

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 23 (1945)

Heft: 6

Artikel: Störungen des Rundspruchempfangs durch elektrothermische Apparate

Autor: Gerber, W. / Werthmüller, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873202>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZ. TELEGRAPHEN- UND TELEPHON-VERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES ET DES TÉLÉPHONES SUISSES

BOLLETTINO TECNICO

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI



Inhalt — Sommaire — Sommario: Störungen des Rundspruchempfanges durch elektrothermische Apparate. — Principes de la téléphonie à courants porteurs. (Suite et fin.) — Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln? (Fortsetzung und Schluss.) Comment reconnait-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb? (Suite et fin.) — Die Belastung von Leitungsbündeln. — Neuerungen auf dem Gebiete der Nachrichtentechnik in der Schweiz für das Jahr 1942. — Verschiedenes. Divers. — Personalmeldungen. Personnel. Personale. — An unsere Abonnenten. A nos Abonnés. Ai nostri Abbonati.

Störungen des Rundspruchempfanges durch elektrothermische Apparate.

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 nicht-magnetisierbares Widerstandsmaterial empfohlen; andernfalls sind störfähige Apparate mit Kondensatoren zu beschalten.

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 sind im Laufe der Jahre hauptsächlich gewisse, an die Wechselstromnetze gebundene Arten vom Brummstörungen hervorgetreten.¹⁾ Wie dies dann grund-

sätzlich immer der Fall ist, wenn die elektrische Hausinstallation als Störungsträger mitwirkt, so sind auch diese Brummstörungen im Frequenzspektrum selektiv verteilt, wobei natürlich 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 hat sich daher zeitweise die Meinung gebildet, wonach die durch Sekundärmodulation verursachten Störungen in Sendernähe verhältnismässig grösser würden. Umfangreiche diesbezügliche Untersuchungen haben aber immer wieder gezeigt, 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 im Falle 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 unserer

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

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, 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 %

wobei sich der angegebene Störmodulationsgrad auf den Schwellwert eines 1000 Hz-Normaltones bezieht. 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.

Forschungsabteilung gezeigt haben, liegt die Störungsursache in der Verwendung von magnetisierbarem Widerstandsmaterial, das leider im letzten Dezennium in zunehmendem Masse an Stelle der nicht-magnetisierbaren 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 bestätigte 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.

Angesichts der dem Rundspruchwesen drohenden Schwierigkeiten hat unsere Forschungsabteilung in letzter Zeit erneute Untersuchungen durchgeführt, und zwar wieder im meistinteressierenden Frequenzbereich: 150...1500 kHz. Dabei hat sie möglichst mit allen am Problem beteiligten Kreisen Fühlung genommen, und es kann ganz allgemein gesagt werden, dass ein wesentlicher Teil der nunmehr vorhandenen Erkenntnisse aus dieser Zusammenarbeit hervorgegangen ist. Besonders wertvoll war die stets zuvorkommende fachmännische Beratung des Herrn *Dir. Hofer* von der Firma *Maxim AG.*, 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. Anschliessend an diesen letzten, rein praktischen Versuch folgten dann traditionsgemäss die für das weitere Vorgehen massgebenden Beratungen in der *Radiostörschutzkommission des SEV und VSE*.³⁾

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 sog. 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 Eigenschaf-

ten überhaupt 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, Co, 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, CrNi, B⁴, 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, CrNi, F⁴, CrNiFe III, Fahrte-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 388.

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

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

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

³⁾ Notiz im Bull. SEV 1945 S. 803.

- 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 Umpunktungspunktes 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 Zustande sind danach, gemäss Fig. 1, im wesentlichen

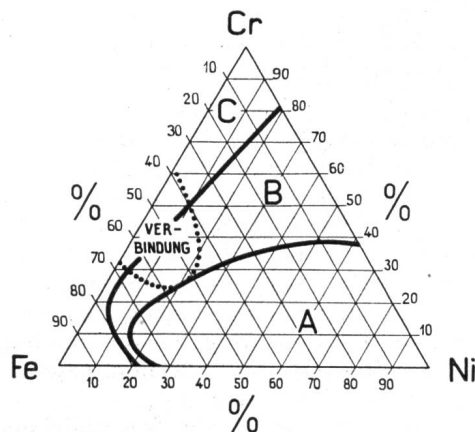


Fig. 1. Phasenverteilung im Dreistoffsystem Chrom-Nickel-Eisen bei Raumtemperatur.

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

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

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

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

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.

