

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 44 (1953)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Eine neue Methode der Fehlerort- und Fehlerartbestimmung in elektrischen Leitungsnetzen  
**Autor:** Röschlau, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059943>

### **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>**

total de l'équipement engagé par étage de sélection est certainement un minimum.

Le fait que le système de commutation 7-E est un système entièrement à enregistreur, qui contrôle directement les opérations de tous les sélecteurs, représente la condition idéale pour l'aiguillage des connexions du trafic interurbain, parce que l'enregistreur est l'élément le plus pratique et le plus économique utilisable. En conclusion, on peut dire,

que les méthodes modernes appliquées dans le système 7-E avec les circuits statiques et à contrôle électronique, ont assuré le développement d'un système qui offre pour les bureaux automatiques locaux ou interurbains des avantages sérieux et des performances remarquables.

Adresse de l'auteur:

H. W. Haffter, ingénieur à la S. A. Standard Téléphone & Radio, Case postale Zurich 38.

## Eine neue Methode der Fehlerort- und Fehlerartbestimmung in elektrischen Leitungsnetzen

Von H. Röschlau, Kiel

621.317.333.4

Die Fehlersuche in elektrischen Leitungsnetzen ist oft ein recht schwieriges Problem und zuweilen mit grossen Kosten verbunden, da infolge unsicherer Ortung der Störstelle nicht selten grössere Längen freigelegt und allfällig an mehreren Stellen aufgetrennt werden müssen. Vor allem treten Schwierigkeiten auf, wenn es sich um Verzweigungen im Netz handelt und nur geringe Möglichkeit besteht, diese Verzweigungen zum Zweck der Fehlerortung aufzutrennen, oder aber, wenn mehrere Kabel verschiedener Herkunft bzw. verschiedenen Alters und damit auch meist verschiedener Eigenschaften zusammengestückt verlegt sind. Bei diesen Leitungsnetzen kann es sich um Energiekabel für Hoch- und Niederspannung oder Fernmeldekabel, wie Koaxial- und Breitbandkabel, handeln, oder sie bestehen aus Freileitungen für Energieversorgung mit Mittel-, Hoch- oder Niederspannung, oder aus Fernmeldefreileitungen. An diesen Leitungen oder Kabeln treten die verschiedensten Störungen auf, die man zweckmässig in sechs Gruppen einteilt:

1. Querstörungen:
  - a) ein- oder mehradrige Erdschlüsse und Kurzschlüsse Ader gegen Ader.
  - b) Fehler durch mechanische Beschädigung: Knickung und Quetschung.
2. Längsstörungen: Aderunterbrechungen und Querschnittsverminderungen.
3. Mantelschäden und Mantelunterbrechungen.
4. Zusammengesetzte Störungen. Diese können an einer oder mehreren Stellen einer Leitung, auch in mehreren Adern gleichzeitig auftreten.
5. Kabelfehler mit hochohmigen Übergangswiderständen.
6. Kabelfehler, die nur kurzzeitig auftreten, Störungsanzeigergeräte ansprechen lassen, vielfach aber kurze Zeit darauf nicht mehr feststellbar sind. Diese Fehler entwickeln sich oft erst nach wiederholtem Auftreten zur Dauerbetriebsstörung.

Die Ortung der hier aufgeführten Störquellen bereitet, wie bereits gesagt, mitunter Schwierigkeiten. Man hat sich bisher bei der Ortung der üblichen Brückenmethode, wie Kapazitäts-, Induktivitäts- oder Scheinwiderstandsmessung bedient, die aber meist viel Zeit in Anspruch nimmt. Es hat sich daher als notwendig erwiesen, nach neuen Methoden der Fehlerortung und Fehlerbestimmung zu suchen, die gestatten, diese Arbeiten schneller und genauer zu ermöglichen, weil die Häufigkeit der Störungen, z. B. infolge von Kriegseinwirkungen, besonders beträchtlich geworden ist.

