Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 26 (1935)
Heft: 3

Artikel: Elektroakustische Übertragungssysteme [Fortsetzung]
Autor: Fischer, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058436

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 26.04.2025

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

est écarté de son groupe par suite du paiement de la facture, il est encore remis à un fonctionnaire chargé de noter sur la feuille de consommation de l'abonné les frais de sommation éventuels, qui figureront sur la prochaine facture. L'expérience montre que, pour la ville, on compte en temps normaux en moyenne 16 premières et 6 deuxièmes sommations sur 100 factures (durant la crise il y a une augmentation de 25 % environ). Bien que le délai de paiement soit fixé à 10 jours, on tolère sans autre une marge de 5 jours; la première sommation, par laquelle l'abonné est simplement invité à s'acquitter de sa dette «au plus vite», n'est donc envoyée qu'au bout de 15 jours. Des délais supplémentaires sollicités par les abonnés et qui paraissent justifiés sont généralement accordés.

Il est accordé aux abonnés qui consomment au minimum pour 500 frs. d'énergie par an, un délai de paiement de 30 jours au lieu de 10 jours seulement. A ces abonnés, les factures sont envoyées mensuellement durant toute l'année. Pour les petits abonnés, la lecture des compteurs et l'envoi des factures s'effectuent chaque mois en hiver et tous les 3 mois en été, à moins que l'abonné ne demande la remise d'une facture mensuelle en été également. Pour les localités isolées, la lecture des compteurs et l'envoi des factures ont lieu tous les trois mois pendant toute l'année et le délai de paiement est fixé à 30 jours.

Le Service Electrique se réserve toujours le droit, là où il le juge utile, d'établir des factures mensuelles pendant toute l'année.

La deuxième sommation est envoyée 10 jours après la première. Si par exception il n'y est pas donné suite 10 jours plus tard, donc après 20 jours, un commissionnaire du Service Electrique se rend au domicile de l'abonné pour encaisser le montant. Dans la plupart des cas, l'abonné s'exécute. Si non, l'énergie est coupée, à moins que l'abonnée ne fasse valoir des raisons justifiant l'octroi d'un nouveau délai. Pour l'intervention du commissionnaire, il est facturé 50 cts. de frais à l'abonné. En outre si le courant doit être coupé, puis rétabli, l'abonné a à verser une taxe de 1.50 frs. pour chaque opération, c'est-à-dire 3 frs. au total, payables lors du rétablissement du contact.

L'encaissement des factures à domicile est donc chose fort rare avec la méthode décrite ci-devant, puisqu'il n'a lieu que dans les cas extrêmes. D'autre part et pour autant que les compteurs ne sont pas placés dans l'appartement même, l'absence de l'abonné lors de la lecture des compteurs ne joue aucun rôle dès que le système d'encaissement à domicile est abandonné. La méthode décrite permet non seulement d'épargner le temps que l'encaissement des factures nécessite, mais elle diminue les pertes d'intérêts, par suite du règlement plus rapide des factures; en outre — soit dit en passant — elle exclut les détournements et réduit les risques financiers du Service Electrique. Un autre avantage est que l'abonné reçoit ses factures un certain temps avant leur échéance, ce qui n'est pas le cas avec le système d'encaissement à domicile, sans compter que l'encaisseur arrive souvent à un moment peu opportun. Il est vrai que notre méthode oblige l'abonné à se rendre, dans un délai fixé, à la poste, à la caisse communale ou au Service Electrique pour régler sa dette, obligation que certains abonnés n'ont, au début, pas trouvé de leur goût. On doit pourtant reconnaître que les abonnés se sont habitués très vite à la nouvelle méthode.

Les explications qui précèdent ne donnent qu'un aperçu succinct; les détails ont été laissés de côté. Le Service Electrique de la ville de Lucerne se tient à la disposition des intéressés pour leur fournir tous les renseignements complémentaires qu'ils pourraient désirer.

Elektroakustische Uebertragungssysteme.

Vortrag, gehalten an drei Abenden in der Physikalischen Gesellschaft Zürich, am 1., 8. und 15. Juni 1934.

Von Prof. Dr. *F. Fischer*, Zürich.

(Fortsetzung von Seite 45 und Schluss.)

Die elektroakustische Messtechnik.

Die elektroakustische Messtechnik wurde in den letzten Jahren zu einer grossen Vollkommenheit gebracht. Die Schallintensität wird gemessen in erg/cm² · s oder in μW/cm², der Schalldruck dagegen in dyn/cm². Früher bezeichnete man ein dyn/cm² als Bar. Heute nennt man diese Einheit ein μBar. Dem Druck 1 μBar entspricht eine Schallintensität von $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ μW/cm².

Von den früher vielfach benützten *mechanischen Messverfahren* zur Bestimmung des Schalldruckes wird heute nur noch die sogenannte Rayleighscheibe verwendet, eine kleine Scheibe, die sich im Schallfeld senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Schalles zu stellen sucht. Das Drehmoment hängt mit der Teilchengeschwindigkeit zusammen.

Wichtiger ist das absolut, d. h. elektrostatisch geeichte *Kondensatormikrophon*. Das häufig verwendete Mikrophon nach Wenthe besteht aus einer Magnalium- oder Duraluminiumfolie von $^1/_{20}$ mm Stärke, die sich in ca. 2 μ Abstand vom festen Beleg befindet. Das Luftpolster würde eine ausserordentlich hohe Eigenfrequenz bedingen und wird deshalb durch Kanäle unterteilt. Die Abmessungen müssen sehr klein gehalten werden. Ist nämlich die Wellenlänge des Schalles klein gegenüber den Mikrophonabmessungen, so tritt Reflexion ein und die Druckamplituden verdoppeln sich. Der Uebergang zur Reflexion kann rechnerisch bei

kugel- oder ellipsoidförmigen Körpern verfolgt werden. Die Mikrophonkapsel wird deshalb gewöhnlich in eine kleine Kugel eingebaut.

