

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 37 (1946)
Heft: 3

Artikel: Störungen des Rundspruchempfanges durch elektrothermische Apparate
Autor: Gerber, W. / Werthmüller, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061083>

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: 12.05.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 23 77 44
Postcheck-Konto VIII 8481

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

37. Jahrgang

N° 3

Samstag, 9. Februar 1946

Störungen des Rundspruchempfanges durch elektrothermische Apparate

Referat, gehalten in der Subkommission I der Radiostörschutzkommission des SEV und VSE,
von W. Gerber und A. Werthmüller, Bern

621 396.823

Wärmeapparate, welche magnetisierbare Heizelemente enthalten, sind störfähig. Für die Anwendungen der Elektrowärme im Wohnbezirk wird daher grundsätzlich nichtmagnetisierbares Widerstandsmaterial empfohlen; andernfalls sind störfähige Apparate mit Kondensatoren zu beschalten.

Les appareils électrothermiques dont les éléments de chauffage sont constitués par un matériel magnétique peuvent produire des perturbations. On recommande donc, pour les appareils destinés à être employés dans des lieux d'habitation d'utiliser exclusivement des résistances non magnétiques. Si ce n'est pas possible on les déparasitera au moyen de condensateurs.

Es ist eine Erfahrungstatsache, dass die übliche Empfangsanlage einen wesentlichen Anteil der von ihr aufgenommenen HF-Leistung über die elektrische Hausinstallation bezieht. Mehr als 90 % der heutigen Empfangsanlagen benützen eben sog. Innenantennen, während die gute Aussenantenne, trotz aller Propaganda durch Wort und Schrift, relativ seltener wird. Die elektrische Hausinstallation tritt also als Träger und Uebermittler der HF-Energie in Erscheinung, und somit haben zeitliche Änderungen ihrer HF-Uebertragungsgrössen eine mehr oder weniger störende Sekundärmodulation zur Folge. Als solche traten im Laufe der Jahre hauptsächlich gewisse an die Wechselstromnetze gebundene Arten von Brummstörungen hervor¹⁾. Wie dies dann grundsätzlich immer der Fall ist, wenn die elektrische Hausinstallation als Störungsträger mitwirkt, sind auch diese Brummstörungen im Frequenzspektrum selektiv verteilt, wobei natür-

lich die Verteilung örtlich und zeitlich immer wieder verschieden ist. Allerdings beziehen sich die Klagen über Brummstörungen in den meisten Fällen nur auf den Empfang des Regionalsenders — oder sogar auf den Sender selbst — und stammen interessanterweise vorwiegend aus den bestversorgten Empfangszonen. Es bildete sich daher zeitweise die Meinung, wonach die durch Sekundärmodulation verursachten Störungen in Sendernähe verhältnismässig grösser würden. Umfangreiche Untersuchungen zeigten aber immer wieder, dass ein solcher Amplitudeneffekt nicht besteht. Es ist einfach so: Der impedanzkonstante, d. h. der reine Ueberlagerungsstörer beeinträchtigt gewöhnlich nur die verhältnismässig empfangsschwachen Sender, weil sein HF-Beitrag zur HF-Signalintensität additiv ist, während bei der störenden Sekundärmodulation der HF-Beitrag zur HF-Signalintensität multiplikativ ist. Der empfangsstarke Sender wird somit durch die Sekundärmodulation in gleichem Grade gefährdet, wie der empfangsschwache, was natürlich in erster Linie auf die an sich bestbedienten Empfangszonen alarmierend wirkt.

Man kann schätzungsweise annehmen, dass gegenwärtig rund 20 % aller Empfangsanlagen durch solche Brummstörungen dauernd mehr oder weniger beeinträchtigt werden; gänzlich frei davon sind nur 10 bis 20 %. Sie werden fast ausschliesslich durch neuere Wärmeapparate verursacht, und zwar in erster Linie durch Kochherde, ferner aber auch durch Heisswasserspeicher, Kühlschränke, Bügeleisen, Öfen usw.²⁾. Wie bereits frühere Untersuchungen der Forschungsabteilung der Generaldirektion PTT zeigten, liegt die Störungsursache in der Verwendung von magnetisierbarem Widerstandsmaterial, das leider im letzten Dezennium in zunehmendem

¹⁾ Im vorliegenden Zusammenhang wird auch immer wieder die Frage nach der von Glühlampen verursachten Brummstörung gestellt. Aus Flimmeruntersuchungen, die das Eidg. Amt für Mass und Gewicht neulich angestellt hat — es wird darüber hier nächstens berichtet —, lassen sich da nun für die wichtigsten Modulatorgrössen einiger 220-V-Glühlampentypen bei 50 Hz Betriebsfrequenz etwa folgende Angaben machen:

Nennleistung der Glühlampe	Mittlerer Querwiderstand	Störmodulationsgrad des Querwiderstandes
15 W	2430 Ω	0,06 %
25 W	2120 Ω	0,04 %
40 W	1340 Ω	0,04 %
76 W	650 Ω	0,03 %

Der angegebene Störmodulationsgrad bezieht sich auf den Schwellwert eines 1000-Hz-Normaltones. Die Glühlampe ist demnach unter normalen Betriebsbedingungen verhältnismässig harmlos — nicht aber etwa die Gasentladungslampe, welche bekanntlich besonderer Störschutzmassnahmen bedarf.

Sehr lästig war früher die vom Netzgleichrichter der Empfangsgeräte verursachte Sekundärmodulation. Heute ist jedoch diese Störungsursache durch vorbeugende Massnahmen am Netzgleichrichter praktisch überwunden und auch kaum mehr anzutreffen.

²⁾ Nach der im Bull. SEV 1945, Nr. 15, S. 457, veröffentlichten Statistik des Verkaufes elektrischer Wärmeapparate für den Haushalt in der Schweiz im Jahre 1944 betrug allein der Umsatz in jenem Jahre insgesamt 268 408 Stück!

Masse an Stelle der nichtmagnetisierbaren binären Chrom-Nickel-Legierungen getreten ist. Die magnetisierbaren Widerstandsmaterialien sind nämlich eisenhaltig und bieten daher gewisse Preisvorteile in der Herstellung der Wärmeapparate; das devisenbewirtschaftete Ausland hat sie zudem propagiert, und in den letzten Kriegsjahren waren in der Schweiz, aus rein kriegsbedingten Gründen, praktisch überhaupt nur noch die stark eisenhaltigen Legierungen erhältlich. So erklärt sich die heutige Sachlage. Aber es bestätigt sich auch hier wieder die alte Erfahrungstatsache, wonach Radiostörungen meistens im Verein mit anderen technischen Mängeln auftreten. Es ist heute bei den Herstellern von Qualitätsapparaten ein offenes Geheimnis, dass die binären Chrom-Nickel-Legierungen für die meisten Anwendungen im Wohnbezirk den eisenhaltigen Legierungen in wärmetechnischer Hinsicht überlegen sind. Zudem sei hier noch festgestellt, dass die magnetisierbaren Legierungen grundsätzlich magnetostraktiv und daher an sich schon brummfähig sind.

