

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 55 (1964)
Heft: 21

Artikel: Statistische Untersuchung der Netzspannungsschwankungen
Autor: Bühler, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916782>

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: 01.04.2025

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

rung infolge Spannungseinfluss eine Änderung zufolge Temperatureinfluss überlagert.

Der Spannungskoeffizient der Kohleschicht-Widerstände beträgt im Mittel ca. $20 \cdot 10^{-6}/V$, derjenige der Metallfilm-Widerstände im Mittel ca. $5 \cdot 10^{-6}/V$. Diese Zahlen zeigen deutlich, dass die Metallfilm-Widerstände auch in dieser Hinsicht den Kohleschicht-Widerständen überlegen sind.

6. Rauschpegel

Bekanntlich lässt sich Wärme als Bewegungsenergie der kleinsten Materialteilchen auffassen. Beim Nullpunkt der absoluten Temperatur ist sie ebenfalls gleich Null, da sich alle Teilchen im Zustand der Ruhe befinden. Zu den wärmeabhängigen Bewegungen der Moleküle kommt bei elektrischen Leitern ausserdem eine Bewegung der freien Elektronen hinzu. Legt man einem Widerstand eine konstante Spannung an, so überlagert sich dem aus ihr und dem Widerstandwert bedingten Strom ein Wechselstrom, der durch die Schwankungen der Elektronenbewegung hervorgerufen wird. Das Frequenzband ist hierbei sehr breit und lässt sich in ein gleichmässiges Spektrum reiner Sinusschwingungen auflösen. Der Rauscheffekt ist einerseits von der Schichtstärke und Länge des Widerstandelementes und dem damit verbundenen homogenen Gefügebau, der Innigkeit der Verbindung zwischen Widerstand und den Enden des Trägerkörpers sowie der Innigkeit der Verbindung dieser Enden mit den Anschlussdrähten, andererseits von der angelegten Spannung abhängig.

Der Rauschpegel der Widerstände, d. h. die Rauschspannung pro Volt angelegter Prüfspannung am Widerstand wird in $\mu V/V$ angegeben. Z. B. zusammen mit dem Röhrenrauschen (auf das hier nicht näher eingegangen wird) begrenzt der Rauschpegel die sinnvoll anwendbare Verstärkung eines Empfängers oder Verstärkers, weil das Eingangssignal im Rauschpegel verschwindet, sobald es kleinere oder gleiche Werte annimmt, wie die Eigenrauschspannung der Widerstände. Für gewisse Schaltungsanwendungen ist deshalb der Konstrukteur

darauf angewiesen, Widerstände mit kleinstem Eigenrauschen zu verwenden.

Die in einem Widerstand erzeugte Rauschleistung errechnet sich nach *Nyquist* wie folgt:

$$P_r = \frac{U^2}{R} = 4kT \cdot \Delta f$$

Darin bedeuten

- P_r Rauschleistung [W];
- k $1,38 \cdot 10^{-23}$ (Bolzmannsche Konstante)
- T absolute Temperatur des Widerstandes [$^{\circ}K$]
- Δf Frequenzbereich [Hz]
- R Widerstand [Ω]

Aus dieser Gleichung errechnet sich die Rauschspannung:

$$U = \sqrt{P_r R} = \sqrt{4kT \cdot \Delta f \cdot R} \quad [V]$$

$$U [\mu V] = 0,00745 \sqrt{T \cdot \Delta f \cdot R} \quad [^{\circ}K \cdot kHz \cdot k\Omega]$$

Diese unvermeidbare Rauschspannung ist nach *Nyquist* umso grösser, je höher die Temperatur des Widerstandes, je grösser der Widerstandwert und je breiter das betrachtete Frequenzspektrum ist. Bei scharfen Anforderungen an die Rauscharmuth empfiehlt sich der Metallfilm-Widerstand ganz besonders, denn eine wesentliche Eigenschaft besteht darin, dass die gemessenen Rauschwerte durchweg unterhalb $0,1 \mu V/V$ liegen, wobei Messungen in diesem Bereich verständlicherweise schwierig durchzuführen sind. Man kann aber in grober Annäherung sagen, dass der Rauschpegel der Metallfilm-Widerstände eine Zehnerpotenz niedriger liegt als derjenige von Kohleschicht-Präzisions-Widerständen.

Die beschriebenen Widerstände sollten, gemäss den Empfehlungen der CEI mit der Angabe des Types, des Widerstandwertes, der Toleranz, der Belastbarkeit und des Firmenzeichens gekennzeichnet sein.

