

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 52 (1961)  
**Heft:** 18

**Rubrik:** Communications ASE

### **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:** 25.12.2024

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

## Störpegelmessungen in Hochspannungsnetzen

621.315.1.015.532 : 621.391.823

[Nach K. J. Kafijewa: Untersuchung der durch Korona auf Übertragungsleitungen verursachten Störungen. Elektrizitätswirtschaft (1960)12, S. 28...34]

Im Hinblick auf die Einführung von Übertragungsspannungen 330...500 kV und eine Erhöhung der Betriebsspannungen bestehender Übertragungsleitungen wurden vom Zentralen Forschungsinstitut für Elektrische Energiewirtschaft Untersuchungen über Korona-Störungen auf Übertragungsleitungen in der Sowjetunion durchgeführt. Diese Untersuchungen betrafen sowohl den Störeinfluss auf Radioempfänger in der Nähe der Leitungen als auch die Störungen, die sich entlang der Leitungen ausbreiten und die Hochfrequenzverbindungen beeinträchtigen («HF-Störungen»).

Der zulässige Störpegel hängt von dem Verhältnis «Signal/ Störung» am Ausgang des Empfängers ab. Die Qualität des Radioempfangs ist sehr gut, wenn das Signal den Störpegel um 40 db (100fach in der Spannung) übersteigt, und genügend bei einer Überhöhung um 26 db (20fach in der Spannung).

Die Normen über zulässige Radiostörungen sehen in der UdSSR ausserhalb einer Zone von 50 m beiderseits der Übertragungsleitung, in deren Bereich die Aufstellung von Radioantennen nicht empfohlen wird, folgende Höchstwerte des Störpegels vor:

100 $\mu$ V im Frequenzbereich von 0,15 bis	0,5 MHz
50 $\mu$ V im Frequenzbereich von 0,5 bis	2,5 MHz
20 $\mu$ V im Frequenzbereich von 2,5 bis	20 MHz
50 $\mu$ V im Frequenzbereich bis zu	400 MHz

Bei der Bewertung von HF-Störungen entlang der Leitung gilt in der Regel die Norm für Telephon-Verbindungen, wonach das nutzbare Signal nicht weniger als um 3 N oder 26 db, d. h. 20fach in der Spannung, stärker sein muss als die Störungen.

Durchgeführte Untersuchungen an 35-, 110-, 220- und 400-kV-Leitungen galten dem Einfluss atmosphärischer Bedingungen und konstruktiver Eigenschaften der Leitungen auf das Niveau der Störungen. Diese Einflüsse lassen sich wie folgt charakterisieren:

a) *Niederschläge.* Regen und nasser Schnee beeinflussen den Störpegel in gleicher Weise. Beim Einsetzen des Niederschlages wachsen die Radiostörungen allmählich auf das 3- bis 20fache an, die HF-Störungen — um 0,5 bis 1,5 N (bei 110- und 220-kV-Leitungen). Nach vollständiger Benetzung der Leiter schwankt der Störpegel nur wenig. Hören die Niederschläge auf, so fällt der Störpegel u. U. bis unter den Schönwetter-Wert (Reinigung der Leiter).

Bei trockenem Schnee und Hagel treten bedeutend stärkere Schwankungen des Störpegels als bei Regen und nassem Schnee auf.

Die Verwendung eines Bündelleiters (bei 400 kV) senkt den Einfluss der Niederschläge auf den Störpegel stark.

b) *Relative Luftfeuchtigkeit.* Bei 110-kV-Leitungen an der Meeresküste wurde bei einem Anstieg der Luftfeuchtigkeit von 52 auf 71 % eine 1,5- bis 2fache Erhöhung der Radiostörspannungen festgestellt.

c) *Luftdichte.* An 100-kV-Leitungen in Höhen von 1300 bis 2300 m ü. M. trat bei Spannungs-Gradienten an der Leiteroberfläche von 15...17 kV/cm (alle Gradienten-Angaben in Amplitudenwerten für die mittlere Phase) ein Störpegel auf, der mit demjenigen von Leitungen auf einem Niveau unter 50 m ü. M. mit Gradienten von etwa 20...22 kV/cm vergleichbar ist.