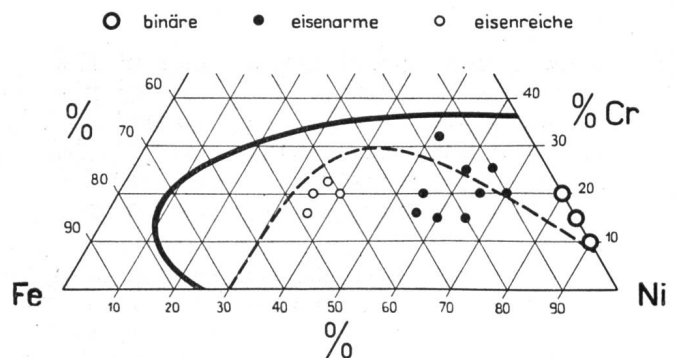
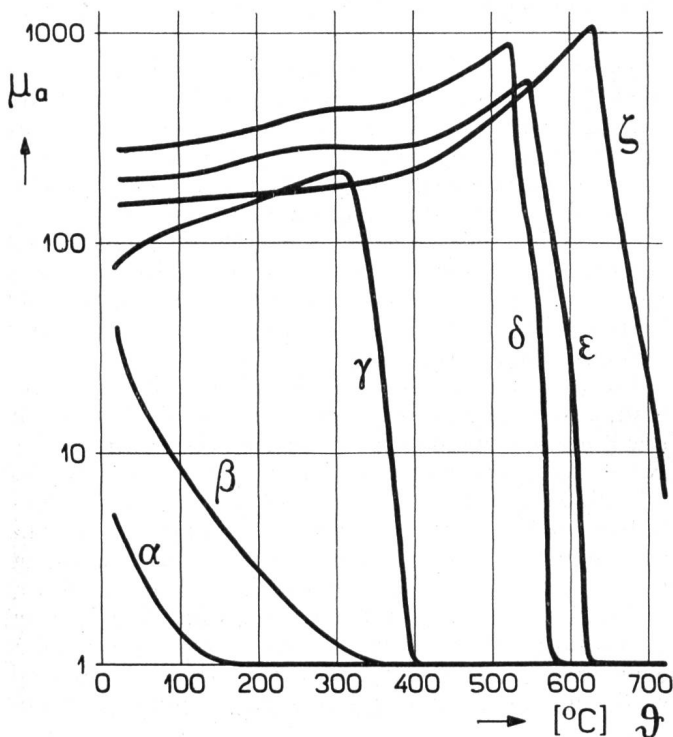


Fig. 2. Ueberblick über die hitzebeständigen Chrom-Nickel-Legierungen.

Die IV. Klasse, die Cr-Fe-Legierung, gehört dagegen, gemäss den Erläuterungen zu 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 Curietemperatur weit über Raumtemperatur liegt.

Nach diesen rein prinzipiellen Feststellungen über die Magnetisierbarkeit der verschiedenen hitzebeständigen Legierungen stellt sich jetzt die weitere Frage nach den sog. 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 der reversiblen Permeabilität in Funktion von Vormagnetisierung und Temperatur. Mit Hilfe eines Glühofens und eines HF-Scheinwiderstandsmessplatzes wurden daher an verschiedenen weichgeglühten Drahtmustern Skin-Effektmessungen durchgeführt. Fig. 3 zeigt die so



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

Fig. 3. Anfangspermeabilität einiger hitzebeständiger Widerstandslegierungen.

ermittelte Temperaturabhängigkeit der reversiblen Permeabilität bei der Vormagnetisierung Null: die sog. 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 klaggestellt, und es soll nun zum Verständnis des bereits erwähnten störenden Modulationsvorganges die

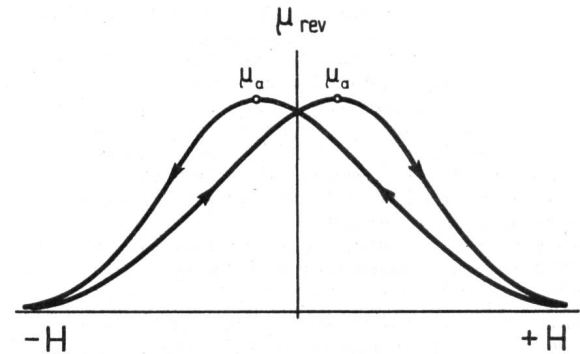


Fig. 4. Hystereseschleife der reversiblen Permeabilität (Grenzkurve).

Impedanz der Heizleiter

etwas 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 Indizes 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 Skin-Effekttheorie übernommenen Ueberlegungen grundsätzlich zeigen.

