Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 2

Artikel: Kaltkathodenröhren mit besonderer Berücksichtigung der Relaisröhren
Autor: Vollenweider, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057777

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: 07.08.2025

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Kaltkathodenröhren mit besonderer Berücksichtigung der Relaisröhren

Vortrag, gehalten an der 22. Hochfrequenztagung des SEV vom 9. Oktober 1958 in Baden,
von *M. Vollenweider*, Männedorf

621.373.444 : 621.387

Kaltkathodenröhren sind elektronische Schalter. Sie unterscheiden sich von Hochvakuumröhren und geheizten Gasentladungsröhren durch die Art der Stromleitung und der Elektronenemission. Nach einem Überblick über die verschiedenen Röhrenarten werden der Entladungsmechanismus und die grundlegende Strom-Spannungskennlinie einer Diode erläutert. Anhand des Steuermechanismus einer Triode wird die Arbeitsweise der Relaisröhren gezeigt. Ansprech- und Entionisierungskennlinie geben Aufschluss über das dynamische Verhalten und die erreichbaren Schaltzeiten. Aus einer Übersicht über die wesentlichen Röhreneigenschaften gehen die gute Stabilität, die geringen Streuungen und die Temperaturunabhängigkeit hervor. Eine elektronische Verzögerungsschaltung und ein Ionisationsfeuermelder sind Beispiele für den praktischen Einsatz der Röhren, die in der Hochfrequenztechnik als Anzeige-, Überwachungs- und Steuerelemente Verwendung finden.

Les tubes à cathode froide sont des commutateurs électroniques. Ils se distinguent des tubes à vide et des tubes à gaz à cathode chauffée par les modes de conduction et d'émission d'électrons. Après une énumération des différentes réalisations, le méchanisme de décharge et la caractéristique fondamentale courant-tension d'une diode sont traités. Le méchanisme de commande d'une triode démontre le fonctionnement des tubes relais. Les caractéristiques de réponse et de desionisation fournissent les informations sur le comportement dynamique. Excellente stabilité, tolérances serrées et indépendance de la température des valeurs principales sont des qualités importantes des tubes à cathode froide. Un schéma de retardement électronique et un détecteur de fumée à ionisation sont des exemples d'application typique de ces tubes qui sont utilisés dans la haute fréquence comme éléments de signalisation, de surveillance et de commande.

1. Einleitung

Seit mehreren Jahren nehmen die Kaltkathodenröhren an Bedeutung und Verbreitung ständig zu. Der Grund dafür liegt nicht nur in der raschen Entwicklung der gesamten Elektronik, sondern ebensosehr in der Vervollkommnung der Röhren selbst. Besonders die Einführung von Reinmetallkathoden brachte eine bedeutende Verbesserung der Lebensdauer und der zeitlichen Stabilität sowie eine beträchtliche Einengung der Toleranzen. In den meisten Anwendungen kann heute mit einer praktisch unbegrenzten Lebensdauer der Kaltkathodenröhren gerechnet werden.

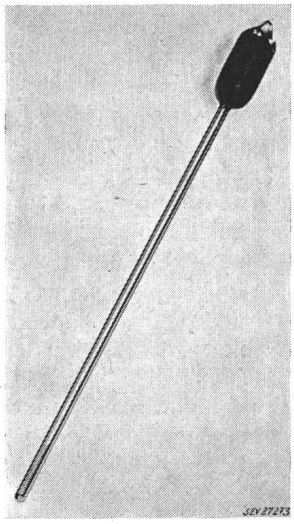

Fig. 1
Energieanzeigeröhre für Radar-Wellenleiter
Die unten sichtbare Drahtspirale taucht in den Hohlleiter, in der Kapillare bildet sich eine Leuchtsäule. Die Verdickung am oberen Röhrenende enthält eine genügende Gasreserve und das Getter

In der Hochfrequenztechnik beschränkt sich der direkte Einsatz von Kaltkathodenröhren auf Anzeige- und Schaltfunktionen. Fig. 1 zeigt eine Anzeigeröhre, die in einen Radar-Wellenleiter eingesetzt wird und eine energieproportionale Leuchtsäule zeigt. Mehrere solcher Röhren, die in bestimmten Abständen eingebaut sind, gestatten eine Kontrolle der Antennenanpassung. Ebenfalls in der Radartechnik gebräuchlich sind die sogenannten TR- und ATR-Röhren, Kaltkathoden-Sperröhren, die der Umschaltung der gemeinsamen Antenne von Senden auf Empfang dienen. Indirekt, d. h. in Speise-, Steuer- und Überwachungskreisen von Hochfrequenzgeräten besteht ebenfalls eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten.

