

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Der Kondensator als Überspannungsschutz  
**Autor:** Métraux, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058324>

### **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:** 24.12.2024

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

## Der Kondensator als Ueberspannungsschutz.

Referat, gehalten an der Kurzvorträge-Veranstaltung des SEV vom 9. Juli 1938 in Freiburg, von A. Métraux, Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel, und Diskussion.

621.316.936

Es wird nachgewiesen, dass eine zweckmässig dimensionierte Kapazität eine bedeutende Schutzwirkung gegen atmosphärische Ueberspannungen in elektrischen Anlagen ausübt. Die gleichzeitige Verwendung solcher Kondensatoren als Ueberspannungsbegrenzer, Spannungsteiler für Messzwecke und als Kopplungskapazitäten für die Hochfrequenzübertragung längs der Leitungen ergibt eine Kostenverminderung gegenüber den heute üblichen Einrichtungen.

L'auteur démontre qu'une capacité de dimensions correctes exerce un effet protecteur important contre les surtensions d'origine atmosphérique pénétrant dans les installations électriques. L'emploi simultané de ces condensateurs comme limiteurs de surtensions, comme diviseurs de tension pour les mesures et comme capacités de couplage pour la téléphonie à haute fréquence conduit à une réduction des frais de premier établissement par rapport aux dispositifs utilisés aujourd'hui.

Die Bedeutung einer Kapazität als Ueberspannungsschutz für eine elektrische Anlage ist grundsätzlich schon lange bekannt. Die früher als sogenannte Ableiter verwendeten Kondensatoren haben aber die Störungshäufigkeit meistens nur unwesentlich vermindert, im Gegenteil gelegentlich sogar Anlass zu vermehrten Betriebsunterbrüchen gegeben.

Die Ursachen dieses Versagens eines durchaus verwendbaren Schutzmittels sind in zwei Richtungen zu suchen:

1. in der ungenügenden Kenntnis der auftretenden Ueberspannungen und der damit begründeten unzureichenden Dimensionierung der Kapazitätsgrösse,
2. in der unzuweckmässigen Abschätzung der dielektrischen Sicherheit des Kondensators.

Allgemein bekannte Versuche haben uns Einblicke in die Natur der Ueberspannungen verschafft; die statistischen Auswertungen geben Aufschluss über die Häufigkeit, Grösse, Dauer und den Verlauf und gestatten den Sicherheitsgrad der elektrischen Anlage abzuschätzen und die Ueberspannungsschutzkondensatoren zweckmässig zu dimensionieren.

Dazu hat die Entwicklung in der Fabrikation von Phasenschieberkondensatoren dem Konstrukteur die nötigen Unterlagen verschafft, um Kapazitäten mit der vom Betrieb verlangten dielektrischen Sicherheit herzustellen.

Es bleibt daher die Aufgabe, nachzuweisen, dass die theoretisch berechneten Schutzwirkungen im Betriebe ohne ungünstige Auswirkungen auf die Anlage auftreten. Die Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel, hat darüber in Zusammenarbeit mit dem Leiter der Versuchsstation der FKH in Olten-Gösigen, Dr. Berger, eingehende Untersuchungen ausgeführt. Die Versuche sollten die Bestimmung der Schutzwirkung im allgemeinen abklären und die Rückwirkung eines Schutzkondensators auf eine elektrische Anlage messen.

Zur Bestimmung der Schutzwirkung wurden Kapazitäten von 0,05, 0,1 und 0,2  $\mu\text{F}$  über eine Freileitung von 1 km Länge Spannungsstössen der Wellenform (CEI-Definition)  $1/7$ ,  $1/40$  und  $1/250$  resp.  $1/700 \mu\text{s}$  unterworfen. Dabei wurden oszillographisch die Reduktion des Scheitelwertes und die Verschleifung gemessen. Die Wirkung ergibt sich aus Tabellen I und II.

Verminderung des Scheitelwertes.

Tabelle I.

