Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 44 (1953)
Heft: 3

Artikel: Kaltkathodenröhren
Autor: Gugelberg, H.L. von
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058047

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: 16.12.2025

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

44e année N° 3 Samedi, le 7 Février 1953

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Kaltkathodenröhren

Von *H. L. von Gugelberg*, Maienfeld

621.327.4

Es werden neuere Entwicklungen auf dem Gebiete der Gasentladungsröhren mit Kaltkathoden behandelt. Insbesondere wird auf die Verwendung von Glimmröhren als empfindliche Relaisorgane (Glimmrelais) und als elektronische Zählwerke (dekadische Zählrohre) eingegangen. Der Arbeitsmechanismus, die Steuerung und einige typische Anwendungen werden kurz und qualitativ dargelegt.

Exposé des récents développements dans le domaine de tubes à décharge à cathodes froides, notamment de tubes à effluve servant de relais très sensibles et de tubes à décade pour machines à calculer électroniques. Brèves indications sur le mécanisme du fonctionnement, la commande et quelques applications typiques.

1. Einleitung

Seit langem finden Glimmröhren nicht nur für Beleuchtungszwecke, sondern auch als Spannungsstabilisatoren und Relaisröhren in zahlreichen Schaltungen technische Anwendung. Nachdem es in den letzten 10 Jahren gelungen ist, durch Verbesserungen in der Fabrikationstechnik eine Gleichmässigkeit und Konstanz der elektrischen Daten und eine lange Lebensdauer zu erreichen, wie sie vor kurzem noch als unwahrscheinlich galten, gewinnt nunmehr die technische Verwendung rasch an Umfang. Der Grund liegt darin, dass Glimmröhren in idealer Weise wichtige Eigenschaften elektronischer und elektromechanischer Schaltelemente verbinden. Mit elektronischen Schaltelementen haben sie eine hohe Steuerempfindlichkeit und eine grosse Schaltgeschwindigkeit gemeinsam. Anderseits sind sie aber — gleich wie elektromechanische Schaltelemente — jederzeit ohne irgendwelche Vorheizung arbeitsbereit. Eine Glimmröhre verbraucht also im Bereitschaftszustand weder Strom, noch nutzt sie sich ab. Diese Eigenschaft ist besonders bei jenen Anwendungen von Bedeutung, bei denen nach langen Bereitschaftszeiten relativ kurze Arbeitszeiten auftreten, so z. B. beim Telephon. Hierin liegt der Grund, dass heute schon beim amerikanischen Telephon jährlich über 1 Million Glimmrelais für besondere Schalt- oder Zähloperationen neu eingebaut werden, wobei jeweils für diese Elemente mit einer Lebensdauer von 40 Jahren gerechnet wird. Eine andere typische Anwendung findet das Glimmrelais dank seiner Empfindlichkeit in Netzkommando-Empfängern, z. B. zur Fernsteuerung von Heisswasserspeichern oder andern elektrischen Apparaten (Fig. 5). Aus vielen andern Anwendungsbeispielen sei noch ein Ionisationsfeuermelder herausgegriffen, in dem die Änderung eines äusserst kleinen Ionisationsstromes durch ein Glimmrelais festgestellt wird. Viele Tausende solcher Melder stehen seit Jahren im störungsfreien Dauerbetrieb [1; 5] [1]). Andere Anwendungen ergeben sich aus der Kombination von Glimmröhren und Photozellen, z. B. für automatische Türöffner. Es können dabei Verstärker von unübertroffener Einfachheit und Zuverlässigkeit gebaut werden, die im wesentlichen nur aus einer Glimmröhre und einem Gleichstromrelais bestehen und die direkt an das Lichtnetz mit 220 V Wechselspannung angeschlossen werden können (Fig. 6).

Im Verlaufe der Entwicklung wurden Gruppen von Glimmtrioden zu Zählringen zusammengeschaltet, wobei sich beim Anlegen eines elektrischen Impulses die Entladung jeweils von einer Röhre zur nächsten fortschaltet (Fig. 7). Später wurde eine grössere Anzahl von Elektroden in einer einzelnen Röhre untergebracht, wobei die auf einer Elektrode brennende Entladung die nächstfolgende Nachbarelektrode so beeinflusst, dass beim Anlegen eines Spannungsimpulses die Entladung von selbst um einen Schritt in der gewünschten Richtung weiterspringt. So ist es z. B. möglich, auf einfachste Art und fast ohne äussern Schaltungsaufwand einen dekadischen Zählkreis zu bauen. Die Anwendungsmöglichkeiten für Industriezähler, Steuerungsaggregate, elektronische Rechenmaschinen, Scaler und wissenschaftliche Apparate sind offensichtlich.

Mit der Verbesserung der Fabrikationstechnik genügt nun auch der alte Glimmstabilisator höhern Anforderungen, die bisher nur durch wesentlich kompliziertere Anordnungen erfüllt werden konnten. Die Spannungsschwankungen können bei den neuesten Röhren selbst bei mehrjährigem Dauerbetrieb in den Grenzen von $\pm$ 1 V gehalten werden.

Fig. 1 zeigt eine Anzahl typischer technischer Glimmröhren.

2. Entladungsmechanismus und statische Strom-Spannungscharakteristik [2]

Zum Verständnis des Steuerungsvorganges müssen wir kurz auf den Mechanismus der Entladung und auf den Verlauf der Strom-Spannungscharakteristik eingehen. Wir betrachten zunächst eine einfache Diode, d. h. eine Röhre die aus 2 planparallelen Metallplatten besteht, welche bei einem gegenseitigen Abstand von einigen Millimetern in

[1]) siehe Literatur am Schluss des Artikels.

einem Glaskolben eingeschlossen sind. Dieser sei mit einem Edelgas bei einem Druck von einigen Prozent des Atmosphärendruckes gefüllt. Wenn man an die Elektroden dieser Röhre über einen Strombegrenzungswiderstand R eine kleine Spannung U anlegt, passiert zunächst nichts. Falls man die Spannung U aber bis zu einem bestimmten kritischen Wert U_Z steigert, beginnt plötzlich ein Strom zu fliessen, der durch den Vorschaltwiderstand begrenzt wird. Den Mechanismus dieses Stromflusses stellt man sich wie folgt vor: Durch äussere Strahlung (Radioaktivität, kosmische Strahlung, Photoeffekt an der Kathode) mögen in der Gegend der Kathode einzelne sog. Fremd- oder Zufallselektronen entstehen. Diese werden im elektrischen Feld gegen die Anode hin beschleunigt und stossen unterwegs mit neutralen Gasmolekülen zusammen. Je nach Energie des stossenden Elektrons können ausser elastischen Stössen auch folgende Fälle auftreten:

