Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 20 (1929)
Heft: 6

Artikel: Les progrès réalisés dans la technique des instruments de mesure pendant ces dernières années

Autor: Imhof, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056810

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | REDAKTION Zürich 8, Seefeldstr. 301 | Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration | Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. Zürich 4, Stauffacherquai 36/38 | Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XX. Jahrgang XXe Année | Bulletin No. 6 | März II Mars II 1929

Les progrès réalisés dans la technique des instruments de mesure pendant ces dernières années.

Par M. le professeur *A. Imhof*, Winterthur.

621.37 (09)

L'auteur donne un aperçu du développement le plus récent de la technique des mesures électriques. Il parle des méthodes modernes de mesure des hautes tensions, passe en revue les transformateurs d'intensité, le dynamomètre à induction et ses applications, les méthodes de mesure à distance, la détermination des pertes diélectriques, l'enregistrement des grandeurs mesurées, les oscillographes à inertie nulle et les voltmètres à triodes. L'article contient de nombreux renvois à la littérature technique.

Der Autor gibt einen Ueberblick über die neuere Entwicklung der Technik elektrischer Messungen. Behandelt werden die modernen Methoden zur Messung hoher Spannungen, die Stromwandler, das Induktionsdynamometer und seine Anwendungen, die Fernmessmethoden, die Messung dielektrischer Verluste, die Registrierung von Messgrössen, die trägheitslosen Oscillographen und die Röhrenvoltmeter. Der Aufsatz ist mit vielen Literaturnachweisen versehen.

Ces dernières années ont apporté une série de progrès remarquables dans la technique des instruments de mesure et ont marqué la voie à suivre pour en réaliser d'autres. Ici également on a senti l'influence du développement colossal des puissants transports d'énergie à grande distance. Ce sont d'abord les très hautes tensions qui ont nécessité des innovations, ensuite les courants très intenses, notamment les courants de court-circuit, dont il a fallu tenir compte; en outre les grosses unités de machines ont exigé des mesures précises pour permettre le contrôle des grandeurs électriques caractéristiques et des températures. La surveillance des installations à partir des postes de commandement centraux augmenta la demande de dispositifs de signalisation à distance. La technique des courants à haute fréquence enfin avait aussi besoin d'instruments nouveaux.

C'est le développement de la technique des mesures à haute tension qui fut — et qui restera pour le moment — la plus frappante. Il s'agissait de développer les transformateurs de potentiel pour des tensions nominales allant jusqu'à 220 kV, et de construire d'une manière générale les transformateurs de mesure pour pouvoir les installer en plein air. On n'a pas rencontré de difficultés spéciales ici, mais il y a lieu de remarquer que la quantité de matériel employé n'a aucun rapport avec la faible puissance secondaire qu'on demande à ces appareils. Les constructeurs d'installations en plein air ont toujours demandé des possibilités de mesure meilleur marché, et quelques-unes ont pu leur être offertes, bien que toutes soient encore en période de développement.

On a cherché tout spécialement ces dernières années à réaliser des appareils susceptibles de remplacer les transformateurs de potentiel. On a trouvé trois solutions, qui auront certainement un grand retentissement dans ce domaine ces prochaines années.

Ces méthodes consistent toutes à intercaler une haute résistance entre la conduite de mesure et la terre et à mesurer, soit le courant proportionnel à la tension appliquée qui passe dans ces résistances, soit une fraction de cette tension; mais elles se distinguent esentiellement dans le choix des résistances et dans celui des méthodes de mesure de courant ou de tension utilisées. Le plus ancien système prévoit une résistance capacitive. Le courant de charge d'un condensateur, qui est proportionel à la tension appliquée pour une fréquence constante, est mesuré à l'aide de petits transformateurs d'intensité. Des condensateurs de traversée servent de capacités. Une borne pour le branchement du transformateur d'intensité est reliée à l'une des armatures métalliques extérieures du condensateur, et la terre forme l'autre borne du circuit de mesure. Le transformateur d'intensité élève l'intensité dans le rapport d'environ 1 : 100. Les tensions composées peuvent être mesurées par deux transformateurs en opposition. Les mesures de puissance sont aussi possibles; le déphasage entre la tension et le courant étant environ 90^0, on utilise des instruments à puissance réactive. L'exactitude obtenue dans les mesures de tension est environ $2 \div 3\%$ de l'écart maximum et dans les mesures de puissance environ 5 %. La question de la constance de la capacité des condensateurs de traversée avec le temps n'est pas encore résolue. On sait que cette capacité est une fonction de la température et qu'elle varie d'environ 2,5 % pour un écart de 10^0C. Cette méthode, nommée méthode C, pour être tout-à-fait sûre exigera certainement des condensateurs spéciaux, qui restent encore à créer dans ce but sous une forme vraiment économique.

En Europe, cette méthode capacitive a probablement été réalisée pratiquement pour la première fois par Carlo Crosti, ingénieur à Milan, il y a environ 10 ans. Bien plus tard seulement, elle s'est répandue sous le nom de méthode C, comme produit de la maison Siemens & Halske (brevet Siemens-Schuckert de l'année 1924) et a été étudiée et approfondie par G. Keinath [1]). Aux Etats-Unis, où l'on accorde beaucoup moins d'importance à une très grande exactitude et à une forte puissance secondaire, cette méthode est connue depuis longtemps et a conquis une importance notoire, moins dans un but de mesure que de synchronisation dans les sous-stations à très haute tension. Le système de la Westinghouse Elec. & Mfg. Co.[2]) utilise du côté secondaire un circuit de résonance dans le but d'augmenter la puissance disponible pour le synchronoscope. La General Electric Co. utilise un amplificateur à lampes[3]).

Une autre solution du même problème réside dans l'emploi du transformateur de potentiel en cascade inventé par Pfiffner[4]). Ici, la résistance capacitive est remplacée par une résistance inductive. La caractéristique de cette invention est que la résistance inductive n'est pas formée d'une seule bobine de réactance, mais d'une série de réactances ayant chacune son circuit magnétique fermé indépendant et dont les noyaux sont isolés les uns des autres. Suivant la tension, on branche un nombre approprié d'unités semblables en série et des enroulements compensateurs provoquent une répartition égale de la tension entre les différentes unités du système. Dans la forme d'exécution de Siemens & Halske, une résistance complète de ce genre a l'aspect d'une forte colonne de 68 cm de diamètre. La carcasse des réactances est en porcelaine. L'exactitude correspond aux exigences des classes E et F; le poids de ces appareils est notablement inférieur à celui des transformateurs de mesure ordinaires correspondants.