Welle	$1/7 \mu\text{s}$	$1/40 \mu\text{s}$	$1/700 \mu\text{s}$
<b>Durchgangsstation:</b>			
ohne Kondensator	100	100	100
mit 0,05 $\mu\text{F}$	33	65	97
0,1 $\mu\text{F}$	21,5	48	93
0,2 $\mu\text{F}$	12,5	34	85
<b>Kopfstation:</b>			
ohne Kondensator	100		100
mit 0,05 $\mu\text{F}$	23		53
0,1 $\mu\text{F}$	14		37
0,2 $\mu\text{F}$	7,5		24

Verminderung der Steilheit.

Tabelle II.

Welle	$1/4 \mu\text{s}$	$1/40 \mu\text{s}$	$1/700 \mu\text{s}$
<b>Durchgangsstation:</b>			
ohne Kondensator	100	100	100
mit 0,05 $\mu\text{F}$	4,5	5	5,5
0,1 $\mu\text{F}$	2,1	2,4	1,8
0,2 $\mu\text{F}$	1,0	1,3	1,0
<b>Kopfstation:</b>			
ohne Kondensator	100		100
mit 0,05 $\mu\text{F}$	2,9		2,4
0,1 $\mu\text{F}$	1,4		1,2
0,2 $\mu\text{F}$	0,7		0,5

Die Reduktion ist bei kurzen Wellen bedeutend, bei langen Stössen relativ gering. Die für Betriebe gefährlichen Stösse sind aber überwiegend von kurzer Dauer; Beanspruchungen mit Halbwertzeiten von mehreren hundert  $\mu\text{s}$  erreichen nach den statistischen Angaben sehr selten Spannungswerte, welche der Isolation gefährlich werden.

Die Verminderung der Stirnsteilheit der Spannungsstösse ist besonders auffallend. Der Kondensator lädt sich entsprechend der Zeitkonstante  $T = R \cdot C$  auf, wobei  $R$  den Wellenwiderstand der Leitung darstellt. Der Wellenwiderstand des Kondensators selbst ist ohne Bedeutung. Der Kondensator ist daher ein vorzüglicher Schutz besonders für jene elektrischen Maschinen, welche gegen steile Wanderwellen empfindlich sind, z. B. Hochspannungsgeneratoren, welche direkt auf das Netz arbeiten.

Die Versuche über der Rückwirkung auf die Anlage hatten die Verhältnisse abzuklären, welche bei Ueberschlägen auf der Leitung oder in der Station

auftreten. Im besonders waren die Spannungen an den Klemmen eines Transformators zu messen, um daraus einen Rückschluss auf die Windungsbeanspruchung zu ziehen.

Zu diesem Zweck wurden in unmittelbarer Nähe und auf der Leitung Stab-Funkenstrecken für eine 50 %-Stossüberschlagsspannung von 50 kV einge-

Entladung bei ca. 70 kV; die Steilheit des Stosses an der Transformator-klemme ist 300 kV/ $\mu$ s. Bei Einbau eines Kondensators findet der Ueberschlag bei 50 kV statt; die maximale Steilheit beträgt 18 kV/ $\mu$ s bei gleicher einfallender Wellenform.

Bei Erdung ohne gemeinsamen metallischen Leiter ist die Entladung des Kondensators bei Anspre-

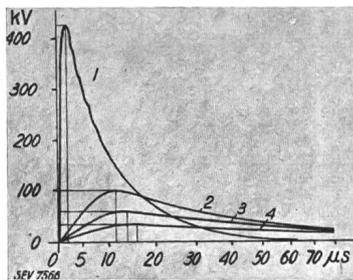


Fig. 1.

**Stoßspannungen in der Kopfstation.**  
 1 ungeschützt, einfallender Stoss 243 kV,  $\frac{1}{7}$   $\mu$ s, reflektiert auf 426 kV,  
 2 geschützt durch Kondensator 0,05  $\mu$ F,  
 3 geschützt durch Kondensator 0,1  $\mu$ F,  
 4 geschützt durch Kondensator 0,2  $\mu$ F.