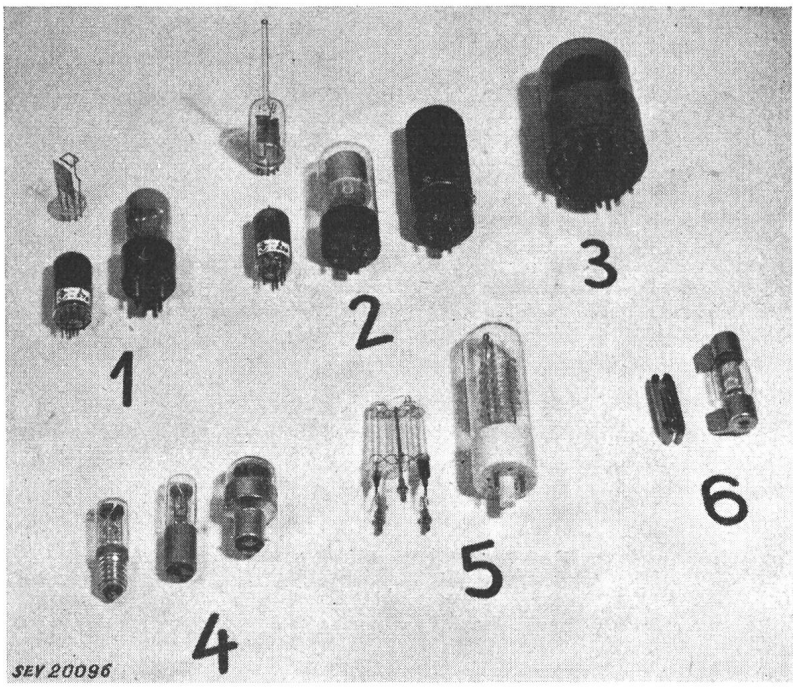


Fig. 1
Typische technische Glimmröhren
1 Stabilisierungsröhren; *2* Relaisröhren; *3* dekadische Zählröhre (Labormodell); *4* Signalglimmlampen; *5* Photoblitzröhren; *6* Überspannungsableiter

1. Das gestossene Gasmolekül wird zur Lichtemission angeregt (Entladungslicht). Resultat: ein Photon.
2. Ein Elektron des gestossenen Gasmoleküls wird auf ein sog. metastabiles, energiereicheres Niveau gebracht und verharrt dort, bis es infolge eines geringfügigen äussern Einflusses unter Energieabgabe wieder in den Grundzustand zurückfällt. Resultat: ein metastabiles Atom.
3. Ein Elektron des gestossenen Gasmoleküls wird befreit. Resultat: ein positives Ion und ein zusätzliches Elektron.

Jedes zusätzliche Elektron wird auch wieder gegen die Anode hin beschleunigt und kann weitere Gasmoleküle ionisieren. So entsteht aus einem im Kathodengebiet gebildeten Elektron eine gegen die Anode hin wachsende Elektronenlawine. Als Produkt der Elektronenlawine bleiben Photonen, metastabile Atome und positive Ionen übrig. Diese Lawinenprodukte gelangen mindestens teilweise wieder zur Kathode und lösen dort neuerdings Elektronen aus (Elektronenauslösung kann durch den Stoss positiver Ionen, durch metastabile Atome, oder durch den Photoeffekt des Entladungslichtes bedingt sein [3]). Die durch die Lawinenprodukte an der Kathode ausgelösten Elektronen bilden ihrerseits wieder Lawinen und diese wieder Elektronen. Aus der so entstehenden Wechselwirkung resultiert in bekannter Weise der Strom der Glimmentladung.

Für das Zustandekommen einer dauernden, von äussern Einflüssen unabhängigen Entladung muss die sog. Selbständigkeitsbedingung erfüllt sein. Sie besagt, dass im Durchschnitt die Produkte jeder Elektronenlawine wieder mindestens zur Auslösung eines Nachfolgeelektrons an der Kathode genügen müssen. Falls die Elektronenbildung an der Kathode die durch diese Bedingung geforderte Mindestmenge überschreitet, wächst der Strom an; andernfalls klingt er ab. Bei Vorhandensein eines Strombegrenzungswiderstandes wird der Strom so lange anwachsen, bis infolge des Spannungsabfalles am Widerstand die Selbständigkeitsbedingung genau erfüllt ist. Wichtig ist, dass das Entstehen eines Stromes in einer Glimmstrecke vom Vorhandensein einer minimalen Spannung U_Z, der sog. Zündspannung abhängig ist.

Wenn in einer Glimmstrecke einmal Strom fliesst, werden dadurch für die Bildung weiterer Lawinen günstigere Verhältnisse geschaffen [4]. Dafür gibt es im wesentlichen 2 Gruppen von Gründen. Einmal bedingt z. B. das Vorhandensein leicht ionisierbarer metastabiler Atome eine Zunahme der Elektronenbildung pro Lawine, und ausserdem können metastabile Atome auch durch gegenseitigen Stoss oder durch Stoss auf Wände Elektronen auslösen. Zudem wird beim Fliessen von Strom das Feld bald durch Raumladungen verzerrt. Das verzerrte, lokal verstärkte Feld bietet meist ebenfalls günstigere Ionisierungsbedingungen. Daher kommt es, dass zunächst mit wachsendem Strom die zur Erfüllung der Selbständigkeitsbedingung benötigte Spannung sinkt. Mit andern Worten: bei kleinen Strömen fällt im allgemeinen die Stromspannungscharakteristik einer Glimmstrecke und beim Vorhandensein von Ladungsträgern sinkt auch die Zündspannung.

Schon wenn der Strom eine Grössenordnung von 1 mA erreicht hat, bewirkt eine weitere Stromsteigerung meist keine weitere Begünstigung der Elektronenbildung mehr. Die Strom-Spannungscharakteristik geht nun in ein flaches Minimum über, in dem sich die Entladung gerne stabilisiert. Die zugehörige Spannung wird meist als Brennspannung bezeichnet, und dieses Gebiet der Charakteristik wird

für den Betriebszustand technischer Röhren gerne ausgenützt.

