

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 16 (1925)

Heft: 7

Artikel: Beobachtung elektrischer Störungen, wie Windungsschluss und dergleichen, unter Benützung von Hochfrequenzerscheinungen

Autor: Rutgers, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059233>

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: 11.01.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,
im Januar dazu die Beilage „Jahresheft“.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften
sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Seefeldstrasse 301, Zürich 8 — Telephon: Limmat 96.60*,
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement**, **Expedition**
und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36/38 Zürich 4 Telephon: Selnau 38.68*

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Ce bulletin paraît mensuellement. — „L'Annuaire“ est
distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant
la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Seefeldstrasse 301, Zurich 8 — Telephon: Limmat 96.60*
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les abonnements,
l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36/38 Zurich 4 Telephon: Selnau 38.68*

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de
l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XVI. Jahrgang
XVI^e Année

Bulletin No. 7

Juli 1925
Juillet

Beobachtung elektrischer Störungen, wie Windungsschluss und dergleichen, unter Benützung von Hochfrequenzerscheinungen.

Vortrag von Ingenieur *F. Rutgers*, Oerlikon,
gehalten an der Generalversammlung des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
in Lausanne, am 14. Juni 1925.

Der Autor beschreibt Versuche, aus welchen hervorgeht, dass bei Störungen, wie Drahtbruch, Windungsschluss im Transformer und dergleichen, infolge Funken- und Lichtbogenbildung Hochfrequenzschwingungen entstehen, die durch in den Zuleitungen zur defekten Einrichtung angebrachte Apparate wahrnehmbar und registrierbar sind. Er bespricht Sitz und Periodenzahl dieser Schwingungen, beschreibt eine Aufnahmeverrichtung mit Kristalldetektor und Telefon, sowie mittelst Dreielektrodenröhre und Schreibvorrichtung. Durch Oszillogramme wird der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung an der Störungsstelle und Anodenstrom der Röhre gezeigt. Der Verfasser fordert zur vermehrten Beobachtung solcher Erscheinungen auf.

L'auteur décrit des essais démontrant la naissance d'oscillations à haute fréquence, lors de perturbations telles qu'une rupture de fil ou un court-circuit entre spires dans les transformateurs, oscillations qu'il est possible de déceler et d'enregistrer à l'aide d'appareils branchés sur les fils d'amenée de l'installation défectueuse. Il examine ensuite où ces oscillations se produisent et quelle est leur période, et décrit un moyen de les découvrir, soit par détecteur à cristal et téléphone, soit à l'aide de tubes à trois électrodes et d'un enregistreur graphique. Des oscillogrammes montrent la relation entre courant et tension à l'endroit défectueux et le courant de plaque des tubes. L'auteur engage à observer de plus en plus ces intéressants phénomènes.

Die Entwicklung und allgemeine Verbreitung der drahtlosen Telegraphie und Telefonie hat die Kenntnis über Hochfrequenzerscheinungen erweitert. Durch experimentierendes Miterleben dieser Entwicklung sind die Hochfrequenzschwingungen vielen Fachleuten und Amateuren der drahtlosen Telegraphie in stärkerem Masse anschaulich und geistig sichtbar geworden, als es bei mathematischer Behandlung der Erscheinungen allein der Fall gewesen wäre. So wurde die Kapazität, die früher in der Starkstromtechnik weniger zu allgemein sichtbarer Wirkung kam, durch die tägliche Hantierung mit oft selber hergestellten, primitiven Geräten für den Empfang der kurzen Wellen der Telefoniesender (300 m Wellenlänge entspricht 10^6 Perioden

pro Sekunde) zu einem klaren praktischen Begriff. Das elektrische Feld, welches früher eine mehr abstrakte Erscheinung war, umgab den Experimentierenden selber mit seinen Spulen und Drähten, die er in diesem Felde bewegte und dessen Veränderungen er im Kopftelephon hörte. Schon die Bewegung der Hand genügte bei Feldern hoher Frequenz, um durch kapazitive Wirkungen Interferenzen hervorzurufen, die im Telephon stark hörbar waren. Die Begriffe der Kopplung, der Dämpfung, der Kapazität der Leiter gegen Erde, die Wirkung von Selbstinduktion, Kapazität und ohmschem Widerstand auf die Schwingungskreise und deren Frequenz bei Serie- und Parallelschaltung gewannen an Anschaulichkeit. Auch für den Übergang von Hochfrequenzschwingungen von einem Stromkreise auf einen andern durch kapazitive, induktive oder Widerstandskopplung lieferte der Wunsch, durch Herstellung immer besserer Empfangsapparate fernere Sendestationen verschiedener Wellenlängen zu hören, schönes Anschauungsmaterial.

Aufgabe des Starkstromtechnikers war es nun, zu überlegen, welche nützlichen Anwendungen er von dieser Bereicherung unseres Gesichtsfeldes für die Starkstromtechnik erwarten könne. Solche Anwendungen ergeben sich u. a. auf dem Gebiete der *Störungsbeobachtung*.

Mit einem guten drahtlosen Empfangsapparat hört man eine Reihe von Störungen, die von Schwach- und Starkstromanlagen herrühren. Man kann das Klingeln einer Signalglocke elektrisch hören, weil die elektrische Glocke als Funkensender wirkt. Man hört das vorbeifahrende Tram, man hört das Anfahren eines Tramwagens, das Anlassen eines Automobilmotors, man hört es, wenn ein Nachbar einen Gleichrichter in Betrieb setzt, usw. Alles dies lässt sich mit einiger Uebung im Telephon nicht nur hören, sondern auch oft nach Herkunft des Geräusches unterscheiden.

Es war somit keineswegs aussichtslos, zu versuchen, Hochfrequenzmethoden zu benutzen, um in Entstehung begriffene Störungen in Starkstromanlagen, wie Drahtbruch oder Windungsschluss, z. B. in Transformatoren und dergleichen, anzuzeigen.

Im Nachstehenden sollen nun einige Anwendungen des elektrischen Ohres, wie ich eine derartige Vorrichtung nennen möchte, beschrieben werden. Die Störungen können aber nicht nur im Telephon hörbar gemacht werden, sie können auch objektiv durch Ingangsetzen einer Signalglocke, Ausschlag an einem Messinstrumente oder durch Aufnahme mittelst passender Registrierapparate wahrnehmbar gemacht werden.

Aus meinen Versuchen¹⁾), die in dem Laboratorium der Maschinenfabrik Oerlikon unter Mitwirkung meines Assistenten, Hrn. Früh, sowie des Hrn. Ing. A. Schnetzler ausgeführt wurden, greife ich zwei heraus, die infolge der Einfachheit der Anordnung besonders übersichtlich sind, und zwar betreffen diese Versuche

1. *Drahtbruch*,
2. *Windungsschluss eines Transformators*.

