Entwicklungsgeschichte der abschaltbaren Stromrichterventile

Autor(en): **Kloss, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **74 (1983)**

Heft 21

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904883

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Entwicklungsgeschichte der abschaltbaren Stromrichterventile

A. Kloss

In einer knappen Übersicht werden die markanten Persönlichkeiten und Daten der Entwicklungsgeschichte der abschaltbaren Stromrichterventile dargestellt. Einleitend wird auf verschiedene Eigenschaften hingewiesen, die zur Klassierung der Stromrichterventile dienen können.

Bref aperçu des personnalités et dates du développement des soupapes redresseuses de courant déconnectables, puis description de diverses propriétés qui peuvent servir à leur classification.

Adresse des Autors
Albert Kloss, Kornweg 5, 5415 Nussbaumen.

Merkmale für eine Systematik der Stromrichterventile

Als Stromrichterventile[1]) bezeichnet man elektrische Bauelemente, die den Strom nur in einer Richtung durchlassen. Bei den *echten* Ventilen ist die Durchlassrichtung eindeutig vorbestimmt, bei den *unechten* ist sie frei wählbar.

Bei den *nicht steuerbaren* Ventilen kann die Ventilwirkung von aussen nicht beeinflusst werden. Das Verhalten des Elementes ist eindeutig durch dessen innere Durchlass- und Sperrkennlinien und durch den Leistungsstromkreis, in den es eingeschaltet ist, gegeben. Bei den *steuerbaren* Ventilen kann der Durchlassstrom entweder *analog*, stetig oder *diskret*, stufenweise durch die Steuerung beeinflusst werden. Die diskret steuerbaren Ventile weisen daher Schaltverhalten auf. Sie sind entweder durch einen Steuerimpuls in der Durchlassrichtung nur einschaltbar, oder man kann sie mit einem weiteren Steuerimpuls auch aus dem Stromkreis frei abschalten.

Die steuerbaren Stromrichterventile können volle *Spannungssymmetrie* aufweisen, d.h., sie sind sowohl in Durchlass- wie in Sperrichtung spannungsmässig gleich belastbar. Sie können aber auch spannungsunsymmetrisch sein; man kann sie dann in der Sperrichtung nicht voll belasten. Man kann also die Elemente auch in *Wechselspannungs-* und *Gleichspannungsventile* unterteilen.

Die Ventilwirkung kann bei den Stromrichterventilen allgemein durch sehr unterschiedliche physikalische Prinzipien erreicht werden. Bei den *Ionenventilen* beteiligen sich an der Stromleitung neben den Elektronen auch Ionen, was bei den Elektrolyt- oder Gasventilen der Fall ist. Im Gas kann es sich um Glimm- oder Lichtbogenentladung handeln, und der Prozess kann bei Nieder- oder auch Hochdruck stattfinden. Sowohl die Gasart als auch die Elektroden können dabei unterschiedlich sein. Die Kathode kann fest (geheizt oder kalt) oder flüssig (Quecksilber) sein, und als Gas kann z.B. Quecksilberdampf, Wasserstoff usw. verwendet werden.

Bei den *Elektronenventilen* kann zwischen reiner Elektronenleitung im *Vakuum* oder Elektron-Lochleitung in *Halbleitern* unterschieden werden. Die Halbleiterventile können auf polykristalliner (Se, CuO_2) oder monokristalliner (Ge, Si) Basis realisiert werden. Die Ventilwirkung kann sich dabei am Übergang Metall-Halbleiter oder direkt im Halbleitermaterial unterschiedlicher Stromleitfähigkeit abspielen.

Auf ganz anderem Weg kann die Ventilwirkung auch durch ein magnetisches Feld in supraleitenden oder sättigbaren Materialien erreicht werden.

Von den ersten Versuchen bis zum Thyristor

Die ersten Untersuchungen betreffend der Ventilwirkung gehen auf die Jahre 1802 bis 1806 zurück, wo *Erman* die «unipolare Leitung» der Flamme und der Elektrolyten festgestellt hat [1]. *Erman* hat auch als erster eine Systematik der Leiter zusammengestellt und dabei den Begriff Halbleiter benützt.