Angeichts der dem Rundspruchwesen drohenden Schwierigkeiten führte die Forschungsabteilung der Generaldirektion PTT in letzter Zeit neue Untersuchungen durch, und zwar wieder im meistinteressierenden Frequenzbereich 150...1500 kHz. Dabei nahm sie möglichst mit allen am Problem beteiligten Kreisen Fühlung, und es kann ganz allgemein gesagt werden, dass ein wesentlicher Teil der nun vorhandenen Erkenntnisse aus dieser Zusammenarbeit hervorgegangen ist. Besonders wertvoll war die stets zuvorkommende fachmännische Beratung des Herrn Dir. Hofer von der Firma Maxim A.-G., Aarau, und ein gleiches gilt auch gegenüber Herrn Heusser, Installationschef der Centralschweizerischen Kraftwerke, für seine Anregung und tatkräftige Förderung des Grossversuches in der Wohnkolonie Feldbreite bei Luzern. Anschliessend an diesen letzten, rein praktischen Versuch folgten dann traditionsgemäss die für das weitere Vorgehen massgebenden Beratungen in der Radiostörschutzkommission des SEV und VSE³⁾.

Es ist nun der Zweck der vorliegenden Darstellung, die erreichten Ergebnisse und die verschiedenen Standpunkte zuhanden aller an der Sache Beteiligten zusammenfassend zu würdigen.

Magnetismus der hitzebeständigen Widerstandslegierungen

Die als Störungsherd erkannten Heizleiter gehören allesamt mehr oder weniger in die besondere Gattung der sogenannten hitzebeständigen Widerstandslegierungen. Das sind zunderfeste, formbeständige Legierungen, mit relativ hohem spezifischem Widerstand und einigermaßen temperaturbeständigen Eigenschaften. Ihre Zunderbeständigkeit verdanken sie zumeist einer bestimmten oxydhaltigen Schutzschicht; ihre Formbeständigkeit bedingt hohe Warmfestigkeit und verbietet polymorphe Umwandlungen, wie auch die verlangte Temperaturbeständigkeit der Eigenschaften über-

haupt jegliche Phasenwandlungen bzw. Gefügeänderungen im Betrieb grundsätzlich ausschliesst.

Gemäss einer von *Hessenbruch*⁴⁾ gegebenen Darstellung lässt der heutige Entwicklungsstand sechs Klassen solcher Legierungen erkennen:

I. Eisenfreie Chrom-Nickel-Legierungen

Zusammensetzung in Gewichtsprozenten:

19...21 Cr 76...79 Ni < 0,5 Fe 0...3 Mn 0,5...1,5 Si < 0,25 C

Handelsnamen einiger Produkte dieser Klasse:

Brightray, Brightray-Super, Cekas II, Chromel A, Chronika 2080, CN 80, Co, Coo, CrNi, Hawe 105, NCT 8, Nichrome IV, Nichrome V (Karma), Pyrochrom A, Thopphet A, 80/20.

II. Eisenarme Chrom-Nickel-Eisen-Legierungen

Typus 15/60:

15...16 Cr 60...62 Ni 11...15 Fe 1,5...2,0 Mn 0,5...1,0 Si < 0,10 C 6...8 Mo

Contracid B7M.

14...18 Cr 60...65 Ni 18...22 Fe 1...2 Mn 0,5...2 Si < 0,5 C

Calido, Calite N, Cekas, Chromel C, Chronika 1565, CNF 65, CrNiA, CrNi₂B⁴, CrNiFe II, Glowray, Hawe 110, NCT 6, Nichrome I, Q-Alloy, Thermalloy-B, Thermochrom C, Thopphet C.

Typus 15/75:

12...20 Cr 70...80 Ni 6...10 Fe 2 Mn 2 Si < 0,15 C

BO, CrNiFe I.

III. Eisenreiche Chrom-Nickel-Eisen-Legierungen

15...20 Cr 27...35 Ni 40...45 Fe 0,5...2,0 Mn 0,5...2 Si < 0,15 C

Alloy-No 502, Antoxid, Calite A, Cekas O, Chromax, Chromel D, Chronika 2035, CNF 35, CrNi₂F⁴, Cr Ni Fe III, Fahrhte-No 1, Misco, P 265.

IV. Chrom-Eisen-Legierungen

17...19 Cr < 0,5 Ni 0,5 Mn 0,5...2 Si < 0,15 C Rest Fe

Armco 17, Ascolay 66, CS 10, Defirust Splz, Enduro A, FF 18, Stainless „MG“, 18 % CrFe.

V. Chrom-Aluminium-Eisen-Legierungen

12...15 Cr 2,5...3,5 Al 0,5...1,0 Si 0,5 Mn < 0,12 C Rest Fe CRA, Megapyr IV, Sichromal 10.

18...20 Cr 3...4 Al 0,5...1 Si 0,5 Mn < 0,12 C Rest Fe

CR 20, Megapyr III, Sichromal 12, Ultrasi.

20...22 Cr 3...5 Al 0,5 Si 0,5...1,5 Mn < 0,1 C Rest Fe

CAF, Cekas extra, Megapyr II, Permatherm, P 383.

20 Cr 5 Al 1,5...3 Co Rest Fe

Kanthal A, Kanthal D, Neochrom.

30 Cr 5 Al 0,5 Si 0,5 Mn < 0,1 C Rest Fe

CAF-Extra, Cekas Spezial, Megapyr I, P 421.

VI. Aluminium-Eisen-Legierungen

0...1 Cr 6...8 Al Rest Fe

Ferropyr II.

6...7 Cr 6...8 Al Rest Fe

Ferropyr I.

Es handelt sich nun darum, das magnetische Verhalten dieser konstitutionell mehr oder weniger verschiedenen Legierungen näher kennenzulernen, und zwar seien vorerst die *primären*, d. h. typisch ferromagnetischen Eigenschaften betrachtet:

Dazu dienen u. a. bekanntlich einige systematische Regeln. Sie lauten in der von *Messkin-Kussmann*⁵⁾ gewählten Formulierung:

a) Mischkristalle, in denen das ferromagnetische Metall als Lösungsmittel aufzufassen ist, sind ferromagnetisch. Durch

4) *W. Hessenbruch*. Zunderfeste Legierungen. Verlag J. Springer, Berlin 1940.

5) *W. S. Messkin, A. Kussmann*. Die ferromagnetischen Legierungen. Verlag J. Springer, Berlin 1932.

