

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 41 (1950)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Ein neues Wechselstromnetzmodell  
**Autor:** Cohen, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058904>

### **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:** 25.12.2024

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

combinaison, en un seul, de plusieurs condensateurs à haute et basse tension.

Les améliorations les plus importantes concernent les caractéristiques électriques: capacité, angle de perte et courant de fuite. L'augmentation de la capacité s'est faite grâce à l'emploi d'anodes fortement agrandies. On utilise en effet, actuellement, des rubans d'aluminium dont le taux d'agrandissement est de 4...8. Rappelons que les condensateurs électrolytiques liquides encore utilisés il y a 10 ans, contenaient des anodes découpées, très massives en comparaison des rubans, et dont le taux d'agrandissement ne dépassait pourtant pas 5. Ces condensateurs électrolytiques liquides sont maintenant complètement remplacés par les condensateurs secs qui, grâce à différentes améliorations, ont actuellement les caractéristiques suivantes: angle de perte plus faible que 10 % et courant de fuite plus faible que  $4 \mu\text{A}$  par  $\mu\text{F}$  pour les condensateurs à haute tension; angle de perte plus faible que 15 % et courant de fuite plus faible que  $2 \mu\text{A}$  par  $\mu\text{F}$  pour les condensateurs à basse tension.

Les coefficients thermiques de capacité, courant de fuite et angle de perte ont été également l'objet de nombreuses recherches, grâce auxquelles on fabrique actuellement des condensateurs utilisables

jusqu'à  $-40^\circ\text{C}$ , température à laquelle ils n'ont perdu que 20 % de leur capacité, alors que les types courants perdent la moitié de la leur à  $-20^\circ\text{C}$  déjà.

### Conclusion

Cet exposé des progrès réalisés au cours des dernières années dans la technique des condensateurs n'a aucunement la prétention d'épuiser le sujet. Il n'a, par exemple, été question ni des condensateurs à vide poussés dont la fabrication s'apparente, il est vrai, à celle des soupapes à haute tension, ni des condensateurs à grande puissance pour émetteurs, tels que les condensateurs à azote comprimé qui permettent d'obtenir de très grandes puissances apparentes sous un petit volume. Nous pensons toutefois avoir montré que le condensateur peut, à tous points de vue, rivaliser avec les autres éléments utilisés dans les télécommunications. Qu'il s'agisse de la durée, de la stabilité, du facteur de qualité ou de la précision de l'étalonnage, la technique actuelle permet de satisfaire aux exigences les plus diverses à condition, toutefois, qu'elles ne soient pas trop contradictoires.

Adresse de l'auteur:

J. Monney, Dr ès sc. techn., ingénieur aux Condensateurs Fribourg S. A., Fribourg.

## Ein neues Wechselstromnetzmodell

621.316.313

[Nach F. Cahen: Une nouvelle table à calcul à courant alternatif. Rev. gén. Electr. Bd. 58(1949), Nr. 2, S. 49...61]

### I. Anwendungen des Wechselstromnetzmodells

Ein Wechselstromnetzmodell dient in erster Linie zum Studium des Betriebes elektrischer Netze. Die Erfüllung dieser Aufgabe erfordert die getreue Abbildung der das Netz aufbauenden Elemente; dann treten einfache elektrische Messungen an die Stelle von Rechnungen, welche infolge der Vermaschung und Kupplung der Netze einen immer grösseren Umfang annehmen oder gar unlösbar sind.

Mit einem Netzmodell können im wesentlichen die folgenden Probleme gelöst werden:

1. Verteilung der Wirk- und Blindlast in vermaschten Netzen, Spannungsregulierung, Kompensation der Blindlast, Wahl des festen oder unter Last einstellbaren Übersetzungsverhältnisses von Transformatoren, Bestimmung der Verluste, Auswirkung von Leitungsabschaltungen in vermaschten Netzen.

2. Bestimmung der Kurzschlußströme und der wiederkehrenden Spannung bei symmetrischen und nicht symmetrischen Kurzschlüssen zwecks Festlegung der Abschaltleistung von Schaltern, zum Studium der Erdung des Nullpunktes und zur Untersuchung der selektiven Schutzsysteme (Typenströme der Relais), Bestimmung der die Kurzschlußströme begrenzenden Reaktanzen.

3. Studium der Vorgänge in Netzen, die sich nicht im Gleichgewichtszustand befinden.

4. Studium der statischen und der dynamischen Stabilität bei Störungen mit Hilfe der Schritt-für-Schritt-Methode.

Darüber hinaus bietet das Wechselstromnetzmodell noch weitere Anwendungsmöglichkeiten: In der Elektrotechnik dient es zur Untersuchung der stationären Vorgänge in beliebigen linearen Stromkreisen mit konzentrierten oder verteilten (passiven) Elementen, sowie zum Studium elektrischer Maschinen, für welche ein Ersatzschema angegeben werden kann. Zwischen nicht elektrischen (wie etwa mechanischen) und elektrischen Vorgängen besteht vielfach eine weitgehende

Analogie, so dass das Wechselstromnetzmodell auch für die Abbildung nicht elektrischer Vorgänge anwendbar ist.

### II. Allgemeine Gesichtspunkte zur Realisierung eines Wechselstromnetzmodells

Jedes Wechselstromnetzmodell enthält:

1. die passiven Elemente (ohmsche, induktive und kapazitive Widerstände) zur Abbildung des Leitungssystems in einem passenden Maßstab;

2. die «Generatoren» und «Empfänger» zur Einführung und Entnahme von Wirk- und Blindleistungen in die, bzw. von den Knotenpunkten des Modellnetzes, die den entsprechenden Leistungswerten im Originalnetz proportional sind;

3. Apparate zur Abbildung von Transformatoren zwischen Netzteilen verschiedenen Spannungsniveaus, soweit sich dieses als nötig erweist.

Ferner muss das Netzmodell besondere Organe enthalten zur Messung der Spannungen, Ströme, der Phasenlage, Wirk- und Blindleistung und der äquivalenten Impedanz in verschiedenen Netzteilen.

Symmetrisch belastete Mehrphasensysteme werden einphasig abgebildet unter Verwendung eines Nulleiters vernachlässigbarer Impedanz. Die Anwendung der Theorie der symmetrischen Komponenten ermöglicht, auch dann der einphasigen Abbildung (gegenüber der dreiphasigen) den Vorzug zu geben, wenn sich das Netz (etwa infolge eines unsymmetrischen Fehlers) nicht mehr im Gleichgewichtszustand befindet. Denn die Nachteile einer dreiphasigen Abbildung überwiegen, alles in allem, ihre Vorteile. Bei dieser Abbildung müssten für die Darstellung der Kapazitäten zwischen den Phasen und der gegenseitigen Induktivitäten besondere Elemente vorgesehen werden. Dass bei der dreiphasigen Darstellung die Phasenspannungen und Phasenströme direkt abgelesen werden können ist gewiss ein Vorteil; indessen ist bei den meisten Problemen die Kenntnis der symmetrischen

Komponenten der Spannungen, Ströme und Wirk- bzw. Blindleistungen sowie der äquivalenten Impedanz der einzelnen Netzteile viel nützlicher. In speziellen Fällen besteht stets die Möglichkeit, ein einphasiges Wechselstromnetzmodell bei der mehrphasigen Abbildung eines Mehrphasensystems zu benützen.

Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung eines Wechselstromnetzmodells sind:

1. Die Frequenz, von welcher die Abmessungen der Modellinduktivitäten und -kapazitäten sowie die Wahl der Messeinrichtung abhängen.

2. Der Eigenverbrauch der Messeinrichtung, welcher so gering sein soll, dass die Strom- und Spannungsverteilung im Netzweig, in welchem die Messeinrichtung eingeschaltet wird, wie auch in den übrigen Zweigen unbeeinflusst bleibt.

