Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 52 (1961)

Heft: 21

Artikel: Vergleichende Betrachtungen über verschiedene Halbleiter-Gleichrichterzellen

Autor: Flückiger, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916879

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

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

Vergleichende Betrachtungen über verschiedene Halbleiter-Gleichrichterzellen

Von *H. Flückiger*, Bern

621.314.63 : 621.382.2/.3

Eine Anzahl verschiedener Halbleiter-Gleichrichterzellen sind heute auf dem Markt erhältlich. Die Wahl des zweckentsprechenden Halbleiters stösst gelegentlich auf Schwierigkeiten. Die anschliessende Betrachtung soll als Richtlinie für die Wahl des richtigen Bauelementes dienen. Nach der geschichtlichen Übersicht folgen die Kurzbeschreibungen von Kupferoxydul-, Selen-, Germanium- und Silizium-Gleichrichterzellen. Ferner werden die Durchlass- und Sperrkennlinien, die Sperrschichttemperatur sowie die Serie- und Parallelschaltung von Halbleiter-Gleichrichterzellen einer Kurzbetrachtung unterzogen. Vervollständigt wird der Aufsatz durch die Behandlung des Überspannungsschutzes.

Un certain nombre de cellules redressantes semiconductrices se trouvent actuellement sur le marché. Il arrive fréquemment que le choix du genre de semiconducteur présente certaines difficultés. Cette étude comparative est une directive qui facilitera la détermination de l'élément destiné à un but précis. Un historique et une briève orientation introduisant les cellules redressantes au Cuivre-Oxyde de cuivre, Sélénium, Germanium et Silicium. L'article se poursuit par une description des courbes en sens direct du courant et en inverse, des températures de la couche d'arrêt ainsi que du montage en parallèle et en série des cellules semiconductrices. La protection contre les surtensions est traitée heureusement dans cette étude.

1. Einleitung

Das Anwendungsgebiet von Halbleiter-Gleichrichterzellen und Geräten ist heute weitreichend und wird sich in Zukunft immer weiter ausbreiten. Die erste brauchbare Halbleiterzelle wurde 1920 in Amerika hergestellt. Es war eine Kupferoxydulzelle. Diese Zellenart wird heute noch in verbesserter Form gebaut und beispielsweise als Messgleichrichter in Drehspul-Instrumenten oder als Ringmodulator bei der Trägerfrequenztelephonie in grossen Mengen verwendet.

1933 kamen die ersten brauchbaren Selenzellen auf den Markt, welche in den folgenden Jahren immer mehr vergütet wurden und heute so weit entwickelt sind, dass sie bei fachmännischer Anwendung eine sehr lange Lebensdauer gewährleisten.

In den Nachkriegsjahren hörte man erstmals von Germanium- und Silizium-Gleichrichterzellen für mittlere und grosse Leistungen. Diese Gleichrichter werden die konventionellen rotierenden Gleichstromumformer und Quecksilbergleichrichter immer mehr verdrängen und sind heute vom Markt nicht mehr wegzudenken.

2. Die Kupferoxydul-Gleichrichterzelle

Eine Kupferscheibe wird an der Luft oder noch besser im Sauerstoff oxydiert. Anschliessend wird das an der Oberfläche noch anhaftende Kupferoxyd, das ein schlechter Leiter ist, vorsichtig entfernt, so dass man eine Kupferoxydulschicht erhält. Die Gegenelektrode auf der Oxydulschicht wird durch Reduktion des Kupferoxyduls zu einer dünnen Schicht metallischem Kupfer, oder durch Aufdampfen einer Metallschicht gebildet. Zwischen dem Kupferoxydul und dem Basiskupfer befindet sich die sog. Sperrschicht. Da diese Gleichrichterzellen in der Sperrichtung und der Durchlassrichtung sehr stabil sind, werden sie sehr häufig als Messgleichrichter bei Drehspulinstrumenten, als Ringmodulatoren bei der Trägerfrequenztelephonie

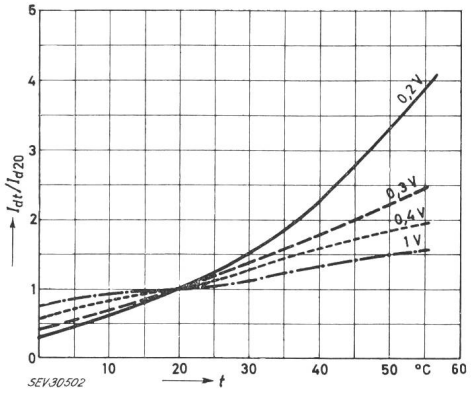

Fig. 2
Temperaturverhalten des Durchlaßstromes einer Kupferoxydulzelle

$I_{dt}/I_{d20} = \frac{\text{Durchlaßstrom bei beliebiger Temperatur}}{\text{Durchlaßstrom bei 20 °C}}$; t Temperatur

