

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 34 (1943)
Heft: 25

Artikel: Schaltungstechnische Probleme des Fernsehens
Autor: Amrein, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061781>

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: 25.01.2026

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXIV. Jahrgang

N° 25

Mittwoch, 15. Dezember 1943

Schaltungstechnische Probleme des Fernsehens

Vortrag, gehalten an der 7. Hochfrequenztagung des SEV vom 17. Juli 1943 in Fryburg,
von W. Amrein, Zürich

621.397.5.06
621.397.62 : 778.5

Nach einem kurzen Ueberblick, der die Unterteilung der schaltungstechnischen Probleme einer Fernsehübertragung in die Fragen des Bildsignalkanals und des Synchronisierkanals begründet, werden eine Reihe spezieller Probleme unter besonderer Berücksichtigung einiger in den letzten Jahren an der Eidg. Techn. Hochschule entstandenen Arbeiten behandelt.

Bei den Fragen des Bildsignalkanals sind die Eingangsspannungen, die nichtlinearen und die linearen Verzerrungen des Bildsignals Gegenstand näherer Betrachtungen. Bei der Untersuchung der linearen Verzerrungen wird auf eine interessante Möglichkeit der Frequenzbandhalbierung bei der Bildwiedergabe mit dem AFIF-Fernsehprojektor hingewiesen. Die behandelten Probleme des Synchronisierkanals, dessen Bedeutung hinter derjenigen des Bildsignalkanals zurücktritt, betreffen Schaltungen und Einrichtungen zur Erzielung von exakten geometrischen Dimensionen des von einem Kathodenstrahl bestrichenen Fernsehzeilenrasters und zur dauernden Aufrechterhaltung einer scharfen Fokussierung des Kathodenstrahls.

Après un bref exposé des raisons qui, dans les problèmes de télévision, motivent une étude séparée des questions se rapportant au canal des signaux d'images et au canal de synchronisation, l'auteur aborde une série de problèmes particuliers, en tenant compte de certains travaux exécutés durant ces dernières années à l'Ecole Polytechnique Fédérale.

Il considère notamment les tensions de bruissement d'entrée, ainsi que les déformations non linéaires et linéaires des signaux d'images. A propos des déformations linéaires, il mentionne l'intéressante possibilité de réduire à la moitié la bande de fréquences lors de la reproduction des images à l'aide du projecteur de télévision de l'AFIF. Les problèmes se rapportant au canal de synchronisation, qui sont moins importants que ceux du canal des signaux d'images, concernent des couplages et des dispositifs destinés à réaliser des dimensions géométriques exactes du réseau de lignes exploré par un faisceau électronique et à maintenir la concentration du faisceau.

Die schaltungstechnischen Aufgaben und Probleme der Fernsehtechnik nehmen innerhalb des physikalischen und technischen Gesamtproblems des Fernsehens einen weiten und wichtigen Raum ein, ist doch das Fernsehen das jüngste Kind der elektrischen Nachrichtentechnik. Die Nachricht, die beim Fernsehen von einem Ort der Erdoberfläche an eine andere Stelle mit möglichst geringer Verzögerung zu übermitteln ist, besteht aus einem Bild mit bewegtem Inhalt, und es ist selbstverständlich, dass die dazugehörigen Geräusche und Laute mitübertragen werden müssen. Zu bemerken ist jedoch, dass die Übertragung des Tones kein eigentliches Problem der Fernsehtechnik bildet, da die Bewältigung dieser Aufgabe der elektrischen Nachrichtentechnik schon längst mit grossem Erfolg gelungen ist.

Dass die verzögerungsfreie Uebermittlung von bewegten Bildern auf grössere Distanzen nur unter Zuhilfenahme von elektrischen Methoden möglich ist, sieht man nach kürzester Ueberlegung ein. Um sich einen Ueberblick über die beim Fernsehen auftretenden schaltungstechnischen Aufgaben und Probleme zu verschaffen, betrachtet man am besten eine schematisierte Darstellung gemäss Fig. 1. Bekanntlich wird dabei auf der Senderseite das Bild durch Bildzähler (Bildabtaster) in eine grosse Zahl von kleinen Feldern (Bildpunkten) auf-

gelöst und der von jedem Bildpunkt stammende Lichtstrom mit Hilfe des photoelektrischen Effekts in einen der Intensität dieses Lichtstromes proportionalen elektrischen Impuls umgewandelt. Nach den heute geltenden Normen beträgt die Zahl dieser Bildpunkte eines Bildes etwa 250 000.

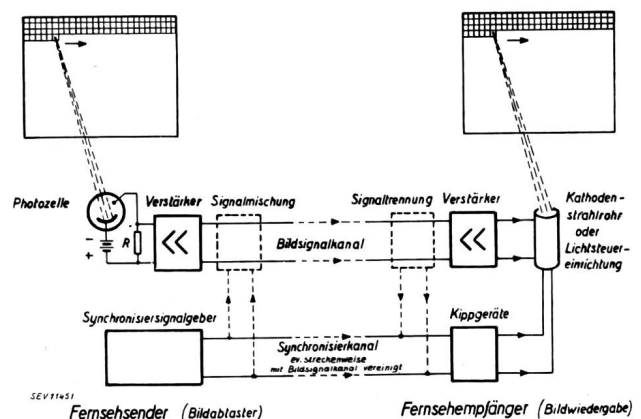


Fig. 1.
Prinzipschema einer Fernsehübertragung

Die Auflösung des Bildes in kleine Elementarbezirke besitzt ein bekanntes Vorbild im Auge, wo durch die zellenartige Struktur der Netzhaut (lichtempfindliche Zäpfchen und Stäbchen) ebenfalls

eine Aufteilung des Bildes in eine bestimmte Anzahl Bildelemente eintritt. Während nun aber im Auge durch den aus vielen Millionen Nervenfasern bestehenden Sehnerv eine *gleichzeitige* Uebermittlung aller Helligkeitswerte zum Gehirn erfolgt, so muss die Fernsehtechnik auf ein analoges Vorgehen aus naheliegenden Gründen verzichten. Die Uebermittlung der einzelnen Helligkeitswerte geschieht hier *zeitlich hintereinander* nach einer international angenommenen Reihenfolge über einen *einzigsten Uebertragungskanal* (Einkanalverfahren). Das heute gehandhabte Schema der Bildzerlegung besteht in einer Abtastung der Bildfläche nach rund 400...450 horizontalen Zeilen, wobei links oben begonnen und rechts unten aufgehört wird. Zwecks Unterdrückung des Flimmerns bei der Wiedergabe des Fernsehbildes mit der heutzutage fast ausschliesslich dazu verwendeten *Braunschen Röhre* wird der Abtastvorgang 50mal in der Sekunde wiederholt, so dass daraus mit der bereits genannten Bildpunktzahl eines Bildes von 250 000 eine sekundlich zu übertragende Zahl von über 12 Millionen Punkten resultieren würde, wenn man sich nicht zur Bildabtastung nach dem sogenannten *Zwischenzeilenverfahren*¹⁾ entschlossen hätte (Zeilensprung). Bei diesem Verfahren werden wohl auch 50 Bilder in der Sekunde übertragen, bei jeder Bildübermittlung jedoch nur die halbe Zeilenzahl abgetastet, nämlich abwechselungsweise die gerad- und ungeradzahlgigen Zeilen, wodurch eine Verminderung der zu übertragenden Bildpunktzahl auf die Hälfte eintritt, d. h. auf rund 6 Millionen pro Sekunde. Dieser Gewinn, der auf den ersten Blick überrascht, muss aber mit einer Qualitätseinbusse erkauft werden (Zwischenzeilenflimmern), so dass der Wert des Zwischenzeilenverfahrens heute in der Fachwelt nur in beschränktem Masse anerkannt wird.

Im Laufe der Jahre sind eine Reihe von Apparaturen geschaffen worden, die die Bildabtastung auf die verschiedenste Art vornehmen; ein näheres Eintreten auf ihre Konstruktion und Wirkungsweise verbietet sich jedoch im Rahmen dieser Ausführungen.

Das alte, schon im Jahre 1884 von Nipkow angegebene mechanisch-optische Abtastprinzip hat sich bis auf den heutigen Tag behaupten können. Daneben sind Abtaster entstanden, die ohne mechanisch bewegte Teile arbeiten, so der *Leuchtschirmabtaster*²⁾, der *Sondenröhrenabtaster* (Farnsworthröhre)³⁾ und vor allem das *Ikonoskop*⁴⁾ von Zworykin. Zu bemerken ist dabei, dass nur der letztgenannte Abtaster Bildsendungen von normal beleuchteten Freilichtszenen gestattet, indem beim Ikonoskop das Prinzip der *Speicherung* des photoelektrischen Effektes bei jedem einzelnen Bildpunkt über die Zeitdauer einer ganzen Bildabtastung zur Anwendung kommt.

Bei allen anderen Abtastern ist die zur Umwandlung des jedem Bildpunkte zugeordneten Lichtstromes in einen Stromimpuls zur Verfügung stehende Zeit durch die pro Sekunde abgetastete Bild-

punktzahl gegeben, sie beträgt somit nur $\frac{1}{6 \cdot 10^6}$ Sekunden.

Wollte man mit diesen Abtastern Freilichtszenen übertragen, so würden pro Bildpunkt auf der photoelektrischen Kathode nur etwa 10 Elektronen emittiert. Die damit erzielbare Signalstärke würde im Rauschpegel vollkommen untergehen.

Diese wenigen Zahlenangaben erhellen wohl genügend, dass die Abtasterprobleme zur Hauptsache physikalischer Natur sind und beim mechanischen Abtaster Fragen der erreichbaren mechanischen Präzision betreffen. Die schaltungstechnische Seite tritt beim Abtaster meistens stark in den Hintergrund.

Die bereits erwähnte, allen Bildabtastern eigene Umwandlung des von jedem einzelnen Bildpunkte ausgehenden Lichtstromes in einen Stromimpuls mittels des photoelektrischen Effektes ist in Fig. 1 durch eine normale Photozelle zur Darstellung gebracht worden, auf die der Lichtstrom eines Bildpunktes fällt. Mit Hilfe des Photozellenbelastungswiderstandes R entsteht aus dem von der Photozelle gelieferten Stromimpuls ein Spannungsimpuls, der verstärkt über Kabel oder auf drahtlosem Wege dem Empfänger zugeführt werden kann.

Am Empfangsort sind für die Bildwiedergabe zwei Aufgaben zu lösen, nämlich einerseits die Rückverwandlung jedes ankommenden elektrischen Impulses in einen Lichtfleck auf einer Fläche, und andererseits die geordnete, dem Abtastprozess beim Sender genau entsprechende örtliche und zeitliche Aneinanderreihung aller dieser Lichtflecke. Während die erste Aufgabe wiederum stark mit physikalisch-optischen Fragen zusammenhängen wird, ist die zweite Aufgabe ein Problem des elektrisch gesteuerten Gleichlaufes des Empfängers mit dem Sender, das von der Schaltungstechnik zu bewältigen ist.

Die Zweiteilung der schaltungstechnischen Aufgabe ist nun aber durch das Gesagte offensichtlich geworden. Die Uebertragung der einzelnen Helligkeitswerte erfolgt über den sogenannten *Bildsignalkanal* und der mit Synchronisierimpulsen bewerkstelligte Gleichlauf von Sender und Empfänger erfordert einen zweiten Uebertragungskanal, den *Synchronisierkanal*.

Es ist selbstverständlich, dass die Fernsehtechniker von Anfang an bestrebt waren, die beiden Uebertragungskanäle wenigstens dort zu einem einzigen Kanal zu vereinigen, wo die Uebertragungskosten hoch sind, nämlich beim Kabel oder bei der Trägerwelle des drahtlosen Senders. Sie schalteten deshalb zwischen das Ende jeder übertragenen Bildzeile und den Anfang der nächsten Zeile eine kurze Uebertragungslücke ein und fügten in diese Lücke das sogenannte *Zeilensynchronisierzeichen*. Genau gleich ging man zwischen Ende einer ganzen Bildabtastung und Anfang der nächsten Bildperiode vor und fügte dort das *Bildsynchronisierzeichen* ein, das sich vom Zeilensynchronisierzeichen selbstverständlich entweder durch seine Form, seine Zeitdauer oder auch durch seine Amplitude zu unter-

¹⁾ Die Hinweise beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss der Arbeit.

scheiden hat. Damit gelang es, das Bildsignal und die Synchronisiersignale zu einer einzigen Signalfolge zu vereinigen, die wir mit *Fernsehsignal* bezeichnen wollen. In Fig. 2 ist ein solches Fernsehsignal dargestellt.

Obwohl die Vereinigung der Uebertragungskanäle in praktischer Hinsicht sehr wichtig und bedeutungsvoll ist, so ändert sich in rein schaltungs-

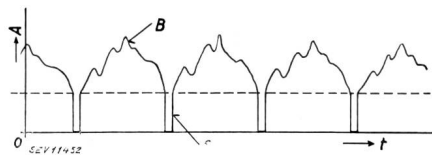


Fig. 2.

Fernsehsignal

A Amplitude. B Bildsignal. S Synchronisierzeichen. t Zeit.

theoretischer Hinsicht nicht sehr viel, da die Mischung und nachfolgende Trennung von Bild- und Synchronisiersignal keine besonderen Schwierigkeiten bietet. Wir können deshalb nach wie vor von einem Bildsignal- und von einem Synchronisierkanal sprechen.

Der Bildsignalkanal beginnt bei der Photozelle des Senders und endet bei der Lichterzeugungs- oder Lichtsteuereinrichtung des Empfängers.

Der Synchronisierkanal umfasst alle Einrichtungen für die Synchronisierung, wie Taktgeber, Kippgeräte, Impulstrenner etc.

Damit ist eine gewisse Ordnung in das schaltungstechnische Problem des Fernsehens gebracht und die einzelnen Aufgaben sind für eine nähere Behandlung reif gemacht worden.

A. Bildsignalkanal

Aus den vielgestaltigen schaltungstechnischen Problemen des Bildsignalkanals können wir in diesem Rahmen nur einige wenige herausgreifen. Unsere Auswahl beschränkt sich dabei auf die Behandlung von Vorgängen und Erscheinungen im Bildsignalkanal, die die *Qualität* des wiedergegebenen Fernsehbildes unmittelbar beeinflussen. Es sind dies vor allem Fragen der schädlichen Verformungen, die das Bildsignal bei der Uebertragung erleidet, z. B. Fragen der inneren und äusseren Störungen (*Störsignal*), der *nichtlinearen* und *linearen Verzerrungen*. Die Veranlassung zu einer solchen Auswahl ist durch den Umstand gegeben, dass sich in der letzten Zeit in der Fernsehtechnik die Diskussionen über die erreichbare und erreichte Bildqualität in den Vordergrund drängen. Dabei bleibe nicht unerwähnt, dass bereits an früheren Hochfrequenztagungen des SEV über einschlägige Probleme referiert worden ist⁵⁾.