3. Die Linearität und die Güte der induktiven Modellelemente.

4. Der Übergangswiderstand der Elemente zum Aufbau der Abbildung und zur Einschaltung der Messeinrichtung, die Eigenimpedanz und gegenseitige Reaktanz der Verbindungsleitungen, die Kapazitäten der Modellelemente und der Verbindungsleitungen gegen die Masse und gegeneinander (Streukapazitäten).

5. Die Ausbildung der die Transformatoren darstellenden Elemente.

Alle diese Gesichtspunkte bestimmen zusammen mit der getreuen Darstellung der Konstanten durch die einzelnen Elemente und der Güte der Messinstrumente die Genauigkeit der durch das Netzmodell erhaltenen Resultate.

### III. Festlegung der hauptsächlichsten Merkmale des Wechselstromnetzmodells

#### A. Wahl der Speisefrequenz und der Messeinrichtung

Bisher ausgeführte Netzmodelle wurden gespeist:

- a) mit der normalen Frequenz des Netzes: 50 oder 60 Hz
- b) mit einer etwa zehnmals grösseren Frequenz: 440...500 Hz
- c) mit der Frequenz 10 000 Hz

1. Die Verwendung der normalen Frequenz des (Original-) Netzes ist zulässig, sofern deren Schwankung gering ist; ausserdem muss die Speisespannung künstlich konstant gehalten werden. Für die Messeinrichtung besteht die Forderung einer geringen Leistungsaufnahme, so dass elektronische Verstärker oder Schwingkontakt-Gleichrichter in Betracht kommen. Ist die erste Lösung bei der Frequenz 50 Hz nur schwer zu realisieren, so hat die zweite den Nachteil, dass die Leistungswerte nicht direkt abgelesen, sondern nur mit Hilfe zusätzlicher Rechnungen ermittelt werden können. Die induktiven Widerstände und kapazitiven Leitwerte weisen bei Verwendung einer tiefen Frequenz ein grösseres Volumen und einen grösseren Preis auf als bei höheren Frequenzen. Die Herstellung von Reaktanzen einer genügend hohen Güte ist schwierig. Dagegen sind die induktiven Abfälle in den Verbindungsleitungen und die störende Wirkung der Streukapazitäten gering.

2. Verwendung einer Frequenz der Grössenordnung 500 Hz. Die Speisung des Modells erfolgt durch einen speziellen Generator, dessen Spannungskurve sehr geringen Oberwellengehalt hat. Zur Vermeidung eines Einflusses der Frequenzschwankung des Ortsnetzes wird dieser Generator von einem drehzahlgeregelten Motor angetrieben. Elektronische Messverstärker sind gut geeignet und gestatten eine direkte Messung der Wirk- und Blindleistung. Die Ausführung der kapazitiven und induktiven Elemente ist ökonomischer, und bei den induktiven ist eine bessere Güte erreichbar. Der störende Einfluss der gegenseitigen Reaktanz der Verbindungsleitungen und der Streukapazität ist grösser und bedingt gewisse Vorsichtsmassnahmen (Abschirmungen und Kompensationseinrichtungen).

3. Verwendung einer hohen Frequenz, z. B. 10 000 Hz. Hier erfolgt die Speisung des Modells mit einem elektronischen Generator hoher Frequenzstabilität und sehr reiner Sinusform. Die Abmessungen der kapazitiven und induktiven Elemente sind sehr gering; die induktiven Elemente sind völlig linear (eisenfrei) und weisen eine hohe Güte auf. Der Einfluss der gegenseitigen Induktivität und Streukapa-

zität erfordert erhebliche Vorsichtsmassnahmen (koaxiale Kabel und Abschirmungen der Elemente).

Versuche, die vor der definitiven Wahl der Frequenz an Musterausführungen von induktiven und kapazitiven Elementen für 50 und 500 Hz ausgeführt wurden, zeigten, dass die Frequenz 500 Hz im Hinblick auf die Kosten und die Abmessungen der Elemente, wie auch bezüglich der Güte der Induktivitäten erheblich vorteilhafter ist. Ebenso ergaben Versuche an Messverstärkern der Frequenz 500 Hz sehr zufriedenstellende Resultate bezüglich der Genauigkeit und Phasentreue. Damit wurde der Frequenz 500 Hz der Vorzug gegeben. Die Frequenz 10 000 Hz wurde nicht in Betracht gezogen, vor allem mit Rücksicht auf die Vorsichtsmassnahmen, mit welchen wegen des störenden Einflusses der Streukapazität gerechnet werden musste.

#### B. Wahl der Speisespannung und der Ströme, sowie Bemessung der Modellelemente

Die Speisespannung des Modells wird mit Rücksicht auf den Spannungsabfall im Shunt des Strom-Messverstärkers möglichst hoch gewählt. Sie darf andererseits nicht so hoch sein, dass im Abbild Spannungen entstehen, die das Personal gefährden würden. Mit der Spannung steigt die Leistung der Modellelemente und bei gegebenen Streukapazitäten die Grösse der sie durchfliessenden Ströme. In Berücksichtigung aller dieser Faktoren wurde eine im Bereich 0...170 V regulierbare Spannung gewählt. Der maximale Spannungsabfall am Meßshunt beträgt 0,01 V, ist also im Verhältnis zu den im Modell auftretenden Spannungen äusserst klein.

Andererseits wird bei gegebener Speisespannung vorteilhaft mit kleinen Strömen gearbeitet, dies mit Rücksicht auf die Bemessung sämtlicher Bausteine des Modells. Doch ist dafür zu sorgen, dass der Strom des Spannungsteilers (für den Anschluss des Spannungs-Messverstärkers) und die Ströme durch die Streukapazitäten im Vergleich zu den Zweigströmen des Modells klein sind. Normalerweise übersteigt der Strom den Nennwert 125 mA nicht (thermisch sind 250 mA zulässig). Der maximale Strom im Spannungsteiler (bei 170 V) beträgt 0,113 mA, so dass der durch die Ableitung dieses Stromes hervorgerufene Fehler ausserordentlich klein ist.

Die Kleinhaltung der Ströme bei einer hohen Speisespannung bedingt Modellelemente verhältnismässig hoher Impedanz. Die Kontaktwiderstände der Stecker und die Impedanz der Kupplungsleitungen sind dann im Verhältnis hierzu sehr klein. Beträgt etwa der Spannungsabfall an einem Modellelement 12,5 V (d. h. ca.  $\frac{1}{10}$  von 127 V), beim vollen Nennstrom 125 mA, seine Impedanz demnach 100 Ohm, so ist eine Widerstandsvergrösserung durch die Kontaktwiderstände und die Verbindungsleitungen von  $\frac{1}{10}$  Ohm ganz unbedenklich.

#### C. Grösse der Leistungen im Modell

Die in das Modell eingeführte Leistung gestattet die gleichzeitige Speisung von 38 Leitungselementen mit ihrem vollen Nennstrom 125 mA. Die Einspeisung erfolgt durch 16 Generatoren, die bei einer beliebigen, zwischen 85 und 170 V einstellbaren, Spannung 300 mA, d. h. insgesamt 4,8 A abgeben können (610 VA bei der mittleren Spannung 127 V). Die von den Verbrauchern insgesamt aufgenommene Wirkleistung beträgt 515 W, die induktive Blindleistung 465 Var und die kapazitive Blindleistung 55 Var.

### IV. Proportionalitätsfaktoren zwischen den Elementen des Original- und Modellnetzes

Die fünf Verhältnisse zwischen den Spannungen, den Strömen, den Leistungen, den Impedanzen und Admittanzen einander entsprechender Elemente im Original- und Modellnetz sind durch drei Gleichungen miteinander verknüpft:

dem ohmschen Gesetz  
der Leistungsformel und  
der Beziehung zwischen der Impedanz und der Admittanz.

Demnach sind von diesen fünf Verhältnissen bzw. Proportionalitätsfaktoren zwei (etwa das Spannungs- und das Leistungsverhältnis) frei wählbar; die anderen Verhältnisse lassen sich dann daraus ableiten.