Bei weiterer Steigerung des Stromes bedeckt sich zunächst die ganze Kathodenoberfläche mit Glimmlicht, ohne dass die Spannung wesentlich ansteigt (Spannungsstabilisierungsröhre). Erst nachher beginnen die Lawinen sich gegenseitig zu behindern und die Brennspannung steigt an. Bei noch grösserem Strom endlich wird die Kathode durch den Aufprall der positiven Ionen so stark aufgeheizt, dass sie beginnt, Glühelektronen zu emittieren. Nun bricht die Arbeitsspannung nochmals zusammen und es tritt ein Lichtbogen auf, der rasch zur Zerstörung der Röhre führen kann.

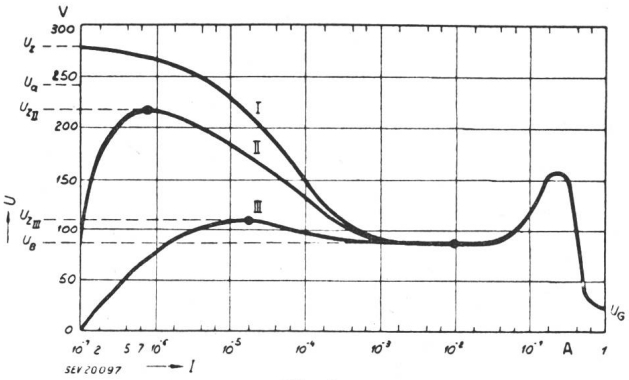


Fig. 2
Strom-Spannungscharakteristik einer Glimmstrecke

I ohne Fremdstrom — U_Z, U_{ZII}, U_{ZIII} Zündspannungen
II schwacher Fremdstrom — U_B Brennspannung
III starker Fremdstrom — U_G Bogenspannung
U Brennspannung in V; *I* Strom durch Glimmstrecke in A

Die beschriebene Strom-Spannungscharakteristik zeigt Kurve *I* in Fig. 2. Sie fällt also von der bei sehr kleinen Strömen zur Einleitung der Entladung benötigten Zündspannung U_Z zum flachen Minimum der Brennspannung U_B, steigt später an und bricht endlich beim Auftreten von grösseren Emissionen nochmals bis auf die Bogenspannung U_G zusammen.

3. Steuerung einer Glimmröhre

Bei der Steuerung einer Glimmröhre wird von der Zündspannungserniedrigung beim Vorhandensein eines kleinen Stromes Gebrauch gemacht. Man kann durch eine «Einspritzung» von Ladungsträgern wenigstens für einen Moment jene günstigen Bedingungen schaffen (Raumladung etc.), welche die Zündung der Strecke durch eine normalerweise ungenügende Spannung U_a ermöglichen. Steuerung einer Glimmstrecke ist also identisch mit der Herabsetzung der Zündspannung durch eine mindestens kurzzeitige Einspritzung von Ladungsträgern. Ähnlich wie beim geheizten Thyratron kann ein einmal eingeleiteter Strom nur durch kurzzeitiges Absenken der Anodenspannung unter die Brennspannung wieder gelöscht werden (bei Wechselstrombetrieb geschieht das automatisch im Verlaufe jeder Halbperiode).

In welcher Form die Einspritzung von Ladungsträgern erfolgt, ist zunächst nebensächlich. Man kann die Röhre z. B. mit einer lichtempfindlichen Bariumkathode versehen und diese von aussen kräftig beleuchten. Dadurch werden an der Kathode Photoelektronen ausgelöst, welche schon bei kleinen angelegten Spannungen und unabhängig davon ob die Selbständigkeits-Bedingung erfüllt ist, einen Strom bewirken. Wenn die angelegte Spannung steigt, wächst dieser Strom infolge Gasverstärkung und man erhält eine Strom-Spannungs-

