierflüssigkeiten, z. B. Öl (Kurzzeichen O)

Luft oder Gas (Umluft) (Kurzzeichen L)

Wird ein Wärmeträger durch eine Pumpe oder einen Lüfter zwangsweise umgewälzt, so wird hinter seinem Kurzzeichen der Buchstabe „U“ eingefügt.

- c) Gebräuchliche Kombinationen mit ihren Kurzzeichen sind:

1. **Umluft/Fremdlüftung (LUF)**

Die Verlustwärme wird über die in einem geschlossenen Kreislauf umgewälzte Luft (Gas) an einen Wärmeaustauscher übertragen. Der Wärmeaustauscher ist fremdbelüftet.

2. **Umluft/Wasserkühlung (LUW)**

Die Verlustwärme wird über die in einem geschlossenen Kreislauf umgewälzte Luft (Gas) an einen Wärmeaustauscher übertragen. Der Wärmeaustauscher wird mit Wasser gekühlt.

Legende zu Bild 1

- | | |
|--|---|
| a) Mehranodiger Glaskolben mit Steuergittern | |
| b) Pumpenloses einanodiges Stahlgefäß mit Luftkühlung und Steuergitter | |
| c) Wassergekühltes mehranodiges Stahlgefäß mit Pumpe und Steuergittern | |
| d) Pumpenloses einanodiges Stahlgefäß mit Wasserkühlung und Zündstift (Ignitron) | |
| 1 Vakuumgefäß | 14 Entionisierungsgitter oder Blende |
| 2 Quecksilberkathode | 15 Vakuumhahn |
| 3 Kathodenanschluß | 16 Vakuumleitung |
| 4 Hauptanode | 17 Vakuumfühler |
| 5 Zündanode (in Bild b gleichzeitig Erregeranode, in Bild d Zündstift) | 18 Hochvakuumpumpe |
| 6 Erregeranode | 19 Vorvakuumhahn (u. U. Rückschlagventil) |
| 7 Anodenanschluß | 20 Vorvakuumpumpe |
| 8 Anodenkühler | 21 Abschmelzstelle der Pumpleitung |
| 9 Anodenschaft (Anodenbolzen) | 22 Kondensationsraum |
| 10 Anodenisolator | 23 Kühlmantel |
| 11 Anodenschutzrohr (Anodenhülse) | 24 Kühlrippen |
| 12 Anodenarm | 25 Kühlmittel |
| 13 Steuergitter | 26 Stützisolator |

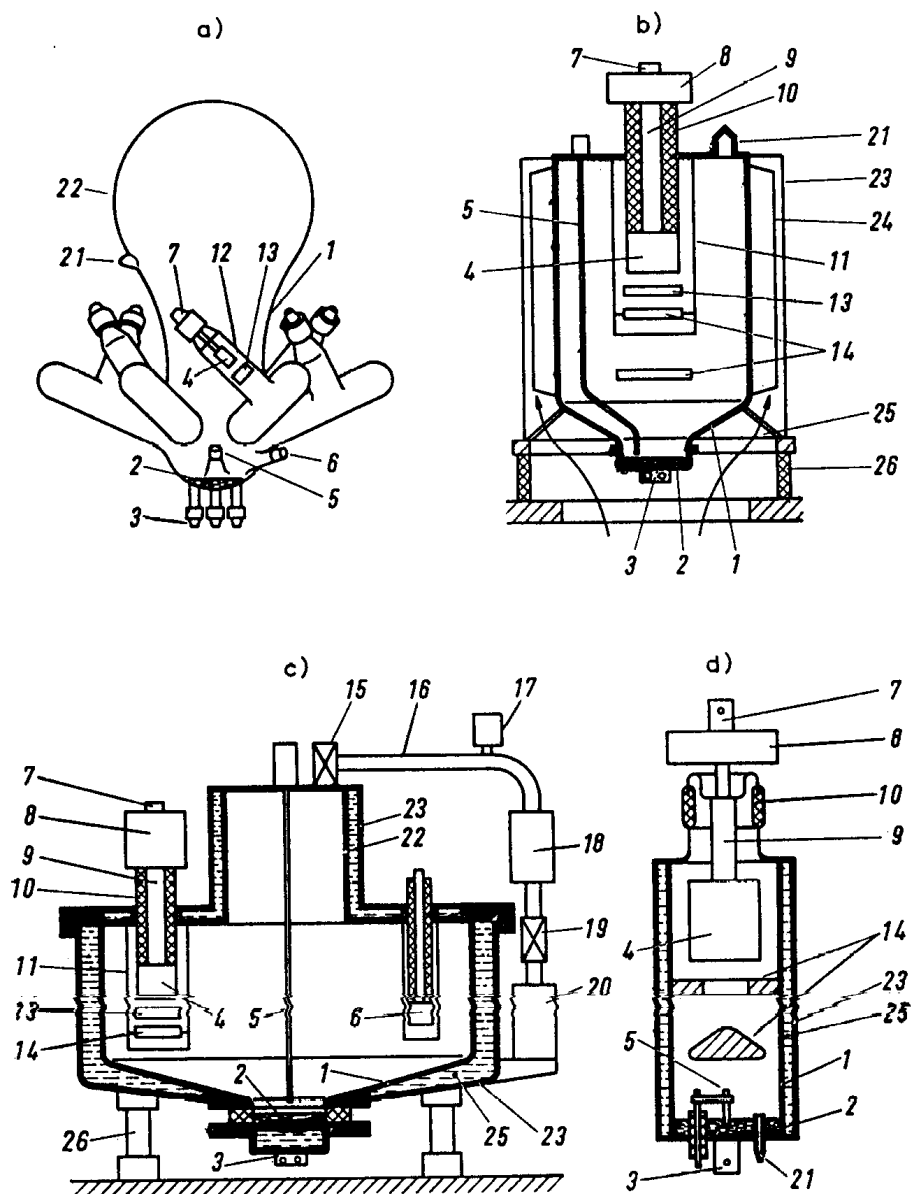


Bild 1
Bauarten von Hg-Stromrichtergeräten
(Beispiele)

3. **W a s s e r u m l a u f / F r e m d b e l ü f t u n g** (WUF)
 o d e r **Ö l u m l a u f / F r e m d b e l ü f t u n g** (OUF)

Die Verlustwärme wird über das in einem geschlossenen Kreislauf umgewälzte Wasser oder Öl an einen Wärmeaustauscher übertragen. Der Wärmeaustauscher ist fremdbelüftet.

