

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 16 (1925)
Heft: 8

Artikel: Der Telphonstörungsfaktor von Wechselstrombahnmotoren und seine experimentelle Bestimmung
Autor: Dreyfus, L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059238>

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: 03.04.2025

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

Der Telephonstörungsfaktor von Wechselstrombahnmotoren und seine experimentelle Bestimmung.

Von Dr. ing. L. Dreyfus, Västerås.

Der Autor definiert zunächst den von den Amerikanern eingeführten „telephone interference factor“, welcher ein Mass für die durch Wechselstrom in Schwachstromanlagen hervorgerufenen Störungen darstellt. Er beschreibt die experimentelle Bestimmung desselben und befürwortet die Untersuchung der Bahnmotoren nach dieser Methode. Er erwähnt ferner gewisse Mängel eines zu diesem Zwecke in Amerika verwendeten Messinstrumentes und schlägt zu deren Beseitigung eine neue Mess-Schaltung vor. Die Anwendung des neuen Störungsmessers wird bei der Prüfung von Bahnmotoren an einem Beispiel gezeigt.

L'auteur commence par définir le „telephone interference factor“, introduit par les Américains, et qui donne une mesure des perturbations apportées par le courant alternatif dans les installations à faible courant. Il décrit la détermination expérimentale de ce facteur et préconise l'application de cette méthode à l'examen des moteurs de traction. Il cite ensuite certaines lacunes d'un instrument de mesure utilisé à cet effet en Amérique et propose d'y remédier par un nouveau schéma. L'auteur montre par un exemple comment le nouvel instrument permet d'examiner les moteurs de traction, au point de vue de leurs propriétés perturbatrices.

Die Frage der Schwachstromstörungen durch Einphasenwechselstrombahnen hat sich in dem letzten Jahrzehnt zu einer der wichtigsten Tagesfragen der Elektrotechnik entwickelt. Dem Bedürfnis, ein geeignetes Messinstrument für Störungsmessungen zu schaffen, versuchte das amerikanische „Subcommittee on wave shape standard“ durch die Konstruktion eines „Interference factor meter“ zu entsprechen. Die Daten hierfür enthält ein Aufsatz von Osborne in den „Transactions of the American Institute of Electrical Engineers¹⁾“. Hierin wird der neue Begriff des Störungsfaktors wie folgt definiert:

Der „telephone interference factor“ F ist das Verhältnis der Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der in bestimmter Weise bewerteten Grund- und Oberwellen zum Effektivwert derselben Kurve. Für eine Stromkurve mit den Harmonischen $I_1, I_2, I_3 \dots I_n \dots$ folgt hieraus:

$$F = \sqrt{\frac{(f_1 I_1)^2 + (f_2 I_2)^2 + (f_3 I_3)^2 + \dots + (f_n I_n)^2 + \dots}{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2 + \dots}} \quad (1)$$

Hierin sind die Bewertungsfaktoren $f_1, f_2, f_3 \dots f_n \dots$ eine Funktion der Periodenzahl allein, also:

$$f = \varphi(\nu), \quad (2)$$

und zwar soll gelten:

$\nu = 200$	$f = 148$	$f \frac{1100}{\nu} = 812$	}	(3)
400	998	2745		
600	2109	3870		
800	4143	5700		
900	6264	7660		
1000	10530	11590		
1100	16490	16490		
1200	12400	11360		
1300	7983	6760		
1500	4526	3320		

Fig. 1, welche nach diesen Werten aufgezeichnet ist, wurde auf folgende Weise gewonnen: Ein mit normalem Telephonempfänger ausgerüsteter künstlicher Telephonkreis wurde mit Strom von verschiedener Frequenz, aber bestimmter Grösse beschickt. Nach verschiedenen Methoden wurde der relative Störungswert dieser Ströme bestimmt und als Mittelwert eine Kurve gefunden, deren Ordinaten pro-

¹⁾ Review of work of subcommittee on wave shape standard of the standards committee. 1919, vol. 38, part. I, page 261.

portional der Kurve 2 in Fig. 1 waren. Es wird zugegeben, dass diese Kurve in hohem Grade von den Konstanten des vorliegenden Falle seinen Resonanzpunkt bei 1100 Perioden besass; der verwendete Empfänger wird jedoch als typisch für alle amerikanischen Telephonempfänger bezeichnet.