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

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

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;

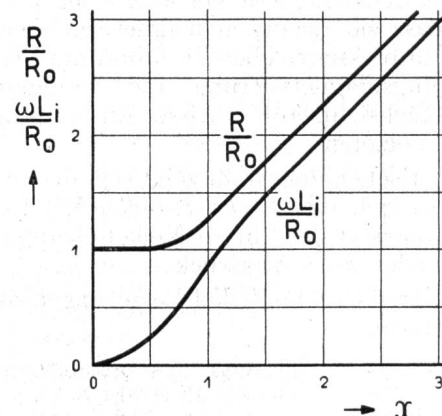


Fig. 5. Skin-Effekt am homogenen Runddraht.

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.

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

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.

Die reversible Permeabilität ist aber nicht mehr über den Leiterquerschnitt konstant, wie dies die Skineffekttheorie 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. Vgl. Fig. 6. Immerhin lassen 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 \varnothing 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

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

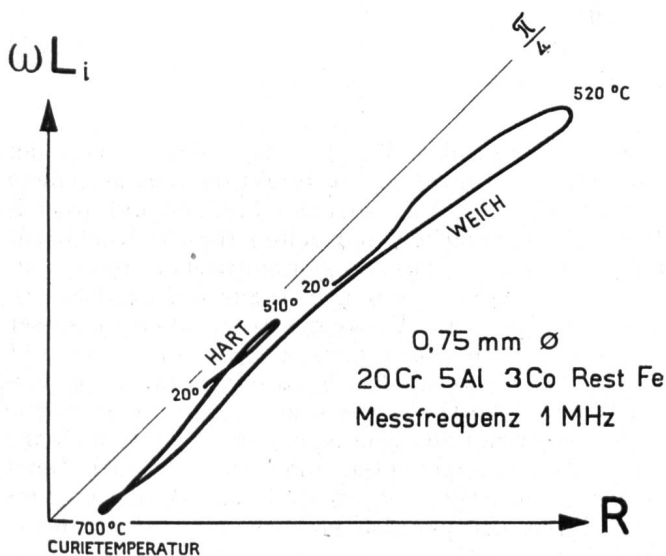


Fig. 6. Innere Impedanz eines Runddrahtes, vor und nach dem Weichglühen.

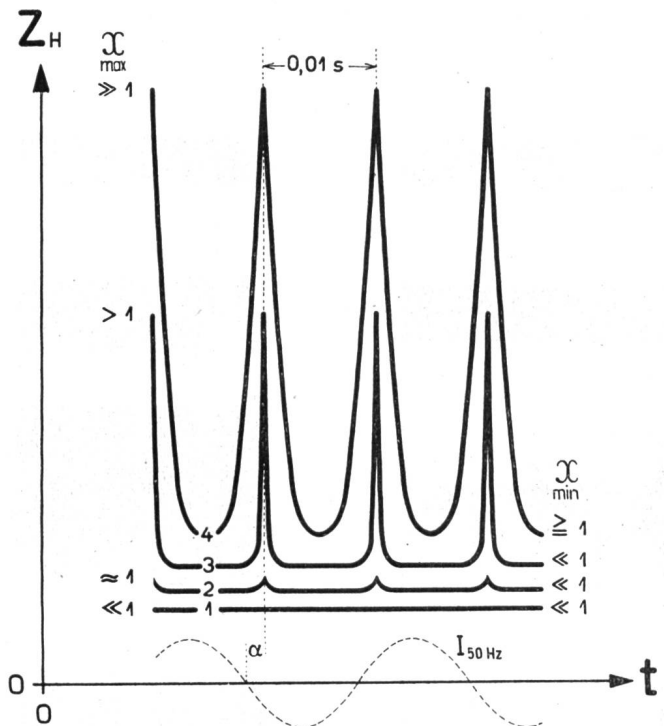


Fig. 7. Typische Pulsationsmuster eines Heizelementes.

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 Zeitmoment der Vormagnetisierung Null etwas Skin-Effekt 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 Skineffekt; 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 Haushaltungsgeräte 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.