Kaltkathodenröhren sind Gasentladungsröhren. Sie unterscheiden sich von den in der Hochfrequenztechnik gebräuchlichen Vakuumröhren dadurch, dass die Stromleitung nicht durch frei im Vakuum bewegte Elektronen erfolgt, sondern durch Elektronen und Ionen des Füllgases. Ein weiterer Unterschied, auch gegenüber geheizten Gasentladungsröhren liegt darin, dass die Emission von Elektronen aus der Kathode nicht thermisch ausgelöst wird, sondern zur Hauptsache durch auf die Kathode prallende Ionen des Füllgases.

Für eine Vielzahl von Bedürfnissen besteht eine Vielfalt von Kaltkathodenröhren, wovon die folgende Übersicht ein Bild vermitteln soll:

Signalglimmlampen, Anzeigeröhren für Hochfrequenz und Hochspannung, Kippglimmröhren (Dioden mit hoher Zünd-Brennspannungsdifferenz), Spannungsstabilisierungsröhren, Blitzlichtröhren, Stroboskopröhren, Sperröhren (TR, ATR) für Radarantennen, Überspannungsableiter (hieher gehören auch die zum Schutz von Radar-Impulstransformatoren verwendeten «Spark-Gaps»), Geiger-Müller-Zählröhren, Kaltkathoden-Relaisröhren, Vielkathoden-Zählröhren und andere.

2. Entladungsmechanismus und statische Strom-Spannungskennlinie

Zur Erklärung des Entladungsmechanismus diene die einfachste Form einer Gasentladungsröhre, die aus Kathode und Anode gebildete Diode, wie sie in Fig. 2 schematisch dargestellt ist. Man

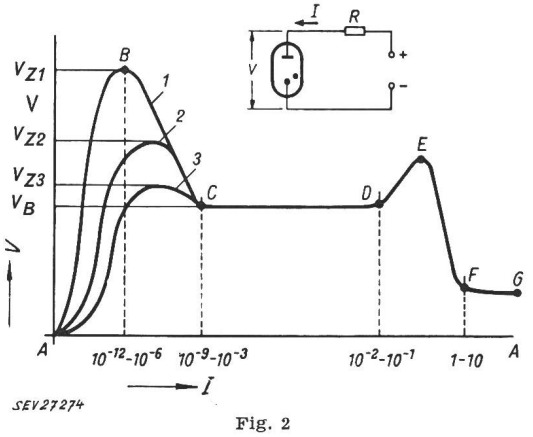

Fig. 2
Schematische Darstellung und statische Strom-Spannungskennlinie einer Diode

V Spannung an der Röhre; V_Z Zündspannung; I Strom durch die Röhre; V_B Brennspannung; R strombegrenzender Widerstand

1 Kennlinie für schwache Vorionisierung
2 Kennlinie für mittlere Vorionisierung
3 Kennlinie für starke Vorionisierung

stelle sich die Elektroden als zwei planparallele Platten in einem Abstand von einigen Millimetern vor, die in einem vakuumdichten, edelgasgefüllten Glaskolben eingeschmolzen sind. Man lege weiter — über den strombegrenzenden Widerstand R — eine Spannung V an diese Platten an. Zwischen ihnen sollen sich — zufolge Ionisierung des Füllgases, z. B. durch kosmische Strahlung, einige sog. Zufallselektronen befinden. Diese werden durch das unter dem Einfluss von V entstehende Feld gegen die Anode hin beschleunigt und stossen unterwegs mit neutralen Gasmolekülen zusammen. Neben elastischen Stössen können dadurch ausgelöst werden: Lichtemission (Photonen), Bildung von metastabilen Atomen, Ionisierung. Die bei der Ionisierung entstehenden Elektronen werden ihrerseits wieder gegen die Anode beschleunigt und können weitere Gasmoleküle ionisieren usw. Aus einem ursprünglich vorhandenen Zufallselektron entsteht so eine gegen die Anode fliegende Elektronenlawine und als Beiprodukte dieser Lawine bleiben Photonen, metastabile Atome und positive Ionen übrig. Diese Lawinenprodukte gelangen mindestens teilweise wieder zur Kathode und können aus dieser weitere Elektronen auslösen, welche wiederum neue Lawinen bilden. Solange nicht von den Lawinenprodukten eines Elektrons im Durchschnitt wieder ein Elektron aus der Kathode befreit wird, bleibt die Entladung unselbständig, das heisst, sie kommt nur durch eine Fremdionisierung zustande.

