

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 45 (1954)  
**Heft:** 12  
  
**Rubrik:** Communications ASE

### **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:** 14.01.2026

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

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

## Der Wirkungsgrad von Beleuchtungs-Anlagen

621.317.66 : 628.93

[Nach E. K. Müller und H. Thum: Zum Begriff des Wirkungsgrades von Beleuchtungsanlagen. Lichttechnik Bd. 6 (1954), Nr. 1, S. 16...18]

Beleuchtungsanlagen in Innenräumen werden im allgemeinen nach dem Wirkungsgradverfahren berechnet, dem die Beziehung  $E = \eta \Phi / A$  zu Grunde liegt.  $E$  ist die mittlere Beleuchtungsstärke in lx;  $\Phi$  der Lichtstrom der nackten Lampe in lm und  $A$  die Nutzfläche in m<sup>2</sup> (Horizontale in 1 m Höhe über Boden). Der dimensionslose Wirkungsgrad  $\eta$  umfasst alle Einflussfaktoren, die den Weg des Lichtstromes der Lampe bis zur Nutzfläche behindern oder einen zusätzlichen indirekten Lichtstrom durch mehrfache Reflexion bewirken. Der Wirkungsgrad hat gemäss allgemein bekannten Tabellen in Handbüchern und Katalogen Werte von 0,01...0,85.

Unter günstigen Bedingungen kann  $\eta$  noch grösser werden und sogar den Wert von 1 übersteigen. Um dies zu erklären, muss die physikalische Bedeutung des Symbols  $\eta$  in der Wirkungsgradformel erst geklärt werden.

In der Abhandlung über das Interflexionsverfahren<sup>1)</sup>, bei dem der «Interflexionswirkungsgrad» ähnlich wie bei der üblichen Wirkungsgradmethode benutzt wird, zeigt es sich, dass bei niedrigen Raumfaktoren und hohen Reflexionsgraden der Wirkungsgrad auch grösser als 1 sein kann. Zur Klärung der Zusammenhänge werden die Verhältnisse in der Ulbrichtschen Kugel betrachtet, die mit dem Lichtstrom  $\Phi_0$  der darin befindlichen Leuchte und mit indirektem Lichtstrom der unendlich vielen Reflexionen aufgeladen wird, so dass der Gesamtlichtstrom ein Vielfaches des ursprünglichen Lichtstromes betragen kann, je nach Reflexionsgrad  $\rho$  und Absorptionsgrad  $\alpha$  der Kugelfläche. Beim Grenzfall  $\rho = 1$  und  $\alpha = 0$  bleibt die erzeugte Lichtmenge unendlich lange in der Kugel, weil die Energie nicht verbraucht wird. Beim Grenzfall  $\rho = 0$  und  $\alpha = 1$  wird die Lichtmenge sofort absorbiert und in Wärme umgewandelt. Für Zwischenwerte von  $\rho$  und  $\alpha$ , was der Wirklichkeit entspricht, findet eine allmähliche, stufenweise Umwandlung statt, wozu unendlich viele Reflexionen nötig sind. Die in der Ulbrichtschen Kugel enthaltene Gesamtlichtmenge wird also langsamer verbraucht als erzeugt. Für die Hohlkugel errechnet sich der Wirkungsgrad  $\eta_R$  nach der üblichen Methode:

$$\eta_R = \frac{EA}{\Phi_0} = \frac{\Phi_{total}}{\Phi_0} = \frac{1}{1 - \rho} > 1$$

Der Grund, weshalb bei der Wirkungsgradmethode für die Berechnung der Beleuchtung in Innenräumen keine Fälle bekannt sind, bei denen  $\eta > 1$  ist, liegt darin, dass hier als Nutzfläche nur die Horizontale und nicht die ganze Raumbegrenzung und deshalb nur ein verhältnismässig kleiner Anteil des im ganzen Raume vorhandenen Gesamtlichtstromes  $\Phi_{total} = \Phi_{direkt} + \Phi_{indirekt}$  bewertet wird. Von entscheidender Bedeutung ist ausserdem die geringe Reflexion der Begrenzungsflächen und hauptsächlich des Bodens, so dass der indirekte Lichtstromanteil entsprechend klein ist und meist nicht den von den Leuchten abgegebenen Lichtstrom erreicht, geschweige denn ein Vielfaches davon, wie das bei der Ulbrichtschen Kugel möglich ist.

Die Betrachtung will auf die tatsächliche Bedeutung des Beleuchtungswirkungsgrades hinweisen, ohne jedoch für eine Änderung des üblichen Wirkungsgradverfahrens einzutreten, da es seit Jahrzehnten zu den eingeführten Grundlagen der Fachliteratur gehört.

## Bemerkung des Referenten

Der Referent kann sich dieser Folgerung auch anschliessen, befürwortet aber die Benützung einer Berechnungsmethode, z. B. des Interflexionsverfahrens, welches die Reflexionsverhältnisse von Decke, Wänden und Boden individueller und feiner berücksichtigt als die bisher übliche Wirkungsgradmethode nach Harrison-Anderson.

J. Guanter

<sup>1)</sup> H. Thum: Das Interflexionsverfahren. Lichttechnik Bd. 5 (1952), Nr. 11, S. 295...297.

Explosionsschaden im Hearn-Kraftwerk in Kanada<sup>1)</sup>

621.313.12.004.7(71)

Die 4 im Richard-L.-Hearn-Kraftwerk aufgestellten Turbogeneratoren liefen zuerst als 25-Hz-Maschinen. Entsprechend der Umstellung des kanadischen Netzes auf 60 Hz wurden die Rotoren sukzessive ausgewechselt und die Statorwicklungen neu verbunden. Ende 1953 konnten die Einheiten 1 und 2 auf 60-Hz-Betrieb umgeschaltet werden.

Am 1. April 1954 ereignete sich an der Einheit 1 folgende Katastrophe: Auf Grund eines schweren mechanischen Defektes im Innern der Maschine — es soll sich um eine Explosion einer der mit Ventilationslöchern versehenen Wicklungskappen gehandelt haben — wurde vom Rotor auf den Stator ein schwerer Schlag ausgeübt. Lager und Stator rissen sich vom Fundament los. Dabei zerrissen die Ölleitungen. Der Öldruck sank im Schmiersystem. Die Hilfsölpumpe trat in Funktion und förderte weiter Öl, bis sie vom Mechaniker abgestellt wurde. Das Öl fing Feuer und lief in der Grube unter dem Generator zusammen. Dort befand sich auch die Reserve der Wasserstoff-Flaschen, welche durch das brennende Öl zur Explosion kam. Es darf darauf hingewiesen werden, dass der ganze Wasserstoffkreislauf des Generators, inklusive Wellendichtung (hier System Allis Chalmers) intakt geblieben ist und keineswegs Ursache zu Brand oder Explosion gegeben hat.