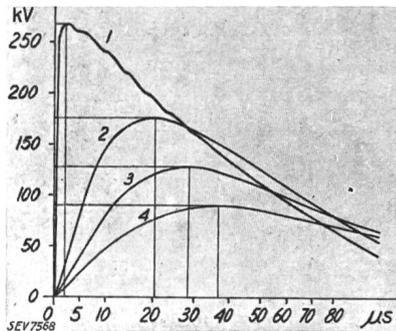


Fig. 2.

**Stoßspannungen in der Durchgangsstation.**  
 1 ungeschützt, einfallender Stoss 267 kV,  $\frac{1}{40}$   $\mu$ s,  
 2 geschützt durch Kondensator 0,05  $\mu$ F,  
 3 geschützt durch Kondensator 0,1  $\mu$ F,  
 4 geschützt durch Kondensator 0,2  $\mu$ F.

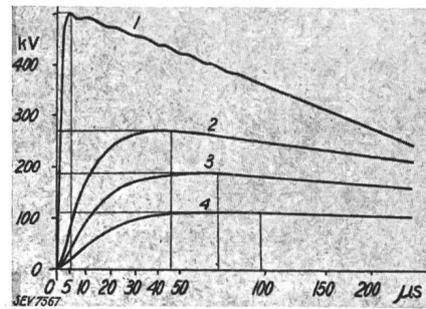


Fig. 3.

**Stoßspannungen in der Kopfstation.**  
 1 ungeschützt, einfallender Stoss 267 kV,  $\frac{1}{250}$   $\mu$ s, reflektiert auf 502 kV,  
 2 geschützt durch Kondensator 0,05  $\mu$ F,  
 3 geschützt durch Kondensator 0,1  $\mu$ F,  
 4 geschützt durch Kondensator 0,2  $\mu$ F.

baut und die Leitung vom Stoss-generator aus mit einer Welle  $\frac{1}{40}$   $\mu$ s, 100 kV Scheitelwert, gestossen.

Bei gemeinsamer Erdung des Schutzkondensators und der Stabfunkenstrecke treten gedämpfte Schwingungen auf, deren Frequenz durch die Kapazität

chen der Schutzfunkenstrecke immer aperiodisch. Der Verlauf der Spannung an der Transformator-klemme bei fehlendem Schutzkondensator entspricht der üblichen Sägekurve, wobei die Frequenz der Zähne durch die Reflexion auf der Leitungslänge gegeben ist. Bei eingebautem Schutzkondensator ist die Entladung rein aperiodisch. Es treten auch hier wieder an der Transformatorwicklung

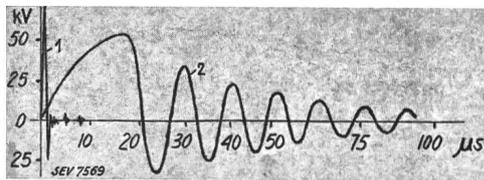


Fig. 4.

**Stoßspannungen an den Klemmen eines Transformators**  
 45/16 kV, 2000 kVA. Durchgangsstation.

- 1 Station ungeschützt, Ueberschlag auf der Leitung in 10 m Abstand; einfallender Stoss 100 kV,  $\frac{1}{46}$   $\mu$ s.
- 2 Station geschützt durch einen Kondensator 0,1  $\mu$ F, Ueberschlag auf der Leitung in 10 m Abstand, einfallender Stoss 100 kV,  $\frac{1}{46}$   $\mu$ s, gemeinsame metallische Erdung.

und die Induktivität der Leitungslänge bis zur Schutzfunkenstrecke bestimmt ist; die Frequenz liegt zwischen 100 000 und 10 000 Hz, die Dämpfungskonstante ist ca. 100  $\mu$ s. Der Ueberschlag ohne Kondensator erfolgt wegen der Verzögerung der

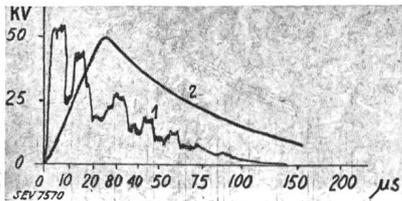


Fig. 5.