Zur absoluten Eichung bringt man das Kondensatormikrophon auf kleinem Raum mit einem Schallgeber und einem Druckmesser zusammen (Fig. 17). Der Schallgeber besteht aus einem so-

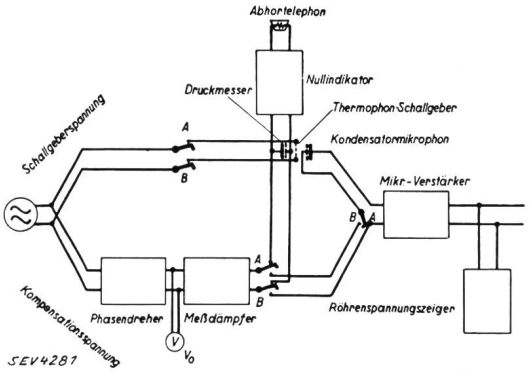


Fig. 17.
Akustische Eichung des Mikrophons (Haupteichkreis).

genannten Thermophon: Eine Wollastonfolie wird von einem Gleichstrom durchflossen, dem Wechselströme der gewünschten Frequenz überlagert sind. Die Folie und damit die Luft im kleinen Raum erwärmen sich periodisch, wodurch Druckschwankungen entstehen. Diese Schwankungen werden mit dem Druckmesser, der ähnlich aufgebaut ist wie ein Kondensator-Mikrophon, gemessen. Damit die Messung mit ruhiger Membran erfolgen kann, werden die Druckkräfte aufgehoben, indem gleichzeitig auf elektrostatischem Wege Kräfte auf die Membran ausgeübt werden, die in jedem Augenblick mit den Druckschwankungen übereinstimmen. Grösse und Phase der Gegenspannung werden mit dem Dämpfungsglied einerseits und dem Phasendreher andererseits solange verändert, bis die Membran in Ruhe bleibt. Die angelegte Wechselspannung ist dann ein Mass für den Schalldruck. Die Membran ist in Ruhe, wenn keine Kapazitätsänderungen im Druckmesser mehr auftreten. Dies wird mit einer Modulationsschaltung durch Abhören festgestellt.

Der Zusammenbau von Kondensator-Mikrophon mit dem Thermophon und dem Druckmesser erfolgt etwa nach Fig. 18. Der Raum wird akustisch klein gemacht, indem man ihn mit Wasserstoff füllt. Die Schallgeschwindigkeit in Wasserstoff ist nämlich viermal grösser als in Luft, d. h. die Wellenlänge ist in diesem Gas bei einer bestimmten Frequenz ebenfalls viermal grösser. Um die durchschnittlich erzeugte Wärmemenge abzuführen, lässt man den Wasserstoff durchströmen. Der elektrostatisch erzeugte Druck auf die Membran des Druckmessers hängt mit der angelegten Spannung wie folgt zusammen:

$$P = k\,u^2 = k\,(u_g^2 + 2\,u_g\,u_w + u_w^2) = P_0 + p,$$

wobei die Index g und w die Gleich- resp. Wechselspannung bezeichnen. Unter Vernachlässigung des Quadrates der kleinen Wechselspannung erhält man für die Amplitude der Druckschwankung

$$p = 2\,k \cdot u_g \cdot u_w. \qquad (8)$$

Wichtig ist die Konstante k, die statisch, d. h. mit Gleichdruck bestimmt wird.

Zur technischen Messung des Schalldruckes verwendet man den *Schalldruckmesser*, bestehend aus einem Bandmikrophon und einem Röhrenverstärker. Durch besondere Kompensationsmassnahmen erreicht man eine nahezu lineare Frequenzkurve der gesamten Anordnung. Der Schalldruck kann direkt an einem Instrument abgelesen werden, wobei höchstens ein von 1 wenig verschiedener Korrekturfaktor zu berücksichtigen ist.

Für zahlreiche Messungen an Uebertragungsleitungen, Verstärkern, Mikrophonen und Lautsprechern ist heute der *Pegelschreiber* unerlässlich. Der sogenannte Sendeteil des Pegelschreibers besteht im wesentlichen aus einem Schwebungssummer und erzeugt Wechselspannungen konstanter Amplitude und stetig zunehmender Frequenz, indem ein Abstimmkondensator durch ein Uhrwerk langsam verändert wird. Im Empfangsteil werden die ankommenden Wellen verstärkt, gleichgerichtet und deren Amplitude auf einem Papierstreifen, der synchron mit dem Ablaufkondensator des Senders angetrieben ist, registriert. Auf diese Art kann beispielsweise der Frequenzgang einer Fernleitung aufgenommen werden. Ein Lautsprecher wird untersucht, indem man ihn über einen Verstärker vom Sendeteil aus speist. In einem besonderen Raum mit schallabsorbierender Wandbekleidung steht dem Lautsprecher das Mikrophon des Schall-

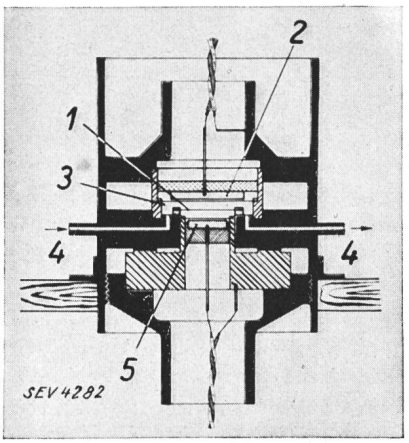


Fig. 18.
Mikrophon-Eicheinrichtung.
1 Thermophonfolie.
2 Kondensatormikrophon.
3 Druckkammer.
4 Wasserstoff-Kanüle.
5 Druckmesser.

druckmessers gegenüber. Die Wechselspannungen am Schalldruckmesser werden sodann mit dem Empfangsteil des Pegelschreibers registriert und man erhält ein Diagramm, das direkt den Frequenzgang des Lautsprechers widergibt.