Messungen an 220-kV-Leitungen zeigten, dass das Niveau sowohl der Radio- als auch der HF-Störungen im Winter bei trockenem Wetter niedriger ist als bei klarem Wetter im Sommer, was offensichtlich mit der grösseren Luftdichte im Winter zusammenhängt. Die im CIGRE-Bericht 1958, Nr. 408, von R. Bartenstein und J. Meyer de Stadelhofen angegebene Abhängigkeit des Stör-

pegels von der Luftdichte wird durch die Beobachtungen in der Sowjetunion bestätigt.

d) *Zustand der Leiteroberfläche.* Ein den Störpegel günstig beeinflussender Alterungsvorgang wird an 220-kV-Leitungen festgestellt, und es werden damit mannigfache diesbezügliche Messungen in anderen Ländern bestätigt.

e) *Konstruktion der Leitung.* Die grösste Bedeutung hat der Leiterdurchmesser. Bündelleiter haben bei gleichen maximalen Gradienten einen niedrigeren Störpegel, ausserdem sind sie stabiler bei Änderung atmosphärischer Bedingungen.

Erdsiele und reduzierte Erddistanzen verstärken das Störungsfeld unter der Leitung, beschleunigen jedoch seine Abschwächung mit der Entfernung von der Leitung. Messungen an 110-kV-Leitungen ergaben bei Doppelleitungen mit übereinander angeordneten Leiterseilen ein 1,2faches Störungsniveau gegenüber Einfachleitungen mit horizontaler Leiteranordnung. Der Störpegel bei Doppelleitungen mit horizontaler Leiteranordnung ist etwa 1,5mal höher als bei Einfachleitungen.

Das Vorhandensein einer zweiten Leitung am Mast und die Art der Leiteranordnung wirken sich auf das Niveau der HF-Störungen kaum aus.

Hinsichtlich der Möglichkeit, die Betriebsspannung bestehender Leitungen zu erhöhen, lassen sich folgende Untersuchungsergebnisse anführen:

a) *110-kV-Leitungen.* Bei Leiterdurchmessern von 15,3 und 17,0 mm kann die Spannung bis auf 140 kV heraufgesetzt werden, ohne dass eine Rückwirkung auf den Radioempfang oder auf die HF-Verbindungen zu erwarten wäre.

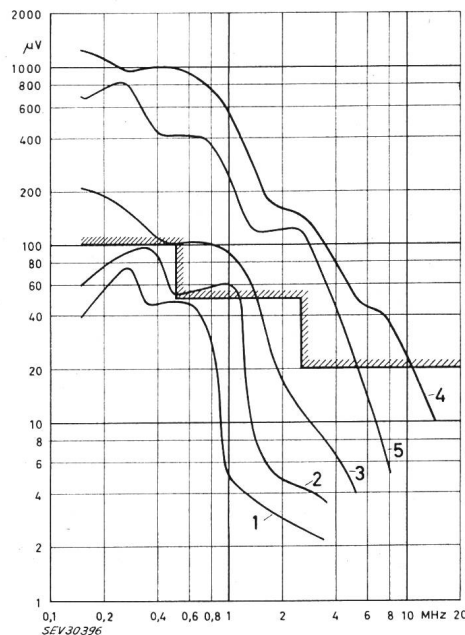


Fig. 1

Frequenzabhängigkeit der Radiostörungen bei verschiedenen Betriebsspannungen in 50 m Entfernung von der Leitung bei klarem Wetter (220-kV-Leitung Nr. 14)

Betriebsspannungen: 1 175 kV; 2 231 kV; 3 246 kV; 4 316 kV; 5 350 kV

b) *220-kV-Leitungen.* Die für eine bestimmte Leitung geltenden Darstellungen der Fig. 1...3 sind charakteristisch für die Verhältnisse auf 220-kV-Leitungen. Im Normalbetrieb (220...230 kV) und bei klarem Wetter entstehen Radiostörungen, die an der Grenze der zulässigen Höchstwerte liegen (Fig. 1). Bei Spannungen von etwa 246 kV (Gradient an der Leiteroberfläche: 26,5 kV/cm) beträgt der Störpegel das 1,5- bis 2fache des Zulässigen. Bei einer Spannung von 316 kV (Gradient 34,1 kV/cm) sind die Störungen in 50 m Entfernung vom Leiter bei 1 MHz 12mal grösser als von den Normen zugelassen. Bei weiterer Spannungs-

erhöhung wachsen die Radiostörungen langsamer und werden bei allgemeiner Korona (Spannung 350 kV, Gradient 37,8 kV/cm) wieder etwas kleiner (Fig. 2).