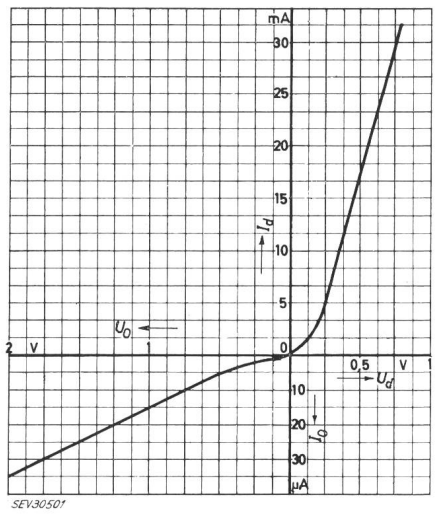

Fig. 1
Sperr- und Durchlasskennlinie einer Kupferoxydulzelle

I_d Durchlaßstrom; I_0 Sperrstrom (negativ); U_d Durchlaßspannung; U_0 Sperrspannung (negativ)

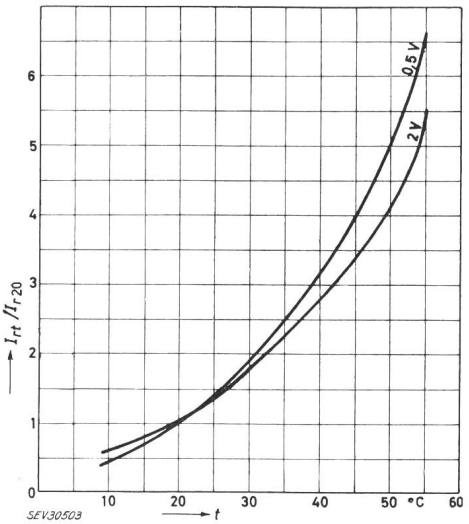

Fig. 3
Temperaturverhalten des Rückstromes einer Kupferoxydulzelle

$I_{rt}/I_{r20} = \frac{\text{Rückstrom bei beliebiger Temperatur}}{\text{Rückstrom bei 20 °C}}$; t Temperatur

usw. verwendet. Fig. 1 zeigt die Sperr- und Durchlasskennlinie einer Kupferoxydulzelle mit einem Durchmesser von 4 mm. In Fig. 2 wird das Verhältnis des Durchlaßstromes bei beliebiger Temperatur zum Durchlaßstrom bei 20 °C in Funktion der Temperatur gezeigt. Fig. 3 gibt das gleiche Verhältnis in der Sperrrichtung. Als Parameter sind die Durchlaßspannungsabfälle, bzw. Sperrspannungen angegeben.

Die Ausführung eines Messgleichrichters in Einphasen-Graetz-Schaltung für eine effektive Anschlußspannung von $U_{eff.} = 4$ V und einen Gleichstrom von 10 mA zeigt Fig. 4.

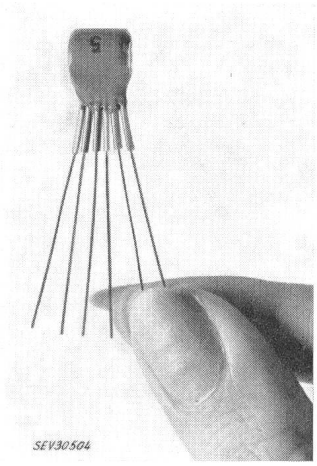

Fig. 4
Kupferoxydul-Messgleichrichter für 10 mA

3. Die Selen-Gleichrichterzelle

Auf eine Trägerplatte, die aus Eisen oder Aluminium bestehen kann, wird durch ein bestimmtes Verfahren eine dünne Selenschicht aufgetragen. Auf diese wird eine Metallschicht aus Wismuth, Cadmium, Zinn oder einer Legierung dieser Metalle als Gegenelektrode aufgespritzt oder aufgeschmolzen. Zwischen der Gegenelektrode und der Selenschicht befindet sich die

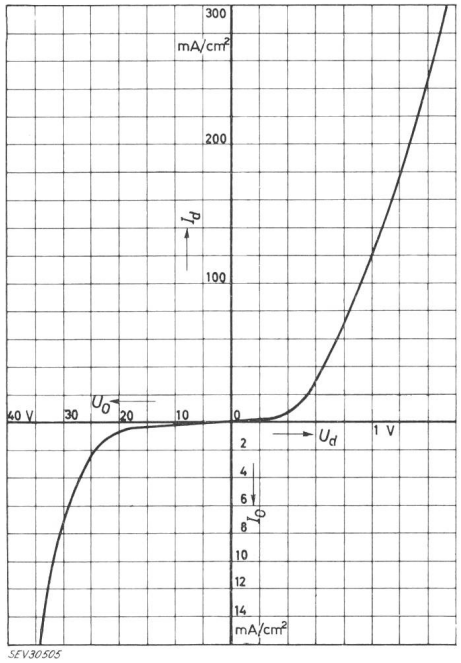

Fig. 5
Sperr- und Durchlasskennlinie einer Selenzelle
Bezeichnungen siehe Fig. 1

Sperrschicht. Die spezifische Belastung einer modernen Selenzelle beträgt in Einphasen-Einweg-Schaltung bei natürlicher Kühlung etwa 80 mA/cm² aktive Fläche und der Effektivwert der Sperrspannung liegt bei etwa 30 V. Fig. 5 zeigt die Sperr- und Durchlasskennlinie einer modernen Selen-Gleichrichterzelle und Fig. 6 die Ausführung eines Selen-Gleichrichter-Elementes in Einphasen-Graetz-Schaltung für eine Gleichspannung von 24 V und einen Gleichstrom von 45 A.

