

Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension

54, avenue Marceau, Paris

Session 1939 — 29 Juin-8 Juillet

134. — QUELQUES NOUVELLES MÉTHODES
DE MESURES OSCILLOGRAPHIQUES

par le Dr K. BERGER,

Ingénieur,

et B. C. ROBINSON,

B. Sc., Ph. D., Zurich (Suisse).

Summary in English. — See at the end of the paper.
Zusammenfassung auf Deutsch. — Siehe am Ende des Berichtes.
Riassunto in Italiano. — Vedere alla fine del rapporto.

RÉSUMÉ.

Les auteurs décrivent tout d'abord une nouvelle méthode pour la mesure exacte des amplitudes de tensions à l'aide de tubes de Braun ou d'oscillographes cathodiques, et son application à l'étalonnage des éclateurs à sphères normaux utilisés en technique de la haute tension. Ils développent ensuite deux couplages destinés à la mesure des chocs d'énergie de brève durée et en indiquent quelques applications relatives à la qualification des parafoudres et des coupe-circuits à grande puissance.

RAPPORT

I. — MESURE PRÉCISE DES TENSIONS DE CHOC.

Pour mesurer les tensions de très courtes durées, l'oscillographe cathodique est actuellement le seul dispositif qui donne toute certitude. Dans son fascicule 60 qui vient de paraître, la C.E.I.

a décidé que l'éclateur à sphères peut être utilisé, avec quelques restrictions et certaines précautions, pour la mesure des tensions de choc normales, c'est-à-dire celles qui présentent un front d'onde d'une durée de $1 \mu s$ et une durée de demi-amplitude de $50 \mu s$. Pour la mesure des tensions d'une durée plus brève, en particulier les chocs « coupés », qui ne représentent qu'une partie de la tension de choc normale entièrement développée, l'éclateur à sphères n'est pas un organe de mesure qui puisse être utilisé pratiquement, car ses erreurs sont trop grandes.

La précision qui peut être atteinte par la seule méthode actuellement possible, soit avec l'oscillographe cathodique, présente donc un grand intérêt. La mesure s'effectue généralement selon le schéma de la figure 1. A l'aide d'un réducteur de tension ohmique,

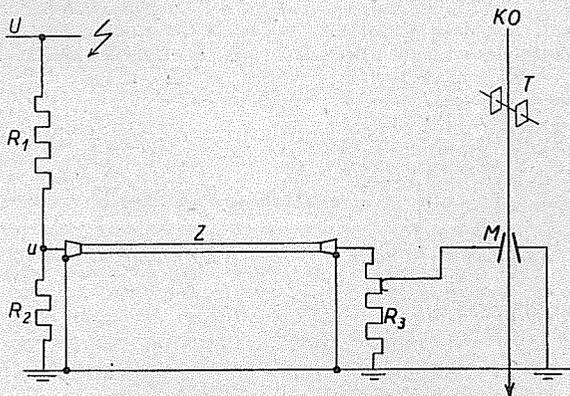


Fig. 1. — Schéma courant pour la mesure des tensions de choc élevées à l'oscillographe cathodique.

capacitif ou mixte, on prélève une portion E exactement constante de la tension de choc U à mesurer et on la conduit par la ligne de mesure Z à la plaque déviatrice M de l'oscillographe. La résistance R_3 est rendue égale à la résistance d'onde de la ligne de mesure Z , qui sera de préférence un câble pour haute fréquence. Pour obtenir, avec diverses tensions U , une tension de déviation de l'oscillographe appropriée et pas trop grande, la valeur de la résistance à haute tension R_1 étant constante, on peut soit utiliser un shunt R_2 approprié, soit relier la plaque N à une partie de la résistance terminale R_3 . En général, l'allure de la tension

de choc à mesurer est reproduite sur l'écran ou sur le film au-dessus de la ligne des temps (ligne zéro) formée à l'aide des plaques des temps T ; la ligne des temps est elle-même inscrite soit avant, soit après l'inscription de la tension de choc par le rayon cathodique.