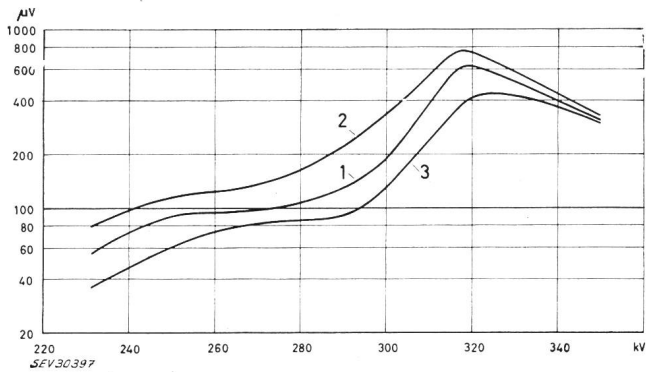


Fig. 2

Radio-Störpegel in Abhängigkeit von der Spannung der Leitung (220-kV-Leitung Nr. 14)

1 klares Wetter; 2 Regen; 3 bedeckt ohne Niederschläge

Die HF-Störungen steigen im Bereich von 175...350 kV gleichmässig an (Fig. 3) und überschreiten die zulässigen Werte bei Spannungen von etwa 270 kV. Im Winter bei trockenem Wetter ist der Störpegel infolge höherer Luftdichte bis zu Spannungen von 310 kV niedriger als im Sommer (Radiostörungen 1,5mal niedriger, HF-Störungen — um 1...1,5 N).

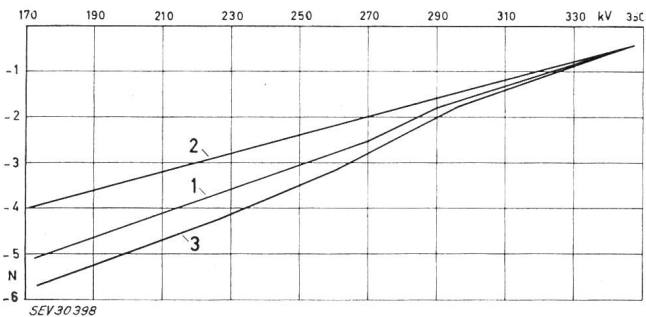


Fig. 3

Hochfrequenz-Störpegel in Abhängigkeit von der Spannung der Leitung

(220-kV-Leitung Nr. 14)  
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Der Wittereinfluss auf den Störpegel wird mit steigender Spannung geringer und ist im Bereich allgemeiner Korona unbedeutend (Fig. 2 und 3).

Ganz allgemein lassen die Ergebnisse von Untersuchungen an 220-kV-Leitungen mit Leiterseil-Durchmessern von 24,4; 25,2;

28,0; 30,0 und 30,2 mm den Schluss zu, dass die auf nicht gebündelten Leitungen durch Korona verursachten Radio- und HF-Störungen in zulässigen Grenzen bleiben, solange die Spannungsgradienten an der Leiteroberfläche den Wert von 26 kV/cm nicht überschreiten. Infolgedessen wird für neue 330-kV-Leitungen ein Leiterseil-Durchmesser von mindestens 33 mm anzuwenden sein.

c) 440-kV-Leitungen. Die meisten 400-kV-Leitungen in der Sowjetunion sind mit dreifachen Bündelleitern  $3 \times 30,2$  mm Durchmesser ausgerüstet, und es ist anzunehmen, dass sich der Übergang auf 500 kV (Gradient 24,5 kV/cm) ohne weiteres durchführen lässt.

Weitere Untersuchungen galten noch den Frequenzcharakteristiken, der Abnahme des Störpegels mit der Entfernung von der Leitung, der gegenseitigen Abhängigkeit der Radio- und der HF-Störungen und schliesslich der Abhängigkeit der HF-Störungen von der Spannungs-Polarität, wobei die vorliegenden Untersuchungen keine Übereinstimmung mit der von A. Chevallier im CIGRE-Bericht 1958, Nr. 341, vertretenen Meinung über den Charakter der Störungen ergeben.