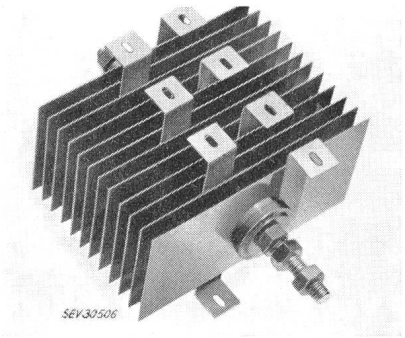

Fig. 6
Selengleichrichter 24 V, 45 A

4. Germanium- und Silizium-Gleichrichterzellen

Germanium- und Silizium-Gleichrichterzellen werden aus sehr reinem Germanium- oder Silizium-Einkristallen hergestellt. Bei der Fabrikation wird auf die Einkristalle, die in dünne, etwa 0,5 mm dicke Scheiben geschnitten sind, beispielsweise bei Germaniumzellen, ein Indiumtropfen gelötet, der bei hoher Temperatur in das Germanium hineindiffundiert. Zur Bildung einer Siliziumzelle wird Indium durch Aluminium ersetzt. Diese Gleichrichterscheiben werden dann in hermetisch verschlossene Gehäuse eingekapselt.

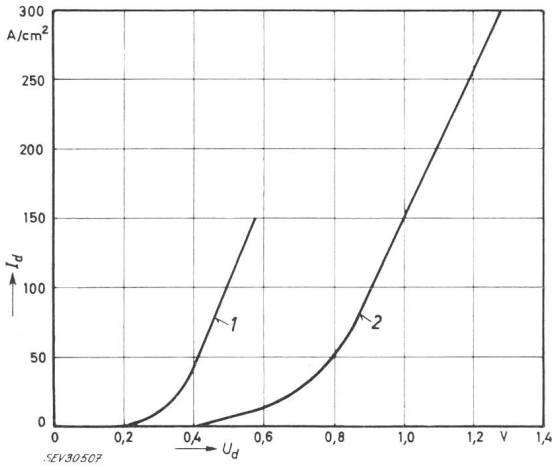

Fig. 7
Durchlasskennlinien
1 Germaniumzelle (Sperrschichttemperatur etwa 60 °C)
2 Siliziumzelle (Sperrschichttemperatur etwa 125 °C)
I_d Durchlaßstrom; U_d Durchlaßspannung

Die spezifische Belastung einer Germaniumzelle beträgt in Einphasen-Einweg-Schaltung bei natürlicher Kühlung etwa 40 A/cm² und bei künstlicher Kühlung etwa 100 A/cm². Bei der Siliziumzelle beträgt die spezifische Belastung in der gleichen Schaltung 90 A/cm² bei natürlicher und etwa 225 A/cm² bei künstlicher Kühlung. Die heutigen Germaniumzellen sind für Spitzensperrspannungen von etwa 500 V und die Siliziumzellen für solche von etwa 1500 V ausgelegt. Fig. 7 zeigt Durchlasskennlinien einer Germanium- und einer Siliziumzelle.

5. Durchlasskennlinien von Halbleiter-Gleichrichterzellen

Aus dem bereits Gesagten geht hervor, dass die spezifische Belastung von Germanium- und Silizium-

Gleichrichterzellen einige 100mal grösser ist als bei Kupferoxydul- und Selenzellen. Einen Vergleich der Durchlasskennlinien der verschiedenen Halbleiterzellen gibt die Fig. 8. Wie daraus ersichtlich ist, weist die Kupferoxydulzelle bis etwa 30 % Belastung den kleinsten Spannungsabfall auf. Zwischen 30 und 100 % der

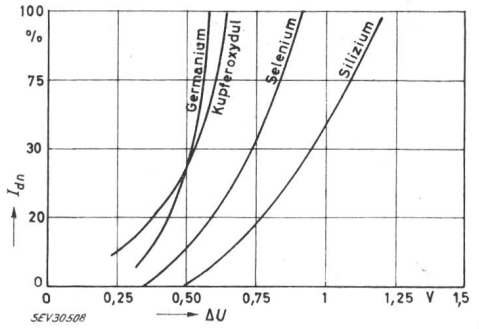

Fig. 8

Vergleich der Durchlasskennlinien verschiedener Halbleiterzellen

I_{dn} Nenndurchlaßstrom; ΔU Spannungsabfall

Belastung ist der Spannungsabfall der Germaniumzelle am kleinsten. Die Siliziumzelle hat den grössten Spannungsabfall. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die spezifische Belastbarkeit dieser Zelle etwa 1000 mal grösser ist als die der Selenzelle.