Das Strom-Spannungsdiagramm von Fig. 2 zeigt im Kurventeil A—B den Strom-Spannungsverlauf der unselbständigen Entladung. Der Verlauf der Kurve in diesem Bereich ist von der Stärke der Fremdionisierung abhängig; die Kurven *1...3* gelten für verschiedene Ionisierungsstärken, wie sie beispielsweise durch zusätzliche Entladungen im selben Kolben erreicht werden.

Erreicht die angelegte Spannung einen kritischen Wert, die Zündspannung V_Z, so wird die Entladung selbständig, sie kann also unabhängig von der Fremdionisierung bestehen. Eine weitere Steigerung der Speisespannung bewirkt eine rasche Stromerhöhung, wobei die über der Röhre liegende Spannung abnimmt, da die Verhältnisse für die Elektronenbildung bis zu einem kritischen Stromwert (Punkt C) günstiger werden. Bei weiterer Stromerhöhung bleiben die Verhältnisse für die Elektronenbildung ungefähr konstant, die Entladung breitet sich mit konstanter Stromdichte über die Kathode aus, bis diese vollständig bedeckt ist. In diesem Bereich C—D der Charakteristik ist die an der Röhre liegende Brennspannung V_B vom Röhrenstrom fast unabhängig, was bei den Spannungs-Stabilisierungsröhren ausgenützt wird.

Steigert man den Strom weiter, beginnen sich die einzelnen Lawinen gegenseitig zu behindern. Im Bereich D—E steigt die Brennspannung entsprechend an, bis die Kathode infolge der auftretenden Erwärmung thermisch emittiert. Dabei fällt die an der Röhre liegende Spannung auf die Bogenspannung zurück; sie liegt wesentlich unter der Glimm-Brennspannung.

Fassen wir kurz die aus der Strom-Spannungskennlinie ersichtlichen Röhrenwerte zusammen: Die Zündspannung V_Z (Punkt B der Kennlinie) ist die zur Einleitung einer selbständigen Entladung minimal erforderliche Spannung. Legt man eine Speisespannung $> V_Z$ an die Röhre, verstreicht vom Moment des Anlegens bis zur erfolgten Zündung die Aufbauzeit, die je nach der Stärke der Vorionisierung und der Überhöhung der Speisespannung über V_Z einige Mikrosekunden bis einige Sekunden beträgt. Punkt B der Kennlinie gibt auch Aufschluss über den zur Erzeugung einer selbständigen Entladung minimal erforderlichen Strom. Die Brennspannung V_B (gemessen an einem definierten Punkt des Bereiches C—D der Kennlinie) ist der Spannungsabfall über der gezündeten Röhre im normalen Betrieb. Sie hängt im wesentlichen vom Kathodenmaterial und vom Füllgas ab, während die Zündspannung ausserdem entscheidend von der Geometrie des Aufbaus beeinflusst wird.

Das Gebiet der Bogenentladung lässt sich im allgemeinen ohne Zerstörung der Röhre nur im Impulsbetrieb erreichen. Neue Kathodenentwicklungen tendieren darauf hin, einen dauernden Betrieb mit Bogenentladung zu ermöglichen. Es werden schon Röhren gebaut, die einige Megawatt Impuls-Schaltleistung abgeben können.