Um die Fragen der schädlichen Verzerrungen des Bildsignals mit Erfolg behandeln zu können, muss vor allem die Frage aufgeworfen werden, welche Stärke und welchen Charakter eine Signalverformung aufweisen muss, damit sie einen schädlichen Einfluss auf die Bildqualität ausüben kann. Es müssen also *Kriterien* für die *Bildqualität* aufgestellt werden, und es ist dabei nicht uninteres-

sant, Vergleiche mit den in der Elektroakustik geltenden Kriterien für eine gute Tonqualität zu ziehen. Bei einem solchen Vergleich ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Elektroakustik infolge langjähriger Erfahrung eine verhältnismässig exakte und sichere Formulierung der Qualitätsmaßstäbe für eine Tonübertragung gelungen ist, während in der Fernsehtechnik die an die Güte eines Fernsehbildes zu stellenden Anforderungen heute mangels genügenden Erfahrungsmaterials noch stark umstritten sind.

Am einfachsten erscheint das Qualitätskriterium bei der Frage des zulässigen *Störsignals*. In Uebereinstimmung mit der Elektroakustik muss hier die Forderung nach einem verhältnismässig geringen *Störpegel* von der Grössenordnung eines Prozentes oder weniger gestellt werden.

Die Möglichkeiten für das Auftreten von Störungen sind sehr vielseitig. Wir wollen nur die eine Störungsursache näher betrachten, nämlich das sogenannte *Eingangsrauschen* des Bildsignalkanals. Es hat den Fernsehingenieuren in den Anfängen der Fernsehtechnik viel Kopfzerbrechen verursacht. Wir verstehen darunter die unregelmässigen und raschen Schwankungen, denen die an das Gitter der ersten Verstärkerröhre angelegte Spannung dauernd unterworfen ist, und die ihre Ursache im atomistischen Aufbau der elektrischen Ladungen und der dadurch bedingten statistischen Schwankeffekte haben, siehe Fig. 3. Aus einem derartigen Spannungsverlauf kann keine andere Beziehung als das Gesetz der vollkommenen Unordnung entnommen werden. Aber gerade dadurch ist es gelungen, Rauschspannungen in einfache, mit der mathematischen Statistik zusammenhängende Formeln zu kleiden.

Das Eingangsrauschen kann durch das Schema Fig. 4 erfasst werden. Die am Gitter der ersten Verstärkerröhre auftretende Rauschspannung setzt sich zusammen aus der am Belastungswiderstand R der Photozelle auftretenden Wärmerauschspannung

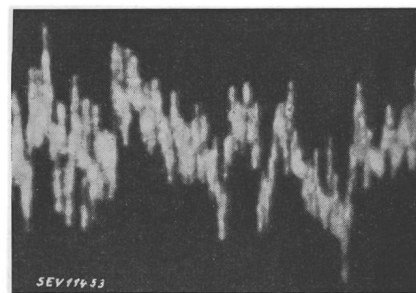


Fig. 3.

Zeitlicher Verlauf
einer
Rauschspannung

des Widerstandes selbst und aus der durch den Schrotstrom I_s des Photozellenstromes $I + I_s$ zwischen den Klemmen des Widerstandes R erzeugten Rauschspannung, die wir Photozellenrauschspannung nennen wollen. Bekanntlich gelten einerseits für den Effektivwert U der Wärmerauschspannung eines Widerstandes R und andererseits für den Effektivwert I_s des Rauschanteils des Photozellenstromes I (Signalstrom) folgende Beziehungen:

$$U = \sqrt{4 k T \Delta f R} \quad (6)$$

$$I_s = \sqrt{2 e \Delta f I} \quad (7)$$

k = Boltzmannsche Konstante = $1,38 \cdot 10^{-23}$ Wattsekunden/Grad.

T = absolute Temperatur in Grad Kelvin.

e = Ladung des Elektrons = $1,60 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

Δf = Frequenzbandbreite in Hertz.

Bei Zimmertemperatur beträgt der Wert von $4 k T = 1,6 \cdot 10^{-20}$ Wattsekunden.

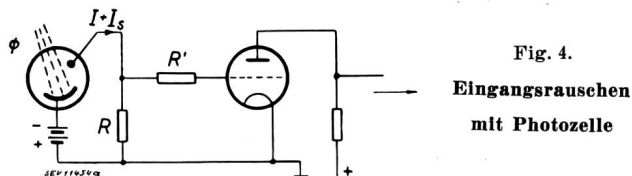


Fig. 4.

Eingangsräuschen
mit Photozelle

Im Schema Fig. 4 ist noch ein Widerstand R' eingezeichnet, mit welchem das zusätzliche Rauschen des gesamten übrigen Bildsignalkanals berücksichtigt werden kann. Praktisch ist R' gleich dem sogenannten äquivalenten Rauschwiderstand der ersten Verstärkerröhre, indem die übrige Schaltung bei richtiger Dimensionierung keinen wesentlichen Beitrag mehr zum Gesamtrauschen leistet. Der äquivalente Rauschwiderstand ist so dimensioniert, dass er am Ausgang der ersten Verstärkerröhre den gleichen Beitrag zum Rauschen liefert, wie die Röhre infolge des Schrot- und Stromverteilungseffektes des Anodenstromes selbst erzeugt. In die obige Formel für U ist somit zwecks Erfassung dieser Rauschursachen an Stelle von R die Summe $R + R'$ zu setzen.

Bei der Addition des Wärmerauschens und des Photozellenrauschens muss berücksichtigt werden, dass wegen der Inkohärenz der beiden rasch schwankenden Spannungen die Addition der Beträge der Quadrate an die Stelle einer einfachen algebraischen Addition zu treten hat. Ferner ist zu sagen, dass uns in erster Linie nicht die absolute Grösse der Eingangsräuschspannung interessiert, sondern das Verhältnis p dieser Rauschspannung zur Signalstärke IR . Für dieses Verhältnis erhält man endgültig folgenden Ausdruck:

$$p = \sqrt{4 k T \Delta f} \sqrt{R + R'} \frac{\sqrt{1 + \frac{e}{2 k T} \frac{R}{R + R'} I R}}{I R}$$

$$= 1,26 \cdot 10^{-10} \sqrt{\Delta f} \sqrt{R + R'} \frac{\sqrt{1 + 20 \frac{R}{R + R'} I R}}{I R}$$

Der Ausdruck mit den eingesetzten Zahlen gilt für Zimmertemperatur.

Es ist interessant, die gewonnene Formel an Hand eines Beispiels näher zu studieren. Das gewählte Beispiel beziehe sich auf die bei den heute geltenden Fernschnormen vorkommenden Verhältnisse, d. h. auf eine Frequenzbandbreite von 3 Megahertz, welche einen Photozellenbelastungswiderstand von

etwa 1500 Ohm zulässt. Der äquivalente Rauschwiderstand R' beträgt bei modernen Fernsehpen-thoden rund 1000 Ohm oder weniger.

Bei einer Bildabtastung resultiert im allgemeinen kein grösserer Bildpunktlichtstrom als etwa 10^{-3} Lumen, so dass bei der Wahl des Verhältnisses p der Eingangsräuschspannung (Effektivwert) zur Eingangssignalstärke (Amplitudenwert) die nötige Empfindlichkeit der Photozelle bestimmt werden kann, indem das Signal I der Photozelle gleich dem Produkt des einfallenden Lichtstromes Φ mit der Photozellenempfindlichkeit ist. Setzen wir das genannte Verhältnis p zu einem Prozent an, was für eine gute Bildqualität erforderlich ist, so ergibt sich eine nötige Photozellenempfindlichkeit von $730 \mu A$ pro Lumen. Dabei zeigt die Rechnung, dass beim gewählten Beispiel das Photozellenrauschen gegenüber dem Widerstandsrauschen keine Rolle spielt. Die besten Hochvakuumphotozellen erreichen aber bestenfalls eine Empfindlichkeit von $50 \mu A$ pro Lumen.

Das bestehende Dilemma wurde durch die Erfindung der Photozelle mit eingebautem Elektronen-vervielfacher gelöst (Slepian und Zworykin)⁸⁾.

Da seit mehreren Jahren durch verschiedene Veröffentlichungen die Elektronenvervielfacher bekannt geworden sind, erübrigt sich ein näheres Eintreten auf ihre genaue Wirkungsweise. Eine Photozelle mit Elektronenvervielfacher stellt nichts anderes als eine Photozelle mit ungeheuer gesteigerter Empfindlichkeit dar. Die Empfindlichkeitssteigerung wird infolge Auslösung einer Elektronenlawine unter Zuhilfenahme des Sekundäremissionseffektes durch jedes primäre Photoelektron an Prallelektroden herbeigeführt, und man erreicht auf diese Weise Empfindlichkeiten bis zu einigen Ampere pro Lumen. Immerhin kann man sich des Empfindlichkeitsgewinnes nicht voll erfreuen, indem das relative Rauschen des primären Photokathodenstromes bei der Elektronenvervielfachung infolge eines bei der Sekundäremission auftretenden statistischen Effektes um den theoretisch ermittelten Faktor

$\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha - 1}}$ vergrössert wird. Die Grösse α bedeutet darin den Sekundäremissionsfaktor einer Prallelektrode (Verstärkung pro Stufe). Durch unerwünschte Vorgänge, z. B. thermische Emission der Prallelektroden (Dunkelrauschen), wird das Rauschen der Vervielfacher um einen weiteren Betrag erhöht. Glücklicherweise ist es aber bei sorgfältiger Herstellung der Elektronenvervielfacher möglich, die Erhöhung des relativen Rauschens des primären Photokathodenstromes etwa auf den Faktor 1,5 zu beschränken.

Die starke Steigerung des von der Photokathode gelieferten Stromes durch den Elektronenvervielfacher hat bei genügender Verstärkung zur Folge, dass der Beitrag des Widerstandsrauschens zum gesamten Eingangsräuschen vom Photozellenrauschen übertönt wird und vernachlässigt werden kann. Für das Verhältnis p erhält man in diesem Falle den Ausdruck:

$$p = \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha-1}} \sqrt{\frac{2e\Delta f}{I}}$$

I bedeutet in dieser Formel wiederum den Photokathodenstrom. Unter Zugrundelegung der früheren Annahmen und des Wertes von 1,5 für die Konstante

$\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha-1}}$ errechnet sich aus dieser Formel eine nötige Empfindlichkeit der Photokathode von $20 \cdot 10^{-6}$ Ampere pro Lumen, ein Wert, der ohne besondere Schwierigkeiten erreicht werden kann. Damit das Wärmerauschen in unserem Beispiel gegenüber dem Photozellenrauschen zurücktritt, muss der Elektronenvervielfacher eine Verstärkung von etwa 100 aufweisen, was den Einbau von 4 Prallelektroden erfordert.

Im Schema Fig. 5 sind die Rauschspannungsverhältnisse bei Verwendung eines Vervielfachers dargestellt und die vollständige Formel für das Eingangsrauschen angeschrieben.

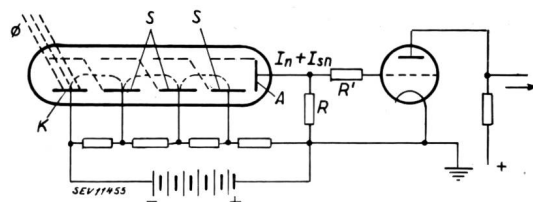


Fig. 5.

Eingangsrauschen mit Elektronenvervielfacher

Schrotstrom der Photokathode $I_s = \sqrt{2e\Delta f I}$

Schrotstrom des Vervielfachers $I_{sn} \approx I_s \cdot \alpha^n \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha-1}}$ (Zworykin)

A Anode

K Photokathode

S Sekundäremissionselektroden ($n=3$)

n Zahl der Sekundäremissionselektroden

α Sekundäremissionsfaktor (Verstärkung pro Stufe)

α^n Gesamtverstärkung

R' Äquivalenter Rauschwiderstand der nachfolgenden

Schaltung

I Signalstrom der Photokathode

$I_n = I \alpha^n$ Signalstrom des Vervielfachers

v Eingangsspannung

v Eingangssignalamplitude

$$= \sqrt{4kT\Delta f \cdot \frac{V(R+R')(1+\frac{e}{2kT} \frac{R}{R+R'} \alpha^n \frac{\alpha}{\alpha-1} I_n R)}{I_n R}}$$

Die grosse Rolle, die die Elektronenvervielfacher in der Fernsehtechnik spielen, veranlasste das Institut für technische Physik an der Eidg. Techn. Hochschule seit mehreren Jahren, sich mit deren Herstellung zu befassen, und es hat alle für seine Fernsehversuche benötigten Zellen selbst hergestellt. Fig. 6 zeigt eine solche Zelle in zerlegtem und zusammengebautem Zustande, während in Fig. 7 die bei einer solchen Zelle gemessenen Verstärkungen und Rauschströme als Funktion der gesamten an die Photozelle und den Vervielfacher gelegten Spannung aufgetragen sind.

Wir kommen zur Frage der nichtlinearen Verzerrungen. Darunter verstehen wir beispielsweise Verformungen des Bildsignals durch gekrümmte Kennlinien, insbesondere Röhrenkennlinien. Infolge nichtlinearer Verzerrungen erscheinen bekanntlich im verstärkten Signal Oberwellen, die im ursprünglichen Signal nicht vorhanden waren. In der Elek-

troakustik sind Verzerrungen dieser Art praktisch verboten, denn schon ein geringer Gehalt solcher Oberwellen (Klirrfaktor) verändert Klangfarbe und Reinheit von übertragener Musik in störender Weise.

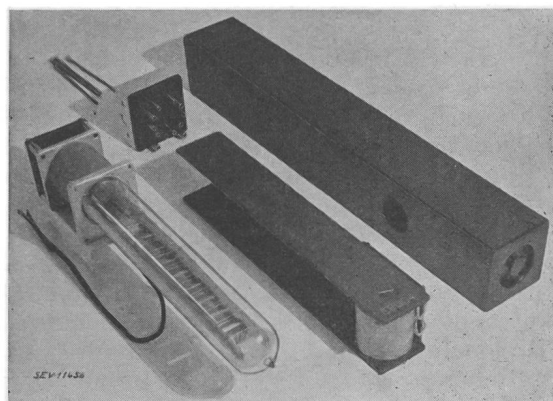


Fig. 6.