Der Drahtbruch. Dieser Versuch wurde auf Grund der folgenden Betriebsstörung einer Anlage gemacht. In einer Fabrik mit elektrischer Nachheizung stürzte aus äusseren Ursachen während der Nacht eine schwere Platte auf ein elektrisch geheiztes Rohr. Infolge der Erschütterung trat ein Bruch des mit Porzellanstücken isolierten, aus Chromnickeldraht bestehenden Heizleiters ein. Die beiden Leiterenden berührten die Stahlrohrwandung und es entstanden bei 500 Volt verketteter Spannung zwei Lichtbogen zwischen den Drahtenden und dem Stahlrohr. Das Stahlrohr war zwar geerdet, da aber der Nullpunkt der Anlage nicht geerdet war und ausserdem ein grosser ohmscher Widerstand im Kreise verblieb, trat kein Kurzschluss ein, sondern die Lichtbogen brannten intermittierend weiter. Das Stahlrohr wurde örtlich zum Schmelzen gebracht, schliesslich schmolzen auch Stücke der Heizdrähte ab, worauf die Lichtbogen an den neuen Drahtenden wieder neu zündeten, usw. Als am Morgen das Betriebspersonal den Raum betrat, brannten die Lichtbogen noch immer. Das Stahlgehäuse hatte 8 Löcher von ca. Zweifrankenstück-

¹⁾ Einige dieser Anwendungen wurden von der Maschinenfabrik Oerlikon zum Patent angemeldet.

grösse in ziemlich regelmässigen Abständen. Das Ampèremeter schwankte leicht, die Sicherungen waren intakt, die Anlage musste von Hand abgeschaltet werden. Gegen solche gefährliche Störungen versagen die üblichen Schutzvorrichtungen, wie Sicherungen, automatische Ueberstromschalter usw., denn die Stromstärke behält angenähert den normalen Wert, da der ganze normale Widerstand im Kreise ein-

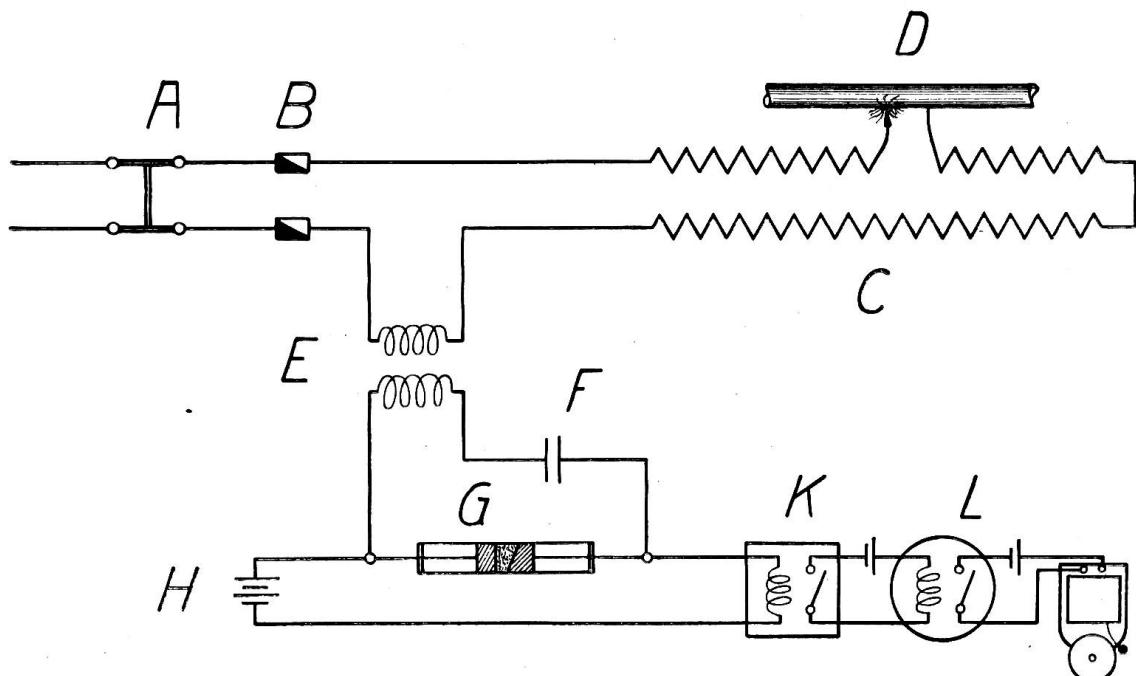


Fig. 1.

Legende: A Schalter, B Sicherungen, C Wicklung eines Heizrohres aus Chromnickeldraht, D Drahtbruch mit Feuererscheinungen gegen die Wandung des Heizrohres, E Stromwandler, F Blockkondensator, G Kohäher, H Batterie, K polarisiertes Primärrelais, L Sekundärrelais mit Glocke.

geschaltet bleibt. Auch temperaturempfindliche Schutzapparate kommen gegen diese Störungen, wenigstens bei ausgedehnteren elektrischen Anlagen, nicht in Betracht, da der Lichtbogen an einer beliebigen Stelle auftreten kann. Ich versuchte deshalb, die elektrischen Wirkungen der in diesem Fall entstehenden Funken und Lichtbogen selbst zur Störungsmeldung zu benützen. Dies ist in der Tat möglich, da die Versuche bestätigt haben, dass derartige Funken und Lichtbogen Hochfrequenzschwingungen erzeugen. Diese Hochfrequenzschwingungen können mittelst eines passenden eingebauten Hochfrequenzstromwandlers auf einen Empfangsapparat übertragen und zur Meldung oder Auslösung eines Relais benutzt werden.

Die Fig. 1 zeigt schematisch eine derartige Anordnung, wobei als Detektor ein Kohäher benutzt wurde. Die Fig. 2 zeigt die Photographie einer solchen primitiven Einrichtung.

Begnügt man sich damit, das Auftreten von Hochfrequenzschwingungen nur mit dem Ohr feststellen zu wollen, so kann die an sich schon einfache Anordnung der Fig. 1 noch wesentlich vereinfacht werden, es genügt dann die Schaltung mit Detektor und Telefon, die Fig. 3 zeigt.

In der Fig. 1 sehen wir bei A den Schalter, bei B die Sicherungen, C ist die Heizanlage, D ist die Stelle, wo die beiden Heizleiterenden nach dem Bruche gegen das Gehäuse feuern. E ist ein für Hochfrequenzströme geeigneter, eisenfreier Stromwandler 1 : 1, bestehend aus je 70 Windungen, gewickelt auf ineinander gesteckten Isolierröhren (Bakelit oder Mikanit) von ca. 60 und 80 mm Durchmesser. Die Wicklungen können durch Verschieben der Röhren ineinander loser oder fester gekoppelt werden. Die Sekundärwicklung bildet mit Kohäher G und Blockkondensator F ($\frac{2}{1000}$ Mikrofarad) den Aufnahmekreis für die Hochfrequenz. Da der Kohäher beim

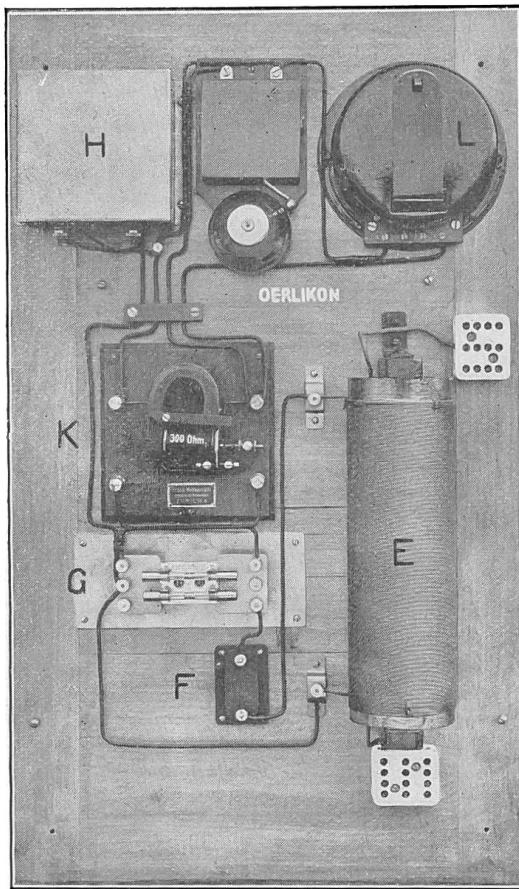


Fig. 2.

