

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 43 (1952)  
**Heft:** 19

**Artikel:** Das Thyatron als Schalt- und Regelröhre und seine industriellen Anwendungsmöglichkeiten  
**Autor:** Hübner, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057894>

### **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:** 18.01.2025

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

feuerungsanlage müsste unter denselben Bedingungen und während der sechs Wintermonate mit einem minimalen Verbrauch von rund 5000 kg Koks gerechnet werden, was bei den gegenwärtigen Durchschnittspreisen (Fr. 16.— pro 100 kg) einen Tagesverbrauch von Fr. 4.45 ausmacht. Addiert man zu diesem Betrag noch den täglichen Lüftungsanteil von Fr. 1.60 hinzu, so belaufen sich bei Koksfeuerung die reinen Betriebskosten auf Fr. 6.05 pro Tag. In diesem Betrag nicht inbegriffen sind Wartung sowie Reinigung von Heizkessel und Kamin, wofür erfahrungsgemäss mit Zuschlägen von über einem Franken pro Tag gerechnet werden muss.

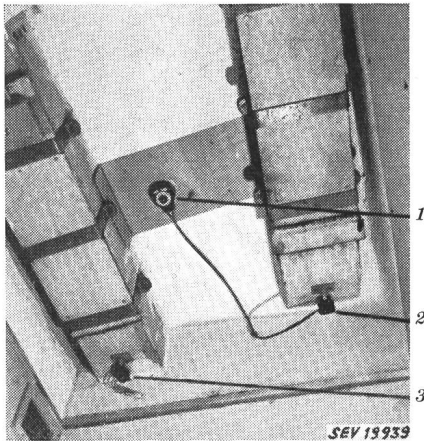


Fig. 4  
Montage der Heizkörper für Saal und Restaurant  
1...3 Sicherheits-Thermostaten

Man erkennt aus obigen absoluten und Vergleichswerten, dass das Resultat der ersten Heizperiode ebenso erfreulich wie bemerkenswert ausgefallen ist. Mit einem Betriebsaufwand von insgesamt nur Fr. 1226.30 in 6 Monaten für Heizung und Lüftung der beiden Restauranträume, der Bar und der Küche haben sich die wirtschaftlichen Erwartungen voll erfüllt. Aber nicht nur diese, sondern auch andere Eigenschaften der Anlage, wie

jederzeitige Betriebsbereitschaft, Sauberkeit, Einfachheit der Bedienung sowie die angenehmen Klimaverhältnisse in den Räumen werden vom Betriebsinhaber und seinen Angestellten als besonders wertvoll bezeichnet.

Die für elektrisch betriebene Heizungen verhältnismässig hohe Benützungsdauer von rund 700 Heizstunden, bei einer Durchschnittsleistung von 15...20 kW, darf auch vom energiewirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet als «interessante» Anlage bewertet werden.

Trotz durchgehender Inanspruchnahme der Lüftung sind die Heizsperrzeiten wohl deshalb nie als störende Einschränkung empfunden worden, weil insbesondere in der Hauptsperrezeit vor Mittag der Wärmebedarf durch den einsetzenden Küchenbetrieb gedeckt wird.

Die folgerichtige Koordination der Architekten- und Ingenieurarbeit hat hier zu einer grundsätzlich neuen Möglichkeit geführt, indem bei gleichzeitiger Gesamtkostensenkung für Heizung und Lüftung, Kohle und Öl durch landeseigene elektrische Energie weitgehend ersetzt und zusätzliche Vorteile klima- und betriebstechnischer Natur verbunden werden konnten.

Auf Grund dieses und wohl auch anderer Ausführungsbeispiele kann angenommen werden, dass dieses moderne System sich auch auf anderen Anwendungsgebieten, insbesondere dort wird einführen können, wo eine angemessene Menge technischer oder biologischer Wärme anfällig ist (Kino, Schulen, dicht besetzte Arbeitsräume usw.) und wo es auf gute Lüftungsqualität und gesundheitliche Gesichtspunkte sowie Sparsamkeit ankommt.