G. v. Boletzky

## Kathodenstrahl-Oszillograph mit Batterien und Transistoren

621.317.755 : 621.382.3

[Nach O. Svehaug und J. R. Kobbe: Battery-Operated Transistor Oscilloscope. Electronics 33(1960)12, S. 80...83]

Kathodenstrahl-Oszillographen gehören heute zu den unentbehrlichen Messinstrumenten für die Entwicklung und Kontrolle von elektronischen Geräten. Bei Feldversuchen oder bei der Arbeit mit mobilen Apparaten bietet ein Kathodenstrahl-Oszillograph mit Batterien, durch den man von der Netzspeisung unabhängig ist, grosse Vorteile. Im folgenden wird ein solches Gerät

### Vergleichswerte zwischen Oszillographen mit Transistoren und Röhren

Tabelle I

Eigenschaft	Kathodenstrahl-Oszillograph	
	mit Transistoren	mit Röhren
Aufgenommene Leistung	12 W	175 W
Gewicht	6,1 kg	10,6 kg
Bandbreite	0...5 MHz	0...4 MHz
Empfindlichkeit	0,01 V/Skalenteil	0,1 V/Skalenteil
Abmessungen	222 × 146 × 406 mm	254 × 172 × 430 mm
Bestückung	39 Transistoren 2 Röhren 1 Kathodenstrahlröhre	30 Röhren 1 Kathodenstrahlröhre
Speisespannung	105...125 V 50...800 Hz oder 11,5...35 V externe Batterie oder 12 V interne Batterie	105...125 V 50...800 Hz
Zuverlässigkeit	besser	besser
Robustheit	besser	besser

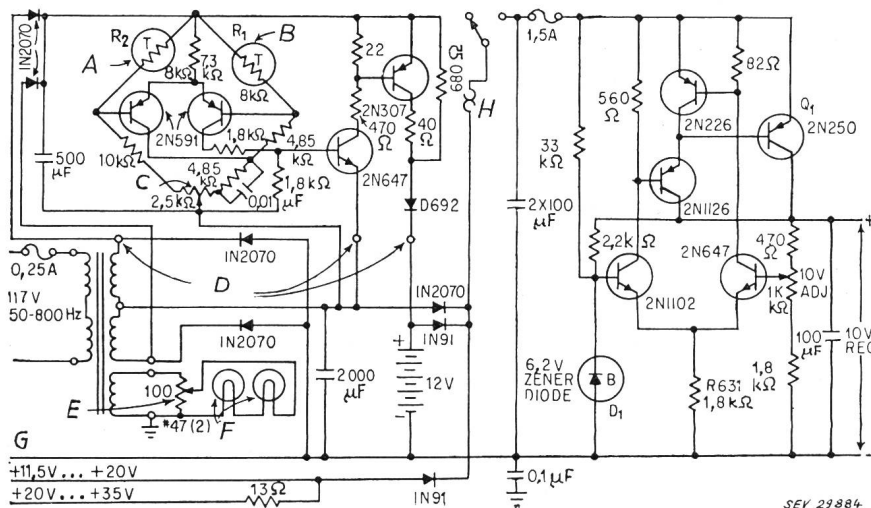


Fig. 1

Die Regelungsschaltung, die dem Kathodenstrahl-Oszillographen bei allen Speisespannungen konstant 10 V liefert

A Fühler für die Umgebungstemperatur;  
B Fühler für die Batterietemperatur; C Regler für die Begrenzungstemperatur; D Befestigungspunkte der Isolatoren; E Skalenbeleuchtung;  
F Beleuchtungslampen; G gemeinsame Minusleitung; H Temperatursicherung für 49 °C

beschrieben. Das Gerät hat 39 Transistoren, 2 Röhren und die Kathodenstrahlröhre. Die Verwendung von Transistoren für die allermeisten Stufen des Kathodenstrahl-Oszillographen hat zur Folge, dass das Gerät klein und leicht ist und ungefähr 5 h lang von der eingebauten Batterie betrieben werden kann. Mit der Betriebsdauer von 5 h sollte man einen Achtstundentag lang arbeiten können, wenn das Gerät während der Messpausen stets ausgeschaltet wird. Seine elektrischen Eigenschaften sind ebensogut wie die eines zur Gänze mit Röhren bestückten Gerätes. Das Transistorgerät hat sogar den Vorteil, dass es robuster als die Röhrenaufbauung ist. In der Tabelle I sind die Daten des Transistorgerätes angegeben und daneben die Werte eines mit Röhren bestückten Paralleltyps aufgeführt.