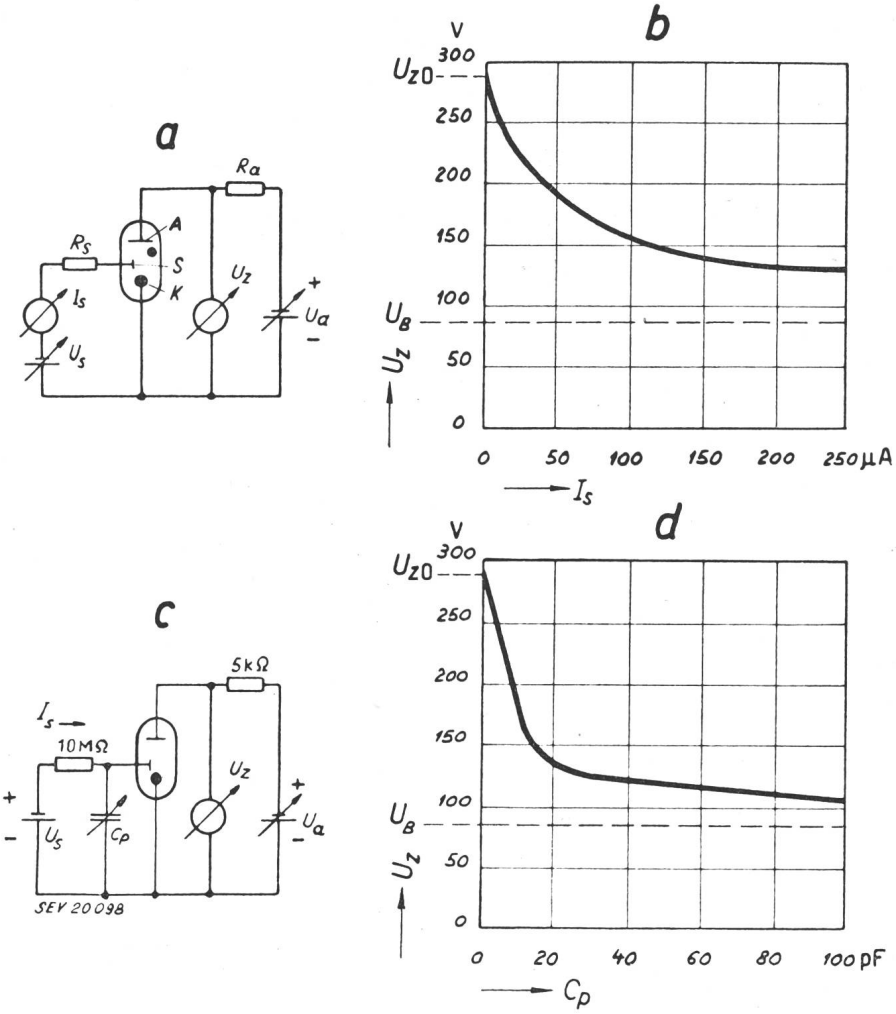


Fig. 3
Steuercharakteristik

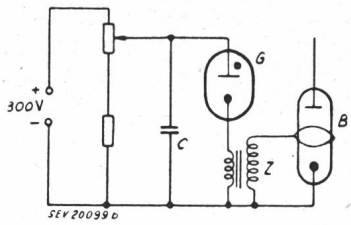
a Schaltung zur Aufnahme der Steuercharakteristik bei Gleichstromsteuerung
b Typische Steuercharakteristik mit Gleichstrom. U_z Anodenzündspannung; I_S Steuerstrom; U_{z_0} Anoden-Zündspannung ohne Steuerstrom; U_B Brennspannung
c Schaltung zur Aufnahme der Steuercharakteristik mit Entladekapazität parallel zur Steuerstrecke
d Typische Steuercharakteristik mit Entladekapazität. U_z Anodenzündspannung; C_p Entladekapazität; U_{z_0} Anoden-Zündspannung ohne Steuerstrom; U_B Brennspannung

charakteristik, die im Charakter Kurve *II* in Fig. 2 entspricht. Wichtig ist, dass jetzt auch die Zündspannung auf den niedrigeren Wert $U_{Z\,II}$ gesunken ist, und dass die ohne Beleuchtung zu kleine Spannung U_a jetzt zur Zündung der Röhre genügt. Eine noch stärkere Stromeinspritzung (Beleuchtung) wird zu einer noch stärkeren Veränderung der Charakteristik und zu einer noch grösseren Reduktion der Zündspannung führen (Kurve *III*). Die Herabsetzung der Zündspannung von Glimmröhren bei Beleuchtung ist oft als störender Effekt bekannt geworden. Gewisse technische Glimmröhren sind aus diesem Grunde mit einem schwarzen Schutzanstrich versehen.

Normalerweise erfolgt die Einspritzung des Steuerstromes mit Hilfe einer besondern Steuerstrecke oder Elektrode, die im Innern der Röhre angebracht ist. Fig. 3a zeigt eine typische Röhre in einer Schaltung, die zur Aufnahme der Steuercharakteristik geeignet ist. Die Röhre besteht aus einer Anode *A*, einer Kathode *K* und einer Starteranode *S*. Die Hauptstrecke *AK* sei so konstruiert, dass sie ohne Steuerstrom eine Zündspannung von etwa 300 V benötigt. Sie ist über einen Begrenzungswiderstand R_a mit einer variablen Anodenspannungsquelle U_a verbunden. Die kürzere Steuerstrecke $\overline{KS}$ zünde bei etwa 100 V. Mit der variablen Spannungsquelle U_s und dem Begrenzungswiderstand R_s kann der Steuerstrom variiert werden. Jeder Strom I_s in der Steuerstrecke bewirkt infolge des Überganges von Ladungsträgern auch einen solchen in der Hauptstrecke und damit eine Erniedrigung der Zündspannung zwischen *K* und *A*. Je stärker der Steuerstrom, desto stärker ist die Einspritzung und desto niedriger ist die Zündspannung der Hauptstrecke. Die Kurve Fig. 3b zeigt diese Zündspannung als Funktion des Steuerstromes für eine technische Gleichstromtriode. Wie zu erwarten ist, beginnt die Kurve bei kleinen Strömen bei der Zündspannung U_{z0} der Hauptstrecke ohne Steuerstrom, und sie nähert sich mit wachsendem Steuerstrom asymptotisch der Brennspannung. Aus der Charakteristik sieht man z. B., dass zur Erniedrigung der Zündspannung um etwa 50 V ein Steuerstrom von 15 μA nötig ist.

4. Technische Anwendungen gesteuerter Glimmröhren als Schaltröhren

Steuerung von Glimmröhren wird in der Technik in den verschiedensten Variationen angewendet. Steuerung einer Diode durch Beleuchtung eignet sich besonders zur Fernauslösung elektronischer Blitzlichtgeräte für photographische Zwecke. Zur Erzielung von Seitenlichteffekten ist es nämlich oft wünschenswert, durch den zwar sehr kurzen, aber ausserordentlich hellen Lichtblitz eines Gerätes gleichzeitig weitere Geräte auszulösen. Eine lichtempfindliche Glimmröhre kann hierbei mit Vorteil gleichzeitig die Funktion von Photozelle und Verstärkerröhre übernehmen. Damit ist das Problem auf einfachste Art gelöst und jeder Ruhestromverbrauch vermieden. Auch bei Distanzen bis zu 10 m und bei indirekter Beleuchtung sind infolge der gewaltigen momentanen Lichtintensitäten von Elektronenblitzen Zündspannungserniedrigungen von 50...100 V leicht erreichbar, während Änderungen der normalen Beleuchtung nicht stören. Fig. 4 zeigt eine praktische Anordnung eines solchen Gerätes mit einer aufsteckbaren lichtempfindlichen Glimmröhre.