Adresse des Autors:

K. Schär, W. Moor AG, Bahnstrasse 58, 8105 Regensdorf.

Statistische Untersuchung der Netzspannungsschwankungen

Von H. Bühler, Ciona di Carona

621.3.015.2 : 621.316.1

Ausgehend von der Definition der Spektraldichte von statistischen Schwankungen wird eine Messmethode beschrieben, bei der ein normaler Analogrechner verwendet wird. Das Verfahren wurde zur Bestimmung der Spektraldichte der Netzspannungsschwankungen angewendet. Bei den hier angeführten Resultaten wird insbesondere die Streuung der Messwerte und die Bestimmung der Mittelwerte gezeigt.

En partant de la définition de la densité spectrale de variations statistiques, l'auteur décrit une méthode de mesure qui permet l'emploi d'un calculateur analogique normal. Cette méthode a été utilisée pour déterminer la densité spectrale des fluctuations de la tension d'un réseau. Les résultats montrent notamment la dispersion des valeurs mesurées et la détermination des valeurs moyennes.

1. Übersicht

Die Belastung eines elektrischen Netzes ist nie konstant, sondern es treten darin dauernde, normalerweise meist kleine Schwankungen auf. Diese Laständerungen bewirken, dass die Frequenz und die Spannung in einem Netz ebenfalls dauernden Schwankungen unterworfen sind. Die auftretenden Änderungen sind rein zufälliger Natur, zu ihrer Beschreibung müssen statistische Methoden herbeigezogen werden.

Über die Wirkleistungsschwankungen und die damit verbundenen Frequenzschwankungen wurden von der Studienkommission für die Regelung grosser Netzverbände des SEV

verschiedene Untersuchungen durchgeführt, [1; 2; 3]¹⁾. Die beschriebenen Untersuchungen sollen Aufschluss geben über die im Netz auftretenden Spannungsschwankungen. Solche Angaben sind z. B. interessant für die Bestimmung des Verhaltens von elektronischen Geräten, wie z. B. Genauigkeit der Drehzahl eines elektronischen Regelantriebes infolge der dauernden kleinen Änderungen der Netzspannung.

Während die langsamen Frequenzschwankungen, infolge der Wirklaständerungen in jedem Punkt eines Netzes praktisch gleich gross sind, sind die Spannungsschwankungen in jedem

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Netzpunkt verschieden. Die hier beschriebenen Versuche gelten daher nur für eine bestimmte Stelle im Netz.

Bei der Untersuchung der statistischen Schwankungen werden meistens die interessierenden Grössen (z. B. Wirkleistung und Frequenz) mit Hilfe eines geeigneten Schreibers registriert. Nach Ablesung einer hinreichend grossen Anzahl Messpunkte aus dem Registrierstreifen können nachher die statistischen Werte (Autokorrelationsfunktion und Spektraldichte) numerisch berechnet werden. Während die Berechnungen mit Hilfe von digitalen Rechenautomaten relativ leicht erledigt werden können, ist das Ablesen der Messpunkte aus dem Registrierstreifen eine sehr mühsame Arbeit.

Es wurde daher eine andere Methode entwickelt, welche gestattet, die Spektraldichte mit Hilfe eines Gleichstrom-Analogrechners zu bestimmen. Dies bedingt, dass die zu untersuchende Grösse in Form eines Gleichspannungs- oder Gleichstromsignals zur Verfügung steht. Im Falle der Untersuchung der Netzspannungsschwankungen lässt sich ein geeignetes Signal durch Gleichrichtung und Glättung der Wechselspannung gewinnen. Mit dem Analogrechner kann so jedoch nur die Netzspannung in der Nähe des Aufstellungs-ortes des Rechners untersucht werden.

Falls ein geeignetes Tonbandgerät zur Verfügung steht, so kann das Signal der zu untersuchenden Abweichung an einem beliebigen Punkt aufgenommen werden, worauf sich nachher durch Wiedergabe des Tonbandes die Untersuchung am Analogrechner durchführen lässt. Das Tonbandgerät muss dazu Spannungen bis zur Frequenz Null (Gleichspannung) aufnehmen und wiedergeben können.

Der Vorteil der Bestimmung der Spektraldichte mit einem Analogrechner ist der, dass das mühsame Auswerten der Registrierstreifen dahinfällt. Am Ende der Untersuchungsdauer ergibt sich direkt die Grösse der Spektraldichte. Man erhält so leicht eine grosse Anzahl Messwerte für die Spektraldichte, deren Mittelwert sich mit Hilfe statistischer Methoden auswerten lässt. Damit lassen sich trotz grosser Streuung der einzelnen Messwerte gute Gesetze für die Grundgesamtheit angeben.