³⁾ Notiz im Bull. SEV 1945, Nr. 23, S. 803.

die Bildung der festen Lösung wird jedoch die Sättigungsmagnetisierung und der magnetische Umwandlungspunkt stetig herabgesetzt.

b) Chemische Verbindungen eines ferromagnetischen Metalls mit einem anderen Metall sind unmagnetisch; dagegen sind Verbindungen mit einem metalloiden Element oft noch ferromagnetisch, insbesondere die, die am reichsten an der ferromagnetischen Komponente sind.

c) In heterogenen Gemengen einer ferromagnetischen und einer unmagnetischen Kristallart bleibt die Temperatur des Umwandlungspunktes konstant, die Sättigungsmagnetisierung wird proportional dem Volumenanteil des unmagnetischen Fremdbestandteils erniedrigt.

d) Mischkristalle, in denen ein ferromagnetisches Metall in einem anderen unmagnetischen Metall oder einer Verbindung gelöst ist, sind stets unmagnetisch.

Eine erste Orientierung über die Klassen I...IV gestattet eine Untersuchung von *Wever* und *Jellinghaus*⁶⁾, die sich mit der Struktur des rein ternären Systems Chrom-Nickel-Eisen befasst. Im festen Zu-

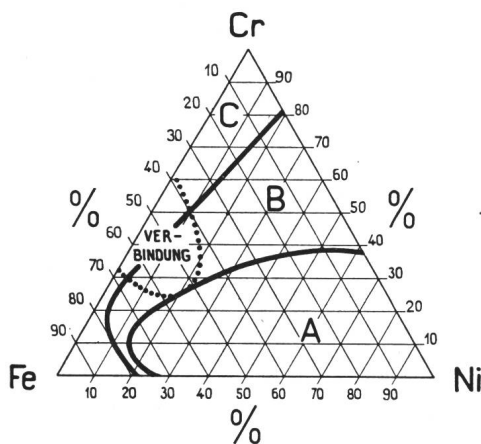


Fig. 1.

Phasenverteilung im Dreistoffsystem Chrom-Nickel-Eisen bei Raumtemperatur

stande sind danach, gemäss Fig. 1, im wesentlichen drei Strukturen bzw. Zonen zu unterscheiden: die stabile einphasige Zone A mit kubisch-flächenzentrierten Kristallgitterelementen, die Zone C mit kubisch-raumzentriertem Gitter, und die zweiphasige Zwischenzone B, in der flächenzentriertes und raumzentriertes Gitter gleichzeitig vorhanden sind. In der Zone A ist das Gefüge austenitisch, in der Zone B austenitisch-ferritisch, und in der Zone C ferritisch. So kommt es, dass *Hessenbruch* die drei ersten Legierungsklassen der austenitischen Struktur zuordnet und, da der eigentliche Austenit (γ -Eisen) infolge seines flächenzentrierten Fe-Gitters an sich unmagnetisch ist, diese Legierungsklassen grundsätzlich als nicht ferromagnetisch bezeichnet, obschon er von den eisenreichen Cr-Ni-Legierungen aber gelegentlich doch erwähnt, dass sie «schwach magnetisch» seien. Wie es scheint, interessierte eben bis anhin nur der Betrag der Sättigungsmagnetisierung, und zwar hauptsächlich mit Rücksicht auf gewisse Anwendungen bei Elektroschmelzöfen.

Etwas kritischer eingestellt zeigt sich in den magnetischen Belangen das *Nickel-Handbuch*⁷⁾.

⁶⁾ F. *Wever* und W. *Jellinghaus*. Das Dreistoffsystem Eisen-Chrom-Nickel. Mitt. Eisenforsch. Bd. 13 (1931), S. 93.

⁷⁾ *Nickel-Handbuch*. Herausg. v. Nickel-Informationsbüro G. m. b. H., Frankfurt a. M.

Ueber die Magnetisierbarkeit der Chrom-Nickel-Gruppe kommt darin folgendes zum Ausdruck:

I. Die binären Chrom-Nickel-Legierungen sind nicht magnetisch.

II. Die eisenarmen Chrom-Nickel-Legierungen sind im allgemeinen mit weniger als 28...18 % Cr (bei 45...70 % Ni) magnetisch, während die Legierungen mit höherem Chromgehalt nicht magnetisierbar sind. Das magnetische Verhalten dieser Legierungen hängt auch von ihrem Glühzustand ab. Die Grenze zwischen magnetisierbaren und nicht magnetisierbaren Legierungen wird durch weitere Legierungszusätze zu niedrigeren Chromgehalten verschoben, so sind z. B. die handelsüblichen Legierungen mit 60 % Ni, 15 % Cr, 16 % Fe, 7 % Mo und 2 % Mn oder 70 % Ni, 20 % Cr und 10 % Mo praktisch nicht magnetisierbar.

III. Die eisenreichen Chrom-Nickel-Legierungen sind schwach magnetisierbar.

Diese Feststellungen illustriert die ebenfalls aus dem *Nickel-Handbuch* stammende Fig. 2 mit Hilfe einer gestrichelten Kurve, welche die Zone der magnetisierbaren Legierungen nach oben begrenzt; eine massive Kurve zeigt ferner die Grenzlinie des Gebietes der Legierungen mit austenitischem Gefüge; und zudem sind einige handelsübliche Legierungen eingetragen. Dabei bezieht sich Fig. 2 nicht etwa, wie Fig. 1, auf das rein ternäre System, sondern sie berücksichtigt die tatsächliche Konstitution der handelsüblichen Legierungen.

Die als magnetisierbar bezeichnete Zone dürfte wahrscheinlich mehr oder weniger identisch sein mit der Zone der magnetisierbaren Nickel-Mischkristalle. Nach dem, was über die binären Beziehungen des Nickels zu Chrom und Eisen bekannt ist, sind jedenfalls in dieser Hinsicht die Kurvenschnittpunkte mit den binären Grenzflächen typisch: Nickel bildet nämlich mit Chrom Mischkristalle bis zu 35 % Cr, wobei die Curietemperatur bereits mit 8 % Cr unter Raumtemperatur absinkt; und mit Eisen bildet Nickel ebenfalls Mischkristalle bis zirka 70 % Fe und wird ungefähr im gesättigten Zustand unmagnetisch.