4 Tage später, am 5. April 1954, ereignete sich an der Einheit 2 eine ähnliche Störung, mit dem Unterschied, dass hier der Stator sich nicht vom Fundament losriss. Der Endeffekt war aber der nämliche wie bei der Einheit 1. Die beschriebenen Explosionen sind also nicht auf Undichtheit im System der Wasserstoffkühlung zurückzuführen.

E. Dünner

## Wasserstoffgekühlte elektrische Maschinen

621.313.1—712 : 546.11

[Nach F. Moldenhauer: Wasserstoffgekühlte elektrische Maschinen. AEG-Mitt. Bd. 43(1953), Nr. 11/12, S. 336...354]

Der erste Patentanspruch zur Verwendung von Wasserstoff als Kühlmittel elektrischer Maschinen datiert aus dem Jahr 1915. Eingehende Prüfungen an einer Versuchsmaschine in Deutschland liessen die Vorteile des Wasserstoffes und anderer Gase gegenüber Luft erkennen. Da Wasserstoff speziell kleine Gasreibungsverluste aufweist, konzentrierten sich die Versuche auf dieses Gas. Konstruktive Schwierigkeiten und die Möglichkeit, die damaligen Höchstleistungen pro Maschinensatz mit Luftkühlung sicher zu beherrschen, führten zu einem gewissen Stillstand der weiteren Forschungen auf dem Gebiet dieses neuen Kühlverfahrens.

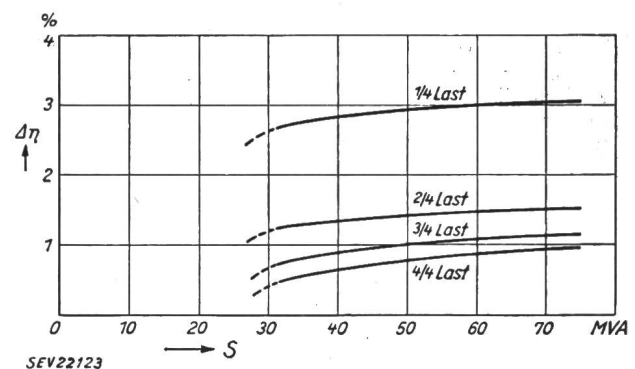


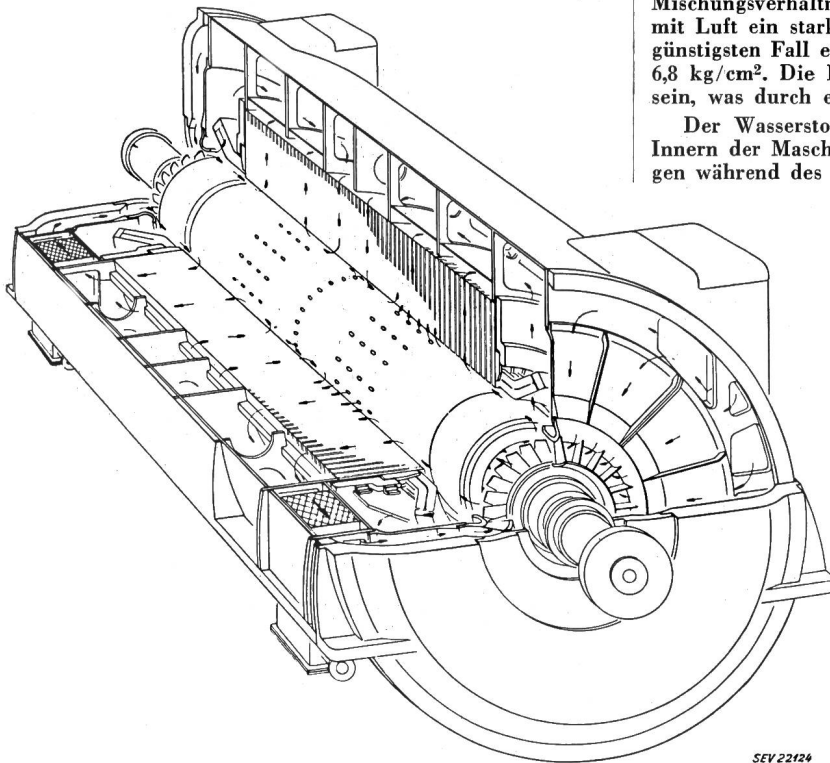
Fig. 1

Wirkungsgradverbesserung  $\Delta\eta$  für Wasserstoffkühlung gegenüber Luftkühlung in Abhängigkeit der Scheinleistung  $S$  bei  $\cos \varphi = 0,8$  für Vollast und Teillasten

Die Wasserstoffkühlung wurde später in den USA wieder aufgegriffen. Die dort übliche Netzfrequenz von 60 Hz bedingt Drehzahlen, die um 20% höher liegen als bei euro-

<sup>1)</sup> siehe Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 11, S. 436.

päischen Maschinen mit 50 Hz. Die Gasreibungsverluste steigen bei gleichbleibenden Rotordimensionen um rund 70 %. Zweipolige luftgekühlte Maschinen mit Leistungen von 20 bis 25 MVA weisen als grössten Verlustanteil die Gasreibungsverluste auf. Mit Wasserstoff als Kühlmedium kann dieser über den ganzen Belastungsbereich der Maschine konstante Verlustbetrag derart reduziert werden, dass hieraus bedeutende Wirkungsgradverbesserungen resultieren. Die in Amerika heute neu gebauten zweipoligen Turbogeneratoren werden zu rund 80 % mit Wasserstoffkühlung ausgerüstet. Als untere Grenze der Maschinenleistung, bei welcher dieses Kühlprinzip noch wirtschaftliche Vorteile bietet, wird für 60-Hz-Maschinen 15 MVA angegeben. Man könnte bis 40 MVA mit Luftkühlung auskommen.



Bei zweipoligen Generatoren für 50 Hz liegt die obere Grenze der Bauart mit Luftkühlung bei 75 MVA. Die Möglichkeiten der Erhöhung der Wirkungsgrade durch Wasserstoffkühlung zeigt Fig. 1.