Dass die Leitfähigkeit der Kristalle von der Stromrichtung abhängig ist, hat *Matteucci* im Jahre 1855 als erster erkannt [2]. Etwa zwanzig Jahre später haben *Schuster* [3], *Braun* [4; 21] und *W. Siemens* [5; 21] die Einrichtungsleitung der Halbleiter experimentell nachgewiesen.

Die Ventilwirkung des elektrischen Lichtbogens im Quecksilberdampf wurde erstmals 1882 von *Jamin* und *Maneuvrier* klar erkannt [6]. Allerdings

[1]) Den Ausdruck *Ventil*, (franz. soupape) benützte *S. M. Gaugain* 1855 als erster.

hatte *Foucault* [21] schon 1844 beobachtet, dass das Brennen des Gleichstromlichtbogens von der Elektrodenpolarität abhängt. Ähnliche Versuche mit Lichtbogen wurden 1847 von *Tyrtov*, 1860 von *Wild* und 1874 von *Herwig* durchgeführt. Die Gleichrichterwirkung des Lichtbogens in einer Quecksilberdampflampe wurde ferner 1894 von *Sahulka* untersucht; aber erst 1902 wurde von *P.C. Hewitt* [21] ein technisch brauchbares, leistungsfähiges Quecksilberdampf- und Gleichrichterventil entwickelt [7].

J.A. Fleming war es, der 1904 als erster das Vakuum-Gleichrichterventil erfolgreich realisierte. Er hatte allerdings die Gleichrichterwirkung in einer Vakuumröhre schon 1890 erkannt. Auch *Goldstein*, 1885, und *Hittorf*, 1884, haben über den Gleichrichtungseffekt in einer Vakuumröhre mit geheizter Kathode vorher berichtet. Als Leistungsventil, unter der Bezeichnung Kenotron, wurde die Vakuumröhre erstmals von *Dushmann*, 1915, eingesetzt [8].

Nach den ersten Erkenntnissen von *W. Siemens* (1876) bestätigte *Fritts* 1883 die Gleichrichterwirkung des polykristallinen Selens. Die ersten Untersuchungen mit monokristallinen Ventilen (Detektoren) auf Siliziumbasis machte *G.W. Pickard*, 1902 und 1906 [9].

Alle diese Ventilarten waren nicht steuerbar, d.h., es handelte sich grundsätzlich um Dioden. Die ersten Patente über *diskret steuerbare Ventile* stammen von *P.H. Thomas / P.C. Hewitt*, 1903, und betreffen die Quecksilberdampf-Gleichrichterventile mit kalter Kathode [10]. Das diskret steuerbare Ionenventil mit geheizter Kathode und Gitter, das Thyratron, stammt von *A.W. Hull* (1929). Das Ignitron, eine konstruktive Variante des Ionenventiles mit kalter, flüssiger Quecksilberkathode wurde 1933 von *Slepian* entwikkelt. Die analog steuerbare Vakuumröhre, das *Pliotron* (bzw. Triode), stammt von *Lee de Forest*, 1906. Das analog steuerbare Halbleiterventil, der Transistor, wurde erst 1948 von *Bardeen* und *Brattain* erfolgreich entwikkelt. Allerdings schon 1933 hat *R.W. Pohl* den Vorschlag, die Elektronenröhren durch Kristalle zu ersetzen, gemacht. 1938 hat er ergebnislos versucht, ein Steuergitter in Kristalle einzubauen. *J.E. Lilienfeld* patentierte sogar schon in den Jahren 1925–28 ein auf Aluminiumoxyd-Basis wirkendes und durch ein elektrisches Feld steuerbares Element [11].

Der Thyristor, das diskret einschaltbare Halbleiterventil, stammt aus dem Jahre 1957 [18].