Multipliziert man die Ordinaten der Kurve 2 mit der Periodenzahl und einem bestimmten Masstabsfaktor, so ergibt sich die Kurve 1, das heisst die Kurve des Störungsfaktors einer sinusförmigen Wechselstromwelle als Funktion der Periodenzahl. Dieser Rechnung liegt die etwas gewagte Annahme zugrunde, dass die von einer gegebenen Spannung oder einem gegebenen Strome des Starkstromnetzes induzierten Telephonströme angenähert proportional mit der Frequenz zunehmen.

Es kann hier nicht meine Aufgabe sein, die gemachten Annahmen zu kritisieren. Soviel mir bekannt ist, hält das Telegraphenamt in Stockholm ein auf Grund dieser Annahme konstruiertes Instrument für geeignet, den Störungswert eines Wechselstromes festzustellen. In jedem Falle erscheint es wünschenswert, Bahnmotoren jeder Art — mögen sie mit Wechselstrom oder Gleichstrom betrieben werden — mit einem derartigen Messinstrument zu untersuchen. Denn nur so scheint es möglich zu sein, die Ergebnisse theoretischer Untersuchungen zu kontrollieren und dadurch allmählich zu denjenigen Konstruktionen zu gelangen, welche die geringsten Störungen in Schwachstromkreisen verursachen.

Zwar kann ein derartiges Instrument nicht den Oszillographen ersetzen, aber umgekehrt auch ein Oszillograph nicht ein derartiges Instrument. Nach einem Oszillogramm lässt sich nämlich der Störungsfaktor nur dann berechnen, wenn die Kurve der Oberschwingung ziemlich rein ist. Ist dann I_k die (kleine) Amplitude des Kommutierungsobertones, I_1 die Amplitude des Grundtones, so gilt mit guter Annäherung:

$$F = f_k \frac{I_k}{I} . \quad (4)$$

Es gibt indessen erfahrungsgemäss Wicklungen, bei welchen die dem Hauptstrom überlagerten Kommutierungsobertönen so unregelmässig verzerrt sind, dass von einer einheitlichen Periodenzahl nicht mehr gesprochen werden kann. Dann kann beispielsweise die berechnete Periodenzahl 2000 sein und doch kann der Telephonempfänger zu einer kräftigen Schwingung mit 1100 Perioden angeregt werden. In solchen Fällen den Störungsfaktor aus einem Oszillogramm zu berechnen, ist nahezu unmöglich.

Der Motor SJ 1103, den die ASEA für die Drammensbahn in Norwegen lieferte, besitzt eine jener Wicklungen, die eine ziemlich reine Kommutierungsoberschwingung liefern. Es kann von Interesse sein, den maximalen Telephonstörungsfaktor dieses Motors anzugeben, um so für den Vergleich mit anderen Maschinen einen Vergleichsmassstab zu gewinnen. Dieser Motor besitzt 12 Pole, 19 Nuten pro Polpaar und 8 Leiter pro Nute. Die rechnermässige Grundperiodenzahl der Kommutierung ist gleich der doppelten Nutenperiodenzahl, also:

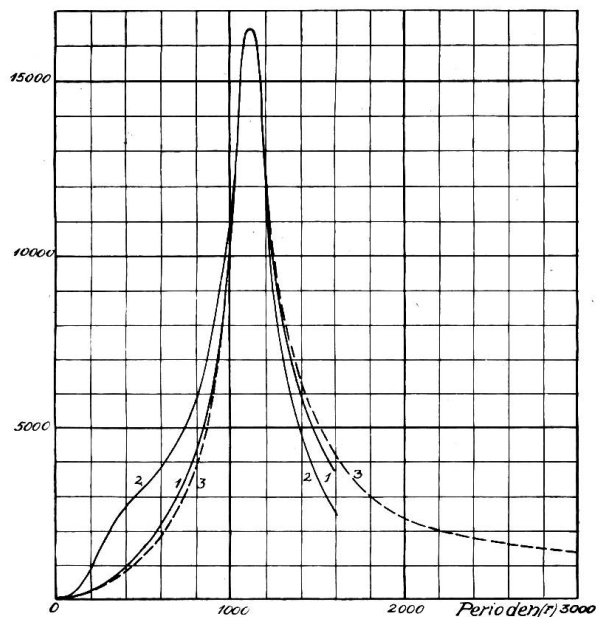


Fig. 1.

$$\nu_k = 2 \cdot 114 \frac{n}{60} = 3,8 n . \quad (5)$$

Die Oszillogramme der Fig. 2 zeigen die Stromänderung $\frac{dI}{dt}$ bei $I = 600$ A und $n = 570$ Umdrehungen. Die Kommutierungsperiodenzahl ist also 2170. Hierbei beträgt die Grundwelle der Kommutierungsoberschwingung ungefähr 30 % der

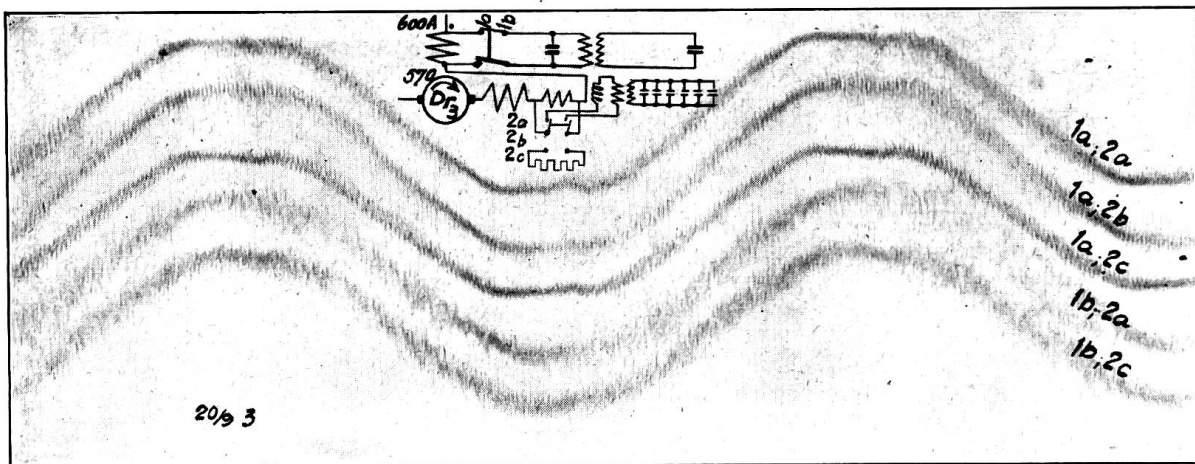


Fig. 2.

15 periodigen Grundschwingung, wenn die normale Betriebsschaltung (1b, 2c) angewandt wird, und ungefähr 15 %, wenn dem Felde Kapazität parallel geschaltet wird (1a, 2c). Rechnen wir diese Oberschwingungen von der $\frac{dI}{dt}$ -Kurve auf die I -Kurve um, so haben wir sie im Verhältnis der Periodenzahlen $\left(\frac{15}{2170}\right)$ zu reduzieren und erhalten für den prozentualen Oberton 0,208 % bzw. 0,104 %. Am stärksten stört dieser Oberton bei $n = 290$, da er hierbei mit der Resonanzperiodenzahl 1100 des Telephonempfängers übereinstimmt. Nehmen wir an, dass auch bei dieser Tourenzahl