6. Sperrkennlinien von Halbleiter-Gleichrichterzellen

Fig. 9 zeigt das Sperrverhalten der verschiedenen Halbleiterzellen in Funktion des Verhältnisses von Sperrstrom zu Nenndurchlaßstrom; die Kupferoxydulzelle weist das schlechteste und die Siliziumzelle das beste Sperrverhalten auf.

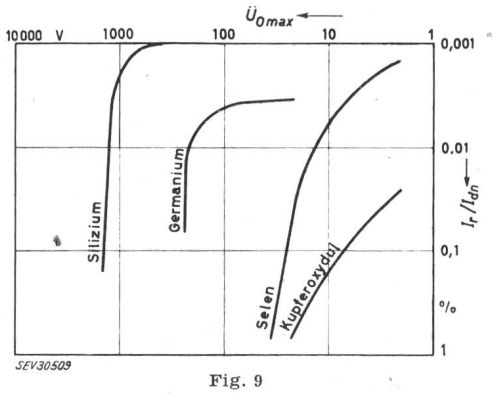

Fig. 9

Vergleich der Sperrkennlinien verschiedener Halbleiterzellen

U_{0max} Spitzensperrspannung; $I_r/I_{dn} = \frac{\text{Rückstrom}}{\text{Nenndurchlaßstrom}}$

7. Maximale Sperrschichttemperaturen und Überlastung von Halbleiterzellen

Die max. Sperrspannung, die an eine Halbleiterzelle angelegt werden darf, hängt von der Stabilität der Sperrkennlinie in Funktion der Sperrschichttemperatur und ihrer Überlastungsfähigkeit ab. Die Betriebswerte der Halbleiterzellen müssen daher so bestimmt werden, dass die Sperrschichttemperatur einen gewissen kritischen Wert nicht überschreitet.

Bei Kupferoxydulzellen liegt die kritische Sperrschichttemperatur bei 70 °C. Oberhalb dieser Temperatur ist die Zelle unstabil, was zu erheblichen Erwärmungen und zuletzt zur Zerstörung der Zelle führen kann. Diese Unstabilität ist bei der Selenzelle nicht so ausgeprägt und eine Zerstörung ist vor dem Erreichen der Schmelztemperatur der Gegenelektrode, die bei etwa 150 °C liegt, nicht zu befürchten. Indessen ist zu berücksichtigen, dass bei einer Sperrschichttemperatur über 85 °C die Zelle rasch altert. Die kritische Sperrschichttemperatur von Germaniumzellen liegt bei 90 °C und die der Siliziumzellen bei 190 °C. Wegen der kleinen Wärmekapazität dieser Zellen sollten jedoch die Sperrschichttemperaturen von ca. 70 °C bei Germaniumzellen und ca. 150 °C bei Siliziumzellen nicht überschritten werden. Aus den gleichen Gründen sind Germanium- und Siliziumzellen gegen Überlastungen viel empfindlicher als Kupferoxydul- und Selenzellen.

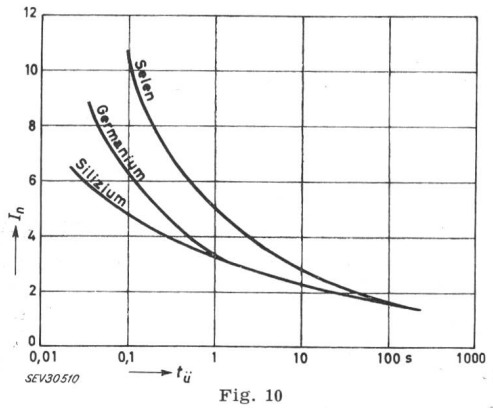

Fig. 10

Überlastbarkeits-Kennlinien verschiedener Halbleiterzellen

I_n Vielfaches des Nennstromes; $t_ü$ Überlastungszeit

Fig. 10 zeigt die Überlastbarkeitskennlinien für verschiedene Halbleiterzellen.

Die kleine thermische Masse von Germanium- und Siliziumzellen bedingt eine genaue Bestimmung des Überlastschutzes. Die herkömmlichen Überstromschutzmethoden genügen nicht mehr. Auch der zulässige Effektivwert der Sperrspannung sollte bei Germanium- und Siliziumzellen den vierten Teil der max. Spitzensperrspannung nicht überschreiten.

8. Einfluss der Umgebungstemperatur auf Halbleiterzellen

Die Belastung der Halbleiterzellen ist von der max. zulässigen Sperrschichttemperatur abhängig. Mit zunehmender Umgebungstemperatur muss deshalb die Belastung reduziert werden. Tabelle I zeigt die Reduktion der Belastung in Funktion der Umgebungstemperatur für verschiedene Gleichrichterarten. In Tabelle II sind dagegen verschiedene Vergleichswerte von Halbleiterzellen zusammengestellt.