Elektronenvervielfacher des Institutes für technische Physik der ETH, Zürich

Links: Eingesockelte Zelle.
Mitte: Magnet und Stecksockel.
Rechts: Gehäuse.

Im Gegensatz dazu sind in der Fernsehtechnik nichtlineare Verzerrungen des Bildsignals in bestimmten Fällen nicht nur unschädlich, sondern für die Erzielung einer guten Bildqualität, wie wir sehen werden, sogar nötig.

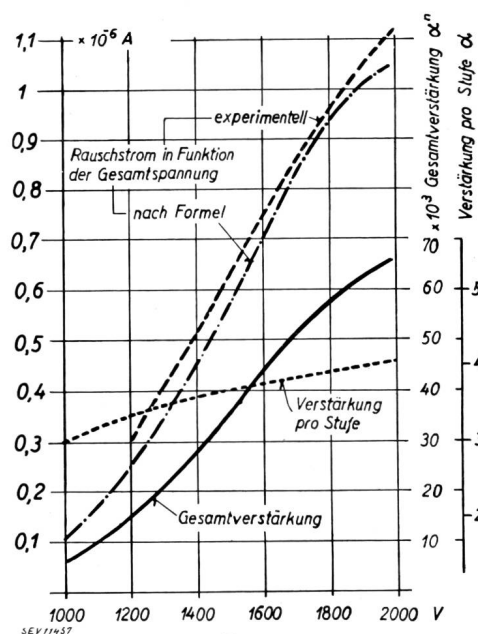


Fig. 7.

Verstärkung und Rauschstrom des Elektronenvervielfachers nach Fig. 6 als Funktion der gesamten an den Vervielfacher und die Photokathode gelegten Spannung

Diese Fragen hängen mit zwei Kriterien der Bildqualität zusammen, die unter den Namen *Helligkeitsumfang* oder *Kontrast* und *Helligkeitsabstufung* oder *Gradation* bekannt geworden sind.

Unter dem Helligkeitsumfang eines Bildes versteht man das Verhältnis der Helligkeit seiner hell-

sten Stelle zur Helligkeit seiner dunkelsten Stelle. Bei Objekten spricht man auch vom genau gleich definierten Objekumfang. Während in der Natur bei grell beleuchteten Objekten mit Schlagschatten der Kontrast auf 10 000 und mehr steigen kann (normalerweise beträgt er 10 bis 100), so sind technische Bildreproduktionsverfahren in dieser Hinsicht starken Beschränkungen unterworfen. Die Photokopie erreicht nur etwa die Zahl 30, der Bilderdruck nicht mehr. Mit technischen Mitteln wird heute der beste Kontrast bei der Projektion von Diapositiven und von Filmen erreicht, wo er den Wert von einigen Hundert erreicht. Soll eine unverfälschte Bildübertragung erfolgen, so muss offenbar nicht nur der Helligkeitsumfang, sondern auch das gegenseitige Helligkeitsverhältnis aller Bildpunkte gewahrt bleiben. Wie ändert sich nun aber die Bildqualität, wenn bei der Bildreproduktion oder Bildübertragung der Helligkeitsumfang des Originals nicht aufrechterhalten werden kann? Die Frage kann auch anders gestellt werden: Ist

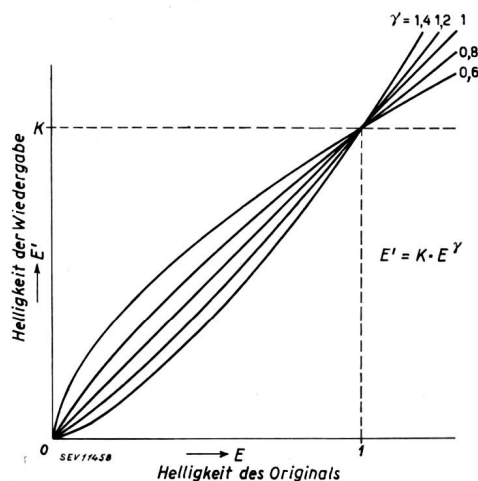


Fig. 8.

Übertragungskennlinien für gradationsrichtige Bildwiedergabe

es allenfalls möglich, durch künstliche Erhöhung des Helligkeitsumfanges bei der Reproduktion flaue Bilder in kontrastreiche Bilder zu verwandeln, ohne dass eine Unnatürlichkeit des Bildeindrucks in Kauf genommen werden muss?

Diese Fragen hat die Photo- und Filmtechnik schon seit einiger Zeit für farblose Bilder auf wissenschaftlicher Grundlage abgeklärt. Als Resultat der angestellten Forschungen gewann man eine mathematische Beziehung, die zwischen der Helligkeit E' eines Punktes des reproduzierten Bildes und der Helligkeit E des entsprechenden Punktes im Original erfüllt sein muss, damit der natürliche Bildeindruck durch die Reproduktion nicht verwischt werde. Die Beziehung, auf deren Herleitung im Rahmen unserer Betrachtungen aus Zeitmangel verzichtet werden muss, lautet^{*)}:

$$E' = K \cdot E^\gamma$$

Darin sind K und γ wählbare Konstanten, wobei

^{*)} Eine Ableitung der Beziehung siehe unter ⁹⁾.

jedoch insbesondere für die Auswahl von γ bestimmte Grenzen gesetzt sind. In der Kinotechnik kommt sehr oft ein γ von 1,4 zur Anwendung. Ist γ grösser als 1, so bedeutet dies eine Vergrößerung des Kontrastes und umgekehrt. In Fig. 8 ist der besprochene Zusammenhang für verschiedene γ graphisch dargestellt.

Da normal beleuchtete Szenen Kontraste von etwa 10...100 aufweisen, ist die Kinotechnik in der glücklichen Lage, für die Projektion ein γ grösser als 1 zu wählen, da, wie bereits erwähnt, das Filmmaterial einen bedeutend grösseren Kontrast zulässt. Umgekehrt war die Fernsehtechnik bisher leider gezwungen, für die Übertragung des Bildsignals meistens ein γ kleiner als 1 anzuwenden, indem ihr wichtigstes Reproduktionsmittel, die Braunsche Röhre, nur einen maximalen Helligkeitsumfang von etwa 30 erreicht. Die besprochene Reproduktionsbedingung ist in der Fernsehtechnik besonders bei der Übertragung von kontrastreichen Filmen zu beachten, wenn eine schlechte Bildqualität (Gradationsverzerrung) vermieden werden soll. Die nötige Übertragungscharakteristik des Bildsignalkanals entspricht in diesem Falle einer der stark nach oben gekrümmten Kurven der Fig. 8.

Es ist jedem Fachmann geläufig, dass in der Elektroakustik eine derartige Übertragungscharakteristik zu vollkommen unzulässigen Tonverzerrungen führt; in der Fernsehtechnik jedoch sind sie für eine richtige Anpassung des Bildsignals an den beim Empfänger vorhandenen Kontrastbereich nötig.

Die dritte schaltungstechnische Frage des Bildsignalkanals, die wir behandeln wollen, betrifft die *linearen Verzerrungen* des Bildsignals. Wir verstehen darunter Veränderungen der Phase und der Amplitude, die das Frequenzspektrum des Bildsignals erleidet, ohne dass dabei neue Komponenten entstehen. Kehren wir wiederum kurz zur Elektroakustik zurück, so erinnern wir uns, dass Phasendrehungen der einzelnen Tonkomponenten, dank der Tatsache, dass sie unser Gehör nicht feststellen kann, keinen Einfluss auf die Tonqualität auszuüben vermögen^{**)}. Auch stärkere Änderungen der Amplitude einzelner Abschnitte des Frequenzbandes müssen nicht unbedingt zu einer Verschlechterung der Tonqualität führen. Es hängt bekanntlich stark vom individuellen Geschmack ab, ob bei einer Tonübertragung die tiefen oder die hohen Töne zu bevorzugen sind. In der Elektroakustik treten somit bei der Beurteilung der linearen Verzerrungen keine starren Regeln auf, lediglich für die Wahl des zu übertragenden Tonfrequenzbandes ist bekannt, dass möglichst alle hörbaren Töne übertragen werden müssen, wenn die Tonqualität einwandfrei sein soll.

In der Fernsehtechnik gestalten sich die Fragen der Frequenzbandbeschränkung und der innerhalb des übertragenen Frequenzbandes noch zulässigen Amplitudenverzerrungen und Phasendrehungen

^{**) Dies gilt exakt nur für langandauernde Töne. Bei kurzen Tönen beeinflusst der von Phasendrehungen abhängige Einschwingvorgang den Toncharakter, siehe (10).}

ganz bedeutend komplizierter. Der Grund liegt darin, dass das Auge, im Gegensatz zum Gehör bei einem Tongemisch, in einer gegebenen willkürlichen Helligkeitsverteilung die einzelnen Fourierkomponenten nicht trennen kann und nur für die Summe aller Helligkeitswellen empfänglich ist. Der Helligkeitsverlauf, der aus der Summierung eines ganzen Spektrums von Helligkeitswellen resultiert, hängt nun aber wesentlich von der Phasenlage der einzelnen Komponenten ab. Der Amplitudengang eines Fernsehübertragungssystems ist deshalb nicht allein massgebend für die erzielte Bildqualität, der Phasengang muss stets mitbetrachtet werden. An Hand eines Beispiels sei diese Tatsache kurz demonstriert. In Fig. 9 stelle die obere Kurve links einen schar-

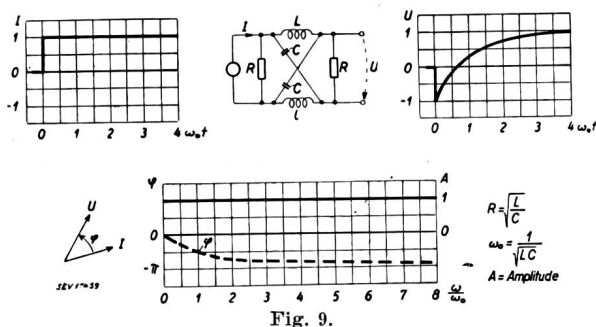


Fig. 9.
Einheitssprung und Kreuzglied

fen Helligkeitssprung eines Bildes dar, eine sogenannte Schwarz-Weiss-Kante. Ein derartiger Helligkeitsverlauf enthält alle Frequenzen von Null bis Unendlich mit indirekt zur Frequenz abnehmender Amplitude. Unser Uebertragungskanal sei nun dadurch charakterisiert, dass alle Frequenzen in ihrer Amplitude ungeschmälert durchgelassen, die Phase der einzelnen Komponenten hingegen nach einem bestimmten, in Fig. 9 dargestellten, von der Frequenz abhängigen Gesetz verändert wird. Es ist dies die Uebertragungscharakteristik eines sogenannten Kreuzgliedes, wie es die Figur zeigt. Während in der Elektroakustik durch eine solche Eigen-

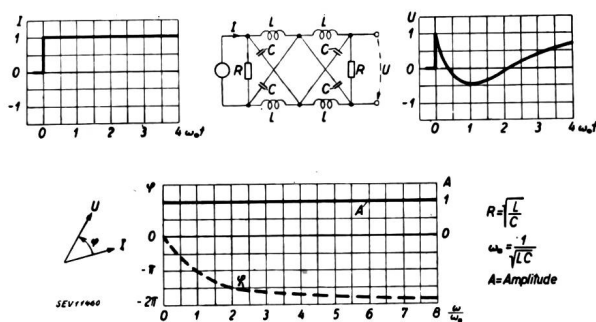


Fig. 10.
Einheitssprung und Doppelkreuzglied

schaft des Uebertragungssystems in erster Annäherung keine Aenderung der Tonqualität eintritt, wird in unserem Fall die ursprüngliche Schwarz-Weiss-Kante in die obere Kurve rechts der Abbildung übergeführt. Bei einer doppelt so starken Phasendrehung, die durch Hintereinanderschalten von zwei

Kreuzgliedern erzielt werden kann, wird die Schwarz-Weiss-Kante nach Fig. 10 verzerrt. Diese Beispiele erhellen wohl deutlich genug, wie wichtig die Frage der Phasendrehungen bei der Uebermittlung des Bildsignals ist.

Wir wollen jetzt ein anderes Beispiel betrachten. Es handle sich um eine Uebertragungscharakteristik, die gar keine Phasendrehungen vornimmt, hingegen die Amplituden nur bis zu einer bestimmten Frequenz f_0 durchlasse und zwar voll, über dieser Frequenz aber jede Spannung vollständig abschneide (idealisiertes Tiefpassfilter). Man erhält durch diese Behandlung des Frequenzbandes der Schwarz-Weiss-Kante die Kurve Fig. 11, welche die Eigenschaft aufweist, dass hinter dem Filter bereits eine kleine wellenförmige Spannung erscheint, bevor am Eingang des Filters die der Schwarz-Weiss-Kante entsprechende Spannung zur Zeit $t = 0$ angelegt worden ist. Da ein solches Verhalten in der Natur bisher nie beobachtet worden ist, indem damit das Kausalitätsprinzip verletzt wäre, so gelang-

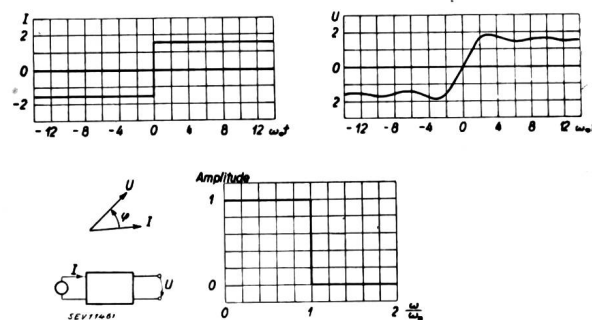


Fig. 11.
Einheitssprung und idealisierter Tiefpass

gen wir zum Schluss, dass kein Filter mit den angenommenen Uebertragungseigenschaften existieren kann. Wir sind damit zu der sehr wichtigen Erkenntnis gelangt, dass Amplituden- und Phasengang bei realisierbaren Filtern stets eng miteinander verknüpft sind und nicht unabhängig voneinander gewählt werden können.