Zur Untersuchung von Klängen und Geräuschen auf die Amplituden ihrer Teilwellen dient der

Frequenzanalysator, eine Apparatur, die stets die Amplituden der Teilwellen angibt, deren Frequenz einer veränderbaren Hilfswelle entspricht. Auch diese Untersuchung kann mit Hilfe des Pegelabschreibers registriert werden, wobei die Hilfswelle konstanter Amplitude durch den Sendeteil erzeugt wird.

Die Prüfung von Apparaten auf nichtlineare Verzerrungen erfolgt durch den *Klirrfaktormesser*, der den Anteil der Oberwellen gegenüber der Grundwelle mit Hilfe einer abstimmbaren Brükkenschaltung zu messen erlaubt.

Die Tonaufzeichnung.

Zur technischen Aufzeichnung von Schallwellen kommen heute drei Verfahren in Frage:

1. die Schallplatte;
2. der Stahldraht;
3. der Lichttonfilm.

Alle diese Aufzeichnungsarten sind sehr alt. Im Jahre 1878 hat Edison den Phonographen mit Tiefenschrift erfunden. Zehn Jahre später führte E. Berliner die Transversalschrift ein. Im Jahre 1900 erfand Poulsen den Magnetton und 1901 Ruhmer den Lichttonfilm. Alle diese Erfindungen sind aber erst dann zur praktischen Verwendung reif geworden, als die Verstärkertechnik ihre rapide Entwicklung hinter sich hatte. Aus diesem Grunde kann man etwa das Jahr 1925 als Geburtsjahr der Elektroakustik bezeichnen.

Bei der Aufzeichnung der *Schallplatte* bringen die verstärkten Mikrophonströme den sogenannten Cutter zum Schwingen, der in eine auf ca. 35° erwärmte hochglanzpolierte Wachsplatte eine Rille eingräbt. Man verwendet heute fast ausschliesslich die sogenannte Berliner Schrift, bei der die Rillen bezüglich der Tiefe unverändert bleiben und die Aufzeichnung durch einen oszillogrammartigen Kurvenzug der Rille erfolgt. Die sogenannte Tiefenschrift, bei der sich der Stichel entsprechend den Schallschwankungen mehr oder weniger tief eingräbt, hat zwar in der jüngsten Zeit wieder Bedeutung erlangt. Die Entwicklungsarbeiten bei der Western Electric Co. haben gezeigt, dass bei Verwendung von Tiefenschrift Schallplatten mit einer Spieldauer von ca. 20 Minuten hergestellt werden können.

Die geschnittene Wachsplatte wird heute meistens auf chemischem Wege versilbert. Man fertigt dann galvanoplastisch einen ersten Abzug, den sogenannten Vater. Dieses Galvano dient als Matrize zur Herstellung weiterer Galvanos, der sogenannten Mutter. Die Mutter liefert ebenfalls galvanisch die Söhne, die nun für das Pressen der siegellackähnlichen Masse Verwendung finden. Der Presssdruck beträgt ca. 200 Atmosphären.

Bei der Aufzeichnung darf der Zusammenhang zwischen der Schalldruckamplitude und dem Ausschlag in der Rille zunächst willkürlich festgelegt werden. Es muss lediglich die Schalleistung im Lautsprecher bei der Wiedergabe proportional dem Schalldruckquadrat bei der Aufnahme sein, wobei die Proportionalitätskonstante im massgebenden Bereich frequenzunabhängig ist. Heute schreibt man die Platten so, dass die Geschwindigkeit der Nadelbewegung am Tonabnehmer frequenzunabhängig proportional ist dem Schalldruck des Aufnahmemikrophons. Bei konstantem Schalldruck nimmt also die Schriftamplitude umgekehrt proportional der steigenden Frequenz ab. Dies wird durch einen entsprechenden Aufbau des Cutters erreicht. Die vom Tonabnehmer erzeugte Spannung ist wie bei jedem magnetelektrischen Generator proportional der Bewegungsgeschwindigkeit, somit ist die Tonabnehmerspannung dem Schalldruck proportional. Der Tonabnehmer verhält sich wie ein Mikrophon.

Für die Ausbiegung der Rille kann man bei der Aufzeichnung einer bestimmten Sinuswelle setzen

$$y = a \sin(\omega t) = k \frac{\bar{p}}{\omega} \sin(\omega t).$$

Die Zeit t lässt sich durch Plattendrehzahl n, Rillenradius R und Rillenweg x ausdrücken:

$$t = \frac{\varkappa}{2 \pi R n}.$$

Also gilt für den Rillenausschlag

$$y = k \frac{\bar{p}}{\omega} \sin\left(\frac{\omega \varkappa}{2 \pi R n}\right).$$

Wichtig ist der kleinste Krümmungsradius der Rillenschrift, der bei einem Maximum von y auftritt und einen bestimmten Grenzwert nicht unterschreiten darf. Bei konstanter Schallamplitude erhält man deshalb eine bestimmte obere Grenzfrequenz, bei der diese Bedingung noch erfüllt ist.

$$\varrho = \left(\frac{1}{y''}\right)_{\min} = \frac{1}{y''_{\max}} \geq \frac{4 \pi^2 R^2 n^2}{k \cdot \bar{p} \cdot \omega}.$$

Ist der Rillenradius klein gegenüber dem Spitzendurchmesser der Nadel, so kann die Nadelspitze nicht mehr allen Krümmungen folgen: Es treten Verzerrungen auf und die Platte wird verdorben.