Nous allons nous occuper de la *précision de mesure* qu'il est possible d'atteindre par cette méthode.

Selon la grandeur de la surface disponible de l'oscillogramme, l'amplitude de la tension de choc ne peut pas dépasser certains écarts maxima par rapport à la ligne zéro. Ainsi, pour une largeur d'écran de 100 mm, une déviation a de ± 50 mm au maximum pourra être observée et utilisée pour les mesures. La largeur de trait des oscillographes cathodiques modernes étant en moyenne de 0,5 mm environ, l'amplitude de l'oscillogramme peut être déterminée avec une erreur d'environ 1 %. Il en est de même lorsque la ligne zéro est décalée vers le bord de l'oscillogramme, en vue de mieux utiliser la surface disponible. Conformément au point de vue classique, selon lequel l'électron est considéré comme étant une particule de masse $m = 9,0 \cdot 10^{-28}$ (masse en repos) portant une charge $q = 1,59 \cdot 10^{-19}$ coulombs, cette déviation a dépend de la tension déviatrice E et de la tension d'accélération des électrons entre cathode et anode de l'oscillographe, selon la relation

$$a = K \frac{E}{V},$$

où K est une constante qui dépend des dimensions de l'oscillographe. La mesure de la tension de choc E avec une précision de 1 % exige par conséquent que la tension du rayon cathodique V soit maintenue constante et puisse être déterminée à moins de 1 % près. Cette exigence n'est pas très facile à réaliser avec les tensions de rayon de 30 à 60 kV utilisées habituellement dans les oscillographes cathodiques à grande puissance. Malheureusement, l'expérience et la nouvelle théorie de l'optique électronique ont montré que, même lorsque la tension V est rigoureusement constante, il n'est pas absolument certain qu'une précision de mesure de 1 % puisse être atteinte, car les suppositions sur lesquelles repose la simple formule ci-dessus ne sont plus satisfaites avec une exactitude suffisante. Considérons en effet l'allure de la déviation sur la figure 2, où l'une des plaques est au potentiel zéro et l'autre à un potentiel fixe continu E . Négligeons pour l'instant tous les effets de bordure et admettons que l'aire de déviation E à zéro soit homogène et

nettement délimitée. L'électron q entre dans l'aire de déviation à la vitesse qui lui a été imprimée par la tension V . De même qu'un corps massif projeté horizontalement dans le champ constant de la pesanteur, l'électron décrit une trajectoire parabolique de A à B , puis une trajectoire rectiligne à partir de B , dès qu'il est hors du champ électrique. La relation mentionnée ci-dessus est basée sur cette supposition.

Or, cette manière d'envisager les choses se contredit elle-même.

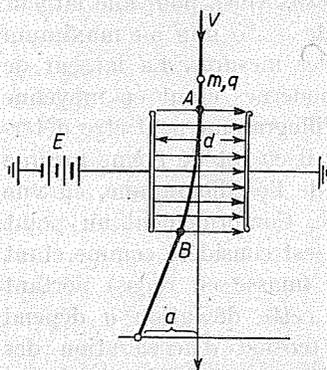


Fig. 2. — Représentation schématique de la déviation électrique du rayon cathodique.

En effet, au point d'entrée A de l'électron dans le champ de déviation, le potentiel est $\frac{E}{2}$, lorsque les deux plaques de mesure sont à égale distance du rayon. Si E est positif, l'électron aura pénétré dans un espace positif, et inversement si E est négatif. Cet effet de bordure provoque un accroissement ou au contraire une diminution de la vitesse longitudinale de l'électron. Pendant la déviation entre les deux plaques, l'électron ne se déplace plus à la vitesse qui correspond à V , mais bien à $V \pm \Delta E$, selon que la tension de

déviation E est positive ou négative. Lorsque les plaques ne sont pas symétriques, ΔE différera pour des tensions de déviation positives ou négatives; on aura toujours $0 < \Delta < 1$.