$$\frac{I_k}{I} = 0,00208 \quad \text{bzw.} \quad 0,00104$$

sei, der Bewertungsfaktor für $\nu_k = 1100$ ist $f_k = 16490$. Nach Gleichung (4) beträgt daher der maximale Störungsfaktor in der normalen Betriebsschaltung:

$$F = 16490 \cdot 0,00208 = 34 ,$$

und mit Kondensatorschutzschaltung:

$$F = 16490 \cdot 0,00104 = 17 .$$

Wenn man mit dem von dem amerikanischen Komitee vorgeschlagenen Instrument die Stromkurve von Bahnmotoren untersuchen will, stösst man sogleich auf eine beträchtliche Schwierigkeit. Wir haben soeben gefunden, dass der Oberton für gut gebaute Motoren nur etwa $1 \div 2$ ‰ des Grundtones oder noch weniger ausmacht. Wenn dann das Instrument mit Hilfe von Resonanzkreisen diesen verschwindend kleinen Oberton der Messung zugänglich machen soll, so braucht es eine Klemmenspannung von ca. 100 V, die gemäss Fig. 3 von einem induktionsfreien Widerstande

abzuzweigen wäre²⁾). Bei einem Motorstrom von 1500 A entspricht das einer Leistung von 150 kW. Eine solche Leistung in einem Widerstande zu vernichten ist

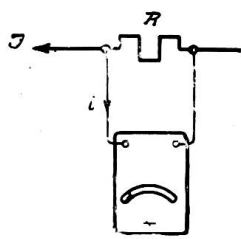


Fig. 3.

beschwerlich, und ausserdem ist es ungewiss, ob nicht ein derart grosser Widerstand auch auf die Ausbildung der Kommutierungsüberschwingungen einen gewissen Einfluss ausübt. Für Gleichstrombahnmotoren eignet sich daher das amerikanische Instrument sehr schlecht und für Wechselstrombahnmotoren nur dann, wenn man es auf der Hochspannungsseite zwischen Transformator und Erde einschalten kann. In allen anderen Fällen empfiehlt es sich, den induktionsfreien Widerstand durch einen kleinen Lufttransformator zu ersetzen und die der Sekundärseite induzierte Spannung

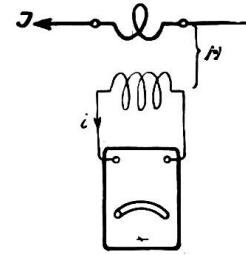


Fig. 4.

mit Hilfe eines geeigneten Instrumentes auf ihren Störungswert zu untersuchen (Fig. 4).

Bei grösseren Ansprüchen an die Genauigkeit ist dann freilich das amerikanische Instrument nicht anwendbar. Denn die Sekundärspannung $M \frac{dI}{dt}$ enthält jeden Oberton im Verhältnis der Periodenzahl stärker ausgeprägt als der ohmsche Spannungsabfall Ir , der in Fig. 3 durch das Instrument analysiert wird. Mit Rücksicht hierauf wurde eine neue Mess-Schaltung ausgearbeitet, deren Schema Fig. 5 zeigt. Ein Lufttransformator arbeitet mit seiner Sekundärseite auf einen Schwingungskreis. Ein durch Kondensator und durch einen induktiven Stromkreis geschuntetes Milliampereometer zeigt den Effektivwert des Wechselstromes an. Durch Herausziehen der Sekundärspule aus der Primärspule kann die Empfindlichkeit verringert werden. Die elektrischen Daten sind folgende:

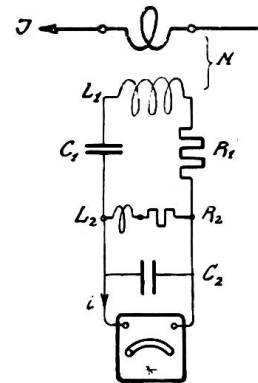


Fig. 5.

