

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 53 (1962)
Heft: 4

Artikel: Silizium-Leistungs-Gleichrichter
Autor: Doser, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916910>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

grösseren Arbeitswiderständen, insbesondere bei höheren Kollektorgleichströmen, die Nichtlinearitäten von $c_{cb'}$, $g_{cb'}$ und k_v nicht mehr vernachlässigt werden. Es bestehen keine grundsätzlichen Schwierigkeiten, auch diese nach dem beschriebenen Rechenverfahren zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] Zawels, J.: Base-Width Modulation and the High-Frequency Equivalent Circuit of Junction Transistors. Trans. IRE on Electron Devices ED-4(1957)1, S. 17...22.
- [2] Zawels, J.: Physical Theory of New Circuit Representation for Junction Transistors. J. appl. Phys. 25(1954)8, S. 976...981.
- [3] Benz, W.: Über Ersatzschaltbilder für den als linearer Verstärker betriebenen Transistor. Elektron. Rdsch. 14(1960)1, S. 5...9; 2, S. 59...64.

- [4] Benz, W.: Die für die Übertragungstechnik charakteristischen Eigenschaften des Transistors und deren Verknüpfung. Frequenz 15(1961)1, S. 17...29.
- [5] Feldtkeller, R. und W. Wolman: Fastlineare Netzwerke. Telegr.- und Fernsprechtechn. 20(1931)6, S. 167...171; 8, S. 242...248.
- [6] Akgün, M. und M. J. O. Strutt: Nichtlineare Verzerrung einschliesslich Kreuzmodulation in Hochfrequenz-Transistorstufen. AEU 13(1959)6, S. 227...242.
- [7] Vogel, J. S. und M. J. O. Strutt: Berechnung der Verzerrungs- und Störeffekte bei Transistor-Verstärkerstufen auf Grund des Ersatzschaltbildes. AEU 14(1960)9, S. 397...404.
- [8] Meyer-Brötz, G. und K. Felle: Die nichtlinearen Verzerrungen im Transistorverstärker. Elektron. Rdsch. 11(1957)10, S. 297...301.
- [9] Meyer, N. I.: Non-linear Distortion and Small-Signal Parameters of Alloyed Junction Transistors. Kopenhagen: Danish Science Press Ltd. 1960.

Adresse des Autors:

W. Bitzer, Dipl.-Ingenieur, Telefunken GmbH, Backnang (Deutschland).

Silizium-Leistungs-Gleichrichter ¹⁾

Von E. Doser, Baden

621.382.2 : 669.782

Es wird das Prinzip und die Wirkungsweise von Si-Leistungsdioden kurz erläutert, worauf etwas näher auf die speziellen Probleme der Fabrikation und der Prüfung der Brown-Boveri Si-Dioden DS 200 eingegangen wird.

Après une brève description du principe et du fonctionnement des diodes de puissance au silicium, l'auteur traite un peu plus en détail des problèmes de fabrication et d'essai des diodes au silicium DS 200 de la S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden.

In der Annahme, dass die Wirkungsweise eines einfachen p-n-Überganges allgemein bekannt ist, soll darauf nur ganz kurz eingegangen werden. Für die Hochleistungsdioden wie für alle anderen Halbleiter-elemente sollte nur Grundmaterial verwendet werden, dessen chemischer und physikalischer Zustand wohldefiniert ist. Es kommt daher nur einkristallines Material von grösster Reinheit bzw. bestimmter Dotierung mit Fremdatomen in Frage. Für die Si-Dioden benötigt man ein Ausgangsmaterial mit einem spezifischen Widerstand von etwa 1000 Ωcm und das entspricht einem Verschmutzungsanteil von höchstens 1 Millionstel Promille. In Halbleitern gibt es Elektronen- und Löcherleitung, d. h. nicht nur die von den Atomen abgespaltenen Elektronen sondern auch die verbleibenden Lücken kommen als Ladungsträger für den Stromtransport in Frage. Dieser Umstand ist für die Erzeugung unsymmetrischer Leitungseffekte wesentlich. Elektronen- bzw. Löcherleitung lässt sich durch den Einbau von Donator- bzw. Akzeptoratomen (das sind Atome, die ein Valenzelektron mehr bzw. weniger als die Wirtsgitteratome enthalten), bewusst steuern. Bei Si kommen als Donatoren Antimon, Arsen, Phosphor als Akzeptoren Bor, Aluminium, Gallium in Frage. Findet nun innerhalb ein und desselben Einkristalls ein steiler Übergang von n- zu p-leitendem Material statt, so stellt dies einen sog. p-n-Übergang dar. Fig. 1a zeigt einen solchen Übergang im stromlosen Zustand. Legt man nun an einen p-n-Übergang eine Spannung, so kommt eine Gleichrichterwirkung zustande. In Fig. 1c ist der Kristall in Durchflussrichtung gepolt, d. h. die positive Elektrode befindet sich am p-Gebiet, die negative am n-Gebiet. Was grob gesagt zur Folge hat, dass die Ladungsträger von ihren gleichpoligen Elektroden weg gegen die Mitte hin getrieben werden. Nirgends herrscht Ladungsträgermangel, die Diode ist leitend und ihre Kennlinie ist im wesentlichen durch den sog. Bahnwiderstand, d. h. durch den Widerstand des n- bzw. p-leitenden Kristallteils bestimmt. Polt man den Kristall dagegen in umgekehrter Richtung (Fig. 1b), so werden die Ladungsträger