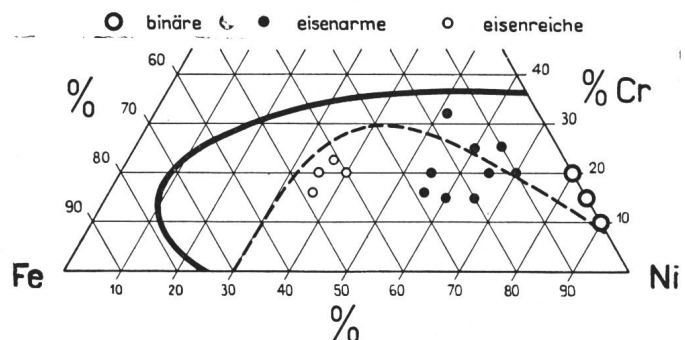


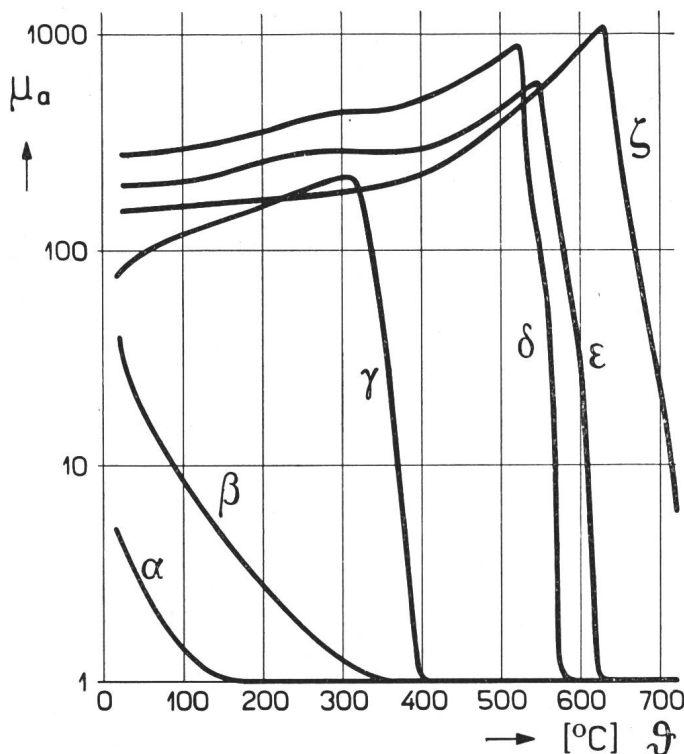
Fig. 2.

Ueberblick über die hitzebeständigen Chrom-Nickel-Legierungen

Die IV. Klasse, die Cr-Fe-Legierung, gehört dagegen, gemäss den Erläuterungen zur Fig. 1, der reinferritischen Struktur an. Sie ist somit als stark magnetisierbar zu bezeichnen, zumal die Curietemperatur noch bei 600...700° C liegt. Ebenfalls die Legierungsklassen V und VI, d. h. die alitierten

Eisen, sind von ferritischer Struktur und daher stark magnetisierbar, zumal auch bei ihnen die Curie-temperatur weit über Raumtemperatur liegt.

Nach diesen rein prinzipiellen Feststellungen über die Magnetisierbarkeit der verschiedenen hitze-



α	12,5 % Cr	60 % Ni	2,5 % Mn	25 % Fe	$\kappa \approx 9 \cdot 10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$
β	15 % Cr	65 % Ni	20 % Fe		$\kappa \approx 9 \cdot 10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$
γ	99,5 % Ni	0,5 % Co			$\kappa \approx 120 \cdot 10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$
δ	20 % Cr	5 % Al	3 % Co	Rest Fe	$\kappa \approx 7 \cdot 10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$
ε	20 % Cr	3,5 % Al	Rest Fe		$\kappa \approx 8 \cdot 10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$
ζ	6 % Cr	7 % Al	Rest Fe		$\kappa \approx 8 \cdot 10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$

Fig. 3.
Anfangspermeabilität einiger hitzebeständiger Widerstandslegierungen

beständigen Legierungen stellt sich jetzt die weitere Frage nach den sogenannten sekundären magnetischen Eigenschaften. Denn diese sind — wie in der Uebertragungstechnik allgemein — auch im vorliegenden Störungsproblem letzten Endes entscheidend, und zwar interessiert vor allem der Betrag

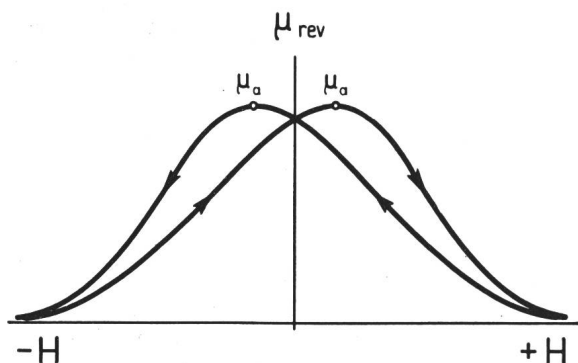


Fig. 4.
Hystereseschleife der reversiblen Permeabilität (Grenzcurve)

der reversiblen Permeabilität in Funktion von Vormagnetisierung und Temperatur. Mit Hilfe eines Glühofens und eines HF-Scheinwiderstandsmessplatzes wurden daher an verschiedenen weichgeglühten Drahtmustern SkinEffektmessungen durchgeführt. Fig. 3 zeigt die so ermittelte Temperaturabhängigkeit der reversiblen Permeabilität bei der Vormagnetisierung Null: die sogenannte Anfangspermeabilität μ_a . Dazu zeigt ferner Fig. 4 den prinzipiellen Verlauf der reversiblen Permeabilität μ_{rev} über einen geschlossenen Zyklus der Vormagnetisierung — durch welche letztere μ_{rev} bekanntlich eindeutig bestimmt ist.

Damit wäre das magnetische Verhalten der Widerstandslegierungen einigermaßen klargestellt, und es soll nun zum Verständnis des bereits erwähnten störenden Modulationsvorganges die

Impedanz der Heizleiter

näher betrachtet werden. Dazu sei der Heizleiter zunächst als Zweipol behandelt, für dessen HF-Impedanz im vorliegenden Frequenzbereich

$$Z_H = R + j\omega (L_i + L_a)$$

gesetzt werden kann, wobei die beiden L zugeordneten Indices die innere und die äussere Induktivität des Heizleiters voneinander unterscheiden. Die Reaktanz $j\omega L_a$ darf zeitlich als annähernd konstant aufgefasst werden und soll daher hier weiter nicht interessieren. Dagegen sind die Komponenten R und $j\omega L_i$ des ferromagnetischen Heizleiters verhältnismässig stark modulationsfähig, wie dies die folgenden, aus der SkinEffekttheorie übernommenen Ueberlegungen grundsätzlich zeigen.

Danach gilt bekanntlich für den üblichen Runddraht vom Radius r_0 , der Länge l und der Leitfähigkeit κ die Beziehung:

$$R + j\omega L_i = \frac{\kappa l}{2\pi r_0} \frac{J_0(kr_0)}{J_1(kr_0)},$$

mit den beiden Besselfunktionen nullter und erster Ordnung $J(kr_0)$, und

$$k = (1-j) \sqrt{\frac{1}{2} \omega \kappa \mu}.$$

Führt man noch den Gleichstromwiderstand

$$R_0 = \frac{l}{r_0^2 \pi \kappa}$$

ein und setzt

$$x = \frac{r_0}{2} \sqrt{\pi f \kappa \mu},$$

so folgt die in Fig. 5 gezeigte explizite Darstellung; und für noch grössere Werte von x wird allmählich

$$R = \omega L_i = \frac{l}{2r_0} \sqrt{\frac{\mu f}{\pi \kappa}}.$$

Wie zahlreiche Versuche immer wieder gezeigt haben, ist die hochfrequente Durchflutung der Heizleiter so schwach, dass man es stets mit der reversiblen Permeabilität zu tun hat, d. h.

$$\mu = \mu_0 \mu_{rev}.$$

Diese reversible Permeabilität des ferromagnetischen Heizleiters kann nun im Betriebszustande niederfrequent moduliert werden, indem die Vormagnetisierung mit der Betriebsstromstärke zeitlich pulsiert. Dabei ist die interferierende niederfrequente Vormagnetisierung zirkular senkrecht zur Leiterachse orientiert, analog dem hochfrequenten Feld, da ja beide Durchflutungen achsial sind.