Abschliessend sei Ingenieur *F. Fröhlich*, Hauptwil, welcher die beschriebene Anlage projektierte, für die Überlassung von wertvollen Unterlagen der Dank ausgesprochen.

Adresse des Autors:

*E. Stahl*, Elektrotechniker, Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen, Hohlenbaumstrasse 6, Schaffhausen.

## Das Thyatron als Schalt- und Regelröhre und seine industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Von *R. Hübner*, Wettingen

621.385.38

Gittergesteuerte Stromrichterröhren, sogenannte Thyatrons, spielen heute in der Stark- und Schwachstromtechnik eine sehr wichtige Rolle. In der folgenden Abhandlung wird auf die vielseitigen und noch keinesfalls erschöpften Anwendungsmöglichkeiten hingewiesen und anschliessend Aufbau und Wirkungsweise dieser neuartigen gasgefüllten Stromrichterröhren behandelt und ihr gegenüber Hochvakuumröhren unterschiedliches Verhalten prinzipiell erklärt. Da es für den Betriebsmann wichtig ist, die zur Charakterisierung eines Thyatrons nötigen Definitionen und die zu beachtenden Betriebsvorschriften zu kennen, werden am Schlusse auch diese Fragen behandelt.

### 1. Anwendungsgebiete

In den letzten Jahren wird in der Industrie, besonders des Auslandes (USA), in steigendem Masse von Schaltungen mit «Thyatronröhren» Gebrauch gemacht. Die vielseitigen Anwendungsmöglichkei-

*Les valves redresseuses, à commande par grille, dénommées thyatrons jouent aujourd'hui un rôle très important dans la technique des courants forts et faibles. L'article donne un aperçu sur les nombreuses possibilités d'application de ces valves et décrit leur construction et leur fonctionnement. Enfin on trouvera des indications importantes pour l'utilisation concernant les définitions des caractéristiques et les prescriptions de service des thyatrons.*

ten dieser gasgefüllten Elektronenröhren für industrielle Zwecke beruhen auf ihrer Überlegenheit gegenüber den bisherigen mechanischen Schalt- und Regulierorganen mit ihrer relativ hohen Trägheit, geringen Empfindlichkeit, Kontaktabnutzung, Fun-

kenbildung usw. Demgegenüber arbeiten die Thyatronröhren praktisch trägheitslos, besitzen hohe Empfindlichkeit und Lebensdauer und gestatten Beginn und Ablauf von mechanischen, thermischen und elektrischen Vorgängen mit höchster Präzision zu kontrollieren und kontinuierlich zu regulieren. Ihr Anwendungsbereich ist so umfassend und noch keineswegs abgeschlossen, dass eine erschöpfende Aufzählung aller Schaltmöglichkeiten mit Thyatronröhren kaum möglich ist. Die im folgenden aufgeführten Anwendungsgebiete stellen nur einen Ausschnitt aus den vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten dar.

a) Überwachungsaufgaben

Thyatronen finden für Überwachungsaufgaben Verwendung im Zusammenhang mit Photozellen in Alarmanlagen für Raumschutz, sowie in Kontroll-einrichtungen für selbsttätiges Zählen, Sortieren, Prüfen und Überwachen industrieller Erzeugnisse (z. B. Aussondern fehlerhafter Konservendosen, Lageüberwachung von Werkstücken in Papier- und Tuchfabriken). Auch überall dort, wo optische Signale in elektrische oder mechanische Steuervorgänge umgewandelt werden sollen, sind Photozellen-Thyatron-Schaltungen von Vorteil. In Verbindung mit Widerstandsthermometern oder Thermo-elementen können Verbrennungsöfen überwacht und automatisch reguliert werden.

b) Stufenlose Drehzahlregulierung von Elektromotoren

Für die Elektroindustrie ist zweifelsohne die stufenlose Drehzahlregulierung mit jeder gewünschten Steuercharakteristik, sowie die automatische oder halbautomatische Konstanthaltung der Geschwindigkeit von Gleichstrommotoren ein weites und interessantes Anwendungsgebiet der Elektronenröhren. In der Werkzeugmaschinen-, Textil- und Papierindustrie, in Förderanlagen, bei Hebezeugen usw. finden Thyatronschaltungen in steigendem Masse Anwendung. Bei Bergwerkanlagen ist ausserdem der Wegfall der bei mechanischen Relais gegebenen Funkenbildung von grossem Vorteil.