Eine neue Methode, die von der Deutsche Werke Apparatebau GmbH., Kiel, entwickelt wurde, beruht auf dem Radarprinzip, einem Prinzip, das während des letzten Krieges Anwendung fand und das ähnlich ist dem bereits seit geraumer Zeit mit bestem Erfolg angewandten akustischen Echolot zur Ausmessung von Wassertiefen.

Die Messmethode besteht darin, in periodischer Folge elektrische Impulse geeigneter Dauer und Höhe in das zu untersuchende Kabel bzw. in die Leitung zu senden. Bei Unregelmässigkeiten im Leitungsweg (Fehlern, Aufbauabweichungen, Muffen, Verzweigungen usw.) werden die Impulse an diesen Stellen mehr oder weniger stark reflektiert, und zwar in Abhängigkeit von der Grösse des Impedanzwertes der Reflexionsstelle, der vom Wellenwiderstand der untersuchten Leitung dann abweicht. Sendeimpulse und Echoimpulse werden auf dem Schirm eines Kathodenstrahlrohres angezeigt. Mit Hilfe einer besonderen Anordnung kann der Zeitabstand zwischen Sendeimpuls und Echo genau gemessen werden. Falls die Gesamtlänge der Leitung bekannt ist, und Echoimpulse am Ende auftreten, kann die Entfernung zur Fehlerstelle direkt proportional bestimmt werden. Wenn dagegen die Impulslaufgeschwindigkeit der untersuchten Leitung bekannt ist, kann die Entfernung ohne Kenntnis der Leitungsgesamtlänge berechnet werden. Hierbei spielen zwei Kenngrössen des Kabels eine wesentliche Rolle: Der Wellenwiderstand  $Z_w$  und die Impulslaufgeschwindigkeit  $v$  der untersuchten Leitung.

Der Wellenwiderstand eines Kabels lässt sich durch folgende Formeln darstellen:

$$Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{oder} \quad Z_w = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{d_a}{d_i} \quad (1)$$

Die Laufgeschwindigkeit

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

- wo  $Z_w$  Wellenwiderstand der Leitung bzw. des Kabels  
 $v$  Laufgeschwindigkeit des Impulses in der Leitung  
 $C$  Kapazität der Leitung bzw. des Kabels pro km

$L$	Induktivität der Leitung bzw. des Kabels pro km
$\varepsilon$	Dielektrizitätskonstante
$d_a$	Innendurchmesser des Abschirmmantels
$d_i$	Durchmesser des Innenleiters (Seele)
$c$	Lichtgeschwindigkeit

Die Impulslaufgeschwindigkeit ändert sich demgemäss etwas bei den verschiedenen Kabeltypen mit der Dielektrizitätskonstante. Für Energiekabel ist

$$v \approx 1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad (3)$$

für Freileitungen nähert sich ihr Wert der Lichtgeschwindigkeit

$$v \approx c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}. \quad (4)$$

Wandert nun ein Impuls längs eines Kabels, so wird er am Ende reflektiert, wenn das Kabel dort nicht mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen ist. Bei Leitungsunterbrechungen hat der Reflexionskoeffizient den Wert  $+1$ , d. h. der Echoimpuls wird phasengleich reflektiert. Ein positiver Impuls kommt folglich positiv zurück und ein negativer entsprechend negativ. Bei einem Kurzschluss dagegen entspricht der Reflexionskoeffizient dem Wert  $-1$ , so dass nunmehr an der Reflexionsstelle eine Phasenumkehr auftritt. Ein positiv ausgesandter Impuls kehrt demgemäss als negatives Echo zurück und ein negativ ausgesandter Impuls entsprechend positiv. Nähert sich der Abschlusswiderstand des Kabels vom Wert  $\infty$  oder  $0$  dem Wellenwiderstand  $Z_w$ , so wird die Reflexion immer schwächer und schliesslich gleich  $0$  bei einem Abschlusswiderstand gleich dem Wellenwiderstand.

Man kann also schon allein von dem Vorzeichen des Echoimpulses auf die Art des Fehlers schliessen, wenn es gelingt, die Phase des Impulses festzustellen.