3. Steuermechanismus einer Triode

Baut man in einer Diode in Kathodennähe eine weitere Elektrode ein, die Steuerelektrode (meist Starter genannt), kommt man zu der in Fig. 3a schematisch dargestellten Triode. Je zwei Elektroden bilden zusammen die in den Fig. 3b...3d gezeigten Entladungsstrecken, von denen die Steuerstrecke Starter—Kathode und die Hauptstrecke

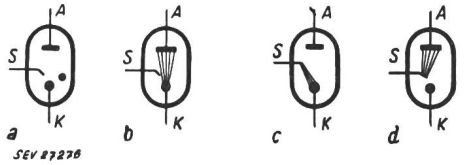

Fig. 3
Kaltkathodentriode *a* mit ihren drei möglichen Entladungsstrecken
b Hauptstrecke (Anodenstrecke); *c* Steuerstrecke; *d* Strecke Starter—Anode

Anode—Kathode von Interesse sind. Starterstrecke und Hauptstrecke können als zwei Dioden aufgefasst werden, die über die gemeinsame Anordnung im selben Entladungsraum eng miteinander gekoppelt sind. Die Röhrengeometrie wird so gewählt, dass die Starterstrecke eine niedrige (beispielsweise etwa 130 V) und die Hauptstrecke eine hohe (300... 450 V) Zündspannung aufweisen. An die Anodenstrecke wird nun eine Speisespannung gelegt, die zwischen Zünd- und Brennspannung liegt. Die Anodenstrecke wird in diesem Fall eine Strom-Spannungskennlinie entsprechend der Kurve *1* in Fig. 2 aufweisen. Zündet man jetzt die Steuerstrecke, bewirkt der durch sie fliessende Strom eine Ionisierung der Anodenstrecke, deren Strom-Spannungskennlinie jetzt je nach Grösse des Starterstromes nach Kurve *2* oder *3* der Fig. 2 verläuft.

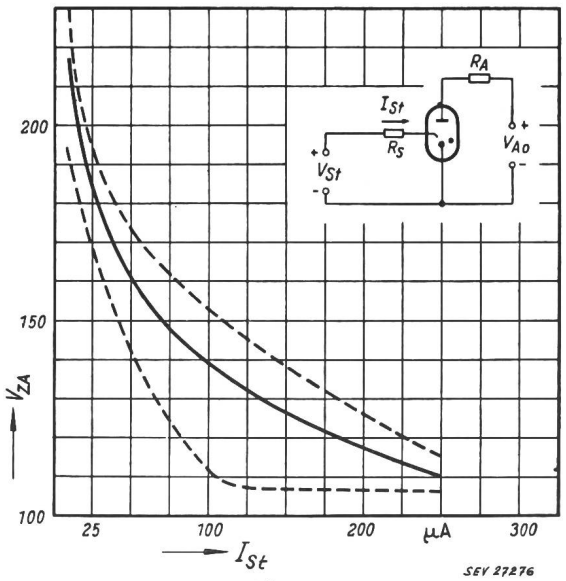

Fig. 4
Steuerkennlinie einer Gleichstromtriode bei Direktsteuerung
V_{ZA} Anoden-Zündspannung; I_{St} Steuerstrom; V_{St} Steuerspannung; R_S Widerstand im Starterkreis; R_A Anodenwiderstand; V_{AO} Anoden-Speisespannung

Trägt man die Anodenzündspannung als Funktion des Starterstromes auf, ergibt sich die Steuerkennlinie für Direktsteuerung (Fig. 4). Direktsteuerung deshalb, weil der Steuerstrom direkt über die Starterstrecke fliesst. Oft steht der für die Direktsteuerung erforderliche Steuerstrom von ca. 100 μA nicht zur Verfügung. In diesem Fall wird mit dem Steuerstrom eine zwischen Starter und Kathode geschaltete Kapazität aufgeladen, die sich beim Erreichen der Starterzündspannung stossartig über die Starterstrecke entlädt. So ist es möglich, Kaltkathodenröhren mit äusserst kleinen Strömen (10^{-6} ...10^{-12} A) zu steuern. Die untere Grenze ist durch den bereits erwähnten Minimalstrom für die Erzeugung einer selbständigen Entladung gegeben.

Um die schon erwähnte Aufbauzeit klein zu halten, werden Kaltkathodentrioden oft mit einer zusätzlichen Hilfsentladungsstrecke versehen, die eine intensive Vorionisierung bei minimer Steuerwirkung bewirkt.