Max. Wechselinduktanz zwischen Primär- u. Sekundärwicklung	$M = 0,000807$ Henry.
Totale Selbstinduktanz der Primärwicklung	$L_1 = 0,218$ Henry.
Normalkondensator	$C_1 = 0,1$ Mikrofarad.
Ungeshunteter Widerstand inkl. Verlustwiderstand in L_1 u. C_1	$R_1 = 220$ Ohm.
Instrumentwiderstand	$R_i = 140$ Ohm.
Parallelkondensator	$C_2 = 2$ Mikrofarad.
Induktiver Shuntkreis	$\left\{ \begin{array}{l} L_2 = 0,25 \text{ Henry.} \\ R_2 = 100 \text{ Ohm.} \end{array} \right.$

Die hiermit erreichte Störungskurve $f = \varphi(\nu)$ ist in Fig. 1 gestrichelt eingetragen und zeigt gute Uebereinstimmung mit der amerikanischen Originalkurve. Die Abweichungen sind kleiner als die Beobachtungsgenauigkeit, die bei den amerikanischen Versuchen erzielt werden konnte.

Fig. 6 zeigt den Aufbau des Lufttransformators, der für Motorströme von etwa 200 A bis 2000 A anwendbar ist. Die Primärseite besteht aus 2 Spulen von je 4 Windungen. Jede Windung ist mit 4 parallelen Leitern gewickelt, die zur Erreichung einer möglichst gleichmässigen Stromverteilung verdrillt sind. Das Verdrillungsschema ist auf Fig. 6 angegeben. Jeder Leiter besteht aus 6 parallelen Drähten $3,5 \times 5 = 16,6 \text{ mm}^2$, so dass für den gesamten Kupferquerschnitt pro Spule $24 \times 16,6 = 400 \text{ mm}^2$ erhalten werden. Die beiden Primärspulen können in Serie

²⁾ Bei dem amerikanischen Instrument ergibt sich der Telefonstörungsfaktor als das Verhältnis des Instrumentausschlages in Mikroampere zur Klemmenspannung in Volt.

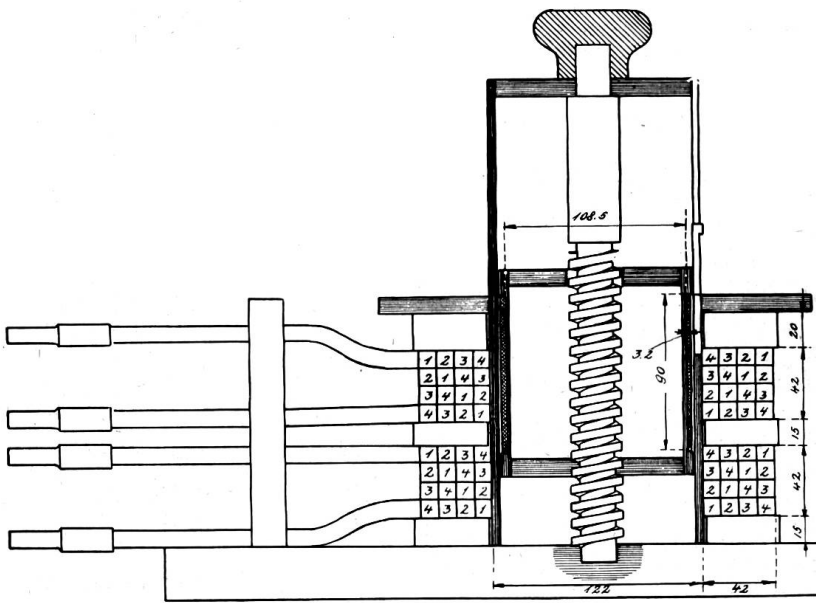


Fig. 6.