La déviation a ne dépend donc pas simplement du rapport $\frac{E}{V}$, mais bien du rapport $\frac{E}{V \pm \Delta E}$. L'optique électronique arrive à la même conclusion, en considérant le bord des plaques de mesure comme des lentilles cylindriques à travers lesquelles les rayons électroniques passent dans un milieu dont l'indice de réfraction dépend du potentiel.

D'après ce point de vue, l'oscillographe ne permet d'atteindre une précision élevée que si la tension E est petite par rapport à la tension V , c'est-à-dire si la zone parcourue par le rayon dévié présente un potentiel peu élevé par rapport à la tension du rayon V .

En plus de l'erreur fondamentale du champ de déviation de l'oscillographe intervient une autre erreur, qui peut heureusement

compenser en partie la première par une construction appropriée de l'oscillographe. Il s'agit de l'inhomogénéité du champ de déviation. Si les deux plaques déviateuses de la figure 2 sont disposées dans un tube de déviation mis à la terre, il se produit également un champ électrique entre les plaques sous tension et le tube qui les entoure. En principe, le champ électrique de la plaque de tension en est accru et celui de la plaque mise à la terre affaibli. Ainsi, dans un champ de déviation *E positif*, l'électron *q* sera attiré vers la plaque positive (voir la trajectoire de la figure 2). La vitesse de l'électron qui augmente lors de son entrée dans le champ positif a pour résultat que l'électron est dévié selon le rapport $\frac{E}{V \pm \Delta E}$, c'est-à-dire moins fortement que d'après la formule classique $\frac{E}{V}$. Par contre, l'intensité de champ de la plaque positive est supérieure à la valeur moyenne $\frac{E}{d}$, ce qui provoque une augmentation correspondante de la déviation.

Les considérations sont analogues dans le cas d'une tension de déviation *E négative*. L'électron traversant la zone de déviation est tout d'abord freiné et devient plus sensible aux déviations (la vitesse efficace $V - \Delta E$ diminue, tandis que le rapport $\frac{E}{V - \Delta E}$ augmente). D'autre part, l'électron se rapproche de la plaque déviateuse mise à la terre, où règne un champ plus faible que la valeur moyenne $\frac{E}{d}$, de sorte que la déviation devient moins forte. La prédominance de l'un ou de l'autre de ces effets dépend avant tout de la construction de l'oscillographe. Il est cependant difficile de compenser les erreurs pour toutes les positions des plaques. L'étalonnage des oscillogrammes peut donc différer pour les tensions de déviation positives et négatives, cette différence dépendant de l'écartement des plaques, de la position du rayon cathodique entre les plaques et enfin du fait que l'une des deux plaques est mise à la terre ou non.

La figure 3 montre, à titre d'exemple, le décalage δ_0 des lignes zéro mesuré sur un oscillographe cathodique moderne en fonction de la tension *u*, appliquée simultanément aux deux plaques de mesure (courbe 1). Ce décalage atteint $-1,5$ mm à $+2$ mm lorsque la tension *u* varie de -4000 à $+4000$ V. La courbe 2 indique la

sensibilité de déviation ε de l'oscillographe en fonction de la tension moyenne u des deux plaques par rapport au boîtier mis à la terre. Cette sensibilité peut également varier de 4 %, lorsque le potentiel moyen des plaques varie entre ± 4000 V. Pour les mesures de précision, il est donc nécessaire de tenir compte de ces grandes erreurs.