Suivant les propositions de l'auteur[5]), la maison Trüb, Täuber & Cie. a développé un type de transformateur de potentiel à résistance. Il se compose de résistances de précision enroulées, enfermées dans un récipient isolant en forme de colonne, rempli d'huile et est monté en série avec un transformateur d'intensité dont un des pôles est mis à la terre. Pour de très hautes tensions, les résistances sont traversées par un courant comportant normalement 5 mA (pour la tension nominale), et pour des tensions moins élevées $7{,}5 \div 10$ mA (fig. 1). Le poids

[1]) Voir bibliographie à la fin de cet article.

d'un de ces transformateurs destinés à une station en plein air pour 220 kV est seulement de 450 kilogrammes avec l'huile, c.à d. légèrement supérieur à celui d'une borne-condensateur pour la même tension. Grâce à la répartition absolument régulière de la tension sur toute la longueur, la résistance au claquage est très élevée et, du fait de la résistance purement ohmique, l'appareil n'a pas à craindre les ondes à front raide. Ces appareils se prêtent aussi bien à la mesure de la tension entre un pôle et la terre qu'à celle de tensions composées. Dans ce dernier cas on utilise alors deux transformateurs pareils. La puissance requise suivant les instruments à brancher ne dépasse généralement pas 15 VA par colonne. L'exactitude correspond à la classe F. Les instruments de mesures connectés à ces appareils possédant des enroulements de courant, les résistances additionnelles tombent et la consommation propre est très faible; c'est pourquoi la puissance fournie suffit dans la plupart des cas. Les mesures de puissance s'effectuent au moyen de wattmètres à puissance wattée, la mise en parallèle au moyen de synchronoscopes ou de voltmètres à zéro.

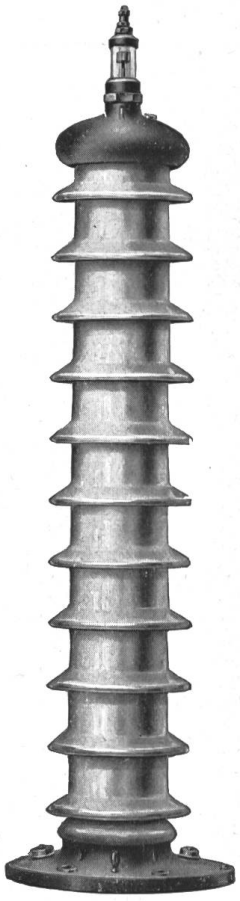

Fig. 1.
Transformateur de potentiel à résistance pour 135 kV.

Il était tout naturel d'utiliser plus largement les forces électrostatiques pour des mesures à haute tension, bien que des essais plus anciens ne fussent guère encourageants. Pour le contrôle des dérivations à la terre et pour les travaux de laboratoire on a trouvé, en effet, des solutions satisfaisantes qui se distinguent par un encombrement réduit et leur coût peu élevé. Les progrès[6]) réalisés dans ce domaine sont les suivants: Dans le cas des condensateurs additionnels on a reconnu que l'isolement superficiel du condensateur et du système de mesure joue un rôle prépondérant, et l'on a tenu compte des capacités par dispersion contre la terre en les rendant constantes. On développa des constructions adaptées aux installations électriques, on augmenta la rigidité diélectrique, de sorte qu'un des anciens points faibles des instruments électrostatiques, l'isolement incertain, a été complètement éliminé. Comme dispositifs de protection, on utilise de fortes résistances ohmiques, ou, pour les hautes tensions, des fusibles à fil d'or consistant en un mince ruban d'or, monté sur porcelaine, qui supporte en charge normale $^1/_2$ ampère, mais fond déjà sous une charge de 1 mA lorsqu'il est en série avec une étincelle. Pour des laboratoires on a construit quelques voltmètres statiques sans condensateurs de réduction, dignes de retenir l'attention. La maison Hartmann & Braun a construit un instrument de précision absolue utilisable jusqu'à quelques centaines de kV, la balance de tension à gaz comprimé[7]), dans laquelle le système de mesure est enfermé dans une atmosphère d'azote comprimé à $10-12$ kg/cm^2. Le couple antagoniste est obtenu électrodynamiquement et l'appareil est employé de telle sorte que le système est toujours ramené au zéro. La lecture a lieu par des moyens optiques. Le voltmètre de Trüb, Täuber & Cie. représentant une amélioration sensible du voltmètre d'Abraham & Villard, est construit pour lecture directe sur cadran gradué jusqu'à 400 kV; pour des tensions supérieures quelconques, il est muni du dispositif de mesure à distance de Täuber-Gretler. Cet instrument a même trouvé ces dernièrs temps une utilisation dans le dosage des rayons X pour la thérapie profonde. Une calotte légère, suspendue par deux bandes, est attirée par une électrode opposée. L'anneau protecteur de Thomson est très développé (fig. 2). Un instrument de Starcke & Schroeder[8]) présente une disposition analogue. Le voltmètre de Koch & Sterzel est aussi intéressant. Parmi les indicateurs de terre électrostatiques triphasés, l'appareil à trois aiguilles de Trüb, Täuber & Cie., muni de condensateurs additionnels pour des tensions supérieures à 6 kV, a trouvé un emploi multiple. Pour la tension nominale et quand les phases sont symétriques,

les trois aiguilles sont orientées vers le milieu de l'instrument. Dès que les tensions sont asymétriques, les aiguilles s'écartent du centre et l'on peut lire chacune des trois tensions. Cet indicateur de terre est beaucoup moins coûteux que d'autres systèmes, mais ne permet pas la transmission à distance des indications (fig. 3).