Im folgenden wird nach einer kurzen Definition der Spektraldichte die Schaltung für den Analogrechner zur Bestimmung der Spektraldichte beschrieben. Bei der Untersuchung der Netzspannungsschwankungen werden Streuung der einzelnen Messwerte und Abhängigkeit der Spektraldichte von der Frequenz eingehend beschrieben.

2. Die Spektraldichte

Periodische Funktionen können bekanntlich mit der Fourierreihe analysiert und durch ein Amplitudenspektrum dargestellt werden. Einmalig ablaufende Vorgänge werden mit einem Amplitudendichtespektrum beschrieben.

Rein zufällig ablaufende Signale, auch stochastische Signale genannt, wie dies z. B. die Netzspannungsschwankungen sind, werden mit der Spektraldichte erfasst. Überdies können stochastische Vorgänge auch mit der Korrelationsfunktion untersucht werden. Im folgenden seien jedoch die Untersuchungen auf die Spektraldichte beschränkt, da diese auch die Untersuchung im Frequenzbereich gestattet. Das Verhalten von Regelkreisen usw. bei Störungen mit stochastischen Signalen kann mit der Spektraldichte und dem jedem Regeltechniker vertrauten Frequenzgang untersucht werden.

Die Spektraldichte (besser spektrale Leistungsdichte) berechnet man aus:

$$\Phi(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \left| \int_{-T}^T f(t) e^{-j\omega t} dt \right|^2 \quad (1)$$

$f(t)$ ist das zu untersuchende stochastische Signal.

Auf die Ableitung und den Zusammenhang mit der Autokorrelationsfunktion soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden [4].

Der in Gl. (1) verlangte Grenzübergang $T \rightarrow \infty$ lässt sich nun praktisch nie verwirklichen, da man das Signal $f(t)$ nie während unendlich langer Zeit beobachten kann. Für die praktische, experimentelle Bestimmung der Spektraldichte muss man sich daher auf eine endliche Beobachtungsdauer T beschränken. Damit ist die Spektraldichte zu berechnen aus:

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{T} \left| \int_0^T f(t) e^{-j\omega t} dt \right|^2 \quad (2)$$

Gl. (2) lässt sich wie folgt umformen:

$$\begin{aligned} \Phi(\omega) &= \frac{1}{T} \left| \int_0^T f(t) (\cos \omega t - j \sin \omega t) dt \right|^2 = \\ &= \frac{1}{T} \left[\left(\int_0^T f(t) \cos \omega t dt \right)^2 + \left(\int_0^T f(t) \sin \omega t dt \right)^2 \right] \end{aligned}$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$\left. \begin{aligned} A_\omega &= \int_0^T f(t) \cos \omega t dt \\ B_\omega &= \int_0^T f(t) \sin \omega t dt \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

so folgt

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{T} (A_\omega^2 + B_\omega^2) \quad (4)$$

Die Integration in Gl. (3) ist über die Zeit T , die ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer $2\pi/\omega$ sein muss, zu erstrecken. Zwischen der Beobachtungsdauer T und der untersuchten Frequenz $\omega = n \omega_0$ besteht somit die feste Beziehung:

$$T = n \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (5)$$

n ist dabei die Anzahl der beobachteten Periodendauern $2\pi/\omega$. Daher kann die Spektraldichte auch aus:

$$\Phi(\omega) = \frac{\omega}{2\pi n} (A_\omega^2 + B_\omega^2) = \frac{\omega_0}{2\pi} (A_\omega^2 + B_\omega^2) \quad (6)$$

berechnet werden, was durch Einsetzen von Gl. (5) in Gl. (4) ohne weiteres folgt.

Bei der praktischen Bestimmung der Spektraldichte steht man vor der Frage, wie gross die Beobachtungsdauer zu wählen ist. Es sei daran erinnert, dass theoretisch $T \rightarrow \infty$ entsprechen sollte. Eine eindeutige Vorschrift lässt sich darüber natürlich nicht angeben. Je nach Natur des stochastischen Signals können sich für die zweckmässigste Beobachtungsdauer ganz verschiedene Werte ergeben.