La déformation trapézoïdale du système d'axes de nombreux oscillogrammes est une des conséquences les plus connues de

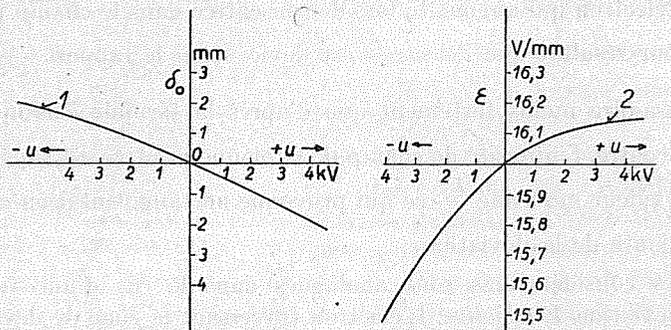


Fig. 3. — Exemple du décalage δ_0 de la ligne zéro (courbe 1) et de la variation de la sensibilité de déviation ε (courbe 2) d'un oscillographe cathodique.

l'inhomogénéité du champ de déviation (seconde source de perturbation); elle peut également faire varier de plusieurs unités pour 100 la sensibilité moyenne de déviation.

Ces sources d'erreurs de l'oscillographe cathodique ont nécessité, pour les mesures précises des tensions de très brève durée, la mise au point d'une méthode de zéro, que nous allons décrire (fig. 4). Entre la ligne de mesure avec sa résistance terminale R_3 et la plaque de mesure de l'oscillographe est appliquée une tension continue E , réglable, qui peut être rendue égale à l'amplitude de la tension à mesurer. Dans ce cas, l'amplitude de l'oscillogramme effleurera la ligne des temps du rayon non dévié, comme cela peut se constater par observation directe ou sur le relevé oscillographique. Lors de ce réglage, la tension continue E doit être identique à l'amplitude de la tension de choc à mesurer. L'oscillographe ne sert dans ce cas que d'indicateur de zéro; la lecture de la tension de choc se fait alors sur le voltmètre à courant continu E , en signe et en grandeur.

Il est évident qu'au moment de la mesure il n'existe aucun champ de déviation et que toutes les sources d'erreurs mentionnées précédemment sont de ce fait supprimées (dépendance de la

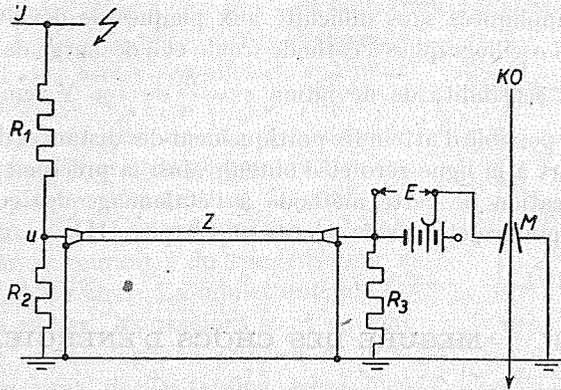


Fig. 4. — Schéma de principe du couplage de compensation de l'oscillographe utilisé pour les mesures de précision.

constance de la tension du rayon, dépendance des différentes sensibilités des électrons dans les champs de déviation positifs et négatifs, effets de bordure inégaux par suite de l'inhomogénéité et de l'asymétrie du champ de déviation). En outre, cette méthode

de zéro ou de compensation offre l'avantage que la précision des mesures peut être sensiblement augmentée. La tension pouvant être lue sur le voltmètre E , il n'est plus nécessaire de relever la ligne zéro de l'oscillogramme, ligne qui désignera dorénavant la ligne de tension de choc nulle et de tension continue E . Cette ligne zéro peut se trouver aussi bien en dehors de la surface de l'oscillogramme, car elle n'est plus nécessaire pour la mesure. La largeur de l'oscillogramme pourra donc être étendue à 500 mm et plus, au lieu de $a = 50$ mm seulement (fig. 5).

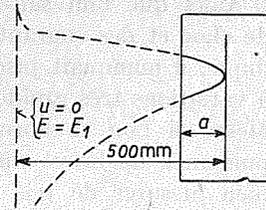


Fig. 5. — Exemple du déplacement de la ligne zéro en dehors de la surface de l'oscillogramme, en vue d'augmenter la précision des mesures.