Für beinahe sämtliche Schaltungseinheiten des Kathodenstrahl-Oszillographen liessen sich Halbleiterelemente einsetzen, die ein stabiles und zuverlässiges Arbeiten des Gerätes gewährleisten. Nur an 2 Orten hielt es der Konstrukteur für günstiger, an Stelle von Halbleiterelementen Röhren zu verwenden. Für die Eingangsstufe des Vertikalverstärkers wurde die Triode 5718 ge-

wählt. Die Gründe dafür liegen in der hohen Eingangsimpedanz der Röhre, dem vernachlässigbar kleinen Gitterstrom und der grossen Bandbreite. Ausserdem braucht die Röhre keine Temperaturkompensation.

Für die Erzeugung der Hochspannung von 3,3 kV für die Bildröhre wurde an Stelle von Halbleiterdioden die Röhre 5642 eingebaut. Der Strom der Bildröhre ist sehr niedrig und liegt in der gleichen Grössenordnung wie der Sperrstrom der Halbleiterdioden.

Der Kathodenstrahl-Oszillograph kann auf drei Arten gespeist werden: Von der eingebauten Nickel-Kadmium-Batterie mit 12 V, von einer externen Batterie, deren Spannung zwischen 11,5 und 35 V liegen kann, oder vom Wechselstromnetz. Das Speiseteil des Gerätes (siehe Fig.1) ist stabilisiert. Die dem Kathodenstrahl-Oszillographen zugeführte Spannung, von der alle übrigen Betriebsspannungen abgeleitet werden, wird bei allen drei oben angeführten Speisepotentialen auf 10 V konstant gehalten. Der nominale Stromverbrauch der internen Batterie liegt bei 0,8 A.

H. Gibas

## Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

### 1000 MHz Arbeitsfrequenz für Rechanlagen

681.14—523.8

[Nach T. Maguire: Computers Head for 1000-Mc Operation. Electronics 33(1960)5, S. 55...59]

Die dauernden Fortschritte in der Herstellung immer kleinerer und schnellerer Schaltelemente für Rechanlagen lassen erwarten, dass in etwa 10 Jahren die automatisierte Herstellung von Einzweck-Maschinen möglich wird, die eine wesentlich erhöhte Rechengeschwindigkeit und Speicherkapazität, bis etwa  $10^6$  Bits, besitzen. Diese Anlagen werden für Sprachenerkennung, Übersetzung, Speicherung und Vermittlung wissenschaftlicher Ergebnisse eingesetzt werden können und die Nachahmung biologischer Systeme mit Gedächtnis und Lernvermögen ermöglichen.

Für die Entwicklung von 1-GHz-Anlagen<sup>1)</sup> werden grosse Erwartungen auf zwei Halbleiter-Zweipole, die Tunnelioden und die Diode mit variabler Kapazität (kapazitive Diode) gesetzt. Beide Elemente besitzen eine um zwei Grössenordnungen höhere Grenzfrequenz als Transistoren. Daneben ist das Kryotron von Interesse, ein supraleitender Vierpol mit einer Schaltzeit von weniger als 1 ns. Alle drei Elemente lassen sich auf kleinstem Raum mit hoher Packungsdichte automatisch herstellen (Aufdampfen, Elektroplattieren, aus dem Vollen Ätzen) und nach den Methoden der Mikrowellentechnik zusammenschalten.