Im Zusammenhang mit der Untersuchung der Netzspannungsschwankungen erweist sich eine Beobachtungsdauer von etwa 30 s ... 10 min als zweckmässig, wobei je nach zu untersuchendem Frequenzbereich, die Gl. (5) zu beachten ist. Die Beobachtung über einen längeren Zeitbereich, wie z. B. einige Stunden bis zu einem Tag, ist nebst mess- und auswertetechnischen Schwierigkeiten zu vermeiden, da damit auch beabsichtigte, d. h. nicht willkürliche, Änderungen im Netz, wie Zu- und Abschalten von Kraftwerken bei Belastungsspitzen oder Nacht- und Sonntagsstunden erfasst würden. Solche beabsichtigten Änderungen der Netzkonfiguration (Grundgesamtheit im statistischen Sinne) widersprechen jedoch den Voraussetzungen der statistischen Untersuchungen, welche verlangen, dass nur zufällige Änderungen auftreten dürfen. Die Beschränkung auf eine relativ kurze Beobachtungsdauer ist damit gerechtfertigt.

Es liegt jedoch in der Natur der statistischen Schwankungen, dass die einzelnen Messwerte grossen Streuungen unterworfen sein können, wobei man nur durch eine grosse Anzahl von Messungen einen einigermaßen zuverlässigen Mittelwert bestimmen kann. Die bei der Untersuchung von Netzspannungsschwankungen auftretenden Streuungen werden in Abschnitt 4 bei der Wiedergabe der Messresultate angeführt.

Aus der Spektraldichte $\Phi(\omega)$ lässt sich auch das mittlere Fehlerquadrat E_m^2 berechnen [4]. Es ist:

$$E_m^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega) d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \Phi(\omega) d\omega \quad (7)$$

Bei der Umformung wurde berücksichtigt, dass $\Phi(-\omega) = \Phi(\omega)$ ist.

Wurde die Spektraldichte experimentell bestimmt, so liegen meistens die Werte nur in einem bestimmten Frequenzbereich $\omega_1 \dots \omega_2$ vor. Insbesondere der tiefste Wert ω_1 ist durch die Beobachtungsdauer T gegeben [siehe Gl. (5)]. Man kann daher normalerweise die Integration in Gl. (7) nicht zwischen $\omega = 0 \dots \infty$, sondern nur zwischen $\omega = \omega_1 \dots \omega_2$ erstrecken. Damit lässt sich das partielle mittlere Fehlerquadrat E_{mp}^2 berechnen aus:

$$E_{mp}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi(\omega) d\omega \quad (8)$$

Im Zusammenhang mit der Untersuchung der Netzspannungsschwankungen sei auf diese Gleichung zurückgekommen.

3. Die Messung der Spektraldichte mit Hilfe eines Analogrechners

Für die praktische Berechnung der Spektraldichte wurde im vorhergehenden Abschnitt die Gl. (4) angegeben, wobei die Koeffizienten A_ω und B_ω nach Gl. (3) zu bestimmen sind. Diese Form eignet sich sehr gut zur Lösung mit einem elektronischen Analogrechner, wie nachstehend gezeigt werden soll.

Ein elektronischer Analogrechner besitzt Addierglieder, Integrationsglieder und Koeffizientenpotentiometer, Funktionsgeneratoren sowie Multiplikatoren. An dieser Stelle würde es zu weit führen, näher auf den Aufbau und die Funktionsweise der Analogrechner einzugehen. Für nähere Einzelheiten sei z. B. auf [5] verwiesen.

Für die Berechnung der Koeffizienten A_ω , bzw. B_ω nach Gl. (3) ist die zu untersuchende Funktion $f(t)$ mit $\cos \omega t$ bzw.

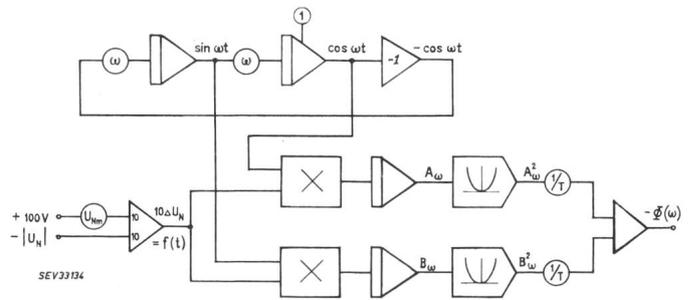


Fig. 1
Rechenschaltung für die Berechnung der Spektraldichte $\Phi(\omega)$ auf einem Analogrechner

U_N Netzspannung; U_{Nm} Mittelwert der Netzspannung;
 $f(t)$ stochastisches Signal; T Beobachtungsdauer
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

sin ωt zu multiplizieren. Das Produkt $f(t) \cdot \cos \omega t$ bzw. $f(t) \cdot \sin \omega t$ ist über die Beobachtungszeit T zu integrieren. Quadrieren von A_ω und B_ω mit anschliessender Addition und Multiplikation mit dem Faktor $1/T$ liefert schliesslich die gesuchte Spektraldichte $\Phi(\omega)$ [siehe Gl. (4)]. Die Rechenschaltung für die Berechnung der Spektraldichte $\Phi(\omega)$ ist in Fig. 1 dargestellt.