c) Steuerung von Schweissmaschinen

Zur Steuerung und Zeitbegrenzung elektrischer Schweissmaschinen sind die Thyatronen heute praktisch unentbehrlich geworden.

d) Zeitgeberanwendungen

In Verbindung mit Schwingungskreisen oder Ohmschen Widerständen und Kondensatoren lassen sich mit Thyatronen die verschiedensten Zeitgeber-schaltungen aufbauen.

e) Regulierung von Beleuchtungsanlagen

Für die leistungslose Regulierung sowohl von Glühlampen als auch gasgefüllten Leuchtröhren bieten Thyatronen gegenüber Reguliertransformatoren besondere Vorteile.

2. Aufbau und Wirkungsweise einer Thyatronröhre

Das Thyatron unterscheidet sich von der Vakuumröhre dadurch, dass es eine Füllung von

Quecksilberdampf oder Gas (Xenon, Argon, Wasserstoff) oder eine Mischung von beiden besitzt und viel stärkere Ströme zu liefern vermag, die durch das Gitter fast ohne Leistungsaufwand gesteuert werden können. Das Thyatron besitzt ferner einen vorteilhaft niedrigen Spannungsabfall von nur etwa 16 V. In der Hochvakuumröhre lässt sich der Anodenstrom mit Hilfe des Gitters stetig nach beiden Richtungen steuern. In der gasgefüllten Röhre dagegen kann das Steuergitter nur den *Ein-satz* der Entladung, die Zündung bestimmen, es ist aber nicht in der Lage, die einmal gezündete Entladung wieder zu beeinflussen oder zu unterbrechen, selbst wenn die negative Gitterspannung wieder wesentlich erhöht würde. Die Löschung der Röhre kann entweder durch Abschalten der Anodenspannung erfolgen oder bei dem üblichen Betrieb mit Wechselspannung im Moment, da die positive Halwelle der Anodenwechselspannung kleiner als die Bogenspannung (ca. 16 V) wird, also ungefähr den Wert Null erreicht. Verbindet man alle Gitterspannungswerte, die bei einer bestimmten Anodenspannung eine Entladung (Zündung) der Röhre auslösen, so erhält man eine Kurve  $U_{am} = f(U_g)$ , die «Zündkennlinie». Diese trennt damit den Sperrbereich der Röhre von ihrem Brennbereich. Wie die Fig. 1 der Zündkennlinie einer Quecksilberdampftriode erkennen lässt, ist der Verlauf der Kennlinie von der Temperatur des kondensierten Quecksilbers abhängig. Bei der hier als Beispiel gewählten Röhre liegen die zulässigen Temperaturgrenzen bei 25 und 60 °C. Im Bereich links von der Kennlinie ist die Röhre gesperrt, rechts davon zün-