Bei der Abbildung eines 220-kV-Dreiphasen-Netzes werden beispielsweise die Faktoren derart festgelegt, dass im Modell- und Originalnetz einander entsprechen:

	Modellnetz	Originalnetz
Spannungen	$1/\sqrt{3}$ V (Stern)	pro 1 kV (verkettet)
Ströme	20 mA	pro 100 A
Leistungen	20/3 W	pro 100 MW
Impedanzen	5 $\Omega$	pro 1 $\Omega$
Admittanzen	1 $\Omega^{-1}$	pro 5 $\Omega^{-1}$

Bei der Abbildung der Netze anderer Spannung als 220 kV werden naturgemäss die im jeweiligen Fall günstigsten Faktoren verwendet.

## V. Beschreibung des Wechselstromnetzmodells

### A. Allgemeine Beschreibung

Das Netzmodell besteht nach Fig. 1 aus den folgenden Teilen:

1. Einer vertikalen Tafel zur Aufnahme der die Generatoren, Verbraucher, Leitungen und Transformatoren darstellenden Modellelemente. Ihre Vorderfront dient zur Verbindung der Elemente.

führen sie regelbare Leistungen (Wirk- und Blindleistung) in dasselbe ein.

Ein solcher Generator wird durch die Hintereinanderschaltung zweier Induktionsregler realisiert. Der erste, von der konstanten Maschinenspannung gespeiste dreiphasig/einphasig geschaltete Induktionsregler gibt eine in der Amplitude konstante, in der Phasenlage einstellbare Spannung an den zweiten einphasigen Induktionsregler ab. Dieser dient zur Einstellung der Grösse der Amplitude. Seine sekundäre (feste) Wicklung ist umschaltbar, so dass der Spannungsreich der jeweiligen Untersuchung angepasst werden kann.

Die Induktionsregler und zugehörigen Apparate zur Einstellung der Grösse und Phasenlage sind im Hinblick auf eine verzerrungsfreie Übertragung der Sinuskurve und die Einstellung des Phasenwinkels auf einer gleichförmigen Skala sehr sorgfältig ausgeführt. Die Anordnung eines besonderen Zahnradgetriebes erlaubt eine Skalaeinteilung von 20 elektrischen Minuten, so dass 10' noch bequem geschätzt werden können. Besondere Kapazitäten dienen zur Kompensation des Einflusses der Streuinduktivität und des Magnetisierungsstromes, so dass der gesamte Spannungsabfall bei voller Wirklast 1% nicht überschreitet und die gesamte Phasenverschiebung bei voller Blindlast nicht 30'. Die Spannungsskala ist direkt in Volt gestuft. Mit Hilfe der erwähnten

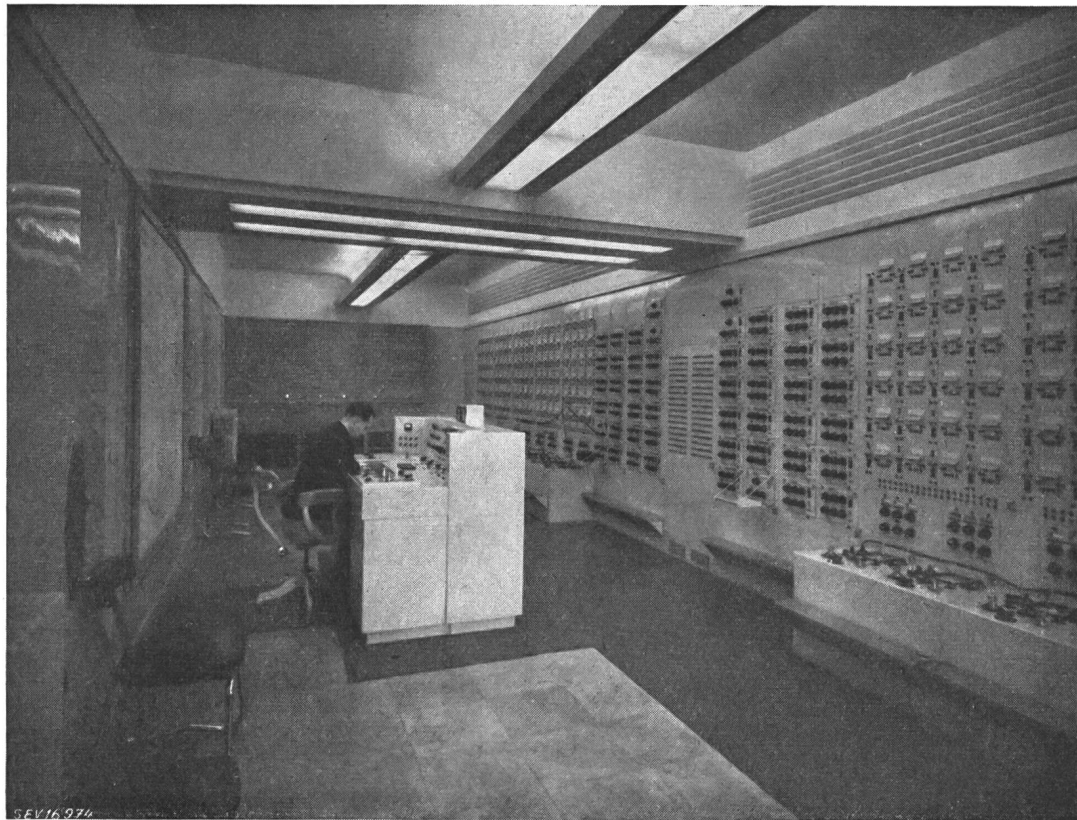


Fig. 1  
Gesamtansicht des Netzmodells

2. Einem metallischen Pult zur Aufnahme sämtlicher Messeinrichtungen.

3. Den zur Speisung des Modells dienenden Maschinen, die mit der zugehörigen Apparatur in einem andern Raum aufgestellt sind und ferngesteuert werden.

### B. Elemente zur Speisung des Modells («Generatoren»)

Aus ökonomischen Gründen empfiehlt es sich, das einphasige Netzmodell von einer zentralen dreiphasigen Maschine konstanter Spannung der Frequenz 500 Hz über mehrere statische Organe («Generatoren») zu speisen, welche einphasige, in Grösse und Phasenlage einstellbare Spannungen abgeben. An gegebene Punkte des Modellnetzes angeschlossen,

Umschaltung kann der Generator die folgenden Spannungen abgeben:

0...170 V bei einem Nennstrom 300 mA,  
0...85 bzw. 0...42,5 V bei einem Nennstrom 600 mA.

Die Generatoren sind nach Fig. 1 im unteren, hervorstehenden Teil der Tafel eingebaut. Die Achsen der Induktionsregler sind vertikal montiert. Ihre Skalen und Bedienungsknöpfe, wie auch die Umschaltvorrichtung des Amplitudenreglers sind auf der oben abschliessenden, horizontal gelagerten Platte (Fig. 2) montiert. Diese Platte enthält ausserdem den individuellen Generator-Meßsatz mit den zugehörigen Messbereich-Umschaltern und einen speziellen Wahl-schalter für die Einschaltung des Generators auf der linken

oder rechten Seite der Tafel. Dieser Meßsatz enthält ein umschaltbares Watt-Var-Meter und ein Milliampèremeter zur ersten angenäherten Einstellung des Generators, bzw. Kontrolle seiner Stromaufnahme. Nach seiner endgültigen Ein-



Fig. 2

Obere Abdeckplatte des Generator-Gestells

stellung werden beide Instrumente mit Rücksicht auf ihren verhältnismässig grossen Leistungsverbrauch ausser Betrieb gesetzt.