Auf dem Schirm des Kathodenstrahlrohres wird der Leuchtpunkt in horizontaler Richtung von links nach rechts zeitproportional abgelenkt, was mit verschiedener, wählbarer Geschwindigkeit geschehen kann, so dass die Basislänge z. B. in 3,2 oder auch mehr  $\mu\text{s}$  geschrieben wird. Da der Sendeimpuls dem senkrechten Ablenkplattenpaar zugeführt wird, erscheint zuerst ein Bild dieses ausgesandten Impulses über der Basislinie (Fig. 1). Während der Leuchtpunkt nach rechts wandert, läuft der Impuls längs der Leitung zur Reflexionsstelle, kehrt zurück und wird nun in einem Abstand vom ausgesandten Impuls sichtbar, der abhängig ist von der Impulslaufgeschwindigkeit und dem zurückgelegten Weg. Unter Berücksichtigung des eingestellten Zeitbereiches und bei Kenntnis der Impulslaufgeschwindigkeit oder der gesamten Leitungslänge gewinnt man einen Überblick über die Lage der Fehlerstelle.

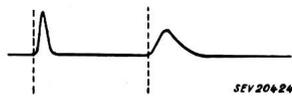


Fig. 1  
Ausgesandter und Refleximpuls  
eines offenen Kabelendes

Die Entfernungsmessung geht wie folgt vor sich: Die gesamte Impulsgruppe, d. h. Sende- und Echo-

impuls werden mit Hilfe eines Phasenschiebers aus einer bestimmten Null-Lage heraus verschoben, bis der Echoimpuls auf exakt gleicher Stelle des Schirmes der Kathodenstrahlröhre, auf der bisher der Sendeimpuls sichtbar war, steht. In dieser neuen Phasenschieberstellung wird dann das senkrechte Ablenkplattenpaar auf einen Zeitmarkengeber geschaltet. Dieser schreibt einen Zeitmaßstab auf den Bildschirm. Der Abstand der einzelnen Zeitmarken voneinander beträgt beim gewöhnlichen Gerät  $1 \mu\text{s}$ , beim Spezialgerät für grosse Freileitungen  $10 \mu\text{s}$ . Mit einem Feinphasenschieber kann  $1/100$  dieses Zeitmarkenabstandes ermittelt werden. Die Phasenschiebung zwischen Sende- und Echoimpuls wird dadurch gemessen, dass die Phasenschieber unter Abzählen der ganzen Zeitintervalle, die den Nullpunkt durchlaufen, in die Nullstellung gebracht werden. Der verbleibende Bruchteil eines Zeitintervalles wird berechnet. Die Frequenz des Zeitmarkengebers wird durch einen kristallgesteuerten Oszillator kontrolliert und kann nachgeeicht werden.

Eingehende Untersuchungen an verlegten Kabeln haben gezeigt, dass es sinnvoll ist, je nach der Grössenordnung der Fehlerentfernung und je nach der Beschaffenheit des Kabels Impulse verschiedener Form und Dauer zu verwenden, Impulse also, deren spektraler Gehalt und deren Energie verschieden sind. Bei dämpfungsreichen Kabeln verwendet man zweckmässig breite und hohe Impulse, also solche mit viel Energieinhalt, während man bei dämpfungsarmen Kabeln und kurzen Leitungsstücken vorteilhafterweise schmale Impulse verwendet, die ausserdem den Vorteil besitzen, dass mit diesen Impulsen die Entfernungsmessung mit sehr grosser Genauigkeit erfolgen kann. Die Messgenauigkeit der neuen Impulsmethode hängt im wesentlichen ab von der Konstanz des Synchronismus zwischen Impulsfolgefrequenz und Ablenkfrequenz der Zeitbasis und ausserdem von der Ablenkdauer der Basislinie, also der zeitlichen Auflösung. Wie dem Blockschaltbild (Fig. 2) zu entnehmen ist, wird der Sendeimpuls mit derselben Frequenz, z. B. 500 Hz gesendet, mit der auch die Basislinie geschrieben wird. Durch besondere Massnahmen in der Schaltung wird ein absolut starrer Synchronismus zwischen diesen beiden Grössen erreicht. Die Ablenkdauer ergibt sich zunächst aus der für den Messabschnitt massgebenden Echolaufzeit. Die grösste Ablenkdauer wird man einstellen bei der grössten zu erwartenden Laufzeit, also z. B. bei einer Länge von 7,5 km und einer Laufgeschwindigkeit von  $1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  auf die sich daraus ergebende Laufzeit von  $100 \mu\text{s}$ , oder aber man stellt die grösste Ablenkdauer zunächst ein, um einen allgemeinen Überblick über das zu untersuchende Kabel zu erhalten. Die kleinste Ablenkdauer hängt ab von dem Grad der geforderten Auflösung. Soll z. B. die gesamte Leuchtlinie eine Kabellänge von 225 m registrieren, dann muss die Ablenkdauer entsprechend  $3 \mu\text{s}$  betragen, wenn die Laufgeschwindigkeit wieder  $1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  ist.