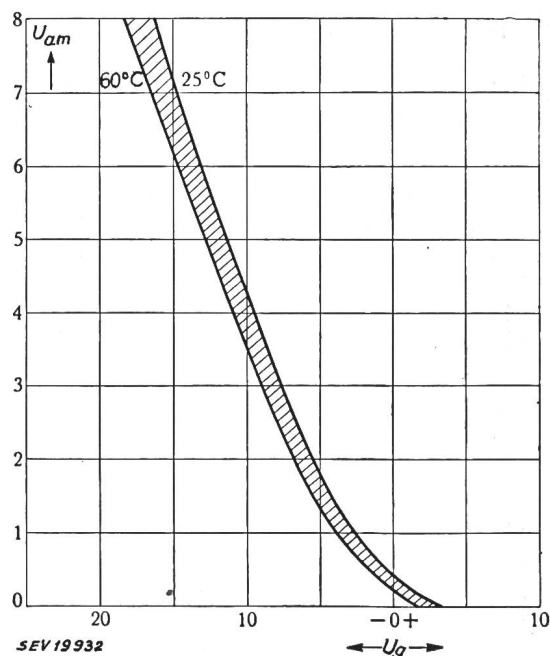


Fig. 1

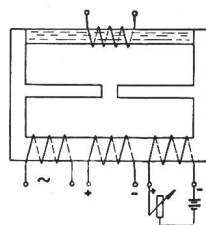
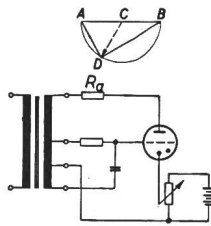
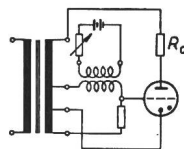
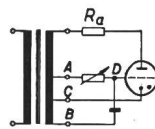
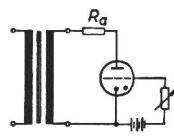
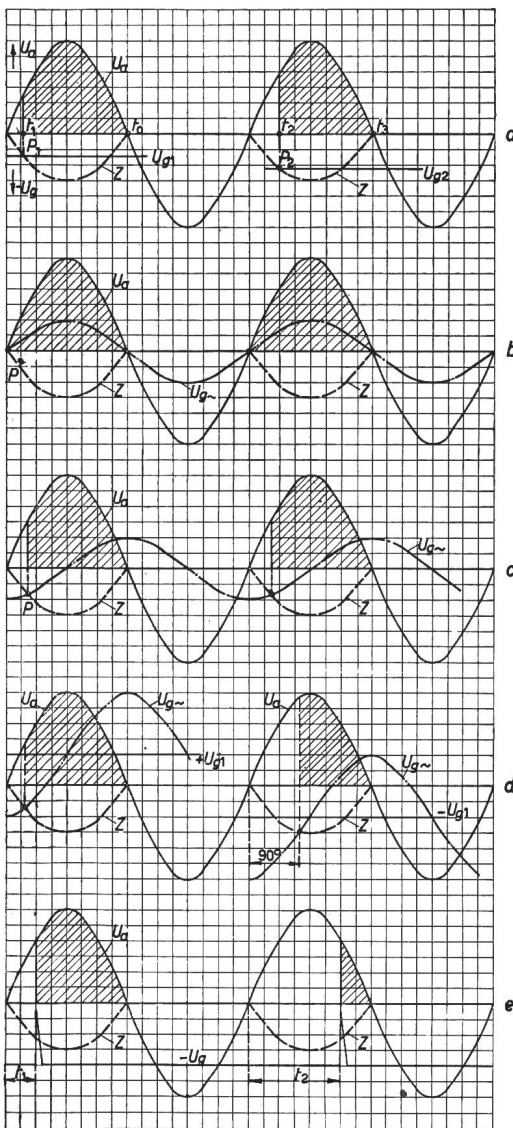
Zündspannungskennlinien eines Thyatron

Die Zündkennlinie (oder Steuercharakteristik) zeigt die Gitterspannungswerte  $U_g$ , die zu einem bestimmten Momentanwert der Anodenspannung  $U_{am}$  gehören, um die Entladung auszulösen. Sie trennt damit den Sperrbereich (links) vom Brennbereich (rechts). Da infolge der Eigenart der Gasentladung die Kennlinien der einzelnen Röhren eines Typs Abweichungen zeigen, gibt man nicht eine einzelne Kennlinie, sondern den (schraffierten) Kennlinienstreubereich an, im vorliegenden Falle für die Grenztemperaturen von 25 bis 60 °C, innerhalb der die Quecksilberdampftriode betrieben wird

det sie. Bei einer Quecksilber-Temperatur von 40 °C würde die Röhre bei einem Anodenspannungsmomentanwert von 5 kV und einer negativen Gitterspannung von -20 V noch keinerlei Strom abgeben. Bei Verkleinern der Gitterspannung setzt bei Erreichen von -12 V schlagartig der volle Anodenstrom von z. B. 0,5 A ein, die Röhre zündet, wobei sich ein Lichtbogen zwischen Anode und Kathode bildet, dessen Spannungsabfall, die «Bogenspannung», nur wenige Prozent der Anodenspannung beträgt und von der Stärke des fließenden Stromes kaum abhängt. Da die in der Röhre auftretenden Verluste aus Bogenspannung und mittlerem Anodenstrom gegeben sind, ist der Wirkungsgrad gasgefüllter Röhren bedeutend besser als diejenige von Hochvakuumröhren.

ans Gitter gebracht wird. Diese für das Thyatron charakteristische Art der Regulierung ermöglicht den Aufbau von Schaltungen ohne Verwendung teurer Reguliertransformatoren oder unhandlicher Regulierwiderstände.

