

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 43 (1952)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Systematik der elektrischen Ventilapparate  
**Autor:** Gerecke, Ed.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059179>

### **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:** 03.04.2025

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

des Leistungsfaktors für die Betriebssicherheit von Apparaten und Anlagen von grösster Bedeutung. Es ist bei ihrer Wahl und bei der Fabrikation darauf zu achten, dass im praktischen Betrieb nicht zu viele Durchschläge auftreten, da sonst ihre Spannungsfestigkeit und ihre übrigen elektrischen Eigenschaften mit Ausnahme der Kapazität sich so verändern, dass ihre Betriebssicherheit nicht mehr gewährleistet ist.

#### Literatur

- [1] McLean, D. A.: Metallized Paper for Capacitors. Proc. I.R.E. Bd. 38(1950), Nr. 9, S. 1010...1014.
- [2] Strüb, Hermann: Der Metallpapier-Kondensator. Elektrotechniker Bd. 2(1950), Nr. 10.
- [3] Weeks, J. R.: Metallized Paper Capacitors. Proc. I.R.E. Bd. 38(1950), Nr. 9, S. 1015...1018.
- [4] Metallized Paper Capacitors by A. H. Hunt Ltd. Wirel. Wld. Bd. — (1949), Dezember.
- [5] Strüb, Hermann: Der Metallpapier-Kondensator. Elektrotechn. Z. Bd. 70(1949), Nr. 9, S. 287...293.

Adresse des Autors:

H. Elsner, Condensateurs Fribourg S. A., Fribourg.

## Systematik der elektrischen Ventilapparate

Von Ed. Gerecke, Zürich

621.314

*Es besteht schon lange das Bedürfnis, die sehr mannigfaltigen Ventile der Elektrotechnik systematisch zusammenzufassen. Der Autor, der seit Jahren bestrebt war, eine solche Systematik aufzustellen, hat diese seinen Vorlesungen an der ETH zugrunde gelegt und damit gute Resultate erzielt.*

*Un classement systématique des multiples appareils et dispositifs à effet de soupape utilisés en électrotechnique s'avère de plus en plus nécessaire. L'auteur s'en occupe depuis plusieurs années et fait usage d'un tel classement dans les cours qu'il donne à l'EPF. Ce classement rend de grands services.*

### 1. Einleitung

Im Laufe der Entwicklung haben sich für Generatoren, Motoren und Transformatoren einige wenige Bauformen herausgeschält, und es ist interessant, zu sehen, dass die meisten davon sich für die kleinsten bis zu den grössten Leistungen eignen. Im Gegensatz zu diesen klassischen Maschinen zeigen die Ventilapparate eine enorme Mannigfaltigkeit. Jede Ventilart eignet sich nur für ein bestimmtes Gebiet der Leistung, der Spannung und der Stromstärke. Zudem liegen den verschiedenen elektrischen Ventilen physikalisch ganz verschiedene Prinzipien zu Grunde.

Es besteht nun ein dringliches Bedürfnis nach einer systematischen Einordnung der elektrischen Ventile. Die Ausdrücke, die man verwendet, sind bei näherer Betrachtung oft vieldeutig. So kann man z. B. unter «Gleichrichter» das eigentliche Gleichrichtergefäss verstehen, man kann aber ebensogut ein ganzes Gleichrichter-Unterwerk damit bezeichnen. Andererseits unterscheidet sich das Entladungsgefäss bei einem Wechselrichter nicht von einem gittergesteuerten Gleichrichtergefäss. Die Schwierigkeit, der man heute begegnet, ist historisch bedingt. Ursprünglich waren von der grossen Familie der Ventilapparate nur ein oder zwei Vertreter bekannt. An diesen entwickelten sich dann die Begriffe und die Namen. Mit dem Erscheinen von weiteren Arten von elektrischen Ventilen geschah es dann, dass die ursprünglichen Namen sowohl als Gattungs- als auch als Eigennamen verwendet wurden.