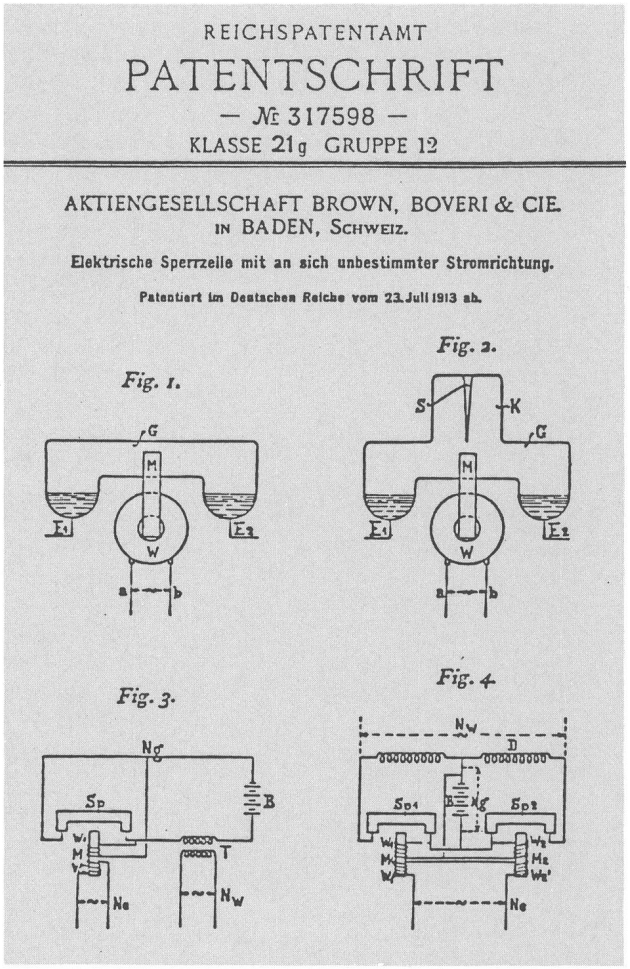
Diskret abschaltbare Stromrichterventile

Im Jahre 1913 patentierte die A.G. Brown, Boveri & Cie, Baden, die «Elektrische Sperrzelle mit an sich unbestimmter Stromrichtung» [12]. Es handelte sich grundsätzlich um ein Ventil, das frei ein- und abschaltbar ist und dessen Durchlassrichtung darüber hinaus auch frei wählbar ist. Konstruktiv betrifft das Patent ein Quecksilberdampf-Ventil mit zwei Quecksilberelektroden, die je nach Wahl als Kathoden bzw. Anoden benützt werden konnten. Für die Unterbrechung des Stromes wird mittels magnetischem Ausblasen des Lichtbogens gesorgt (Fig. 1).

Diese Idee konnte zwar nicht realisiert werden, aber am Anfang der dreissiger Jahre wurden bei Brown, Boveri weitere Schritte in Richtung des abschaltbaren Quecksilberdampf-Ventils unternommen. Dabei wurde versucht, den Lichtbogen durch ein negativ geladenes Gitter zu unterbrechen, was an Labormustern auch erreicht wurde. In seiner Zusammenfassung zu [13] schreibt *E. Kobel*:

«Es werden Versuche beschrieben und Oszillogramme besprochen, die zeigen, dass es entgegen der bisherigen Auffassung möglich ist, Anodenströme auch bei positiver Anodenspannung durch Gittersteuerung zu löschen. Für eine solche Löschsteuerung bedarf es besonders dimensionierter Gitter und der Konstanthaltung der Quecksilberdampfdichte innerhalb gewisser Grenzen. Ausserdem muss für eine genügend rasche Ableitung der beim Löschen des Anodenstromes entstehenden Vorwärtsüberspannungen gesorgt werden. Dies geschieht am besten durch Einschalten von Kondensatoren zwischen Anode und Kathode oder durch ein dem Steuergitter vorgelagertes, über einen Widerstand mit der Anode verbundenes Ableitgitter oder auch durch beide Mittel zugleich.

Diese Löschsteuerung kann vielleicht praktische Bedeutung erlangen, weil dadurch dem gittergesteuerten Lichtbogen- und Glühkathodengleichrichter neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden, z.B. selbständige Umformung von Gleich- in


REICHSPATENTAMT

PATENTSCHRIFT

— № 317598 —

KLASSE 21g GRUPPE 12

AKTIENGESELLSCHAFT BROWN, BOVERI & CIE.
IN BADEN, SCHWEIZ.