### C. Beschreibung der die «Belastungen» darstellenden Modellelemente

Diese Elemente dienen zur Entnahme einer einstellbaren Wirk- und Blindlast in einem beliebigen Punkt des Netzes. Im besonderen werden sie zur Abbildung von Reaktanzspulen, statischen Kondensatoren und Phasenschiebern verwendet. Diese Maschine wird bei der Untersuchung eines stationären Zustandes durch einen induktiven, bzw. kapazitiven Widerstand dargestellt, bei der Lösung eines Stabilitätsproblems dagegen durch einen Generator mit auf Null ge-

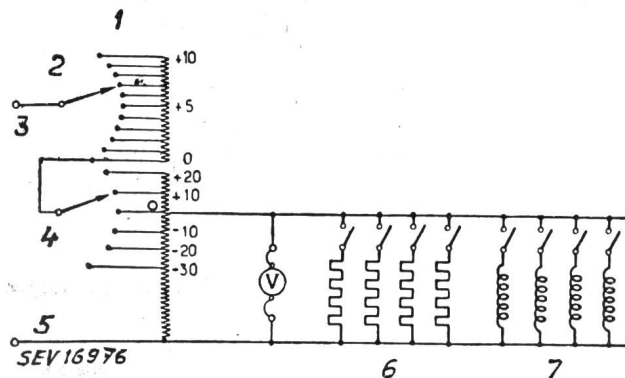


Fig. 3

Schema einer ohmschen und induktiven Last

regelter Wirkleistung. Ein Element zur Entnahme einer Wirk- und Blindlast wird durch eine Parallelschaltung ohmscher und induktiver Widerstände realisiert (Fig. 3). Die Widerstandswerte sind derart gewählt, dass bei einer angelegten Spannung von 127 V die Wirk- und die Blindlast gleichmässig gestuft sind.

In den Netzen ist die Abhängigkeit der Wirklast von der Spannung recht verschiedenartig: Ist sie bei rotierenden Maschinen praktisch spannungsunabhängig, so ändert sie bei passiven Widerständen (z. B. Beleuchtung) etwa quadratisch hierzu. Mit Rücksicht auf die Sättigung variieren die induktiven Blindleistungen stärker als mit dem Quadrat der Spannung. Indessen werden bei den meisten Netzproblemen die Werte der Wirk- und Blindleistung festgehalten, unabhängig vom jeweiligen Spannungswert. Diese Konstanzhaltung erfolgt zweckmässig derart, dass ein Autotransformator dem Belastungselement vorgeschaltet und auf eine konstante Sekundärspannung 127 V eingestellt wird. Ob die Einstellung richtig ist, kann durch Anschluss eines Voltmeters an seinen Sekundärklemmen kontrolliert werden.

Diese Belastungselemente sind zusammen mit dem Autotransformator in Schubladen montiert (Fig. 4), die in der zentralen Tafel eingeschoben werden. Ihre Vorderfront trägt die Elemente zur (Grob- und Fein-) Einstellung der Wirk- und Blindleistungen sowie ihres gemeinsamen Autotransformators, ferner die Anschlüsse für das Kontrollvoltmeter, sowie für den zentralen Messinstrumentensatz, die Klemmen für den Anschluss an das Modellnetz und den Unterbrechungsschalter.

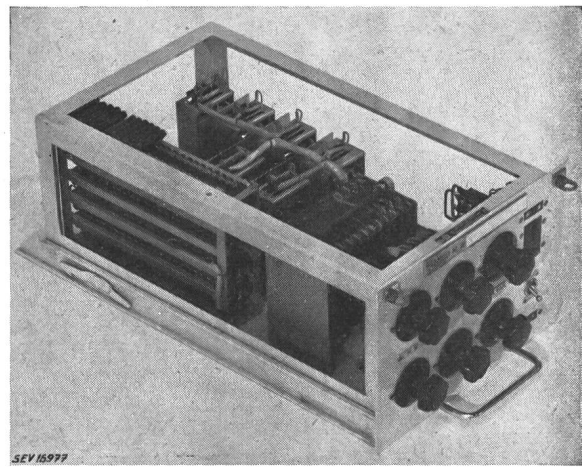


Fig. 4

Ansicht einer Schublade für eine ohmsch-induktive Belastung

Ausser ohmsch-induktiven enthält das Modell auch induktiv-kapazitive Belastungselemente zur Blindleistungsaufnahme oder -abgabe.

Die Belastungselemente sind in Wirk- und Blindleistungen gestuft, wobei dieser Stufung die Abbildung eines 220-kV-Dreiphasennetzes zugrundegelegt wurde ( $1/\sqrt{3} \text{ V} \triangleq 1 \text{ kV}$  verkettet;  $20/3 \text{ W} \triangleq 100 \text{ MW}$  dreiphasig). So ist beispielsweise der (ohmsch-induktive) Typ 100 MW von 0...121 MW in Stufen von 1 MW bzw. von 0...82 MVar in Stufen von 2 MVar und der (kapazitiv-induktive) Typ 60 MVar je von 0...60 MVar in Stufen von 1 MVar einstellbar.

Bei Verwendung eines andern Abbildungsmaßstabes müssen diese Stufenwerte mit den entsprechenden Koeffizienten multipliziert werden.

Die Autotransformatoren sind von 127 V — 30 %...127 V + 30 % in Stufen von 1 % regulierbar. Für die Wirkbelastungen Typ 100 MW sind Autotransformatoren Typ 15 VA vorgesehen, dagegen für die nächst grösseren Typen 200 und 400 MW Autotransformatoren Typ 30 VA. Der Typ 15 VA ist ebenfalls für die reaktiven Belastungen Typ 60 und 160 MVar vorgesehen.

Zur Charakterisierung der Eigenschaften der Belastungselemente sei erwähnt: dass

1. bei einer Spannung von 127 V an den Klemmen dieser Elemente die Einstellgenauigkeit 0,5 % beträgt;
2. bei den Reaktanzen der ohmsch-induktiven Elemente die Wirkleistung  $1/5$  der Blindleistung beträgt (Güte = 5); dagegen ist bei den Reaktanzen der induktiv-kapazitiven Belastungselemente die Güte = 10;

- 3. der Verlustfaktor der Kondensatoren 0,003 ist;
- 4. die von den Autotransformatoren aufgenommenen Wirk- und Blindleistungen von den Speisespannungen der gewählten Anzapfung und der Belastung abhängen. Die Verhältnisse seien für die mittlere und die unterste Anzapfung (Spannungen 127 V und 89 V) erläutert, wobei die Leistungen auf ein Originalnetz der Spannung 220 kV umgerechnet sind: Im ersten Fall beträgt die aufgenommene Wirkleistung 1,6 MW und die Blindleistung 0,8 MVar, im zweiten Fall 3,8 MW bzw. 2,5 MVar. Beim Autotransformator des Typs 30 VA sind diese Werte etwas weniger als doppelt so gross.

**D. Beschreibung der Modellelemente für die Leitungen und Stromkreise**

Zur Abbildung eines Stromkreises mit konzentrierten ohmschen, induktiven und kapazitiven Widerständen sind diese mit dem gewählten Proportionalitätsfaktor zu multiplizieren. Eine Leitung mit verteilten Konstanten ist im Modell durch ein äquivalentes  $\pi$ - oder  $T$ -Glieder abzubilden; aus ökonomischen Gründen wird dem ersten der Vorzug gegeben.

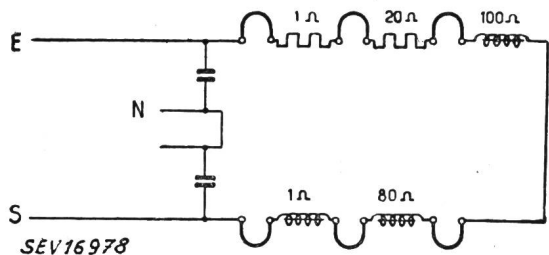


Fig. 5

Montageschema der geeichten Leitungselemente in einer Leitungsschublade

Zur Abbildung solcher Stromkreise mit konzentrierten oder verteilten Widerständen dienen ohmsche, induktive und kapazitive Widerstandselemente, die, je nach Bedarf, in Schubladen montiert werden. Diese sind in den links- und rechtsseitigen Tafelfeldern eingeschoben. Fig. 5 zeigt, wie diese Bausteine des Leitungselementes miteinander verknüpft sind.