4. **W a s s e r u m l a u f / W a s s e r k ü h l u n g** (WUW) o d e r
Ö l u m l a u f / W a s s e r k ü h l u n g (OUW)

Die Verlustwärme wird über das in einem geschlossenen Kreislauf umgewälzte Wasser oder Öl an einen Wärmeaustauscher übertragen. Der Wärmeaustauscher wird mit Frischwasser gekühlt.

C. Stromrichterschaltungen

§ 10

Allgemeines

Eine Stromrichterschaltung ist bestimmt durch die Schaltung des Stromrichtertransformators und die Art der elektrischen Verbindung mit dem Gefäßsatz, ggf. unter Verwendung von Drosselspulen, Saugdrosseln u. dgl., um bestimmte Strom- und Spannungsverhältnisse in den Stromkreisen des Stromrichters zu erzielen.

§ 11

Stromrichtergrundschaltungen

a) **M i t t e l p u n k t s c h a l t u n g e n**⁴⁾ (**E i n w e g s c h a l t u n g e n**)⁵⁾ bilden einen Gleichstrompol im Mittelpunkt (Sternpunkt) der gefäßseitigen ein- oder mehrphasigen Wicklung eines Stromrichtertransformators. Die Außenleiterklemmen dieser Wicklung sind mit den Anoden oder Kathoden eines oder mehrerer Gefäße verbunden, deren andere Elektroden (Kathoden oder Anoden) den zweiten Gleichstrompol bilden. Jeder Wicklungsstrang wird während einer Periode **n u r i n e i n e r R i c h t u n g** (**E i n w e g**) vom Strom durchflossen (vgl. Bild 2a). Mehrere Mittelpunktschaltungen verschiedener Phasenlage können über Saugdrosseln (vgl. Anhang 6, Tafel und § 36) parallel geschaltet werden.

b) **B r ü c k e n s c h a l t u n g e n** (**Z w e i w e g s c h a l t u n g e n**)⁵⁾

Die Anoden einer ersten und die Kathoden einer zweiten Gruppe des Ventilsatzes sind paarweise mit den Außenleiterklemmen der

⁴⁾ Der Begriff Mittelpunktschaltung wird hier unabhängig von der Pulszahl umfassender als in DIN-Blatt 41761 verwendet, das unter Mittelpunktschaltung (Schaltung M) nur die Zweipuls-Mittelpunktschaltung versteht, während die höherpulsigen Mittelpunktschaltungen dort als Sternschaltungen (S) bezeichnet werden.

⁵⁾ Bezeichnungen nach IEC.

gefäßseitigen Wicklung des Stromrichtertransformators verbunden. Die Gleichstrombelastung bildet eine Brücke zwischen den zusammengeschalteten Kathoden der ersten Ventilgruppe und den zusammengeschalteten Anoden der zweiten Ventilgruppe. Jeder Wicklungsstrang des Transformators wird während einer Periode *z w e i m a l* (*Z w e i w e g*) und zwar in verschiedenen Richtungen vom Strom durchflossen (vgl. Bild 2b). Die Brückenschaltungen können als Reihenschaltung von je 2 Mittelpunktschaltungen betrachtet werden.

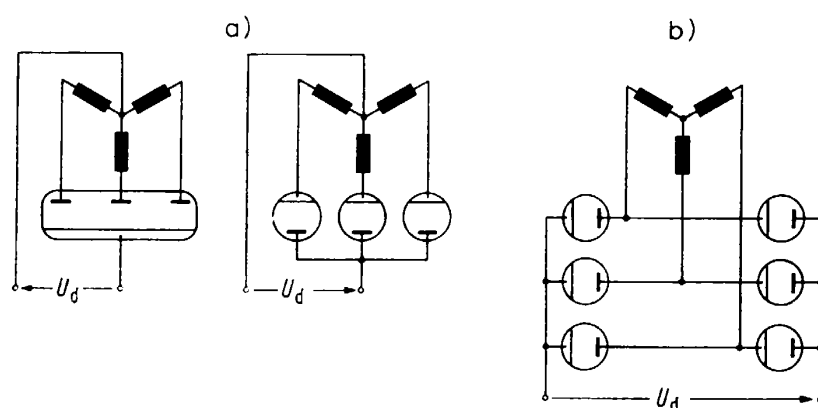


Bild 2

Stromrichtergrundsaltungen (Beispiele)

- a) Mittelpunktschaltungen (Einwegschaltungen)
- b) Brückenschaltung (Zweiwegschaltungen)

Die Tafel im Anhang 6 zeigt gebräuchliche Stromrichtergrundsaltungen.