entsprechend ihrem Vorzeichen aus der Mittelzone weg gegen die Elektroden hin verweht, das Gebiet des p-n-Überganges verarmt an Ladungsträgern, der Widerstand steigt entsprechend, die Diode sperrt. Der absoluten Sperrung wirkt nun allerdings die Elektronen-Loch-Paar-Erzeugung im Übergangsbereich entgegen. Die Paarerzeugungsrate schwankt von Material zu Material und steigt für ein bestimmtes Material mit der Temperatur exponentiell an. Für Germanium z. B. ist sie bei gegebener Temperatur wesentlich grösser als für Si, entsprechend grösser ist in Ge der Sperrstrom. Als zweiten Parameter, der neben dem Sperrstrom das Sperrverhalten einer Diode charakterisiert, muss noch die sog. Sperrspannung erwähnt werden. Vergrössert man nämlich die Spannung in der Sperrrichtung, so steigt der Sperrstrom plötzlich stark an, was durch Feld- und Lawineneffekte in der Übergangszone be-

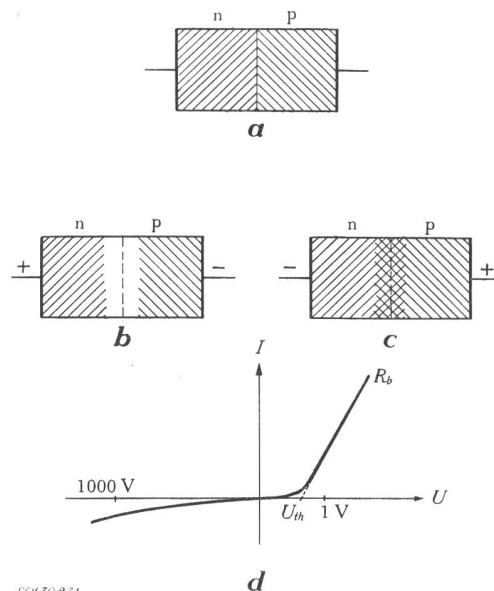


Fig. 1

Schematisch dargestellte Wirkungsweise eines p-n-Gleichrichters a ohne angelegte Spannung; b in Sperrichtung gepolt; c in Flussrichtung gepolt; d zugehörige Stromspannungscharakteristik R_b Bahnwiderstand; U_{th} Schliessenspannung

¹⁾ Vortrag, gehalten an der Elektronik-Tagung im Rahmen der Schweiz. Ausstellung für Fernsehen, Elektronik, Radio/Phono am 1. September 1961 in Zürich.