Stromreduktionsfaktoren verschiedener Halbleiterzellen

Tabelle I

Material der Zelle	Stromreduktions-Faktoren bei einer Umgebungstemperatur von		
	35	45	55
	°C		
Kupferoxydul	1	0,5	0,2
Selen	1	0,86	0,65
Germanium	1	0,72	0,45
Silizium	1	0,95	0,9

Vergleichswerte verschiedener Halbleiterzellen

Tabelle II

Charakteristiken		Halbleiterzellen aus			
		Kupferoxydul	Selen	Germanium	Silizium
Mittelwert des Gleichstromes pro cm² bei Einphasen-Einweg-Schaltung:					
bei natürlicher Kühlung	mA	40	80	40 000	90 000
bei künstlicher Kühlung	mA	80	160	100 000	225 000
Effektivwert der zulässigen Sperrspannung .	V	6	29,5	120	320
Spannungsabfall bei Nennstrom	V	0,7	0,9	0,55	1,25
Wirkungsgrad	%	78	92	99	99
maximal zulässige Sperrschichttemperatur . .	°C	70	85	70	150

9. Serie- und Parallelschaltung von Halbleiterzellen

Kupferoxydul- und Selenzellen gleicher Abmessungen und gleicher Sperrspannung können ohne Strom- oder Spannungsreduktion oder andere Massnahmen in Serie bzw. parallel geschaltet werden. Anders ist es bei Germanium- und Siliziumzellen. Hier ist für die Serie- und Parallelschaltung von Bedeutung, dass gleiche Zellentypen verwendet werden.

Für die Parallelschaltung können Zellen mit gleichem Spannungsabfall in der Durchlassrichtung ausgesucht werden, oder es ist jeder Zelle ein Seriewiderstand vorzuschalten. Es können in Ausnahmefällen auch besondere Ausgleichstransformatoren verwendet und die Zellen nach Fig. 11 parallel geschaltet werden.

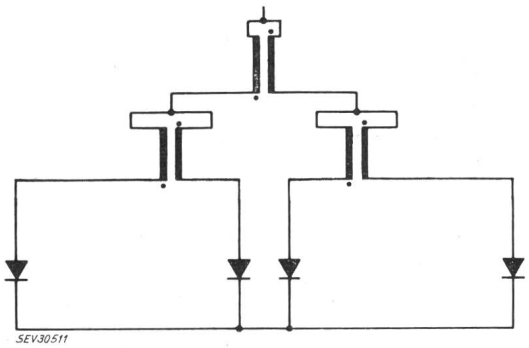

Fig. 11
Parallelschaltung von Germanium- oder Siliziumzellen mit Ausgleichstransformatoren

Um das Aussuchen von gleichen Zellen nicht in zu engen Grenzen zu halten und dadurch eine unzulässige Verteuerung zu vermeiden, werden diese beispielsweise so klassiert, dass bei Parallelschaltung mehrerer Zellen mit den Stromreduktionsfaktoren nach Tabelle III zu rechnen ist.

Stromreduktionsfaktoren bei Parallelschaltung mehrerer Zellen

Tabelle III

Zahl der parallel geschalteten Zellen	Stromreduktionsfaktoren
2... 6	0,9
7...10	0,8
11 und mehr	0,7

Die genauen Werte werden jeweils vom Lieferanten angegeben.

Bei Verwendung eines Serienwiderstandes wird dieser so bemessen, dass der Spannungsabfall über diesem, bei Nennstrom etwa, 0,4 V beträgt. In diesem Falle ist mit einem Stromreduktionsfaktor von 0,8 zu rechnen.

Bei Serieschaltung ist jede Zelle mit einem Widerstand zu überbrücken, dessen Wert etwa halb so gross wie der Sperrwiderstand der Zelle bei der max. Spitzensperrspannung und 25 °C Umgebungstemperatur sein sollte.

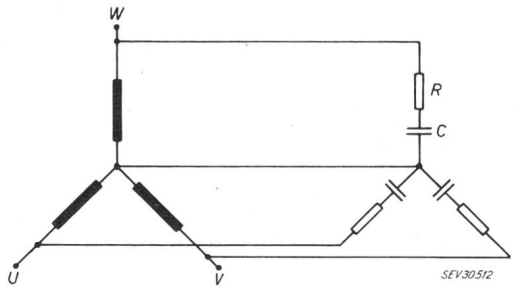

Fig. 12
Schaltung eines Transformators in Dreiphasen-Sternschaltung mit *RC*-Gliedern
Bezeichnungen siehe im Text

Beim Übergang von der Durchlass- zur Sperrphase tritt ein kurzzeitiger Strom in der Sperrichtung auf, der plötzlich abreisst, was zu schädlichen Überspannungsspitzen führen kann. Da das Abreissen nicht bei allen Seriezellen gleichzeitig erfolgt, muss diejenige, welche zuerst sperrt, die ganze Überspannung aufnehmen. Um eine Beschädigung der Zellen zu vermeiden, wird bei Serieschaltung von mehr als drei Zellen, jede mit einem Kondensator überbrückt. Bei hoher Induktivität im Gleichstromkreis sollte dieser Schutz schon bei Verwendung von einer einzigen Zelle durchgeführt werden.