Die zu untersuchende, stochastische Funktion $f(t)$ wird gebildet indem einerseits die gleichgerichtete und geglättete Netzspannung $|U_N|$ mit negativem Vorzeichen und andererseits eine positive, konstante Spannung entsprechend dem Mittelwert U_{Nm} einem Summator zugeführt wird. Dieser bildet demnach die Abweichung ΔU_N der Netzspannung vom Mittelwert, welche zusätzlich um den Faktor 10 verstärkt wird. (Man beachte die Vorzeichenumkehr beim Rechenverstärker.) Es ist daher $f(t) = 10 \Delta U_N$.

Die trigonometrischen Funktionen $\cos \omega t$ und $\sin \omega t$ lassen sich auf dem Analogrechner durch Integration der Differentialgleichung

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (9)$$

bestimmen, mit den Anfangsbedingungen für $t = 0$

$$x(0) = 1 \quad \frac{dx(0)}{dt} = 0$$

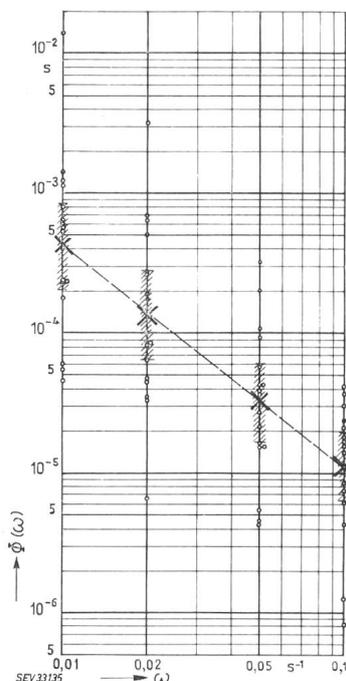
Die Lösung dieser Gleichung ist bekanntlich:

$$x = \cos \omega t \quad \frac{dx}{dt} = -\omega \cdot \sin \omega t \quad (10)$$

Die Differentialgleichung (9) kann auf dem Analogrechner mit 2 Integratoren, einem Inverter und zwei Koeffizientenpotentiometern mit dem Faktor ω gelöst werden (siehe Fig. 1 oben). Da im vorliegenden Fall die genaue Lösung bekannt ist [siehe Gl. (10)], so liefert die Rechenschaltung die gesuchten trigonometrischen Funktionen $\cos \omega t$ und $\sin \omega t$.

Mit je einem Multiplikator werden $f(t) \cdot \cos \omega t$, bzw. $f(t) \cdot \sin \omega t$ gebildet und die beiden Produkte je einem Integrator zugeführt. Die Integration ist über eine ganze Anzahl Perioden von ω zu erstrecken. Das Abstoppen der Rechnung kann mit Hilfe eines Komparators erfolgen, welcher den Nulldurchgang von $\sin \omega t$ kontrolliert (in Fig. 1 nicht dargestellt). Am Ausgang der beiden Integratoren erhält man nach beendeter Rechnung A_ω bzw. B_ω . Mit je einem Funktionsgenerator mit quadratischer Kennlinie wird A_ω^2 und B_ω^2 gebildet. Nach einer Multiplikation mit der Konstanten $1/T$ und Addition

Fig. 2
Messung der Spektraldichte der Netzspannungsschwankungen
 Resultate einer Messreihe
 $\Phi(\omega)$ Spektraldichte; ω Kreisfrequenz
 o einzelner Messpunkt;
 X Mittelwert;
 Bereich innerhalb der Vertrauensgrenzen



folgt die gesuchte Spektraldichte $\Phi(\omega)$ (mit negativem Vorzeichen).

Weist der Analogrechner genügend Elemente auf, so kann man die Schaltung in Fig. 1 mehrere Male aufbauen und so die Rechnung gleichzeitig für verschiedene Werte von ω durchführen.

Die Werte von ω müssen dabei in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, damit immer über eine ganze Anzahl Perioden integriert wird, da die Beobachtungsdauer T überall gleich lang ist.