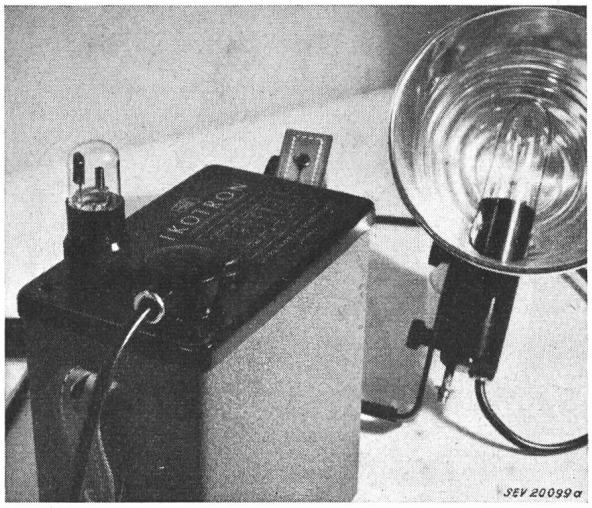
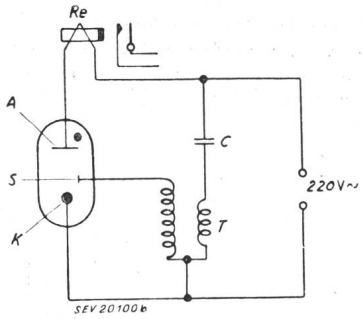


Fig. 4
Gegenseitige Fernauslösung von elektronischen Photoblitzgeräten durch lichtempfindliche Glimmröhren
Ein Photoblitz bewirkt Photostrom auf der lichtempfindlichen Kathode der Röhre *G*. Zündspannung von *G* sinkt, *G* zündet. Kondensator *C* entlädt sich durch *G* und Primärwicklung der Zündspule *Z*. Hochspannungsimpuls an Sekundärseite von *Z* zündet Blitzröhre *B*

Bei der Grosszahl der praktischen Anordnungen wird die Entladung in der Hauptstrecke durch einen kleinen Steuerstrom ausgelöst. Es werden dann meist Trioden gemäss Fig. 3 verwendet. Oft, besonders bei lichtschwachen Photozellen-Anordnungen oder im Fall von Ionisationskammern, sind allerdings die verfügbaren Steuerströme so klein, dass sie nicht genügen würden, um eine merkbare Verkleinerung der Zündspannung in der Hauptstrecke zu bewirken. In solchen Fällen wird eine Schaltung gemäss Fig. 3c angewendet. Der in unserm Fall durch einen Hochohmwiderstand gelieferte kleine Steuerstrom I_s wird verwendet, um die Kapazität C_p aufzuladen, die parallel zur Steuerstrecke geschaltet ist. Sobald an C_p die Zündspannung der Steuerstrecke erreicht ist, muss eine Kippentladung stattfinden, wobei sich C_p schlagartig bis in die Nähe der Brennspannung der Steuerstrecke entlädt (dafür, dass eine solche Kippentladung von C_p tatsächlich eintritt, genügt eine fallende Stromspannungscharakteristik der Steuerstrecke allein nicht; es müssen auch noch gewisse Bedingungen bezüglich Aufbauzeit der Entladung erfüllt sein [3]. Bei der Kippentladung treten kurzzeitig Spitzenströme auf, die den im Durchschnitt verfüg-



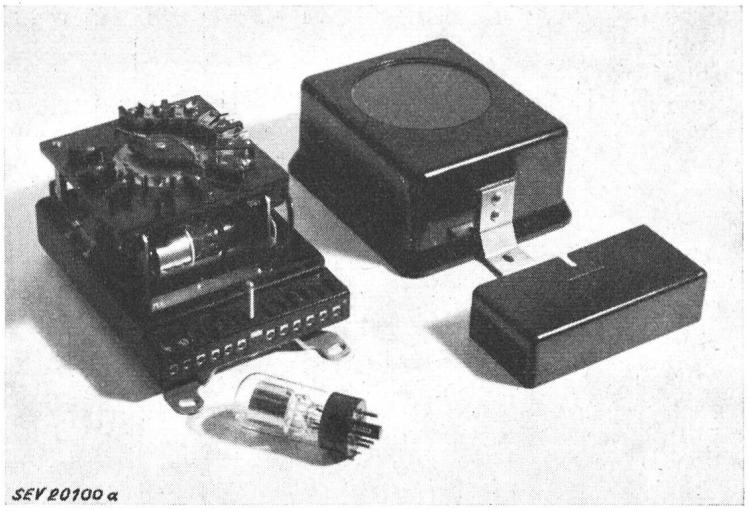


Fig. 5
Netzkommandoempfänger mit Glimmrelais
Dem Netz überlagerte Tonfrequenz (ca. 1...2 kHz, 1...2 V) fliesst durch den Kondensator *C* und die Primärwicklung des Resonanztransformators *T*. Sekundärseitig wird die Tonfrequenzspannung auf etwa 150 V transformiert. Sie zündet die Steuerstrecke *KS* und diese die Hauptstrecke *KA* des Glimmrelais. Dessen Anodenstrom betätigt das Relais *Re* und dieses den Schaltmechanismus

baren Steuerstrom um mehrere Grössenordnungen übertreffen. Die Energie der Steuerentladung ist nun im wesentlichen durch C_p bedingt und nicht durch den Steuerstrom, der nur die Frequenz der Steuerentladungen beeinflusst. Wenn man eine Steuercharakteristik aufzeichnen will, ist es also zweckmässig, die Zündspannung U_z der Hauptstrecke als Funktion der Speicherkapazität C_p der Steuerstrecke einzutragen. Wie Fig. 3d zeigt, genügt bei einer typischen technischen Röhre die Entladung einer Kapazität von 30 pF, um die Anodenzündspannung um 160 V herabzusetzen.

Nach dem gesagten dürfte die praktische Anwendung des Glimmrelais für Gleichstromsteuerungen offensichtlich sein. Der Begrenzungswiderstand im Anodenkreis kann durch ein elektromechanisches Relais ersetzt werden und die zulässigen mittleren Anodenströme betragen meist 10...50 mA. Kurzzeitig sind oft viel höhere Spitzenströme möglich. Als praktisches Beispiel sei auf den Ionisationsfeuermelder hingewiesen [5]. An Stelle von Gleichstrom kann sowohl im Anoden- als auch im Steuerkreis Wechselstrom verwendet werden. Technische Wechselstromröhren sind meist so gebaut, dass sie bei der normalen Netzspannung (110 bzw. 220 V) nicht ohne Hilfe einer Steuerentladung zünden. Durch geeignete Asymmetrie der Elektrodenanordnung wird ausserdem oft ein Gleichrichtereffekt in der Hauptstrecke erreicht, so dass die Röhre direkt in Serie mit einem mechanischen Gleichstromrelais an das Netz angeschlossen werden kann. Steuerung durch Hochfrequenzimpulse, Photozellen, empfindliche Kontakte oder andere Elemente ist entsprechend den Schemata in Fig. 5 und 6 möglich. Besonders zu beachten ist in diesen Fällen, dass zur Vermeidung des Klapperns ein durch eine Kurzschlusswicklung verzögertes mechanisches Relais verwendet werden muss.