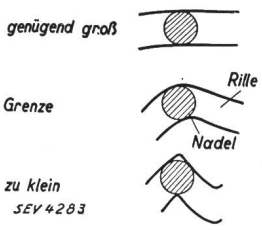


Fig. 19.
Maximale Amplitude einer Grammophonnadel.
Rillenbreite 130 μ Nadelradius 65 μ.
Umdrehungszahl der Platte 78/min.
Radius des inneren Randes der Aufzeichnung 10 cm.
Geschwindigkeit 42 cm/s.
Frequenz 7000 Hz 10 000 Hz.

Wellenlänge $\frac{420}{7000}$ mm = 60 μ $A = 1{,}4\,\mu$

$\frac{420}{10\,000}$ mm = 4,2 μ 0,6 μ

Die Verhältnisse sind aus Fig. 19 ersichtlich, die einen Anhalt für die Grössenordnungen bei der Plattenschrift gibt.

Soll untersucht werden, ob der Cutter richtig arbeitet, so muss die Schriftamplitude gemessen werden. Dies kann zum Beispiel mit dem Mikro-

skop erfolgen, was aber sehr umständlich und mühsam ist. Eine weit elegantere, von Erwin Meyer angegebene Methode geht vom Reflexbild einer mit parallelem, schräg auffallendem Licht beleuchteten Platte aus. In Fig. 20 ist schematisch ein gekrümmter Rillenzug mit dem Radius R aufgezeichnet. Das von unten her einfallende parallele Licht wird je nach der Rillenneigung nach verschiedenen Seiten reflektiert. Der besondere Strahl auf einen Wendepunkt P falle gerade in sich selbst zurück. Es ist dann leicht ersichtlich, dass kein Strahl des einfallenden Bündels rechts von diesem Punkt mehr in sich selbst zurückgeworfen wird, d. h. ein Beobachter bei der Lichtquelle sieht kein Reflexbild rechts von P. Für P können wir setzen:

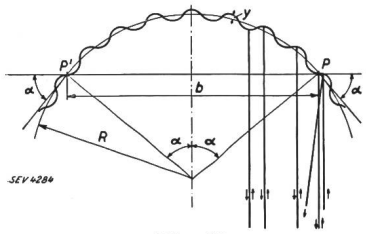


Fig. 20.

$$\sin \alpha = \frac{b}{2R}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{2R \cos \alpha} = \left(\frac{dy}{dx}\right)_{max} = \frac{k\bar{p}}{2\pi n R}$$

$$b = \frac{k\bar{p} \cos(\alpha)}{\pi n} \cong \frac{k\bar{p}}{\pi n} \qquad (11)$$

b ist von R und n unabhängig, d. h. man sieht bei einer guten Platte, die bei konstantem Schalldruck aufgezeichnet wurde, einen Reflexstreifen von bestimmter Breite unabhängig von der Frequenz des aufgezeichneten Tones. Die Breite des Bandes ist bei idealer Aufzeichnung direkt ein Maßstab für den Schalldruck. Zur Prüfung des Cutters zeichnet man einen Ton konstanter Amplitude und steigender Frequenz, einen sogenannten Gleitton auf. Der Rand des Reflexbandes ist dann identisch mit der Frequenzkurve des Cutters.

Unter der sogenannten Dynamik versteht man den Unterschied der Aufzeichnungsamplitude für «laut» und «leise», zwischen pianissimo und forte der aufgenommenen Musik. Die zulässige Dynamik ist nach unten begrenzt durch das sogenannte Nadelgeräusch: zu leise Musik wird vom Nadelgeräusch übertönt. Der Pegel am Ausgang des Mikrophonverstärkers und damit die Amplitude der Aufzeichnung muss deshalb so reguliert werden, dass dieser Fall zu geringer Lautstärke bei einer Pianostelle nicht eintritt. Nach oben ist die Amplitude der Aufzeichnung dagegen begrenzt durch die zulässige Breite der Rillenschrift. Bei der heute üblichen Geschwindigkeitsaufzeichnung nimmt diese Amplitude mit abnehmender Frequenz zu. Die Aufzeichnung lauter, tiefer Töne bedingt also eine Grenze der Aufzeichnungsamplitude nach oben. Durch Abschwächung dieser tiefen Töne kann demnach die Dynamik der mittleren Frequenzen erweitert werden. Es ist aus diesem Grunde heute üblich, die Töne unter 200 Hertz bei der Aufnahme abzuschwächen. Die so entstehende Verzerrung der Frequenzkurve kann natürlich in der Wiedergabeapparatur kompensiert werden. Auf diese Weise ist eine Dynamik von ca. 1 : 200 (wie sie bei guten Platten auftritt) zu erreichen.