Legende:
 E Stromwandler.
 F Blockkondensator.
 G Kohärer.
 H Batterie.
 K polarisiertes Primärrelais.
 L Sekundärrelais mit Glocke.

In diesem Falle dürfte es namentlich die starke Kühlung der einen Elektrode sein, die für die Entstehung von Hochfrequenzschwingungen günstige Verhältnisse schafft. Aehnliche Verhältnisse, insbesondere stärkere Kühlung mindestens einer Elektrode, dürften bei unbeabsichtigten Ueberschlägen in den elektrischen Anlagen die Regel sein und die Entstehung von Hochfrequenzschwingungen begünstigen.

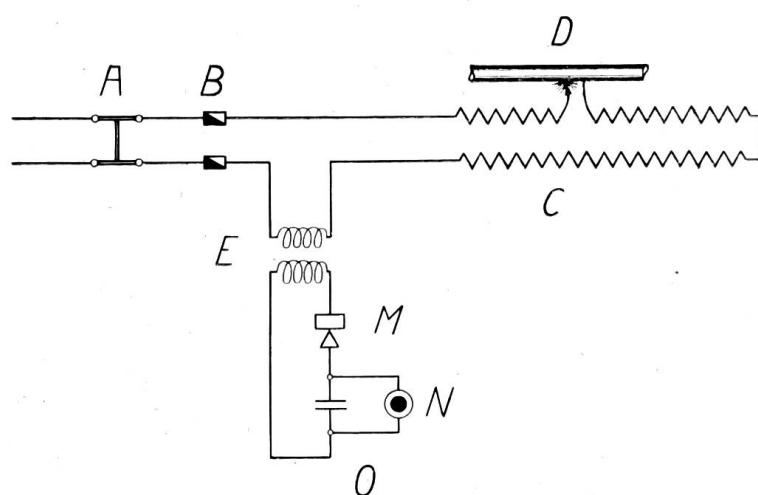
Entladungen, die lediglich zum Aufbau eines elektrischen Feldes dienen, z. B. Kondensatoraufladungen über grossen ohmschen Widerstand, haben hingegen keinen oszillatoriischen Charakter. Bei Glimmerscheinungen und Büschelentladungen sprechen Hochfrequenzanzeiger nicht an, wie z. B. durch Versuche bei der

Auftreten von Hochfrequenzschwingungen leitend wird und dann den Strom der 2–4 Volt-Batterie H durchlässt, spricht das polarisierte Relais K (300 Ohm) an, sobald der Stromwandler Hochfrequenzschwingungen übermittelt. Der Kohärer selbst bestand aus versilberten Kupferelektroden und gesiebten Nickelfeilspänen in einer Glasmöhre. Sobald der Stromwandler Hochfrequenzschwingungen übertrug, läutete die Glocke L. Durch Klopfen am Kohärer hörte das Läuten der Glocke auf.

Fig. 3 zeigt an Stelle des Kohärers mit Signalglocke den Kristalldetektor M mit Telefon N (500–2000 Ohm). Die starke Selbstinduktion des Telefons ist durch den üblichen Telefonkondensator ($\frac{3}{1000}$ Mikrofarad) überbrückt.

Der beschriebene einfache Versuch zeigt, dass tatsächlich bei einem derartigen unregelmässigen, mit Feuererscheinungen verbundenen Stromübergang Hochfrequenzschwingungen entstehen.

Wodurch entstehen diese Hochfrequenzschwingungen? Als Erreger derselben kommen einmal die Zündfunken bei der unregelmässigen Berührung in Betracht, dann aber auch der eigentliche Lichtbogen. Dies ist nicht ohne weiteres selbstverständlich, denn nicht jeder Lichtbogen erzeugt Hochfrequenzschwingungen. Solche entstehen nur bei stark fallender Charakteristik des Lichtbogens (d. h. die Spannung an den Klemmen des Lichtbogens muss mit zunehmendem Strom kleiner werden) und geringer Lichtbogenhysteresis.



Legende: A Schalter, B Sicherungen, C Heizwicklung, D Drahtbruch, E Stromwandler, M Kristalldetektor, N Telefon mit Telefonkondensator O.

Spannungsprüfung von Turbogeneratoren auch bei höheren Spannungen festgestellt werden konnte.

Eine zweite wichtige Frage ist diejenige nach dem Sitz der Hochfrequenzschwingungen. Für das Auftreten von Schwingungen ist, ausser einer erregenden Ursache, auch ein schwingungsfähiges Gebilde, also eine Verbindung von Selbstinduktion und Kapazität erforderlich, wie dies beispielsweise im Thomsonschen Schwingungskreis der Fig. 4 in der einfachsten Form dargestellt ist.

Vergegenwärtigen wir uns einen Augenblick, was überhaupt eine elektrische Schwingung ist. Bei einem schwingenden Uhrpendel nimmt eine schwere Masse abwechselnd in einem Ruhepunkt eine erhöhte Lage ein (potentielle Energie) und befindet sich im tiefsten Punkt in der grössten Bewegung (Energie der Bewegung). Die Energie pendelt zwischen zwei Energieformen, nämlich der potentiellen und der kinetischen Energie, hin und her. Bei den elektrischen Schwingungen entspricht die maximale Ladung im Kondensator dem Ruhepunkt des Pendels in erhöhter Lage; das magnetische Feld (Strommaximum) entspricht der grössten Bewegung des Pendels im tiefsten Punkt. Die elektrische Energie pendelt zwischen zwei Energieformen hin und her, nämlich derjenigen des elektrischen Feldes des Kondensators und derjenigen des magnetischen Feldes der vorhandenen Selbstinduktion. In einem Augenblick können wir die ganze in Schwingung befindliche Energie im Kondensator als Behälter aufgespeichert denken und im nächsten Augenblick (d. h. nach $\frac{1}{4}$ Periode) in einem anderen Behälter, nämlich im Magnetfelde der Selbstinduktion²⁾. Ist die Kapazität gross, die Selbstinduktion dagegen klein, so haben wir bei gegebener Energiemenge im schwingenden Kreis eine kleine Spannung am Kondensator und eine grosse Stromstärke in der Selbstinduktion und umgekehrt. In diesen beiden

extremen Fällen haben wir starke Dämpfung der Schwingungen, das eine Mal durch Joulesche Wärme in der Selbstinduktionsspule, das andere Mal durch Energieverlust im Kondensator. Bei allzu grosser Dämpfung, d. h. bei zu viel Energieverlust im Schwingungskreis, kann bekanntlich eine Schwingung nicht mehr bestehen.

Wo sind nun in den Versuchen der Fig. 1 die Reservoir (Kapazität und Selbstinduktion), zwischen welchen

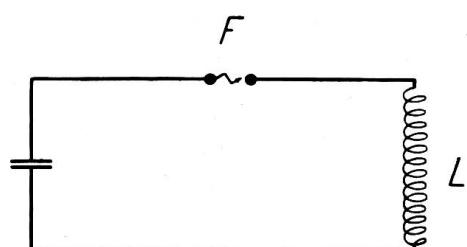


Fig. 4.