**Stoßspannungen an den Klemmen eines Transformators**  
 45/16 kV, 2000 kVA. Durchgangsstation.

- 1 Station ungeschützt, Ueberschlag auf der Leitung in 50 m Abstand. Einfallender Stoss wie Fig. 4.
- 2 Station geschützt durch Kondensator 0,1  $\mu$ F, Ueberschlag auf der Leitung in 50 m Abstand, einfallender Stoss wie Fig. 4, getrennte Erdung.

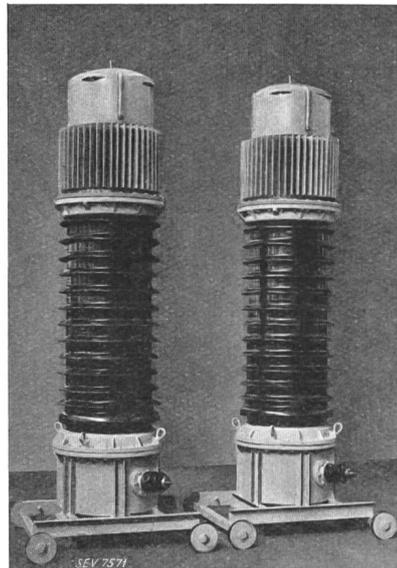


Fig. 6.

Schutzkondensatoren, Betriebsspannung 120 kV,  $3 \sim 50$ , für Aussenbetrieb, mit Anzapfung für Spannungsmessung.

ohne Kondensator wesentlich höhere Windungsbeanspruchungen auf als mit eingebautem Kondensator (Fig. 5).

Zuletzt wurde noch das Verhalten eines Widerstandsableiters normaler Konstruktion untersucht.

Die Entladung durch den Ableiter ist grundsätzlich dieselbe, ob ein Kondensator eingebaut ist oder nicht; immerhin tritt eine geringere Entladungsverzögerung der Zündfunkenstrecke auf, sofern ein Kondensator parallel geschaltet ist.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Kondensator keine schädlichen Rückwirkungen auf die Anlage hat. Sie beweisen ferner, dass bei richtiger Di-

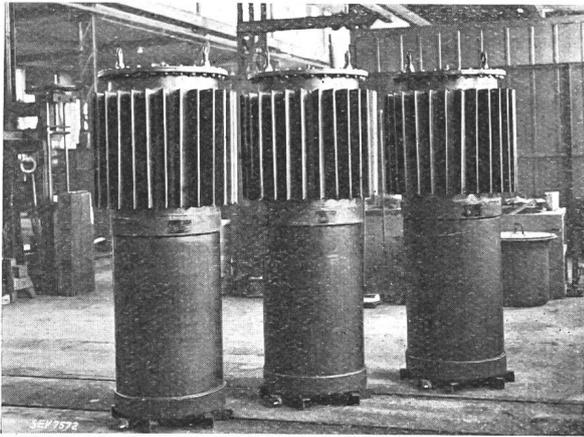


Fig. 7.

Schutzkondensatoren, Betriebsspannung 50 kV, 3 ~ 50, für Innenbetrieb.

mensionierung die Anlage wirksam geschützt wird durch die Reduktion des Scheitelwertes, die gefährlichen kurzen Ueberspannungsstösse auf ungefährliche Werte reduziert werden und in allen Fällen eine bedeutende Verschleifung der Stirn der Wanderwelle auftritt, welche die Windungsisolierung der angeschlossenen Apparate kräftig entlastet. Ein Einbau empfiehlt sich im besondern als Schutz für elektrische Maschinen, welche direkt an Hochspannungsnetzen arbeiten.