wirkt wird. Diese kritische Feldstärke, oberhalb derer Instabilität auftritt, liegt bei Si zwischen 300 und 500 kV/cm. Da bei Hochleistungsdioden eine hohe Sperrspannung entscheidend ist, muss die Übergangszone möglichst verbreitert werden. Dazu gibt es im wesentlichen zwei Methoden. Die erste ist, das Material hochohmig zu machen, was aber den Bahnwiderstand erhöht und damit die Flussrichtung charakteristik verschlechtert. Die zweite Methode ist die eines sog. p-s-n-Überganges. Darauf soll etwas näher eingegangen werden. Eine schematische Darstellung eines solchen Überganges zeigt Fig. 2. Das Wesentliche dabei ist, dass hier zwischen den beiden hochdotierten p- und n-Zonen eine dritte breite ladungsträgerarme Zone vorhanden ist. In diesem Beispiel handelt es sich um schwach p-leitendes Material. In der Sperrichtung (Fig. 2b) kommt die bereits besprochene Trägerverwehung zustande. Nur ist jetzt, im Gegensatz zum einfachen p-n-Übergang das trägerverarmte Gebiet wesentlich breiter und die Sperrspannung entsprechend höher. In der Flussrichtung (Fig. 2c) dagegen kann sich die schwach dotierte Zone nicht nachteilig auswirken, da sie von beiden Seiten vollkommen mit Ladungsträgern zugeweht wird. Man hat also beim p-s-n-Übergang in Sperrichtung den Vorteil einer breiten Sperrzone mit entsprechend hoher Sperrspannung ohne in Flussrichtung einen hohen Bahnwiderstand in Kauf nehmen zu müssen.

Bevor die Details der Diodenkonstruktion besprochen werden, soll noch kurz auf den sog. «Hole-storage-effect» eingetreten werden, der übrigens allen p-n-Übergängen eigen ist. Darunter versteht man folgende Erscheinung (Fig. 3):

Nach einem raschen Umpolen von Fluss- in Sperrichtung (Fig. 3b) fließt zuerst ein Strom, der wesentlich grösser ist, als der Sperrstrom. Bedingt ist dieser Überstrom durch den Abbau der Ladungsträgerwolke

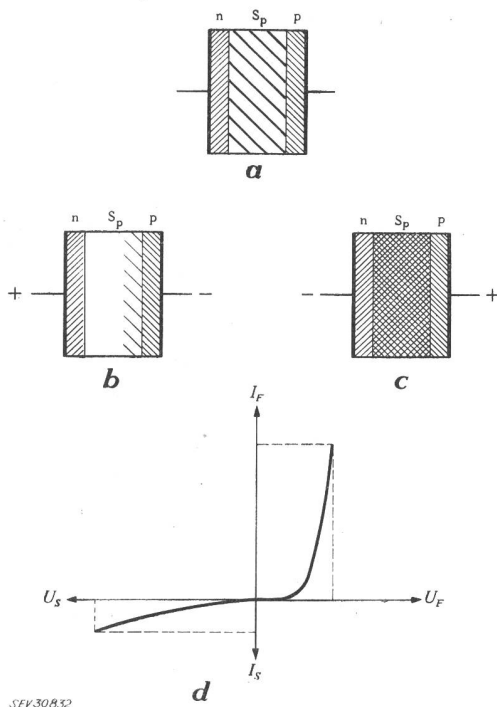


Fig. 2

Schematische Wirkungsweise eines p-s-n-Überganges
 a ohne angelegte Spannung; b in Sperrichtung gepolt; c in Flussrichtung gepolt; d Stromspannungscharakteristik
 I_F Flußstrom; I_S Sperrstrom; U_F Flußspannung; U_S Sperrspannung

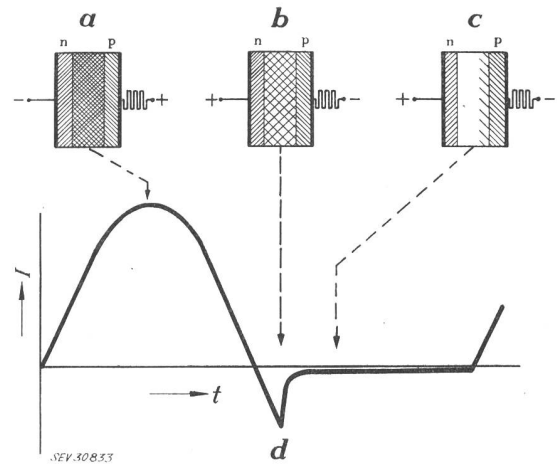


Fig. 3

Prinzip des «Hole-storage-Effektes»
 a Diode in Flussrichtung; b Zeitmoment nach dem Umpolen von Fluss- in Sperrrichtung; c Diode in Sperrrichtung; d Stromverlauf I in Funktion der Zeit t

im Übergangsbereich, was mit der Entladung eines Kondensators vergleichbar ist. Bei der Konstruktion von Gleichrichteranlagen ist auf diesen Effekt Rücksicht zu nehmen, da naturgemäss die Dauer dieses Überstromes und die durch dessen rasches Abreissen verursachten Überspannungen, die für die Diode gefährlich werden können, vom äusseren Schaltkreis des Gleichrichters abhängen. Durch geeignete Massnahmen können diese Überspannungen auf ungefährliche Werte reduziert werden.