Legende:
C Kondensator, L Selbstinduktion,
F Funkenstrecke.

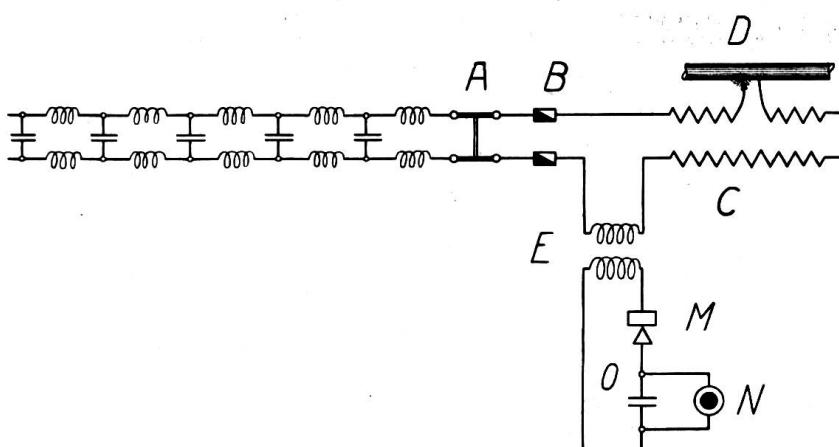


Fig. 5.

Legende:

A Schalter, B Sicherungen, C Heizwicklung, D Drahtbruch, E Stromwandler,
M Kristalldetektor, N Telefon.
Links die Zuleitung mit Kapazität und Selbstinduktion. Ausserdem bestehen
Kapazitäten gegen Erde.

die Energie hin und her schwingt? Da der Heizkörper nahezu induktionslos ist und die Selbstinduktion des Stromwandlers auch nicht sehr beträchtlich ist, muss der Sitz der Schwingung hauptsächlich in den Zuleitungen gesucht werden.

²⁾ Ist der ohmsche Widerstand im Kreise zu gross, so werden die Schwingungen stark gedämpft und bei noch grösserem Widerstand aperiodisch.

Wir müssen somit, um den Schwingungskreis darstellen zu können, das Bild der Fig. 1 oder 3 durch die Selbstinduktion und Kapazität der Zuleitungen, wie dies Fig. 5 zeigt, erweitern.

Es wäre interessant, die Periodenzahl der Schwingungen zu kennen. Leider lässt sich dieselbe nicht leicht bestimmen. Einmal hat das ganze System nicht eine einzige Eigenschwingungsdauer, da Selbstinduktion und Kapazität nicht in einem Punkte konzentriert, sondern gleichmässig verteilt sind (kein quasistationärer Schwingungskreis, d. h. der Strom ist in einem bestimmten Zeitmoment nicht in allen Teilen des Kreises gleich gross). Ferner ist die Dämpfung der Schwingungen so gross, dass, auch falls einzelne Eigenschwingungszahlen bevorzugt wären, dieselben doch bei den Versuchen mittelst Wellenmesser und dergleichen infolge ungenügender

Schärfe der Resonanz nicht gemessen werden konnten. Ein Kathodenstrahl-Oszillograph stand für die Versuche nicht zur Verfügung.

In einem anderen Falle jedoch, nämlich bei der Prüfung eines Bahnmotors, wo die Hochfrequenzschwingungen durch eine kräftige Funkenstrecke mehr andauernd erzeugt werden konnten, liess sich eine bevorzugte Frequenz mittelst Wellenmesser durch Resonanz feststellen und messen. Fig. 6 zeigt diesen Versuch. Sämt-

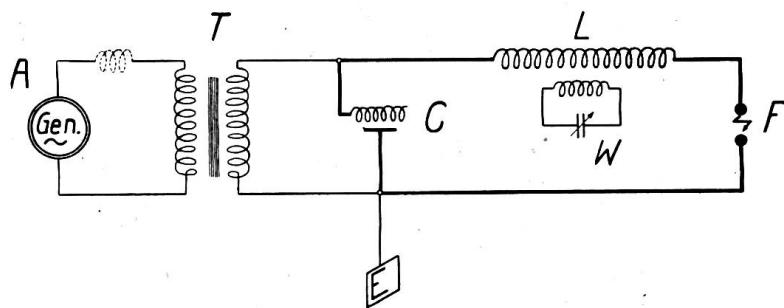


Fig. 6.

Legende:

A Wechselstromgenerator für 100 Per./Sek., T Transformer, C Bahnmotor, dargestellt in der Form der Kapazität seiner Wicklung gegen Erde, L Selbstinduktionsspule, F Funkenstrecke, W Wellenmesser, induktiv schwach gekoppelt mit L.

liche Wicklungen des Motors wurden mit einem Pol, das Eisen mit dem anderen Pol und zugleich an Erde verbunden.

Die hervortretende Eigenfrequenz der Schwingungen im Kreise CL betrug hier ca. 35 000 Per./Sek. (Wellenlänge ca. 5500 m). Das logarithmische Dämpfungsdecrement wurde ganz roh zu etwa 0,25 geschätzt (d. h. der von einem Funken herrührende Wellenzug war nach ca. 18 Schwingungen bis auf $1/100$ der Amplitude abgeklungen). Da die Kapazität C sämtlicher Wicklungen des Motors gegen Eisen gemessen und die Selbstinduktion der Spule L angennähernd berechnet werden konnte, zeigte es sich, dass hier die bevorzugte Schwingung des Systems ungefähr so vor sich ging, als ob hauptsächlich nur diese Kapazität als einzige Kapazität und nur die Selbstinduktion der Spule L als einzige Selbstinduktion vorhanden war. Bei dieser Annahme stimmte die berechnete Periodenzahl und die gemessene Periodenzahl ziemlich gut überein.

In den meisten Fällen der Praxis wird es, falls irgendwo in einer Anlage ein Ueberschlag oder ein Lichtbogen auftritt, nicht leicht sein, anzugeben, wo der Sitz der elektrischen Schwingungen ist und welches die approximative Periodenzahl sein wird. Meistens werden mehrere Schwingungskreise mit verschiedenen bevorzugten Frequenzen vorhanden sein. Der Funkenüberschlag lässt sich vergleichen mit einem Faustschlag auf einen Tisch, auf welchem viele Gegenstände stehen. Jeder Gegenstand, sofern er schwingen kann, schwingt einen Augenblick in seiner Eigenfrequenz (Stosserregung des Funkens). Ein davon ganz verschiedener Fall tritt ein, wenn eine Schwingungserregung dauernder Art mit z. B. allmählich steigender Frequenz vorhanden ist, wie z. B. die beschleunigte Maschine eines Dampfschiffes. Dann geraten nacheinander verschiedene Gegenstände durch Resonanz ihrer Eigenschwingung plötzlich für kurze Zeit in heftige Schwingung.

Es wäre interessant, in verschiedenen elektrischen Anlagen, z. B. durch künstliche Schwingungserregung mittelst Funkenstrecken, hierüber nähere Versuchsdaten

zu erhalten. Die Literatur enthält zahlreiche Berechnungen von Eigenfrequenzen in Anlagen, wie überhaupt viele mathematische Abhandlungen hierüber; durch Versuche gemessene Werte sind mir leider nur wenige bekannt geworden. Interessant wären z. B. Messungen der Eigenfrequenzen einzelner Netz- und Anlagenteile, der schwingenden Energiemengen, der Dämpfung usw. Ferner auch die Untersuchung der näheren Bedingungen für das Nachfolgen des Arbeitsstromes bei Hochfrequenzentladungen.