Die Dinge liegen nun aber nicht so, dass überhaupt kein Tiefpassfilter mit dem erwähnten scharf begrenzten Amplitudengang realisierbar wäre. Man muss jedoch erhebliche Phasendrehungen oder anders ausgedrückt, grosse Laufzeiten des Signals zulassen, die um so länger ausfallen, je genauer der gewünschte Amplitudengang angenähert werden soll. Bei exakter Realisierung eines senkrecht abgehackten Amplitudenganges wird die Laufzeit unendlich gross.

Wenn solche Ergebnisse vom erkenntnistheoretischen Standpunkt aus gesehen sehr wichtig sind, so bedeuten sie für den Fernsehingenieur keine wesentliche Erleichterung seiner Aufgabe, die darin besteht, mit einem möglichst schmalen Frequenzband die geforderte Bildqualität zu erreichen.

Die Frage der Frequenzbandbeschneidung ist für die Fernsehtechnik sehr wichtig, denn abgesehen von den technischen Schwierigkeiten können schon

aus Gründen der Uebertragungskosten nicht beliebig breite Frequenzbänder übertragen werden.

Leider sind unsere diesbezüglichen Kenntnisse noch lückenhaft. Die Frage, welcher Phasen- und Amplitudengang bei der Erfüllung bestimmter Forderungen an die Bildqualität die geringste Frequenzbandbreite ergibt, kann heute wohl noch nicht mit Sicherheit beantwortet werden.

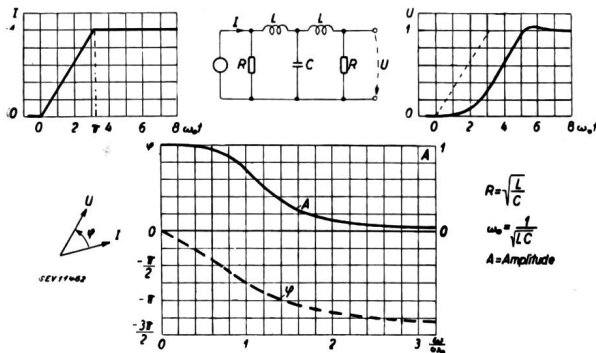


Fig. 12.
Sprung und Tiefpass

Um einen Einblick in diesen Fragenkomplex zu erhalten, ist es vielleicht am besten, die Uebertragungseigenschaften einiger einfacher, realisierbarer Schaltungen zu betrachten:

In den Fig. 12, 13 und 14 sind einige gerechnete Beispiele dargestellt. Es handelt sich durchwegs um einfache Tiefpässe, die mit einer Schwarz-Weiss-Kante beschriftet werden. Die bei einer Uebertragung eintretende Verformung einer Schwarz-Weiss-Kante bildet nämlich für den Fernsehingenieur ein ausgezeichnetes Kriterium für die erzielbare Schärfe des Fernsehbildes, indem jeder beliebige Helligkeitsverlauf durch Superposition von solchen Helligkeitssprüngen dargestellt werden kann. Dabei ist es jedoch nicht nötig, eine Schwarz-Weiss-Kante mit senkrechter Front zu betrachten; die Bedingung, dass eine solche Kante möglichst unverzerrt

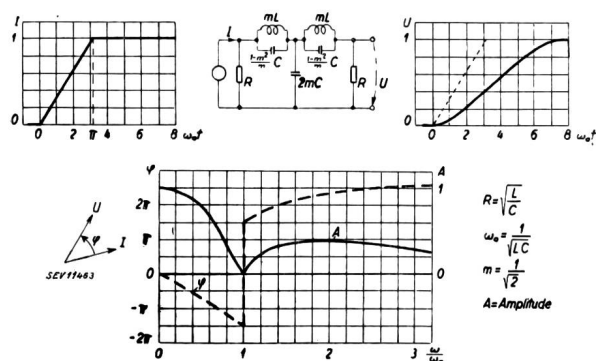


Fig. 13.
Sprung und Tiefpass

übertragen werden muss, wäre unnötig scharf formuliert. Es genügt, eine mit einer endlichen Flankensteilheit ansteigende Kante den Berechnungen zu Grunde zu legen, wie dies in Fig. 12 bis 14 zur Darstellung gebracht wurde. Die Anstiegsbreite der Kante richtet sich nach den Schärfe-

anforderungen, die man an das Fernsehbild stellt, und sie muss für ein einwandfreies Bild logischerweise gleich dem Auflösungsvermögen des Auges gesetzt werden.

Überlegungen der geschilderten Art, die selbstverständlich durch Versuche gestützt werden mussten, haben dazu geführt, beim Fernsehen das Frequenzband etwa auf die halbe Zahl der sekundlich übertragenen Bildpunkte festzulegen. Bei 6 Millionen Bildpunkten beträgt das Band somit etwa 3 Millionen Hertz, doch ist damit über die erreichbare Bildschärfe noch nicht viel ausgesagt, da diese, wie wir gesehen haben, untrennbar mit den Phasendrehungen im Frequenzspektrum zusammenhängt.

Die letzte Entscheidung über die Brauchbarkeit eines Bildübertragungskanal wird vorläufig dem praktischen Versuch durch Uebertragung eines Bildes vorbehalten bleiben. Dabei ist es wichtig, dass das Bild einen bewegten Inhalt aufweist, denn in der Kinetik ist seit langem bekannt, dass physiologische und psychologische Momente beim bildbetrachtenden Publikum für die Beurteilung

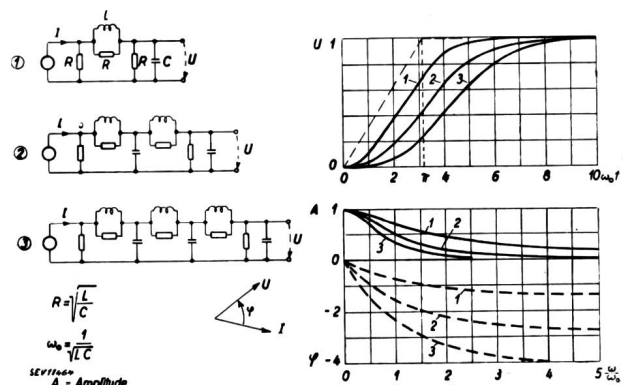


Fig. 14.
Sprung und Tiefpass

der Bildqualität und insbesondere der Bildschärfe eine sehr wichtige Rolle spielen. Es sei nur die Erfahrungstatsache erwähnt, dass für die mühsame Erkennung wohlbekannter Bilder, zum Beispiel menschlicher Gesichter, die Uebertragung einer viel geringeren Bildpunktzahl nötig ist als bei der Wiedergabe von unbekannten Gegenständen.

Die letzterwähnte Erfahrung wird die Fernseh-technik zur Erhöhung des subjektiven Schärfeindrucks bei gegebener Bildpunktzahl sicher nicht unbenutzt lassen; eine Einengung des nötigen Frequenzbandes lässt sich jedoch damit kaum erreichen, da auch unbekannte Objekte abgebildet werden müssen. Das Bedürfnis, oder mindestens der Anreiz nach Möglichkeiten der Frequenzbandverkleinerung zu suchen wird in der Fernseh-technik immer bestehen bleiben. Sollte sich im weiteren Verlaufe der Entwicklung sogar herausstellen, dass die heutige Norm von 400 bis 450 Bildzeilen den Ansprüchen des Publikums noch nicht genügt, so wird die Frequenzbandbeschränkung in der Fernseh-technik zum Gebote werden. Es ist vorauszusehen, dass allein durch sorgfältige Disposition der Ver-

stärker, Filter und Entzerrungsglieder ein wesentlicher Frequenzbandgewinn nicht erzielt werden kann. Entscheidend kann hier nur die Verkleinerung der sekundlich zu übertragenden Bildpunktzahl wirken, wobei selbstverständlich die Bildpunktzahl des Bildes selbst nicht geschmälert werden darf. Es verbleibt somit lediglich noch die Möglichkeit, die Zahl der in der Zeiteinheit übermittelten Bilder zu verkleinern.

Aus der Kinotechnik ist bekannt, dass die Projektion von 16 Bildern in der Sekunde für das Hervorrufen eines kontinuierlichen Bildeindrucks genügt. Der moderne Tonfilm hat diese Zahl auf 24 erhöht. Durch eine zusätzliche Unterbrechung des Lichtstromes während des Projizierens eines Bildes mit rotierenden Blenden wird dabei die Zahl der Helligkeitswechsel verdoppelt und damit ermüdende Flimmererscheinungen sicher und auf einfache Art vermieden.

In der Fernsehtechnik, wo man, wie bereits eingangs erwähnt wurde heute noch zur Vermeidung des Flimmerns 50 Bildübertragungen in der Sekunde vornehmen muss, würde eine derartige Möglichkeit die sehr willkommene Halbierung des Frequenzbandes nach sich ziehen. Die Erzeugung des Fernsehbildes auf dem Schirm der Braunschen Röhre gestattet infolge des allzu kurzzeitigen Aufblitzens jedes Bildpunktes ein solches Vorgehen aber leider nicht.

Bei der Bildwiedergabe nach dem von Prof. Dr. F. Fischer in Vorschlag gebrachten Fernsehprojektionsverfahren liegen die Verhältnisse in dieser Beziehung bedeutend günstiger. Es handelt sich dabei um ein elektrisches Lichtsteuerverfahren, bei welchem eine praktisch über die ganze Bildperiode dauernde Aufhellung jedes einzelnen Bildpunktes stattfindet.

An der Abteilung für industrielle Forschung (A. f. i. F.) des unter der Leitung von Professor Fischer stehenden Institutes für technische Physik an der ETH in Zürich wird gegenwärtig ein nach dem soeben erwähnten neuen Verfahren arbeitender Fernsehgrossprojektor fertiggestellt.

In diesem Projektor wird eine Flüssigkeitsschicht als Lichtsteuerorgan benützt, die in den Strahlengang einer Toeplerschen Schlierenoptik eingebaut ist und im Ruhezustand eine vollkommen glatte optische Fläche darstellt. Durch elektrische Ladungen, die von einem Kathodenstrahl stammen, wird die Oberfläche der Flüssigkeit unter der Wirkung der von diesen Ladungen ausgehenden elektrostatischen Kräfte derart punktwise deformiert, dass infolge der damit zusammenhängenden Lichtbrechung an der deformierten Oberfläche eine ausgiebige punktwise Steuerung des Lichtstromes eintritt. Da schon eine Reihe von Veröffentlichungen über diesen Grossprojektor erschienen sind ¹¹⁾, sei sein Aufbau und seine Wirkungsweise an Hand der Fig. 15 nur kurz rekapituliert:

In dieser Abbildung stellt 1 eine auf einer sehr langsam rotierenden Glasplatte 2 ausgebreitete Flüssigkeitsschicht (Eidophor genannt) dar, welche infolge der langsamen Rotation der Glasplatte 2 durch

das Rakel 3 dauernd geglättet und von der Kühlplatte 4 gekühlt wird. Der von der Kathodenstrahl-erzeugungseinrichtung 5 erzeugte und passend gesteuerte, durch die Fokussierspule 6 fokussierte und von den senkrecht zueinander stehenden Ablenkspulen 7 und 8 nach der Art eines Fernsehzeilenrasters abgelenkte Kathodenstrahl 9 bestreicht die durch die punktierte Linie 10 gekennzeichnete und als Bildfenster bezeichnete Fläche auf dem Eidophor.

Das zur Projektion des Bildes benötigte Licht wird von den Kohlen 11 einer Bogenlampe erzeugt und vom Hohlspiegel 12 über den Spiegel 13 durch

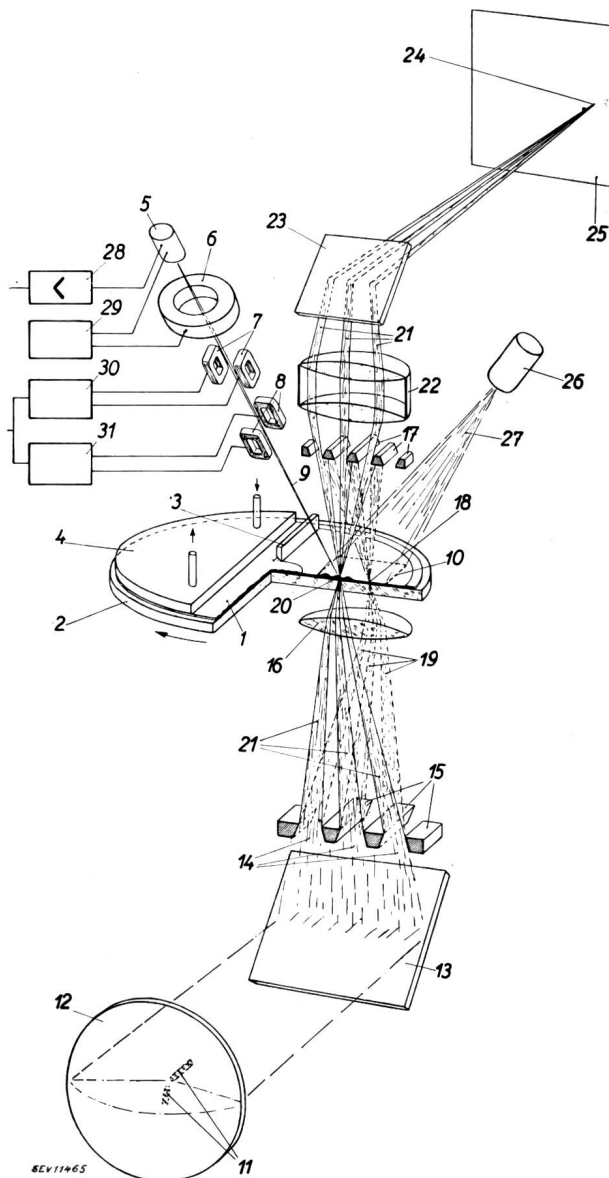


Fig. 15.