Der jeweilige Aufbau der Leitungselemente mittels individueller Bausteine verlangt etwas mehr Zeit als die sonst übliche Einstellung von fest in Schubladen verlegten Elementen. Mit Rücksicht auf die sehr verschiedenen Impedanzen und kapazitiven Leitwerte, welchen man bei der Abbildung von Netzen begegnet, wird dieser Nachteil durch eine wesentliche Materialersparnis mehr als aufgewogen.

Die induktionsarm gewickelten Widerstandseinheiten hoher Einstellgenauigkeit (0,5%) haben zwischen 1 und 200 Ohm liegende Ohmwerte. Bei einem thermisch zulässigen Strom von 500 mA unterhalb 100 Ohm bzw. 250 mA zwischen 100 und 200 Ohm ist die Differenz zwischen Gleich- und Wechselstromwiderstand (bei 500 Hz) geringer als 0,1%, die maximale Änderung des Widerstandes in Funktion des Stromes 0,2% und die Temperaturabhängigkeit durch den Koeffizienten  $10^{-4}$  pro Grad Celsius gegeben. Der magnetische Kreis der Induktivitäten (Manteltyp) hat einen Kern aus Anhyster D und weist einen Luftspalt auf. Die Reaktanzelemente einer Einstellgenauigkeit von 0,5% haben Ohmwerte zwischen 1 und 300 Ohm und sind thermisch mit 250 mA belastbar. Die Änderung der Reaktanz beträgt

- in Funktion des Stromes (von 10...125 mA): 1,5%
- in Funktion der Temperatur: 0,2% pro Grad Celsius.

Die Güte der Reaktanzelemente ist = 10; die ohmsche Komponente der Reaktanz wird dadurch berücksichtigt, dass der berechnete Modellwiderstand um  $1/10$  der gerechneten Modellreaktanz vermindert wird.

Die maximale Kapazität zwischen der Reaktanzwicklung und der Masse beträgt 50 pF.

Die kapazitiven Einheiten (Micakondensatoren in Bakelit eingelagert) sind praktisch unempfindlich auf Temperaturänderungen und haben einen Kapazitätswert zwischen 100 und 20 000 pF. Ihre Genauigkeit ist 0,5%. Die Änderung der Kapazität in Funktion der Spannung ist kleiner als 0,3% innerhalb des Bereiches 1...125 V, während der Verlustfaktor bei 500 Hz 0,005 beträgt. Werte dieser Größenordnung wer-

den bei mittleren Witterungsverhältnissen an Freileitungen sehr hoher Spannungen beobachtet (Koronaeffekt).

Kapazität gegen Gehäuse: ca. 4 pF.

**E. Beschreibung der Modellelemente zur Abbildung der Kupplungstransformatoren**

Bei der Abbildung von Netzen, die aus mehreren Teilnetzen verschiedener Spannung bestehen, kommen zwei Lösungen in Betracht: Bei der ersten Lösung werden die verschiedenen Teilnetze unter Verwendung ein- und desselben Maßstabes abgebildet. Im Gegensatz dazu besteht die zweite Lösung darin, die Teilnetze auf eine einheitliche Spannung (die Spannung eines dieser Teilnetze) umzurechnen; in diesem Fall liegt das Übersetzungsverhältnis der Modelltransformatoren oder Modell-Autotransformatoren immer in der Nähe von 1. Ihr Zweck besteht dann darin, den Unterschied zwischen dem Übersetzungsverhältnis des Originaltransformators und dem Verhältnis der Spannungen wettzumachen, die für die Reduktion der Impedanzen und Admittanzen auf das einheitliche Spannungsniveau gewählt wurden. Dieser zwei-

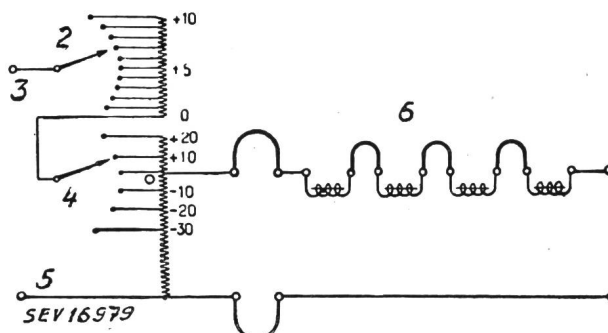


Fig. 6

Schematische Darstellung eines Zweiwicklungstransformators

ten Lösung wurde der Vorzug gegeben, da es umso schwieriger ist, Modelltransformatoren mit geringen Verlusten an Wirk- und Blindleistung zu bauen, je weiter das Übersetzungsverhältnis des Transformators von der Einheit entfernt ist. Ausserdem gestattet diese zweite Lösung eine bedeutende Verringerung der Zahl und eine Reduktion der Grösse der geeichten Einheiten der Leitungselemente.

Ein Kupplungstransformator wird dann durch die folgenden zwei Elemente dargestellt (Fig. 6):

- 1. Einem Autotransformator, dessen Leerlauf-Übersetzungsverhältnis von 70 auf 130% (in Stufen von 1%) geregelt werden kann. Je drei solche Autotransformatoren sind nach

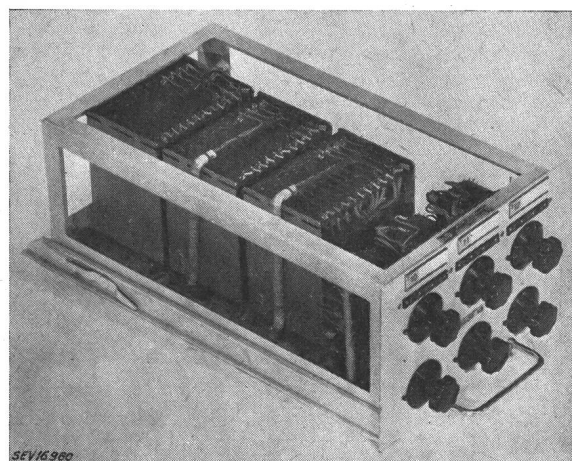


Fig. 7

Ansicht einer Schublade für einen Autotransformator

Fig. 7 ständig in Schubladen montiert, an deren Vorderfront die Anzapfungen eingestellt werden können (Grob- und Feinstufen). Diese Schubladen befinden sich unmittelbar oberhalb der Generatoren. Es wurde angestrebt, die Autotransfor-

matoren mit möglichst geringem Magnetisierungsstrom und kleiner Kurzschlußspannung auszuführen.

2. Einer Seriemarkanz zur Abbildung der Streureaktanz des Originaltransformators (wobei die totale Streureaktanz des Autotransformators entsprechend abgezogen wird). Da die Güte bei Transformatoren grosser Leistung bedeutend grösser ist als bei Leitungen, sind für diese Seriemarkanzen spezielle Elemente mit einer Güte von mindestens 35 gewählt worden. Ihr magnetischer Kreis wird durch einen Ringkern aus komprimiertem Eisenpulver gebildet. Wie die Leitungselemente werden sie in Schubladen montiert. Diese speziellen Modellelemente werden auch für die Abbildung der internen Reaktanzen rotierender Maschinen verwendet (Kurzschluss- und Stabilitätsprobleme).

Die Charakteristiken der die Transformatoren darstellenden Modellelemente sind die folgenden:

#### Autotransformatoren:

Beide Typen von 15 VA und 30 VA haben die Primärspannung  $127\text{ V} \pm 30\%$  (in Stufen 1%) und die Sekundärspannung 127 V (im Leerlauf), bei einer Einstellgenauigkeit von 0,5%.

Die Leerlaufverluste bei 127 V betragen

Typ 15 VA: Wirkleistung 0,75, Blindleistung 0,36 %  
Typ 30 VA: Wirkleistung 0,57, Blindleistung 0,27 %

und die Kurzschlussimpedanzen bei Nennstrom (relative Werte):

Typ 15 VA: ohmisch 0...0,93, induktiv 0...0,78 %  
Typ 30 VA: ohmisch 0...0,84, induktiv 0...0,60 %

(je nach Einstellung der Anzapfung).