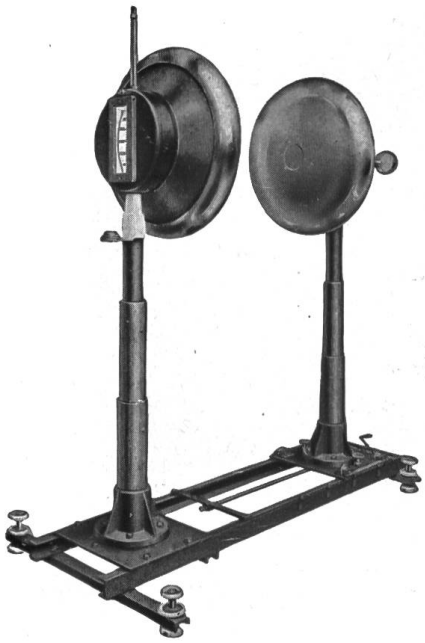

Fig. 2.
Voltmètre électrostatique pour 400 kV, sans condensateur additionnel.

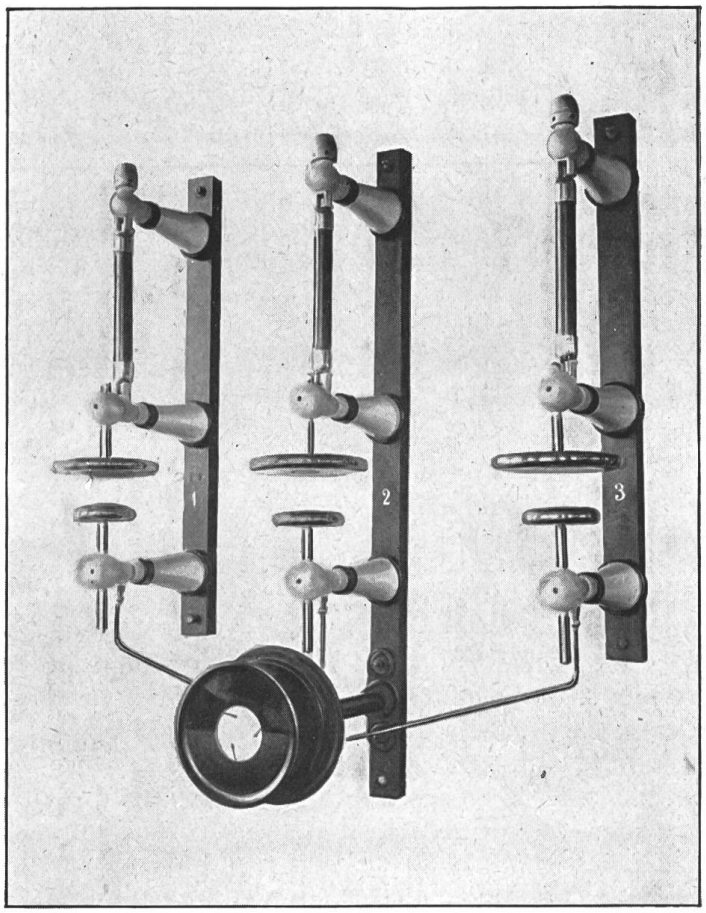

Fig. 3.
Indicateur de terre triphasé statique.

Dans les laboratoires à haute tension, on a généralement renoncé aux spintéromètres à aiguilles en faveur des spintéromètres à boules, qui peuvent avoir de très fortes dimensions en raison des très hautes tensions utilisées. On trouve des sphères de précision présentant jusqu'à 750 et même 1000 mm de diamètre. La disposition verticale des axes, avec lecture à distance sur une échelle solidaire de la sphère mise à la terre, ou avec dispositif de lecture en forme de cadran d'horloge éclairé, est la plus courante.

La disposition horizontale au-dessus du transformateur d'essai peut aussi remplir sont but, là où la hauteur du local est suffisante. La lecture se fait alors à distance [9]) par projection d'une échelle mobile formant diapositif, la source lumineuse étant suffisamment éloignée de l'éclateur.

Pour les *mesures de courant,* les transformateurs d'intensité à un conducteur sont de plus en plus répandus, car pour les très hautes tensions, ils se laissent facilement combiner avec les condensateurs de traversée. Jusqu'à présent la limite inférieure de l'intensité admissible pour ce genre de construction était environ 500 ampères. Les nouveaux alliages de fer au nickel [10]) avec perméabilité initiale fortement surélevée permettent d'abaisser notablement l'intensité-limite. Les tôles spéciales qui entrent en considération ici, d'origine anglaise ou américaine, sont connues sous les noms de „métal μ", „permalloy" et „hypernic".

Les courbes de magnétisation de ces alliages s'aplatissent déjà autour de 3000 gauss et coupent celles du fer ordinaire. Un traitement très délicat par la chaleur en rend toutefois la fabrication assez difficile. Les condensateurs de traversée, qui sont parvenus à une très grande perfection, se prêtent très bien à la combinaison avec des transformateurs d'intensité. Même pour les basses tensions, Siemens & Halske construisent des transformateurs d'intensité à haute saturation du fer, afin d'obtenir la même insensibilité vis-à-vis des très fortes surintensités.

Les hautes tensions ont aussi amené quelques nouveautés intéressantes dans la construction des transformateurs d'intensité. En utilisant des condensateurs de traversée comme isolement entre le noyau de fer et l'enroulement, on obtient occasionellement des formes de construction de dimensions très réduites. Le transformateur d'intensité de Koch & Sterzel qui, sans être un transformateur à un conducteur, est quand-même protégé contre les courts-circuits, est remarquable. L'enroulement secondaire est enroulé directement autour du noyau du type cuirassé et est entouré d'une enveloppe en porcelaine. L'enroulement primaire entoure cette enveloppe, à l'intérieur d'une traversée en porcelaine. L'amenée du courant primaire s'effectue de part et d'autre de la traversée. Un remplissage avec sable de quartz graphité empêche les pertes par effluves. Les transformateurs d'intensité en cascade de construction analogue (Pfiffner) sont originaires de la même maison. L'enroulement secondaire du premier transformateur alimente le primaire du second et ainsi de suite. Où les courants trop faibles ne permettent pas l'emploi de transformateurs à un conducteur, les transformateurs d'intensité en cascade ont le plus de chance de s'habiliter définitivement pour les hautes tensions.