Die kapazitive Diode wird in parametrischen Verstärkern verwendet. Bei diesen verändert eine Pumpspannung die Kapazität der Diode periodisch mit der Frequenz  $2f$ , wodurch in einem anderen mit der Diode gebildeten Resonanzkreis eine Schwingung der Frequenz  $f$  angefacht wird. Diese Schwingung  $f$  kann 2 stabile Phasenlagen zur Pumpspannung  $2f$  einnehmen. Die Wahl der Phasenlage wird zu Beginn des Pumpvorganges durch den Zufall oder durch ein schwaches Steuersignal bestimmt, so dass die Phasenlage eine Information tragen kann. Da die Informationsübertragung nur zu Beginn eines Pumpvorganges erfolgen kann, muss die Pumpspannung periodisch an- und ausgeschaltet werden. Die Frequenz dieser Umschaltung bestimmt die Geschwindigkeit des Informationsflusses und kann maximal etwa  $1/30$  der Pumpfrequenz  $2f$  betragen.

Mit kommerziellen Dioden wurden logische Kreise für etwa 100 MHz bei einer Pumpfrequenz von 4 GHz gebaut. Mit neu entwickelten Dioden wurden Grenzfrequenzen von 150 GHz erreicht, so dass um eine Grössenordnung höhere Pumpfrequenzen ermöglicht werden.

Tunnelioden besitzen eine teilweise negative Strom-Spannungscharakteristik nach Fig.1. In Verbindung mit der einge-

zeichneten Widerstandsgeraden sind die beiden stabilen Gleichstromzustände A und B möglich, zwischen denen die Diode in weniger als 1 ns umschalten kann, wenn von aussen ein zusätzlicher Signalstrom eingepreßt wird. Der Informationsfluss in einem Netzwerk gekoppelter Zeitpole erhält durch zusätzliche Dioden oder durch die Anwendung eines mehrphasigen Systems

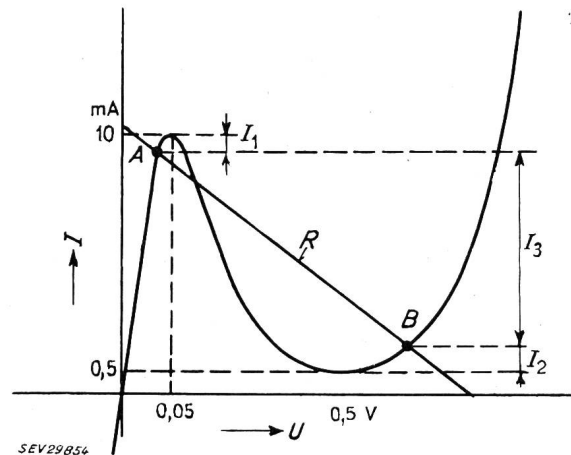


Fig. 1

Strom-Spannungscharakteristik einer typischen Tunneliode

A, B stabile Stromzustände; R Arbeitswiderstand;  $I_1, I_2$  minimale Schalterströme;  $I_3$  verfügbarer Ausgangsstrom

von Uhrimpulsen eine Vorzugsrichtung. Durch Kombination mehrerer Tunnelioden wurden logische Verstärkungen von 6 erzielt. Bisher wurden Flip-Flops, Zähler und Schieberegister als dynamische Speicher sowie Inverter, «Und»-Gatter, «Oder»-Gatter und das «exclusive-or» als logische Schaltungen untersucht. Tunnelioden in Koinzidenz-Speichern lassen Zugriffszeiten von 10 ns erwarten.

Ein Kryotron (Fig.2) besteht aus gekreuzten Leitern von supraleitendem Zinn und Blei, die durch isolierende Zwischenschichten galvanisch voneinander getrennt sind. Während die Bleileiter dauernd supraleitend bleiben, können die Zinnleiter (Gatter) durch ein äusseres Magnetfeld in den normalen ohmschen Zustand geschaltet werden. Diese Umwandlung findet an den Kreuzungspunkten mit einer Steuerleitung statt, sobald diese Strom führt und ein Magnetfeld hervorruft. Der geschaltete Eingangsstrom  $I_0$ , der vorher vorwiegend das Eingangsgatter durchfloss hatte ( $I_1$ ), entsprechend seinem kleinen induktiven Widerstand, wird nun in die Ausgangssteuerleitung umgeleitet. Die

<sup>1)</sup> 1 GHz = 1000 MHz.