L'augmentation est du même ordre pour la détermination de la position de l'amplitude de la tension de choc par rapport à la ligne des temps (tension de choc et tension de compensation $E = 0$). Pour

une largeur de trait de 0,5 mm et une distance de 500 mm jusqu'à la ligne zéro, la précision des mesures peut atteindre 1 ‰, grâce à l'élimination de toutes les sources d'erreurs en question. Nous avons constaté que des tensions de déviation d'environ 5 kV peuvent être souvent appliquées sans difficulté aux plaques de déviation habituelles des oscillographes à cathode froide et à décharge dans un gaz.

Pour une sensibilité de déviation $\varepsilon = \frac{E}{\alpha}$ de 100 V : cm environ, il est donc possible d'atteindre pratiquement des distances de 500 mm par rapport à la ligne zéro et d'obtenir ainsi la précision ci-dessus.

L'application de cette méthode à l'étalonnage des éclateurs à sphères (spintermètres) sera décrite au Chapitre II.

II. — MESURE DES CHOCS D'ÉNERGIE.

Nous entendons par choc d'énergie le quantum d'énergie d'une puissance n'agissant que pendant une brève durée, cette puissance pouvant d'ailleurs varier d'une façon quelconque (choc de puissance). La foudre et les ondes à front raide qu'elle engendre, chaque déclenchement avec accompagnement d'arc, chaque explosion fournissent des chocs d'énergie. Ces chocs sont absorbés par des parafoudres, des condensateurs, des coupe-circuits, des interrupteurs, etc.

Alors que l'on sait généralement relever l'allure des tensions de choc et des courants de choc à l'aide de l'oscillographe cathodique, il manquait jusqu'ici un moyen pour relever les puissances à variations très rapides avec un oscillographe cathodique normal. Même si l'on se borne à mesurer le quantum d'énergie d'une puissance de brève durée, des difficultés se présentent. On peut bien mesurer de tels chocs d'énergie à l'aide du dynamomètre balistique, tant que le courant dans la bobine de tension est toujours proportionnel à la tension aux bornes (1). L'énergie mise en jeu lors d'un déclenchement à la fréquence industrielle peut être déterminée de la sorte, tant que les phénomènes d'équilibre à haute fréquence ne fournissent pas de notables quantités d'énergie. Il serait par contre impossible de mesurer de cette façon l'énergie électrique mise en jeu dans un parafoudre. Pour les phénomènes

(1) FRANK, *Arch. techn. Messen*, 1937, V. 3417-2.

stationnaires, on connaît des méthodes qui permettent par exemple de relever par un rayon cathodique la courbe d'hystérésis magnétique $\frac{H}{B}$ ou la courbe de conduction diélectrique $\frac{D}{E}$, sous forme d'une figure cyclique, dont l'aire soit une indication pour les pertes par cycle. La figure 6 indique à titre d'exemple la mesure des pertes par effet de couronne sur un fil C_x .

Une fraction appropriée de la haute tension U est appliquée à la plaque déviatrice 1, et, à la plaque déviatrice 2, la chute de tension u_{c_0} dans le condensateur C_0 , parcouru par le courant i du condensateur à pertes C_x à mesurer. En admettant que C_x soit sans pertes, les tensions u et u_0 sont en phase, car il s'agit en principe de diviseurs capacitifs de la tension aussi bien en $\frac{C_1}{C_2}$ qu'en $\frac{C_x}{C_0}$. L'oscillographe cathodique décrira sous la tension alternative U un trajet d'aller et retour embrassant une surface nulle. Mais, dès que C_x présente des pertes, u_{c_0} est décalé par le courant i ; les tensions de déviation sont alors déphasées et l'on obtient, pour des tensions et des courants sinusoïdaux, les surfaces elliptiques bien connues, dont l'aire mesurée par les échelles m_1 et m_2 est donnée par l'équation

$$\begin{aligned}
 F &= m_1 m_2 \int u \, du_{c_0} = m_1 m_2 \int u \frac{i}{C_0} \, i \, dt \\
 &= m_1 m_2 \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_1}} \frac{1}{C_0} \int U i \, dt = K \cdot P_v,
 \end{aligned}$$

où P_v est la perte d'énergie par cycle.