Die Kapazität des Kondensators und die Wahl seiner dielektrischen Sicherheit hängen von den

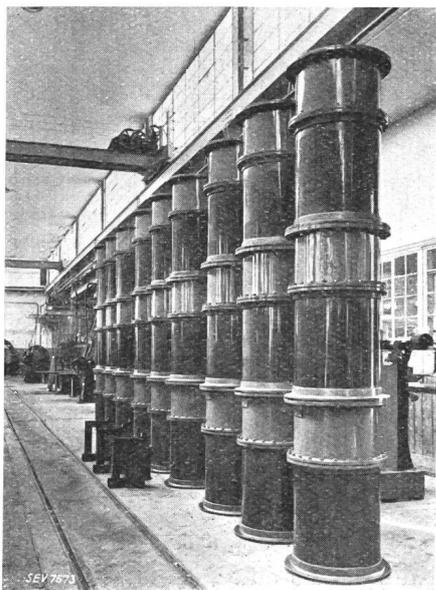


Fig. 8.

Schutzkondensatoren, Betriebsspannung 120 kV, 3 ~ 50, für Innenbetrieb, teilweise ausgerüstet für Spannungsmessung; Uebersetzungsverhältnis 120 000/100 Volt, 30 VA, Klasse 0,5 VDE.

Netzverhältnissen ab und sind von Fall zu Fall zu bestimmen.

In allen Fällen ist die Kapazität des Schutzkondensators so gross, dass er als Spannungsteiler für Messzwecke verwendet werden kann. Messleistungen von 30 bis 50 VA bei Genauigkeiten in bezug auf die Uebersetzung und den Fehlwinkel entsprechend Klasse 0,5 VDE sind leicht zu erreichen, sofern ein zweckmässig gewählter Sekundärwandler für niedrige Spannung verwendet wird.

Die Kosten eines Schutzkondensators sind höher als diejenigen eines Widerstandsableiters für die gleiche Betriebsspannung. Sie sind aber, besonders für Spannungen über 70 kV, wesentlich niedriger als die Gesamtkosten für den Ableiter und den Spannungswandler oder Kopplungskondensator für die Hochfrequenzübertragung. Bei gleichzeitiger Verwendung als Spannungswandler und Schutzkondensator ergeben sich daher zu den technischen Vorteilen, welche in der erhöhten Betriebssicherheit der Anlage liegen, auch wirtschaftliche Vorteile durch die Verminderung der gesamten Installationskosten.

Die Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel, hat seit 5 Jahren solche Ueberspannungskondensatoren im Betrieb geprüft. Die statistischen Untersuchungen in den geschützten Anlagen ergeben die erwarteten Werte; Betriebsausfälle infolge ungenügender elektrischer Festigkeit sind keine aufgetreten.

### Diskussion.

Der Vorsitzende dankt Herrn Métraux für das vortreffliche Exposé über die Verwendbarkeit der kunstgerecht gebauten und bemessenen Kondensatoren für den Ueberspannungsschutz. Auch hier stehen wir einem Fortschritt der Technik gegenüber.

Herr Dr. K. Berger, Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsanlagen: Es mag von Interesse sein, auf einige grundsätzliche Unterschiede in der Art der Schutzwirkung von Kondensatoren gegenüber üblichen Ableitern atmosphärischer Ueberspannungen hinzuweisen.

Der am Eingang einer Station angeschlossene Schutzkondensator verflacht die Ueberspannungswelle, d. h. er lässt die Spannung nur recht langsam anwachsen. Steile Fronten kommen hinter dem Kondensator nicht mehr vor. Dieser Effekt hat zur Folge, dass den Teilreflexionen an kurzen Abzweigen einer Anlage praktisch keine Bedeutung mehr zukommt. Man kann deshalb damit rechnen, dass auch in einer ausgedehnten Station hinter dem Kondensator nirgends merklich grössere Spannung auftritt als an den Klemmen des Schutzkondensators. Der Kondensator nimmt den Wanderwellenvorgängen den harten, stossartigen Charakter. Aus diesem Grund lässt sich die Frage des Einbaus von Kondensatoren viel leichter allgemein beantworten als bei Ableitern: Kondensatoren sollen möglichst beim Eingang der Freileitungen in die Station angeschlossen werden, und zwar mit möglichst kurzen oder gar keinen Abzweigen auf Spannungs- und Erdseite.