Will man heute eine Systematik aufstellen, so kommt man in Konflikt mit dem bestehenden Sprachgebrauch, an den man sich halten muss. Zudem stellt man fest, dass in dem benachbarten Gebiet der «elektronischen Apparate» einige Ausdrücke gerade das Gegenteil bedeuten. So bezeichnet man in der Technik des Quecksilberdampfgleichrichters mit «Vakuum» den Zustand, bei welchem bei Abwesenheit der Restgase ein Hg-Dampf- oder Edelgasdruck in der Grössenordnung von 1...500 mTorr herrscht, während man in der Technik der Elektronenröhren unter «Vakuum» Drucke in der

Gegend von etwa  $10^{-6}$  Torr versteht, bei welchen die Ionisationsvorgänge keine Rolle mehr spielen. Infolgedessen bedeutet das Wort «Vakuumrohr» das einmal ein Entladungsgefäss mit Höchstvakuum, das andere Mal sowohl dieses als auch ein solches mit Gas- oder Dampffüllung. Andererseits bezeichnet man in der Elektronik als elektronische Geräte sowohl die Höchstvakuumapparate, als auch diejenigen mit Gasfüllung, während in der Gleichrichtertechnik diese als Ionenventile benannt werden.

Eine weitere Schwierigkeit resultiert aus der noch nicht festliegenden Abgrenzung des Begriffs «Elektronik». Die Physiker verstehen darunter alle Erscheinungen, bei denen irgendwie Elektronen im Spiel sind. Dies trifft zu für die Leitung der Elektrizität in Metallen, in Halbleitern oder Isolatoren, in Gasen beliebigen Druckes und im Hochvakuum, bei der Aussendung des Lichtes aus der Elektronenhülle des Atoms, also der Optik, dann in der «Elektronenoptik», ferner bei der Erzeugung von elektromagnetischen Strahlen aller Art, wie beim Zyklotron, Betatron, Linearbeschleuniger usw. Die Elektrotechnik erscheint danach als Teilgebiet der Elektronik. Ein zurzeit in Ingenieurkreisen der Schwachstromtechnik diskutierter Entwurf möchte den Begriff «Elektronik» enger fassen und damit das Gebiet bezeichnen, das die Stromleitung im Hochvakuum, in Gasen von beliebigem Druck und in Halbleitern behandelt. Danach würden der Quecksilberdampfgleichrichter und der bei Überdruck arbeitende Marxgleichrichter zu den elektronischen Apparaten gehören. Die ältere Generation der Elektrotechniker versteht jedoch unter elektronischen Apparaten nur Elektronenröhren mit Höchstvakuum, wie Sende-, Empfangs- und Verstärker- röhren der Nachrichtentechnik, bei welchen also die Ionen keine Rolle spielen. Die Quecksilberdampfgleichrichter kontrastieren dazu in dem Sinne, als zur Erreichung einer geringen Brennspannung die Ionen zur Kompensation der Raumladung wesentlich sind und infolgedessen als Ionengeräte bezeichnet werden. Man ersieht daraus, dass einer Systematik grundsätzliche Schwierigkeiten entgegenstehen.

## 2. Elektrisches Ventil

In unserer Systematik gehen wir von der «Urzelle», dem «elektrischen Ventil» aus. Der Begriff «Ventil» kommt aus der Mechanik: Wasserventil, Dampfventil, Luftventil, Notventil usw. Das Charakteristische daran ist für uns, dass dieses nach freiem Willen «geöffnet» oder «geschlossen» werden kann, also «offen» oder «zu» ist. Diese Eigenschaft benützen wir für die Definition des elektrischen Ventils. Auf den Richtungssinn, mit welchem das Fluidum durch das Ventil fliesst, legen wir hier in dieser allgemeinen Fassung kein Gewicht, wir könnten also ebensogut von «Durchlasshahn» sprechen.

Zuerst müssen wir zwei Hauptgruppen unterscheiden:

- a) *Periodisch* arbeitende Ventile
- b) *Sporadisch* arbeitende Ventile.