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 Spannungs-

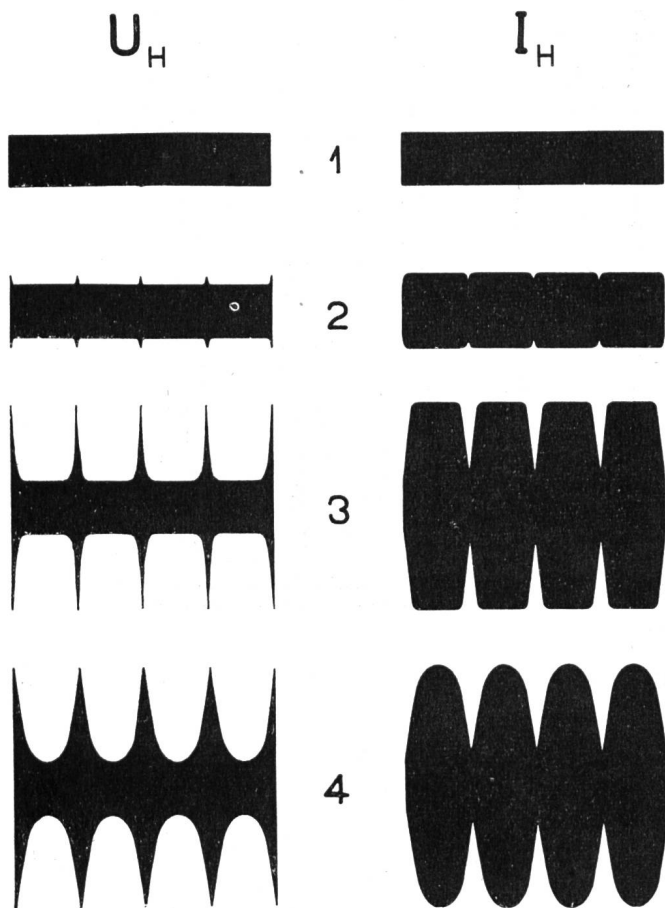


Fig. 8. Grundformen der Sekundärmodulation im Heizkreis.

form 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 Wir-

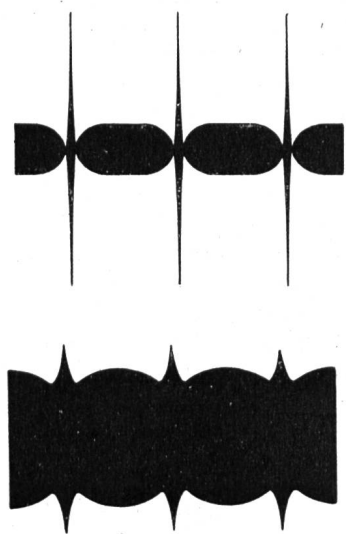


Fig. 9. Kombinationsformen.

kungen in der Empfangsanlage in bezug auf Lautstärke und Tönung so mannigfaltig sind.

Natürlich pulsiert auch die Temperatur des Heizleiters. Aus diesbezüglichen Berechnungen 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 150Ω angenommen wird. Hierbei interessiert gegenwärtig am meisten das Verhalten des einphasig geschalteten Kochherdes, mit ferritischen 380 V-Heizelementen, weshalb im folgenden beispielsweise einige diesbezügliche Messergebnisse kurz mitgeteilt werden.

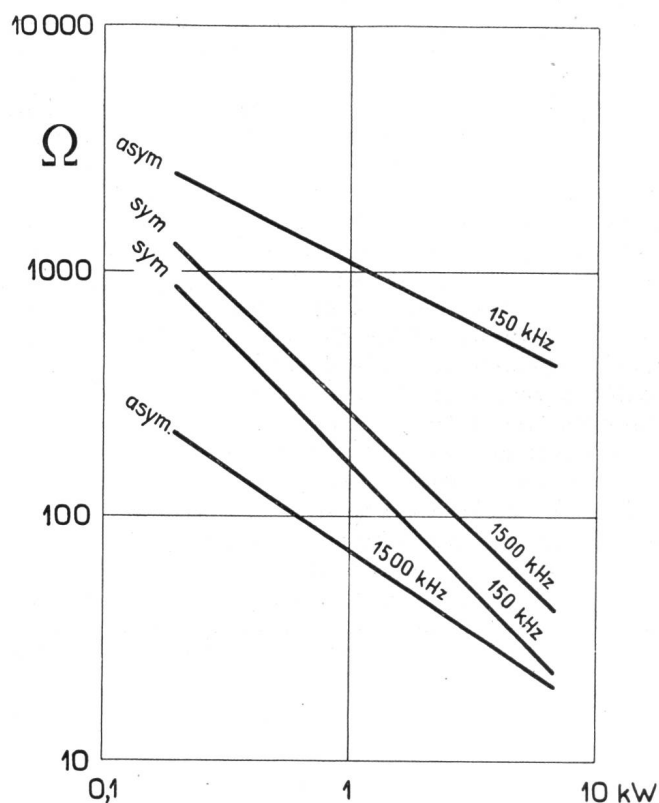


Fig. 10. Betriebsimpedanz eines mittleren Kochherdes.