Ein zweites Wort wegen der Erdung. Bei Ableitern wächst sowohl die Restspannung als auch der Spannungsabfall an der Erdung mit dem Strom; beide erreichen ungefähr gleichzeitig ihren grössten Wert. Die Summe beider ist für die Beanspruchung von Isolatoren mit getrennter Erdung massgebend. Nicht so bei Kondensatorenschutz: Hier wächst die Klemmenspannung des Kondensators, solange noch Ladungen zufließen. Die grösste Spannung am Kondensator tritt erst auf, nachdem der Stoss-Strom das Maximum überschritten hat. Dies ergibt eine Art Phasenverschiebung zwischen Restspannung am Kondensator und an der Erdung. Für die Be-

anspruchung getrennt geerdeter Isolatoren ist eine kleinere Spannung massgebend als die Summe aus Restspannung und Erdungsabfall. Die sehr hohen Anforderungen, die an Erdungen von Ableitern gestellt werden müssen, dürfen für Kondensatoren etwas reduziert werden, sofern getrennte Erdungen für zu schützende Objekte und Schutzapparate vorhanden sind. In der Schweiz dürfen und müssen wir ja glücklicherweise die Schutz- und Betriebserdungen (samt den Ableitererdungen) metallisch verbinden, so dass für derart geerdete Isolatoren die Bedeutung der Erdungsabfälle sich auf die Zeit der Wanderwellen-Ausgleichsvorgänge über die Erdleitungen reduziert, d. h. auf ähnliche Teilreflexionen, wie bei den spannungsführenden Leitern.

Sodann dürfen in diesem Zusammenhange des Schutzes durch Kondensatoren die Kabel nicht unerwähnt bleiben. Schon wegen der guten Erdung durch die Kabelbleimäntel und den flächenhaften Uebergang der Ladung nach Erde, und der Abzweiglänge null zwischen Anlage und Kabel bestehen Vorteile beim Kabel. Insbesondere an Eisenmastleitungen, wo die Höhe der Ueberspannungen durch die Leitungsisolatoren in bestimmten Grenzen gehalten wird, lässt sich ein Schutz durch Kabel heute zuverlässig verwirk-

lichen. Der ersten Stufe der Wellenspannung kommt bei richtiger Anordnung keine praktische Bedeutung zu. Haupterfordernis ist die genügende Länge des oder der zum Schutz an eine Station angeschlossenen Kabel.

Ein letztes Wort gelte schliesslich der klassischen dritten Schutzform, d. h. den Drosselspulen. Wir wissen ja, dass solche bei reichlicher Bemessung auch schaden können, indem sie an gewissen Orten die Ueberspannungen erhöhen. Aber im ganzen sind die verwendeten Drosselspulen doch so klein, dass sie weder nützen noch schaden, was die Höhe der Ueberspannungen anbetrifft.

Das wird nun allerdings etwas schlimmer bei Anlagen mit Schutzkondensatoren. Dort ist es ratsam, die Drosselspulen im Zug der Leitung und damit die unnötigen Schwingmöglichkeiten und Spannungserhöhungen zu vermeiden. Kondensatoren und Ableiter scheinen sich dagegen eher zusammen zu vertragen, wenn auch die Art ihres Zusammenarbeitens bezüglich der Beanspruchung der Ableiter heute noch nicht restlos geklärt ist.

Der Vorsitzende verdankt auch diesen Beitrag.