Zu den zweiten gehören: Löschventile für Gleichstromdrosselspulen und Magnete (Selenventil) Überspannungsventile mit Halbleitern, Edelgas-sicherungen usw., also alle Überspannungsventile analog dem Notventil. Sie besitzen eine nicht lineare Stromspannungskennlinie. Sporadisch arbeitende Ventile sowie Schalter sollen im folgenden ausgeschlossen werden.

Die periodisch arbeitenden Ventile sind nun dadurch gekennzeichnet, dass durch sie der Arbeitsstrom nur während Zeitabschnitten fliesst, die kürzer sind als eine Periode der an ihre Klemmen angelegten Wechselspannung. Das Charakteristische ist also, dass diese Ventile periodisch «offen» oder «zu», also «sperrend» oder «leitend» sind. Sie stehen im Gegensatz zum gewöhnlichen elektrischen Leiter, bei welchem beim Anlegen einer Wechselspannung der Arbeitsstrom dauernd fliesst. Fig. 1

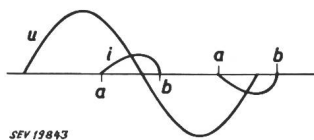


Fig. 1  
Allgemeinster Fall der Arbeitsweise eines elektrischen Ventils  
Erklärungen siehe im Text

illustriert den allgemeinsten Fall der Arbeitsweise eines elektrischen Ventils. Unter der sinusförmigen Spannung  $u$  fliesst der Strom  $i$  nur in den beiden Intervallen «a...b».

Die elektrischen Ventile lassen sich zunächst einteilen in *ideale* (verlustlose) und *praktische* (verlustbehaftete und Kapazität aufweisende) Ventile.

Um nun die enorm vielen Arten von periodisch arbeitenden elektrischen Ventilen übersichtlich gruppieren zu können, gehen wir vom *Aggregatzustand* der Strombahn des Ventils aus, genauer gesagt, von demjenigen Teil der Strombahn, der für die Ventileigenschaften charakteristisch ist. Dieser kann fest, flüssig oder gasförmig sein. Also ergeben sich die 3 Hauptgruppen:

fest	I
flüssig	II
gasförmig	III

Die weiteren Überlegungen zielen nun auf eine Verfeinerung dieser Einteilung hin. Zunächst kann man 2 wichtige Gruppen unterscheiden:

- Echte Ventile,*  
*Unechte Ventile.*

Das echte Ventil zeigt in der einen Richtung einen geringen und in der entgegengesetzten Richtung einen hohen inneren Widerstand, beim Anlegen einer Wechselspannung leitet oder sperrt es «von selbst». Historisch waren dies die ersten Ventile zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom (Quecksilberdampfgleichrichter, Kupferoxydulgleichrichter). Die echten Ventile weisen eine wesentliche physikalische Unsymmetrie auf.

Im Gegensatz dazu sperren oder leiten die unechten Ventile in beiden Richtungen zunächst gleich gut. Erst durch besondere Massnahmen am Ventil selbst, wie Schliessen der Kontakte beim mechanischen Ventil oder Zünden beim Marxventil mit Hilfe von Zündelektroden, wird das Ventil in der gewünschten Stromrichtung leitend. Dies führt zu der folgenden Einteilung in 6 Gruppen:

	echt	unecht
fest	I a	I b
flüssig	II a	II b
gasförmig	III a	III b

Es gehören dazu:

### I. Ventile mit festem Aggregatzustand der Strombahn

*Ia. Trockenventile, Plattenventile,* (Selen-, Kupferoxydul-, Magnesiumsulfid-, Kristall-, Germanium-, Siliziumventile, alles echte Ventile).

*Ib. Mechanische Ventile.* Das sind unechte Ventile, bei welchen für die Ventilwirkung wesentliche Teile der Strombahn zwischen den beiden Zuständen «offen» und «zu» periodisch bewegt werden.

### II. Ventile mit flüssigem Aggregatzustand der Strombahn

*IIa. Elektrolytventile.* Echte Ventile mit Elektrolyt.

*IIb. Flüssige Metallventile.* Unechte Ventile, z. B. mit schwingendem Quecksilberstrahl.