Die Vorteile des Wasserstoffes gegenüber Luft gehen bereits aus den beiden Vergleichswerten des spezifischen Gewichtes und der Wärmeleitfähigkeit hervor. Für die Wegführung der Verlustwärme aus elektrischen Maschinen ist die Wärmeübergangszahl von grösster Bedeutung, die ihrerseits von den Temperaturverhältnissen, vom Druck, von den Geschwindigkeiten, von den räumlichen Dimensionen usw. abhängig ist. Bei gleicher thermischer Ausnützung einer Maschine lässt sich mit Wasserstoffkühlung eine Leistungssteigerung von 30 % gegenüber Luftkühlung erreichen. Die Erhaltung der Stabilität und eines wirtschaftlich genügenden Wirkungsgrades, sowie eine gewisse Senkung der Wicklungstemperaturen zur Erhöhung der Lebensdauer der Maschine führen gesamthaft gesehen auf eine vorteilhafteste Leistungssteigerung von rund 25 %.

Es hat sich erwiesen, dass ein Betriebsüberdruck des Wasserstoffes von 0,035 kg/cm<sup>2</sup> genügt, um das Eindringen von Aussenluft in die Maschine zu verhindern. Eine weitere Druckerhöhung hat vermehrte Gasverluste zur Folge, hilft jedoch zur Verbesserung der Kühlverhältnisse, speziell im Gebiet bis etwa 1 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck. Mit dieser Massnahme lassen sich nochmals Leistungssteigerungen von 15 % erzielen. Bei gleichbleibender Wirkleistung kann die Maschine mit schlechterem  $\cos \varphi$  laufen, der allerdings nicht ganz im obigen Verhältnis zurückgeht. Wenn in der Erregerwicklung eine gleiche Temperatur zugelassen wird, ist eine

Steigerung der Scheinleistung um rund 10 % oder eine Reduktion des  $\cos \varphi$  von z. B. 0,8 auf 0,73 möglich.

Praktisch wird meistens mit einem Wasserstoff-Luftgemisch von 97...98 % Wasserstoff gearbeitet. Jede Senkung der Gaskonzentration lässt die Wärmeübergangsverhältnisse merkbar zurückgehen. Dem Problem der Glimmentladungen ist besondere Beachtung zu schenken, da diese in Wasserstoff bereits bei kleineren Spannungen auftreten als in Luft. Wicklungsbrände können jedoch infolge des fehlenden Sauerstoffes nicht entstehen. Die Gasbewegungen verlaufen im Wasserstoff mit kleineren Druckunterschieden, was zu einer Verminderung der Geräuschbildung führt.

Als hauptsächlichster Nachteil der Wasserstoffkühlung ist anzuführen, dass Wasserstoff ein brennbares Gas ist, das bei Mischungsverhältnissen von 4 bis 75 % Volumenanteilen H<sub>2</sub> mit Luft ein stark explosionsfähiges Gemisch bildet. Im ungünstigsten Fall entsteht ein maximaler Explosionsdruck von 6,8 kg/cm<sup>2</sup>. Die Konstruktion des Gehäuses muss druckfest sein, was durch eine Abdruckprobe nachzuweisen ist.

Der Wasserstoff wird durch spezielle Kühlaggregate im Innern der Maschine wieder abgekühlt. Um Kühlerreinigungen während des Betriebes zu ermöglichen, werden meistens

4 Teilkühler vorgesehen. Während der Reinigung eines Einzelkühlers können noch  $\frac{3}{4}$  der Totalverluste der Maschine abgeführt werden. Dies erfordert eine momentane Senkung der Maschinenbelastung auf rund  $\frac{2}{3}$  der Nennlast.

Die Wege des Gasstromes einer Maschine sind aus Fig. 2 schematisch ersichtlich. Es ist dafür zu sorgen, dass eine gleichmässige Temperaturverteilung erfolgt. Das abweichende Verhalten gewisser Isolierstoffe in der Wasserstoffatmosphäre gegenüber in Luft führt auf eine bestimmte Auslese der verwendbaren Materialien.

Für die Lagerung sind Stehlager ausserhalb der Maschine oder Schildlagerkonstruktionen möglich. Die Abdichtungen zwischen der rotierenden Welle und

Fig. 2  
Gasführung in einem  
wasserstoffgekühlten Generator

dem ruhenden Gehäuseteil können durch spezielle Öldichtungen erfolgen. Die mit dem Öl durch die Lagerstellen eindringende Luftmenge verlangt eine laufende Ergänzung des Wasserstoffes von ca. 1,5...2,5 m<sup>3</sup> pro Tag und pro Lager, um die Gaskonzentration konstant halten zu können.

Überwachungseinrichtungen kontrollieren den Öl- und den Gaskreislauf. Eine Änderung der Konzentration bewirkt sofort eine starke Beeinflussung des im Ventilator erzeugten Gasdruckes. Damit erhält man eine empfindliche Kontrollgrösse.

Zur Füllung der Maschine mit Wasserstoff hat sich als beste Lösung erwiesen, die Luft im Innern des Gehäuses vorerst durch vorgewärmte Kohlensäure zu verdrängen und dann erst Wasserstoff einzulassen. Die Vorfüllung eines 50-MVA-Generators von rund 30 m<sup>3</sup> Innenvolumen mit Kohlensäure ist nach 90 min beendet und benötigt 45 m<sup>3</sup> Kohlensäure; anschliessend erfolgt die Füllung mit Wasserstoff während 70 min mit einem Wasserstoffaufwand von 70 m<sup>3</sup>.

Bei Maschinen des Leistungsbereiches, wo Luft- oder Wasserstoffkühlung möglich ist, gibt die Prüfung der Wirtschaftlichkeit den Ausschlag zur Wahl des Kühlmediums. Nebst den Betriebs- und Rohstoffkosten spielt hauptsächlich die jährliche Betriebsstundenzahl der Maschine die entscheidende Rolle. Der Mehraufwand der Konstruktion mit Wasserstoffkühlung gegenüber einer luftgekühlten Maschine lässt sich meistens in 2...3 Jahren voll amortisieren.

Die grössten zur Zeit im Bau befindlichen zweipoligen Turbogeneratoren für 3000 U./min, 50 Hz, weisen eine Nennleistung von 187,5 MVA bei  $\cos \varphi = 0,8$  und somit 150 MW Wirkleistung auf. Maschinen der Grössenordnung von 100 MW werden heute bereits als Standardmodell bezeichnet.