§ 12

U m k e h r s c h a l t u n g e n

Umkehrschaltungen bestehen aus zwei gegensinnig geschalteten Stromrichtern nach § 11 und ermöglichen eine Stromumkehr auf der Gleichstromseite. Es werden unterschieden:

1. Die *K r e u z s c h a l t u n g*. Sie besteht aus zwei Stromrichtern, die gleichstromseitig gegensinnig miteinander verbunden sind (vgl. Bild 3a). Dabei sind gefäßseitig getrennte Transformatorwicklungen erforderlich.
2. Die *G e g e n p a r a l l e l s c h a l t u n g*. Sie besteht aus zwei Ventilgruppen entgegengesetzter Durchlaßrichtung, die an eine gemeinsame gefäßseitige Transformatorwicklung angeschlossen sind (vgl. Bild 3b).

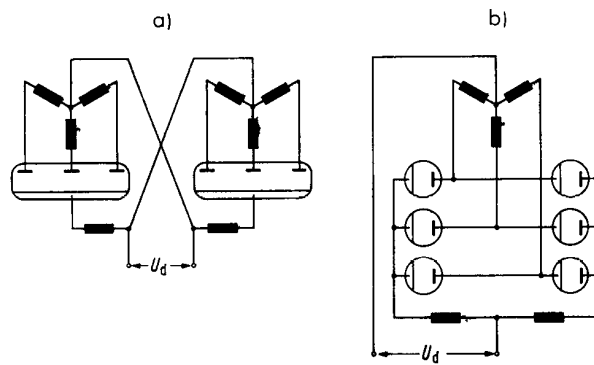


Bild 3

Umkehrschaltungen

- a) Kreuzschaltung
- b) Gegenparallelschaltung

D. Besondere elektrische Begriffe für den Stromrichterbetrieb

§ 13

K o m m u t i e r u n g

[vgl. die Bilder 4a) bis e) und 4f)]

- a) **K o m m u t i e r u n g** ist der Übergang der Stromführung von einer Ventilstrecke auf eine andere.
- b) **Ü b e r l a p p u n g** (Überlappungswinkel) u ist die in elektrischen Winkelgraden der Periode der Netzwechselspannung angegebene Zeit, in der zwei sich ablösende Ventilstrecken infolge der im Kommutierungskreis wirksamen Impedanzen gleichzeitig Strom führen.
- c) **K o m m u t i e r u n g s g r u p p e** ist eine Gruppe von Ventilstrecken mit den zugehörigen Wicklungsteilen, die unabhängig von anderen Gruppen im Zyklus kommutieren. Parallel geschaltete phasenversetzte Kommutierungsgruppen kommen z. B. in Saugdrosselschaltungen, in Reihe geschaltete bei Brückenschaltungen vor. Die Anzahl der phasenversetzten parallelarbeitenden Kommutierungsgruppen einer Stromrichterschaltung wird mit g , die Anzahl der in Reihe geschalteten phasengleichen oder phasenversetzten Kommutierungsgruppen mit s bezeichnet.
- d) **K o m m u t i e r u n g s z a h l** q ist die Anzahl der Kommutierungen, die während einer Periode in einer Kommutierungsgruppe stattfinden.