Bei der Glimmröhre verliert, ähnlich wie beim Thyratron, die Starteranode nach der Zündung ihre Steuerwirkung. Bei Gleichstrombetrieb kann also die Röhre nur durch kurzzeitiges Abschalten der Anodenspannung wieder gelöscht werden, während bei Wechselstrom eine Löschung automatisch nach jeder Halbperiode erfolgt.

Die Aufzählung der Steuermöglichkeiten wäre nicht vollständig, wenn nicht auf die praktisch allerdings seltener angewendete Steuerung durch Aussenelektroden hingewiesen würde. Falls an einer z. B. aussen auf dem Glaskolben angebrachten Metallelektrode plötzlich eine Spannung angelegt wird, entsteht ein elektrisches Feld zwischen dieser Elektrode und den Röhrenelektroden. Dieses Feld löst eine Gasentladung

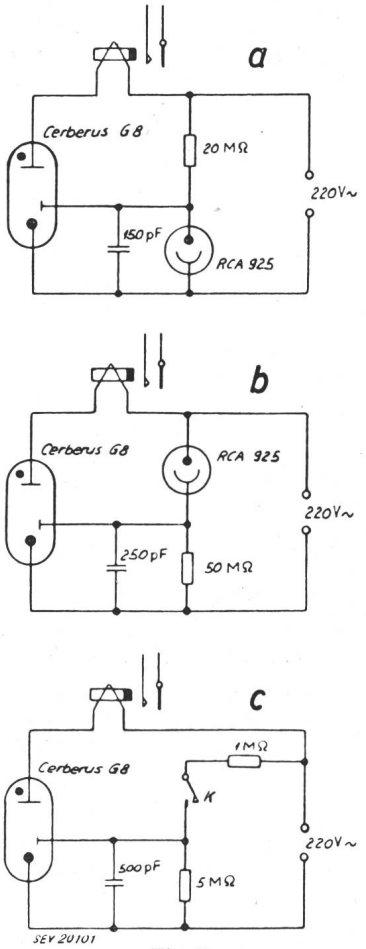


Fig. 6
Photozellen- und Kontaktschutzschaltungen
a Glimmrelais zündet, wenn Beleuchtung der Photozelle unterbrochen wird
b Glimmrelais zündet bei Beleuchtung der Photozelle
c Schaltung zum Schutze des empfindlichen Kontaktes *K*

zwischen den Röhrenelektroden und dem Innern der Glaswand aus, die so lange dauert, bis das Feld im Gasraum verschwunden und durch Wandladungen in das Glas verlegt worden ist. Diese Entladung hat ebenfalls Steuerwirkung und setzt die Zündspannung innerer Strekken herab. So erklären sich übrigens auch die oft beobachteten Zündspannungsänderungen von Glimmröhren bei Berührung. Praktisch ist es ohne weiteres möglich, durch Anlegen von Spannungen von etwa 200 V an äusserlich angebrachten Metallelektroden geeignete Glimmstrecken zuverlässig zu zünden. Anderseits bedingt die mit der Möglichkeit der Aussensteuerung verbundene Berührungsempfindlichkeit oft die Notwendigkeit elektrostatischer Abschirmungen.

Endlich ist noch auf die Möglichkeit der Aussensteuerung durch Hochfrequenzfelder hinzuweisen, die zur Ionenbildung im Gasraum führen können.

Die erwähnten Steuermethoden lassen zahlreiche Kombinationen zu. So kann eine Glimmröhre mit mehreren unabhängigen Steuerelektroden ausgerüstet werden, was z. B. in Konzentrationsstufen von Telephonzentralen von technischer Bedeutung sein kann. Falls verschiedene Steuerelektroden im Innern der Röhre angebracht werden, sind sie allerdings nach Zünden der Röhre durch die Gasentladung bis zu einem gewissen Grade elektrisch miteinander verbunden. Praktisch vollständige Unabhängigkeit mehrerer Eingänge, selbst bei gezündeter Röhre, lässt sich bei Verwendung mehrerer Aussenelektroden erreichen.

Zahlreiche speziellere Anwendungen von Glimmröhren können hier nicht besprochen werden. Erwähnt sei nur, dass Glimmröhren besonders für Zeitverzögerungskreise und Zeitschaltgeräte gerne verwendet werden. Sehr gross ist die Zahl der Anwendungsmöglichkeiten beim Telephon. Praktisch ausgeführt wurden z. B. Übersetzeranordnungen zum Übersetzen von Teilnehmer- mit Amtsnummern, Zählkreise und Koordinatenschalter.

5. Zählkreise und dekadische Zählröhren

Von besonderer Bedeutung sind in immer steigendem Masse rasch arbeitende Anordnungen, die im Stande sind, elektrische Impulse zu zählen und zu registrieren. Das Zähltempo elektromechanischer Anordnungen genügt in sehr vielen Fällen den Anforderungen nicht mehr. Das gilt nicht nur für elektronische Rechenmaschinen und Scaler zur Auswertung der Impulse von Geiger-Müller-Zählrohren etc., sondern auch für manche Industriezähler und für Zähler zur Steuerung von Werkzeug- oder andern Maschinen. Endlich kommt auch beim Telephon dem Problem des Zählens von Impulsen grosse Bedeutung zu. Es wurden denn auch zuerst für Telephonzwecke Zählanordnungen entwickelt, die aus Ringen von Röhren mit kalten Kathoden bestehen und bei denen sich beim Anlegen und Wegnehmen eines elektrischen Impulses die Entladung jeweils von einer Röhre zur nächsten fortschaltet. Fig. 7 zeigt die Schaltung eines solchen Zählringes mit 4 Stufen. Er funktioniert wie folgt:

Wir nehmen an, dass die Entladung in Röhre *2* brenne, so dass am entsprechenden *RC*-Glied, das in die Kathodenleitung geschaltet ist, ein Spannungsabfall entsteht. Die Zündelektrode der nächstfolgenden Röhre *3* ist über einen Widerstand mit der Kathode der brennenden Röhre *2* verbunden.