Eine sehr beträchtliche Verminderung des Störpegels wäre durch die folgende, praktisch bis heute allerdings noch nicht übliche Massnahme möglich. Durch einen automatischen Regler wird bei der Aufnahme die Verstärkung ständig geändert, so dass die Amplitude der Aufzeichnung nur noch wenig mit der Schallamplitude wächst, d. h. die gesamte zur Verfügung stehende Aufzeichnungsbreite wird bei der Rillenschrift fast ganz ausgenützt. Bei der Wiedergabe verändert ein zweiter Regler die Verstärkung in Abhängigkeit der Rillenamplitude derart, dass wieder die ursprünglichen Lautstärkeunterschiede auftreten.

Beim *Stahldrahtverfahren* wird der Ton auf magnetischer Grundlage registriert. Nach Ummagnetisierung eines Stahldrahtes bleibt infolge der Remanenz ein Feld auch dann bestehen, wenn die äusseren magnetischen Ampèrewindungen nicht mehr vorhanden sind. Die Tonaufzeichnung besteht in einem längs des Stahldrahtes schwankenden remanenten Magnetfeld. Dieses Registrierverfahren ist am Platz, wenn es darauf ankommt, die Phonogramme unmittelbar nach der Aufnahme einmal oder beliebig oft abhören zu können, worauf die Schrift «gelöscht» wird. So verwendet man den Stahldraht heute z. B. für Abrufeinrichtungen auf Bahnhöfen oder auch zur automatischen Wiedergabe von Wettermeldungen auf telephonische Anfrage usw.

Die Besprechung und das Abhören des Drahtes kann entweder dadurch erfolgen, dass man ihn mit einer kleinen Luftspule umgibt, oder indem man ein oder zwei Magnetspulen mit Eisenkernen seitlich anordnet. Am besten hat sich der sogenannte Doppelsprechkopf, bestehend aus zwei versetzten Spulen, bewährt, mit dem in der Längsrichtung des Drahtes magnetisiert wird. Der Abstand zwischen beiden Magnetspulen muss so klein gewählt sein, dass hohe Frequenzen noch aufgezeichnet werden können.

Der Frequenzgang hängt ab vom Verhältnis der Poldistanz zur Wellenlänge der Aufzeichnung. Letztere nimmt zu mit steigender Drahtgeschwindigkeit. Da der Abstand der Pole nicht beliebig klein gewählt werden kann, so gibt es eine untere Grenze der Drahtgeschwindigkeit, wo hohe Töne noch befriedigend aufgezeichnet werden. Praktisch kann man mit etwa 3 m/s rechnen, wobei die Polversetzung einige Zehntel Millimeter beträgt. Dabei sind aber schon elektrische Entzerrungsmittel in den Verstärkern erforderlich.

Die Aufzeichnung erfolgt zweckmässig so, dass der remanente Fluss frequenzunabhängig proportional ist der Spannung am Mikrophon bzw. dem

Schalldruck. Abgesehen von den linearen Verzerrungen treten bei kleinen Wellenlängen der Aufzeichnung auch nichtlineare Verzerrungen auf, die nicht zu kompensieren sind. Der Störpegel, d. h. die mittlere Amplitude des Störgeräusches ist günstiger als bei der Schallplatte und hängt namentlich mit der Oberflächenbeschaffenheit des Drahtes zusammen. Jedoch bekommt man mit Rücksicht auf den Klirrfaktor bei starker Wechselmagnetisierung keine grössere, sondern eine bedeutend kleinere Dynamik als bei der Schallplatte. Sie beträgt linear gemessen nur etwa 1 : 20. Diese Mängel des Stahldrahtes verhindern eine generelle Einführung. Man wird ihn nur da anwenden, wo der Vorteil der Löschmöglichkeit ausschlaggebend ist und auf ganz erstklassige Qualität kein Wert gelegt wird.

Die Verhältnisse bei der Magnetisierung sind aus Fig. 21 ersichtlich. Der Draht wurde zuvor mit Wechselstrom entmagnetisiert. Der Sprechkopf wird von einem Gleichstrom durchflossen, dem der Wechselstrom des Mikrophonverstärkers überlagert ist. Je nach dem jeweiligen Momentanwert des Stromes ergibt sich die Induktion auf der jung-

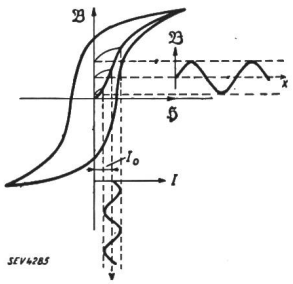


Fig. 21.

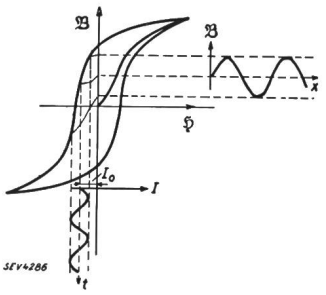


Fig. 22.

fräulichen Kurve. Nachdem das magnetisierte Drahtstück sich vom Sprechkopf entfernt hat, verbleibt eine remanente Induktion, die sich aus den Hysteresisverhältnissen ergibt: Auf dem jeweils gültigen Hysteresiskurvenabschnitt bewegt sich der Punkt von der jungfräulichen Kurve weg bis zur Ordinatenachse.

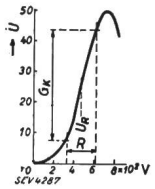
Man kann den Stahldraht auch vor der Aufzeichnung mit einem starken Gleichfeld bis zur Sättigung magnetisieren. Dadurch werden gleichzeitig frühere Aufzeichnungen gelöscht. Auch hier überlagert man den Sprechstrom einem Gleichstrom, der jedoch umgekehrt fliesst wie vorhin und der Sättigung entgegenwirkt: Die Induktion wandert längs der Hysteresiskurve des gesättigten Eisens abwärts, um beim Aussetzen der Magnetisierung gemäss der Hysteresiskurvenschar den bestimmten bleibenden Wert einzunehmen (Fig. 22).