#### Spezielle Reaktanzelemente von erhöhter Güte:

Die Reaktanzeinheiten haben zwischen 0 und 1000 liegende Ohmwerte (Frequenz 500 Hz) bei einem Strom 250 mA bis 500 Ohm bzw. 80 mA von 500...1000 Ohm. Ihre Güte liegt zwischen 35 und 45.

a) Diese Charakteristiken gestatten die Abbildung eines Transformators bezüglich seines Übersetzungsverhältnisses (Angleichung bis auf 0,5% genau).

b) Was die Serie-Impedanz anbetrifft, gestatten die Seriemarkanzen eine genaue Abbildung der Original-Impedanz, wobei immerhin der innere Widerstand des Autotransformators sich zu demjenigen der Modellreaktanz addiert. Sofern die Nennleistung des Transformators, auf das Modellnetz umgerechnet, mit derjenigen des Autotransformators vergleichbar ist und die eingestellte Übersetzung erheblich von der Einheit abweicht, kann die Serie-Impedanz im Modell einen verhältnismässig zu grossen Widerstand aufweisen. Die etwas zu grossen Wirkverluste bleiben praktisch ohne Einfluss auf die Resultate der Untersuchungen.

c) Die Wirk- und Blindleistungsverluste im Magnetisierungspfad des Autotransformators haben einen konstanten Wert. Da der gleiche Autotransformator zur Abbildung von Transformatoren verschiedener Leistung dient, ergeben sich nach der Umrechnung seiner Daten auf das Originalnetz Abweichungen gegenüber denjenigen des Originaltransformators: So können in einem gegebenen Beispiel die Wirkleistungsverluste zu gross, die Blindleistungsverluste dagegen zu klein sein. Durch Schaltung einer Induktivität parallel zum Autotransformator können die Blindleistungsverluste nötigenfalls auf ihren richtigen Wert eingestellt werden. Praktisch üben diese Abweichungen keinen Einfluss auf die Resultate der Untersuchung aus.

#### F. Zahl der Modellelemente

Das Netzmodell enthält:

a) 16 Generatoren, wobei die Möglichkeit einer Ergänzung durch 4 weitere Generatoren besteht.

b) 40 Verbraucher mit den folgenden Wirk- bzw. Blindlasten:

24 mit 8,07 W ( 5,47 Var)  
10 mit 16,14 W (16,14 Var)  
6 mit 26,67 W (20 Var)

c) 10 induktive und kapazitive Lasten, wovon 8 mit 4 Var und zwei mit 10,73 Var, mit der Möglichkeit, sechs weitere Lasten hinzuzufügen.

d) 256 geeichte Widerstandselemente  
e) 375 geeichte Reaktanzelemente  
f) 570 geeichte Kapazitäten } für die Leitungen

Anzahl Schubladen für Leitungen: 240.

g) 33 Autotransformatoren, wovon 18 mit 15 VA und 15 mit 30 VA; ihre Zahl kann auf total 60 erhöht werden.

#### G. Abbildung eines Netzes oder Stromkreises auf dem Netzmodell

Nach dem Aufbau und der Einstellung der Modellelemente sind sie entsprechend der Konfiguration des Netzes miteinander zu verbinden. Hierzu dienen 252 über die Vorderfront der Tafel verteilte «Knotenpunkte», an welchen je vier Zweige angeschlossen werden können. Ist die Zahl der ausstrahlenden Zweige höher, so ermöglicht die Verbindung von 2 (3 ...) Knoten den Anschluss von 8 (12 ...) Zweigen. Hinter der Verschaltung auf der Frontseite der Tafel ist ein vermaschtes Netz mit Leitungen sehr geringen Widerstandes verlegt. Es ist isoliert, kann aber nötigenfalls an die Masse der Tafel angeschlossen werden. Das dem mehrphasigen Netz äquivalente einphasige Netz wird dargestellt, indem die Büchsen «Ein- und Ausgang» der Leitungsschubladen und

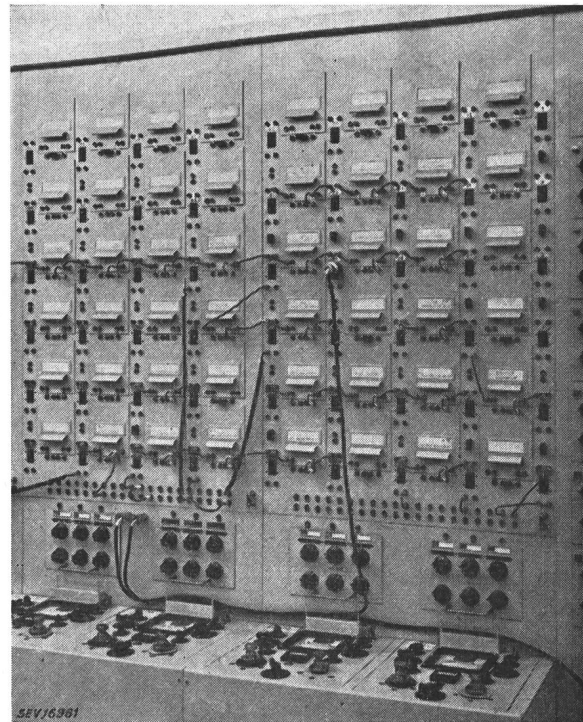


Fig. 8  
Montage eines Modellnetzes

Autotransformatoren, sowie je eine Büchse der Generatoren und der Lasten über flexible Leitungen mit den Büchsen von zweckmässig ausgewählten Knotenpunkten verbunden werden (Fig. 8). Die Büchsen «Nullpunkt» der Elemente werden an das eben erwähnte Netz geringen Widerstandes angeschlossen. Lässt sich ein einphasiges Netz nicht in dieser Weise darstellen, so wird auf den Einbezug des «Nullpunktnetzes» verzichtet und die Abbildung nur mit Hilfe der Knotenpunkte durchgeführt.

Die im Zentrum der Tafel (Fig. 1) angeordneten Büchsen und die längs der linken und rechten Tafelseite angeordneten Büchsen sind mittels fest verlegten Leitungen verbunden. Der Anschluss der (im mittleren Teil der Tafel angeordneten) Lasten an die Knotenpunkte erfolgt unter der Zwischenschaltung dieser fest verlegten Leitungen, so dass zu lange flexible Leitungen vermieden werden.

#### H. Zentrale Messeinrichtung

Diese gestattet, folgende Messungen vorzunehmen:

1. Effektive Spannungen zwischen einem beliebigen Knotenpunkt und Nullpunkt, sowie gegen einen andern Knoten-

punkt, effektive Ströme am Ende eines Netzweiges, Wirkleistung bzw. Blindleistung an dieser Stelle.

2. Phasenlage einer beliebigen Spannung und eines beliebigen Stromes gegenüber einer Bezugsspannung.

3. Impedanz zwischen zwei beliebigen Knotenpunkten des Netzes (ohmsche und reaktive Komponente).

Fig. 9 zeigt das Messpult mit dem Hauptinstrumenten-Satz bestehend aus:

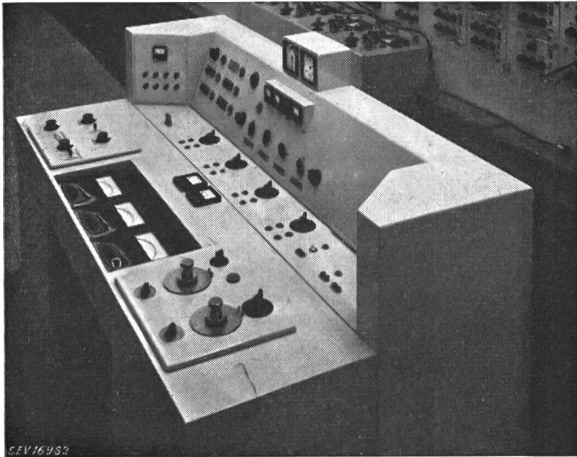


Fig. 9  
Ansicht des Messpultes

einem Milliampèremeter für die Spannungsmessung, welches von einem Spannungsteiler über einen elektronischen Verstärker gespeist wird,

einem Milliampèremeter für die Strommessung, welches von einem Shunt über einen weiteren elektronischen Verstärker gespeist wird,

einem elektrodynamischen Leistungsmesser, dessen Spannungswicklung in Serie zum Milliampèremeter «Spannung» und dessen Stromwicklung in Serie zum Milliampèremeter «Strom» liegt.