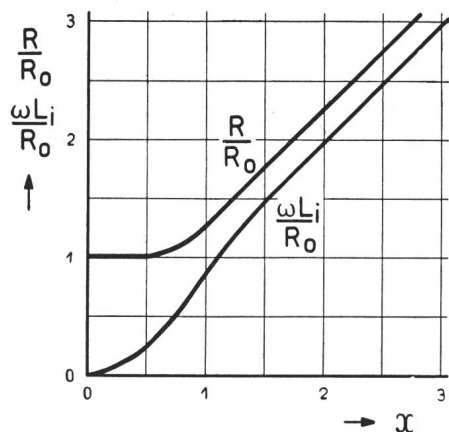


Fig. 5.
Skinneffekt am homogenen Runddraht

Die reversible Permeabilität ist aber nicht mehr über den Leiterquerschnitt konstant, wie dies die Skinneffekttheorie des homogenen Runddrahtes voraussetzt, sondern eine der Vormagnetisierung gemässe Funktion des Abstandes von der Leiterachse. Weitere divergierende Tatsachen sind: das Vorhandensein der Deckschicht, die ferromagnetische Feinstruktur, sowie die magnetische Härte der Substanz, die ihrerseits stark von der Wärmebehandlung abhängig ist (Fig. 6). Immerhin lassen

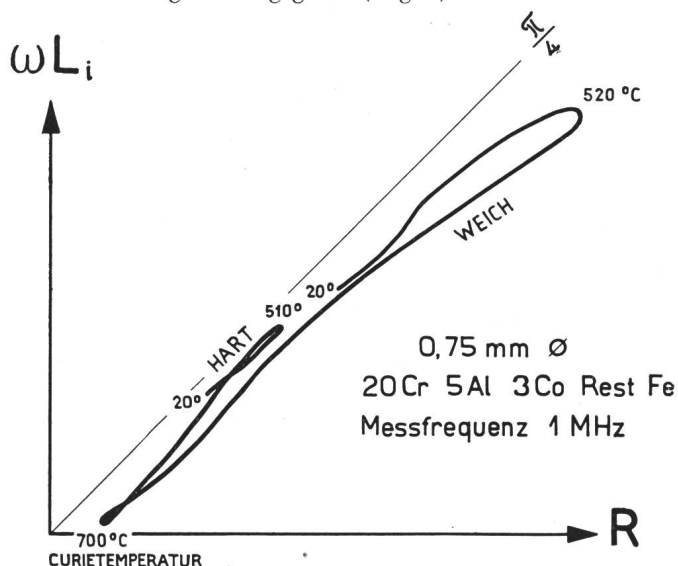


Fig. 6.
Innere Impedanz eines Runddrahtes, vor und nach dem Weichglühen

sich aber damit die an sich meist interessierenden Extremalwerte der Aussteuerung für die praktischen Bedürfnisse hinreichend genau erfassen, wenn man als reversible Permeabilität der hochfrequent durchfluteten Schicht nacheinander die Werte für

Vormagnetisierung Null und Sättigung einsetzt. Die niederfrequente Durchflutung der Heizleiter ist nämlich in der Regel so intensiv, dass zumindest in der hochfrequent durchfluteten Schicht mit Sättigungserscheinungen zu rechnen ist.

Ein 1 m langer Runddraht von 1 mm ϕ habe z. B. bei 500°C die Anfangspermeabilität 1000 und den spez. Widerstand 1,4 Ω mm²/m. Demnach bewegen sich z. B. bei 1 MHz die zu erwartenden Pulsationen in den Grenzen

$$|R + j\omega L_i|_{\min} \approx 2 \Omega, \quad |R + j\omega L_i|_{\max} \approx 33 \Omega.$$

Besonders aufschlussreich ist die oszillographische Beobachtung der Schwingungsformen. Davon zeigt zunächst Fig. 7 vier typische Muster der an Heizelementen festgestellten Impedanzschwankungen. Der Form 1 entspricht die quasihomogene hochfrequente Durchflutung des gesamten Leiterquerschnittes; in Kurve 2 macht sich bereits im Zeit-

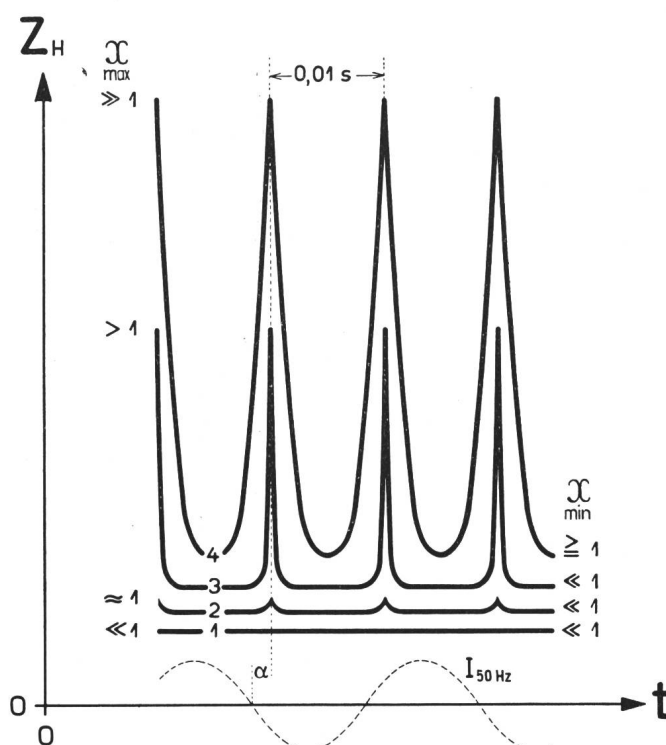


Fig. 7.
Typische Pulsationsmuster eines Heizelementes

moment der Vormagnetisierung Null etwas Skinneffekt bemerkbar, wobei natürlich die Maxima gegenüber den Nulldurchgängen des NF-Stromes um den Hysteresewinkel α verschoben sind; in Kurve 3 wechselt die entsprechende hochfrequente Durchflutung zwischen der stationären quasihomogenen Stromverteilung und dem typischen Skinneffekt; und die Kurve 4 endlich zeigt den Zustand, bei welchem die hochfrequente Durchflutung dauernd an die Randzone gebunden ist. Man könnte sich demnach diese vier Kurventypen der Reihe nach so entstanden denken, als ob z. B. die Beobachtungsfrequenz an einem bestimmten Draht von Kurve zu Kurve stufenweise erhöht worden wäre; oder, auf die üblichen Haushaltsgeräte bezogen, dürfte man erfahrungsgemäss etwa auch so sagen: Dünne Drähte und Bänder, von maximal $2 \times$ Leitschichtdicke, zeigen ein Verhalten vom Typus 2;

mittlere Leiter sind im Langwellenbereich ebenfalls dem Typus 2 zugeordnet, dagegen im Mittelwellenbereich den Typen 3 und 4; und bei den verhältnismässig dicken Leitern begegnet man meistens den Schwingungsformen vom Typus 4.