Für die Bemessung der Kapazität solcher Kondensatoren gibt General Electric folgende Formel an:

$$C = \frac{10 I_r}{\hat{U}_o}$$

worin

C Kapazität des Kondensators [μF]
I_r Rückstrom vor dem Abreissen des Stromes [A]
$\hat{U}_o$ max. Spitzensperrspannung der Zelle [V]

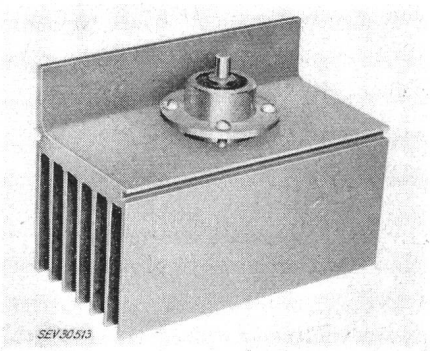

Fig. 13
Siliziumzelle mit Kühlkörper

10. Überspannungsschutz von Germanium- und Silizium-Gleichrichtern

Vorübergehende schädliche Überspannungsspitzen können durch primärseitiges Ein- und Ausschalten des

Gleichrichtergerätes, durch Störungen im Gleichstromkreis, durch Blitzschläge usw. hervorgerufen werden.

Selen- und Kupferoxydulzellen sind in der Regel wegen ihrer grossen Wärmekapazität und dem relativ kleinen thermischen Widerstand für solche Spannungsspitzen nicht empfindlich. Anders ist es bei Germanium- und Siliziumzellen. Dort müssen gegen solche vorübergehende Spannungsspitzen besondere Vorkehrungen getroffen werden.

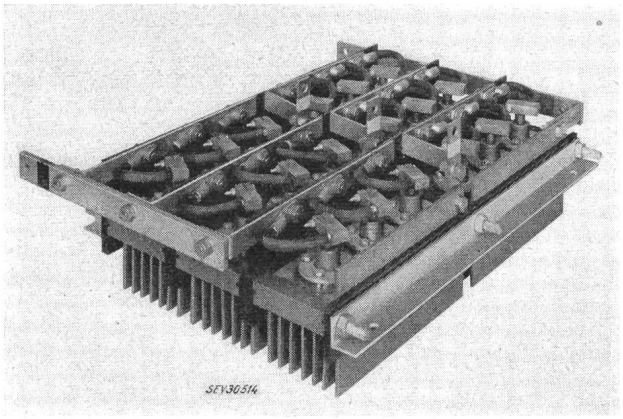

Fig. 14
Silizium-Gleichrichtergruppe für Ventilatorkühlung

Als Schutzmassnahme werden die Transformatorwicklungen primär- oder sekundärseitig mit *RC*-Gliedern überbrückt. Nach Westinghouse werden diese *RC*-Glieder folgendermassen berechnet:

Einphasen-Schaltung:

$$C = \frac{200\,P_2}{U_{ph}^2} \qquad R = \frac{200}{C}$$

Dreiphasen-Schaltung:

$$C = \frac{60\,P_2}{U_{ph}^2} \qquad R = \frac{100}{C}$$

worin

C Kapazität des Kondensators pro Phase [μF]
R Widerstand pro Phase [Ω]
P_2 totale Gleichrichterausgangsleistung [W]
U_{ph} Spannung parallel zum *RC*-Glied (Phasenspannung des Transformators)

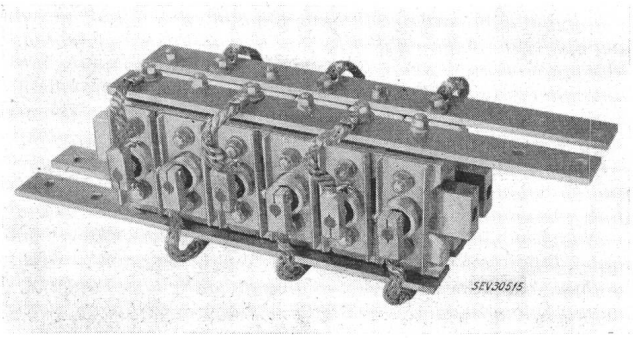

Fig. 15
Silizium-Gleichrichtergruppe für Wasserkühlung

Der Kondensator sollte für den doppelten Wert von U_{ph} ausgelegt sein. Es muss auch ein induktionsfreier Widerstand verwendet werden. Im weitern sei festgehalten, dass die Formeln für eine Netzfrequenz von 50 Hz Geltung haben.

Fig. 12 zeigt die Schaltung der *RC*-Glieder bei Dreiphasen-Stern-Schaltung des Transformators.

11. Kühlsysteme für Halbleiter-Gleichrichter

Da Kupferoxydul-Gleichrichter für Leistungen von nur etwa 1 W hergestellt werden, stellt sich bei ihnen die Frage der künstlichen Kühlung nicht. Bei Selen-, Germanium- und Silizium-Gleichrichtern dagegen, die bei Selengleichrichtern für Leistungen bis 10 kW und bei Germanium- und Siliziumgleichrichtern über 50 MW hergestellt werden, ist das Kühlproblem wichtig.