Mit Rücksicht auf die Genauigkeit ist es oft zweckmässiger A_ω und B_ω abzulesen und die Auswertung der Gl. (4) mit dem Rechenschieber oder mit einer Handrechenmaschine vorzunehmen. Damit können insbesondere die kleinen Werte von $\Phi(\omega)$ genauer bestimmt werden.

4. Untersuchung der Netzspannungsschwankungen

Mit der in Abschnitt 3 beschriebenen Messmethode wurde die Spektraldichte der Netzspannungsschwankungen bestimmt. Die Untersuchung erfolgte dabei in einem Verteilnetz 380/220 V. Nachstehend seien die Resultate angegeben und kurz kommentiert.

Die Messungen wurden über den Frequenzbereich $\omega = 0,01 \dots 10$ erstreckt, d. h. über 0,00159...1,59 Hz. Entsprechend den vorhandenen Elementen des Analogrechners konnten pro Messung je vier Frequenzen untersucht werden und zwar $\omega = 0,01, 0,02, 0,05$ und $0,1$ oder $\omega = 0,1, 0,2, 0,5$ und 1 oder $\omega = 1, 2, 5$ und 10 . Dabei wurden die Frequenzbereiche absichtlich überlappt, um eine Kontrollmöglichkeit der sich aneinanderreihenden Kurvenäste zu bekommen.

Da die einzelnen Messwerte naturgemäss sehr starken Streuungen unterworfen sind, wurde eine Vielzahl von Messungen ausgeführt. Die einzelnen Messreihen wurden am Vormittag zwischen 7.30 und 11.30 Uhr oder am Nachmittag zwischen 13.30 und 17.00 Uhr durchgeführt und die Messungen an verschiedenen Tagen wiederholt. Pro Messreihe wurden 15...45 Messpunkte aufgenommen.

In Fig. 2 sind die einzelnen Ergebnisse einer Messreihe für $\omega = 0,01 \dots 0,1$ in doppellogarithmischer Teilung aufgetragen. Die Netzspannungsänderungen sind dabei auf Nennspannung bezogen (per unit-Werte); die Spektraldichte besitzt somit die Dimension s. Es wurden $N = 17$ Punkte gemessen. Man erkennt, dass die Messpunkte stark streuen. Überdies sind Mittelwert (Kreuz) und Bereich innerhalb der Vertrauens-

grenzen (schraffiert) in Fig. 2 eingetragen. Die statistische Auswertung, d. h. Bestimmung von Mittelwert, Streuung und Vertrauensgrenzen sowie die weiter unten noch erwähnte Streuungserlegung der Mittelwerte der Messreihen haben im logarithmischen Maßstab der Spektraldichte zu erfolgen, da nur so praktisch eine Normalverteilung vorliegt. Betreffend den Methoden der statistischen Mathematik sei auf [6] verwiesen.

Im Frequenzbereich $\omega = 0,01 \dots 0,1 \text{ s}^{-1}$ wurden 5 Messreihen, im Frequenzbereich $\omega = 0,1 \dots 1 \text{ s}^{-1}$ 3 Messreihen und im Frequenzbereich $\omega = 1 \dots 10 \text{ s}^{-1}$ 6 Messreihen ausgeführt. Für die zusammengehörenden Messreihen wurde die Streuungserlegung zur Beurteilung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten durchgeführt. Dabei ergab sich, dass lediglich eine Messreihe (und zwar im Frequenzbereich $\omega = 1 \dots 10 \text{ s}^{-1}$) gesichert abweicht. Für die Weiterverarbeitung der Messwerte wurde daher diese Messreihe ausgeschieden.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse der verschiedenen Messreihen ist in Fig. 3 enthalten. Es sind die Mittelwerte der einzelnen Messreihen (Kreis), der Mittelwert sämtlicher Messpunkte für eine Frequenz (Kreuz) und der Bereich innerhalb der Vertrauensgrenzen (schraffiert) eingetragen. Man erkennt, dass sich die Messungen der einzelnen Frequenzbereiche bei $\omega = 0,1$ und 1 relativ gut aneinander anfügen.