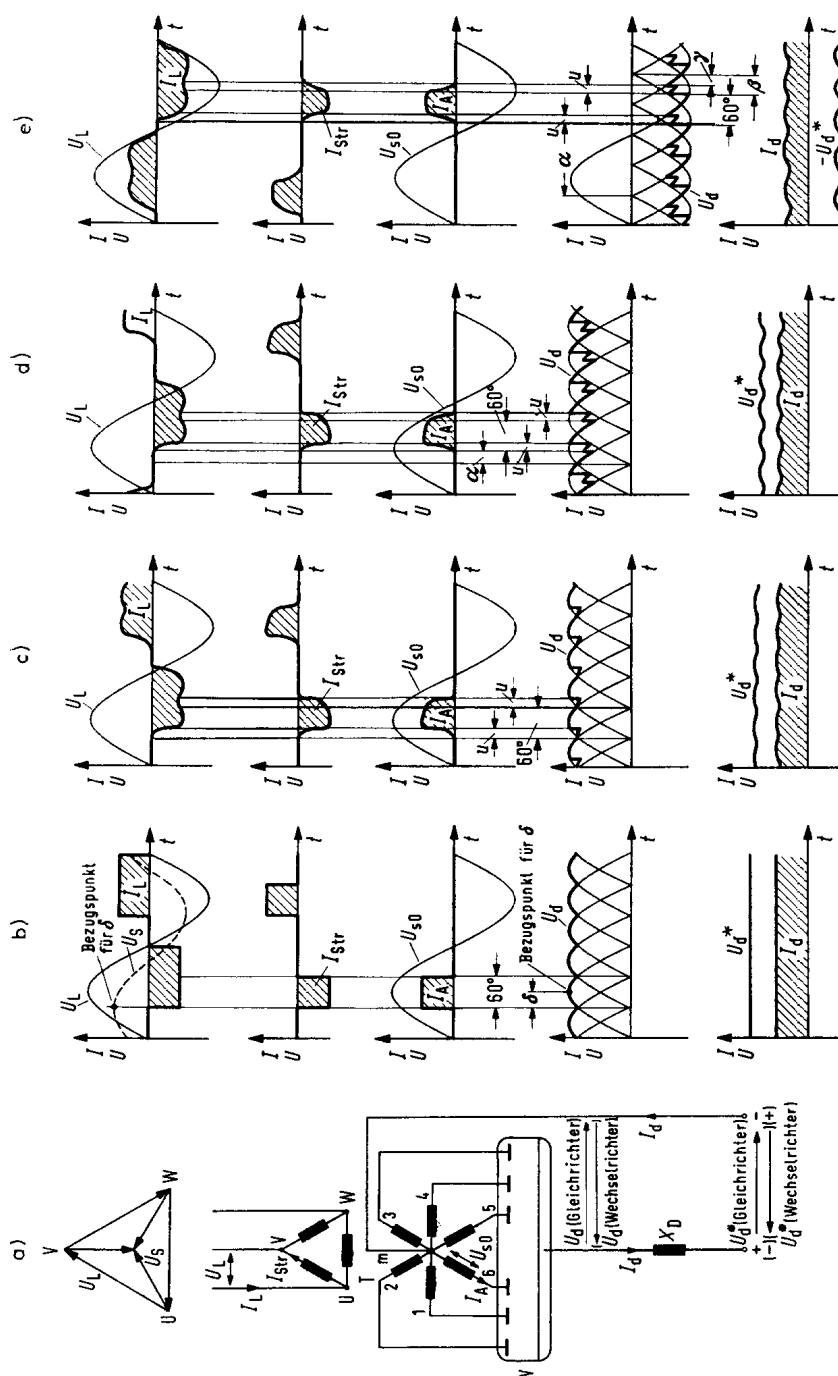


Bild 4 a) bis e)

Kurvenform von Spannung und Strom bei einem Hg-Stromrichter, Schaltung 3-M6/30

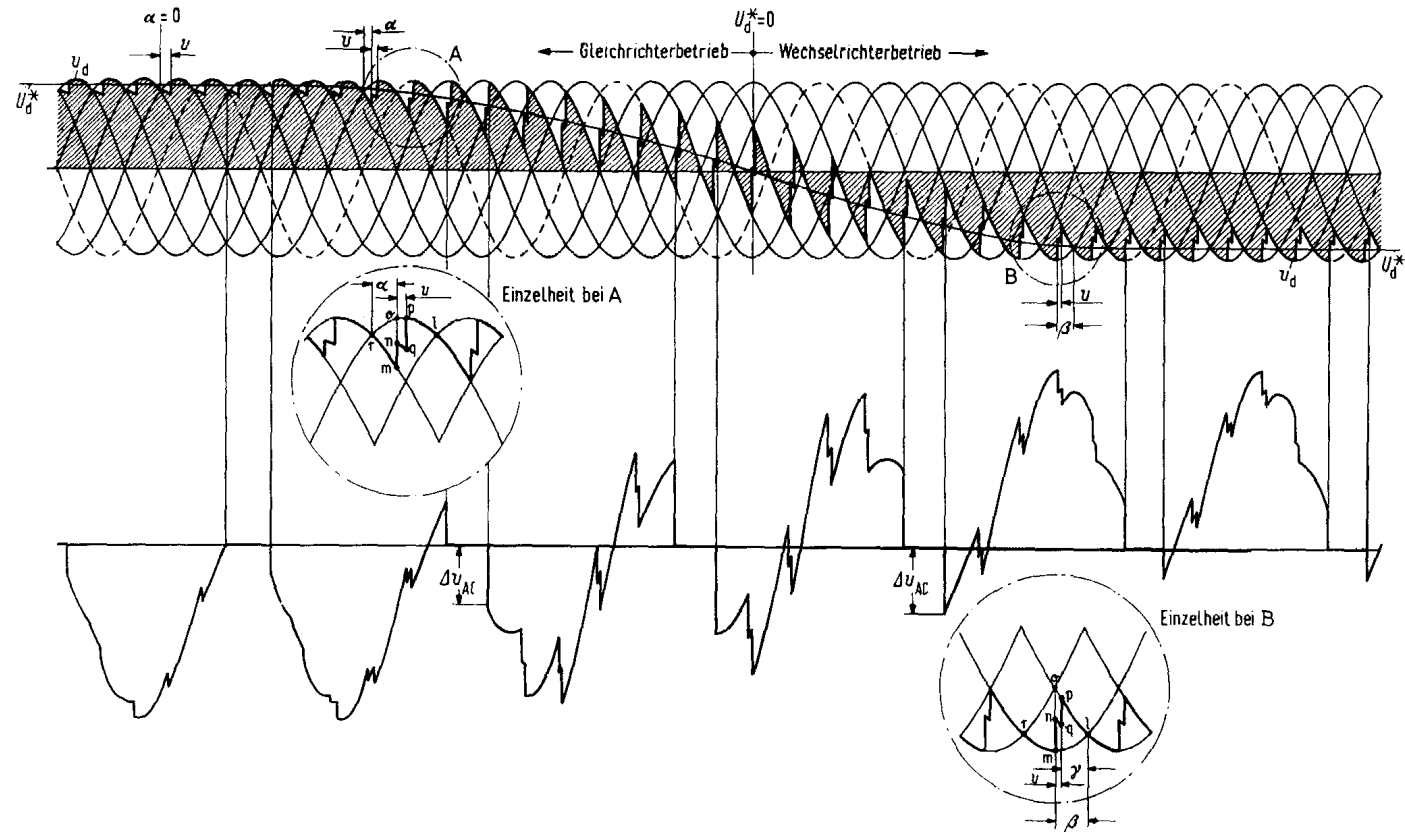


Bild 4 f)

Übergang vom Gleichrichter- zum Wechselrichterbetrieb eines sechspulsigen Stromrichters in Schaltung 3-M 6/30

- e) **Pulszahl p** ist die Gesamtzahl der nicht gleichzeitigen Kommutierungen einer Stromrichterschaltung während einer Periode des Wechselstromnetzes. Sie ist damit das Verhältnis der Grundfrequenz der der Gleichspannung überlagerten Wechselspannung (Pulsfrequenz: $p \cdot f$) zur Netzfrequenz f .
- f) **Schaltungswinkel δ** einer Stromrichterschaltung (vgl. Anhang 6, Tafel, Spalte 2) ist die geringste Nacheilung des Scheitelwertes der der Gleichspannung überlagerten Wechselspannung der Pulsfrequenz ($p \cdot f$) gegen den einer Netzsternspannung bei voller Aussteuerung und überlappungsfreiem Betrieb.