Le dynamomètre à induction a été développé dans un but pratique de différents côtés et plus spécialement par Trüb, Täuber & Cie.[11]). Ce système, indiqué pour les mesures délicates en courant alternatif, s'est montré utilisable de façon très variée, par exemple comme indicateur dans le pont à courant alternatif, comme indicateur de phase ou de fréquence et même comme indicateur dans des mesures de tension magnétique. La transmission à distance de positions d'aiguilles, singulièrement simplifiée par l'emploi de ce système, lui a donné une très grande importance. Pour la première fois H. Abraham (1911) proposa la transmission à distance par ce système avec l'aide de condensateurs et de réactances introduites dans le circuit du cadre tournant par un montage spécial. Récemment Täuber-Gretler [12]) a considérablement simplifié et perfectionné ce système.

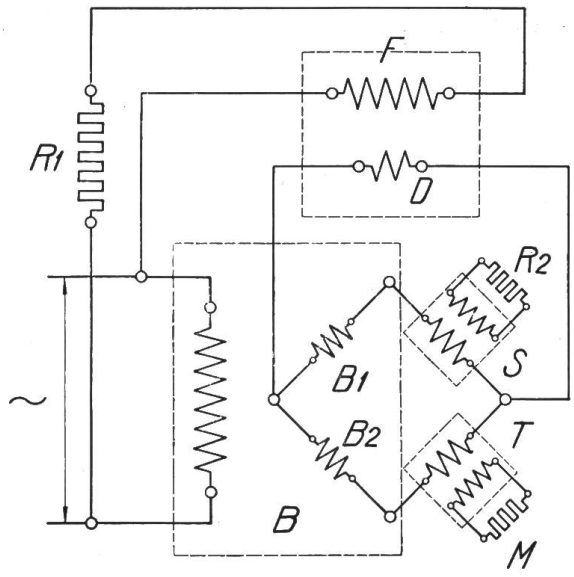

Fig. 4.
Schéma de principe d'un dispositif de mesure de température par courant alternatif à haute tension.

Le dynamomètre à induction est un instrument à circuits magnétiques fermés, en fer lamellé parce qu'il est prévu pour le courant alternatif. Le courant que la bobine de champ induit dans la bobine mobile produit le couple moteur. Le point essentiel de la construction d'un tel instrument est la conformation rationnelle de la partie en fer. Il s'agit d'obtenir un trajet des lignes de force exempt de dispersion, tout en conservant une forme facile à fabriquer. Dans ce but on loge l'enroulement de champ dans les encoches d'un anneau de fer lamellé disposé concentriquement autour du noyau. S'il importe que l'enroulement ait un grand nombre de tours, on donnera la préférence à la forme en fer à cheval, malgré les grandes pertes par dispersion qui en résultent.

Parmi les applications du dynamomètre à induction, il en est une qui a pris une certaine importance dans la technique. C'est son application au pont de

mesure à branches inductives destiné à mesurer la température d'enroulements de transformateurs ou de machines électriques sous haute tension. La fig. 4 représente le schéma de principe. Il s'agit d'un montage en pont dans lequel deux des branches sont formées par les deux moitiés de l'enroulement secondaire d'un petit transformateur, tandis que les deux autres branches comprennent chacune un petit transformateur *T* et *S*. Ces deux derniers ont absolument les mêmes données électriques et magnétiques. Le secondaire du transformateur de protection *T* alimente l'élément de mesure *M*, qui est ainsi isolé électriquement du pont. L'élément de mesure est une résistance qui peut par exemple être montée dans l'enroulement d'un transformateur à haute tension. On n'a alors qu'à isoler le transformateur de protection en conséquence. Le transformateur *S* qui doit être considéré comme transformateur de comparaison, possède dans son circuit secondaire une résistance R_2 en fil de manganine ou de constantan de valeur égale à celle de l'élément de mesure pour la température moyenne à mesurer. Le montage peut être considéré comme un système de trois conducteurs à courant alternatif. Dans le conducteur neutre de ce système serait monté l'enroulement secondaire d'un transformateur, à savoir la bobine mobile *D* du dynamomètre à induction. *F* est l'enroulement de champ du dynamomètre, alimenté à travers la résistance additionnelle R_1.

Une autre application intéressante du dynamomètre à induction dans le pont à courant alternatif consiste à remplacer le transformateur de protection et le transformateur de comparaison par deux simples bobines de self. Lorsque l'inductivité d'une des bobines est modifiée par l'influence d'une bobine court-circuitée, l'état du pont est modifié également. On peut ainsi utiliser avantageusement cet appareil comme indicateur extra-sensible de courts-circuits dans des enroulements.

Lorsque le dynamomètre à induction est employé comme indicateur de fréquence, on applique la tension à l'enroulement de champ et à la bobine mobile montés en parallèle, chacun des deux circuits contenant encore une capacité et une résistance ohmique en série, la bobine mobile étant, de plus, shuntée par une résistance inductive.

Depuis peu de temps, plusieurs communications ont paru dans la littérature sur des méthodes de mesure à distance. Il semble qu'un intérêt général se manifeste pour ces méthodes. Elles permettent par exemple aussi la sommation des indications de plusieurs wattmètres et le placement de l'instrument de lecture à un endroit éloigné. Le système à étrier mobile, présenté en premier lieu par Trüb, Täuber & Co.[13]) en 1922, a été développé par Siemens & Halske[14]) et perfectionné par adjonction d'une aiguille de rappel. Un étrier mobile presse à intervalles réguliers l'aiguille de l'instrument transmetteur, munie d'un contact, contre une résistance, mettant en circuit une partie de cette résistance correspondant à l'écart de l'aiguille. L'aiguille de rappel est ensuite maintenue un certain temps pressée à la même place contre la résistance, tandis que l'aiguille principale, libérée, peut prendre une nouvelle position correspondant à la nouvelle valeur momentanée à transmettre. Les instruments récepteurs sont à bobines croisées ou à bobine tournante, dont la déviation est proportionnelle à la partie de la résistance mise en circuit dans l'instrument transmetteur. La mesure s'opère par points et est de ce fait réduite dans ses applications. Les usines Aron ont développé un système de mesure à distance nommé Telewatt[15]) et présentant l'avantage de fournir une mesure continue et plus exacte, sans tension auxiliaire. L'instrument transmetteur, que ce soit un ampèremètre, un voltmètre ou un wattmètre, consiste en un système moteur à rotation continue, actionnant une petite génératrice à courant continu très sensible, qui alimente l'instrument récepteur par l'intermédiaire de la ligne de transmission à distance. Avec ce système, on peut aussi effectuer des sommations en branchant les dynamos de plusieurs instruments transmetteurs en série. Malheureusement, tous les problèmes de la mesure à distance ne se laissent pas résoudre par cette méthode, car tous les systèmes de mesure ne se prêtent pas