Die beiden Verstärker haben prinzipiell die gleiche Arbeitsweise. Sie wandeln die ihrem Eingang zugeführte Spannung um in einen hierzu proportionalen Strom gleicher Phase. Mit der Anwendung des Prinzips der Gegenkopplung wird ein Verstärker grosser Genauigkeit und Phasentreue erhalten. Diese Eigenschaften sind praktisch unabhängig von den Charakteristiken der eingebauten Elektronenröhren (der Ersatz einer solchen erfordert keine Neueichung).

Zur Vermeidung jeglicher Überlastung der Hauptinstrumente sind die Verstärker normalerweise an gewöhnliche Milliampèremeter sehr robuster Bauart und gleicher Impedanz wie die Hauptinstrumente angeschlossen. Nach Kontrolle des Stromes können die Hauptinstrumente mit Hilfe eines Umschalters an Stelle der Kontrollinstrumente angeschlossen werden.

Der Spannungsteiler besteht aus einem hochohmigen Widerstand mit Anzapfungen, welcher mit einem Resonanzkreis in Serie geschaltet ist. Der Verstärker «Spannung» wird an den Widerstand oder an den kapazitiven Zweig des Resonanzkreises (Phasendrehung 90°) angeschlossen, je nachdem, ob mit dem elektrodynamischen Leistungsmesser Wirk- oder Blindleistung gemessen werden soll.

Von den Eigenschaften der Komponenten der Messeinrichtung seien besonders erwähnt:

**Spannungsteiler:** Der Eingangswiderstand variiert von 1,5 Megohm beim Abgriff 150 V bis 0,15 Megohm beim Abgriff 15 V.

Ausgangswiderstand und äquivalente Reaktanz am Phasendreher: je 3000 Ohm, maximaler Phasenfehler 10 min bez. 90° (genaue Frequenz vorausgesetzt).

**Shunt:** Der Widerstand variiert von 1 Ohm als Shunt bei 10 mA bis 0,01 Ohm bei 1000 mA, entsprechend einem maximalen Spannungsabfall von 10 mV.

Die Genauigkeit des Spannungsteilers und des Shunts beträgt 0,2 % für die Amplitude, 10 min für die Phasenverschiebung.

**Verstärker:** Beim Verstärker «Spannung» entspricht die maximale Eingangsspannung 300 mV einem Ausgangsstrom 30 mA, beim Verstärker «Strom» die maximale Eingangsspannung 10 mV dem Ausgangsstrom 200 mA. Die Genauigkeit beträgt: Amplitude 0,5 %, Phase 15 min.

**Hauptinstrumente:** Die Genauigkeit beträgt 0,2 %. Bei Berücksichtigung der Genauigkeit der verschiedenen Komponenten der Messapparatur liegt die resultierende Genauigkeit zwischen 0,5 und 1 %.

1. Messung der Spannungs-, Strom- und Leistungswerte. Die Einführung eines speziellen Mehrfachsteckers in einen Knotenpunkt der Tafel gestattet, die vier in diesem eintreffenden Leitungen vom Knoten weg und zum Messpult hinzuleiten. An dieser Stelle erfolgt dann ihre Wiedervereinigung in einem Knoten. Unter Verwendung von 4 auf dem Messpult angeordneten Umschaltern können derart die Zweigenden an 8 Knotenpunkten (4 von der linken, 4 von der rechten Tafelseite) zum Messpult übertragen werden. Hier gestatten spezielle Einrichtungen, die Spannungen, Ströme und Leistungen in diesen Zweigenden oder auch die Spannungen zwischen zwei übertragenen Knotenpunkten zu messen. Die Erfassung von acht Knotenpunkten mit maximal je vier Zweigen gestattet, Messungen in 32 Zweigen vorzunehmen, ohne dass die Mehrfachstecker in neue Knotenpunkte eingeführt werden müssen.

2. Messung der Phasenlage einer Spannung oder eines Stromes. Mit Hilfe eines statischen Phasenschiebers wird eine Spannung oder ein Strom erzeugt, deren Phasenlage von einer an und für sich beliebigen Nulllage aus nach Belieben eingestellt werden kann. Dieser Phasenschieber ist im Messpult montiert, unmittelbar rechts neben den Hauptinstrumenten (Fig. 9). Die hiemit erhaltene Grösse (Spannung oder Strom) einstellbarer Phasenlage wird dem einen Messkreis der Messeinrichtung, die Grösse (Strom oder Spannung), deren Phasenlage bestimmt werden soll, dem andern Messkreis zugeführt. Soll beispielsweise die Phasenlage einer Spannung bestimmt werden, so wird diese dem «Spannungskreis» zugeführt und der vom Phasenschieber durch Speisung eines ohmschen Widerstandes erhaltene Strom wird dem «Stromkreis» zugeführt. Der elektrodynamische Leistungsmesser wird als Varmeter geschaltet. Der Phasenschieber wird solange gedreht, bis der Zeiger des Varmeters die Nullstellung erreicht; in diesem Moment sind die beiden Grössen in Phase, und die Phasenverschiebung kann an der Skala des Phasenschiebers abgelesen werden. Die Genauigkeit der Phasemessungen beträgt 15 min.

3. Messung der Impedanz zwischen zwei Klemmen des passiven Netzwerkes. Einem einphasigen Induktionsregler, dessen Einstellorgane sich auf dem Messpult neben dem unter 2. erwähnten Phasenschieber befinden, und welcher von der gemeinsamen Sammelschiene des Modells gespeist wird, wird eine Spannung passender Grösse entnommen. Mit Hilfe der Hauptinstrumente werden der Strom  $I$  und die Wirk- und Blindleistung  $P$  und  $Q$  gemessen. Die reelle und imaginäre Komponente ist durch die Beziehung  $R = \frac{P}{I^2}$

bzw.  $X = \frac{Q}{I^2}$  gegeben.

#### I. Allgemeine Speisung des Modells

Die Speisung des Modells erfolgt durch einen Dreiphasengenerator 220 V, 500 Hz, welcher von einem Gleichstrommotor angetrieben und durch eine Gleichstrommaschine in Amplitudenschaltung erregt wird.

Die erhaltene Spannung enthält einen von 0,5...0,8 % variierenden Oberwellenanteil. Die Spannung wird durch einen elektronischen Regler auf 0,5 V genau geregelt und ebenso die Frequenz mit Hilfe eines Fliehkraftreglers, welcher auf die Erregung des Antriebmotors einwirkt, auf  $\pm 1$  Hz genau. Zum Ausgleich der unsymmetrischen Belastung der Generatorphasen dient ein leerlaufender Induktionsmotor.

Diese Maschinen werden vom Messpult aus gesteuert und daselbst können auch die Einstellung der Spannung und der Frequenz kontrolliert werden (Frequenzmeter). Eine spezielle Apparatur gestattet ausserdem, die Frequenz mit der 1000-Hz-Eichfrequenz des Laboratoire national de Radio-



électricité zu vergleichen, womit gegebenenfalls die Frequenz sehr genau eingestellt werden kann (Messungen der Phasenlage).  
E. Fässler.

*Nachricht des Sekretariates des SEV:* Das Netzmodell der EDF ist seit Ende 1948 in Betrieb. Es wird so intensiv

benutzt, dass kürzlich ein zweites Messpult erstellt werden musste, was die Leistungsfähigkeit der Anlage erhöht; es können nun gleichzeitig zwei Untersuchungen durchgeführt werden. Schweizerische Elektrizitätswerke, die das Netzmodell der EDF benützen wollen, sind gebeten, sich mit dem Sekretariat des SEV in Verbindung zu setzen.

## Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

### Inkrafttreten des Kopenhagener Wellenplanes

621.396.97

Am 15. März ist der neue Wellenplan in Kraft getreten, der an der europäischen Rundspruchkonferenz von Kopenhagen<sup>1)</sup> im Sommer 1948 ausgearbeitet und am 15. September 1948 von 25 Ländern unterzeichnet wurde. Für unsere drei Landessender ergeben sich folgende Änderungen:

	neue Wellenlänge bzw. Frequenz	alte Wellenlänge bzw. Frequenz
Beromünster	567,1 m , 529 kHz	539,6 m , 556 kHz
Sottens	392,6 m , 764 kHz	443,1 m , 677 kHz
Monte Ceneri	538,6 m , 557 kHz	257,1 m , 1167 kHz

Mit der von der Post in den letzten Tagen zugestellten Wellentabelle lassen sich die Wellenlängen aller bekannten Sender übrigens mühelos ermitteln. In vielen Fällen hat die Industrie auch schon neue Skalen herausgegeben.

### Eine Million Radiokonzessionäre

621.396.97 (494)

Im Dezember 1949 buchte die Schweizerische Rundspruchgesellschaft die millionste Konzessionsurkunde. Bei dieser Gelegenheit veranstaltete sie in Schwarzenburg, am Standort des schweizerischen Kurzwellensenders, eine kleine Feier, zu der ausser dem millionsten der erste Konzessionär, sowie je drei Konzessionäre vor und nach dem millionsten, eingeladen waren.

Da man in der Schweiz mit einer Million Haushaltungen rechnet, besitzt nun sozusagen jede schweizerische Haushaltung einen Radio-Empfänger. In Bezug auf die Hörerdichte (Einwohnerzahl geteilt durch Zahl der Radiokonzessionen) steht die Schweiz an vierter Stelle aller europäischen Länder. Bedenkt man, dass sich diese rasche Entwicklung in den letzten 25 Jahren abgespielt hat, so zeigt sich einmal mehr, zu welchen raschen Wandlungen des täglichen Lebens die Technik führt.

### Die Rangierfunktanlage im Bahnhof Luzern

621.396.931

Seit dem Herbst 1949 steht im Personenbahnhof Luzern eine Rangierfunktanlage in Betrieb, d. h. eine Anlage, die eine radiotelephonische Leitung des Rangierdienstes im Personenbahnhof gestattet. Die Kreisdirektion II der Schweizerischen Bundesbahnen hat damit erstmals in Europa die Radio-Telephonie in den Dienst des Rangierbetriebes gestellt. Die in die Anlage gesetzten Erwartungen haben sich seither voll und ganz erfüllt, und die befriedigenden Ergebnisse werden weitem Anwendungen der Radio-Telephonie im Bahndienst den Weg ebnen.

Wer je den Rangierbetrieb in einem grossen Bahnhof beobachtet, wird sich Gedanken machen über die für die reibungslose Abwicklung des Rangierdienstes nötige, ausgeklügelte Organisation. Dieser Dienst hat im Personenbahnhof die Aufgabe, die ankommenden Züge wegzuziehen, zum Teil zu zerlegen, in die Abstellgleise zu fahren, neue Züge zu bilden und an die Perrons zu schieben. Bei Güterzügen, die im Gegensatz zu den Personenzügen nur zum kleinen Teil aus planmässigem Wagenmaterial bestehen, wird ähnlich verfahren, wobei die auf die Zerlegung und Neubildung von

Zügen entfallende Hauptarbeit in einzelnen Rangierbahnhöfen durch Ablaufberge erleichtert wird.

Der normale Gang des Rangierbetriebes eines Bahnhofes ist im Rangierprogramm genau festgelegt. Infolge jahrelanger Mitarbeit sind den Aufsichtsbeamten, den Stellwerkwärtern und dem Rangierpersonal die täglich sich wiederholenden Manöver so vertraut, dass sie die dem Aussenstehenden kompliziert erscheinenden Zugbildungspläne so gut auswendig kennen wie den Turnus der Manöver der verschiedenen Rangiertouren. Jeder Tag bringt jedoch kleinere oder grössere Umstellungen — Züge bringen Verstärkungswagen, Expressgut, Vieh- und Pferdewagen, die Geleisebelegung ändert wegen Bauarbeiten. Dazu kommen eigentliche Unregelmässigkeiten, die besonders bei grossem Verkehr den Betrieb oft empfindlich stören — Züge kommen verspätet an, es muss ein Heissläufer ausgesetzt werden, die Abfahrt verzögert sich wegen einer Bremsstörung oder es sind im letzten Moment Verstärkungswagen beizugeben. Auch Witterungseinflüsse spielen hier mit.

Im Bahnhof Luzern wird der ganze Zugverkehr vom Fahrdienstbeamten im Signalzimmer geleitet. Er regelt die Ein- und Ausfahrten, bei ihm laufen die Meldungen über Fakultativ- und Extrazüge, nicht planmässiges Rollmaterial und Unregelmässigkeiten zusammen. Einem ins Stellwerk delegierten Aufsichtsbeamten unterstehen die Stellwerkwärter und der ganze Rangierbetrieb. Diese beiden stationären Beamten sind durch die Sicherungsanlage und Telephone in enger Verbindung miteinander. Schwieriger ist der Kontakt zwischen dem Aufsichtsbeamten im Stellwerk und den mobilen, aus einer Rangierlokomotive und zugehörigem Personal bestehenden Rangierdiensten, die die Anordnungen des Fahrdienstbeamten über nicht planmässige Rangierungen schliesslich ausführen müssen.

Der Bahnhof Luzern ist schon wegen der beiden einspurigen Zufahrten für 5 Richtungen auf Unregelmässigkeiten sehr empfindlich. Dazu kommt, dass auf der gedrängten, seit 50 Jahren nicht wesentlich erweiterten Geleiseanlage die Zahl der regelmässigen Züge innert der letzten 20 Jahre um 60 % zugenommen hat. Fig. 1 zeigt eine Übersicht über die Geleiseanlagen, in der die kritische Stelle des Bahnhofs durch einen gestrichelten Halbkreis hervorgehoben ist. Diese Stelle passieren alle Lokomotiven, die von den Depotgleisen zum Personen- oder Güterbahnhof oder umgekehrt fahren. Alle Manöver zwischen Personenbahnhof und Abstellgleisen kreuzen die Stelle, sämtliche Brünigzüge fahren hier durch. Alle Güterzüge, denen ja nur ein einziges Zufahrtsgleise zur Verfügung steht, schneiden im Halbkreis sämtliche Geleise der Richtungen Zürich und Gotthard. Auch die Fahrbahnen der Reisezüge kreuzen sich hier in vielen Fällen. Um Verspätungen zu vermeiden und zu lokalisieren müssen deshalb die Rangierfahrten unter Ausnützung der kleinsten Zeitintervalle fliessend durchgeführt werden können. Das bedingt in erster Linie eine gute Verständigung zwischen dem Stellwerk und den Rangierdiensten.

Aufgabe der Sicherungsanlage ist die Herstellung der zwangsläufigen Abhängigkeiten zwischen den Fahrstrassen der ein- und ausfahrenden Züge und den Rangiersignalen. Für die Verständigung innerhalb des breiten Spielraums zwischen Rangierverbot und freier Rangierfahrt standen bisher einige wenige Geleisetelephone zur Verfügung, deren Anrufe wegen zu grosser Distanz zwischen Telephone und Rangiergruppe vielfach nicht gehört wurden. Der durch Zuruf im Vorbeifahren oder durch Vermittlung von Geleiseposten gesuchte Kontakt ist unsicher und zeitraubend.

<sup>1)</sup> siehe E. Metzler: Ergebnisse der Konferenzen von Kopenhagen und Mexiko. Bull. SEV Bd. 40 (1949), Nr. 15, S. 474... 481.