Diese Nacheilung wird positiv gerechnet.

Das Vorzeichen des Schaltungswinkels gilt für Anschluß des Transformators mit normalem Drehsinn. Bei 3phasigem Netzanschluß kehrt sich bei Änderung des Drehsinnes das Vorzeichen des Schaltungswinkels um.

Bedeutung des Schaltungswinkels: siehe § 64 und Anhang 6.

§ 14

Durchlaßzeit, Sperrzeit und damit zusammenhängende Spannungen

- a) **Durchlaßzeit** (Brennzeit) einer Ventilstrecke ist die Zeit innerhalb einer Periode, in der Strom von der Anode zur Kathode fließt.
- b) **Sperrzeit** einer Ventilstrecke ist die Zeit innerhalb einer Periode, in der sie keinen Strom führt.
- c) **Sperrzeit bei negativer Anodenspannung** einer Anode ist die Zeit innerhalb einer Periode, in der die Anode ein negatives Potential (negative Sperrspannung) gegen die Kathode hat und infolge der Ventilwirkung keinen Strom führt.
- d) **Sperrzeit bei positiver Anodenspannung** ist die Zeit innerhalb einer Periode, in der die Anode ein positives Potential (positive Sperrspannung) gegen die Kathode hat, aber durch eine Zündeinsatzsteuerung am Zünden verhindert wird.

Die Zeiten in a) bis d) werden gewöhnlich in elektrischen Winkelgraden der Periode der Netzwechselspannung angegeben.

- e) **Brennspannung U_c** (vgl. § 48) ist die Spannung zwischen Anode und Kathode während der Durchlaßzeit. Sie hängt von der Höhe und dem durch die Stromrichterschaltung sowie durch Überlappung, Gittersteuerung und Glättung des Gleichstromes bestimmten Verlauf des Anodenstromes, von der Konstruktion und von der Betriebstemperatur des Stromrichtergefäßes ab.

- f) **Scheitelwert der Sperrspannung** U_{mA} ist der höchste Wert der Spannung zwischen Anode und Kathode während der Sperrzeit ohne Berücksichtigung der im Betrieb auftretenden Überspannungen.
- g) **Sperrspannungssprung** (Sprungspannung) ist der plötzliche Anstieg der negativen Sperrspannung zwischen Anode und Kathode, der unmittelbar nach der Durchlaßzeit infolge der Überlappung und einer Zündverzögerung durch Zündeinsatzsteuerung einsetzt. Durch den Sperrspannungssprung angestoßene flüchtige, oft beträchtliche Spannungsüberhöhungen (Löschschwingungen) sind hierin nicht enthalten.

§ 15

Zündeinsatzsteuerungen

[vgl. § 13 Bild 4d), e) und Bild 4f)]

- a) **Zündeinsatzsteuerung** ist ein Verfahren, den Zeitpunkt innerhalb einer Periode, in dem die Anode den Strom übernimmt, gegenüber dem natürlichen Zündzeitpunkt zu verzögern (Anschnittsteuerung).

Der natürliche Zündzeitpunkt einer Anode ist der Augenblick, in dem ihre ansteigende positive Spannung gleich der absinkenden Spannung der im Kommutierungszyklus vorangehenden Anode wird.

Man unterscheidet folgende Zündeinsatzsteuerungen:

1. **Gittersteuerung** ist eine Zündeinsatzsteuerung mit Hilfe von Spannungen, die den Steuergittern zugeführt werden.
2. **Zündstiftsteuerung** ist eine Zündeinsatzsteuerung mit Hilfe von Stromstößen, die den Zündstiften zugeführt werden.

- b) Weitere Begriffe für Zündeinsatzsteuerungen:

1. **Steuerwinkel** α eines Stromrichters ist der in elektrischen Graden angegebene Winkel, um den der Zündzeitpunkt gegenüber dem natürlichen Zündzeitpunkt nacheilend verschoben ist.
2. **Aussteuerung** ist das Verhältnis der ideellen Leerlaufgleichspannung $U_{di\alpha}$ (s. § 19) bei einem bestimmten Steuerwinkel α zur ideellen Leerlaufgleichspannung U_{di} ohne Zündverzögerung (Aussteuerung 100 % = Vollaussteuerung, d. h. $U_{di\alpha} = U_{di}$, $\alpha = 0$).
3. **Sperrung** ist die Verhinderung des Zündens der Ventile. Sie wird bei Gefäßen mit Steuergittern erreicht, indem die Gitter während der Zeiten positiver Anodenspannung auf negativer Spannung gegenüber der Kathode gehalten werden. Bei Zündstiftgefäßen werden die Stromstöße auf die Zündstifte unterdrückt.

c) Besondere Begriffe des Wechselrichterbetriebes

1. **Voreilwinkel** (eines Wechselrichters) β ist der Winkel in elektrischen Graden, um den der Beginn der Kommutierung gegenüber dem Augenblick, in dem die beiden negativen Halbschwingungen zeitlich aufeinanderfolgender Spannungen einer Kommutierungsgruppe übereinstimmen, durch Zündeinsatzsteuerung voreilend verschoben ist.

Es ist:

$$\beta = 180^\circ - \alpha$$

2. **Löschwinkel** γ eines Wechselrichters ist der Winkel in elektrischen Graden, der vom Zeitpunkt der beendeten Kommutierung bis zum nächsten Zeitpunkt, in dem die an der Kommutierung beteiligten Spannungen gleiche Höhe haben, verbleibt.