Für die Zwecke der Störungsbeobachtung ist es eher günstig, dass diese Erscheinungen in unserem Fall keine ausgesprochene eindeutige Eigenfrequenz haben, die stark mit der Lage der Störungsstelle, z. B. des Ortes des nachher zu besprechenden Windungsschlusses eines Transformators, wechseln würde. Ohne ausgeprägte Eigenfrequenz ist es leichter, einen Aufnahmeapparat zum Ansprechen zu bringen, ohne dass die Frequenz vorher bekannt ist. Hier ist, im Gegensatz zur drahtlosen Telegraphie, wo schärfste Resonanz angestrebt wird, die grosse Dämpfung und die wenig ausgeprägte Eigenfrequenz des Senders, d. h. des Störungsherdes, von Vorteil. Da das Eisen bei Schwingungen hoher Frequenz keine grosse Rolle spielt, kann man sich das Eisen in vielen Fällen als für die Schwingungen nicht vorhanden denken, abgesehen von kapazitiven Wirkungen.

Wir wollen nun übergehen zu einem weiteren Versuch, nämlich zur Beobachtung eines Transformerwindungsschlusses nach dem Schema der Fig. 7.

An der Stelle *V* des Transformators (es ist nur die Primärwicklung gezeichnet) sind einige benachbarte Windungen mittelst Nadeln angestochen worden, so dass künstlicher Windungsschluss herbeigeführt werden kann. Jede dabei auftretende leichte Feuererscheinung kann als Hochfrequenzwellenzug im Telephon deutlich gehört werden. Es wurden Messungen gemacht, um festzustellen, welche kleinsten Energiemengen an der Windungsschlusstelle durch diese Methode noch beobachtet werden konnten. Das Ergebnis ist überraschend. Es genügte eine Betriebsspannung von etwa 0,9 Volt von Windung zu Windung bei einem Uebergangstrom infolge des Windungsschlusses von etwa 2–3 Ampère, um im Telephon sehr deutlich hörbare Schwingungen hervorzurufen, also eine Energie von nur wenigen Watt resp. Voltampère.

Wurde der Hochfrequenzstromwandler an die Primärwicklung angeschlossen und der Windungsschluss an der Sekundärwicklung vorgenommen, so war die Lautstärke im Telephon etwas geringer, aber doch gut wahrnehmbar.

Ein wichtiger Punkt ist aber zu beachten. Sobald der Windungsschluss durch feste Berührung der Windungen und Zusammenschweissen des Kupfers zu einem dauernden wird, hören die Hochfrequenzerscheinungen auf. Die Hochfrequenzerscheinungen sind an der Durchbrechung des Dielektrikums gebunden, sie treten also nur beim Entstehen des Windungsschlusses (oder auch eventuell eines Erdschlusses) und während den Feuererscheinungen auf. Werden die Hochfrequenzschwingungen rechtzeitig bemerkt, so kann die Isolation des Transformers revidiert werden, bevor eine teilweise Zerstörung des Kupfers zu grösseren Reparaturen zwingt.

Selbstverständlich treten aber im Betriebe auch ausser infolge von Fehlern wie Windungsschluss usw. aus anderen Ursachen gelegentlich Hochfrequenzschwingungen auf. Wer mittelst des „elektrischen Ohres“ das Netz einer Anlage belauscht, ist

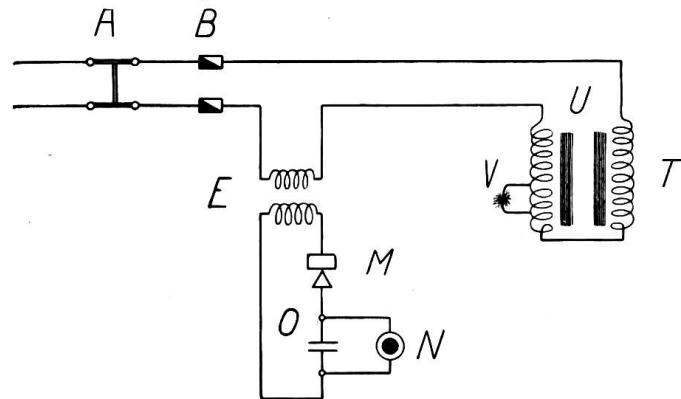


Fig. 7.

Legende:

A Schalter, *B* Sicherungen, *T* Transformer, *U* Eisen, *V* Windungsschluss mit Feuererscheinungen, *E* Stromwandler, *M* Kristalldetektor, *N* Telephon mit Telephonkondensator *O*.

erstaunt über das Vielerlei, das er zu Gehör bekommt. Man hört das Ein- und Ausschalten von Schaltern, das Anlassen oder den Betrieb einzelner Maschinen usw. Doch lassen sich die verschiedenen, durch Hochfrequenzschwingungen auf das Telefon übertragbaren Geräusche mit einiger Uebung leicht unterscheiden. Die kurzen Wellenzüge eines gut verlaufenden Schaltvorganges lassen sich nicht verwechseln mit den beunruhigenden Formen eines intermittierenden Windungsschlusses oder Erdschlusses.

Ich möchte jedem Betriebsleiter empfehlen, an einigen Stellen seiner Anlage einen solchen „Horchposten“ einzurichten. Eventuell lassen sich schon vorhandene Induktionsspulen mit einer Sekundärwicklung versehen mit angeschlossenem Detektor und Telephon. Auf Anschluss an bestehende Stromwandler komme ich nachher zurück. Die Sekundärwicklung braucht nur lose gekoppelt zu sein und darf bei genügender Grösse eventuell sogar $1/2$ bis 1 m von der Induktionsspule entfernt sein (so orientiert, dass sie von möglichst vielen magnetischen Kraftlinien durchflutet wird). Eine lose Kopplung hat auch den Vorteil, dass eventuelle Dauergeräusche, die vom Betriebsstrom und dessen Oberschwingungen herrühren, nicht mit übertragen werden. Ein Versuch zeigt, dass bei enger Kopplung solche Geräusche im Telephon die eigentlichen Hochfrequenztöne gelegentlich übertönen können; entfernt man die Sekundärwicklung etwas mehr von der Primärwicklung, so bleiben bald die Betriebstöne zurück und man hört die eigentlichen Hochfrequenztöne deutlich.

Das Abhören der Hochfrequenzerscheinungen mittelst Telephon bildet die empfindlichste Methode. Ausser einem Kristalldetektor lässt sich dazu ein Lampenapparat, z. B. eine Detektorlampe mit einem oder zwei Niederfrequenzverstärkern oder auch ein Kristalldetektor mit Niederfrequenzverstärker verwenden.

Für die regelmässige Beobachtung einer Anlage *ist ein passender Registrieraufbau wertvoll*. Eine solche Registrierung lässt sich in der Tat ausführen.