Derartige Leistungen pro Maschineneinheit lassen sich nur mit Wasserstoffkühlung erreichen. Die systematische Erforschung der speziellen Betriebsprobleme wird noch auf weitere Verbesserungen führen.

H. Markwalder

### Seignettelektrizität

537.226 : 537.228.1

[Nach F. Spitzer: Seignettelektrizität. ETZ—A Bd. 75 (1954), Nr. 3, S. 76...81]

Die Dielektrika lassen sich gemäss dem Verhalten der Dielektrizitätskonstante (DK) in Funktion der Temperatur in folgende drei Klassen einteilen:

1. Dielektrika mit temperaturunabhängiger DK;
2. Dielektrika mit einem negativen Temperaturkoeffizienten der DK;
3. Dielektrika mit dielektrischen Anomalien.

Stoffe der ersten Klasse sind aus dipolfreien Molekülen aufgebaut, eine makroskopische Polarisation ist eine feldproportionale Verschiebungspolarisation. Substanzen der zweiten Klasse enthalten permanente molekulare elektrische Dipole,

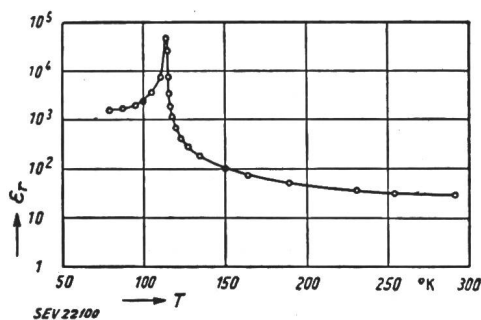


Fig. 1

Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  von Kaliumphosphat in Funktion der Temperatur (nach Busch)

die in Konkurrenz zu ihrer thermischen Eigenenergie von einem angelegten Feld mehr oder weniger ausgerichtet werden; man erhält so eine zusätzliche Orientierungspolarisation, die eine monoton fallende Funktion der Temperatur ist. Stoffe der dritten Klasse bezeichnet man aus historischen Gründen als Seignettelektrika (Cady und Anderson, 1918). Dielektrisch sind diese Stoffe durch eine sehr hohe und stark temperaturabhängige DK gekennzeichnet, wobei der Verlauf

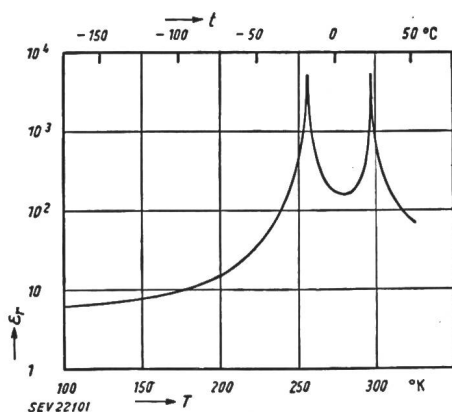


Fig. 2

Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  von Seignettesalz in Funktion der Temperatur (nach Hablützel)

der DK in Funktion der Temperatur ein (Normalfall) oder zwei (Seignettesalz) sehr scharfe Maxima aufweist (Fig. 1, 2). Dies zeigt bereits, dass gerade das Seignettesalz wegen seines komplizierteren Verhaltens als typisches Beispiel eines Seignettelektrikums nicht sehr geeignet ist. Im Folgenden werden wir uns lediglich mit dem Normalfall befassen.

Experimentelle und theoretische Betrachtungen zeigen, dass zwischen den Seignettelektrika und den ferromagnetischen Stoffen eine enge Analogie besteht. Ein Seignettelektrikum enthält im Kristallgitter molekulare elektrische Dipole mit einer durch die Temperatur bestimmten thermischen Energie und einer temperaturunabhängigen, starken elektrischen Wechselwirkungsenergie. Bei hohen Temperaturen überwiegt die thermische Energie, die Dipole können alle möglichen Lagen gleichmässig einnehmen, daher beobachtet man in diesem Temperaturgebiet keine dielektrischen Anomalien. Kühlt man den Kristall ab, so gewinnt bei einer gewissen Temperatur, der sog. Curietemperatur, die Dipol-Dipol-Kopplung plötzlich das Übergewicht, in ganzen mikroskopisch grossen Bereichen stellen sich die Dipole ohne äusseres Feld parallel oder antiparallel zur seignettelektrischen Richtung. Diese spontane Polarisation führt zu starken inneren Feldern, die auch eine spontane Deforma-

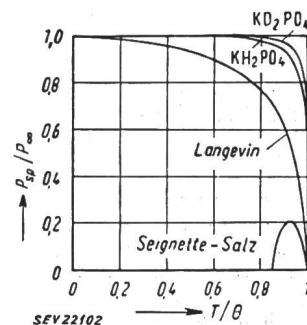


Fig. 3

Verhältnis der spontanen Polarisation  $P_{sp}$  zur Sättigungspolarisation  $P_{\infty}$  in Funktion der reduzierten Temperatur  $T/\theta$  Curietemperatur

tion des Kristallgitters bewirken. Mit der Hypothese, dass ein Seignettelektrikum unterhalb seinem Curiepunkt aus einer grossen Anzahl spontan polarisierter und deformierter Bezirke besteht, deren Polarisation bei sinkender Temperatur infolge der Abnahme der thermischen Energie bald die Sättigung erreicht (Fig. 3), kann man alle wesentlichen Eigenschaften der Seignettelektrika qualitativ gut verstehen. Einige der wichtigsten seignettelektrischen Anomalien sind die folgenden:

1. Anomaler Verlauf der DK in Funktion der Temperatur mit einer Unstetigkeitsstelle im Curiepunkt, dabei nimmt die DK sehr hohe Werte an (Fig. 1, 2). Praktisch kann dieser Effekt z. B. zur Herstellung von Kondensatoren hoher Kapazität bei kleinen Abmessungen ausgenützt werden.
2. Feldstärkeabhängigkeit der DK und Hysterese. Fig. 4 illustriert diese Erscheinungen, die genau analog wie bei den Ferromagnetika durch die Domänenstruktur der Kristalle verursacht sind. Ebenso ist bei den Seignettelektrika ein Barkhausen-Effekt beobachtbar: die Polarisation folgt der Feldstärke nur in kleinen, endlichen Sprüngen (Umklappen einzelner Bezirke).