Fig. 4 zeigt nun den prinzipiellen Aufbau einer Leistungsdiode. In der Mitte befindet sich der aktive Teil, das Si-Plättchen. Die dunkel schraffierten Randzonen sind die durch thermische Prozesse hochdotierten p- bzw. n-Gebiete. Eine der kritischsten Stellen einer solchen Diode ist das Gebiet, wo der p-n-Übergang an die Oberfläche tritt. Durch Ätzen und anschliessendes Oxydieren kann jedoch der Oberfläche, die für den Betrieb bei hohen Sperrspannungen notwendige Reinheit und Stabilität gegeben werden.

Ein besonderes Problem bilden die Lötstellen L , da an die Lote verschiedenste, in der Praxis schwer zu vereinende Forderungen bezüglich Duktilität, Schmelzpunkt und Löslichkeit anderer Metalle gestellt werden. Man verwendet deshalb verschiedenste Speziallote. Ein anderes wichtiges Problem ist es, die im aktiven Teil entstehende Wärme wegzuleiten, wird doch zum Beispiel bei einer Diode im aktiven Volumen von nur $2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$ bei 200 A Gleichstrombelastung eine mittlere Verlustleistung von etwa 240 W erzeugt, was einer

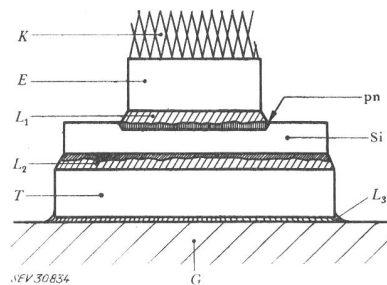


Fig. 4

Schnittskizze eines Silizium-Leistungs-Gleichrichterelementes
 L_1, L_2, L_3 Lötstellen; T Trägerplatte; G Gehäuseboden; K Kupferlötze; E Elektrodenanschluss

Wärmeleistung von 12 kW/cm^3 entspricht. Ein grosser Vorteil der Si-Dioden ist es nun, dass deren Arbeitstemperatur, am Kristallplättchen gemessen, über 120°C betragen kann. Erst oberhalb etwa 140°C werden die Sperrverluste und damit die Verschlechterung der Sperrcharakteristik wesentlich. Diese hohe Arbeitstemperatur ermöglicht es, in der Praxis für die Abführung der Verlustwärme Luftkühlung zu verwenden, vorausgesetzt, dass die Dioden auch in entsprechend günstig ausgebildete Kühlblöcke eingeschraubt werden.

Das Ziel der von Brown Boveri durchgeführten Entwicklung war eine Diode mit einem Gleichstrommittelwert von 200 A und einer Nennspannung von 600 V . Dieses Ziel wurde in der DS 200 erreicht. Die 600 V Be-

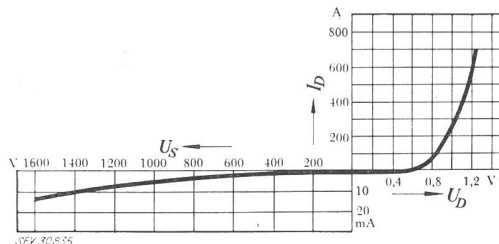


Fig. 5

Strom-Spannungs-Kennlinie der Diode DS 200
 U_S Sperrspannung; U_D Durchlaßspannung; I_D Durchlaßstrom

triebsspannung verlangen eine Sperrspannung von mindestens 1000 V , um die im Betrieb auftretenden Überspannungen schaltungstechnisch beherrschen zu können. Bei der DS 200 gelang es durch Verfeinerung der Methoden und sauberste Fabrikation die Prüfsperrspannung auf 1400 V zu erhöhen, was grösste Betriebssicherheit bedeutet. Fig. 5 zeigt eine typische Kennlinie dieser Diode. Rechts ist das Durchflussrichtungs-, links das Sperrrichtungs-Verhalten dargestellt. Im Leerlauf wird mit 1600 V Sperrspannung geprüft.