à l'engendrement d'un mouvement de rotation. Le système de dynamomètre à induction développé par Trüb, Täuber & Cie. [16]) est certainement celui qui permet les applications les plus nombreuses. Les instruments transmetteurs et récepteurs sont des dynamomètres à induction du type décrit plus haut. Les enroulements de champ sont branchés à la même tension alternative et les bobines mobiles sont montées en série. Lorsqu'un des systèmes subit un écart d'un angle $\pm \delta$, l'autre système sera en équilibre pour un écart d'un angle $\alpha = \mp \delta$. Une réaction sur le système qui a subi un écart mécanique n'est pas à craindre, et les deux systèmes abandonnés à eux-mêmes restent dans cette position. On peut également procéder à des sommations en branchant en série les bobines mobiles de plusieurs transmetteurs. Les lignes de transmission ne sont parcourues par un courant que tant que les aiguilles se déplacent. Le système transmetteur peut être couplé à un système de mesure quelconque. La „Deutsche Telephonwerke und Kabel-Industrie A.-G." a développé un système qui fonctionne d'après le procédé dit „Impulsion-Temps" [17]). D'autres systèmes sont indiqués sous [18]) et [19]). Pour être juste, il faut insister sur le fait que les Américains ont créé la plupart des systèmes de mesure à distance bien avant les Européens et que les nombreux systèmes de ces derniers sont en grande partie des copies ou des perfectionnements, conscients ou non, des inventions américaines. A ce sujet, nous renvoyons au „Annual Report of the Committee on Instruments and Measurements" [20]) de l'année 1928, qui contient une bibliographie de la littérature relative à la technique des mesures.

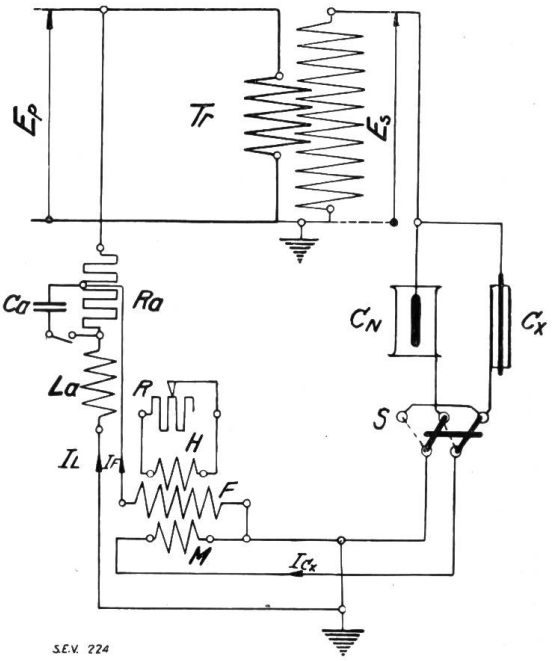

Fig. 5.
Schéma pour la mesure des pertes diélectriques d'après Täuber-Gretler.

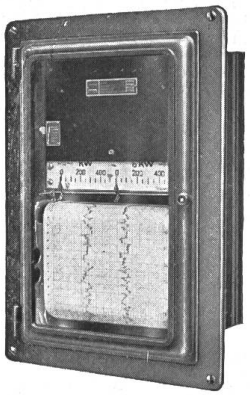

Fig. 6.
Instrument enregistreur des puissances wattée et déwattée.

Parmi les nouveaux instruments de mesures spéciales, nous remarquons le wattmètre électrodynamique de Täuber-Gretler pour la mesure des pertes diélectriques. Ce dispositif est caractérisé par l'emploi d'un wattmètre électrodynamique ultrasensible avec deux enroulements fixes et une bobine mobile suspendue par une bande de bronze. L'un des enroulements de champ et branché aux bornes de l'enroulement à basse tension du transformateur d'essai par l'intermédiaire de résistances additionnelles convenables (avec inductivité, résistance ohmique et capacité), tandis que l'autre enroulement de champ est connecté à une résistance non inductive R, variable (fig. 5). Les deux enroulements de champ sont fortement couplés inductivement. La bobine mobile est mise alternativement en série avec un condensateur sans perte et avec l'objet à essayer. La mesure de la puissance absorbée par l'objet à essayer et celle de l'angle de perte s'opèrent par variation de la résistance R. On compense tout d'abord l'angle de déphasage du transformateur d'essai en amenant le wattmètre au zéro par variation de la résistance R. Le wattmètre une fois branché sur l'objet à essayer, indique la puissance absorbée par ce dernier. Si on ramène le wattmètre au zéro par variation de R, on peut alors calculer l'angle de perte au moyen de la valeur de la résistance R et des constantes de l'instrument.

Dans la catégorie des instruments électriques enregistreurs on a essayé de procéder plus économiquement, d'une part en introduisant, où c'est admissible, des

largeurs d'enregistrement plus faibles, d'autre part par l'introduction des systèmes d'enregistrement multiples. Ces derniers ne possèdent qu'un mécanisme d'entraînement du papier, mais deux ou plusieurs systèmes de mesure. On enregistre par exemple d'une façon continue la puissance wattée et la puissance déwattée, ou encore la tension et la fréquence sur la même bande de papier. Toutefois chaque grandeur à mesurer ne dispose que de la moitié de la largeur du papier. Par le système double on obtient non seulement une réduction des frais, mais dans bien des cas il est nécessaire de pouvoir comparer continuellement sur la même bande deux grandeurs, par exemple la puissance wattée et la puissance déwattée. La différentiation de deux courbes peut aussi être obtenue, d'après Siemens & Halske, par le choix d'intervalles d'enregistrement différents pour chaque système.