Die Hochfrequenzschwingungszüge, die im Detektor in Gleichstromimpulse verwandelt werden, sind imstande, ein empfindliches Drehspulrelais zum Ansprechen zu bringen. Da die Kontakte eines solchen hochempfindlichen Primärrelais nur sehr schwach belastet werden dürfen, ist ein Sekundärrelais erforderlich, welches die Schreibvorrichtung betätigt. Auf eine rotierende Trommel, die gleichzeitig langsam seitlich verschoben wird, schreibt ein Zeiger eine gerade Linie als Spirale. Trifft ein Zug von Hochfrequenzschwingungen ein, so macht der Zeiger einen kleinen durch Anschlag begrenzten Ausschlag und es entsteht eine Zacke auf der geschriebenen Linie. Der Vorgang ist also ähnlich, wie bei den ersten automatischen Schreibvorrichtungen, die in der drahtlosen Telegraphie verwendet wurden.

Bedeutend zuverlässiger arbeitet aber eine Registrierung nach Fig. 8, mit Hilfe einer Elektronenröhre mit drei Elektroden, wie solche in der drahtlosen Telegraphie verwendet werden.

Die durch den Stromwandler übermittelten Hochfrequenzschwingungen werden über einen überbrückten Gitterkondensator auf das Gitter der Röhre einerseits und auf die glühende Kathode anderseits übertragen. Die Potentialänderungen des Gitters gegenüber der Kathode beeinflussen den Anodenstrom. Bei dieser Anordnung bewirken Hochfrequenzschwingungen eine negative Gitterladung und eine Abnahme des Anodenstromes. Das Drehspulrelais im Anodenstromkreis ist als Ruhestromrelais geschaltet. Normalerweise bewirkt der Anodenstrom einen Ausschlag des Relais in die Endstellung. Sobald Hochfrequenzschwingungen eintreffen, geht der Ausschlag zurück, wobei der Zeiger Kontakt macht und der Anker der Registriervorrichtung angezogen wird. Die Registriervorrichtung schreibt ohne Hochfrequenz eine durchgehende Spirale auf einem auf die Trommel gelegten Papierstreifen, mit je nach Wunsch 1 stündiger, 24 stündiger oder noch längerer Laufzeit. Sobald das Relais anspricht, verschiebt sich der Zeiger etwas seitlich, so dass auf der Linie eine Zacke entsteht. Aus Häufigkeit und Dichte der Zacken kann man sich ein Bild über die Störungen machen.

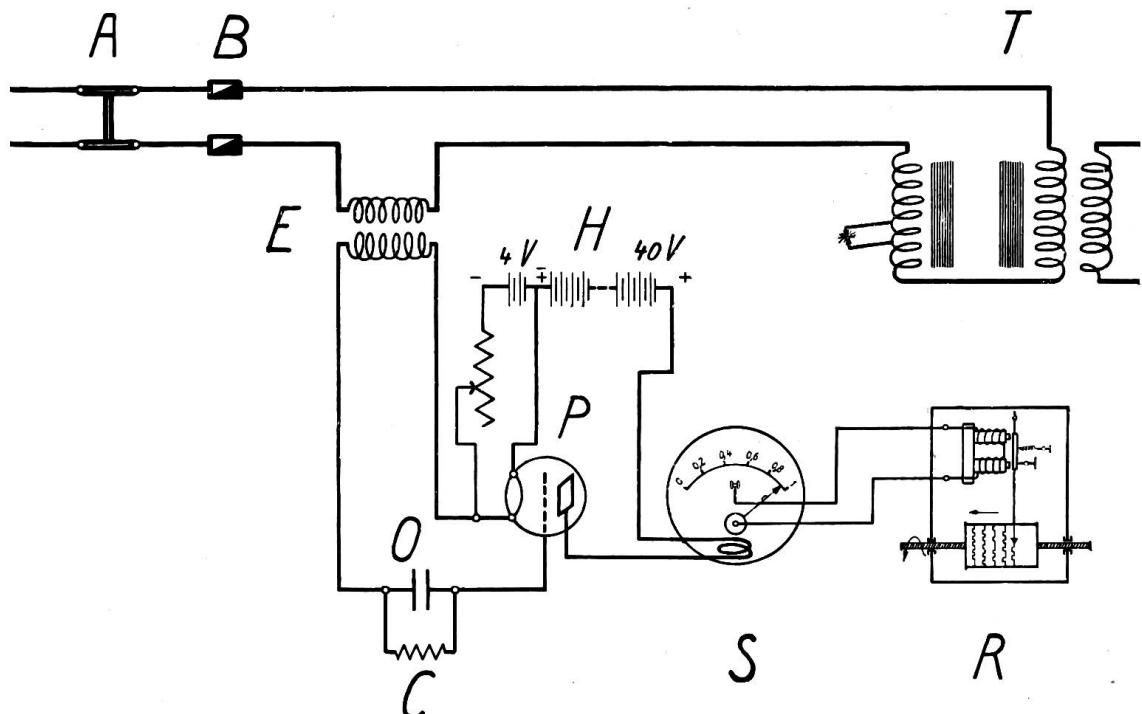


Fig. 8.

Legende:

A Schalter, B Sicherungen, T Transformer mit Windungsschluss, E Stromwandler, P Elektronenröhre, O Gitterkondensator, ca. $1/1000$ Mikrofarad, G Gittershunt, ca. 4 Megohm, S Drehspulrelais, R Registrierapparat.

Einen noch besseren Einblick in die Vorgänge erhält man durch gleichzeitige Aufnahme des Stromes nebst der Spannung in der Kurzschlusswindung des fehlerhaften Transformers und der Aenderungen des Anodenstromes im Aufnahmeapparat, mit Hilfe des Oszillographen.

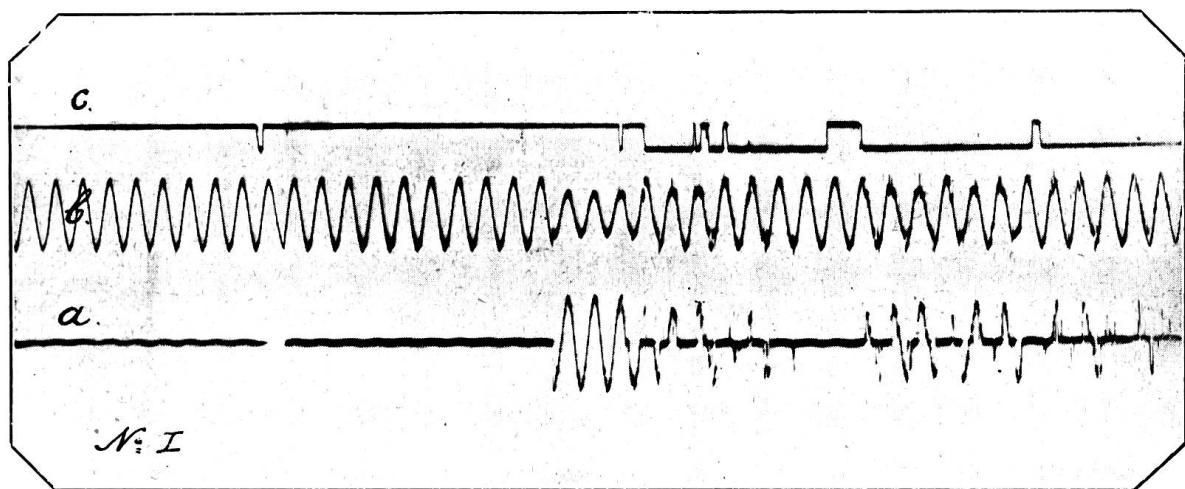


Fig. 9.