Aufbauschema des AFIF-Fernsehgrossprojektors
(teilweise aufgeschnitten)

die Spalte 14 zwischen den Stegen 15 geworfen. Das Objektiv 16 bildet diese Spalte bei glatter, nicht deformierter Oberfläche des Eidophors 1 genau auf die Barren 17 ab, sodass kein Licht auf den Projektionsschirm fällt. Zur besseren Veranschaulichung der optischen Verhältnisse sind die zu

einem nicht deformierten Bildpunkt 18 des Eidophors zugehörigen Lichtbündel 19 gestrichelt dargestellt. An deformierten Stellen der Flüssigkeitsoberfläche werden jedoch die Lichtbündel der Stärke der Deformation entsprechend abgelenkt, sodass nun Licht durch die Zwischenräume zwi-

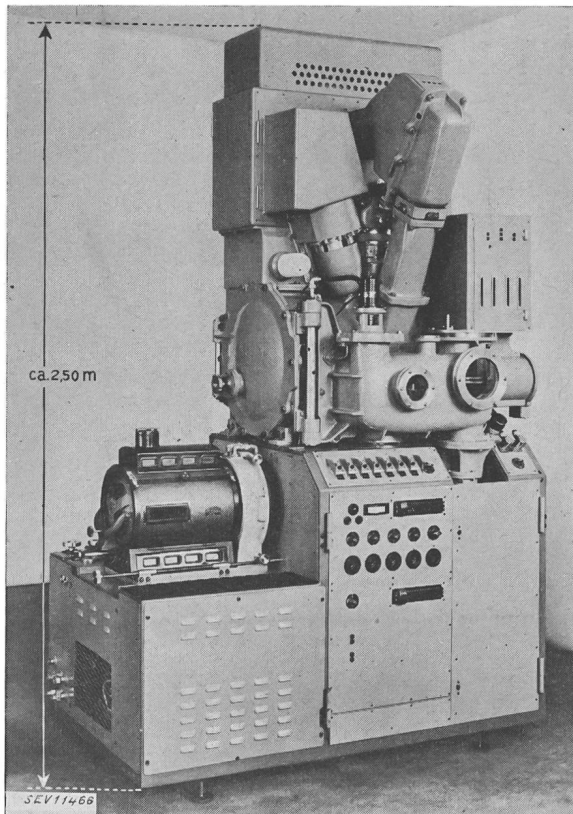


Fig. 16.
AFIF-Fernsehgrossprojektor

schen den Barren 17 hindurchtreten kann. Die zu einem solchen Bildpunkt 20 zugehörigen Lichtbündel 21 werden vom Projektionsobjektiv 22 über den Spiegel 23 zu einem der deformierten Stelle 20 der Flüssigkeitsoberfläche entsprechenden Punkte 24 des Projektionsschirmes 25 vereinigt. Die für die Wiedergabe des ganzen Fernsehbildes nötigen Deformationen der Eidophoroberfläche werden durch passende Modulation des Kathodenstrahls 9 hervorgerufen, indem an den hellen Punkten des Fernsehbildes entsprechenden Stellen der Flüssigkeitsoberfläche im Bildfenster durch den modulierten Kathodenstrahl gerasterte elektrische Ladungen abgelagert werden, die unter der Wirkung der elektrostatischen Kräfte die Oberfläche des Eidophors deformieren. Zur Erhöhung und Linearisierung der elektrostatischen Kraftwirkung ist noch eine Elektronenquelle 26 vorgesehen, welche das Bildfenster 10 durch einen diffusen Elektronenstrahl 27 gleichmässig mit Elektronen belegt.

Fig. 16 zeigt den fertig montierten Grossprojektor.

Die einmal auf die Flüssigkeitsoberfläche aufgebrachten Ladungen müssen immer wieder zum

Verschwinden gebracht werden um den das nächstfolgende Fernsehbild aufbauenden Ladungen Platz zu machen. Dem Eidophor wird deshalb eine bestimmte elektrische Leitfähigkeit erteilt, sodass die Ladungen langsam abfliessen und ein allmähliches Abklingen der Deformation unter der Wirkung der jeder Flüssigkeit eigenen mechanischen Oberflächenspannung eintritt. Andererseits ist das Entstehen der Deformation ein Vorgang, der ebenfalls eine bestimmte Zeit beansprucht. Zur Bildung einer kleinen Einsenkung der Oberfläche muss nämlich die eine bestimmte Zähigkeit aufweisende Flüssigkeit durch die elektrostatischen Kräfte an dieser Stelle erst teilweise weggedrückt werden. Durch die soeben beschriebenen Vorgänge bildet sich ein in Fig. 17 mit der gestrichelten Kurve 1 dargestellter Deformationsverlauf des Einzelvorganges aus und durch die Superposition aller dieser aufeinanderfolgenden Vorgänge entsteht der dünn ausgezogene resultierende Verlauf 2, der zugleich die zeitliche Abhängigkeit der Aufhellung jedes einzelnen Bildpunktes wiedergibt.

Es steht nun nichts mehr im Wege, in der Sekunde an Stelle von 50 Bildern nur die halbe Anzahl zu projizieren und die Bildhelligkeit mit Hilfe einer synchron rotierenden Blende, Flimmerblende genannt, im Verlaufe jeder Bildperiode abzuschwächen, sodass die erforderliche Helligkeitswechsel-

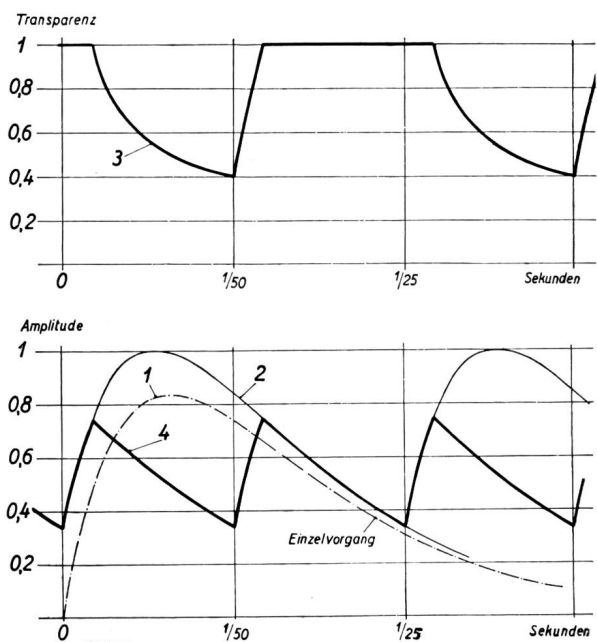


Fig. 17.

Helligkeitsverlauf beim AFIF-Fernsehgrossprojektor

- 1 Verlauf bei einmaliger Erregung (Einzelvorgang).
- 2 Verlauf bei 25 Erregungen pro Sekunde (Überlagerung der Einzelvorgänge).
- 3 Transparenzverlauf der Flimmerblende.
- 4 Resultierender Helligkeitsverlauf mit Flimmerblende.

zahl erreicht und damit Flimmerfreiheit gewährleistet ist. Der Transparenzverlauf der Flimmerblende müsste etwa der Kurve 3 in Fig. 17 entsprechen, woraus durch Multiplikation dieser Kurve mit der Kurve 2 der dick ausgezogene Helligkeitsverlauf 4 resultieren würde. Fig. 18 zeigt, wie die

Flimmerblende im Grossprojektor eingebaut werden müsste.

Bei der ersten Ausführung des beschriebenen A. f. i. F.-Fernseh-Projektors wurde auf den Einbau der Flimmerblende verzichtet, da es sich vorerst darum handelt, die Brauchbarkeit des neuen Licht-

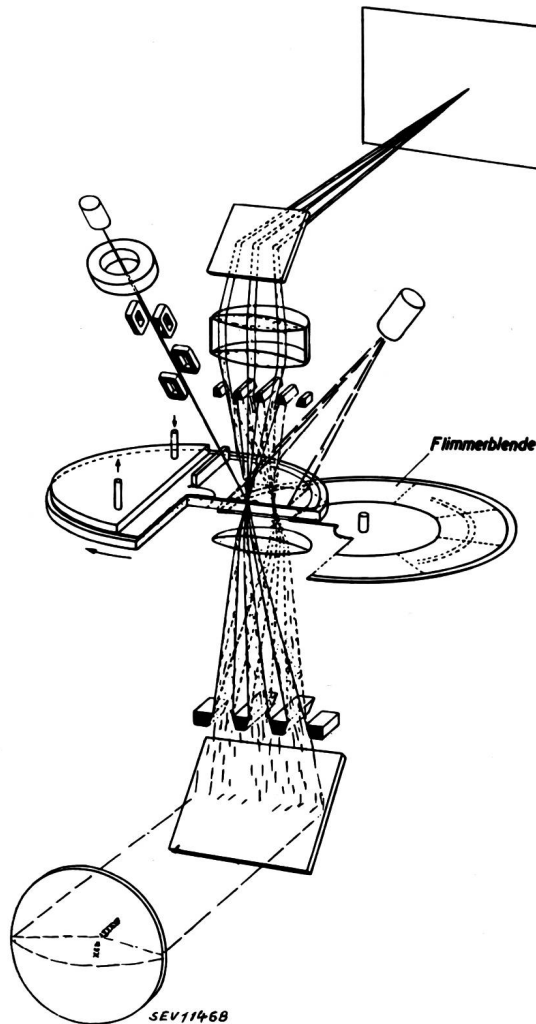


Fig. 18.
AFIF-Grossprojektor mit Flimmerblende

sterverfahrens von der physikalischen Seite her unter Beweis zu stellen.

Nach diesen Betrachtungen über die Frequenzbandbreite stellt sich nun noch die Frage, wie die Uebertragungseigenschaften eines gegebenen Bildsignalkanals korrigiert werden müssen, falls unzulässige Verzerrungen auftreten. Bei der geschilderten Sachlage über die diesbezüglichen theoretischen Kenntnisse ist es ohne weiteres verständlich, dass hierzu kein allgemein gültiges und einfaches Rezept gegeben werden kann. Es wird vorderhand stark dem praktischen Gefühl und Geschick überlassen sein, wie eine Entzerrung, zum Beispiel eines Fernsehkanals, zu erfolgen hat.

An dieser Stelle sei auf ein konkretes Beispiel einer Signalentzerrung hingewiesen. Es handelt sich um die Kompensation des Nachleuchtens des Leuchtflecks der Braunschen Röhre beim Leuchtschirm-

bildabtaster. Abtaster dieser Art leuchten bekanntlich das zu übertragende Bild (oder Gegenstand) mit Hilfe eines auf dem Leuchtschirm einer Braunschen Röhre erzeugten und bewegten kleinen Leuchtflecks ab, der von einer Optik auf das Bild projiziert wird. Das vom reflektierten oder durchfallenden Lichte in der Photozelle erzeugte Bildsignal weist nun leider starke, vom unvermeidlichen Nachleuchten des Leuchtflecks herrührende Verzerrungen auf. Im Zeitdiagramm des Bildsignals erscheint zum Beispiel an Stelle einer scharfen Kante eine abklingende Kurve, wie etwa die oberste Kurve der Fig. 19 zeigt, und die eine unzulässige, mehrere Bildpunkte dauernde zeitliche Länge aufweist. Die Kurve besitzt den Charakter einer oder eines Gemisches von Exponentialkurven. Bildet man von diesem Signal den ersten Differentialquotienten (mittlere Kurve) und subtrahiert man vom Bildsignal eine diesem Differentialquotienten entsprechende Spannung von angepasster Grösse, so ist eine weitgehende Entzerrung erreichbar, wie die unterste Kurve der Figur veranschaulicht. Die Entzerrung kann praktisch vollkommen sein, falls das Abklingen des Nachleuchtens eine oder ein Gemisch von exakten Exponentialkurven bildet. In Fig. 19 ist ebenfalls die angewendete Schaltung aufgezeichnet. Die Differentiation des verzerrten Signals wird mit der Zeitkonstante $R_2 C_2$ vorgenommen, worauf die Addition des Signals mit seinem Differentialquotienten im gemeinsamen Anodenwiderstand der zweiten und dritten Verstärkerröhre er-

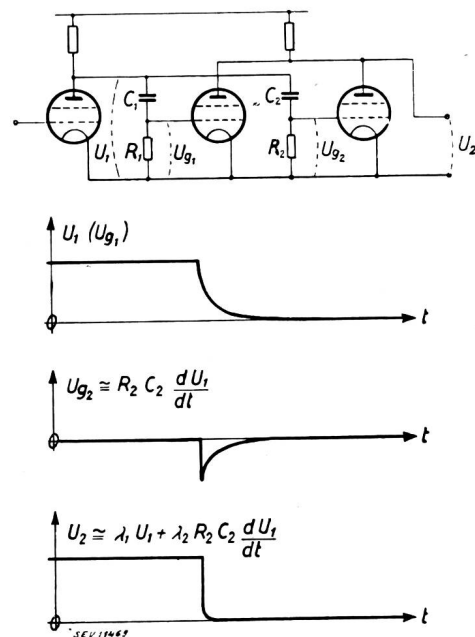


Fig. 19.
Korrektur der durch das Nachleuchten hervorgerufenen Signalverzerrung beim Leuchtschirmabtaster

folgt. Die Schaltung wurde durch das unter der Leitung von Professor Dr. F. Tank stehende Institut für Hochfrequenztechnik an der ETH beim Bau des an der Schweizerischen Landausstellung vorgeführten Leuchtschirmabtasters entwickelt, und es sei auf die diesbezügliche Literatur verwiesen ¹²⁾.

Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, dass die Anwendung der soeben erläuterten Methode auf andere Fälle von Verzerrungen nicht unbedingt zum Erfolg führen muss. Hingegen zeigt sowohl das Beispiel der Frequenzbandhalbierung durch Ausnützung der nachhaltigen Lichtsteuerung beim A. f. i. F.-Grossprojektor als auch die Korrektur des Nachleuchtens beim Leuchtschirmabtaster, dass die schaltungstechnischen Probleme des Fernsehens sehr eng mit dem Aufbau und dem physikalischen Verhalten der Bildabtast- und Bildwiedergabegeräte zusammenhängen.

Es ist nicht verwunderlich, dass die heute vorliegenden theoretischen Kenntnisse in Bezug auf die linearen Verzerrungen und ihre Korrektur für die Zwecke des Fernsehens noch nicht sehr weit reichen, denn die Natur ist nicht geschaffen, um restlos in simple mathematische Formel gefasst zu werden. Auch gibt es in anderen Domänen der Technik Beispiele genug, wo trotz grösster Anstrengungen gefühlsmässiges und auf Erfahrung aufgebautes Vorgehen nicht ausgeschaltet werden konnte; man denke zum Beispiel an die Fehlerkorrektur der optischen Linsen durch Zusatzlinsen. Trotz der Einfachheit der optischen Gesetze konnte auch auf diesem Gebiete bis heute keine genaue Vorschrift für den einzuschlagenden Weg aufgestellt werden, und die zahlreichen gefundenen Lösungen richten sich ganz nach den Anforderungen an die optische Korrektur, den vorhandenen Baustoff und die technologischen Möglichkeiten.