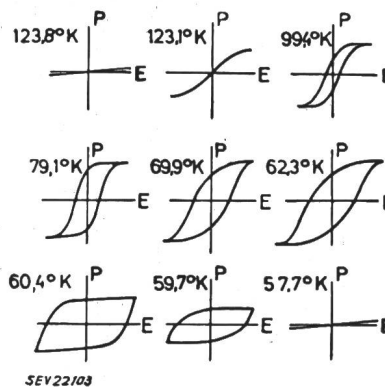


Fig. 4

Dielektrische Hysterese an Kaliumphosphat bei verschiedenen Temperaturen (nach Busch und Ganz)

3. Piezoelektrische Eigenschaften. Zufolge der engen Koppelung zwischen spontaner Polarisation und Deformation sind die Seignettelektrika unterhalb ihrer Curietemperatur piezoelektrisch, d. h. sie erhalten unter Einwirkung eines mechanischen Druckes eine elektrische Polarisation und deformieren sich in einem elektrischen Feld. Auf diesem Effekt beruhen die bekannten Anwendungen der Seignettelektrika für elektromechanische Wandler (Tonabnehmer, Mikrophone, Ultraschallsender, Modulatoren, usw.).

4. Änderung der kristallographischen Symmetrie am Curiepunkt, verursacht durch die starke elektromechanische Wechselwirkung. Im seignetteelektrischen Zustand haben die Kristalle immer eine niedrigere Symmetrie, die durch das Auftreten einer polaren Achse gekennzeichnet ist und die die piezoelektrischen Phänomene erst ermöglicht.

5. Kalorische Anomalien. Der Eintritt des seignetteelektrischen Zustandes am Curiepunkt ist eine Phasenumwandlung, die mit einer Enthalpieänderung und einer Abnahme der Entropie verbunden ist. Daraus ergibt sich eine Anomalie der spezifischen Wärme am Curiepunkt.

Zur Zeit besteht noch keine vollständige quantitative Theorie aller seignetteelektrischen Erscheinungen, doch wurde von J. Slater für Kristalle des Kaliumphosphattypes ein Modell entwickelt, das auch quantitativ recht gute Ergebnisse liefert.

Die technische Brauchbarkeit der Seignettelektrika wird wesentlich durch die Lage des Curiepunktes bestimmt. Deshalb kommen von allen Seignettelektrika nur Stoffe der Bariumtitanatgruppe und das Seignettesalz praktisch zur Anwendung, wobei das letztere wegen seiner geringen Beständigkeit nur einen sehr beschränkten Anwendungsbereich hat. Heute stehen aus der Bariumtitanatgruppe Substanzen mit Curietemperaturen von 490 °C bis unter Zimmertemperatur zur Verfügung, die geeignet sind die engen Grenzen, die bisher den Anwendungen der Seignettelektrizität gezogen waren, zu überwinden. Zu beachten ist jedoch, dass die starke Temperaturabhängigkeit der Seignettelektrika prinzipieller Natur und somit durch technische Fortschritte nicht überwindbar ist.

H. Primas

## Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

### Studie über die Übertragung von Zentimeterwellen auf Drahtwellenleitern

621.392.26

[Nach P. Chavance und B. Chiron: Une étude expérimentale de transmission d'ondes centimétriques sur guides d'ondes filiformes. Ann. Télécommun. Bd. 8 (1953), Nr. 11, S. 367...378]

Sommerfeld stellte schon 1899 theoretisch fest, dass ein einzelner blanker Draht imstande ist, eine elektromagnetische Welle zu führen. Diese Art von Drahtwellen ist an Verluste im Leiter gebunden.

Nach Goubau (1950) führt auch ein verlustfreier Leiter eine transversale magnetische Welle, wenn man ihn mit einem Dielektrikum bedeckt. Es entsteht dann eine Konzentration des Feldes in der Nähe des Leiters, die um so stärker ist, je dicker die dielektrische Schicht gemacht wird. Auch ist eine Reduktion der Phasengeschwindigkeit und der Phasenwellenlänge damit verbunden.

Die Drähte sind im folgenden in der Form  $d_1/d_2$  bezeichnet. Ein Konus, dessen Achse der untersuchte Leiter bildet, ist beidseitig das Übergangsstück zu den rechteckförmigen Wellenleitern.

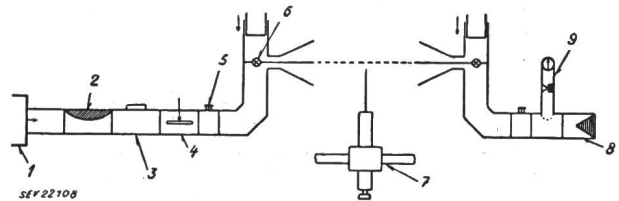


Fig. 1

Schema der Versuchsanordnung

1 Generator; 2 Dämpfungsglied; 3 Richtungsakoppler; 4 Messleitung; 5 Anpassung; 6 Drahtbefestigung an Transversalstück; 7 Versuchssonde für Oberflächenwellen; 8 angepasster Leitungsabschluss; 9 Detektor