Legende:

a Strom in der fehlerhaften Transformerwindung, *b* Spannung an der Kurzschlusstelle, *c* Strom im Relais (Anodenstrom), obere Linie = Ruhelage, Ausschläge nach abwärts.

Von den aufgenommenen Oszillogrammen führe ich Ihnen hier nur zwei vor:
No. 1 mit langsamer und No. 2 mit schneller laufenden Papierstreifen.

Die Linie a gibt die Stromstärke in der defekten Transformerwindung an. Um den Windungsschluss nachzuahmen, wurde hier eine Hilfswindung auf den Trans-

former angebracht und diese durch leichte Berührung zwischen den Enden kurzgeschlossen. Die Linie *b* gibt die Spannung an der Berührungsstelle, die Linie *c* gibt als oberer gerader Strich den Ruhestrom im Anodenkreis, während die Ausschläge nach unten die Anodenstromänderungen sind, d. h. den Arbeitsausschlägen des Relais entsprechen.

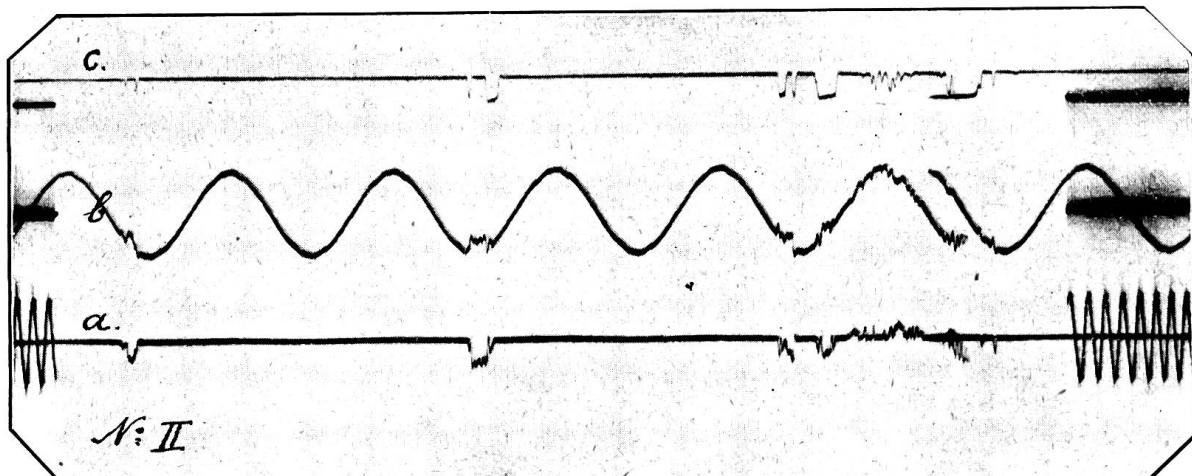


Fig. 10.

Legende:

a Strom in der fehlerhaften Transformerwindung, *b* Spannung an der Kurzschlussstelle, *c* Strom im Relais (Anodenstrom), obere Linie = Ruhelage, Ausschläge nach abwärts.

Am Rande Eichung: Strom *a* = 11 Amp., Spannung *b* = 0,98 Volt.

Das Oszillogramm No. 1, Fig. 9, lässt drei physikalisch sehr interessante verschiedene Vorgänge erkennen. Zunächst sehen wir links in der Linie *c* einen ver einzelten Ausschlag des Relais, herrührend von einem heftigen Schaltvorgang (Ausschalten eines Kompressormotors) im Netz. In der Mitte sehen wir in der Linie *a* den völligen Kurzschluss der Transformerwindung während drei Perioden des Stromes. Bei diesem vollständigen Kurzschluss spricht das Relais nicht an, da es keine Funken oder Lichtbogen gibt. Sobald aber nur die geringste Unregelmässigkeit des Stromes auftritt (z. B. in der dritten Periode) spricht das Relais an. Im weiteren Verlauf des Oszillogrammes gegen rechts hin, wo der Windungsschluss durch unregelmässige Ströme im Oszillogramm erscheint, spricht das Relais sozusagen dauernd an. Die Stromlinie und die zugehörige Spannungslinie zeigt auch deutlich den oszillorischen Charakter des Windungsschlusses, wenn auch der Oszillograph selbstverständlich zu träge ist, um den wirklichen Hochfrequenzschwingungen zu folgen. Hier wären Aufnahmen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen sehr interessant gewesen. Ganz vorübergehend war es auch möglich, Lichtbogen aufrecht zu erhalten, ohne oszillorischen Charakter und ohne Ansprechen des Relais.

Das Oszillogramm No. 2, Fig. 10, mit etwas schneller laufenden Papierstreifen, zeigt noch besser die genaue Uebereinstimmung zwischen den Stromvorgängen in der fehlerhaften Transformerwindung und den durch die übertragenen Hochfrequenzschwingungen bewirkten Stromänderungen im Relaiskreis.

Am Rande ist auf dem Original-Oszillogramm No. 2 noch die Eichung sichtbar. Der Eichstrom betrug 11 Ampère. Die Eichspannung 0,98 Volt. Man sieht hieraus, dass Windungsschlusströme von nur 2 bis 3 Ampère bei 0,98 Volt maximaler Windungsspannung noch genügen, um, trotz den vielen Zwischengliedern zwischen Kurzschlussstelle und Registrierapparat, das Relais zu betätigen. Nur 2 bis 3 Volt-ampère an der Fehlerstelle genügen also, um den Aufnahmeapparat zum Ansprechen zu bringen, eine ausserordentlich hohe Empfindlichkeit.

Die Fig. 11 zeigt, wie ungefähr ein Papierstreifen einer Registriervorrichtung aussehen würde, welche von der Firma Trüb, Täuber hergestellt wird. Der abgebildete Streifen wurde aber für andere Zwecke aufgenommen. Die genannte Firma konstruiert zur Zeit nach meinen Angaben eine komplette transportable Vorrichtung mit Elektronenröhre, Relais und Registrierapparat, in handlicher Form zusammen-

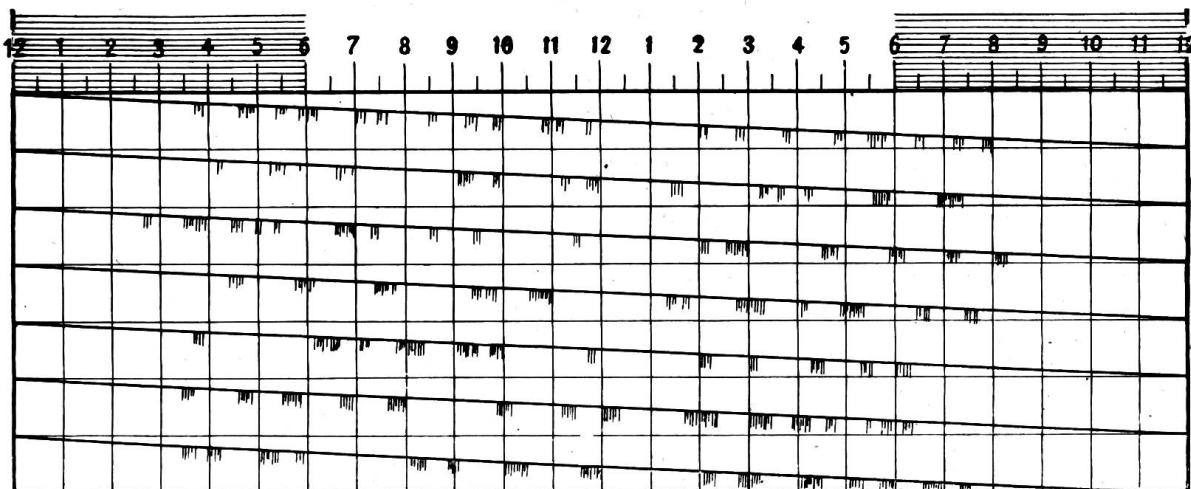


Fig. 11.