Es ist:

$$\gamma = \beta - \mu$$

γ kann aus der Beziehung $\cos \gamma = \cos \beta + \frac{2 \cdot d_x}{100\%} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}}$ berechnet

werden, wobei d_x die gesamte induktive Gleichspannungsänderung in Prozent der ideellen Leerlaufgleichspannung U_{di} (s. § 19) bei Nennstrom I_{dN} ist.

Für einen sicheren Wechselrichterbetrieb darf der Löschwinkel γ einen von den Betriebsverhältnissen abhängigen Wert nicht unterschreiten (Kippgefahr, s. § 16).

3. **Freiwerdzeit** ist die Zeit, bei gegebener Frequenz im elektrischen Winkelmaß angegeben, die erforderlich ist, damit das Ventil nach Beendigung der Kommutierung seine volle Steuer- und Sperrfähigkeit wiedererlangt.

Der Winkel γ muß größer sein oder mindestens gleich der Summe aus der Freiwerdzeit und Zuschlägen für Schwankungen der Entionisierungszeit und für besondere vorübergehende Bedingungen, die die Kommutierung verlängern. Als solche sind z. B. größere Spannungsabsenkungen und Unsymmetrien auf der Wechselstromseite zu berücksichtigen.

4. **Übergang vom Gleichrichter- zum Wechselrichterbetrieb**

Im Bild 4 sind in a) die Unterschiede der Polarität der Gleichspannung, in d) und e) der zeitliche Verlauf der Spannungen und Ströme für gesteuerten Gleichrichter- und Wechselrichterbetrieb dargestellt.

Vorausgesetzt ist dabei, daß die Spannungen des Wechselstromnetzes symmetrisch und sinusförmig sind, der Stromrichter belastet ist und ohmsche und Ventilverluste vernachlässigt werden.

Das Bild 4f) zeigt im besonderen den kontinuierlichen Übergang vom gesteuerten Gleichrichterbetrieb zum Wechselrichterbetrieb eines sechspulsigen Stromrichters in Schaltung 3-M 6/30.

Im oberen Bild sind die Augenblickswerte u_d der wirksamen Gleichspannung und der sich einstellende Mittelwert U_d^* bei zunehmendem Steuerwinkel α des Gleichrichterbetriebes und abnehmendem Voreilwinkel β des Wechselrichterbetriebes dargestellt.

U_d^* ist durch den Linienzug r m n q p l bestimmt und ist um die Spannung, die der Spannungszeitfläche n o p q entspricht, im Gleichrichterbetrieb kleiner, im Wechselrichterbetrieb größer als die ideelle Leerlaufgleichspannung bei dem Steuerwinkel α bzw. Voreilwinkel β . Der Spannungszeitfläche n o p q entspricht die induktive Gleichspannungsänderung D_x , die gegenüber der gesteuerten ideellen Leerlaufgleichspannung im Gleichrichterbetrieb eine Absenkung der abgegebenen und im Wechselrichterbetrieb einen Anstieg der zuzuführenden Gleichspannung bedingt.

Im unteren Bild 4f) ist der Verlauf der Spannung u_{AC} an einer Ventilstrecke dargestellt und die Sprungspannung Δu_{AC} markiert.

Die Belastung des Wechselrichters kann durch Erhöhung der speisenden Gleichspannung, durch Vergrößerung des Voreilwinkels β oder durch Verringerung der gefäßseitigen Wechselspannung des Stromrichter-Transformators gesteigert werden.

§ 16

Störungen im Stromrichterbetrieb

- a) R ü c k z ü n d u n g ist das Versagen der Gleichrichterwirkung einer Ventilstrecke durch die Bildung eines Brennfleckes auf der Anode.
- b) D u r c h z ü n d u n g ist das Einsetzen des Stromes in einer Ventilstrecke in der Sperrzeit bei positiver Anodenspannung.
- c) Z ü n d v e r s a g e r ist das verspätete Einsetzen oder Ausbleiben des Stromes in einer Ventilstrecke zu einer Zeit, in der Strom fließen sollte.
- d) K i p p e n d e s W e c h s e l r i c h t e r s entsteht durch die Nichtübernahme des Stromes durch die nächste Ventilstrecke und führt zum Kurzschluß des Stromrichters.
- e) Ü b e r s p a n n u n g e n i m S t r o m r i c h t e r b e t r i e b können entstehen durch Ionenverarmung, durch Abreißen des Lichtbogens oder durch Schaltvorgänge im Netz.

E. Spannungen und Ströme in Stromrichterschaltungen

§ 17

Spannungen des Stromrichtertransformators

- a) Auf der Netzseite des Transformators: Netzseitige Leiterspannung (Speisespannung) U_L ist der Effektivwert der

Spannung zwischen den Klemmen des Stromrichtertransformators, an die die Hauptleiter des Wechselstromnetzes, ggf. unter Zwischenschaltung von Drosselspulen oder Vorschalttransformatoren angeschlossen sind.

Bei Drehstromsystemen wird die Leiterspannung auch als Dreiecksspannung bezeichnet.

b) Auf der Gefäßseite des Transformators:

1. Gefäßseitige Sternspannung U_{s0} ist die effektive Leerlaufspannung (Nennwert) zwischen einer gefäßseitigen Leiterklemme und dem vorhandenen oder gedachten Sternpunkt.
2. Gefäßseitige Leiterspannung U_{l0} ist der Effektivwert der Leerlaufspannung zwischen zwei in der Phase der Spannungen aufeinanderfolgenden gefäßseitigen Leiterklemmen.