### III. Ventile mit gasförmigem Aggregatzustand der Strombahn

Die Unterscheidung zwischen echten und unechten Ventilen erfolgt hier auf Grund des physikalisch verschiedenen Verhaltens bei hohen und tiefen Gas- oder Dampfdrücken. Fig. 2 zeigt die Überschlagespannung zwischen 2 parallelen Elektroden in Funktion des Druckes  $p$ ; diese weist ein sehr flaches Minimum auf bei einem Druck  $p^*$ . Die echten Ventile arbeiten mit Drücken unterhalb oder gleich  $p^*$ , die unechten Ventile mit Drücken oberhalb  $p^*$ .

Daraus resultieren die beiden Gruppen:

*IIIa. Elektronenventile.* Echte Ventile in den Druckbereichen *A* und *B* in Fig. 2.

**IIIb. Druckventile.** Unechte Ventile im Druckbereich C der Fig. 2 (Marxventil, Nadelgleichrichter).

Die Elektronenventile kann man andererseits einteilen in:

- Vakuumentile (Druckbereich A in Fig. 2),
- Ionenventile (Druckbereich B in Fig. 2).

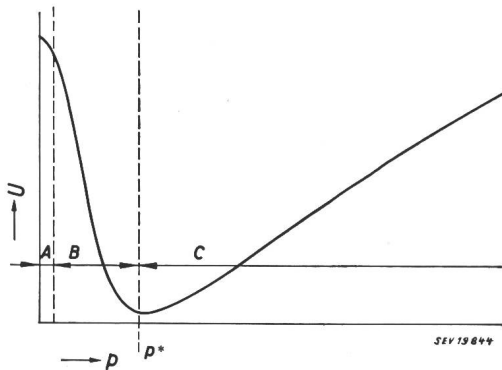


Fig. 2  
Überschlagspannung zwischen parallelen Elektroden in Funktion des Druckes  $p$   
Erklärungen siehe im Text

Die Vakuumentile arbeiten bei derart kleinen Drücken (Höchstvakuum, Grössenordnung  $10^{-6}$  Torr), dass die freie Weglänge der Elektronen die Dimensionen des Entladungsgefässes übertrifft, Zusammenstösse zwischen Elektronen und Gasteilchen dadurch selten sind und infolgedessen die Ionisation des Gases keine Rolle für den Stromdurchgang spielt. Die Spannung an den Elektroden ist durch die negative Raumladung bestimmt und daher relativ hoch.

Bei den Ionenventilen wird der Gas- oder Dampfdruck so weit erhöht, bis so viele Ionen auftreten,

wählt worden, dieser Begriff wird also hier in einem eng begrenzten Sinne verwendet. Das Marxventil (Gruppe C) ist, streng genommen, ein Ventil mit «Gasfüllung» und gleichzeitig ein «Ionenventil», der Druck ist jedoch so gross, dass es ein unechtes Ventil ist. Man muss daher aus physikalischen Gründen unbedingt zwischen den Gruppen B und C unterscheiden, weshalb für C «Druckventil» in Vorschlag gebracht wird.

Die Ventile lassen sich weiterhin einteilen in steuerbare und nicht steuerbare. Die unechten Ventile sind von Natur aus steuerbar. Durch Hinzufügen einer dritten Elektrode können die Trockenventile (Transistor) und die Elektronenventile gesteuert werden (Steurgitter, Ignitron). Wird bei den steuerbaren Ventilen der frei wählbare «Zündverzögerungswinkel» gleich null genommen, so erhält man für die Ströme und Spannungen genau die gleichen Oszillogramme wie bei den «nicht steuerbaren» Ventilen. Unter diesem Gesichtspunkt erscheinen diese also als Grenzfall der steuerbaren Ventile, bei ihnen erfolgt der Stromeinsatz nicht mehr nach «freiem Willen», sondern «von selbst» mit dem Auftreten einer positiven Spannung am Ventil.

Die vorliegende Systematik der periodisch arbeitenden Ventile führt damit zur Tabelle I.