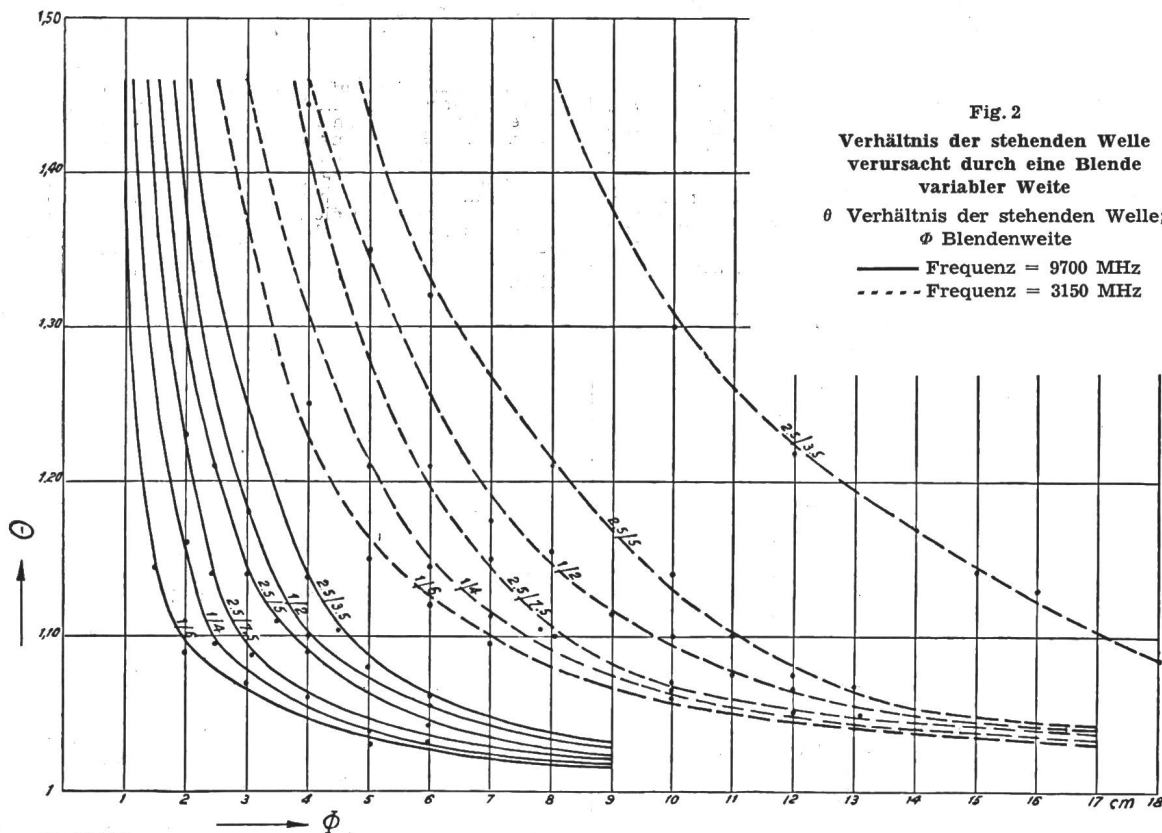


Fig. 2

Verhältnis der stehenden Welle verursacht durch eine Blende variabler Weite

$\theta$  Verhältnis der stehenden Welle;  
 $\Phi$  Blendenweite  
— Frequenz = 9700 MHz  
--- Frequenz = 3150 MHz

SEV 22109

Das Verhalten solcher Leiter ist experimentell untersucht worden in den Frequenzbändern von 3000 und 10 000 MHz. Fig. 1 zeigt schematisch den Versuchsaufbau. Die verwendeten Leiter sind Kupferdrähte vom Durchmesser  $d_1$  (in mm) mit Polyäthylenhülle vom äusseren Durchmesser  $d_2$  (in mm).

lenleitern, die zu Sender und Empfänger führen. Mit Hilfe einer Meßsonde wurde der Verlauf des Feldes ausserhalb des Leiters aufgenommen.

Der wirksame Felddurchmesser  $\Phi_E$  (diamètre d'encombrement) wurde mit Hilfe einer Blende variabler Weite be-

stimmt, durch deren Achse der Leiter führt, und die so weit geöffnet wird, dass auf einer vorher angepassten Messleitung das Verhältnis der stehenden Welle gerade 1,1 ist. Fig. 2 stellt dieses Verhältnis über der Blendenweite  $\Phi$  für die verschiedenen Drähte dar.

Fig. 3 orientiert über den Verlauf von  $\Phi_E$  bei Änderung der Dicke des Dielektrikums und über die Dämpfung in db pro 100 m. Daraus ist ersichtlich, dass man den wirksamen Felddurchmesser nur verringern kann auf Kosten der Dämpfung.

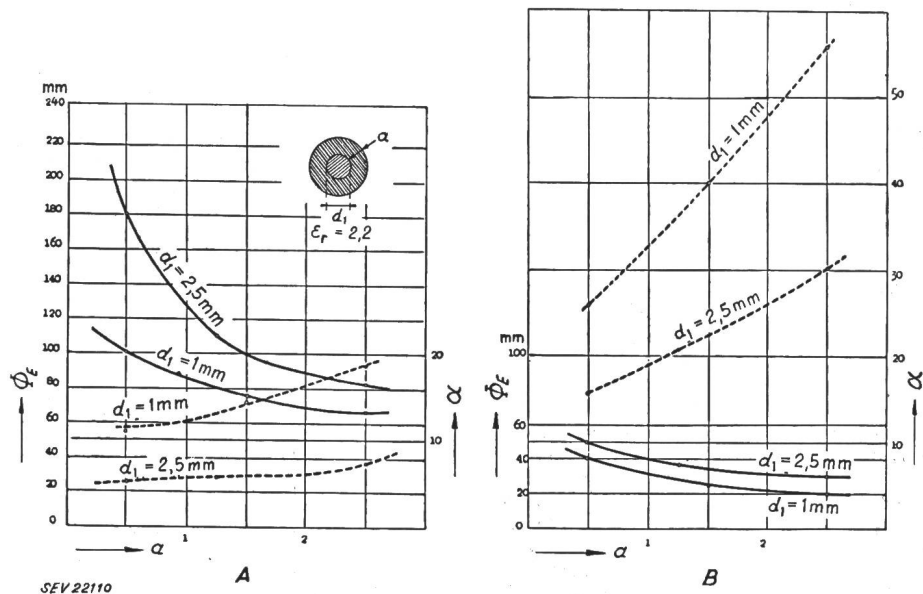
Einen günstigen Fall stellt bei 3150 MHz der Draht 2,5/5

Fig. 3

Wirksamer Felddurchmesser und Dämpfung in Funktion der Dicke des Dielektrikums

A Frequenz = 3150 MHz;  
B Frequenz = 9700 MHz

— wirksamer Felddurchmesser  $\Phi_E$   
- - - Dämpfung  $\alpha$  in db/100 m



dar. Er hat einen wirksamen Felddurchmesser von 11 cm und eine Dämpfung von 6 db/100 m. Ein gutes Koaxialkabel hätte bei dieser Frequenz ca. 60 db/100 m, und ein rechteckiger Hohlwellenleiter aus Messing mehr als 5 db/100 m. Qualitativ ist also dieser Drahtwellenleiter dem Rechteckförmigen gleichwertig. Bei 9700 MHz ist der Draht 2,5/3,5 sogar dem rechteckigen Wellenleiter aus Kupfer ebenbürtig.

Die Untersuchung des Einflusses einer Krümmung des Leiters im rechten Winkel ergab, dass die Reflexion von relativ geringer Bedeutung ist, dass dagegen eine erhebliche Dämpfung auftritt, weil der Leiter an dieser Stelle Energie ausstrahlt. Legt man den Leiter in der Krümmung aber über ein Dielektrikum, das die Form einer Scheibe mit Nute hat, so verschwindet die Strahlung und damit die Dämpfung fast vollkommen.