§ 18

Übersetzung des Stromrichtertransformators

Die Übersetzung von Stromrichtertransformatoren wird angegeben:

- a) Bei Transformatoren für Mittelpunktschaltungen:

als das ungekürzte Verhältnis

$$\frac{U_L}{U_{s0}}.$$

- b) Bei Transformatoren für Brückenschaltungen:

als das ungekürzte Verhältnis

$$\frac{U_L}{U_{l0}}.$$

§ 19

Spannungen auf der Gleichstromseite des Stromrichters

- a) Gleichspannung U_d ist der arithmetische Mittelwert der Spannung zwischen den Gleichstromklemmen des Stromrichters.
- b) 1. Ideelle Leerlaufgleichspannung U_{di} des ungesteuerten Stromrichters ist ein von der Stromrichterschaltung und der gefäßseitigen Transformatorspannung U_{s0} abhängiger nach folgender Formel errechneter Wert:

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

In der Formel bedeuten:

U_{s0} Effektivwert der Sternspannung des Transformators

q Kommutierungszahl einer Kommutierungsgruppe

s Anzahl der in Reihe geschalteten Kommutierungsgruppen [vgl. § 13 c)].

Bei Mittelpunktschaltungen ist $s = 1$;

bei Brückenschaltungen ist $s = 2$;

2. Die ideale Leerlaufgleichspannung bei Zündeinsatzsteuerung mit dem Steuerwinkel α ist

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

Bei Wechselrichterbetrieb und Zündeinsatzsteuerung mit dem Voreilwinkel β ist die ideale Leerlaufspannung

$$U_{di\beta} = U_{di} \cdot \cos \beta$$

Anhang 6, Tafel „Stromrichterschaltungen“, Spalte 11 zeigt für verschiedene Stromrichterschaltungen

$$\text{das Verhältnis } \frac{U_{di}}{U_{s0}}.$$

- c) Konventionelle Leerlaufgleichspannung U_{d0} ist die Leerlaufgleichspannung, die sich bei voller Aussteuerung ($\alpha = 0$) aus den Spannungswerten für Nennstrom und $1/10$ Nennstrom bei geradlinig angenommener Stromspannungskennlinie durch den Schnitt mit der Spannungsachse ergibt:

Angenähert ist:

$$U_{d0} = U_{di} - U_C$$

(vgl. § 21 Bild 5).

Die konventionelle gesteuerte Leerlaufgleichspannung beim Steuerwinkel α eines Gleichrichters ist

$$U_{d0\alpha} = U_{di} \cdot \cos \alpha - U_C$$

Die konventionelle Leerlaufgleichspannung bei Voreilwinkel β eines Wechselrichters ist

$$U_{d0\beta} = U_{di} \cdot \cos \beta + U_C.$$

§ 20

Gleichspannungsänderung

Die Gleichspannungsänderung D in Volt (vgl. Bild 5) ist der Unterschied zwischen der konventionellen Leerlaufgleichspannung [vgl. § 19 c)] U_{d0} und der Nengleichspannung U_{dN} unter Annahme einer konstanten effektiven Wechselspannung auf der Netzseite des Stromrichters.

Die Gleichspannungsänderung d in Prozent wird in diesen Bestimmungen auf die ideale Leerlaufgleichspannung U_{di} bezogen.

$$d = \frac{D}{U_{di}} \cdot 100 \, \%.$$

Die Gleichspannungsänderung wirkt sich so aus, daß im Gleichrichterbetrieb die Gleichspannung bei Belastung kleiner als die Leerlaufgleichspannung und im Wechselrichterbetrieb die treibende Gleichspannung bei Belastung größer als die Leerlaufgleichspannung ist.

Innere Gleichspannungsänderung ist die Spannungsänderung ohne Berücksichtigung der Netzreaktanzen.

Äußere Gleichspannungsänderung ist die Spannungsänderung infolge der Netzreaktanzen.

Die gesamte Gleichspannungsänderung D setzt sich zusammen aus:

- a) der Gleichspannungsänderung D_r infolge der ohmschen Widerstände des Stromrichters („ohmsche Gleichspannungsänderung“)
- b) der Gleichspannungsänderung D_x infolge der induktiven Widerstände des Stromrichters („induktive Gleichspannungsänderung“)
- c) der Gleichspannungsänderung D_{xL} infolge der Netzreaktanzen
- d) der Änderung der Brennspannung $D_c = U_{CN} - U_{C0}$. Sie ist im allgemeinen vernachlässigbar klein.

§ 21

Ströme in Stromrichterschaltungen

a) Auf der Netzseite des Transformators:

1. Leiterstrom I_L ist der Effektivwert des Stromes in den netzseitigen Leitungen.
2. Strangstrom I_{str} ist der Effektivwert des Stromes in einem netzseitigen Wicklungsstrang.

b) Auf der Gefäßseite des Transformators:

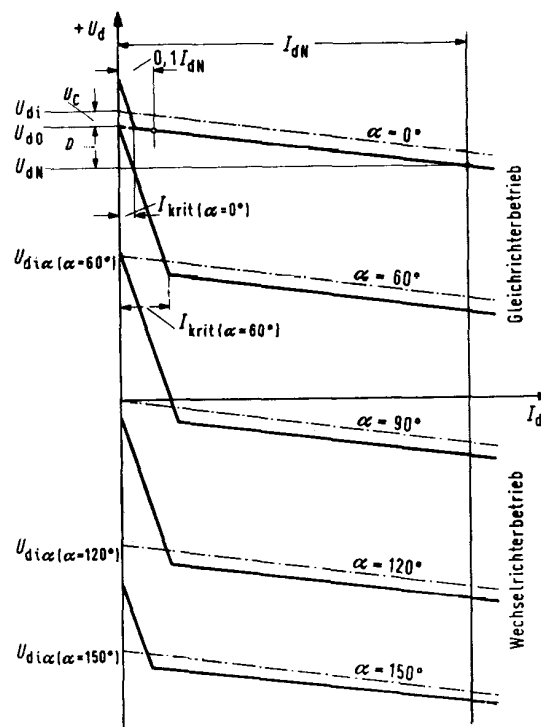
1. Leiterstrom I_l ist der Effektivwert des Stromes in den gefäßseitigen Leitungen.
2. Strangstrom I_{str} ist der Effektivwert des Stromes in einem gefäßseitigen Wicklungsstrang.
3. Anodenstrom (Ventilstrom) I_A ist der Effektivwert des Stromes einer Anode des Stromrichtergefäßes.