Bei der Fabrikation von Leistungsdioden ist während der Herstellung bei fast jedem Prozess die Möglichkeit einer Verschlechterung der Kennlinie gegeben. Aus diesem Grunde wird jede Diode während ihrer Herstellung mehrmals geprüft. In den frühen Stadien des Herstellungsprozesses geschieht dies im Leerlauf, vor der eigentlichen Verkapselung wird noch die Lastabhängigkeit des Sperrstromes gemessen.

Nach endgültiger Fertigstellung der Dioden wird jede einzelne einer eingehenden Ausgangsprüfung unterzogen. Dienten die laufenden Kontrollen während der Fabrikation vor allem internen Zwecken, wie Lokalisierung von Fehlerquellen und Einsparungen durch sofortige Ausmerzungen ungenügender Elemente, so ist es Sinn und Zweck der Ausgangsprüfung, Gewissheit zu erhalten, dass nur einwandfreies Material das Werk verlässt.

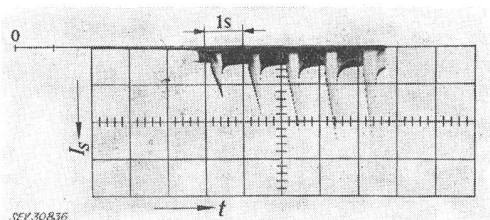


Fig. 6

Oszillogramm der Impulsprüfung einer Silizium-Diode
 I_S Sperrstrom; t Zeit

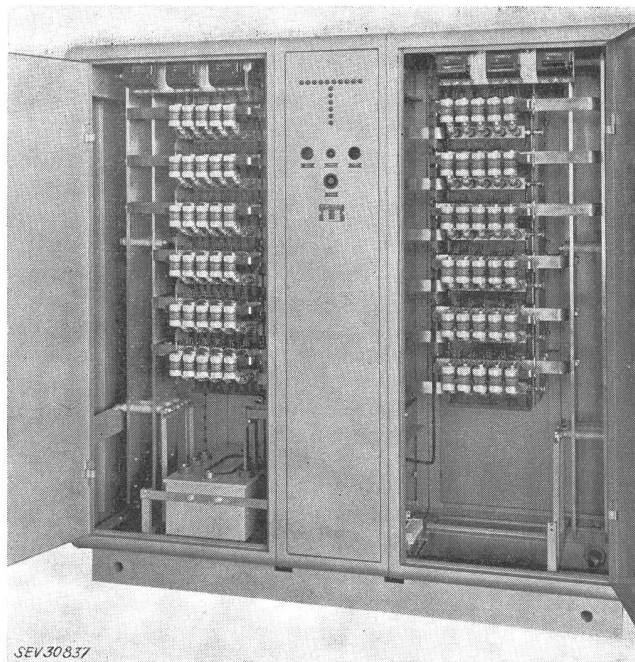


Fig. 7

Gleichrichterschrank

Neben den Masskontrollen setzt sich das Serienprüfprogramm aus folgenden Einzelprüfungen zusammen:

1. Messung der Sperrkennlinie im Leerlauf, bei Normlast und bei 50-%iger Überlast. Die Gehäusetemperatur wird dabei auf 110°C gehalten.

2. Die Stabilität der Diode wird mittels Impulsprüfung kontrolliert. Dabei wird jede Diode mit einer Impulsfolge von 15 Impulsen 5 mal beansprucht. Die Einzelimpulse sind Halbwellen von 10 ms Basisdauer und 3000 A Scheitelwert. Zwischen je 2 Impulsen liegt eine Pause von ebenfalls 10 ms . Die Pause zwischen den Impulsfolgen beträgt 1 s . Nach jedem Einzelimpuls wird der Sperrstrom bei einem Sperrspannungsscheitelwert von 1400 V gemessen. Fig. 6 zeigt das Oszillogramm einer solchen Impulsprüfung. Aufgezeichnet sind die Sperrströme I_S in Funktion der Zeit. Wie aus dem Oszillogramm hervorgeht, steigt der Strom innerhalb einer Impulsfolge infolge der Erwärmung ganz