Beeinflusst durch die Kabeldämpfung wird der Echoimpuls eine Form erhalten, die von der des

Sendeimpulses abweicht (Fig. 3). Der Echoimpuls erscheint in seiner Grösse kleiner und in seiner Breite mehr verzerrt als bei einer ungedämpften Leitung. Diese Verzerrung oder Verbreiterung gibt bei einiger Übung in der Bedienung des Gerätes weiterhin einen Überblick über die Ursache des Fehlers: So erscheint z. B. der Impuls stärker verbreitert, als das bei derselben Fehlerentfernung normalerweise der Fall ist, wenn ein Wassereintruch

begrenzer zugeführt, worauf sie in einem Rechteckimpulsgenerator (Multivibrator) in Rechteckimpulse wählbarer Breite verwandelt wird. Nun wird diese Rechteckwelle einem Spezialkippergerät zuge-

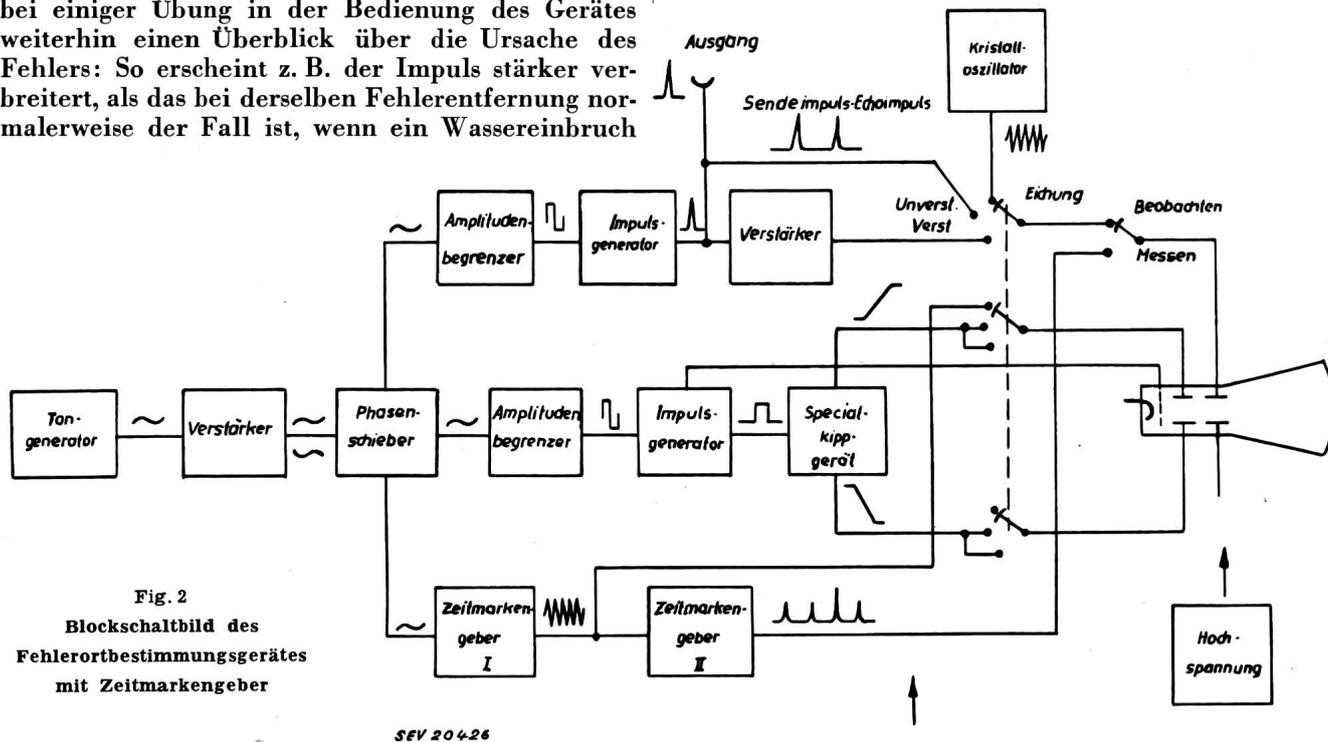


Fig. 2  
Blockschaltbild des Fehlerortbestimmungsgerätes mit Zeitmarkengeber

SEV 20 4 26

oder ähnliches in das Kabel auf grössere Längen erfolgt ist. Trotz dieser Verformung des Echoimpulses kann sein Anfang mit grosser Sicherheit bestimmt werden. Nach einiger Übung mit dem Gerät liegt die Toleranz unter  $\pm 0,02 \mu s$ . Unter Berücksichtigung einer gewissen Toleranz bei der Messung der Phasenverschiebung kann bei den gewöhnlichen Gerätetypen die Fehlerstelle theoretisch auch

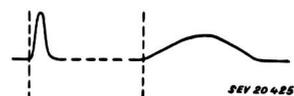


Fig. 3  
Ausgesandter und Refleximpuls eines offenen Kabelendes, durch starke Dämpfung beeinflusst

bei grossen Leitungstrecken mit einer Abweichung von  $\pm 2 m$  festgestellt werden. Bei Spezialgeräten für grosse Freileitungslängen bis ca. 600 km entspricht diese Toleranz ca.  $\pm 15 m$ .