Zwischen $\omega = 0,01$ und $\omega = 2$ kann die Spektraldichte mit sehr guter Näherung durch eine Gerade mit der Neigung $-1,5$ (im doppelt logarithmischen Maßstab) dargestellt werden. Die Werte für $\omega = 5$ und 10 liegen unterhalb der Geraden, es ist hier ein deutliches Abbiegen erkennbar. Vernachlässigt man

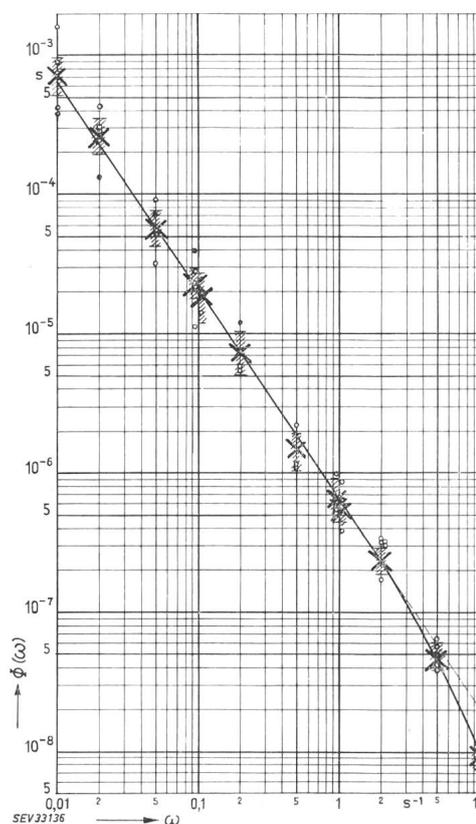


Fig. 3

Wie Fig. 2, aber Resultate sämtlicher Messungen

o Mittelwert der einzelnen Messreihen; X Mittelwert sämtlicher Messpunkte pro Frequenz

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

diese Feinheit, so kann man entsprechend der in Fig. 3 eingezeichneten Regressionsgeraden für die Spektraldichte der Netzspannungsschwankungen den Ansatz machen:

$$\Phi(\omega) = \frac{0,675 \cdot 10^{-6}}{\omega^{1,5}} \quad (11)$$

Mit dieser Beziehung lässt sich das partielle mittlere Fehlerquadrat berechnen [siehe Gl. (8)]. Es ist:

$$E_{mp}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi(\omega) d\omega = 0,43 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\sqrt{\omega_1}} - \frac{1}{\sqrt{\omega_2}} \right) \quad (12)$$

Entsprechend dem Gültigkeitsbereich von Gl. (11) ist $\omega_1 = 0,01 \text{ s}^{-1}$ und $\omega_2 = 10 \text{ s}^{-1}$ zu setzen. Wie man sich leicht überzeugt, ist der Beitrag für Frequenzen $\omega > 10$ nur gering, so dass man ohne grossen Fehler $\omega_2 = \infty$ setzen darf. Mit $\omega_1 = 0,01$ folgt dann:

$$E_{mp}^2 = 4,3 \cdot 10^{-6} \quad E_{mp} = 2,08 \cdot 10^{-3}$$

Entsprechend der tiefsten Frequenz ist der berechnete Wert für E_{mp} für eine Beobachtungszeit:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_1} = 628 \text{ s} \approx 10,5 \text{ min}$$

gültig. Vergleichsweise wurde E_m direkt aus Meßstreifen der Netzspannungsschwankungen (mit Hilfe der Summenhäufigkeit) ermittelt. Die Auswertung von zwei Messungen über je eine Beobachtungsdauer von 10 min ergab $E_m = 1,97 \cdot 10^{-3}$

und $1,59 \cdot 10^{-3}$, also Werte, die befriedigend mit dem oben berechneten Wert $E_{mp} = 2,08 \cdot 10^{-3}$ übereinstimmen. Auswertungen von Meßstreifen über je 120 s ergaben für E_m die folgenden Werte:

$$\begin{array}{cccc} 2,12 \cdot 10^{-3} & 1,55 \cdot 10^{-3} & 1,36 \cdot 10^{-3} & 1,25 \cdot 10^{-3} \\ 1,32 \cdot 10^{-3} & 1,36 \cdot 10^{-3} & & \end{array}$$

Berechnet man E_{mp}^2 mit $\omega_1 = 2\pi/120 = 0,0524 \text{ s}^{-1}$ und $\omega_2 = \infty$ aus Gl. (12), so folgt:

$$E_{mp}^2 = 1,88 \cdot 10^{-6} \quad E_{mp} = 1,37 \cdot 10^{-3}$$

also ein Wert, der mit den oben angegebenen Werten ganz gut übereinstimmt.