Wir wollen nun die Probleme des Bildsignals verlassen und unsere Betrachtungen dem Synchronisierkanal zuwenden.

B. Synchronisierkanal

Dem Synchronisierkanal fällt, wie wir gesehen haben, die Aufgabe zu, den Gleichlauf der punkweisen Bildzusammensetzung beim Fernsehempfänger mit dem Vorgang der Bildabtastung beim Sender zu gewährleisten. Dies wird durch die vor jeder Bildzeile ausgesandten Zeilensynchronisierungszeichen und jeden Bildwechsel begleitenden Bildsynchronisierungszeichen in Verbindung mit den zugehörigen Apparaten besorgt.

Die nötige Genauigkeit der Synchronisierung ist durch die Bildpunktzahl zwangsläufig gegeben; sie muss mindestens einen Bildpunkt betragen. Wegen der bereits besprochenen allgemeinen Gepflogenheit, den Synchronisierkanal mit dem Bildsignalkanal streckenweise zu vereinigen, steht für die Synchronisierung im allgemeinen das gleiche Frequenzband zur Verfügung wie für die Bildübertragung. Das Erreichen einer genügenden Synchronisiergenauigkeit bietet aus diesem Grunde keine Schwierigkeiten; d. h. dank der genügenden Flankensteilheit der Synchronisierungsimpulse ist das richtige Einsetzen der Kippgeräte auf der Empfängerseite gewährleistet. Die Kippgeräte oder Kippspannungsgeneratoren liefern bekanntlich die sägezahnförmigen Spannungen oder Ströme, die für die Ablenkung der Kathodenstrahlen in horizontaler und vertikaler Richtung nötig sind (siehe Fig. 20 und 21).

Durch dieses System der Synchronisierung wird nun aber nur der Start der Kippgeräte gesteuert; während der Dauer der Zeilenperiode, bzw. Bildperiode sind die Kippgeräte sich selbst überlassen. Das hat zur Folge, dass bei einem einwandfrei synchronisierten Fernsehzeilenraster lediglich der linke Rand fehlerfrei erscheinen muss, die übrige Gestalt des Rasters unter Umständen jedoch starke, von den Eigenschaften der Kippgeräte und den übrigen für die Rastererzeugung nötigen Mitteln, z. B. Kathodenstrahlableitungen, abhängige Verzerrungen auf-

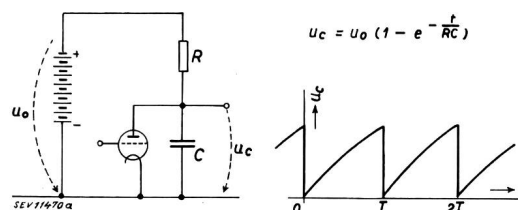


Fig. 20.
Kippspannung

weist. Wir wollen uns deshalb bei der Untersuchung des Synchronisierkanals in erster Linie den Problemen der Rasterverformung und den damit zusammenhängenden Fragen zuwenden. Dabei müssen wir freilich auf die Besprechung von elektronenoptisch verursachte Rasterverformungen verzichten.

Das erste Problem, das wir behandeln wollen, hänge mit der Formkorrektur der sägezahnförmigen Kippspannungen und Kippströme zusammen. Die in der Fernsehtechnik weitaus am häufigsten verwendete Schaltung zur Erzeugung einer Kippspannung ist in Fig. 20 dargestellt; sie besteht aus einem Kondensator C , der von einer konstanten Spannungsquelle über einen Widerstand R dauernd aufgeladen und von einer Verstärkerröhre periodisch rasch entladen wird. Bekanntlich zeigt die auf diesem Wege erzeugte und in Fig. 20 aufgezeichnete Kippspannung u_c einen nach einer Exponentialkurve verlaufenden Anstieg, während für eine mit konstanter Geschwindigkeit verlaufende Strahlableitung ein geradliniger Kippspannungsanstieg nötig ist. Unter den vielen Vorschlägen, die

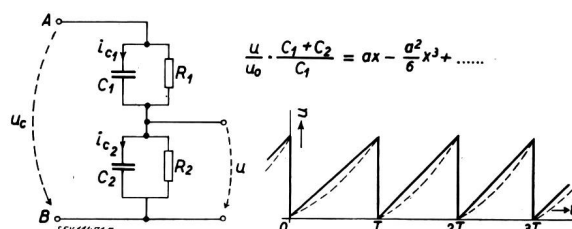


Fig. 21.
Korrektur der Kippspannung nach Fig. 20

bis heute für die Korrektur einer solchen Kippspannung gemacht worden sind, wollen wir eine Methode herausgreifen, die bisher weniger bekannt geworden ist. Sie besteht darin, die ursprüngliche, gekrümmte Kippspannung an ein aus lauter linearen Schaltelementen bestehendes Netzwerk zu legen und zu untersuchen, ob an irgend einer Stelle des

Netzwerkes eine weniger stark gekrümmte Spannung abgenommen werden kann. In Fig. 21 ist ein hierzu geeignetes Netzwerk abgebildet. An die Klemmen $A B$ sei die exponentialförmig ansteigende Spannung u_c angelegt:

$$u_c = u_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Für die Berechnung der abgenommenen Spannung u könnte nun der in der Schwachstromtechnik allgemein übliche Weg eingeschlagen werden, die Primärspannung in eine Fourierreihe aufzulösen, den Frequenzgang des Netzwerkes bezüglich Amplitude und Phase zu bestimmen und durch Addition der durch das Netzwerk veränderten Fourierkomponenten die Spannung u auszurechnen. Dieser Weg wäre jedoch sehr mühselig, denn die Fourierreihe der abgebildeten Kippspannung konvergiert verhältnismässig langsam, sodass, um eine genügende Genauigkeit der Rechnung zu erreichen, eine grosse Zahl dieser sinusförmigen Komponenten zu addieren wäre. Ein anderer Weg führt hier rascher zum Ziel. Man setze für u die Differentialgleichung an, welche lautet:

$$\frac{dy}{dx} + y = e^{-ax}$$

Darin bedeutet:

$$y = \left(\frac{u}{u_0} \frac{C_1 + C_2}{C_1} - \frac{T^*}{T} \right) \frac{1}{a} \cdot \frac{T_1}{T_1 - T_0};$$

$$x = \frac{t}{T^*}; \quad a = \frac{T^*}{T_0}$$

$$T_0 = RC; \quad T^* = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (C_1 + C_2);$$

$$T_1 = R_1 C_1; \quad T_2 = R_2 C_2$$

Die vollständige Lösung schreibt sich dann wie folgt:

$$\text{für } a \neq 1 \quad y = K_1 e^{-x} + \frac{e^{-ax}}{1-a}$$

$$\text{für } a = 1 \quad y = K_2 e^{-x} + x e^{-x}$$

K_1, K_2 sind Integrationskonstanten.

Zur Bestimmung der Integrationskonstanten muss berücksichtigt werden, dass die in der Zeit von 0 bis T dem Kondensator C_2 (oder C_1) zugeführte Ladung gleich der durch den unendlich kurzzeitig gedachten Entladevorgang den zwei in Serie geschalteten Kondensatoren C_1 und C_2 entnommenen Ladung ist (Gleichgewicht der zu- und abgeführten Ladung im eingeschwungenen Zustand).

Es muss sein:

$$\int_0^T i_{C_2} dt = u_{c \max} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Mit dieser Randbedingung bestimmen sich folgende Integrationskonstanten:

$$\text{für } a \neq 1 \quad K_1 = \frac{1 - e^{-\frac{T}{T_0}}}{1 - e^{-\frac{T}{T^*}}} \cdot \frac{\frac{T_1}{T^*} - 1}{\left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right) \left(1 - \frac{T^*}{T_0}\right)}$$

$$\text{für } a = 1 \quad K_2 = \frac{\frac{T_1}{T_0}}{1 - \frac{T_1}{T_0}} + \frac{T}{T_0} \frac{e^{-\frac{T}{T_0}}}{1 - e^{-\frac{T}{T_0}}}$$

Unter der Voraussetzung dass $T \ll T_0$ und $T \ll T^*$ gemacht wird, vereinfachen sich die Integrationskonstanten:

$$\text{für } a \neq 1 \quad K_1 = \frac{T^*}{T_0} \frac{\left(\frac{T_1}{T^*} - 1\right)}{\left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right) \left(1 - \frac{T^*}{T_0}\right)}$$

$$\text{für } a = 1 \quad K_2 = \frac{\frac{T_1}{T_0}}{1 - \frac{T_1}{T_0}} + \left(1 - \frac{T}{T_0}\right)$$

Nach der Durchführung dieser Rechnung entwickle man das Resultat in eine Potenzreihe und untersuche, ob das quadratische Glied der Reihe zum Verschwinden gebracht werden kann. Die Potenzreihe lautet:

für $a \neq 1$

$$y = \left(K_1 + \frac{1}{1-a} \right) - \frac{x}{1!} \left(K_1 + \frac{a}{1-a} \right) + \frac{x^2}{2!} \left(K_1 + \frac{a^2}{1-a} \right) - \frac{x^3}{3!} \left(K_1 + \frac{a^3}{1-a} \right) + \dots$$

für $a = 1$

$$y = K_2 - \frac{x}{1!} (K_2 - 1) + \frac{x^2}{2!} (K_2 - 2) - \frac{x^3}{3!} (K_2 - 3) + \dots$$

Die Forderung für das Verschwinden des quadratischen Gliedes führt auf folgende Bedingungen, die in unserem Falle tatsächlich physikalisch erfüllt werden können:

$$\text{für } a \neq 1; \quad K_1 + \frac{a^2}{1-a} = 0 \quad \text{oder} \quad \frac{1}{T^*} + \frac{1}{T_0} = \frac{1}{T_1}$$

$$\text{für } a = 1; \quad K_2 - 2 = 0 \quad \text{oder} \quad \left(1 + \frac{T}{T_0}\right) \left(\frac{T_0}{T_1} - 1\right) = 1$$

Die neuen Reihen für u lauten nun:

$$\text{für } a \neq 1; \quad y = (1+a) - xa + \frac{x^3}{3!} a^3 - \dots$$

$$\text{für } a = 1; \quad y = 2 - x + \frac{x^3}{3!} - \dots$$

Schliesslich ist zu untersuchen, ob die verbleibenden Glieder höherer Ordnung noch einen störenden

Beitrag zum erwünschten linearen Gliede ergeben. Wegen der raschen Konvergenz der Potenzreihe ist bei dieser Untersuchung im allgemeinen nur das Glied dritter Ordnung zu berücksichtigen. Die maximale, relative Abweichung ε vom linearen Anstieg, die dieses Glied verursacht, ist durch folgende Ausdrücke gegeben.

$$\text{für } a \neq 1; \quad \varepsilon = -\frac{1}{6} \frac{T^2}{T^* T_0}$$

$$\text{für } a = 1; \quad \varepsilon = -\frac{1}{6} \left(\frac{T}{T_0} \right)^2$$

Der beschrittene Weg ist, vom mathematischen Standpunkte aus gesehen, sehr einfach und klar. Dass er eine gute Abschätzung des Restfehlers gestattet, ist ein theoretischer Vorzug. In der Praxis wird man in der Weise vorgehen, dass man eines der Schaltelemente des Korrekturnetzwerkes variabel ausbildet und seine genaue Grösse durch Einstellen beim Versuch bestimmt. Dabei wird man rasch bemerken, dass es nicht nur möglich ist, mit einem solchen Netzwerk eine nach oben gekrümmte Kippspannung geradzustrecken, sondern auch nach unten durchzubiegen, d. h. der Krümmung ein anderes Vorzeichen zu geben. In mathematischer Sprache heisst das, man lässt das quadratische Glied der Potenzreihe nicht verschwinden, sondern man gibt ihm ein anderes Vorzeichen und einen anderen Betrag. In Fig. 21 ist dieser Fall durch eine punktierte Linie angedeutet. Von dieser Möglichkeit wird man mit Vorteil Gebrauch machen, wenn es sich darum handelt, Formverzerrungen, die die Kippspannung bei einer Verstärkung durch die Krümmung der Röhrenkennlinien erleidet, zu kompensieren.

Nach der Behandlung der Korrektur von Kippspannungen sei die Frage der automatischen Regulierung und Konstanthaltung der Fokussierung eines Kathodenstrahls und der geometrischen Abmessung des von ihm beschriebenen Fernsehzeilenrasters zur näheren Diskussion gestellt.

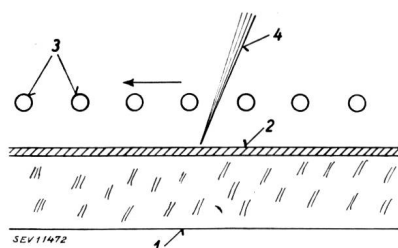


Fig. 22.
Anordnung des Wandergitters beim AFIF-Grossprojektor
1 Glasplatte.
2 Eidophor.
3 Wandergitter.
4 Kathodenstrahl.

Die Notwendigkeit einer dauernd scharfen Fokussierung besteht bei allen Kathodenstrahlröhren der Fernsehtechnik. Beim A. f. i. F.-Fernsehgrossprojektor stellt sich ausserdem die Aufgabe, die Ablenkamplitude des Kathodenstrahls in der senkrechten Bildrichtung auf etwa 1% konstant zu halten und zwar aus folgendem Grunde. Zur Verhinderung der Bildqualität stark beeinträchtigenden Sekundäremission auf der Oberfläche der Lichtsteuerflüssigkeit wurde ein wanderndes Stabgitter in den Projektor eingebaut, das in der senkrechten

Bildablenkrichtung unmittelbar über die Oberfläche der Flüssigkeit geführt wird, und das gegenüber der Flüssigkeitsoberfläche ein negatives Potential aufweist. Fig. 22 zeigt schematisch die Anordnung des Wandergitters über der Flüssigkeitsoberfläche, während die Bilder 23 bis 26 dessen

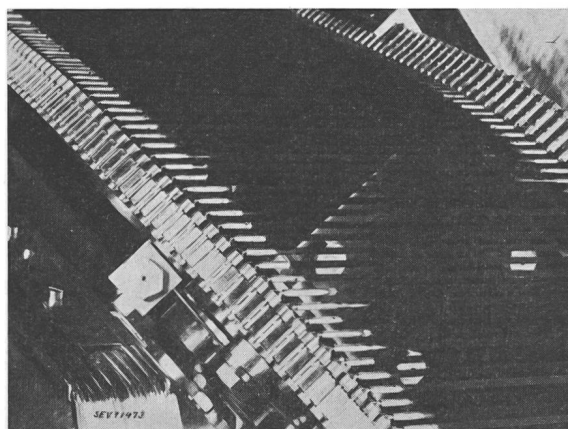


Fig. 23.
Teilansicht des Wandergitters

konstruktive Ausbildung und die Montage veranschaulichen.