## Un nouveau régulateur de vitesse.

Conférence donnée lors de la Journée de conférences de l'ASE du 9 juillet 1938 à Fribourg  
par R. Keller, Brown, Boveri & Cie., Baden, et discussion.

621.316.718.5

*L'auteur décrit un nouveau régulateur électrique primaire pour machines motrices répondant avantageusement aux exigences modernes de réglage de fréquence et de puissance. Sa conception diffère des régulateurs mécaniques employés jusqu'à présent et permet en outre une alimentation directe par la tension de l'alternateur, éliminant ainsi de nombreuses sources de perturbations.*

*Es wird ein neuer elektrischer Regler für Primärmaschinen beschrieben, welcher gestattet, die neuesten Forderungen der Frequenz- und Leistungsregulierung auf vorteilhafte Weise zu erfüllen. Seine grundsätzliche Verschiedenheit gegenüber den bisher angewandten mechanischen Reglern bietet weiter eine Möglichkeit, denselben direkt mittels der Generatorspannung zu speisen, wobei die bei andern Antriebsarten bekannten Störungserscheinungen eliminiert sind.*

La journée de discussion de l'ASE du 1<sup>er</sup> mai 1937 était vouée entièrement au problème du réglage de la fréquence et de la puissance. Les conférences de plusieurs orateurs et la discussion très animée ont montré l'importance énorme du problème.

Il a été reconnu que le simple réglage de la fréquence, comme il a été appliqué jusqu'à ce jour, ne peut plus répondre aux exigences d'une exploitation parfaite et économique des grands réseaux. Pour ainsi dire, toutes les recherches publiées à ce sujet au cours des dernières années ont abouti à un résultat très net et démontrent que, seul grâce à l'introduction du réglage combiné de fréquence et de puissance, le problème pourra être résolu.

L'organe qui mesurera cette nouvelle grandeur et à laquelle, à l'avenir, un régulateur de turbine doit être sensible d'après une certaine loi, ne peut être autre qu'un wattmètre, donc un appareil électrique. Il va de soi que la combinaison d'un wattmètre avec l'organe mesurant la vitesse, le pendule mécanique, présente au point de vue de la construction plus de difficultés que si les deux appareils étaient des organes électriques (voir fig. 1). Il était donc très séduisant de chercher à remplacer les régulateurs à force centrifuge par un appareil mesurant directement la fréquence.

L'utilisation d'un wattmètre est nécessaire au cas où la puissance, qui doit être mise en rapport avec la fréquence, n'est pas déterminée par l'ouverture de la turbine. Sans vouloir entrer à nouveau dans les questions compliquées du problème général, il

suffit de retenir qu'un des but principal du réglage combiné fréquence-puissance est d'obtenir que la variation de charge soit couverte par le groupe de centrales qui est intéressé le premier à celle-ci, et d'éviter que ces variations influencent le transport d'énergie dans le réseau (fig. 1).

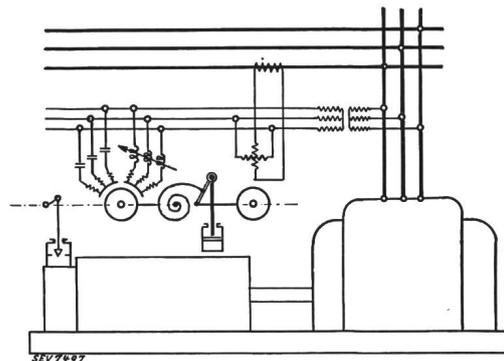


Fig. 1.

Principe d'un régulateur combiné fréquence-puissance.

A part ce point qui s'impose par le problème du réglage rationnel des réseaux, il y en a d'autres plutôt d'ordre mécanique qui préoccupaient depuis longtemps les constructeurs de turbines et d'alternateurs.

La commande par courroie du pendule surtout a donné des ennuis ou même était parfois presque impossible à installer. On a cherché à la remplacer par des transmissions mécaniques. Cependant, celles-ci influencent toujours d'une manière