Die übertragbare Leistung ist begrenzt durch den Koronaeffekt auf der äusseren Oberfläche. Da sie zum grössten Teil im umgebenden Luftraum übertragen wird, kann auf den verhältnismässig dünnen Leitern eine sehr grosse Leistung übertragen werden. In praktischen Versuchen wurden ohne Schwierigkeiten auf jedem untersuchten Leiter 250 kW übertragen. Die theoretisch übertragbare Leistung ist aber wesentlich grösser. In Tabelle I sind die theoretischen Maximalwerte für die verschiedenen Leiter angegeben.

Mit Drahtwellenleitern übertragbare Leistung

Tabelle I

Leiter mm	Theoretisch übertragbare Maximalleistung kW
2,5/3,5	980
2,5/5	1390
2,5/7,5	2920
1/2	300
1/4	990
1/6	2300

H. Neck

### Lokalisierung von Fehlerstellen an Hochspannungsleitungen mit Radar

621.317.333.4 : 621.396.96

[Nach J. P. Whysong, H. L. Garton und J. F. Bracken: Shoot Line Troubles with Radar. Electr. Wld. Bd. 140 (1953), Nr. 20, S. 118...121]

Von der Commonwealth Edison Co, Chicago, wurde eine Apparatur zur Messung der Entfernung von Fehlerstellen an Freileitungen, Hochspannungs- und Telefonkabeln nach der Laufzeitmethode entwickelt. Ein Impulsgenerator erzeugt dazu periodisch Impulse von ca. 1  $\mu$ s Dauer. Diese durchlaufen die Leitung mit Lichtgeschwindigkeit, sofern die Dielektrizitätskonstante 1 beträgt, und werden an den Unregelmässigkeiten (Kurzschlussstellen, Unterbrüche usw.) mindestens teilweise reflektiert. Die reflektierten Impulse gelangen nach einer bestimmten Zeit wieder zur Messapparatur, die aus der Zeitdifferenz zwischen dem ausgesandten und empfangenen Impuls die Entfernung der Fehlerstelle bestimmt. Dazu werden die Sende- und Echoimpulse auf die Vertikalablenkplatten einer Kathodenstrahlröhre gebracht, an deren Horizontalablenkplatten sich eine mit den Sendepulsen synchronisierte Ablenkspannung befindet. Aus dem Ort der Impulse auf der Kathodenstrahlröhre kann somit prinzipiell die Ent-

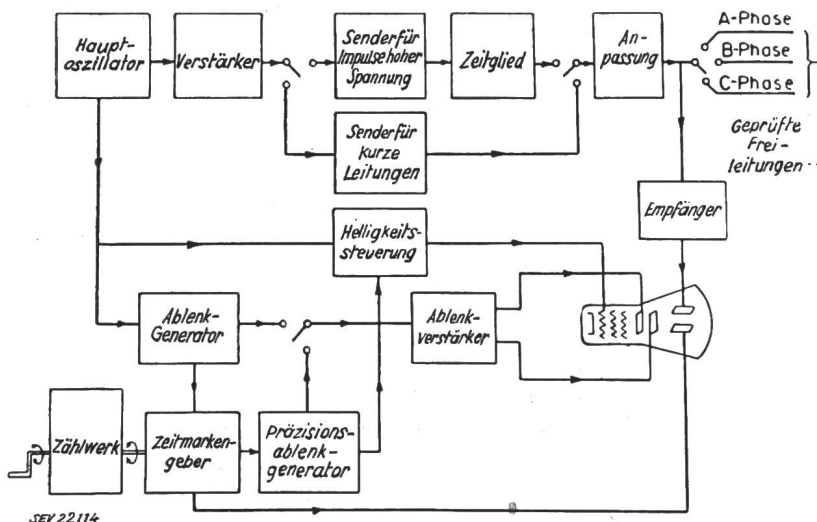


Fig. 1

Blockschema des Apparates zur Bestimmung von Fehlerstellen

fernung der Fehlerstelle ermittelt werden. Praktisch geschieht dies mit Hilfe eines Zeitmarkengebers.

Mit dieser Fehlerortsbestimmung wurden an spannungslosen Freileitungen, Hochspannungs- und Telephonkabeln folgende Erfahrungen gemacht:

a) **Freileitungen:** Da diese einen hohen Wellenwiderstand haben, konnten noch verhältnismässig hochohmige Fehlerstellen ermittelt werden. (Die Grösse des Echos ist nämlich abhängig von der Differenz zwischen dem Wellenwiderstand und dem Widerstand der Kurzschlußstelle.) Die Ermittlung der Fehlerstellen mit einem maximalen Fehler von 1...2 Spannwerten bot hier keine Schwierigkeiten, sofern die Apparatur mit einem Leitungstück derselben Leitung und bekannter Länge (z.B. gesunde Phase) geeicht werden konnte. Diese Eichung ist bei allen Messungen, besonders bei Kabeln, für eine genaue Fehlerortsbestimmung nötig.

b) **Hochspannungskabel:** Diese haben einen kleinen Wellenwiderstand (15...50  $\Omega$ ); daher konnten Erdschlüsse nicht ermittelt werden. Unterbrüche hingegen wurden mit einer maximalen Differenz von 50 m bestimmt. Hier gestaltet sich allerdings diese Bestimmung wesentlich schwieriger als bei Leitungen, da einerseits die Impulse stark verzerrt werden und andererseits die vielen Störechos, herrührend von den Verbindungsstellen verschiedener Kabel, die Ermittlung des richtigen Echoimpulses erschweren.

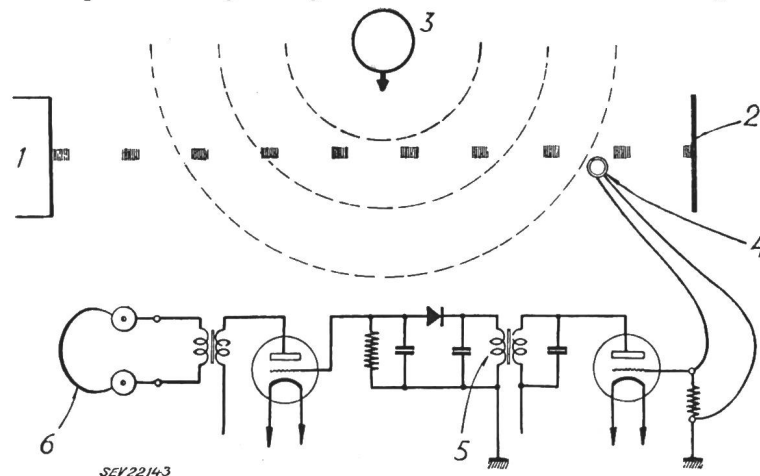
c) **Telephonkabel:** Bei verschiedenen Arten von Telephonkabeln liessen sich Kurzschlußstellen und Unterbrüche einwandfrei feststellen. Die Verhältnisse liegen hier bedeutend günstiger als bei Hochspannungskabeln.