Elektrische Sperrzelle mit an sich unbestimmter Stromrichtung.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 23. Juli 1913 ab.

BBC-Patentschrift aus dem Jahr 1913 für eine elektrische Sperrzelle mit an sich unbestimmter Stromrichtung

Wechselstrom ohne taktgebende Wechselspannung, Strom- und Spannungsregulierung ohne Verschlechterung des Leistungsfaktors, Phasenkompensation usw.»

Zur gleichen Zeit machte in Japan *R. Mitsuda* Versuche mit einem Quecksilberdampfventil, in dem der Lichtbogen mechanisch durch eine rotierende Scheibe unterbrochen werden sollte [14], und *E. Marx* [21] baute ein Hochdruck-Lichtbogenventil mit Luftstrahllöschung des Lichtbogens. Aus jener Zeit stammen auch Vorschläge, das vorzeitige Löschen des Quecksilberdampf-Lichtbogens mittels zwei nacheinander gesteuerten Gittern zu erreichen [15]. Am Anfang der vierziger Jahre versuchte *M. Meinhard* noch einmal, den Lichtbogen im Quecksilberdampf-Ventil elektrostatisch zu löschen [16]. Seitdem sind keine weiteren Versuche über abschaltbare Ionenventile bekannt. Die Entwicklung der Ionenventile für die Stromrichtertechnik wurde ab Mitte der sechziger Jahre generell nicht mehr weitergetrieben. Nur für Forschungszwecke im Bereich der Hochleistungsimpulstechnik wird das Ionenventil als Schaltelement weiter verwendet und auch entwickelt. Dabei wird das Löschen des Lichtbogens durch das Magnetfeld, also gemäss der BBC-Idee aus dem Jahre 1913, oft angewendet [17].

Etwa fünf Jahre nach der Entwicklung der einschaltbaren Thyristoren [18] wurden, fast gleichzeitig von mehreren USA-Firmen, auch die abschaltbaren Thyristoren verfügbar [19]. Anfang 1964 waren bei den Abschaltthyristoren Ströme bis zu 5 A und Spannungen bis zu 600 V erreicht. Die weitere Entwicklung spielte sich, im Gegensatz zu den Einschaltthyristoren, relativ langsam ab. 1970 erreichten die Abschaltthyristoren bei Westinghouse Parameter von 50 A bei 1000 V [20]. Drei Jahre später konnte man den Strom auf 200 A erhöhen. Die Ventile fanden aber kaum Anwendungen.

Erst als die japanischen Hersteller in der Mitte der siebziger Jahre mit der Entwicklung von Abschaltthyristoren begannen, änderte sich die Lage schnell. Schon 1978 erreichte Toshiba bei den Abschaltthyristoren 600 A /2500 V. Anfang der achtziger Jahre stieg die zulässige Strombelastung auf 1000 A. Damit wurde der Weg für eine breite Anwendung des Abschaltthyristors (GTO) im höheren Leistungsbereich freigegeben.

Literatur

[1a] - *Erman:* Über die Fähigkeit der Flamme, der Knochen und des luftleeren Raumes, die Wirkungen der Voltaischen Säule zu leiten. Annalen der Physik 11(1802)–, S. 143...168.

[1b] - *Ermann:* Über die fünffache Verschiedenheit der Körper auf galvanisches Leitungsvermögen. Annalen der Physik 22(1806)–, S. 14...50.

[2] *C. Matteucci:* Notes sur certaines propriétés physiques du bismuth cristallisé ou soumis à la compression. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences 40(1855)–, p. 541...545.

[3] *A. Schuster:* On unilateral conductivity. Philosophical Magazine and Journal of Science, fourth series 48(1874)318, p. 251...258.

[4a] *F. Braun:* Über die Stromleitung durch Schwefelmetalle. Annalen der Physik und Chemie, sechste Reihe (neue Folge) 153(1874)4, S. 556...562.

[4b] *F. Braun:* Über Abweichungen vom Ohmschen Gesetz in metallisch leitenden Körpern. Annalen der Physik und Chemie (neue Folge) 1(1877)1, S. 95...110.