Beim *Lichttonfilm* erfolgt die Registrierung auf photographischem Wege. Die vom Mikrophon erzeugten Wechselströme rufen Lichtschwankungen hervor, die den Film der Länge nach mehr oder weniger exponieren. Nach der photographischen Entwicklung entstehen auf dem Film wechselnde Schwärzungen oder, anders ausgedrückt, wechselnde Transparenzen. Bei der Wiedergabe läuft der Film durch das Strahlenbündel einer konstanten Lichtquelle und bringt dadurch Lichtschwankungen hervor, die durch eine Photozelle in Wechselströme umgewandelt und durch den Verstärker dem Lautsprecher zugeführt werden.

Bei der Aufnahme findet ein vom Bildfilmstreifen getrennter synchron laufender Tonstreifen Verwendung. Erst bei den Vorführungskopien befindet sich die Tonaufzeichnung mit auf dem Bildfilm. Der für die Tonaufzeichnung zur Verfügung stehende Raum ist international festgelegt. Die Aufzeichnung kann als Sprossenschrift oder Zackenschrift erfolgen. Bei der Sprossenschrift werden die Schalldruckänderungen als Schwankungen der Transparenz gleichmässig über der ganzen Breite des Tonstreifens nach dem Intensitäts- oder nach dem Longitudinalverfahren registriert. Beim Einzackenfilm erfolgt dagegen die Aufzeichnung wie beim Oszillographen durch einen Kurvenzug längs des Bildstreifens, wobei die eine Kurvenseite geschwärzt ist. Beim Vielzackenfilm sind mehrere gleichartige Kurven über den Tonstreifen verteilt.

Die bei der Aufzeichnung erforderliche Umformung der Wechselströme in Lichtschwankungen kann mit der sogenannten Kerrzelle erfolgen: Durch ein Nicolsches Prisma wird ein paralleles Lichtstrahlenbündel linear polarisiert. Zwischen den Kondensatorbelegen der Kerrzelle ändert sich je nach der angelegten Spannung der Polarisationscharakter des durchfallenden Lichtes. Ein zweites, gegenüber dem ersten um 90° gedrehtes Nicolsches

Fig. 23.
G_K Annähernd gerader Teil der Kennlinie.
U_R Ruhespannung.
R Linearer Bereich.



Prisma lässt um so mehr Licht passieren, je grösser die angelegte Spannung war, etwa entsprechend der Charakteristik nach Fig. 23. Zur Vermeidung von nichtlinearen Verzerrungen darf nur längs des angenähert geradlinigen Teiles der Kennlinie gearbeitet werden, was durch eine zweckmässig gewählte Vorspannung der Zelle zu erreichen ist.

Ein anderes Aufzeichnungsverfahren arbeitet mit der Glimmlampe. Bei zweckmässiger Konstruktion der Lampe ist deren Lichtintensität direkt proportional der Klemmspannung. Leider reicht die Lichtausbeute für die praktischen Bedürfnisse der Tonfilmaufzeichnung kaum aus. Auch die Strahlenablenkung in einem Kathodenstrahlrohr wird zu Aufzeichnungszwecken verwendet (Kathodenstrahlrohr nach Breusing).

Durch die Western Electric Co. wurde das sogenannte Lichtschleusenverfahren eingeführt, bei dem die von zwei Drähten begrenzte Breite eines Lichtspaltes im Rhythmus der akustischen Schwingungen sich ändert.

Bei der Radio Corporation of America ist das Transversalverfahren üblich. Das Licht wird über den Spiegel eines kleinen Oszillographen auf den Film geworfen und überdeckt je nach dem Oszillographenausschlag eine grössere oder kleinere Breite desselben (Fig. 24).

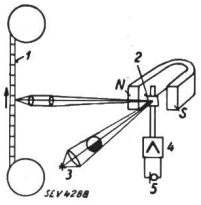


Fig. 24.
Belichtung durch Oszillographen.
1 Film.
2 Spiegel.
3 Lichtquelle.
4 Verstärker.
5 Mikrophon.

Zur Abtastung des Tonstreifens werden heute fast ausnahmslos Photozellen verwendet. Je nach Farbe und Intensität des auffallenden Lichtes treten aus einer lichtempfindlichen Schicht mehr oder weniger Elektronen aus. Die Schwankungen werden über einen Kondensator dem Verstärker zugeführt. Wie aus Tab. II ersichtlich, hat man in letzter Zeit gelernt, sehr empfindliche Zellen herzustellen. Die Kathode besteht aus Alkalimetall, das auf metallischer Grundlage (meist Silber) aufgebracht ist. Die Schicht ist dabei nur wenige Atomdurchmesser stark, so dass sich keine Verdampfung des Alkalimetalls einstellen kann, weil die wenigen Atome von der Auflage festgehalten werden. Bei Verwendung von Cäsium als lichtempfindliche Schicht wird die maximale Empfindlichkeit stark nach rot gerückt, d. h. sie liegt für Glühlampenlicht sehr günstig. Durch eine darüber aufgetragene zweite, sehr dünne Silberschicht steigert sich die Empfindlichkeit wesentlich.

Tabelle II.