Cette méthode est utile pour la détermination des pertes par effet de couronne, surtout avec un diviseur de tension $\frac{C_1}{C_2}$ approprié, qui permet d'utiliser un condensateur avec pertes au lieu d'un condensateur C_0 sans pertes.

Pour mesurer des puissances variant très rapidement, les

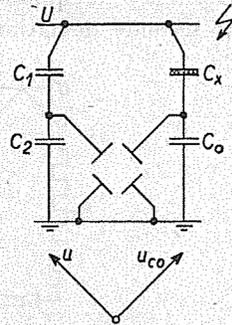


Fig. 6. — Schéma pour la mesure des pertes par effet de couronne avec l'oscillographe cathodique.

connexions entre la haute tension et l'oscillographe doivent être très courtes ou exécutées sous forme de lignes équilibrées. Le schéma de la figure 6 devient alors celui de la figure 7. La division de tension $\frac{R_1}{R_2}$ fournit la déviation de tension u de l'oscillographe.

Le courant dans l'objet R_x affecté de pertes est conduit par la résistance d'équilibre $R_3 = Z_3$ au condensateur, qui provoque la seconde déviation u_c de l'oscillographe. La surface embrassée

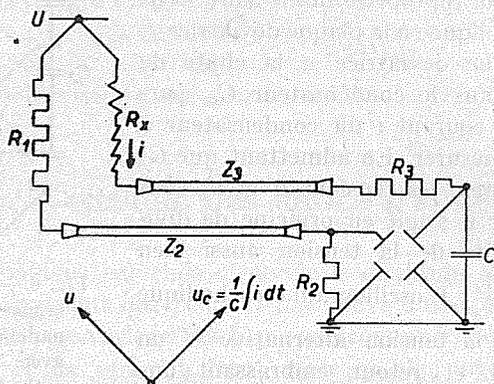


Fig. 7. — Premier schéma de principe pour la mesure des chocs d'énergie à l'oscillographe cathodique.

par le rayon cathodique mesurée à l'échelle m est, en admettant que les deux câbles de mesure produisent le même retard,

$$F = m \int u du_c = m \frac{R_2}{R_1 + R_2} \int U i dt = K \cdot P_{st}$$

où P_{st} est le choc d'énergie en $R_x + R_3$.

Cette méthode est donc utilisable, tant que $R_3 < R_x$. Pour des résistances de pertes plus faibles $R_x < R_3$, la détermination des pertes de R_x devient inexacte. La résistance R_3 devant être égale à la résistance d'onde du câble de mesure, cette valeur est généralement de 50Ω environ. Cette méthode n'est donc pas appropriée ou est du moins inexacte, lorsque $R_x < 50 \Omega$.

Il existe par contre un autre couplage, qui donne des résultats exacts pour la détermination de chocs d'énergie d'une durée brève quelconque, même dans des résistances R_x faiblement ohmiques, et qui est donc appropriée à la détermination de l'énergie absorbée par les éléments de résistance des parafoudres, des coupe-cir-

cuits, etc. Ce couplage est représenté sur la figure 8. Le courant i qui traverse la résistance à pertes R_x à mesurer est conduit en grande partie à la terre par un shunt R_s , et en faible partie dans le circuit de mesure Z_3, \dots, R_3 . La plaque déviatrice raccordée à ce circuit subit donc une déviation proportionnelle au courant i . La plaque déviatrice perpendiculaire est connectée à un condensateur C , alimenté par la résistance à haute tension R_1 par l'intermédiaire