4. Dynamisches Verhalten von Kaltkathodenröhren

Die mit Kaltkathodenröhren erreichbaren Schaltzeiten und Schaltfrequenzen sind durch die Ionisierungs- und Entionisierungseigenschaften des Füllgases begrenzt. Fig. 5 zeigt die Ansprechzeit einer

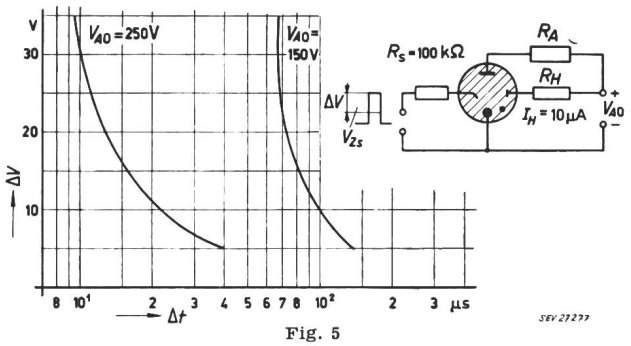

Fig. 5
Ansprechzeit einer durch Hilfsentladung vorionisierten Triode
ΔV Überspannung der Steuerspannung über die statische Starter-Zündspannung; Δt Ansprechzeit; V_{AO} Anoden-Speisespannung; V_{Zs} statische Starter-Zündspannung; R_S Widerstand im Starterkreis; R_A Anodenwiderstand; R_H Hilfsanoden-Widerstand; I_H Hilfsanodenstrom

durch eine Hilfsentladung vorionisierten Triode in Funktion der am Starter angelegten Überspannung über die statische Zündspannung, wobei die Anodenspeisespannung als Parameter berücksichtigt ist. Die Ansprechzeit setzt sich aus der Aufbauzeit der Starterentladung und der Übernahmezeit dieser Entladung durch die Hauptstrecke zusammen.

Unterbricht man an einer gezündeten Röhre die Speisespannung, dann bauen sich die Ladungsträger nur allmählich ab; es bleibt also eine abklingende Restionisierung bestehen, die beim Wiederanlegen der Speisespannung denselben Einfluss ausübt, wie ein Steuerstrom. Damit keine Wiederzündung erfolgt, darf also die Speisespannung erst nach einer bestimmten Zeit, der Entionisierungszeit, wieder angelegt werden. Fig. 6 zeigt den typischen Verlauf der Entionisierungszeit in Funktion der Speisespannung, mit dem vor dem Unterbruch der Speisespannung fliessenden Anodenstrom als Parameter. Die Entionisierungszeiten normaler Kaltkathodenröhren liegen in der Grössenordnung von Millisekun-

den, während speziell auf rasche Entionisierung gezüchtete Röhren bloss einige Mikrosekunden benötigen. So existieren z. B. Vielkathoden-Zählröhren für Arbeitsfrequenzen von hundert bis zu einigen hundert kHz.

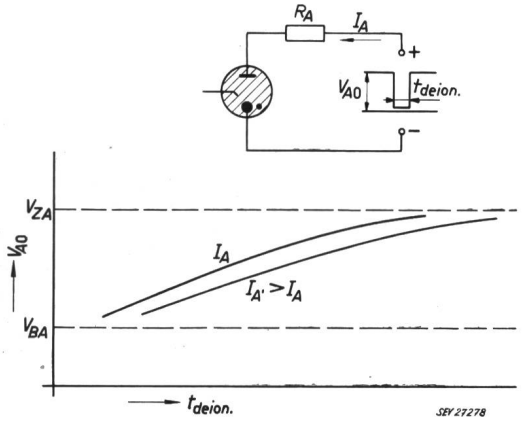

Fig. 6
Typischer Verlauf einer Entionisierungskennlinie
V_{A0} Anoden-Speisespannung; $t_{deion.}$ Entionisierungszeit; V_{ZA} Anoden-Zündspannung; V_{BA} Anoden-Brennspannung; I_A Anodenstrom; $I_{A'}$ Anodenstrom grösser I_A; R_A Anodenwiderstand

5. Zusammenfassung der Röhreneigenschaften

Kaltkathoden-Relaisröhren sind elektronische Schalter, die mit sehr kleinen Strömen gesteuert werden können, wobei in der Regel Steuerspannungen von $\approx$ 50 V erforderlich sind. Die Röhrenkennwerte sind wenig von der Umgebungstemperatur abhängig, zeitlich sehr stabil und geringen Fabrikationsstreuungen unterworfen (z. B.: Brennspannungskonstanz $\approx \pm$ 1 %, Serienstreuung unter $\pm$ 3 %, Konstanz von Starterzündspannung $\pm$ 2 %, Serienstreuung unter $\pm$ 10 %). In der Hochfrequenztechnik ist die Verwendung von Kaltkathodenröhren vor allem in Hilfskreisen gegeben (Speisung, Steuerung, Überwachung).