Schaltgeschwindigkeit eines Kryotrons wird hauptsächlich durch die Leitungsimpedanzen bestimmt. Es wurden Zeiten unterhalb 1  $\mu$ s beobachtet. Ein Element mit einer aktiven Fläche von 5.10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup> verbraucht eine Leistung von einigen  $\mu$ W. Nach überschlägigen Berechnungen können in einem Behälter von 25 l Inhalt mehr als 10<sup>6</sup> Speicher- oder Rechenzellen untergebracht werden.

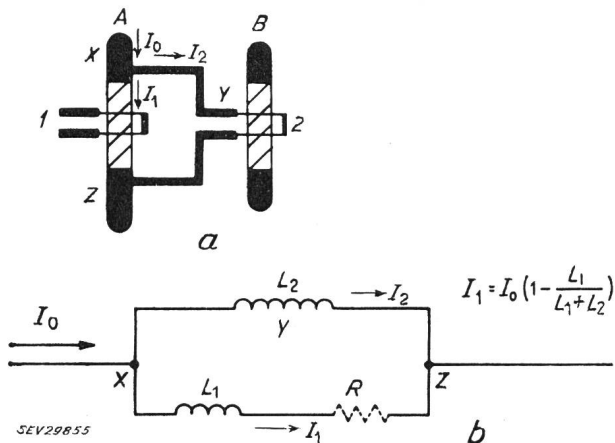


Fig. 2

Kryotron-Speicherzelle (a) und äquivalenter Impedanzersatzkreis (b)

1 Eingangs-Steuereistung; 2 Ausgangs-Steuereistung  
A Eingangsgatter; B Ausgangsgatter

▨ Zinnfilm      ■ Bleifilm

Neben der Entwicklung neuer Bauelemente wird die Verbesserung von bestehenden Bauelementen nicht vernachlässigt. Die erfolgreiche Entwicklung eines von Sonnenzellen getriebenen magnetischen Plattenspeichers von 15 cm Höhe und 15 cm Durchmesser für 6 · 10<sup>4</sup> Bits, einschliesslich Lese- und Schreibverstärker, Wählmatrix und Antrieb, weist auf die Möglichkeiten der Miniaturisierung konventioneller Elemente hin. Die flexiblen magnetischen Platten bestehen aus «Mylar» und stehen festen polierten Metallplatten gegenüber, in welche die Tonköpfe eingelassen sind. Im Betrieb strömt Luft von der Achse her radial zwischen der Metallplatte und der Magnetscheibe nach aussen und bildet ein Luftkissen, welches die Magnetscheibe anzieht und ihre Lage in einem festen und kleinen Abstand von den Tonköpfen stabilisiert.

Ähnliche Abmessungen besitzt ein Miniatur-Magnettrommelspeicher für 3 · 10<sup>5</sup> Bits und eine Uhrfrequenz von 546 kHz, der für Raketen entwickelt wurde. Die Trommel dreht sich mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 40 m/s und widersteht Stössen von 16 g. Die Magnetköpfe schwimmen auf einer Luftschicht von etwa 5  $\mu$ m Dicke und sind weniger als 1 mm breit. Sie bestehen aus U-förmig gebogenem Permalloy-Blech mit einer Silber-Zwischenlage. Die Informationsdichte beträgt bis zu 20 Bits/mm. Die magnetische Speicherschicht besteht aus einer sehr harten Nickel-Kobalt-Plattierung von hoher Abriebfestigkeit. Bei einer Schichtdicke von 4  $\mu$ m, einer Informationsdichte von 14 Bits/mm und einer Sättigungsmagnetisierung von 6 kGs wurde eine Remanenz von 3,2 kGs gemessen.