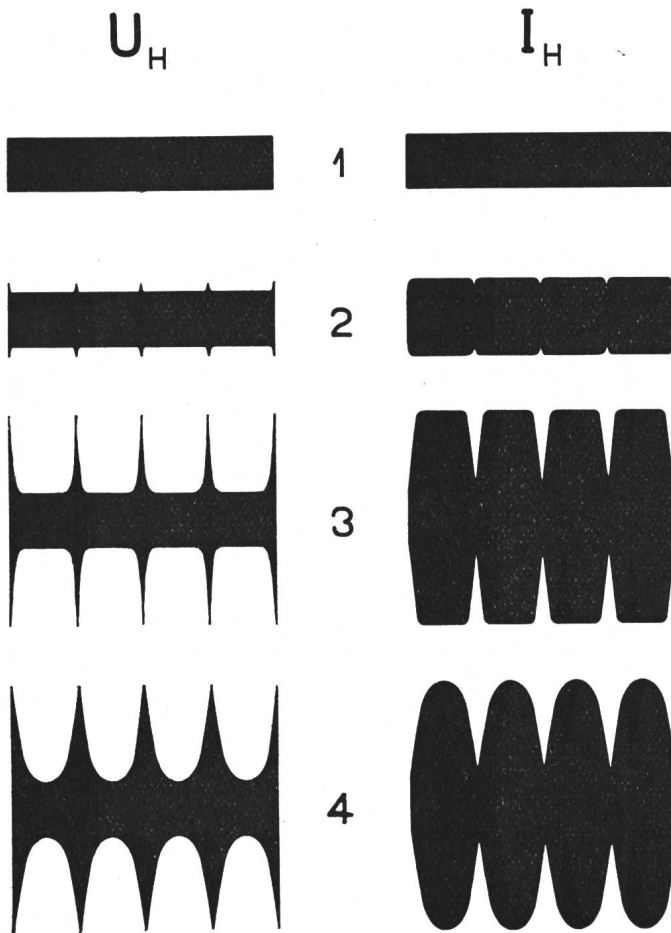


Fig. 8.
Grundformen der Sekundärmodulation im Heizkreis

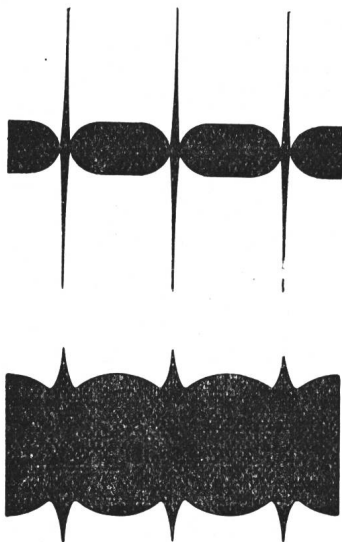


Fig. 9.
Kombinationsformen

Liegt somit der Heizkörper in einem hochfrequent durchfluteten Netzwerk, so entsteht eine Sekundärmodulation, die am Heizkörper grundsätzlich die in Fig. 8 dargestellten Strom- und Spannungsformen

aufweist. Ob dann an den HF-Klemmen der Empfangsanlage mehr die Strom- oder die Spannungsform zum Ausdruck kommt, ist eine Frage der Kopplungsart. Recht interessant sind zuweilen die bei gemischten Kopplungen an der Empfangsanlage auftretenden Kombinationsformen, von denen Fig. 9 noch zwei Muster zeigt. Damit ist denn auch ohne weiteres verständlich, weshalb die akustischen Wirkungen in der Empfangsanlage in bezug auf Lautstärke und Tönung so mannigfaltig sind.

Natürlich pulsiert auch die Temperatur des Heizleiters. Aus Rechnungen folgt aber, dass die damit verbundenen Schwankungen der HF-Impedanz praktisch vernachlässigbar sind.

Die quantitative Bedeutung des magnetischen Modulationseffektes demonstriert in einfachster Weise die Gegenüberstellung der eigentlichen

Modulatorgrössen des Störers

zur Netzimpedanz, die beispielsweise beim üblichen einphasigen Anschluss des Störers statistisch zu $150\ \Omega$ angenommen wird. Hierbei interessiert gegenwärtig am meisten das Verhalten des einphasig geschalteten Kochherdes, mit ferritischen 380-V-Heizelementen, weshalb im folgenden beispielsweise einige davon gewonnene Messergebnisse kurz mitgeteilt werden.

So gibt zunächst Fig. 10 einen Begriff von der statistischen Impedanz in Funktion der jeweiligen

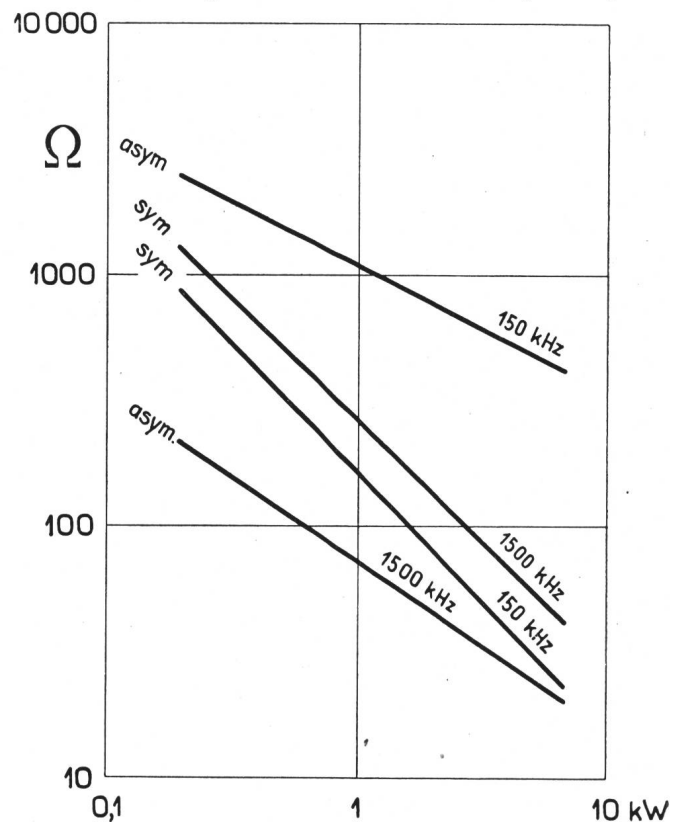


Fig. 10.
Betriebsimpedanz eines mittleren Kochherdes

Betriebsleistung. Die Angaben beruhen auf praktischen Kochversuchen und gelten für die Kochherdklemmen, wobei zwischen symmetrischen und asymmetrischen Komponenten, in bezug auf das

Chassis, unterschieden wird. Ueber die Schwankungen dieser mittleren Modulatorimpedanz gibt dann Fig. 11 Auskunft. Sie zeigt das Schwankungsmass, gehörig auf 1000 Hz bezogen, in Prozent ausgedrückt, wobei wiederum zwischen symmetrischen und asymmetrischen Komponenten unterschieden wird. Dazu zeigen punktierte Kurven noch die Wirkung eines zum Heizkreis parallel geschalteten $0,1\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensators.