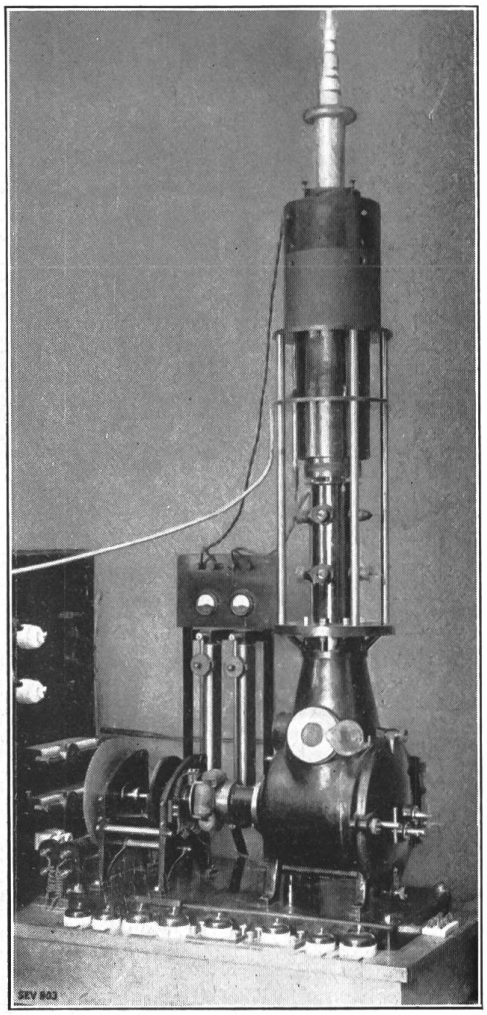

Fig. 7.
Oscillographe cathodique de l'A. S. E.

Les dernières années ont amené des progrès remarquables dans la construction des *oscillographes,* spécialement des appareils à inertie nulle nécessaires à la technique des hautes tensions.

L'oscillographe à tube cathodique fut utilisé par Engelhardt & Gehrke à l'Institut d'essai physico-technique de Berlin en 1925 avec des amplificateurs à triodes pour compenser sa sensibilité relativement peu élevée. On observa par ce moyen des courbes de son et des phénomènes de disruption avec des fréquences allant jusqu'à environ 50 000 pér./sec [21]). Rogowski & Flegler [22]) ont muni leur oscillographe à rayons cathodiques, analogue à l'oscillographe Dufour, d'un bâti métallique dans lequel débouche le tube à décharge et contenant les plaques ou le film photographiques. L'avancement du film est à commande électromagnétique, de sorte que le tube ne doit être évacué à nouveau qu'après 20 expositions de 6×6 cm. Cet oscillographe à été développé jusqu'au cours de l'année passée, de telle façon qu'il se prête à des travaux de recherche sur les ondes mobiles transitoires et sur les phénomènes de disruption. Un autre appareil remarquable est l'oscillographe à rayons cathodiques de Gabor [23]) avec châssis-magasin tournant. Par simple rotation d'un rodage effectuée à l'extérieur de l'appareil, on amène alternativement quatre plaques photographiques et un écran fluorescent en face du tube à décharge, et un relais-culbuteur à tube électronique permet d'amener le faisceau cathodique sur la plaque et de l'en retirer absolument sans inertie. Ce dernier dispositif seul a rendu possible le déclenchement opportun du faisceau cathodique lorsque, par exemple ensuite d'une décharge atmosphérique, une surtension se produit sur une ligne aérienne. L'Association Suisse des Electriciens (A. S. E.) a chargé K. Berger [24]) d'étudier le perfectionnement de l'oscillographe à rayons cathodiques Dufour afin de pouvoir étudier et enregistrer les perturbations causées par les orages (fig. 7). Un relai électronique, semblable à celui de Gabor, déclenche le faisceau cathodique qui, maintenu dévié pendant l'attente, reprend alors instantanément sa position de travail et enregistre le phénomène sur la plaque sensible. La déviation du faisceau pendant l'attente, le châssis à film, et surtout le tube à décharge ont subi d'importants perfectionnements. Le tambour à film peut recevoir un film de 15 cm de largeur et long de 30 m, ce qui permet d'exécuter à la file 300 oscillogrammes

de 10×15 cm. La déviation du faisceau et son déclenchement sont si parfaits qu'un phénomène qui s'est déroulé par exemple en un dix-millième de seconde est encore nettement percevable sur l'oscillogramme, bien que l'oscillographe ait été auparavant sous tension et prêt à fonctionner pendant une demi-heure.

La paroi de verre du nouveau tube à décharge de Busch est revêtue à l'intérieur d'un tube métallique porté au potentiel anodique, ce qui évite un trop fort échauffement du verre, protège contre les champs extérieurs et rend la décharge plus stable. Le tube de Berger représente une amélioration de celui de Busch en tant qu'il est utilisable pour des tensions bien plus élevées, en particulier sous sa forme actuelle, jusqu'à 60 kV [25]).

On a cherché d'autre part, par l'emploi de cathodes incandescentes [26–28]) à augmenter la puissance à tel point qu'il ne soit plus nécessaire de disposer la plaque photographique dans le vide. La trop grande absorption par la paroi de verre du tube employé a toutefois empêché d'arriver à des résultats pratiques.

Pour mesurer des surtensions de très courte durée, on a également développé le klydonographe [29]) basé sur les figures de Lichtenberg connues déjà depuis fort longtemps (1777). Dans la forme actuelle du klydonographe de la Westinghouse Co. un film photographique se déplace lentement sur un rouleau de métal. Les électrodes traversent le couvercle et se terminent en pointe dans le voisinage du film. Au moyen d'un réducteur de tension, du type condensateur à air ou condensateur de traversée, on abaisse la tension à une valeur ne dépassant pas 18 kV. L'une des électrodes produit la figure de Lichtenberg positive sur le film, l'autre la figure négative. Avec cet appareil, on peut faire les constatations suivantes (d'après Keinath, 3^{e} éd. p. 434):

1^{0} Moment du début de la surtension, d'après la position des marques sur le film.
2^{0} Polarité de la surtension, d'après le caractère des figures.
3^{0} Valeur de la surtension, d'après la longueur du rayonnement.
4^{0} Forme du front de l'onde de surtension.
5^{0} Direction du déplacement de l'onde transitoire d'après le signe de l'onde induite.
6^{0} Différence de temps entre deux décharges se succédant immédiatement, d'après les limites des deux figures enregistrées successivement. (Différences de temps mesurées jusqu'à environ 10^{-12} sec).