Der Steuerungsmechanismus wird aus Fig. 2 ohne weiteres verständlich. Hierin ist zu der sinusförmigen Anodenwechselspannung  $U_a$  die Zündkennlinie  $Z$  gestrichelt eingetragen. Diese ergibt sich durch Umzeichnen aus der Steuerkennlinie der Röhre, entsprechend den durch die Sinusfunktion gegebenen Anodenspannungswerten. Wird eine Gittergleichspannung  $U_g$  zur Regulierung verwendet, so kann der Zündeinsatz der Röhre durch Verändern von  $U_g$  beliebig eingestellt werden. In Fig. 2a schneidet eine negative Gittergleichspannung die Zündkennlinie  $Z$  im Punkt  $P_1$ . In diesem Augenblick zündet die Röhre und führt offenbar Strom vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Nulldurchgang zur Zeit  $t_0$ . Wie eingangs erwähnt wurde, löscht die Röhre, sobald deren Anodenspannung unter die «Bogenspannung» sinkt, die bei nahezu Null liegt. In der negativen Halbwelle führt die Röhre deshalb keinen Strom, sondern nur in der positiven Halbwelle (Schraffur). Wird die negative Gitterspannung auf  $U_{g2}$  vergrößert, so wird damit der Zündeinsatz  $P_2$  zeitlich auf  $t_2$  verzögert; die schraffierte Fläche, innerhalb der die Röhre Strom führt, wird kleiner. Diese Fläche ist aber ein Mass für die von der Thyatronröhre abgegebene Leistung. Man erkennt ohne weiteres, dass man es in der Hand hat, durch Anlegen verschieden grosser Git-



terspannung die Zündkennlinie  $Z$  im Punkt  $P_1$ . In diesem Augenblick zündet die Röhre und führt offenbar Strom vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Nulldurchgang zur Zeit  $t_0$ . Wie eingangs erwähnt wurde, löscht die Röhre, sobald deren Anodenspannung unter die «Bogenspannung» sinkt, die bei nahezu Null liegt. In der negativen Halbwelle führt die Röhre deshalb keinen Strom, sondern nur in der positiven Halbwelle (Schraffur). Wird die negative Gitterspannung auf  $U_{g2}$  vergrößert, so wird damit der Zündeinsatz  $P_2$  zeitlich auf  $t_2$  verzögert; die schraffierte Fläche, innerhalb der die Röhre Strom führt, wird kleiner. Diese Fläche ist aber ein Mass für die von der Thyatronröhre abgegebene Leistung. Man erkennt ohne weiteres, dass man es in der Hand hat, durch Anlegen verschieden grosser Git-

Fig. 2  
Steuerung des Zündeinsatzes einer Thyatronröhre

Das Prinzipschema zeigt verschiedene Möglichkeiten, den Zündeinsatz und damit die Leistungsabgabe eines Thyatrons zu steuern. Während in a) eine Gittergleichspannung verändert wird, erfolgt in b) und c) die Änderung mittels einer Gitterwechselspannung, die in ihrer Phase verschoben wird, und in d) mit verschiebbarer Gleichspannung, der eine Wechselspannung überlagert ist. Die eleganteste Reguliermöglichkeit ist die in e) gezeigte, mit steilflankigen Impulsen

### 3. Die Steuerung

Die Thyatronröhren werden in den meisten Fällen nicht mit Gleichspannung betrieben, sondern als Gleichrichterventil geschaltet an eine Wechselspannung gelegt. In diesem Fall wird auch eine Wechselspannung zur Steuerung benützt, die mit einer entsprechenden «Phasenverschiebung»

terspannungen den Zündeinsatz und damit die Leistungsabgabe zu regulieren.