Für alle drei Gleichrichterarten sind sowohl die Ventilatorkühlung, Ölkühlung, wie die Wasserkühlung gebräuchlich. Die Konstruktion der Selenzellen erlaubt bei Luft- und Ölkühlung einen direkten Kontakt der aktiven Gleichrichterscheibe mit dem Kühlmedium. Germanium- und Siliziumzellen müssen jedoch, wie Fig. 13 zeigt, mit Kühlrippen versehen werden.

Fig. 14 zeigt eine Gruppe zusammengeschalteter, luftgekühlter Siliziumzellen mit einer Gleichstromleistung von 280 kW. Eine 200 kW Einheit für Wasserkühlung zeigt Fig. 15.

12. Gesteuerte Silizumzelle

Seit einigen Jahren sind auch gesteuerte Siliziumzellen auf dem Markt erhältlich. Ihr äusserer Aufbau ist ähnlich der ungesteuerten Siliziumzelle. In Fig 16

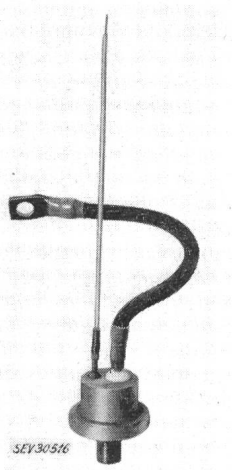

Fig. 16
Gesteuerte Siliziumzelle

ist eine gesteuerte Siliziumzelle abgebildet. Der dritte Anschluss dieser Zelle ist die Steuerelektrode. Wie aus der Kennlinie nach Fig. 17 ersichtlich ist, entspricht die Wirkungsweise dieser Zelle im wesentlichen einer gasgefüllten Triode. Bei gesteuerten Zellen soll der Effektivwert der Sperrspannung, wie bei ungesteuerten, den vierten Teil der max. Spitzensperrspannung nicht überschreiten.

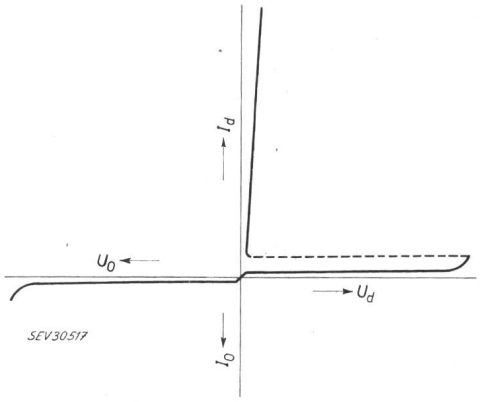

Fig. 17
Kennlinie einer gesteuerten Siliziumzelle
I_d Durchlaßstrom; I_0 Sperrstrom (negativ); U_d Durchlaßspannung; U_0 Sperrspannung (negativ)

Um die gesteuerte Zelle möglichst nahe an der Durchbruchgrenze betreiben zu können, soll dieser eine ungesteuerte Zelle vorgeschaltet werden. Auch hier müssen die gesteuerte und die ungesteuerte Zelle mit einem Widerstand überbrückt sein. Teilspannungen über die Widerstände müssen, entsprechend dem Verhältnis der max. Spitzensperrspannungen beider Zellen, aufgeteilt werden. Die Bemessung der Widerstände erfolgt wie bei der Serieschaltung von ungesteuerten Zellen.

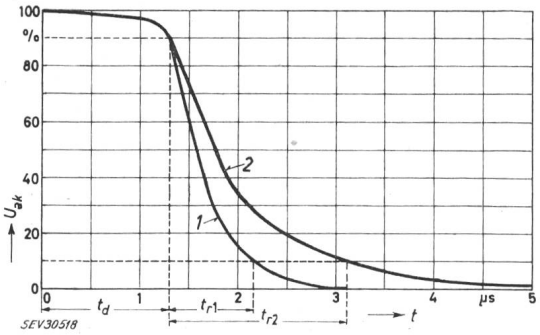

Fig. 18
Einschaltkennlinie einer gesteuerten Siliziumzelle

1 Belastung 1 A; *2* Belastung 40 A
U_{ak} Spannung zwischen Anode und Kathode; t Zeit; t_d Verzögerungszeit; t_{r1}, t_{r2} Abfallzeit entsprechend Kurve *1* bzw. Kurve *2*

Bei Serie- und Parallelschaltung von gesteuerten Zellen sind die gleichen Massnahmen wie bei ungesteuerten Zellen zu treffen. In jedem Fall ist bei der Serieschaltung jede Zelle mit einem Schutzkondensator zu überbrücken. Fig. 18 zeigt die Einschaltkennlinie einer gesteuerten Siliziumzelle.

13. Schlussbetrachtungen

Wir stehen noch mitten in der Entwicklung der Halbleitergleichrichter und es ist nicht ausgeschlossen, dass in absehbarer Zeit neue, bessere Gleichrichter zur Verfügung stehen werden. In den Forschungslaboratorien wird an den besprochenen Gleichrichterarten weiterhin intensiv gearbeitet und man trachtet danach, die Sperrspannungen zu erhöhen, die Überlastkennlinien zu verbessern und die spezifische Belastung zu vergrössern.