Diese Einteilung lässt sich nun weiter verfeinern, z. B. nach dem Baustoff (Glas, Metall), und nach der Art der Kühlung, oder nach den Besonderheiten der Arbeitsweise. So kann man die mechanischen Ventile weiter einteilen in rotierende Ventile, bei welchen die für Ventilwirkung wesentliche Teile der Strombahn rotieren, und in Kontaktventile, bei welchen diese Teile eine hin- und hergehende (schwingende) Bewegung ausführen. Bei den mechanischen Ventilen kann man weiter unterscheiden

Systematik der periodisch arbeitenden Ventile

Tabelle I

		Elektrisches Ventil				
		Echtes Ventil		Unechtes Ventil		
		nicht steuerbares Ventil	steuerbares Ventil			
Aggregatzustand	fest	Trockenventil	Transistor		Mechanisches Ventil	
					Rotierendes Ventil   Kontakt-Ventil	
	flüssig	Elektrolytventil	—		Flüssiges Metallventil	
	gasförmig	Elektronenventil				
		Vakuumentil	Ionen-Ventil	Vakuumentil	Ionen-Ventil	Druckventil

dass die Raumladung der Elektronen fast im ganzen Raum kompensiert und dadurch die Spannung an den Elektroden stark reduziert wird. Die Ionisation des Füllgases (Edelgas) oder des Metaldampfes (Hg, Cäsium) ist also hier wesentlich. Damit ist die Aufteilung in Vakuumentile und Ionenventile begrifflich scharf vollzogen. Zu den zweiten gehören auch die gelegentlich als gasgefüllte Röhren bezeichneten Entladungsgefässe. Als Gattungsname für beide Arten (A und B) ist Elektronenventil ge-

zwischen *asynchronen* (elastischen) und *synchronen* (starrten) Ventilen, je nachdem die Öffnung der Kontakte direkt oder indirekt vom Stromnulldurchgang des Arbeitsstroms abhängt.

### 3. Stromrichter

Nach der Einteilung der Ventile kommen wir nun zu deren *Kombination* zum Zwecke der Umformung und Regulierung von elektrischen Strömen, also

zum *Stromrichter* in seiner allgemeinsten Bedeutung und zu den speziellen Formen: *Gleichrichter*, *Wechselrichter*, *Umrichter*, *Regulierstromrichter*. Der letztere dient zum Regulieren von Einphasen- und Mehrphasenströmen und arbeitet grundsätzlich nach Fig. 1, indem die Dauer des Stromdurchganges während der beiden Halbwellen und damit die Stromintensität verändert wird (z. B. bei Punktschweißapparaten).

Zum Stromrichter gehören also *nur* die Ventile; sowohl die Stromquelle, also der Generator, als auch der Transformator gehören nicht dazu. Die feinere Einteilung führt dann zu den Begriffen:

*fremd- oder netzgeführter Wechselrichter,*  
*selbstgeführter Wechselrichter,*  
*starrer Umrichter,*  
*elastischer Umrichter,*  
*Dreiphasen-Einphasen-Umrichter,*  
*Drehstrom-Drehstrom-Umrichter,*  
*Gleichstrom-Umrichter* usw.

#### 4. Stromrichtergruppe

Sie ist die Kombination des Stromrichters mit der Stromquelle (Generator) oder mit dem Transformator, der den Namen «Stromrichtertransformator» führt. Reguliertransformatoren mit ihrer Steuerapparat gehören ebenfalls zur Stromrichtergruppe.

#### 5. Stromrichteranlage (Stromrichterunterwerk)

Darunter soll die vollständige elektrische Anlage verstanden werden, die sich zusammensetzt aus einer oder mehreren Stromrichtergruppen und den zugehörigen Schalt-, Mess-, Regulier-, Steuer- und Meldeapparaturen.

#### 6. Elektrischer Ventilapparat

Es besteht weiter das Bedürfnis, die Begriffe: «elektrisches Ventil», «Stromrichter» und «Stromrichtergruppe» zusammenzufassen, wofür der Ausdruck «*Elektrischer Ventilapparat*» vorgeschlagen wird. Er soll also der umfassendste Begriff sein.