In der Praxis bedient man sich jedoch keiner Gittergleichspannungen, da diese nur eine Regulierung über maximal 90 ° ermöglichen, sondern verwendet hiezu eine Gitterwechselspannung (Fig. 2b und c). Je nach dem gewünschten Zündeinsatz ver-



schiebt man diese gegenüber der Anodenwechselspannung durch entsprechende Phasenschieber (z. B. *RC*- oder *RL*-Glieder). Während in Fig. 2b eine Stromabgabe während der gesamten positiven Halbwelle erfolgt, fließt bei phasenverschobener  $U_g$  nur ein kleinerer Strom, die Leistungsabgabe der Röhre verringert sich (Fig. 2c).

Der Regulierbereich erstreckt sich über volle  $180^\circ$ , also kontinuierlich von Null bis zum Maximum. Wichtig ist, dass dabei die Phasenregulierung so erfolgt, dass die Gitterwechselspannung in entgegengesetztem Sinne zur Zeitachse verschoben wird, was dann der Fall ist, wenn z. B. die Phasenbrücke gemäss dem neben der Charakteristik Fig. 2c stehenden Schema geschaltet wird. Andernfalls wird nur einfaches Ein- und Ausschalten möglich. An Stelle eines *RC*-, kann auch ein *RL*- oder *CL*-Glieder verwendet werden, wobei *L* eine «regulierbare Drosselspule» (Eisenkern hoher Sättigung) ist, die zusätzlich von einem steuerbaren Gleichstrom durchflossen wird.

Eine andere Reguliermöglichkeit besteht in der Änderung der Gitterwechselspannungsamplitude. Sie wird «Amplitudensteuerung» genannt, ist jedoch weniger gebräuchlich.

Besser ist es, wenn die der Gleichspannung überlagerte Wechselspannung in Amplitude und Phase (am besten mit  $90^\circ$  Verschiebung) konstant gehalten und die Gleichspannung verändert wird (Fig. 2d). Die Gitterwechselspannung steht dabei zur Anodenwechselspannung im Verhältnis von mindestens etwa 1 : 15.

Während die Steuerung mit reiner Wechselspannung für viele Steuervorgänge ihrer Einfachheit halber verwendet wird, bietet die kombinierte Steuerung vor allem bei Motorsteuerungen Vorteile. Bei Regulierung auf «Konstante Tourenzahl» ermöglicht sie eine einfache Differenzbildung mit der Ankerbezugsspannung.

Dort wo es auf präzisen Zündensatz und höhere Steuerbereiche ankommt, wird vorteilhaft die Impulssteuerung (Fig. 2e) verwendet. Die Impulse werden meist mit Hilfe eines «Streutransformators» erzeugt. Sie lassen sich je nach der gewünschten Stromabgabe der Röhre gegenüber der Anodenwechselspannung in der Phase verschieben. Je später also der Zündpunkt bestimmt wird, desto weniger bleibt von der Brennhalbwelle übrig, desto kleiner wird der Gleichstrommittelwert, der sich durch Integration der einzelnen Halbwellenstücke ergibt. Somit ist es möglich, den von einer Thyatronröhre abgegebenen Gleichstrom (der noch entsprechend geglättet werden kann), stetig von Null bis auf einen Maximalwert zu regeln. Dabei tritt die während der Sperrzeit nicht entnommene Gleichstromleistung nicht etwa als Verlust in der Röhre auf, sondern wird der Spannungsquelle überhaupt nicht entnommen. Die Regulierung findet nahezu verlustlos statt. Man erkennt hieraus, welche schier unerschöpflichen Schalt- und Reguliermöglichkeiten sich aus diesem Verhalten der Thyatronröhren ableiten lassen.

#### 4. Charakterisierung eines Thyatron

Zur Charakterisierung eines Thyatron bedarf es der Einführung einiger neuer Begriffe, die wichtig für die zweckmässige Auswahl der für eine bestimmte Regulieraufgabe erforderlichen Röhre sind. Die gebräuchlichsten Definitionen sollen kurz angegeben werden.