Literatur

- [1] Gaden, D.: Essai d'un procédé pour caractériser la clientèle d'un réseau selon la variabilité de sa consommation. Bull. SEV 46(1955)2, S. 45...56.
- [2] Gaden, D.: Rapport existant entre les variations de la charge consommée par la clientèle d'un réseau et les variations de fréquence qui en résultent. Bull. SEV 49(1958)10, S. 439...448.
- [3] Gaden, D.: Nouveaux résultats d'essais concernant le rapport existant entre les variations de la charge consommée par la clientèle d'un réseau et les variations de fréquence qui en résultent. Bull. SEV 54(1963)2, S. 37...42.
- [4] Truxal, J.: Entwurf automatischer Regelsysteme. München Oldenburg (1960).
- [5] Bühler, H.: Einführung in die Anwendung moderner Rechenautomaten. Basel: Birkhäuser (1963).
- [6] Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. 3. Auflage. Basel: Birkhäuser (1960).

Adresse des Autors:

H. Bühler-Canepa, Ingenieur, Ciona di Carona (TI).

Commission Electrotechnique Internationale (CEI) ¹⁾

29. Haupttagung in Aix-les-Bains vom 19. bis 30. Mai 1964

CE 25, Symboles littéraires et signes

Une seule journée était prévue au programme pour la réunion plénière du CE 25, en effet tout le travail de détail est fait dans le cadre plus léger du GT 1, qui, fonctionnant comme «Comité secrétariat» soumet les documents établis directement aux Comités nationaux.

Le Comité d'Etudes a examiné le problème des «Symboles pour des grandeurs variables avec le temps» en tâchant d'établir un système plus détaillé que celui qui est proposé dans la révision de la publication 27 de la CEI. Il n'a pas été possible encore d'arriver à un accord et le problème reste à l'étude.

Différentes propositions étaient en présence pour les symboles des fonctions discontinues (fonction unité, impulsion, doublet, etc.): $S(t)$ ou $u(t)$, $\gamma(t)$ et $\delta(t)$. $u(t)$ fut éliminé d'un commun accord, alors que $\gamma(t)$ proposé et soutenu seulement par la France était également abandonné. Le choix entre $S(t)$ soutenu par les Etats-Unis, le Royaume-Uni et la Turquie et $\delta(t)$ proposé par les autres états européens: Allemagne, Yougoslavie, Espagne, Pays-Bas, Suisse et en outre le Japon devra encore être soumis aux Comités Nationaux.

Le CE 25 a en outre examiné et approuvé avec quelques légères modifications les propositions de son Secrétariat concernant d'une part l'organisation interne du CE 25 et précisant les tâches et les compétences du GT 1, d'autre part un projet de «Directives pour la procédure à suivre pour la collaboration entre le CE 25 et les autres Comités d'études en matière de symboles littéraires». Il a approuvé également les rapports d'activité de ses Groupes de travail 1 et 2.

J. Dufour

SC 29A, Enregistrement sonore

Le SC 29A, qui s'est réuni 4 1/2 jours à Aix-les-Bains sous la présidence de M. Davies (Royaume-Uni), avait pour ordre du jour le document 29A(Bureau Central)14A. Il a été pris note qu'à la suite de la réunion de Baden-Baden, la proposition du Secrétariat soumise à la Règle des Six Mois concernant la révision de la Publication 98 de la CEI, Recommandations pour les enregistrements à gravure latérale sur disques moulés d'utilisation courante et sur disques pour usage professionnel, a été acceptée, de sorte que la deuxième édition de cette Publication se rapportant aux disques moulés et appareils de lecture a pu paraître. En outre, l'amendement du point D2 de la Publication 94 de la CEI concernant les caractéristiques de fréquence de l'enregistrement magnétique a aussi été accepté selon la Règle des Six Mois, de sorte qu'il pourra être publié.

Un groupe de travail pour le vocabulaire a été constitué pour collaborer aux travaux du CE 1, Terminologie. A la demande de la France, un groupe est formé pour définir un niveau zéro de référence pour les signaux enregistrés sur bande magnétique. Cette définition pourrait être introduite dans une nouvelle publication (distincte de la Publication 94) intitulée «Méthodes de mesure dans le domaine de l'enregistrement magnétique».

Le document 29A(Secrétariat)18, qui constitue la préparation d'une nouvelle édition de la Publication 94, fit l'objet de diverses discussions; celle qui a la portée essentielle concerne les caractéristiques de fréquence dont on tend d'une manière générale à réduire la constante de temps. A 19 cm/s, la valeur de 70 μs est maintenue; par contre, à 9,5 cm/s, bien que 140 μs reste en vigueur, on tendra à introduire 90 μs . Pour la vitesse de 4,76 cm/s, la valeur proposée est de 120 μs aux aiguës et 1590 μs aux

¹⁾ Der 1. Teil ist im Bull. SEV 55(1964)18 erschienen.