#### 7. Schlussbemerkung

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist die Aufstellung einer Systematik der elektrischen Ventile. Dazu mussten neue Wörter gebildet oder der Inhalt geläufiger Wörter erweitert werden. Es steht natürlich zur Diskussion, ob statt der vorgeschlagenen Wörter treffendere gefunden werden.

Der Autor hat diese Systematik seit einigen Jahren seiner Vorlesung über «Stromrichter» an der ETH zugrunde gelegt. Ingenieur W. Brandenberger, Zürich-Örlikon, Ingenieur F. Bugnion, Genf, und Oberingenieur Ch. Ehrensperger, Baden, ist er für ihre kürzlich gemachten Anregungen zu Dank verpflichtet.

Adresse des Autors:

Prof. Ed. Gerecke, Vorstand des Institutes für Allgemeine Elektrotechnik der ETH, Sternwartstrasse 7, Zürich 6.

## Versuche mit einem neuen 220-kV-Ölstrahlschalter in der Schaltstation Fontenay

Von H. Ehrensperger, Aarau

621.316.57.064.25

*Die Zunahme des Verbrauches an elektrischer Energie ist derart, dass man in Europa, in 220-kV-Netzen, mit dem Einbau von Schaltern, deren Abschaltvermögen 5000 MVA beträgt, beginnen muss. Es wird ein neuentwickelter, diesen Anforderungen entsprechender Ölstrahlschalter beschrieben und über Versuche berichtet, denen diese Neukonstruktion in Fontenay, einer Schaltstation des französischen 220-kV-Netzes, unterzogen wurde.*

*L'augmentation ininterrompue de la consommation de l'énergie électrique implique l'installation dans les réseaux d'interconnexion de 220 kV, en Europe, de disjoncteurs d'un pouvoir de coupure de 5000 MVA. Un nouveau disjoncteur-orthojecteur, qui répond aux données citées, est décrit et les essais effectués sur ce nouvel appareil à Fontenay, point très important du réseau français de 220 kV, sont indiqués et discutés.*

### I. Einleitung

Das unaufhaltbare Vordringen der Elektrizität in alle Zweige unseres Wirtschaftslebens ist wohl der unbeschreiblichen Handlichkeit und den vielen Vorteilen dieser Energieform zuzuschreiben. Deren vermehrte Anwendung führte zu einer stetigen Erhöhung der in den Netzen zirkulierenden Leistungen. Um diese besser, auch wirtschaftlich vorteilhafter beherrschen zu können, schritt man zur Erhöhung der Übertragungsspannungen von 150 auf 220 kV. Von den in die Netze eingebauten Leistungsschaltern forderte man während längerer Zeit ein Abschaltvermögen von maximal 3500 MVA bei 220 kV. Heute genügen auch diese Leistungen nicht mehr, und an stark belasteten Netzpunkten geht man zum Einbau von Leistungsschaltern mit einem symmetrischen Abschaltvermögen von 5000 MVA bei 220 kV über.

Im folgenden soll ein solcher, von der Sprecher & Schuh A.-G. in Aarau neu entwickelter Leistungsschalter für 5000 MVA bei 220 kV beschrieben und über die in Fontenay, einem der 220-kV-Netzpunkte mit der grössten Leistungskonzentration in Europa, durchgeführten Kontrollversuche berichtet werden.

### II. Aufbau des geprüften 220-kV-Schalters

Der Schalter stellt eine Weiterentwicklung der bekannten Ölstrahlschalter dar. Leitend bei der Verwirklichung dieses neuen Apparates blieb wiederum die Forderung, das gesteckte Ziel in einer möglichst einfachen, aber robusten Konstruktion, unter Berücksichtigung der bisherigen Betriebserfahrungen zu erreichen.

Die dreipolige Schaltergruppe setzt sich aus drei gleichartig gebauten Schalterpolen zusammen. Man kann wahlweise alle drei Pole mechanisch kuppeln