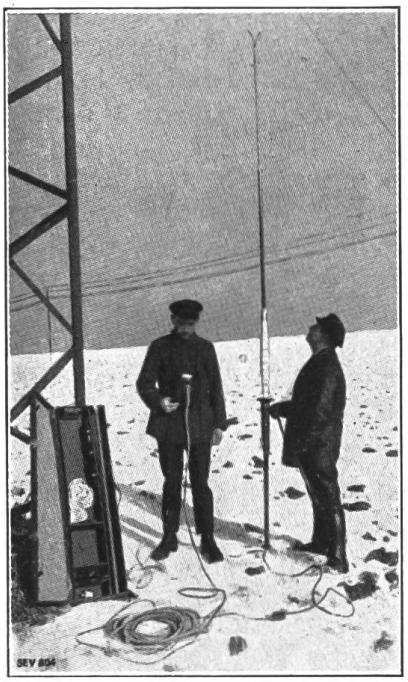

Fig. 8.
Perche de mesure „Hescho".

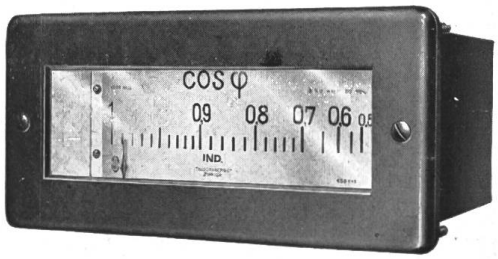

Fig. 9.
Phasemètre à profil plat.

L'exactitude de ces mesures ne comporte qu'environ $\pm$ 25 %, mais l'appareil est tout de même devenu précieux pour l'investigation des phénomènes transitoires de surtension.

Les voltmètres à triodes ont acquis une certaine importance ces dernières années, spécialement pour les mesures en haute fréquence [30]). Comme le plus récent représentant de cette catégorie, M. v. Ardenne décrit un voltmètre à triode pour haute fréquence dont la capacité n'atteint que 7,4 cm. Il permet de mesurer des tensions de crête de 0,03 V et, avec compensation du courant de plaque, des tensions de crête de 0,003 V. Le redressement est effectué par une triode à grande amplification, dont l'impédance du circuit de plaque consiste en une résistance de quelques mégohms, shuntée par un condensateur. Le voltmètre à triode de Hohage,

se basant sur le redressement d'un courant alternatif appliqué comme tension de plaque à une triode, mais rarement utilisé sous cette forme, a été rendu applicable à des mesures à haute tension par Haefely & Cie. S. A. [31]). La triode est branchée en série avec une calotte isolée de la sphère mise à la terre d'un spintéromètre à boules, donc avec un condensateur à haute tension de faible capacité. La calotte se décharge par une seconde triode montée en sens contraire pendant la demi-période inutilisée. Comme instrument, on se sert d'un milliampèremètre à aimant permanent. L'instrument relève des valeurs de crête. Pour l'essai des isolateurs de lignes aériennes en service, on se sert également d'un nouvel appareil à triodes qui s'est répandu sous le nom de „barre de mesure Hescho" [32]). On peut encore mentionner le „Mekapion" de Strauss, un électromètre à triode destiné à des mesures de valeurs momentanées, des sommations et des enregistrements automatiques [33]).

En ce qui concerne la forme purement extérieure des instruments, on constate que les boîtiers de profil sont de plus en plus répandus. Les instruments à bagues nickelées ou à décorations plus ou moins artistiques disparaissent pour faire place à des appareils de lignes plus simples et généralement de couleur noire. Les instruments sur colonnes ne sont plus très répandus. Une proposition de Voigt & Haeffner S. A. [34]) tend à lancer des instruments sans bague frontale, comme on fait les manomètres depuis longtemps déjà, dans le but d'économiser de la place. Hartmann & Braun ont lancé dans le commerce des instruments dont l'échelle profilée et la pointe de l'aiguille sont projetées en grand sur une paroi [35]). Pour beaucoup d'instruments portatifs, on utilise de plus en plus des boîtiers en matière isolante pressée, ce qui diminue le coût et améliore la présentation de l'appareil. Les pièces des systèmes de mesure se font toujours d'avantage en fonte injectée ou en métal embouti à la presse.

Dans quelques pays, les appareils de mesures sont classés en groupes déterminés, d'après les erreurs de messure admissibles.

Bibliographie.

1. *G. Keinath.* Die Verwendung von Kondensatordurchführungen zu Messzwecken. Siemens-Zeitschrift, Heft 10, S. 496, 1927.
   Ferner: Wechselspannungsmessung mit Messkondensatoren. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern Bd. 5, 2. Heft, 1926.
2. *E. E. Spracklen, D. E. Marshall and P. O. Langguth.* Condenser-type bushing, used with synchronizing equipment. Presented at the Winter Convention of the A.I.E.E., New York, Feb. 1928.
3. *T. A. E. Belt and N. Hoard.* Vacuum Tube Synchronizing Equipment. Presented at the Winter Convention of the A. I. E. E., New York, Feb. 1928.
4. *G. Keinath.* Die Technik der elektrischen Messgeräte. 3. Aufl., S. 575; ferner E.T.Z. 1926, S. 44; ferner Siemens Zeitschrift 1928, No. 11, S. 629. Spannungswandler in Kaskadenschaltung für höchste Spannungen.
5. *A. Imhof.* Ein neuer Spannungswandler. Bull. S.E.V. 1928, No. 23, S. 741.
   A. Imhof. Ein neuer Spannungswandler für Höchstspannungen. E. & M. 1928, No. 46, S. 1074.
6. *A. Imhof.* Neue elektrostatische Hochspannungsmessgeräte. S.T.Z. 1926, S. 497.
7. *G. Keinath.* Die Technik der elektrischen Messgeräte. 3. Aufl., S. 332.
8. *H. Starke und R. Schroeder.* Ein Elektrometer für Messung sehr hoher Gleich- und Wechselspannungen. Archiv für Elektrotechnik. 20. Bd., 1928, S. 115.
9. Eine optische Distanz-Messvorrichtung für Messfunkenstrecken. S.T.Z. 1928, S. 201.
10. Stromwandler mit Nickel-Eisen-Kernen. E.T.Z. 43, S. 1575, 1927; ferner 42, S. 137.
11. *Täuber-Gretler,* Zürich. Das Induktionsdynamometer. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. 1926. Ferner: Dissertation. Ferner Bull. S. E. V. 1926, No. 12, S. 545.
12. *Täuber-Gretler.* Ein Beitrag zur elektrischen Fernmessung. S.T.Z. 1928, S. 273.
13. *A. Imhof.* S.T.Z. 1926, S. 503.
14. Siemens-Zeitschrift, 1928, S. 422.
    Bull. S.E.V. 1928, No. 3, S. 100 und No. 5, S. 180.
    M. Schleicher. Die neue Fernmess-Einrichtung der Siemens & Halske A.-G.
15. *W. Stern.* Die Fernmessung elektrischer Einzel- und Summenwerte. E.T.Z. 1928, S. 282.
16. *Täuber-Gretler.* Bull. S.E.V. 1927, No. 9, S. 543.
17. *Kurt Wilde.* Eine neue Fernmess-Methode für Ueberlagerung auf bestehenden Kraft- und Nachrichtenleitungen. E. & M. 1928, S. 1060.
18. *G. Keinath.* Einiges über elektrische Fernmessung. E. & M. 1928, S. 1058.
19. *M. Schleicher.* Die Fernmessung über hochspannungsseitig beeinflusste Schwachstromleitungen. E. & M. 1928, S. 1044.