Bei einer solchen Anordnung ist der Kathodenstrahl gezwungen, stets genau zwischen zwei Stäben des Gitters hindurchzutreten. Um zu verhindern, dass der Kathodenstrahl auf einen Gitterstab treffe, muss sowohl seine Ablenkamplitude als auch eine Endlage (Umkehrpunkt) mit einer Genauigkeit eines Prozents der Bildgrösse festgehalten werden. Wollte man diese Aufgabe durch Stabilisierung sämtlicher den Kathodenstrahl speisenden und beeinflussenden Spannungen und Ströme lösen, so würde dies zu einem erheblichen Aufwand an Stabilisierungsmitteln führen, und es wären beträchtliche schaltungstechnische Schwierigkeiten zu überwinden, auf deren nähere Betrachtung hier jedoch nicht eingegangen wird.

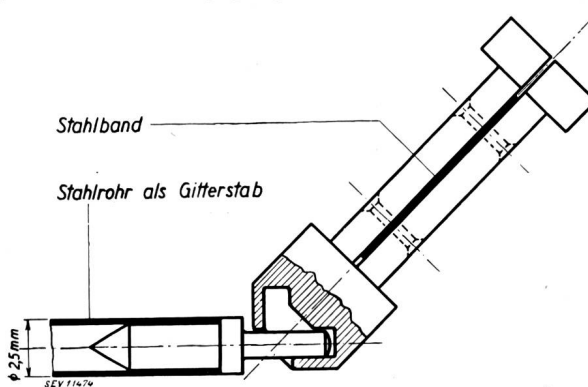


Fig. 24.
Taumellager der Wandergitterstäbe

Es sei lediglich erwähnt, dass die magnetische Fokussierung und Strahlablenkung nur dann erhalten bleibt, wenn zwischen der Beschleunigungsspannung U des Kathodenstrahls einerseits und den magnetischen Feldstärken H der Fokussier-

und Strahlablenkspulen andererseits die Beziehung

$$\frac{H^2}{U} = \text{Konstante}$$

besteht. Diese Relation lässt sich aus den elektro-nenoptischen Formeln für die Brennweite einer

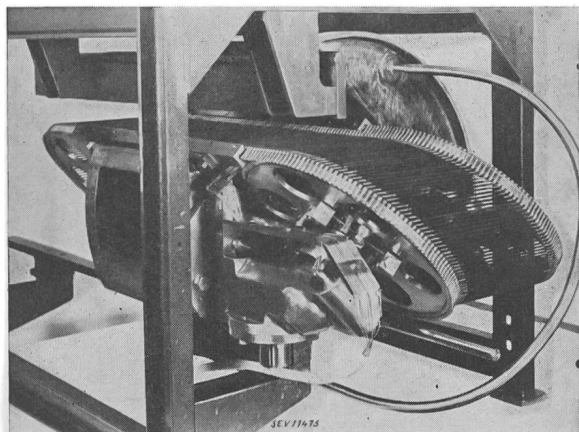


Fig. 25.
Wandergitter im Montageblock hängend

magnetischen Linse und des Strahlablenkvermögens einer Ablenkspule leicht ableiten. An die Stelle der Feldstärke H kann in der Formel der Magnetisierungstrom I treten, so lange keine Sättigungserscheinungen in Eisenteilen der Spulen auftreten¹³⁾.

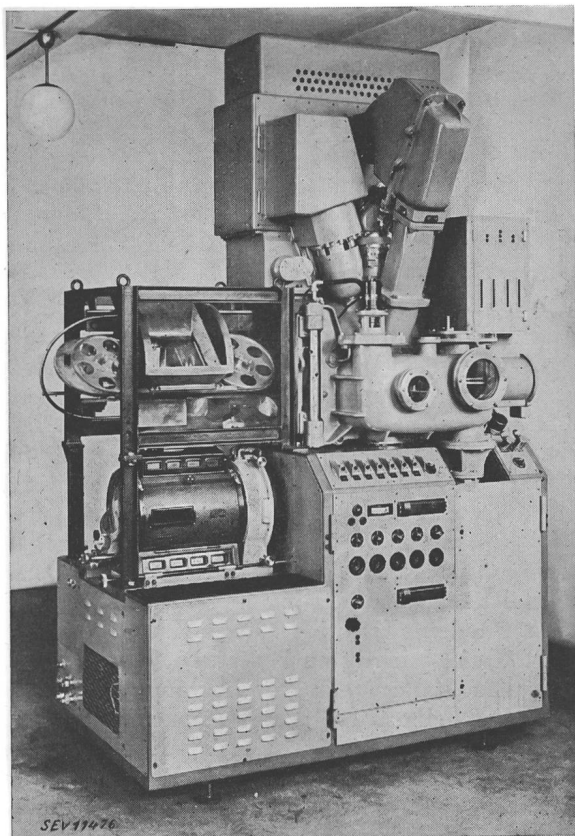


Fig. 26.
Einschieben des Wandergitters in den Grossprojektor

Für die Bewältigung des Problems wurde ein Weg beschritten, der im Bau eines als Regulierrohr bezeichneten Kathodenstrahlrohres bestand, welches dem im folgenden stets mit Hauptrohr bezeichneten Kathodenstrahlrohr des Projektors nachgebildet und derart zugeschaltet ist, dass alle schädlichen Einflüsse in Bezug auf Fokussierung und Ablenkung des Kathodenstrahles die von den unvermeidlichen Schwankungen der Speisespannungen herrühren, selbsttätig kompensiert werden.

Fig. 27 zeigt das Regulierrohr, das Hauptrohr sowie die vollständige Schaltung in schematischer Darstellung. Dabei sind mit 1 das Regulierrohr, mit

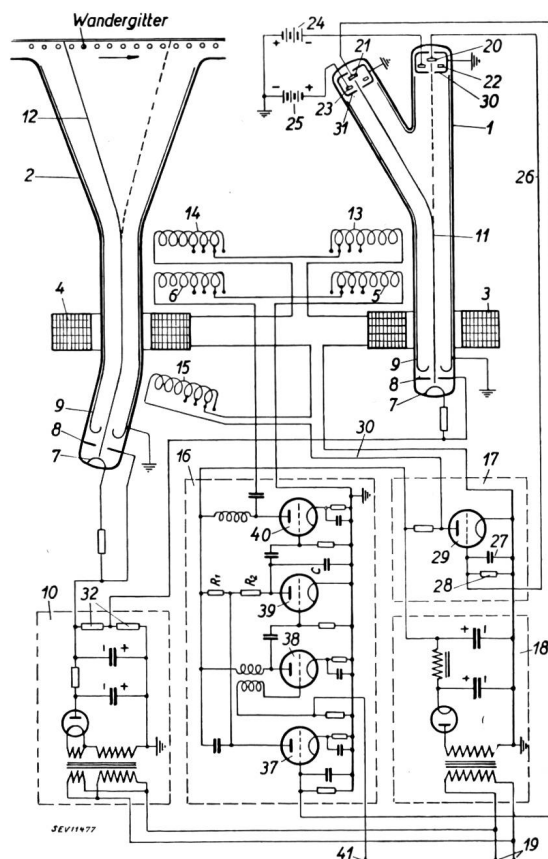


Fig. 27.

AFIF-Fernsehgrossprojektor
Schaltschema des Regulierrohres

- 1 Regulierrohr.
2 Kathodenstrahlrohr des Grossprojektors mit Wandergitter (Bewegungsrichtung des Wandergitters durch Pfeil angedeutet).

2 das Hauptrohr, mit 3 und 4 die Fokussierspule des Regulierrohres, bzw. des Hauptrohres, und mit 5 und 6 die Strahlablenkspulen des Regulier- bzw. des Hauptrohres bezeichnet. Die Strahlablenkspulen lenken in unserem Falle die zugehörigen Kathodenstrahlen 11 bzw. 12 periodisch um eine Nullage ab, wobei der Ablenkstrom von einem im Gehäuse 16 untergebrachten regelbaren Kippgerät geliefert wird. Sowohl das Regulierrohr als auch das Hauptrohr besitzen eine Kathode 7, ein Steuergitter 8 und eine Anode 9. Die Kathode und das Steuergitter stehen unter einer negativen Spannung von 10 000 Volt, die vom Hochspannungsnetzanschlussgerät 10 geliefert wird, während die Anode geerdet

ist. Der Kathodenstrahl 11 des Regulierrohres erfährt eine weitere Beeinflussung durch die Spule 13, welche dem Kathodenstrahl eine konstante Ablenkung nach links erteilt. Die entsprechende Spule des Hauptrohres ist mit 14 bezeichnet. Diese beiden Spulen seien im folgenden stets als Schiebespulen benannt. Das Hauptrohr weist ferner eine Spule 15 auf, die den Kathodenstrahl an der abgekröpften Stelle des Rohres in der Weise ablenkt, dass er nicht auf die Rohrwand trifft. Eine solche Spule wird sehr oft bei Kathodenstrahlröhren vorgesehen, um die auch bei gutem Vakuum stets vorhandenen, negativen Ionen vom Kathodenstrahl zu trennen, indem diese Ionen wegen ihrer verhältnismässig grossen Masse im magnetischen Felde eine viel geringere Ablenkung erfahren. Sie fallen infolgedessen auf die Rohrwand und werden dort abgefangen. Eine Spule, der eine derartige Aufgabe zugewiesen ist, wird in der Elektronenoptik mit *Ionenfalle* bezeichnet.

Sowohl die Fokusserspulen als auch die Schiebespulen und die Ionenfallenspulen sind in Serie geschaltet und werden durch das regelbare Speisegerät 17 mit Strom beschickt. Als Stromquelle für dieses Speisegerät und auch für das Kippgerät 16 dient das Netzanschlussgerät 18. Beide Netzanschlussgeräte 10 und 18 sind über die Anschlussklemmen 19 mit dem Netz verbunden.

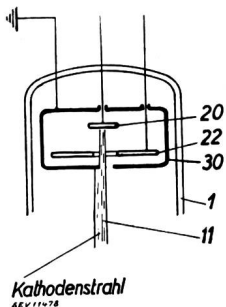


Fig. 28.
Ausbildung der Sonden des
Regulierrohres

Das Regulierrohr enthält zwei Elektroden 20 und 21, auf die der Kathodenstrahl in seinen extremen Lagen fällt und die im folgenden als Sonden bezeichnet werden sollen. In unmittelbarer Nähe dieser beiden Sonden befinden sich die Hilfselektroden 22 und 23, von denen die erste auf negatives und die zweite auf positives Potential gebracht wird, was durch Anschliessen dieser Elektroden an die Batterien 24 und 25 bewerkstelligt ist. Sowohl die Sonden 20, 21 als auch die Hilfselektroden 22, 23 sind von einem geerdeten Gehäuse 30, 31 umgeben, welches auf der der Kathode zugewendeten Seite eine als Blende wirkende Öffnung für den Durchtritt des Kathodenstrahles aufweist.

In Fig. 28 ist eine Sonde mit der Hilfselektrode und dem geerdeten Gehäuse der besseren Deutlichkeit halber vergrössert dargestellt, wobei zur Bezeichnung der einzelnen Teile die gleichen Zahlen wie in Fig. 27 gewählt sind. Die Figur zeigt deutlich, wie die als Blende wirkende Öffnung des Gehäuses 30 einen Teil des Kathodenstrahls 11, der auch bei guter Fokussierung stets noch einen bestimmten Querschnitt aufweist, ausblendet, sodass

je nach der Lage des Kathodenstrahles ein grösserer oder kleinerer Teil davon auf die Sonde fällt.

Die Wirkungsweise des Regulierrohres in Verbindung mit der ganzen Schaltung sei nun näher erläutert. Wenn der Kathodenstrahl 11 des Regulierrohres auf die Sonde 20 fällt, so wird die Sonde und der mit ihr über die Leitung 26 verbundene Kondensator 27 negativ aufgeladen. Der Umstand, dass die Hilfselektrode 22 gegenüber der Sonde auf negativem Potential steht, verhindert eine schädliche, die Aufladewirkung des Kathodenstrahls vermindernde Sekundäremission der Sonde 20. Der Kondensator 27 wird nun so stark negativ aufgeladen, bis Gleichgewicht besteht zwischen dem von der Sonde herrührenden und dem durch den parallel zum Kondensator 27 liegenden Widerstand 28 abfliessenden Strom. Je nachdem von der Sonde der ganze oder nur ein Teil des Kathodenstrahls aufgefangen wird, ist die Spannung des Kondensators 27 und damit des mit ihm verbundenen Steuergitters der Verstärkerröhre 29 stärker oder weniger stark negativ. Diese Verstärkerröhre beeinflusst nun aber durch Stromabzweigung den über die Leitung 30 zu den in Serie geschalteten Fokussier-, Schiebe- und Ionenfallenspulen fliessenden Speisestrom in der Weise, dass die durch die Schiebespule 13 des Regulierrohres gegebene punktiert eingezeichnete Endlage des Kathodenstrahls 11 dauernd und mit grosser Genauigkeit an die gleiche Stelle gekettet ist. Verschiebt sich nämlich diese Endlage beispielsweise ein wenig nach rechts, so fallen mehr Elektronen auf die Sonde 20, der Kondensator 27 wird dadurch negativer aufgeladen und der von der Verstärkerröhre 29 abgezweigte Strom wird kleiner, sodass der infolgedessen entsprechend vergrösserte Strom in der Schiebespule 13 die ursprüngliche Endlage wieder herstellt. Es ist selbstverständlich, dass sich der ganze Reguliertvorgang im umgekehrten Sinne abwickelt, wenn sich die Endlage des Kathodenstrahles 11 infolge einer Netzspannungsschwankung oder dergleichen nach der anderen Seite verschieben sollte.