Der Aufbau und die Arbeitsweise

des hier besprochenen Gerätes geht aus dem Blockschaltbild in Fig. 2 hervor.

Eine sinusförmige Wechselspannung wird in einem Tonfrequenzgenerator erzeugt. Diese wird über einen Verstärker und einen Phasenschieber einem Amplitudenbegrenzer mit Verstärker zugeführt. Diese amplitudenbegrenzte Wechselspannung wird mit Hilfe eines Mess-Impulsgenerators, der Impulse gewünschter Dauer in die Leitung sendet, umgewandelt. Die ausgesandten und reflektierten Impulse gehen entweder direkt oder über einen Verstärker zu dem Plattenpaar für senkrechte Ablenkung der Kathodenstrahlröhre. Vom Phasenschieber wird die Wechselspannung einem weiteren Amplituden-

begrenzer zugeführt, das die waagerechte Ablenkung des Elektronenstrahles bewirkt, um eine Zeitbasis zu markieren. Vom Phasenschieber wird die Sinusspannung weiterhin dem Zeitmarkengeber I zugeführt, dessen Schwingungen auf das waagerechte Plattenpaar geschaltet werden können. Mit Hilfe des auf das senkrechte Plattenpaar schaltbaren Kristalloszillators kann die Frequenz des Zeitmarkengebers kontrolliert und geeicht werden. Die Schwingungen des Zeitmarkengebers I werden einem Zeitmarkengeber

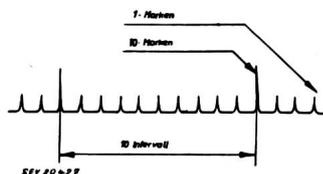


Fig. 4  
Zeitmarken

II zugeführt, der eine Zeitskala in Einer- und Zehnernteilung schreibt (Fig. 4). Der Zeitmarkengeber II wird bei der Messung an das senkrechte Plattenpaar gelegt.