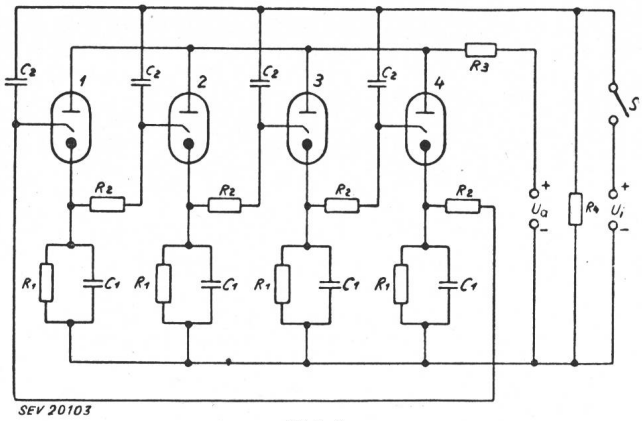


Fig. 7
Zählkreis mit einzelnen Glimmröhren
Die Zahl der Stufen kann nach Bedarf gewählt werden. Beim Schliessen des Schalters *S* (Anlegen von U_i) springt die Entladung von einer Röhre zur nächstfolgenden

Wegen des Spannungsabfalles am *RC*-Glied der Röhre *2* ist sie auf einem positiveren Potential als alle anderen Zündelektroden. Wenn wir nun mit Hilfe der Impulsspannung U_i und des Schalters *S* über die Kapazitäten C_2 einen positiven Spannungsimpuls passender Grösse an alle Zündelektroden anlegen, wird nur die schon mit einer positiven Vorspannung versehene Zündelektrode von Röhre *3* zünden. Mit Hilfe des Zündimpulses vermag die Anodenspannung U_a auch die Hauptstrecke von Röhre *3* zu zünden und zwischen Anode und Kathode von Röhre *3* herrscht nun die Brennspannung. Die Kapazität des *RC*-Gliedes von Röhre *3* wirkt im ersten Moment als Kurzschluss, während jene von Röhre *2* schon aufgeladen ist. Deshalb sinkt die Spannung an Röhre *2* kurzzeitig unter die Brennspannung und Röhre *2* verlöscht. Das Anlegen eines Spannungsimpulses hat also die Entladung von Röhre *2* zu Röhre *3* gebracht und in analoger Weise werden die nächsten Spannungsimpulse die Entladung von Röhre *3* nach Röhre *4* und von Röhre *4* nach Röhre *1* treiben etc.

In der beschriebenen Weise können Zählkreise mit einer beliebigen Anzahl von Stufen zusammengestellt und je nach Anwendung in mannigfacher Art kombiniert werden.

Trotzdem solche Zählkreise mit einer Mehrzahl von Einzelröhren sich gut bewährt haben, tauchte schon 1945 der Wunsch auf, eine grössere Anzahl von Zählstufen in einer einzigen Röhre zu vereinigen. Man erwartete nicht nur eine wesentliche Verminderung des Schaltaufwandes pro Zählstufe, sondern darüber hinaus auch eine Erhöhung der Zählgeschwindigkeit. Es kann hier nicht auf alle Stufen der Entwicklung eingegangen werden. Es sei nur eine neuere und gleichzeitig die einfachste derartige Anordnung kurz beschrieben, nämlich die zuerst in den Bell Telephone Laboratories entwickelte Röhre mit einer Zählreihe aus lauter unsymmetrischen Kathoden. Eine solche Röhre samt der zugehörigen Schaltung ist in Fig. 8 schematisch dargestellt. In einem Glaskolben ist eine ringförmige Reihe von normalerweise 20 kleinen Molybdänkathoden $K_1 ... K_{10}$ und $K'_1 ... K'_{10}$ untergebracht. Alle 20 Kathoden stehen einer gemeinsamen Anode *A* gegenüber und haben dieselbe unsymmetrische Form (sie kann z. B. dreieckig sein). Die sog. Hauptkathoden $K_1 ... K_{10}$ sind zu einer Gruppe zu-

sammengefasst und parallel verbunden. Dasselbe gilt für die Hilfskathoden $K'_1 ... K'_{10}$, von denen jeweils eine in jedem Zwischenraum zwischen 2 Hauptkathoden angebracht ist. Die Hauptkathoden liegen am Minuspol einer Spannungsquelle. Die Hilfskathoden liegen über den Impulswiderstand R_i an einem positiven Potential von 20 V, und die

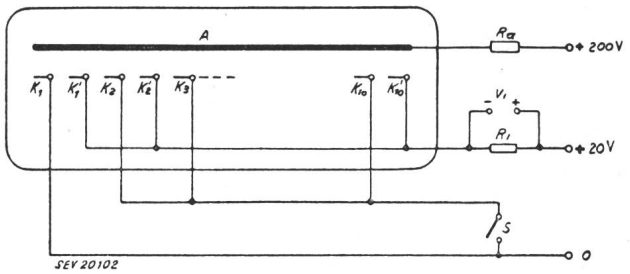


Fig. 8
Dekadische Zählröhre mit unsymmetrischen Glimmkathoden
Bezeichnungen siehe im Text

Anode ist über den Begrenzungswiderstand R_a mit einem positiven Potential von 200 V verbunden. Die Spannung V_i der Zählimpulse kann parallel zum Widerstand R_i an der Gruppe der Hilfskathoden angelegt werden. Die Anordnung funktioniert wie folgt:

Eine Glimmentladung möge zunächst zwischen der Hauptkathode K_2 und der Anode brennen. Beim Anlegen einer die Vorspannung von 20 V übersteigenden Impulsspannung V_i wird die Gruppe der Hilfskathoden negativ im Vergleich zu jener der Hauptkathoden. Zwischen Anode und Hilfskathoden herrscht nun also ein höheres Potential als zwischen Anode und Hauptkathoden. Die Entladung hat somit die Tendenz, auf eine der Hilfskathoden überzuspringen. Normalerweise wird sie auch auf nicht mehr als eine der Hilfskathoden übergehen. Wenn nämlich einmal eine der Hilfskathoden gezündet hat, herrscht zwischen dieser und der Anode die Brennspannung und der Spannungsüberschuss wird am Anodenwiderstand R_a vernichtet. Die zum Zünden einer weitern Hilfskathode notwendige Überspannung ist also nicht mehr vorhanden. Es stellt sich nun die Frage, welche von den 10 Hilfskathoden beim Anlegen der Impulsspannung zünden wird. Sicher wird es eine der brennenden Kathode K_2 benachbarte Hilfskathode sein, denn die an K_2 brennende Entladung bewirkt ja eine Trägereinspritzung und Steuerwirkung, die sich bei den beiden Nachbarstrecken am stärksten auswirkt. Durch geeignete Asymmetrie der Kathoden kann auch leicht dafür gesorgt werden, dass die Entladung von K_2 auf die nächstfolgende Hilfskathode K'_2 eine sehr viel stärkere Steuerwirkung ausübt als auf die vorangehende Kathode K'_1. So wird erreicht, dass beim Anlegen der Impulsspannung die Entladung von K_2 auf die nächstfolgende Hilfskathode K'_2 übergeht. Es wurde schon gesagt, dass nun zwischen K'_2 und der Anode die Brennspannung herrscht und dass der durch den Impuls V_i erzeugte Spannungsüberschuss am Anodenwiderstand R_a zusätzlich vernichtet wird. Man überlegt sich daher leicht, dass jetzt die Spannung zwischen der Hauptkathode K_2 und der Anode unter die Brennspannung abgesunken sein muss und dass daher die dortige Entladung auslöscht. Das Anlegen der Impulsspannung hat also ein Überspringen der Entladung von K_2 auf die nächstfolgende Kathode K'_2 zur Folge. Wenn die Impulsspannung V_i wieder weggenommen wird, sind die Verhältnisse insofern wieder umgekehrt, als die Gruppe der Hauptkathoden neuerdings negativ in Bezug auf jene der Hilfskathoden wird. Die Entladung muss also jetzt wieder auf eine der Hauptkathoden überspringen und aus den gleichen Asymmetriegründen wie vorhin wird sie die nächstfolgende Kathode in «Vorwärts»-Richtung wählen, d. h. K_3. Anlegen und Wegnehmen einer Impulsspannung V_i hat also die Entladung von der Hauptkathode K_2 über die Hilfskathode K'_2 zur Hauptkathode K_3 gebracht. In analoger Weise wird jeder weitere Impuls die Entladung um einen weitern Schritt vorwärts treiben und so können die Impulse gezählt werden.

Der gezeichnete Kreis genügt in dieser Form zum Zählen, falls man sich mit visueller Feststellung des Resultates begnügt. Falls das Resultat in Form einer elektrischen Spannung benötigt wird, müssen jeweils in die Zuführungen der einzelnen Hauptkathoden «Ablese-Widerstände» geschaltet werden, an denen eine Spannung liegt, falls die betreffende Kathode Strom führt. Das Problem der Einstellung des Zählkreises auf eine bestimmte Anfangszahl (z. B. 0-Stellung) löst man am einfachsten, indem man kurzzeitig nur die betreffende Anfangskathode mit der negativen Spannung der Stromquelle verbindet (Öffnen von Schalter S). Es bedarf kaum besonderer Erwähnung, dass zur Addition mehrstelliger Zahlen mehrere Röhren so kombiniert werden, dass jede, wenn sie nach 10 Impulsen einen Umlauf gemacht hat, die nächstfolgende um einen Schritt weiterschaltet. Die Form oder Dauer der zu zählenden Impulse ist von untergeordneter Bedeutung, wenn sie nur innerhalb gewisser (übrigens unkritischer) Grenzen bleiben. Das maximale Zähltempo ist durch die Zeit bedingt, welche die Entladung benötigt, um nach Übergang auf die Nachbarkathode im Gebiet der vorhergehenden Kathode abzuklingen (zu deionisieren). Je nach Gasfüllung, Konstruktion und Schaltung schwankt die maximale Zählgeschwindigkeit derartiger Röhren zwischen 10^3 und 10^5 Impulsen pro s.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Glimmzählröhre ein neuartiges Element darstellt, welches das Problem des elektronischen Zählens im dekadischen System mit einem Minimum an Aufwand und auf zuverlässigste Art und Weise löst. An seiner Weiterentwicklung wird in verschiedenen Industriefirmen gearbeitet und es dürfte in der Technik eine grosse Verbreitung finden.

6. Schlussfolgerungen

In den letzten Jahren hat die Technik der Herstellung und Anwendung von Röhren mit kalten Kathoden grosse Fortschritte gemacht. Die Gleichmässigkeit und zeitliche Konstanz der Daten, sowie die Lebensdauer wurden sehr stark verbessert. Besonders an Bedeutung gewonnen hat die Anwendung von Glimmröhren als empfindliche Relaiselemente in Fällen, wo auf stromlose und abnutzungsfreie Bereitschaft und sehr hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer Wert gelegt wird. Zählringe und besonders dekadische Zählröhren dürften sich in den nächsten Jahren in steigendem Masse einbürgern. In der Schweiz befasst sich die Firma Cerberus GmbH in Bad Ragaz seit etwa 12 Jahren mit der Entwicklung und Fabrikation von Glimmröhren.

Literatur

[1] *Langenberger, Alfred:* Ein neuer Apparat zur Feststellung und Meldung von Brandfällen. Techn. Mitt. schweiz. Telegr.- u. Teleph.-Verw. Bd. 23(1945), Nr. 3, S. 114...124.
[2] *Molnar, J.:* Conduction Phenomena in Gases. Electr. Engng. Bd. 69(1950), Nr. 12, S. 1071...1076.
[3] *Gugelberg, Hans Luz von:* Über Aufbauzeit, Rückwirkungsmechanismus und Stabilität bei stromschwachen Niederdruckentladungen. Helv. Phys. Acta Bd. 20(1947), Nr. 3, S. 307...340.
[4] *Meili, Ernst:* Über die Charakteristik der Townsend-Entladung und deren Beeinflussung durch Bestrahlen der Kathode. Helv. Phys. Acta Bd. 18(1945), Nr. 2, S. 79...194.
[5] *Meili, Ernst:* Ionisations-Feuermelder. Bull. SEV Bd. 43 (1952), Nr. 23, S. 933...939.

Adresse des Autors:
Dr. *H. L. von Gugelberg*, Salenegg, Maienfeld (GR).