20. Annual Report of the Committee on Instruments and Measurements, presented at the Summer Convention of the A.I.E.E. Denver, Colo., June, 25th to 29th 1928.
21. Zeitschrift für techn. Physik. 1925, S. 153 und 438 und 1926, S. 146.
22. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 18, 1927, S. 510. E.T.Z. 1928, S. 227.
23. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 18, 1927, S. 48.
Ferner: Sonderheft der Forschungshefte der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen. 1927.
Ferner: Forschungsheft 1 der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen, S. 38–42 u. 47–55.
24. *K. Berger.* Ueber die Weiterentwicklung des Kathodenstrahl-Oscillographen von Dufour, zur Ermöglichung der Aufnahme von Gewittererscheinungen, sowie anderer Vorgänge kürzester Dauer. Bull. S.E.V. 1928, No. 9, S. 292.
25. *K. Berger.* Der Kathodenstrahl-Oscillograph als Registrierinstrument, speziell für raschverlaufende Vorgänge. Bull. S.E.V. No. 21, 1928, S. 688.
26. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 15, 1925, S. 377.
27. *W. Rogowski, E. Sommerfeld und W. Wohnau.* Empfindlicher Glühkathoden-Oscillograph für Innenaufnahmen in einem Vorvakuum. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 20, 1928, S. 619.
28. *E. Sommerfeld.* Ueber einen Kathoden-Oscillographen hoher Spannungsempfindlichkeit. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 20, 1928, S. 607.
29. *H. Müller.* Hescho-Mitteilungen 1926, Heft 27, S. 813.
E. S. Lee and C. M. Foust. J.A.E.E. 1927, S. 149.
Müller-Hillebrand. Siemens-Zeitschrift 1927, S. 547.
G. Keinath. 3. Aufl., S. 426.
H. Müller. Hescho-Mitteilungen 1927, Heft 34.
Lee and Foust. General Electric Review, 1927, S. 135–145.
30. *Manfred von Ardenne.* Ein empfindliches Röhren-Voltmeter für Hochfrequenz. E.T.Z. 1928, S. 565.
31. Schweizer Patent No. 110309, Kl. 66a. 1925.
32. Druckschrift der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren G.m.b.H. Die Hescho-Messtange (D.R.P.) zur Ermittlung fehlerhafter Glieder in Isolatorenketten während des Betriebes.
33. *Siegmund Strauss.* Das Röhren-Elektrometer „Mekapion" für selbsttätige Einzel- und Dauermessungen sowie -Registrierungen. E. & M. 1928, S. 1083.
34. *Fr. Lindenstruth.* Neue Gesichtspunkte für die konstruktive Durchbildung von Schaltwänden und Schaltpulten. E.T.Z. 1928, S. 574.
35. Weitsichtdarstellung von Messgrössen durch Lichtzeiger. Elektro-Journal 1928, S. 334.

Progrès réalisés au cours de ces dernières années dans la technique de la haute tension.

Par M. le professeur *A. Imhof*, Winterthour.

537.2(09)+621.319.37(09)+621.319.34(09)+621.319.4(09)+621.3(0068)

L'auteur mentionne les théories modernes sur la décharge disruptive, donne des indications sur les matières isolantes, puis passe aux câbles à haute tension et à leurs accessoires. Il traite ensuite les innovations apportées aux traversées, aux isolateurs d'appui et de suspension pour lignes aériennes, enfin les installations modernes des laboratoires d'essai à haute tension. L'article se termine par une liste d'ouvrages et d'articles relatifs à ce domaine.

Der Autor erwähnt die neueren Durchschlagstheorien, macht Angaben über die Isoliermaterialien und geht auf die Hochspannungskabel und ihre Zubehörden ein. Ferner behandelt er die Neuerungen an Durchführungen, Stütz- und Hängeisolatoren und die modernen Einrichtungen von Hochspannungsprüflaboratorien. Am Schluss wird eine Uebersicht über die einschlägige Literatur gegeben.

La dénomination „technique de la haute tension" est très générale et comprend, en dehors des câbles et isolateurs à haute tension, un certain nombre de machines et d'appareils. Nous devons réduire ici les limites du sujet, car des aperçus spéciaux sont réservés aux différentes branches sus-mentionnées. Nous nous occuperons principalement des progrès réalisés au point de vue de la construction et plus spécialement des éléments fondamentaux des installations à haute tension, des machines et des appareils, tels que câbles, traversées, isolateurs de support, matières isolantes pour la haute tension, dispositifs d'essai de laboratoires et de fabriques spéciales. Les innovations dans la technique des mesures à haute tension sont traitées dans un autre article.

1^0 Travaux de recherche sur les décharges électriques disruptives.

Ces dernières années, on a constaté une très grande activité dans ce domaine. La théorie thermique de K. W. Wagner, [1]) qui admettait des canaux devenant conducteurs à l'intérieur du diélectrique, a fait place à la représentation plus générale

[1]) Voir la bibliographie à la fin de cet article.