##### a) Innerer Spannungsabfall

Dieser, auch als «Bogenspannung» bezeichnete Spannungsabfall ist, wie bereits erwähnt, ausserordentlich niedrig. Je nach der Art der Gasfüllung und des Gasdruckes liegt er bei 10...16 V. Während gasgefüllte Röhren weitgehend temperaturunabhängig sind, steigt der Spannungsabfall bei mit Quecksilberdampf gefüllten Röhren mit abnehmender Temperatur unzulässig an und kann dadurch eine Zerstörung der Röhre zur Folge haben. Messtechnisch lässt er sich am besten mit dem Kathodenstrahloszillographen ermitteln.

##### b) Maximale Sperrspannung

Sie wird für die «Sperr-» und die «Durchlass-» Phase angegeben. Im ersten Fall ist es jener höchste Momentanwert der Anodenwechselspannung, den die Röhre in der dem Stromfluss entgegengesetzten Richtung verträgt. Die Sperrspannung in der Durchlassphase ist dagegen jene maximale Anodenspannung, bei der der Strom durch Anlegen einer entsprechenden Gitterspannung gerade gesperrt werden kann. Quecksilberdampf ergibt

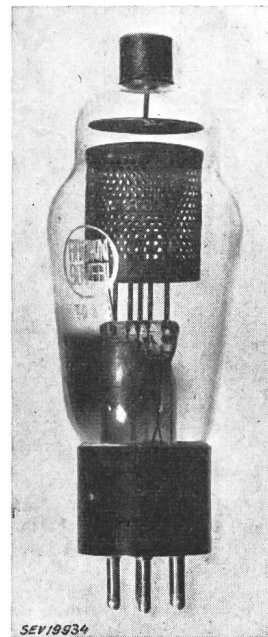


Fig. 3

Gittergesteuertes Thyatron TQ1/2 mit Quecksilber- und Argonfüllung

Diese Röhre eignet sich für die verschiedensten Regulieraufgaben, bei denen eine kurze Anheizzeit und ein weiter Temperaturbereich wünschenswert sind

hohe Sperrspannungen, verlangt aber einen engen Temperaturbereich und längere Anheizzeiten. Zusatz von Edelgas verbreitert diese Grenzen und verkürzt das Anheizen, allerdings auf Kosten der Spannungsfestigkeit. Ein günstiger Kompromiss bietet eine Mischung von Quecksilber mit Argon, wie dies z. B. bei dem Brown-Boveri-Thyatron TQ1/2 ausgeführt wurde (Fig. 3). Diese Röhre ist überall dort von Vorteil, wo es auf weiten Temperaturbereich ( $-40$  bis  $+80^\circ\text{C}$ ) und kurze Anheizzeit (30 s) ankommt. Ihre Sperrspannung beträgt 1250 V gegenüber einer ähnlichen, nur mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre TQ 6 mit 20 000 V (Fig. 4).

##### c) Leistungsfähigkeit

Zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit eines Thyatron dienen die folgenden Angaben.

Der *Anoden-Spitzenstrom* (Kathoden-Spitzenstrom) darf keinesfalls überschritten werden, da dies zur Zerstörung des Kathodenmaterials führen würde. Die zulässige thermische Belastung der Röhre wird durch den *maximalen mittleren Anodengleichstrom* definiert. Dieser stellt den der Röhre dauernd entnehmbaren Gleichstrom dar. Er ist jedoch kein kontinuierlicher Gleichstrom, sondern tritt in Form von zerhackten positiven Halbwellen, also in Impulsform auf. Die mittlere Strom-

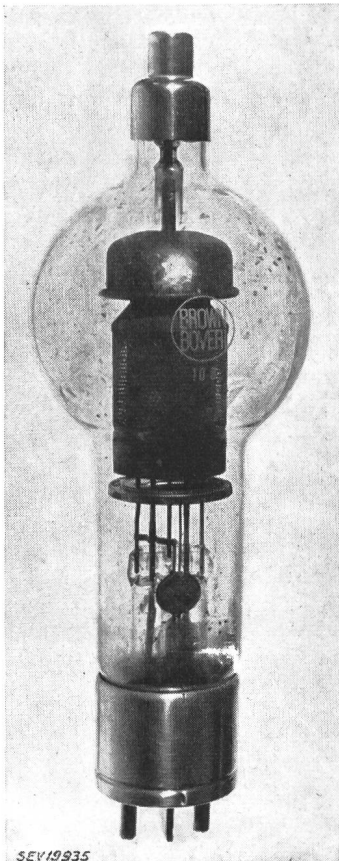


Fig. 4

Quecksilberdampf-Triode TQ6 zur Gleichrichtung hochgespannter Wechselströme bis 20 kV  
Das Gitter kann zum Einschalten, sowie Blockieren des Anodenstromes benützt werden