Durch die erwähnte Serieschaltung der Spulen 14 und 15 des Hauptrohres mit der Spule 13 des Regulierrohres wird nun erreicht, dass auch die punktiert gezeichnete Endlage des Kathodenstrahles 12 starr festgehalten wird, obwohl sich im Hauptrohr keine Sonden zur Regulierung oder ähnliches befindet, indem infolge dieser Serieschaltung bei einer beispielsweise durch eine Schwankung der Anodenspannung des Gleichrichters 10 gegebenen Aenderung des Stromes in der Spule 13 selbsttätig die gleiche Stromänderung in der Schiebespule 14 und der Ionenfallenspule 15 des Hauptrohres stattfindet. Es ist wichtig zu bemerken, dass im soeben erwähnten Falle einer Anodenspannungsänderung des Gleichrichters 10 diese Anodenspannungsänderung verhältnismässig in gleicher Stärke sowohl beim Hauptrohr als auch beim Regulierrohr zur Wirkung kommt. Um diese Bedingung stets zu erfüllen, wird man beide Kathodenstrahlröhren, wie das im Beispiel der Fig. 29 der Fall ist, an ein und dasselbe Speisegerät anschliessen. Um die Kon-

struktion und den Betrieb des Regulierrohres bei sehr hohen Anodenspannungen des Hauptrohres zu erleichtern, kann die Anodenspannung des Regulierrohres durch den Spannungsteiler 32 des Netzanschlussgerätes 10 verkleinert werden, doch muss dieser Spannungsteiler derart dimensioniert wer-

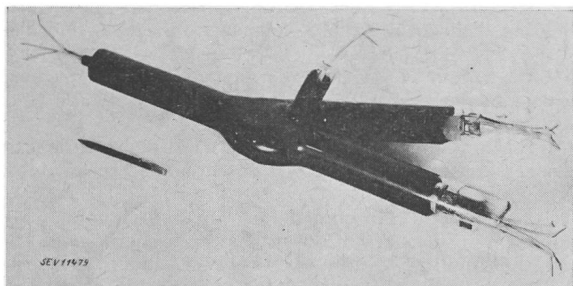


Fig. 29.

Regulierrohr

Links: Kathode.
Mitte: Anschluss der Anode.
Rechts: Sonden.

den, dass allfällige Schwankungen des von der Kathode 7 des Regulierrohres emittierten Stromes keine merkbare Änderung des Spannungsverhältnisses am Spannungsteiler hervorrufen. Auch Temperaturschwankungen dürfen das Spannungsverhältnis des Spannungsteilers nicht ändern. Sind diese letztgenannten Bedingungen erfüllt, so vermögen selbst grosse Schwankungen der Netzspannung und der daraus resultierenden Anodenspannungsschwankung des Hauptrohres, dank der regulierenden Wirkung des Regulierrohres die punktierte Endlage des Kathodenstrahles 12 praktisch nicht zu ändern. Es kann mit dieser Anordnung leicht erreicht werden, dass eine Anodenspannungsschwankung von 10 bis 20 % keine von blossen Auge sichtbare Verschiebung dieser Endlage hervorzu-
rufen imstande ist.

Der Vorteil der soeben beschriebenen Regulieranordnung erhöht sich noch wesentlich durch den Umstand, dass eine gleichzeitige Stabilisierung der Fokussierung des Kathodenstrahles 12 erreicht werden kann. Da, wie erwähnt, für die magnetische Fokussierung und Strahlablenkung die gleiche Stabilisierungsbedingung zu erfüllen ist, so brauchen die Fokusserspulen 3 und 4 einfach ebenfalls in Serie mit der Schiebepule 13 des Regulierrohres geschaltet zu werden.

Es muss nun der Zweck und die Wirkungsweise der Sonde 21 erläutert werden. Diese Sonde dient zur genauen Regulierung der von den Strahlablenkspulen 5 und 6 hervorgerufenen, periodischen Strahlablenkung auf eine konstante Amplitude. Die ebenfalls in Serie geschalteten Strahlablenkspulen werden vom Kippgerät 16 gespiesen, dessen Schwindamplitude vermittels der Sonde 21 und der Verstärkerröhre 37 auf einen solchen Wert einreguliert wird, dass der Kathodenstrahl 11 des Regulierrohres gerade noch auf die Sonde 21 fällt. Es bildet sich auch hier zwischen Ablenkamplitude und Strom der Sonde 21 ein Gleichgewichtszustand aus, wie zwischen der besprochenen Verschiebung

des Kathodenstrahls 11 durch die Spule 13 und dem Strom der Sonde 20, wobei infolge der Serieschaltung der Ablenkspule 6 des Hauptrohres mit der Ablenkspule 5 des Regulierrohres wiederum die gewünschte Stabilisierung der Ablenkamplitude des Kathodenstrahles des Hauptrohres erzielt wird.

Die Ausbildung des Kippgerätes 16, dessen Schwingamplitude reguliert werden soll, ist an und für sich bekannt. Mit 38 ist eine als sog. Sperrschwinger geschaltete Verstärkerröhre bezeichnet, die mit Hilfe der Röhre 39 den Kippkondensator C, der über die Widerstände R_1 und R_2 aufgeladen wird, periodisch entladet. Die zur Regulierung benützte Verstärkerröhre 37 zweigt nun, je nach der Stärke des von der Sonde 21 herrührenden Stromes, mehr oder weniger Strom von dem durch die genannten Widerstände fliessenden Ladestrom ab, sodass die Kippamplitude der Spannung am Kondensator C verändert wird. Die Endstufe 40, an deren Steuergitter die Kippspannung liegt, liefert den Kippstrom für die Ablenkspulen. Der Sperrschwinger 38 wird über die Synchronisierungsleitung 41 synchronisiert.

Bei dieser Art der Regulierung der Kippamplitude werden am Gitter der Regulierröhre 37 im Gegensatz zum erstbesprochenen Falle positive Regulierimpulse benötigt. Die Umkehrung des Vorzeichens der Regulierimpulse ist bei der Sonde 21 dadurch bewerkstelligt, dass die Hilfselektrode 23 mit dem positiven Pol der Batterie 25 verbunden ist. Weiter ist die Sonde derart ausgebildet, dass ihr Sekundäremissionsfaktor grösser als eins ist. Beim Auftreffen des Kathodenstrahles auf die Sonde werden daher mehr Elektronen sekundär emittiert als durch den Kathodenstrahl auf die Sonde gelangen, und da nun diese sekundär emittierten Elektronen durch die Hilfselektrode 23 nicht wie im Falle der Sonde 20 zurückgestaut, sondern abgesaugt werden, so kehrt der Steuerimpuls der Sonde 21 sein Vorzeichen um.

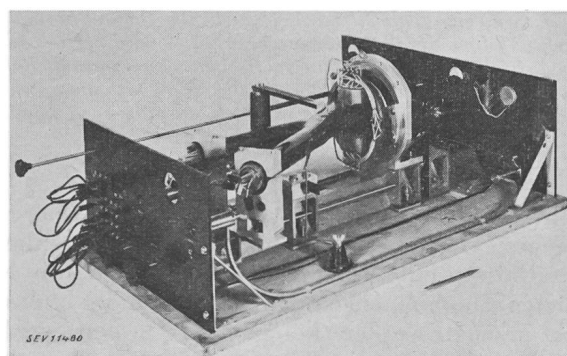


Fig. 30.

Montiertes Regulierrohr mit den Ablenk- und Fokusserspulen

Das fertige Regulierrohr ist in Fig. 29 dargestellt. Fig. 30 zeigt das montierte Rohr mit allen Spulen und Stromanschlüssen.

Wir sind an den Schluss unserer Betrachtungen gelangt. Die schaltungstechnischen Probleme des Fernsehens sind zu vielseitig und zu umfangreich,

um im Rahmen eines kurzen Vortrages aufzugehen. Wir mussten uns deshalb mit einer bescheidenen Auslese begnügen, und selbst bei diesem kleinen Ausblick konnten oft nur streifende und unvollständige Erläuterungen gegeben werden. Dank der Vielgestaltigkeit der Aufgaben und Probleme des Fernsehens und insbesondere dessen Schaltungstechnik können die gefundenen Lösungen leicht befruchtend auf andere Gebiete der allgemeinen elektrischen Schaltungstechnik wirken.

Literaturverzeichnis

- 1) Schröter F.: Fernsehen, S. 38. Verlag: Julius Springer, Berlin 1937.
- 2) Ardenne M. von: Fernsehen, Bd. 2 (1931), S. 65.
- Quervain A. de: Ein neuartiger Leuchtschirm für Kathodenstrahlröhren, speziell für Fernsehzwecke. Hochfrequenz-techn. u. Elektroakustik, Bd. 5 (1939), Heft 5.
- 3) Farnsworth Ph. T.: USA-Pat. 1986330 vom 17. 4. 1928; J. Frankl. Inst., Bd. 218 (1934), S. 411.
- 4) Zworykin V. K.: USA-Pat. 1691324 vom 13. 7. 1925; J. Inst. Electr. Eng., Bd. 73 (1933), S. 437.

- 5) Baldinger E.: Verstärker-Probleme. Bulletin SEV 1942, Nr. 11.
- 6) Johnson und Nyquist: Phys. Rev., Bd. 32 (1928), S. 97 und S. 110.
- 7) Schottky: Ann. Phys., Bd. 57 (1918), S. 541.
- 8) Bruining H.: Die Sekundär-Elektronenemission fester Körper. Verlag: Julius Springer, Berlin 1942. (Ausführliches Literaturverzeichnis.)
- 9) Amrein W.: Ueber Qualitätsfragen der Fernsehgrossprojektion. Schweizer Archiv f. angew. Wissensch. und Technik, Bd. 9 (1943), Heft 10.
- 10) Backhaus H.: Ueber die Bedeutung der Ausgleichsvorgänge in der Akustik. Z. f. techn. Physik, Bd. 13 (1932), S. 31.
- 11) Fischer F.: Auf dem Wege zur Fernsehgrossprojektion. Schweizer Archiv f. angew. Wissensch. und Technik, Bd. 6 (1940), Heft 4.
- Fischer F. und Thiemann H.: Theoretische Betrachtungen über ein neues Verfahren der Fernsehgrossprojektion, 1. bis 4. Mitteilung. Schweizer Archiv f. angew. Wissensch. und Technik, Bd. 7 (1941), Heft 1, 2, 11 und 12; Bd. 8 (1942), Heft 1, 5, 6, 7 und 10.
- 12) Müller J. J.: Die Korrektur des Nachleuchtens bei der Kathodenstrahlabtastung. Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik, Bd. 54 (1939), S. 111.
- 13) Brüche E. und Scherzer O.: Geometr. Elektronenoptik. Verlag: Julius Springer, Berlin 1934.

Die Kombination von kalorischer Energieerzeugung im Gegendruckbetrieb mit einer Städteheizung in der Schweiz

Von Alfred Degen, Basel

621.311.22 : 697.34

Nach einer kurzen Einleitung über den Kondensations- und den Gegendruckbetrieb mit angeschlossener Städteheizung wird gezeigt, dass der Heizwert der verfeuerten Brennstoffe in Dampfkraftwerken im allgemeinen nur schlecht ausgenutzt werden kann. Die entsprechenden Formeln werden abgeleitet. Um den Heizwert des Brennstoffes besser ausnützen zu können, wird die Errichtung von Heizkraftwerken (Gegendruckanlagen mit Abgabe des Dampfes für Städteheizung) vorgeschlagen. Weiter wird noch der zu erwartende Wärmebedarf von Stadtgebieten behandelt. Der Minderwärmebedarf einer Gegendruckanlage kombiniert mit Städteheizung gegenüber einer Kondensationsanlage und Einzelheizung werden besprochen und die Brennstoffkosten pro kWh und pro abgegebene kcal berechnet. In einem letzten Abschnitt werden noch einige Anregungen für die zukünftige Entwicklung der kalorischen Stromerzeugung mit angeschlossener Städteheizung in der Schweiz gemacht, wobei auch das heute besonders aktuelle Gebiet der Wärmepumpe gestreift wird. Dabei wird die Aufstellung eines schweizerischen Energiewirtschaftsprogrammes vorgeschlagen, um die uns zur Verfügung stehenden Energiequellen möglichst rationell ausnützen zu können.

Après avoir donné quelques renseignements sur les installations à condensation et à contre-pression combinées à une installation de chauffage à distance, l'auteur montre, avec formules à l'appui, que le pouvoir calorifique des combustibles brûlés dans des usines thermiques ne peut généralement être utilisé qu'avec un mauvais rendement. Pour réaliser une meilleure utilisation, il propose la construction d'usines de chauffage (à contre-pression avec fourniture de la vapeur pour le chauffage urbain) et indique la consommation probable de chaleur dans les villes. Il compare la consommation thermique minimum d'une installation à contre-pression avec chauffage urbain et celle d'une installation à condensation et chauffage individuel, puis calcule la part de combustible des prix par kWh et par kcal fournis. Il suggère diverses propositions pour le développement de la production thermique avec chauffage à distance en Suisse, en tenant compte des applications de la pompe thermique. Il propose un programme d'économie suisse de l'énergie, visant à utiliser le plus rationnellement possible les sources d'énergie dont nous disposons.

1. Einleitung

In der Schweiz spielt die kalorische Energieerzeugung in Jahren mit normalen Niederschlagsverhältnissen eine untergeordnete Rolle, da die benötigten Energiemengen nahezu vollständig hydraulisch erzeugt werden können. Erst wenn wieder eine lang anhaltende Trockenperiode mit einem entsprechenden Leistungsrückgang der Laufkraftwerke auftritt, erinnert man sich gerne daran, dass verschiedene Elektrizitätswerke der Schweiz kalorische Anlagen besitzen, die als Reserve oder für Spitzendeckung¹⁾ gebaut wurden. In normalen Zeiten, d. h. wenn Brennstoffe in genügenden Mengen aus dem Auslande eingeführt werden können, ist es gegeben, die bei den Laufwerken fehlenden

Energiemengen auf kalorischem Wege zu erzeugen. Durch den Krieg ist eine längere Inbetriebnahme von kalorischen Maschinen wegen der beschränkten Zuteilungen an Brennstoffen nicht mehr möglich.

Ein weiterer ungünstiger Umstand ist die schlechte Ausnützung des Heizwertes der Brennstoffe beim Kondensationsbetrieb. Der Verbrauch grösserer Mengen von Kohle im Kondensationsbetrieb kann deshalb für ein kohlearmes Land wie die Schweiz nicht anders als Verschwendung bezeichnet werden. Bedeutend günstiger werden dagegen die Verhältnisse, wenn Abnehmer von Wärme vorhanden sind, die den Wärmeinhalt des aus den Turbinen austretenden Dampfes beim Heizen, Kochen oder Trocknen ausnützen können (Gegendruckbetrieb), im Gegensatz zum Kondensations-

¹⁾ Literatur siehe am Schluss.