Zellentype	Empfindlichkeit in 10^{-6} $\frac{\text{Ampère}}{\text{Lumen}}$
1. Kalium, hydriert	0,7
2. Cäsium hydriert	3,1
3. Cäsium, Einatomschicht auf Cäsiumoxyd	10
4. Cäsium, Einatomschicht auf Silberoxyd mit 2. Silberschicht	40
5. Klangfilm P_z 112 (System PATIN) .	100
6. Klangfilm P_z 110 (System PATIN) .	200

Gegenüber der Cäsium- zeichnet sich die Kaliumzelle durch grösste Empfindlichkeit bei kurzwelligem Licht aus (Versuch: Vergleich einer Kalium- und einer Cäsiumzelle verbunden mit Kippschwinggerät und Lautsprecher durch Anleuchten mit lang- und kurzwelligem Licht).

Man kennt auch Zellen, die infrarot empfindlich sind und auf sichtbares Licht nicht ansprechen. Am besten eignet sich hierzu die Thalium-Sulfid-Zelle, die für Raumschutzanlagen verwendet wird. Es handelt sich dabei um die Sicherung von Tresors oder Geländeabschnitten vor unbefugtem Betreten. Ein Infrarotstrahler sendet einen modulierten Lichtstrahl über den zu schützenden Geländeabschnitt. Das Licht fällt auf eine Talofid-Zelle, die mit dem Verstärker verbunden ist. Jeder Unterbruch des modulierten Lichtstrahles hat ein momentanes Ausbleiben der Wechselspannung bestimmter Frequenz nach dem Verstärker zur Folge, wodurch mit Relaisvorrichtungen z. B. eine Alarmanlage betätigt wird (Versuch). Natürlich ist es nicht möglich, diesen elektrischen Wächter etwa durch einen anderen Erzeuger von gewöhnlichem oder infrarotem Licht zu täuschen, solange dieses nicht mit der richtigen Frequenz und Phase moduliert ist.

Die Photozelle findet heute auch in der sogenannten Lichttelephonie Verwendung: Durch einen Sender wird ein gerichtetes sichtbares oder infrarotes Strahlenbündel moduliert. Die in der Photozelle am Empfänger entstehenden Spannungsschwankungen werden verstärkt und dem Lautsprecher oder Telephon zugeführt. Als modulierte Lichtquelle kann beispielsweise eine Glimmlampe Verwendung finden. Der Gleichspannung an den Klemmen der Lampe sind die verstärkten Mikrophonspannungsschwankungen überlagert (Versuch: Optische Uebertragung von Grammophonmusik).

Die Quellen von *Verzerrungen* linearer und nichtlinearer Art sind beim Tonfilm äusserst zahlreich. Eine neue Ursache von linearen Verzerrungen bringt die optische Spaltbreite mit sich; wenn die Ausdehnung des durchfallenden Lichtbündels in der Filmrichtung relativ zur Wellenlänge der Tonaufzeichnung ins Gewicht fällt, muss eine Verzerrung eintreten. Die gleiche Verzerrung tritt beim Intensitätsverfahren naturgemäss auch bei etwas verdrehtem Lichtspalt auf. Noch ungünstiger sind bei verdrehtem Lichtspalt die Verhältnisse beim Amplitudenfilm: es entstehen nichtlineare Verzerrungen.

Sehr unangenehm wirken sich bei der Wiedergabe Drehzahlschwankungen des Antriebesystems, d. h. Schwankungen der Filmgeschwindigkeit vor dem Lichtspalt aus: Es entstehen Fehltonpaare, deren Frequenz sich um ganze Vielfache der Schwankungsfrequenz des Antriebes von der Soll-Kreisfrequenz unterscheiden. Gleichzeitig nimmt dabei die Amplitude der Sollfrequenz ab und wird unter Umständen entsprechend den Wurzeln von Besselschen Funktionen = 0, d. h. es sind zeitweilig überhaupt nur die Verzerrungen hörbar. Praktisch erreicht man den gleichmässigen Lauf des Filmes unabhängig von Stössen, verursacht durch den Antriebsmotor und die Zahnradgetriebe, mit einem «mechanischen Filter», bestehend aus einer rotierenden Masse, die durch Federn und eine dämpfende Reibungskupplung mit dem Antriebsmotor verbunden ist.

Eine unangenehme Verzerrungsquelle können die photographischen Prozesse bilden. Unter der sogenannten Schwärzung der photographischen Schicht versteht man den Briggschen Logarithmus

des Verhältnisses von auffallendem zu durchgelassenem Licht : $S = \lg \frac{J_0}{J}$, wobei $\frac{J}{J_0}$ als Transparenz definiert wird. Die Erfahrung zeigt, dass die Schwärzung in einem gewissen Bereiche der sogenannten Gradationskurve linear mit dem Logarithmus der Belichtung wächst. Ist L_N die Intensität des während der Zeit t_N auf das Negativ fallenden Lichtes, so entsteht eine Schwärzung

$$S_n = \gamma_N \lg (L_N \cdot t_N) = \gamma_N \lg (E_N) = \lg E_N^{\gamma_N}$$

wobei γ_N die Steilheit der Negativ-Gradationskurve (Fig. 25) innerhalb dem geradlinigen Teile bedeutet. Für die Intensität des durch das Positiv auf die Photozelle fallenden Lichtes J_P erhält man unter Berücksichtigung der Gradationskurve des Positivs

$$J_P = C E_N^{\gamma_N \cdot \gamma_P}$$

Zur Vermeidung von nichtlinearen Verzerrungen soll J_P proportional L_N sein, d. h. $\gamma_N \cdot \gamma_P = 1$. Diese sogenannte Goldbergbedingung muss durch zweckmässige gegenseitige Wahl der Filmemulsionen und

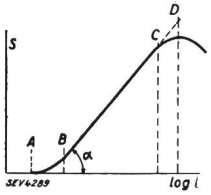


Fig. 25.
Schwärzung (s) in Funktion des Logarithmus der Belichtung (log. E).