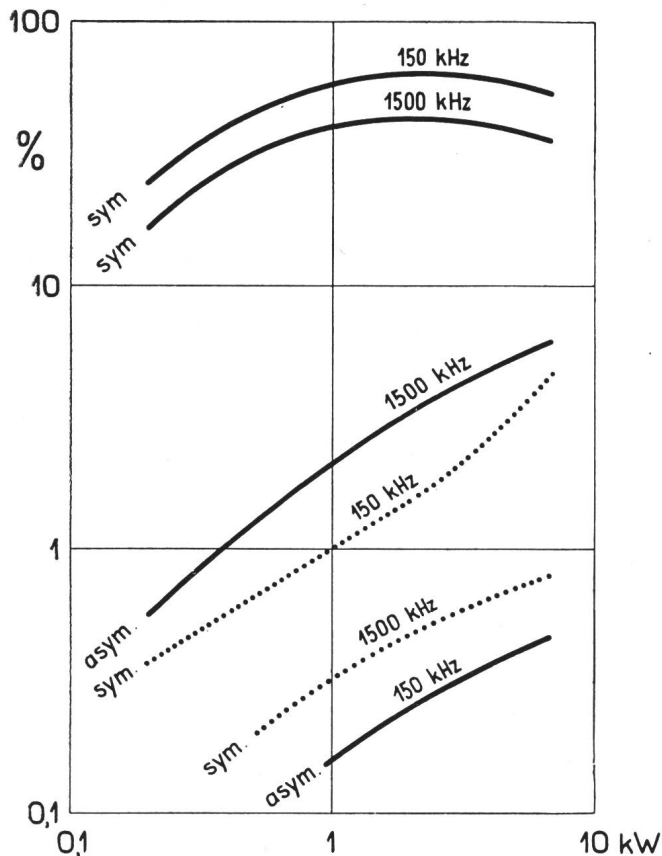


Fig. 11.

Störmodulationsgrad der Betriebsimpedanz eines mittleren Kochherdes

Ferner wurde am Kochherd noch die Abhängigkeit des Störmodulationsgrades von der HF-Durchflutung im Bereich $15\text{ }\mu\text{A} \dots 25\text{ mA}$ überprüft. Es wurde dabei festgestellt, dass der Störmodulationsgrad im angegebenen HF-Amplitudenbereich praktisch konstant bleibt. Ein Amplitudeneffekt im eingangs angedeuteten Sinne kommt also praktisch nicht in Frage, d. h., man darf stets die *reversible* Permeabilität als die massgebende HF-Permeabilität in Rechnung setzen.

Störschutzmassnahmen

Aus den vorliegenden Erkenntnissen lassen sich nun für den Wohnbezirk ganz bestimmte Störschutzansprüche formulieren; sie lauten in Rezeptform:

Vorbeugende Massnahmen

Sobald es die Marktverhältnisse irgendwie gestatten, sollen, wo immer möglich, nichtmagnetisierbare Heizelemente verwendet werden. Hierfür sind

in erster Linie die an sich bestbewährten binären Chrom-Nickel-Widerstandslegierungen geeignet, ferner aber auch die eisenarmen Legierungen der Crom-Nickel-Gruppe, insofern die Curietemperatur unter 20°C liegt. Sollten ausnahmsweise zwingende Gründe gegen die Verwendung der genannten Widerstandslegierungen bestehen, so ist normalerweise schon in der Fabrikation eine Grobentstörung mit geeigneten Kondensatoren anzuordnen, oder es sei denn, dass die Heizleiter an sich so dünn, bzw. flach sind, dass bis zur Grenzfrequenz 1500 kHz noch eine dauernd quasihomogene HF-Durchflutung über den gesamten Temperaturbereich gewährleistet ist. Eine weitere in der HF-Technik übliche Variante, die HF-Durchflutung an eine willkürlich aufgetragene, verhältnismässig dünne Leitschicht zu binden, ist leider wärmetechnisch nicht praktikabel.

Nachträgliche Massnahmen

Hier hat man zunächst zu unterscheiden zwischen empfangsseitigen und störeseitigen Massnahmen. Ob man im Einzelfall mehr die eine oder die andere Art des Vorgehens wählt, hängt jeweils von den rein örtlichen Gegebenheiten ab. Planmässig gesehen stehen natürlich die technisch-ökonomischen Gesichtspunkte im Vordergrund. Danach erscheint bei der heutigen technischen Situation eine möglichst allgemeine störerseitige Grobentstörung als unerlässlich. Soweit nötig, kann diese dann von Fall zu Fall noch durch empfangsseitige Schutzmassnahmen ergänzt werden. Dazu sind empfangsseitig grundsätzlich alle diejenigen Massnahmen geeignet, welche darauf abzielen, die Störfestigkeit der Empfangsanlage in bezug auf die übrige elektrische Hausinstallation zu erhöhen⁸⁾.

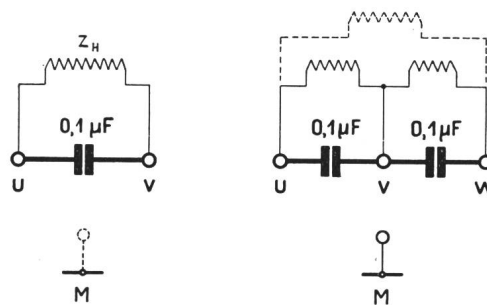


Fig. 12.

Grobstörerschutz durch Kondensatorbeschaltung

Störerseitig kommt in erster Linie die Beschaltung mit Kondensatoren in Frage. Sie soll möglichst am Störer selbst erfolgen, oder im Zuge der unmittelbaren Zuleitung, oder in der Steckdose, oder gar im Verteiler, wenn es nicht anders geht. Dabei genügt meistens als Grobschutz die gewöhnliche Querbeschaltung, wie dies Fig. 12 grundsätzlich für ein- und mehrphasige Heizgeräte andeutet.