Bei einanodigen Gefäßen (Ventilen) wird als Gefäßstrom meist sein arithmetischer Mittelwert angegeben.

Für die Bemessung des Stromrichtertransformators sind die Effektivwerte maßgebend. Hierbei wird der theoretische Effektivwert obiger Ströme zugrunde gelegt, der sich ergibt, wenn der Gleichstrom I_d durch eine Drosselspule mit sehr großer Induktivität geglättet und alle Spannungsabfälle ohmscher und induktiver Art sowie die Magnetisierungsströme des Transformators vernachlässigt sind. Es ergibt sich dann ein rechteckiger Verlauf der Ströme, wie er in Bild 4, Spalte b für eine sechspulsige Mittelpunktschaltung dargestellt ist.

Der Gleichstrom I_d ist der arithmetische Mittelwert des Stromes auf der Gleichstromseite.

Die Leerlaufspannung bei Vollaussteuerung mit Saugdrossel erreicht den Wert, der sich nach § 19 für $q = p$ ergibt.



Stromspannungskennlinien bei Gleichrichter- und Wechselrichterbetrieb
(Doppelsternschaltung mit Saugdrossel unter Annahme eines gut
geglätteten Gleichstromes nach Bild 4)

F. Nenngrößen, Wirkungsgrad und Faktoren der Netzseite

§ 22

Nennbetrieb

Nennbetrieb des Stromrichters ist der Betrieb mit Nenngleichstrom und Nenngleichspannung, für den der Stromrichter entsprechend diesen Regeln bemessen und der auf den Leistungsschildern angegeben ist. Die hierbei auftretenden Größen werden durch die Vorsilbe „Nenn“ und bei den Buchstabensymbolen durch den Index N gekennzeichnet.

§ 23

Nenngleichspannung

- a) Nenngleichspannung U_{dN} im Gleichrichterbetrieb ist der arithmetische Mittelwert der Spannung an den Gleichstromklemmen des Stromrichters bei Nenngleichstrom I_{dN} , der Nennaussteuerung und Speisung aus einem Wechselstromnetz mit Nennspannung U_{LN} und Nennfrequenz f . Auf der Wechselstromseite ist ein starres Netz mit praktisch sinusförmiger (vgl. § 28) und symmetrischer Spannung (vgl. § 29) und Schaltung des Stromrichtertransformators auf den Hauptanschluß vorausgesetzt.
- b) Nenngleichspannung U_{dN} im Wechselrichterbetrieb ist die festgelegte höchste Gleichspannung des Wechselrichters bei Nenngleichstrom.

§ 24

Nenngleichstrom

Nenngleichstrom I_{dN} des Stromrichters ist der auf dem Leistungsschild angegebene Wert des Gleichstromes. Auf diesen Nenngleichstrom sind die Gewährleistungen und Belastungen (vgl. § 57) zu beziehen.

Gefäßnennstrom dagegen vgl. § 33 „Gefäßnennstrom und Belastbarkeit“.

§ 25

Nennleistung

Nennleistung P_{dN} des Stromrichters ist das Produkt aus Nenngleichstrom und Nenngleichspannung [vgl. § 38 a)].

§ 26

Wirkungsgrad

Wirkungsgrad η eines Stromrichters ist das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur Summe aus abgegebener Leistung und Einzelverlusten des Stromrichters (vgl. §§ 58 bis 60). Er wird in Prozenten angegeben.

§ 27

Faktoren der Netzseite

- a) **Leistungsfaktor** λ des Stromrichters ist das Verhältnis von Wirkleistung zur Scheinleistung auf der Netzseite.

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

- b) **Verschiebungsfaktor** $\cos \varphi$ ist das Verhältnis von Wirkleistung der Grundschiwingung zur Scheinleistung der Grundschiwingung des Netzstromes

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

Hierbei ist φ die Phasenverschiebung zwischen der Grundschiwingung des Netzstromes und der Grundschiwingung der Netzspannung.

- c) **Grundschiwingungsgehalt** v des Netzstromes ist das Verhältnis des Effektivwertes der Grundschiwingung des Netzstromes zum Effektivwert des wirklichen Netzstromes:

$$v = \frac{I_{L1}}{I_L}.$$

Bei sinusförmiger Netzspannung gilt

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

v wird noch häufig als **Verzerrungsfaktor** bezeichnet.

§ 28

Sinusform der Netzspannung

Für die Berechnung der Strom und Spannungsverhältnisse der Stromrichter und der damit verbundenen Größen ist eine sinusförmige Netzspannung vorausgesetzt.

Eine Spannungskurve gilt für den Stromrichterbetrieb als praktisch sinusförmig, wenn bei nicht eingeschaltetem Stromrichter keiner

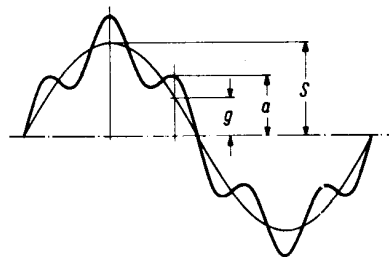


Bild 6

Sinusform der Netzspannung