So gibt zunächst Fig. 10 einen Begriff von der statistischen Impedanz in Funktion der jeweiligen 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 $0,1 \mu\text{F}$ -Kondensators.

Ferner wurde am Kochherd noch die Abhängigkeit des Störmodulationsgrades von der HF-Durchflutung

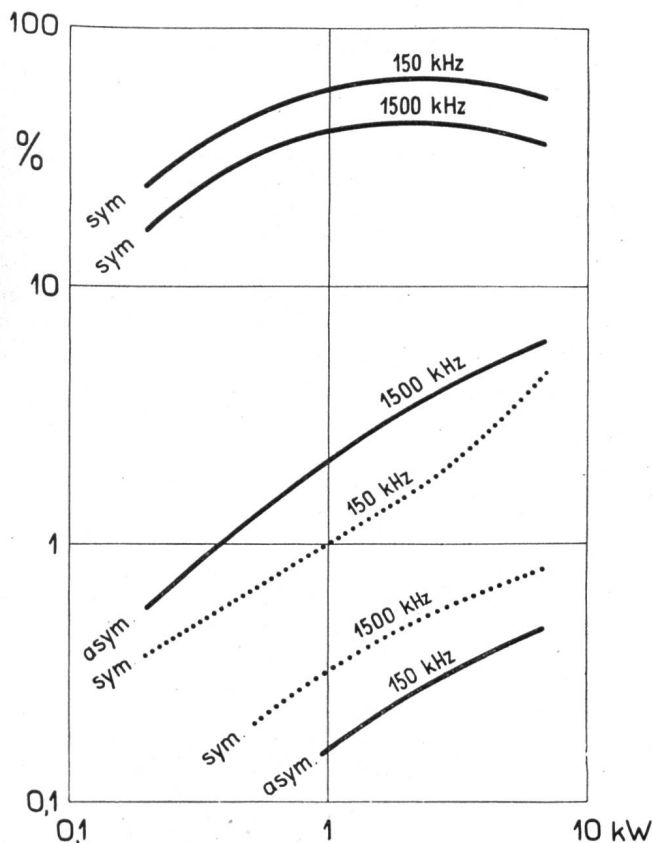


Fig. 11. Störmodulationsgrad der Betriebsimpedanz eines mittleren Kochherdes.

im Bereich $15 \mu\text{A} \dots 25 \text{ mA}$ 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 nunmehr 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 Chrom-Nickel-Gruppe, insofern die Curietemperatur unter 20°C liegt. Sollten ausnahmsweise zwingende Gründe gegen die Verwendung der obgenannten Widerstandslegierungen bestehen, so ist dann 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, verhältnis-

mässig dünne Leitschicht zu binden, ist leider wärmetechnisch nicht praktikabel.

Nachträgliche Massnahmen.

Hier hat man zunächst zu unterscheiden zwischen empfangsseitigen und störerseitigen Massnahmen. Ob man im Einzelfall nun 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 erhöhen.⁸⁾

Störerseitig kommt in erster Linie die Beschaltung mit Kondensatoren in Frage. Sie soll möglichst am Störer selbst erfolgen, oder dann andernfalls 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 Querschaltung, wie dies Fig. 12 grundsätzlich für ein- und mehrphasige Heizgeräte andeutet.

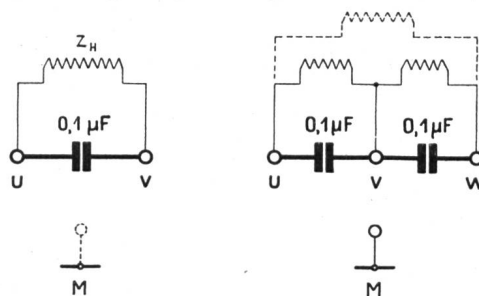


Fig. 12. Grobstörschutz durch Kondensatorbeschaltung.

Erfolgt diese nachträgliche Beschaltung im Rahmen einer grösseren Störschutzaktion, so ist es, mit Rücksicht auf den Entstörungsaufwand, selbstverständlich notwendig, bei jedem einzelnen Gerät rasch 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. Vgl. Fig. 13.

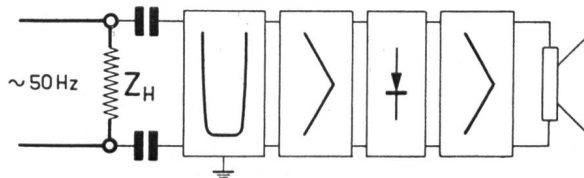


Fig. 13. Kontrollgerät.

⁸⁾ Vgl. Departementsverfügung vom 29. I. 35 betr. Schutz des Radioempfanges, Abschn. II.