Der prinzipielle Aufbau der verwendeten Apparatur ist aus Fig. 1 ersichtlich. Der Hauptoszillator erzeugt in regelmässigen Intervallen Rechteckimpulse. Diese synchronisieren einerseits den Ablenkengenerator und andererseits, nachdem sie verstärkt wurden, den Generator für den Sendepuls. Dieser besteht aus einem Thyatron und einem Zeitglied. Für kurze Leitungen ist ein spezieller Sender mit kurzzeitigen Impulsen (ca. 0,5  $\mu$ s) verhältnismässig kleiner Spannung vorgesehen. Der Anpassungswiderstand dient zur Verhütung von Mehrfachreflexionen. Die Echoimpulse werden in einem 3stufigen Breitbandverstärker (Empfänger) verstärkt und gelangen hernach auf die Vertikalablenkung der Kathodenstrahlröhre. Der Zeitmarkengeber erzeugt bei einer bestimmten Grösse der Ablenkspannung für die Horizontalablenkung, die im Ablenkengenerator erzeugt wird, einen Impuls auf die Vertikalablenkung der Kathodenstrahlröhre. Diese Spannung, bei der der Zeitmarkenimpuls erfolgt, wird mit einem Potentiometer eingestellt, dessen Stellung am Zählwerk abgelesen werden kann. Werden nun Zeitmarke und Störimpuls zur Übereinstimmung gebracht, so gibt das Zählwerk die Distanz der Fehlerstelle an. Der Präzisionsablenkengenerator gibt eine Ablenkspannung sehr hoher Geschwindigkeit und die Helligkeitssteuerung dient zur Unterdrückung des Rücklaufes.

#### Bemerkung des Referenten

Das beschriebene Verfahren zur Fehlerortsbestimmung wurde seit 1950 in Europa und Amerika schon verschiedentlich ausprobiert und scheint besonders bei Hochspannungsleitungen und Telephonkabeln der gewöhnlichen Kapazitäts- und Impedanzmessung überlegen zu sein.

P. Schmid



## Die Modulation von stationären Ultraschallwellen in Luft

621.376 : 534.321.9

[Nach L. Pimonow: Modulation d'ondes stationnaires ultrasonores dans l'air. Ann. Télécommun. Bd. 9 (1954), Nr. 1, S. 24...28]

### I. Einführung

Unter Modulation versteht man allgemein die multiplikative Überlagerung der Amplituden zweier Schwingungen von verschiedener Frequenz. Eine einfache Einrichtung, mit der eine solche Modulation bei Schallwellen erzielt werden kann, ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Die Einrichtung besteht aus einer in drei Kammern unterteilten Zelle; in den beiden Trennwänden sind zwei schwingfähige Membranen ange-

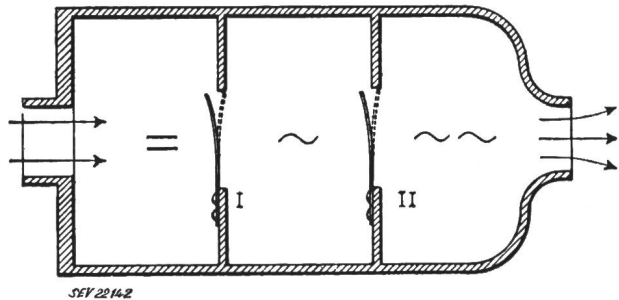


Fig. 1

Zelle mit zwei Stimmungen

bracht. Ein konstanter Luftstrom dringt von links her in die Zelle ein und produziert an der ersten Zunge eine Schwingung mit der Frequenz  $f_1$ , wobei die Amplitude  $a$  der Schwingung vom Druck abhängig ist. Die Auslenkung  $U$  lässt sich folgendermassen darstellen:

$$U = a(p) \cos 2\pi f_1 t$$

worin  $p$  den Druck und  $t$  die Zeit bedeuten.

Desgleichen gilt für die zweite Zunge

$$U = b(p) \cos 2\pi f_2 t$$

worin  $b$  die Amplitude bedeutet.

Hier ist jedoch  $b$  keine Konstante mehr, sondern variiert mit der Frequenz  $f_1$

$$b = a' \cos 2\pi f_1 t$$

Es ergibt sich also:

$$U = a' \cos (2\pi f_1 t) \cdot \cos (2\pi f_2 t)$$

Aus diesen Ansätzen ergibt sich nach einiger Umformung:

$$U = \frac{a'}{2} \cos 2\pi (f_1 + f_2) t + \cos 2\pi (f_1 - f_2) t$$

Wir haben es also mit einer Modulation von Schallwellen zu tun, dabei werden 2 neue Frequenzen  $f_1 + f_2$  und  $f_1 - f_2$  erzeugt.

### II. Modulation von Ultraschallwellen

Um mit Ultraschallwellen in der Luft Modulation zu erhalten, kann folgendes Experiment durchgeführt werden. Zwei Lautsprecher, die nach dem Ionophon-Prinzip arbeiten, werden einander gegenüber aufgestellt. Jeder Lautsprecher strahlt eine kontinuierliche Ultraschallwelle von 24 bzw. 25 kHz ab. Der Abstand zwischen den Lautsprechern ist so gewählt, dass sich für die eine Frequenz stehende Wellen ausbilden. Auf diese Weise lässt sich ein modulierter Ton von 1000 Hz erzeugen, der sowohl

Fig. 2

Prinzipschema des Luftmikrophons mit Verstärker

- 1 Ultraschallgenerator 30 kHz; 2 stabile reflektierende Wand; 3 Quelle der Tonfrequenz;
- 4 Seignettesalzmikrophon;
- 5 Bandpassfilter  $30 \pm 3$  kHz; 6 Kopfhörer

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 495.

Es folgen «Die Seiten des VSE».