Entwicklungsverfahren erfüllt werden. Es hat sich gezeigt, dass die gewöhnlichen Schwarzweissbilder, bei denen die Kontraste genau den Helligkeitsunterschieden des farbigen Bildes entsprechen, als flau empfunden werden. Man übertreibt deshalb die Helligkeitsproportionen bei der photographischen Wiedergabe, indem man zum Beispiel beim Bildfilm setzt

$$\gamma_N \cdot \gamma_P = 1{,}4 \text{ bis } 1{,}8.$$

Es ist ohne weiteres klar, dass unter diesen Umständen der Ton auf ein besonderes Negativ aufzunehmen ist, für dessen Emulsion beispielsweise $\gamma = 0{,}6$ sein muss, wenn beim Positivfilm $\gamma = 1{,}8$ ist.

Ausser der Erfüllung der Goldbergbedingung, dem sogenannten γ-Verfahren, gibt es noch andere photographische Möglichkeiten, einen linearen Zusammenhang herzustellen (α-, β-, δ-Verfahren).

Grosse Schwierigkeiten bereiten beim Tonfilm die Störgeräusche, verursacht durch kleine Inhomogenitäten im Tonstreifen. Der Störpegel steigt beträchtlich durch die geringen Verletzungen, die der Film beim häufigen Umwickeln erfährt. Diese Störungen sind bei ungeschwärztem Tonstreifen am grössten und verdoppeln sich schon nach ca. zwanzigmaligem Umwickeln (Fig. 26). Eine sehr wirksame Abhilfe wurde vor einiger Zeit dadurch gefunden, dass beim Amplitudenverfahren der blank verbleibende Bereich des Tonstreifens bis zum Wellenzug abgedeckt wird. Bei sehr kleiner Tonamplitude ist dann eine weitgehende Abdeckung der störenden Streifenhälfte möglich: Der Störpegel wird sehr klein. Die Abdekkung wird durch eine zweckmässige Apparatur bei zunehmender Tonamplitude vermindert, und der ursprüngliche Störpegel tritt erst bei maximaler Aussteuerung ein, wo er nicht mehr unangenehm ins Gewicht fällt. Die analoge Vorkehrung ist auch beim Intensitätsverfahren möglich, indem man bei schwachen Tonamplituden eine Ruheschwärzung überlagert.

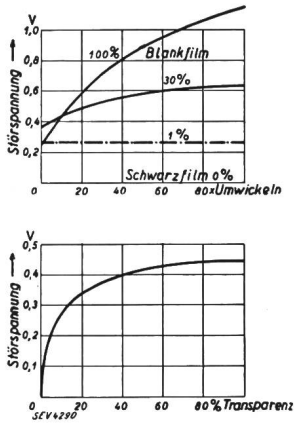


Fig. 26.
Störspiegel.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Weiterentwicklung der Lichtbogenventile nach Marx.

621.314.66

Seitdem hier [1]) über diesen Stromrichter berichtet wurde, haben eingehende Untersuchungen zu weiteren wichtigen Fortschritten auf diesem Gebiete geführt. Sie bestehen zur Hauptsache in Verbesserungen der Elektrodenformen, die eine Verminderung des Pressgasverbrauches zur Folge hatten, sowie in der Verwendung einer neuen Zündvorrichtung, die den Umfang der Hilfsapparatur stark vermindert.

Die früher kurz mit Elektroden bezeichneten Teile werden jetzt «Schirmelektroden» (C und D in Fig. 3) und die Gegenpole «Hauptelektroden» (A und B in Fig. 3) genannt und sind derart ausgeführt, dass der Luftstrom den Lichtbogen möglichst rasch von den Schirmelektroden auf die Hauptelektroden bringt. In die Kammerwand wurde eine Linse eingebaut, durch welche die Vorgänge im Lichtbogenraum zur besseren Beobachtung auf eine Wand projiziert werden können. Ferner konnten Stromstärke, Luftdruck, Luftmenge sowie die Formen der Elektroden und deren Abstände günstig verändert werden.

[1]) Bull. SEV 1933, S. 270.

Aus den Messungen der Sperrspannungen an einem Modell für Sperrspannungen bis 200 kV und 200 A_{max} Durchgangs-

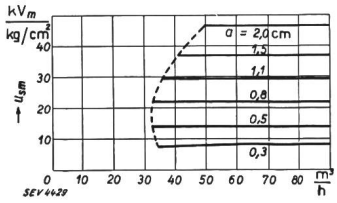


Fig. 1.
Sperrspannung bezogen auf 1 kg/cm² abs. in Abhängigkeit von dem durch das Ventil strömenden Luftvolumen. Die gestrichelte Kurve zeigt die Mindestluftmengen für verschiedene Elektrodenabstände.

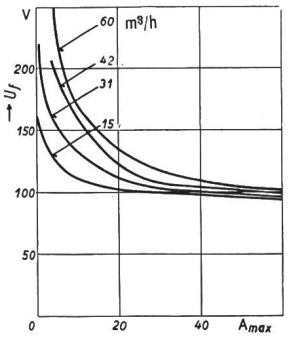


Fig. 2.
Lichtbogenspannung in Abhängigkeit des Stromes bei verschiedenen durch die Kammer strömenden Luftvolumen.