Auch in fabrikatorischer Hinsicht wird ständig nach neuen Methoden gesucht, um die Qualität zu steigern und geichzeitig die Herstellungskosten zu verringern. Das Resultat der Forschungsarbeiten ist, dass schon heute Gleichrichteranlagen mit Halbleiterzellen für

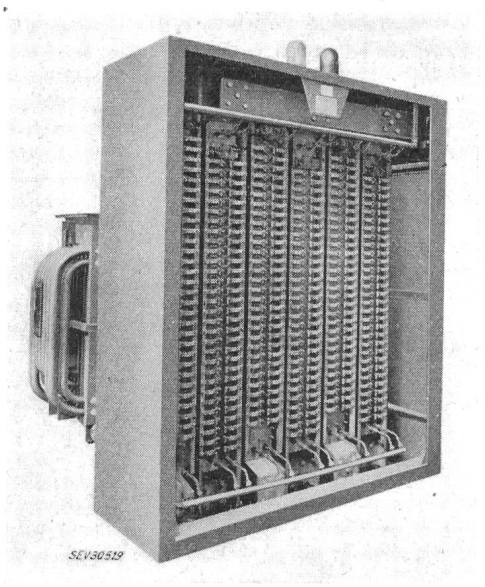

Fig. 19
Teil einer Halbleiter-Gleichrichteranlage

Gleichstromleistungen über 100 MW gebaut werden. In Fig. 19 wird ein Teil einer Anlage für eine Gleichspannung von 300 V und einen Gleichstrom von 50 kA gezeigt.

Literatur

[1] *Jackson, S. P.:* Selection and Application of Metallic Rectifiers, New York, Toronto, London: McGraw-Hill 1957. S. 326.

[2] *Spenke, E.:* Silizium als Baustoff für Leistungsgleichrichter. Siemens-Z. 32(1958)3, S. 110...115.

[3] *Pfaffenberger, J.:* Die Technik des Siliziums-Gleichrichters. Siemens-Z. 32(1958)3, S. 115...122.

[4] *Zenneck, H.:* Erfahrungen mit Silizium-Gleichrichtern. Siemens-Z. 32(1958)3, S. 122...128.

[5] *Design Engineers Handbook.* Westinghouse Electronic Components. Pittsburg: Westinghouse Electric Co. 1958.

[6] *Storsand, B.:* 20 000 A Silizium-Gleichrichteranlagen für Elektrolysebetrieb. Bull. Oerlikon –(1959)336/337, S. 140...144.

[7] *Controled Rectifier Manual.* Liverpool N. Y.: General Electric Co. 1960. S. 255.

[8] *Siliziumgleichrichter.* Brown Boveri Mitt. 48(1961)3/4, S. 167...276.

[9] *Westinghouse:* Publ. RB. 397/5.5.1961. London: Westinghouse Brake & Signal Co. Ltd. 1961.

Adresse des Autors:

H. Flückiger, Ingenieur, Westinghouse Bremsen & Signal Gesellschaft, Effingerstrasse 35, Bern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Der Ausbau der Kraftwerke Oberhasli (KWO)

621.311.21(494.246.1)

1. Das Kraftwerk Gental mit dem Maschinenhaus Fuhren

Nachdem die Wasserkräfte des Aaretales von der Oberaar bis Innertkirchen durch Erstellung der Kraftwerke Oberaar, Handeck I, Handeck II und Innertkirchen bereits voll ausgebaut sind, haben die Kraftwerke Oberhasli AG auch die Konzessionen zur Ausnützung der Wasserkräfte im Gental und Gadmental erworben und als oberste Stufe das KW Gental mit dem Maschinenhaus Fuhren [1]) in den Jahren 1958 bis 1961 erstellt und am 1. Mai 1961 dem Betrieb übergeben. Das aus dem Einzugsgebiet des obern Gentales stammende Wasser (Fig. 1) wird in einer Hangleitung einem Ausgleichbecken bei Teuflaui zugeführt und durch einen Druckstollen unter dem Tellistock durch zum Wasserschloss Birchlaui im Gadmental geleitet. Von da führt eine Druckleitung zum Maschinenhaus Fuhren (Fig. 2) unterhalb Gadmen, in welchem eine Francis-Turbinengruppe von rd. 9600 kW (13 100 PS) Nennleistung und eine Hochdruck-Pumpengruppe für 2000 l/s Fördermenge installiert sind. Die hydraulische Anlage weicht von den üblichen Kraftwerken insofern ab, als das von der Turbine verarbeitete Wasser, zuzüglich dem Pumpenwasser, in einer gemeinsamen Steigleitung wieder hochgeführt und in den bestehenden sog. Gadmerstollen, an welchen bereits die Fassungen Wenden, Stein und Trift angeschlossen sind und der bei Rotlaui im Aaretal in den Zuleitungsstollen Handeck-Innertkirchen mündet, eingeleitet wird. Das Bruttogefälle Teuflaui–Fuhren ist rd. 600 m

[1]) Siehe Bull. SEV 52(1961)11, S. 429.