H. P. Louis

## Richtlinien zur Mikrophondistanz bei Tonaufnahmen

534.861.2

[Nach E. Briner-Aimo: Richtlinien zur Mikrophondistanz bei Tonaufnahmen. Techn. Mitt. PTT 39(1961)1, S. 5...20]

Im Bestreben der meist üblichen Empirie in der Anordnung von Mikrofonen bei Schallaufnahmen, eine bewusste Systematik gegenüberzustellen, muss man von Schallfeldeigenschaften

ausgehen. Im freien Schallfeld lässt sich, von der Wellengleichung ausgehend, die Phasenverschiebung  $\alpha$  zwischen Wechseldruck und Schallschnelle ableiten. Dieser Phasenwinkel beträgt beim Kugelstrahler nullter Ordnung:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lambda}{2 \pi r} = K \quad (1)$$

und beim Kugelstrahler erster Ordnung:

$$\operatorname{tg} \alpha = K(1 + 2K^2) \quad (2)$$

Das Ohr ist ein gemischter Druck-Schnellempfänger und entnimmt dem Phasenwinkel  $\alpha$  den Distanzeindruck während tieffrequenter Einschwingvorgänge. Ein nicht unerheblicher Anteil an Rauminformation, nämlich die Tiefenstaffelung akustischer Klangebenen, kann demnach auch ohne stereophone Technik übertragen werden, insofern man Mikrophone einsetzt, die sich den Ohr-Eigenschaften nähern. Die untere Grenze des Mikrophonabstandes hängt vom Frequenzumfang der Schallquelle (z. B. Musikinstrument) ab, wenn über den ganzen Ton-Bereich ein möglichst frequenzunabhängiger Distanzeindruck gewahrt werden soll. Sowohl diese untere Grenze als auch die Mikrophonabstände für gewünschte Raumeffekte folgen am übersichtlichsten aus der graphischen Darstellung der Gl. (1) und (2), mit Abstand  $r$  als Parameter.

In geschlossenen Räumen wird durch den Raumhall eine obere Grenze für  $r$  durch das Kriterium des Hallradius (oder Hallabstand)  $R$  bestimmt. Im Abstand  $R$  von der Schallquelle sind die Schallstärken von Direktschall und Hall gleich gross. Sollen die Schallfeldeigenschaften nicht durch den Nachhall verwischt werden, ist  $r < R$  zu wählen. Der Betrag von  $R$  (m) folgt aus:

$$R = a \sqrt{\frac{1}{310} \frac{V}{T}} \quad (3)$$

Dabei ist  $V$  das Raumvolumen (m<sup>3</sup>),  $T$  die Nachhallzeit (s),  $a = 1$  für Mikrophone mit Kugelcharakteristik und  $a = \sqrt{3}$  für gerichtete Mikrophone (Nieren- oder Achter-Charakteristik). Auch hier erleichtert die graphische Darstellung mit  $V$  als Abszisse,  $R$  als Ordinate und  $T$  als Parameter die Übersicht.

Für einen Hörer im Raum tritt der Nachhall gegenüber dem Direktschall etwas verzögert ein, frühestens mit dem ersten Rückwurf an der nächstliegenden Raumbegrenzungsfläche. Die Laufzeitdifferenz zwischen Direktschall und erster Reflektion beträgt

$$t = \frac{1}{c} \left[ \sqrt{r^2 + 4d^2} - r \right] \quad (4)$$

worin  $c$  die Schallgeschwindigkeit,  $r$  der Abstand Schallquelle-Ohr (oder Mikrophon) und  $d$  der Abstand Schallquelle-Raumfläche bedeuten. Soll zur Aufnahme künstlicher Nachhall (z. B. mit einer Nachhallplatte) hinzugemischt werden, ist für eine entsprechende Verzögerung zu sorgen. Im gegenteiligen Fall bekommt man erstens eine unerwünschte Deckung der Klangfarbe und Distanz vermittelnden Einschwingvorgänge durch die Eigenschaften der Hall-Einrichtung, und zweitens eine unnatürliche Diskrepanz zwischen grösserem Hallanteil und verfrühtem Hall-einsatz. Die erforderliche Verzögerung kann durch eine Magnetton-Zwischenaufnahme oder durch Speisung der Hallmaschine über ein getrenntes, in grösserem Abstand angebrachtes Mikrophon erzielt werden. Laufzeitverzögerung oder Laufwegdifferenz hängen vom erwünschten Effekt ab, und folgen aus einer entsprechenden Auswertung der Gl. (4).

Die angedeuteten Anwendungen setzen Kenntnisse über Strahlungseigenschaften der aufzunehmenden Schallquellen, über das Verhalten verschiedener Mikrofontypen voraus und erfordern auch zweckentsprechend überlegte Lautsprecheranordnungen.

Arf.