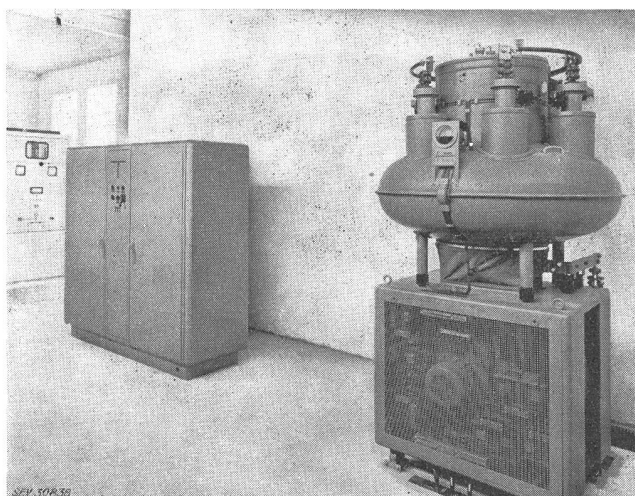


Fig. 8

Silizium- und Quecksilberdampf-Gleichrichter im Parallelbetrieb
 (je für 1250 bzw. 1000 A , 825 V)

wesentlich an, um dann aber in der I-s-Pause wieder beinahe auf seinen ursprünglichen Wert zu sinken.

Anschliessend an diese Impulsprüfung folgt eine Nachkontrolle der Durchlass- und Sperrcharakteristik. Dabei darf gegenüber der am Anfang des Prüfprogrammes stehenden identischen Messung keine Veränderung auftreten. Die Impulsprüfung mit Nachkontrolle erlaubt es, Dioden mit kleinsten Fehlern und Inhomogenitäten festzustellen und auszuscheiden.

Neben der Serienprüfung, der jede Diode unterworfen wird, werden einzelne Dioden der Produktion als Muster entnommen und einem Dauerversuch von 15 h bei einer strom- und spannungsmässigen Überlast von je 25 % unterzogen. Die Kühlung wird so eingestellt, dass sich eine Gehäusetemperatur von 120 °C ergibt gegenüber einer vorgeschriebenen maximalen Betriebstemperatur von 110 °C. Vor und nach diesem Dauerversuch werden zu Vergleichszwecken Durchlass- und Sperrkennlinien in üblicher Weise aufgenommen.

Der Einsatz der Si-Dioden erfolgt naturgemäss überall dort, wo Gleichstrom in grösseren Mengen benötigt wird. Dies ist der Fall bei Strassenbahnunternehmungen und insbesondere bei chemisch-metallurgischen Betrieben mit Elektrolyseanlagen. Vor allem bei Elektro-

lyseanlagen überwiegen Betriebe mit einem Gleichstrombedarf von 20 000...100 000 oder mehr A. Zur Installation von Dioden wurden bei Brown Boveri Metall-schränke entwickelt, aus denen sich Gleichrichterschränke verschiedenster Zusammensetzung und Grösse zusammenstellen lassen. Es sind dabei nur 2 Grundelemente vorhanden. Das eine enthält die Stromzuführungen und Sammelschienen der Wechselstromseite plus Schaltapparate, das andere den 36 Dioden enthaltenden Gleichrichterblock und die gleichstromseitigen Sammelschienen.

Fig. 7 zeigt einen Gleichrichterschränk von vorne mit geöffneten Türen. Links und rechts sind die speziell für diesen Zweck entwickelten, überflinken Schmelzsicherungen als Zylinder deutlich erkennbar. Hinter jeder Sicherung befindet sich je eine Diode.

Naturgemäss werden oft Quecksilberdampfgleichrichter durch moderne Si-Gleichrichteranlagen ersetzt. Geschieht dies stufenweise, was technisch sehr wohl möglich ist, so hat man das neue und das alte Modell oft direkt nebeneinander, wie dies Fig. 8 zeigt. Beide Apparate sind für ungefähr dieselbe Leistung ausgelegt.

Adresse des Autors:

E. Doser, dipl. Physiker, AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Systeme für Grenzwerte von Elektronenröhren und Halbleitern

Publikation 134 der CEI

621.385 "4.017" + 621.382 "4.017"

1. Einleitung

Die CEI (Commission Electrotechnique Internationale) hat die allgemeine Aufgabe, internationale Normen auf dem Gebiet der Elektrotechnik aufzustellen. Diese Normen sind grundsätzlich verschiedener Natur. Einmal kann es sich um Empfehlungen handeln, die vor allem die Sicherheit der Benutzer elektrischer Apparate, Maschinen und Geräte betrifft. Zum andern gibt es Normen, die allgemeiner Natur sind und vor allem der Vereinheitlichung der Geräte, Maschinen usw. dienen; hiezu gehören auch grundlegende Normen, etwa über Buchstabensymbole oder Definitionen, die indirekt auch der Vereinheitlichung dienen.