oder parallel geschaltet werden. Die Sekundärspule hat 1717 Windungen von 0,3 mm Kupferdraht mit doppelter Seidenbespinnung. Die äusserste Spulenebene wird mit der Primärwicklung verbunden, um die Kapazitätsströme zwischen Primär- und Sekundärspule eindeutig zu bestimmen. Als Amperemeter dient ein Duddell - Thermo - Ammeter 0-10 Milliampere der Cambridge & Paul Instrument Co. Die Eichung dieses Störungsmessers geschieht am einfachsten in der Weise,

dass die Primärspule mit 1100 Perioden erregt und Primär- und Sekundärstrom (I_{1100} bzw. i_{1100}) abgelesen werden. Hieraus folgt die Instrumentkonstante zu:

$$C = 16500 \frac{I_{1100}}{i_{1100}}$$

und der Telefonstörungsfaktor für beliebige Kurvenform des Primärstromes I :

$$F = C \frac{i}{I}.$$

Für die oben beschriebene Mess-Schaltung ist $C = 16500 \cdot 95 = 1,565 \cdot 10^6$.

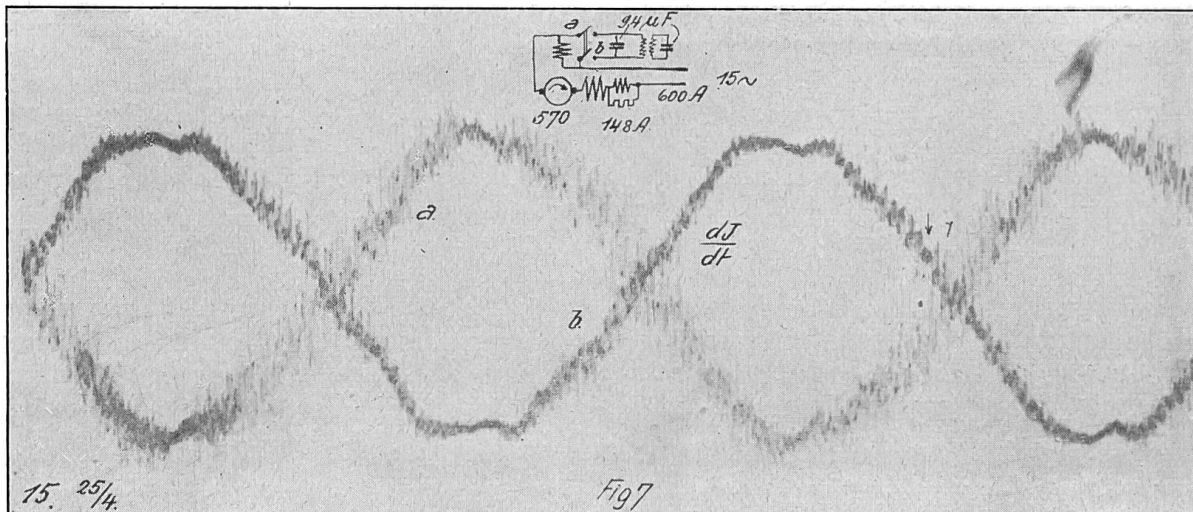


Fig. 7.

Als Beispiel möge die Bestimmung des Telefonstörungsfaktors für eine $\frac{dI}{dt}$ -Kurve nach Fig. 7 dienen. Die Kommutierungsoberschwingungen sind hier so unregelmässig, dass die Berechnung des Störungsfaktors auf Grund einer harmo-

nischen Analyse des Oszillogrammes aussichtslos erscheint. Der Störungsmesser zeigte bei 570 Umdrehungen und 600 A Motorstrom einen Ausschlag von 4,8 Milliampere, wenn keine Kondensatoren der Feldwicklung parallel geschaltet waren. Daraus folgt:

$$F = 1,565 \cdot 10^6 \frac{4,8 \cdot 10^{-3}}{600} = 12,5 .$$

Das ist nun freilich ein sehr günstiger Wert. Untersucht man aber den Störungsfaktor als Funktion der Tourenzahl, so ergibt sich Fig. 8. Bei 290 Umdrehungen wird die rechnermässige Kommutierungsperiodenzahl gleich 1100. Daher besitzt die Kurve hier ein deutlich ausgeprägtes Maximum. Da aber im allgemeinen die Grösse der Kommutierungsüberschwingung mit der Tourenzahl steigt und ihre Kurvenform gemäss Fig. 7 sehr unrein ist, wächst alsbald auch der Störungsfaktor wieder mit der Tourenzahl. Derartige Motoren stören also am meisten bei den höchsten Tourenzahlen, während bei Motoren mit einer Stromkurve gemäss Fig. 2 die Schwachstromstörungen oberhalb einer ziemlich niedrigen kritischen Tourenzahl nicht mehr anwachsen, sondern eher abnehmen. Schon allein mit Rücksicht auf diesen charakteristischen Unterschied ist es von grösster Bedeutung, den Störungsfaktor für Bahnmotoren mit verschiedenen Wicklungen experimentell zu untersuchen.

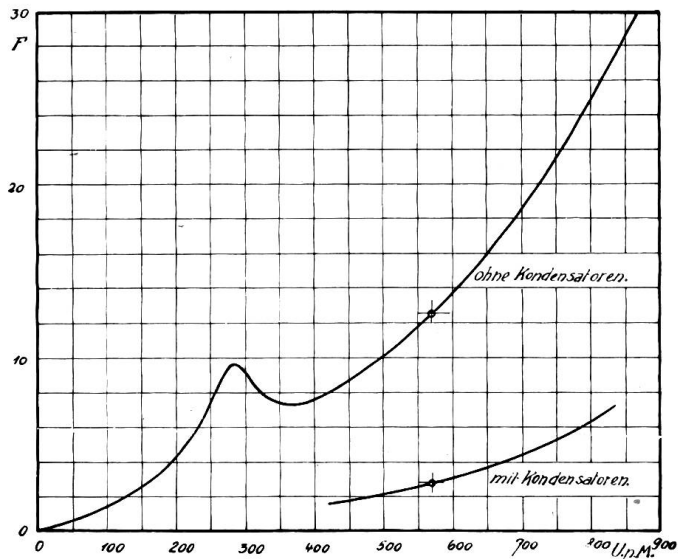


Fig. 8.

Beitrag zur Theorie der Dämpfung von Messgeräten.

Von Prof. A. Imhof, dipl. Ing., Winterthur.

Der Verfasser bespricht an Hand von charakteristischen Kurven die bisher wenig beachtete Erscheinung der ungleichen Dämpfung in verschiedenen Zeigerlagen bei Messinstrumenten.

Dans cette courte note, l'auteur signale à l'aide de courbes caractéristiques le phénomène peu observé jusqu'ici de l'amortissement variable suivant la position de l'aiguille, dans les instruments de mesure.

Beobachtungen an elektrischen Messgeräten veranlassten die folgende kurze Untersuchung, die auf eine bisher anscheinend nicht beachtete Einwirkung der Skalenform auf die Einstelldauer hinweist.

In der Differentialgleichung der gedämpften Schwingung:

$$A \frac{d^2\varphi}{dt^2} - B \frac{d\varphi}{dt} + C \varphi = 0$$

bedeutet A das Massenträgheitsmoment des schwingenden Systems, B die dämpfende Kraft (resp. das dämpfende Drehmoment), unter Annahme, es sei der Geschwindigkeit proportional, C die Einstellkraft, resp. das einstellende Drehmoment.

Die Einstellkraft wurde bisher ohne nähere Untersuchung über den ganzen Skalenwinkel als konstant angenommen. Dies ist bei Drehspulinstrumenten und nahezu auch bei elektrodynamischen Instrumenten der Fall, nicht aber z. B. bei Dreheisen- und elektrostatischen Instrumenten. Daraus ergibt sich eine je nach Zeigerlage