Im Apparat wird ein Kathodenstrahlrohr neuester Konstruktion mit einem Schirmdurchmesser von 130 mm verwendet. Alle Bedienungsriffe sind auf einer Frontschaltplatte vereinigt. Anzeigegerät und Netzteil sind getrennt, jedoch werden diese zum Gebrauch so aufeinandergestellt, dass das Gesamtgerät ohne Stativ oder dgl. verwendet werden kann.

### Der praktische Messvorgang

ist einfach. Es kommen zwei verschiedene Methoden zur Anwendung. Falls die Länge der Leitung bekannt und auf dem Schirm sichtbar ist, können beide Methoden angewendet werden. Ist die Gesamtlänge der Leitung unbekannt oder auf dem

Schirm nicht darstellbar, erfolgt die Berechnung der Fehlerentfernung auf Grund der Impulslaufgeschwindigkeit  $v$ .

#### Adresse des Autors:

Dr. Helmut Röschlau, Deutsche Werke Apparatebau GmbH, Werftstrasse 114, Kiel, Deutschland.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Une table de calcul à prix modeste

[D'après E. W. Kimbark, J. H. Starr, J. E. Van Ness: «A Compact, Inexpensive A-C Network Analyzer.» AIEE Technical Paper, Dec. 1951]

#### Généralités

Le coût d'une table de calcul pour l'étude des réseaux électriques est en général très élevé, une table de moyennes dimensions, comprenant les unités suivantes:

- 12 générateurs
- 99 lignes
- 40 charges
- 30 éléments shunts (capacité des lignes)
- 18 autotransformateurs
- 15 transformateurs de couplage (pour représenter les impédances mutuelles)

revenant par exemple à environ 150 000 \$. Les auteurs ont développé un mode de construction de ces tables, permettant d'en réduire le prix à 20 % environ du prix d'une exécution classique et l'espace occupé de 100 m<sup>2</sup> à 8 m<sup>2</sup>. S'écartant délibérément des méthodes employées jusqu'à ce jour, ils s'appuient pour cela sur les quatre principes suivants:

#### 1. L'utilisation d'éléments non étalonnés

Les valeurs désirées sont réglées lors de la mise au point du réseau miniature à l'aide d'une source à courant constant (oscillateur à tubes) d'un wattmètre et d'un varmètre. Il n'en résulte qu'une petite augmentation de travail, car la mise au point du réseau ne représente en général qu'une faible partie du temps (env. 10 %) consacré à une étude.

Cette méthode permet tout particulièrement de diminuer le prix et le poids des résistances qui ne sont plus composées d'éléments soigneusement étalonnés, mais de quelques résistances fixes non étalonnées et d'un rhéostat. A l'aide d'un choix judicieux il est aussi possible d'utiliser des condensateurs de valeurs et de tolérances commerciales usuelles.