Die dritte Art von Normen, die vor allem für das Gebiet der Bauelemente erstellt werden, dient in erster Linie der Erleichterung des technisch-kommerziellen Verkehrs zwischen Bauelementefabrikanten und Bauelementeverbrauchern. Zu den wichtigsten elektronischen Bauelementen gehören heute die Elektronenröhren und die Halbleiterbauelemente (Transistoren, Dioden usw.). Diese Bauelemente waren früher in erster Linie für die HF-Technik und die Telefonie von Bedeutung, sind aber in den letzten Jahren in steigendem Masse für das ganze Gebiet der Elektrotechnik überhaupt immer wichtiger geworden; man denke etwa nur an die stets grösser werdende Zahl von Anwendungen auf dem Gebiet der Regelungstechnik. Mit der Normung dieser wichtigen Bauelemente beschäftigen sich heute zwei Studienkomitees der CEI. Das CE 39 behandelt die Elektronenröhren, während das CE 47 für die Halbleiterbauelemente zuständig ist. Bis zum Jahre 1957 existierte nur ein einziges Comité d'Etudes (CE 39), das ursprünglich verständlicherweise nur das Gebiet der Elektronenröhren zu bearbeiten hatte; denn die Halbleiterbauelemente sind ja erst mit der Erfindung des Transistors im Jahre 1948 und vor allem mit der zunehmenden Fabrikation und Anwendung von Flächentransistoren in den folgenden Jahren so sehr wichtig geworden.

So wurden dann innerhalb der CEI die Halbleiterbauelemente zunächst dem damaligen CE 39 zur Bearbeitung zugewiesen. Im Jahre 1957 wurde anlässlich der Zusammenkunft des CE 39 in Zürich die Gründung zweier Unterkomitees beschlossen, nämlich des neuen SC 39-1 für Elektronenröhren und des neuen SC 39-2 für die Halbleiterbauelemente. In der Folge zeigte es sich, dass die Bedeutung beider Gebiete die Bildung eigener Studienkomitees

rechtfertigte. So beschloss das Comité d'Action der CEI (an der Plenar-Versammlung in Neu-Delhi 1960) die Bildung zweier neuer Comités d'Etudes. Heute ist das CE 39 für das Gebiet der Elektronenröhren, das CE 47 für dasjenige der Halbleiterbauelemente zuständig.

Die Publikation 134 der CEI geht nun auf einen Beschluss des alten CE 39 aus dem Jahre 1957 zurück. In Zürich wurde damals beschlossen, ein solches Dokument zu schaffen. Mit der Ausarbeitung wurde das amerikanische Nationalkomitee der CEI beauftragt, auf dessen Initiative übrigens auch der erwähnte Beschluss zurückgeht. Der vorliegende Text stimmt daher weitgehend mit den entsprechenden amerikanischen Normen überein, wie sie vom JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council), der NEMA (National Electrical Manufacturers Association) und der EIA (Electronic Industries Association) festgelegt wurden.

Da nur wenig kontroverse Punkte bestanden, war es möglich, die Publikation schon 3½ Jahre später im Druck erscheinen zu lassen. Das CES (bzw. seine FK 39 und 47) hat der Publikation seinerzeit vorbehaltlos zugestimmt.

2. Zweck und Bedeutung der Publikation 134

Die Publikation 134 befasst sich mit der wichtigen Frage, welche Möglichkeiten bei der Festlegung der Grenzwerte von Elektronenröhren und Halbleiterbauelementen in Frage kommen. Grundsätzlich wird zwischen drei verschiedenen Systemen unterschieden.

a) Das «Absolute Maximum Rating System» (System der absoluten Grenzwerte). Hier werden für das in Frage stehende Bauelement absolute Grenzwerte angegeben, d. h. Grenzwerte, die in keinem Fall überschritten werden dürfen.

Der Anwender muss also selber darauf achten, dass diese Grenzwerte unter keinen, wie auch immer gearteten Betriebsbedingungen erreicht oder gar überschritten werden. (Meist wird er natürlich noch eine gewisse Sicherheitsmarge vorsehen.) Er muss also berücksichtigen, welchen Einfluss sowohl die Toleranzen des Bauelementes selber wie auch diejenigen der übrigen Bauelemente, die Speisespannungsschwankungen, die Umgebungstemperaturschwankungen usw. auf die Belastung des betreffenden Bauelementes haben können.