Erfolgt diese nachträgliche Beschaltung im Rahmen einer grösseren Störschutzaktion, so ist es, mit Rücksicht auf den Entstörungsaufwand, selbstverständlich nötig, bei jedem einzelnen Gerät rasch

⁸⁾ Vgl. *Departementsverfügung* vom 29. I. 35 betr. Schutz des Radioempfanges, Abschn. II, s. Publ. Nr. 115 des SEV.

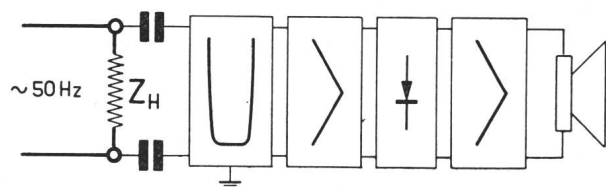


Fig. 13.
Kontrollgerät

und zuverlässig feststellen zu können, ob es auch tatsächlich störfähig ist. Hierbei kann man natürlich verschiedene Wege beschreiten. Ein besonders

einfaches Verfahren stützt sich auf den durch die pulsierende Ummagnetisierung hervorgerufenen Barkhausen-Effekt. Dadurch entsteht nämlich unter den vorliegenden Betriebsbedingungen an den Klemmen des Heizelementes eine Rauschspannung, die z. B. im Langwellenbereich mit dem gewöhnlichen Rundspruchempfänger noch leicht nachweisbar ist (Fig. 13).

Adresse der Autoren:

Dr. W. Gerber und A. Werthmüller, Forschungsabteilung der Generaldirektion PTT, Bern.

Moderne und künftige Lichtquellen

Vortrag, gehalten an der Beleuchtungstagung des SEV vom 22. November 1945 in Bern,
von J. Guanter, Zürich

621.32

Der Autor wirft einen Rückblick auf die Entwicklung der Glühlampen und beschreibt Mittel und Wege, die Lichtausbeute weiter zu verbessern. Eine wesentliche Steigerung der heutigen Werte ist mit den bisher bekannten Leuchtdrahtmaterialien nicht zu erwarten. Wesentlich höher liegt der Ausnützungsgrad der elektrischen Energie bei den Entladungslampen, von denen die Niederdruck-Quecksilberdampflampen mit Leuchtstoffen (Fluoreszenzlampen) eingehender Betrachtung unterzogen werden. Die neuesten Produkte der amerikanischen, englischen und schwedischen Industrie werden erwähnt und deren Ausführung, die eine gewisse Normung anstrebt, beschrieben. Auf dem Gebiete der Zusatzgeräte wird auch ein neues Schweizerprodukt genannt. Zum Schluss ist noch die Rede von einer Quecksilber-Hochdrucklampe und der Entwicklung anderer neuer Lichtquellen in den grossen Lampenfabriken des Auslandes.

Rétrospective du développement des lampes à incandescence et description des moyens aptes à améliorer toujours plus leur coefficient d'efficacité. Les matières utilisées jusqu'ici pour le filament incandescent ne permettent guère d'augmenter les valeurs actuelles. Le rendement de l'énergie électrique est sensiblement plus élevé dans le cas des lampes à décharge. M. Guanter traite en détail des lampes à vapeur de mercure à basse pression avec matière luminescente (lampes fluorescentes). Il mentionne également les modèles les plus récents de l'industrie américaine, anglaise et suédoise et décrit leur exécution, qui a tendance à se normaliser. Parmi les appareils auxiliaires, il signale notamment un nouveau produit suisse. Il termine son exposé en parlant d'une lampe à vapeur de mercure à très haute pression et du développement d'autres nouvelles sources lumineuses dans les grandes fabriques de lampes de l'étranger.

Es ist interessant und wertvoll, von Zeit zu Zeit einen Rückblick auf den Werdegang eines technischen Gebietes zu tun, um daraus Folgerungen für eine weitere Entwicklung zu ziehen. Auf dem Gebiet der Beleuchtung, das wegen seiner Verquickung mit allen technischen und wirtschaftlichen Belangen unseres Lebens jedermann angeht, ist die Frage: Wohin mit der Entwicklung? immer aktuell. Es ist allerdings nicht besonders günstig, diese Frage jetzt zu beantworten; denn die eben abgelaufene Epoche der Kriegsproduktion hat die wissenschaftliche Forschung auf ihre besondere Weise gesteuert, sodass begonnene Arbeiten auf dem Gebiete der Lichttechnik unterbrochen wurden oder nur langsam gefördert werden konnten. Doch schon sind die Forschungen wieder aufgenommen worden, und es künden sich neue Lichtquellen an, die sicher auch bald bei uns Eingang finden werden. Die folgende Uebersicht befasst sich mit Lampen, die z. T. schon bekannt sind, und mit einigen Aussichten in der Herstellung von Lichtquellen, wobei zwischen Glühlampen und Quecksilber-Entladungslampen zu unterscheiden ist.

I. Glühlampen

Die Glühlampe ist seit ihrer Erfindung stets Gegenstand intensiver technischer und wissenschaftlicher Forschungen gewesen; die entscheidenden Marksteine ihrer Vervollkommenung heissen: Wolfram, Gasfüllung und Wendel. Seitdem der Physiker

Lummer¹⁾ die Gesetzmässigkeiten der Strahlung des schwarzen Körpers erkannte, sind auch die Grenzen des Temperaturstrahlers klar, und es hat nicht an der Ausdauer der Forscher vieler Länder gefehlt, die Spanne zwischen dem Erreichten und dem Möglichen zu verkleinern. Die Möglichkeit, die Lichtausbeute der Glühlampe zu erhöhen und eine bessere Angleichung ihrer Lichtfarbe an das natürliche Licht zu erreichen, wurde zuerst mit dem Material des Glühdrahtes versucht. Heute verwendet man Wolfram mit einer Schmelztemperatur von 3660° K; die Betriebstemperatur liegt je nach dem Lampentyp zwischen 2700 und 3000° K und der visuelle Nutzeffekt oder der Wirkungsgrad bei ungefähr 5 % der aufgewendeten Leistung.

Es gibt Stoffe²⁾, die höher als Wolfram erhitzt werden können und erst bei 4000° K und darüber schmelzen, so dass der visuelle Nutzeffekt auf etwa 8 % erhöht würde. Diese Verbindungen (Tab. I) lassen sich sehr schlecht zu Drähten verarbeiten und haben ausserdem eine schnelle Verdampfungsgeschwindigkeit, so dass man sie gleichwohl nicht höher erhitzen dürfte als Wolfram. Deswegen wurde in anderer Weise versucht, die Lichtausbeute zu

¹⁾ Otto Lummer: Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik. München und Berlin, Verlag R. Oldenbourg, 1918.

²⁾ Pirani und Summerer: Physikalische Energiebilanz — technische Ausnutzung und Bewertung unserer Lichtquellen. Die Lichttechnik Bd. 13(1936), S. 1.