#### 2. Le remplacement des impédances par leurs impédances conjuguées

Les difficultés que pose la construction des bobines de

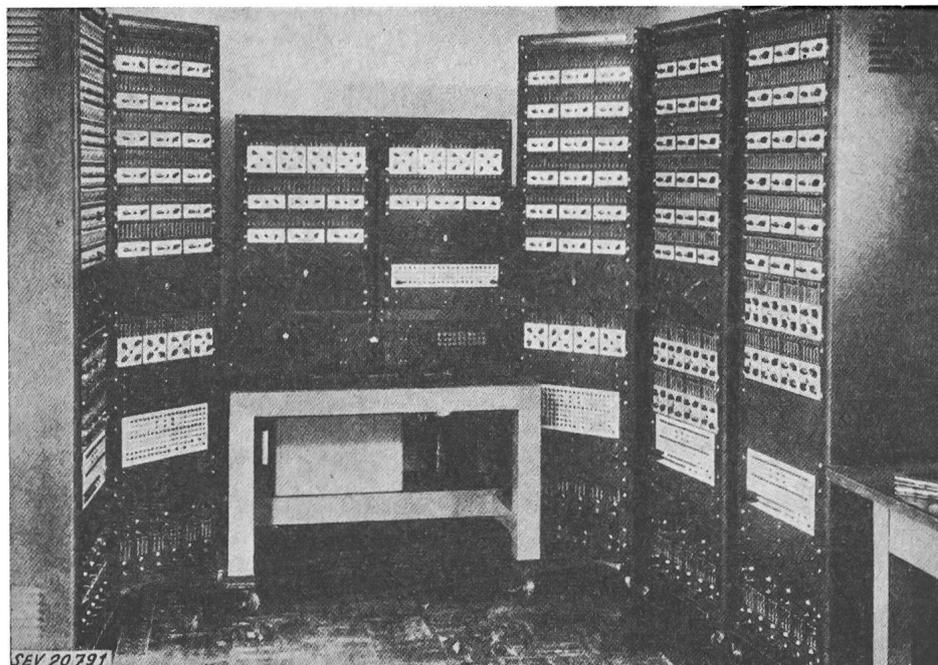


Fig. 1

La table de calcul de la Northwestern University

réactances pour les tables de calcul à 50...60 Hz sont connues. Pour parer à ces difficultés deux méthodes ont été jusqu'à ce jour préconisées:

Les auteurs ont eu l'idée nouvelle de remplacer toutes les impédances par leurs impédances conjuguées, p. ex. une in-

a) L'emploi d'une fréquence supérieure (400...10 000 Hz).

b) Le procédé des impédances déphasées de E. B. Phillips<sup>1)</sup> consistant à faire subir à toutes les impédances une rotation de  $-5^\circ$ .

ductivité pure par une capacité pure, etc.; une ligne ne sera plus représentée par une résistance et une inductivité en série, mais par une résistance et une capacité. Dans le plan des impédances complexes, ceci revient à remplacer tout diagramme vectoriel par son symétrique par rapport à l'axe réel. Les avantages ainsi acquis sont nombreux:

a) Il est très facile d'avoir des condensateurs ayant à 50...60 Hz le facteur de qualité requis, et pratiquement la composante ohmique des condensateurs peut être négligée.

b) Les capacités sont indépendantes du courant.

c) Les éléments «shunts» représentant les capacités des lignes sont peu nombreux, en moyenne env. 25 % du nombre d'éléments représentant les inductivités des lignes et des charges; nous aurons ici beaucoup d'éléments bon marché — les condensateurs — et peu d'éléments chers — les bobines —.

d) On peut poser à ces éléments «shunts» des exigences moins élevées qu'aux autres éléments parce que le courant des capacités des lignes n'a en général qu'un effet réduit sur le comportement d'un réseau et parce que la tension aux bornes de ces éléments variant peu (du moins en service normal), de moins sévères conditions quant à la constance de l'inductivité en fonction du courant sont permises.

#### 3. L'emploi d'une faible puissance

L'unité de courant a pu être réduite jusqu'à une limite déterminée par les difficultés de blindage des circuits contre les effets parasites [Note de l'auteur du compte rendu: La possibilité d'employer une faible fréquence facilite la réduction de puissance] et par les difficultés de constructions d'amplificateurs de mesures à la fois suffisamment puissants,

stables et simples. La faible puissance rend intéressant, pour représenter les alternateurs, l'emploi d'oscillateurs à tubes; faible puissance et hautes impédances permettent l'emploi de matériel simple et bon marché (petites résistances et condensateurs, petits commutateurs, bornes, etc.).

4. L'emploi de matériel radio standard, fabriqué en masse et très bon marché. Peu d'éléments ont dû être fabriqués spécialement pour la table.