[5] *W. Siemens:* Über die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit des Selens von Wärme und Licht. Annalen der Physik und Chemie, sechste Reihe (neue Folge) 159(1876)1, S. 117...141.

[6] *J. Jamin* et *G. Maneuvrier:* Sur le courant de réaction de l'arc électrique. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences 94(1882)25, p. 1615...1625.

[7] *P.C. Hewitt:* Gleichrichter für Wechselstrom. Deutsches Reichs-Patent Nr. 157642, 1902.

[8] *S. Dushman:* A new device for rectifying high tension alternating currents. General Electrical Review 18(1915)3, p. 156...167.

[9] *G.W. Pickard:* Thermo-electric wave detectors. Electrical World 47(1906)–, p. 1003.

[10a] *P.C. Hewitt:* Einrichtung zur Regelung des Zeitmomentes für das Anlassen eines elektrischen Gas- und Dampfapparates. Deutsches Reichs-Patent Nr. 169041, 1903.

[10b] *P.C. Hewitt:* Regelung von Gleichstromverteilungsnetzen, welche von Wechselstromgleichrichtern gespeist werden. Deutsches Reichs-Patent Nr. 163868, 1903.

[11a] *J.E. Lilienfeld:* Device for controlling electrical current. US Patent Nr. 1 900 018, 1928.

[11b] *J.E. Lilienfeld:* Method and apparatus for controlling electrical currents. US Patent Nr. 1 745 175, 1926.

[12] *Brown Boveri & Cie.::* Elektrische Sperrzelle mit an sich unbestimmter Stromrichtung. Deutsches Reichs-Patent Nr. 317598, 1913.

[13] *E. Kobel:* Unterbrechung eines brennenden Anodenstromes mittels Gitter in Quecksilber-Gleich- oder Wechselrichter. Bull. SEV 24(1933)3, S. 41...48.

[14] *R. Mitsuda:* Commutateur à arc. Brevet d'invention de France Nr. 676808, 1929.

[15] *Siemens-Schuckertwerke AG:* Einrichtung zur Regelung des Entladestromes von an ein taktgebundenes Wechselstromnetz angeschlossenen Dampf- oder Gasentladungsstrecken. Deutsches Reichs-Patent Nr. 677017, 1933.

[16] *M. Meinhardt:* Elektrostatische Lichtbogenlöschung nach dem Verhungerungsprinzip. Arch. Elektrotechn. 35(1941)2, S. 85...98.

[17] *J.G. Gorman* a.o.: The interaction of vacuum arcs with magnetic fields and applications. IEEE Trans. PAS 102(1983)2, p. 257...266.

[18] *C.W. Mueller* and *J. Hilibrand:* The «thyristor» – a new high-speed switching transistor. IRE Trans. on Electron Devices 5(1958)1, p. 2...5.

[19] *D.R. Grafham:* Now the gate turn off switch speeds up DC switching. Electronics 37(1964)12, p. 64...68.

[20] *T.C. New* a.o.: High power gate-controlled switch. IEEE Trans. ED 17(1970)9, p. 706...710.

[21] *H. Wüger:* Pioniere der Elektrotechnik: Rubrik im Bull. SEV/VSE. Carl Ferdinand Braun, 1850...1918. Bull. SEV/VSE 66(1975)20, S. 1122. Lee de Forest, 1873...1961. Bull. SEV 64(1973)21, S. 1383. John Ambrose Fleming, 1849...1945. Bull. SEV 61(1970)21, S. 1026. Jean Bernard Léon Foucault, 1819...1868. Bull. SEV/VSE 69(1978)20, S. 1102. Peter Cooper Hewitt, 1861...1921. Bull. SEV 62(1971)25, S. 1199. Johann Wilhelm Hittorf, 1824...1914. Bull. SEV 56(1965)5, S. 165. Erwin Otto Marx, 1893...1980. Bull. SEV/VSE 71(1980)15, S. 826. Werner von Siemens, 1816...1892. Bull. SEV 57(1966)12, S. 537.