6. Anwendungsbeispiele

Aus der Fülle von Schaltungen sollen zwei typische Beispiele herausgegriffen werden:

6.1 Elektronischer Verzögerungskreis

Elektronische Verzögerungskreise ermöglichen die Darstellung sehr kurzer Zeiten und das Erreichen sehr hoher Schaltzahlen ohne Wartung. Oft ist auch die praktisch leistungslose Steuerung von Vorteil. Sie können leicht zu Zeitgebern, Impulsgebern und ganzen Programmsteuerungen kombiniert werden.

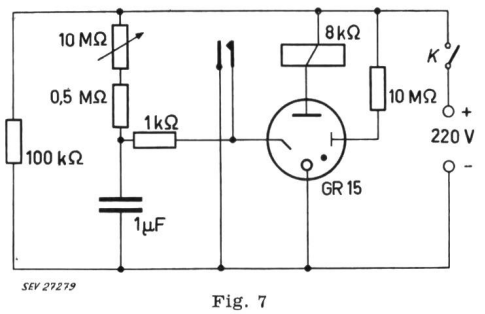

Fig. 7
Basisschema eines elektronischen Verzögerungskreises
K Steuerkontakt

Fig. 7 zeigt das Basisschema eines Kaltkathodenröhren-Verzögerungskreises. Durch Schliessen des Kontaktes *K* wird die Anodenspannung unmittelbar an die Röhre gelegt, während sich der Kondensator im Starterkreis nur allmählich über seinen Seriewiderstand auflädt. Erreicht seine Spannung die Starterzündspannung, so zündet die Röhre und das Relais zieht an. Ein (im Schema nicht eingezeichneter) Arbeitskontakt schliesst also gegenüber *K* verzögert.

6.2 Ionisations-Feuermelder

Eine besonders hübsche Ausnützung der Steuerbarkeit von Kaltkathodenröhren durch kleinste Ströme besteht in dem bekannten Ionisations-Feuermelder [1]). Dieser basiert darauf, dass der Strom in einer Ionisationskammer durch das Vorhandensein von Verbrennungsprodukten in der Kammer verringert wird.

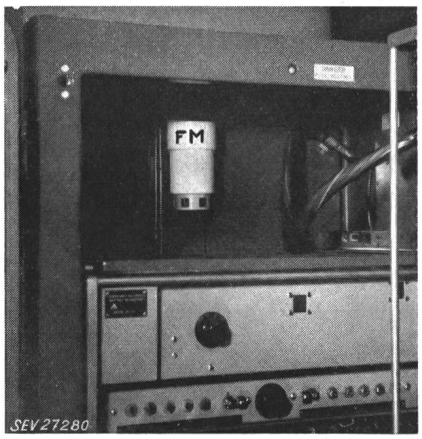

Fig. 8
Einbau eines Ionisations-Feuermelders *FM* in einer Radaranlage

Ionisationsfeuermelder können auch zum Schutz von Hochfrequenzanlagen eingesetzt werden, denn sie sprechen schon auf die beispielsweise beim Verbrennen eines Transformators oder eines Relais entstehenden Verbrennungsprodukte an. Neben der eigentlichen Frühwarnung von Bränden übernehmen sie also auch die Funktion von oft komplizierten Überwachungskreisen. Fig. 8 zeigt einen in der GCA-Radaranlage des Flugplatzes Kloten eingebauten Ionisations-Feuermelder. In ähnlicher Weise sind auch die Hochfrequenzanlagen auf dem Üetliberg, Säntis, Chasseral und Jungfraujoch geschützt.

Adresse des Autors:
M. Vollenweider, Ingenieur, Cerberus GmbH, Männedorf (ZH).

[1]) Siehe Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 23, S. 933...939.