Legende:

Der durchgehende leicht geneigte Strich wird vom Registrierapparat im Ruhezustand geschrieben (Spirallinie auf Trommel). Die nach abwärts gerichteten kurzen Zacken stellen die Ausschläge des Relais dar (willkürlich gezeichnet).

gebaut. Eine solche Registriervorrichtung kann auch mit mehreren Schreibzeigern gebaut werden, was gestatten würde, gleichzeitig verschiedene Hochfrequenzschwingungen, z. B. von mehreren ankommenden Linien, Transformatoren, usw. zu registrieren.

Ich möchte noch ein Wort sagen über den erforderlichen Stromwandler. Versuche haben gezeigt, dass ein gewöhnlicher Stromwandler, wie er für Ampèremeter, usw. verwendet wird, mit z. B. 4 Primärwindungen auch schon für die Uebertragung genügt, doch darf gleichzeitig kein anderer Apparat angeschlossen sein. Da aber ein Stromwandler sekundär nicht offen sein darf (die Elektronenröhre ist für 50 Perioden als Stromunterbruch zu betrachten), so muss eine Spule mit grosser Selbstinduktion (z. B. ca. 20 Millihenry) parallel mit dem Hochfrequenzaufnahmegerät an den Sekundärklemmen des Stromwandlers angeschlossen werden (beispielsweise eine Spule mit 800 Windungen auf 40 mm Kern, aus 1 mm Draht). Diese Spule verhindert das Auftreten einer unzulässig hohen Spannung an den Sekundärklemmen des Stromwandlers, lässt aber die Hochfrequenzschwingungen nicht durch, so dass sie dem Aufnahmegerät nicht entzogen werden, was z. B. ein parallel geschaltetes Ampèremeter wohl tun würde.

Ich habe versucht, Ihnen einiges vorzutragen aus dem Gebiete der Hochfrequenzvorgänge, die in unseren Starkstromanlagen ständige Begleiterscheinungen sind und bei Störungen in vermehrtem Masse auftreten. Die von mir gemachten Versuche sind natürlich keineswegs vollständig. Ich hoffe, dass sie zu weiteren Versuchen und Publikationen anregen werden. Es ist zurzeit viel von Hochfrequenzschwingungen in unseren Netzen die Rede. Manche Störung wird darauf zurückgeführt. Vieles ist aber noch nicht genügend erforscht. Mathematische Berechnungen allein genügen nicht, wichtiger sind direkte Beobachtungen. Hochfrequenzschwingungen in unseren Starkstromnetzen sind, wie gesagt, fortwährend vorhanden. Mit gelegentlich auftretenden grösseren Störungen verbunden, sind sie unangenehme Gäste, besonders wenn man bedenkt, dass der scheinbare Widerstand grosser Iso-

lationsstrecken bei sehr hoher Frequenz infolge der Wirkung der Kapazität sehr klein werden kann. Wenn ich die einfache Vorrichtung der Fig. 3 als „elektrisches Ohr“ bezeichnet habe, so möchte ich meinen Kollegen vorschlagen, recht oft damit zu hören und ihre Beobachtungen zu notieren. Ein billiger und einfacher Kristall-detektor ohne Abstimmkreis gibt zunächst schon interessante Aufschlüsse. Die regelmässige Registrierung wäre von grossem Werte. Wie mancher Betriebsleiter wäre schon froh gewesen, wenn Diagramme vorgelegen hätten, die vor und während Betriebsstörungen einwandfrei über das Auftreten von Hochfrequenzschwingungen sozusagen Buch geführt hätten. Ich hoffe, dass meine einfachen Versuche dazu anregen mögen, in dieser Richtung weitere Fortschritte zu machen.

Tarification multiple.

Conférence de M. Louis Martenet, ing., chef du Service de l'Electricité de Neuchâtel, présentée à l'assemblée annuelle de l'Union de Centrales Suisses d'Electricité, le 13 juin 1925, à Lausanne.

Der Verfasser zählt zunächst die verschiedenen Verkaufsarten der elektrischen Energie, nach Pauschaltarif, mittelst mehrerer unabhängiger Zähler oder Doppel- bzw. Mehrfachtarifzähler auf, und gibt dann die durch das Elektrizitätswerk der Stadt Neuenburg vorgesehenen Lösungen an, um eine gerechte und rationelle Verrechnung der elektrischen Energie zu erzielen. Er beschreibt ferner das durch diese Stadt endgültig angenommene Mehrfachtarifsystem, welches auf der unterbrochenen Registrierung der verbrauchten Energie beruht, durch das periodische Öffnen des Nebenschlussstromkreises des Zählers. Die Vorteile und Anwendungen dieses Systems werden ausführlich vorgetragen und an Hand des Beispiele Neuenburg erläutert.

L'auteur passe d'abord en revue les différents modes de vente d'énergie électrique, à forfait, au moyen de plusieurs compteurs indépendants ou de compteurs à tarif double ou multiple, puis énumère les solutions envisagées par le Service de l'électricité de la ville de Neuchâtel pour arriver à une tarification équitable et rationnelle. Il donne la description du système de tarification multiple, définitivement adopté par cette ville, et qui est basé sur l'enregistrement intermittent de l'énergie consommée, par ouverture périodique du circuit-shunt du compteur. Les avantages et les applications de ce système sont exposés en détail et illustrés par l'exemple de Neuchâtel.

Monsieur le Président et Messieurs,

Notre secrétaire général m'a demandé de bien vouloir dire quelques mots à cette assemblée sur le système de tarification multiple appliqué à Neuchâtel.

Je vais essayer, aujourd'hui, sans aucune prétention et avec l'appui de toute votre indulgence, de vous intéresser quelques instants en vous parlant des expériences faites dans notre ville avec ce système.

Permettez-moi avant, de vous dire que mon ami de Montmollin, chef du Service de l'Electricité de Lausanne, à qui nous devons l'hospitalité, aurait pu, bien mieux que moi, nous faire un exposé de la question. La ville de Lausanne a été la première en Suisse, avec des appareils un peu complexes, à adopter cette tarification. Appliquée depuis 20 ans environ, elle donne, croyons-nous, toute satisfaction.

Je suis persuadé que vous tous qui êtes ici présents vous avez passé par la même évolution que nous. Vous vous êtes souvent posé la question de savoir quelle tarification conviendrait le mieux à votre distribution et à vos abonnés. Vous avez, comme nous, passé en revue tous les systèmes connus, et vous savez s'ils sont nombreux; vous en avez probablement conclu qu'aucun ne répondait à tous les désideratas.

L'idéal, comme vous le savez, pour une centrale, c'est de travailler avec une charge aussi constante que possible. Il faut donc chercher, par un genre de vente approprié, à amener les abonnés à ce que l'emploi qu'ils font de l'énergie électrique soit aussi uniforme que possible.

Ce but est difficile à atteindre, car on ne change pas facilement les habitudes d'une population pourvue de réseaux électriques; ce sera, en général, à la tombée