belastung wird daher über eine bestimmte *Integrationszeit* angegeben und kann danach jeweils berechnet werden. Die Angabe  $I_a = 2,5$  A bei einer Integrationszeit  $t = 10$  s, und einem Anodenspitzenstrom  $I_{ap} = 15$  A besagt, dass das Strom-Zeit-Produkt ( $I_a t$ ) immer erhalten bleiben muss, ohne dass dabei der Spitzenstrom überschritten wird. Die Röhre darf daher z. B. einen Strom von 5 A mit 5 s Dauer oder maximal 15 A während  $1\frac{2}{3}$  s abgeben.

Lediglich für den Fall eines Kurzschlusses ist ein einmaliger Impuls, der *Kurzschlussimpuls* (surge) zugelassen, der aber nach mindestens 0,1 s automatisch unterbrochen werden muss. Die Dimensionierung der Röhrenkreise muss so erfolgen, dass dieser Wert des Kurzschlußstromes keinesfalls überschritten werden kann. Eine mehrfache Wiederholung des Kurzschlusses macht die Röhre unbrauchbar.

Zur Ionisierung und Deionisierung des Röhrenraumes wird eine gewisse Zeit, die *Ionisierungs- resp. Entionisierungszeit*, benötigt. Mit dem Erlöschen der Entladung z. B. beim Nulldurchgang der positiven Halbwelle sind die Elektronen und Ionen nicht sofort verschwunden, sondern bestehen noch eine kurze Zeit im Entladungsraum weiter, bis sie durch elektrische Felder oder durch Diffusion an die Elektrode oder an die Röhrenwand gelangen. Die *Entionisierungszeit* liegt bei mit Quecksilberdampf gefüllten Röhren bei 1000  $\mu$ s, bei edelgasgefüllten entsprechend niedriger. Sie bestimmt theoretisch die Verwendungsmöglichkeit der Röhre für eine obere Frequenzgrenze. Praktisch ist diese schon bei etwa 150 Hz gegeben. Die *Ionisierungszeit* beträgt meist nur wenige  $\mu$ s. Sie ändert sich mit der Grösse und Steilheit der Gitterwechselspannung, während die Entionisierungszeit von der Raumtemperatur und vom entnommenen Anodenstrom abhängt.

#### d) Betriebsvorschriften

Thyratronröhren sind für den Einsatz auch in robustem Betrieb gut geeignet. Das Arbeiten mit diesen Röhren erfordert aber die Einhaltung der angegebenen Maximalwerte und die Beachtung einiger Punkte für den einwandfreien Betrieb. Als solche wären noch zu erwähnen: eine gewisse Anheizzeit, Einhaltung eines bestimmten Temperaturbereiches für das kondensierte Quecksilber, Einhaltung der Nenn-Heizspannung und Verwendung nur in senkrechter Lage. Thyratronröhren müssen zur Vermeidung einer Rückzündungsgefahr ausserhalb des Einflusses von Hochfrequenz- oder magnetischen Feldern montiert werden. Bei mit Quecksilberdampf gefüllten Röhren ist dabei die Rückzündungsgefahr geringer als bei edelgasgefüllten. Sie besitzen zudem meist eine höhere Brenndauer.

Die ursprünglich vorhandenen Bedenken hinsichtlich geringer Lebensdauer werden durch die praktischen Ergebnisse zerstreut, wonach Röhren mit mehreren tausend Brennstunden immer noch befriedigend arbeiten.

Adresse des Autors:

Roland Hübner, Dipl. Ing., Nägelistrasse 14, Wettingen (AG).