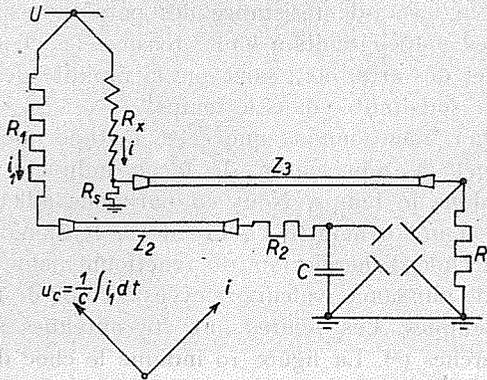


Fig. 8. — Deuxième schéma de principe pour la mesure des chocs d'énergie à l'oscillographe cathodique.

de la résistance d'équilibre $R_2 = Z_2$. La déviation est donc proportionnelle à la tension du condensateur

$$u_c = \frac{1}{C} \int i_1 dt.$$

La surface embrassée par le rayon cathodique est

$$F = m \int R_{rés.} i du_c = m R_{rés.} \int i \frac{i_1}{C} dt = \frac{m R_{rés.}}{C} \int \frac{U - u_c}{R_1 + R_2} i dt,$$

où $R_{rés.}$ est la valeur de la résistance du couplage en parallèle de R_3 et R_s . Lors des mesures à haute tension, on aura toujours $U > u_c$, par exemple $U = 100$ kV, $u_c = 500$ V (valeur égale à la tension maximum de déviation qui puisse être utilisée dans l'oscillographe cathodique). On peut donc négliger u_c par rapport à U , et l'on a

$$F \cong \frac{R_{rés.}}{C(R_1 + R_2)} \int U i dt = K \cdot P_{st},$$

où P_{st} est le choc d'énergie absorbé par les trois résistances R_1 , R_2 et R_3 . La grandeur de R_s détermine avec le courant i la chute de potentiel qui est utilisée dans l'oscillographe pour la déviation du courant. Pour un courant de choc de quelques milliers d'ampères, R_s est de l'ordre de 0,1 Ω et pourra être négligée dans la plupart des cas par rapport à R_x . Pour autant que R_x soit au moins de 1 Ω environ, l'aire F indique donc avec une bonne approximation la perte dans la résistance R_x . Cette méthode permet ainsi de mesurer la qualité du matériau de résistance des parafoudres, la sécurité de couplage des coupe-circuits à haute tension, les chocs d'énergie des étincelles et des arcs, etc., sans que la rapidité des variations de la puissance soit limitée dans le temps.

Pour terminer, mentionnons que cette méthode de mesure de l'énergie permet de représenter, de façon indirecte, l'allure de la puissance dans le temps. Nous en parlerons ailleurs. A titre d'exemple, la figure 9 montre l'allure de la tension, du choc de courant et du choc d'énergie lors du fonctionnement d'un coupe-circuit à grande puissance, valeurs relevées à l'aide de trois oscillographes cathodiques. Ces figures ont été obtenues à l'occasion d'autres recherches (1). La figure 10 indique le choc de puissance dans un parafoudre.

On a pu, de la sorte, obtenir de précieux renseignements sur le processus de déclenchement et l'on a constaté à nouveau la régularité remarquable avec laquelle ces processus se déroulent, même lorsque leur durée n'atteint que quelques microsecondes.

III. — ÉTALONNAGE DES ÉCLATEURS A SPHÈRES (SPINTERMÈTRES).

L'étalonnage des éclateurs à sphères, utilisés couramment dans la technique des mesures de la haute tension, a été l'objet, au cours de ces dernières années, de nombreuses études basées sur les méthodes les plus diverses (2).

La méthode décrite au Chapitre I est tout particulièrement appropriée à la mesure des tensions de choc de toutes formes. Les

(1) A. GANTENBEIN, *C.I.G.R.É.*, Rapport 132, 1939.

(2) W. WEICKER et W. HORCHER, *Grundlagen zu neuen Eichtafeln für Kugelfunkenstrecken (E.T.Z., nos 39-40, 1938).*

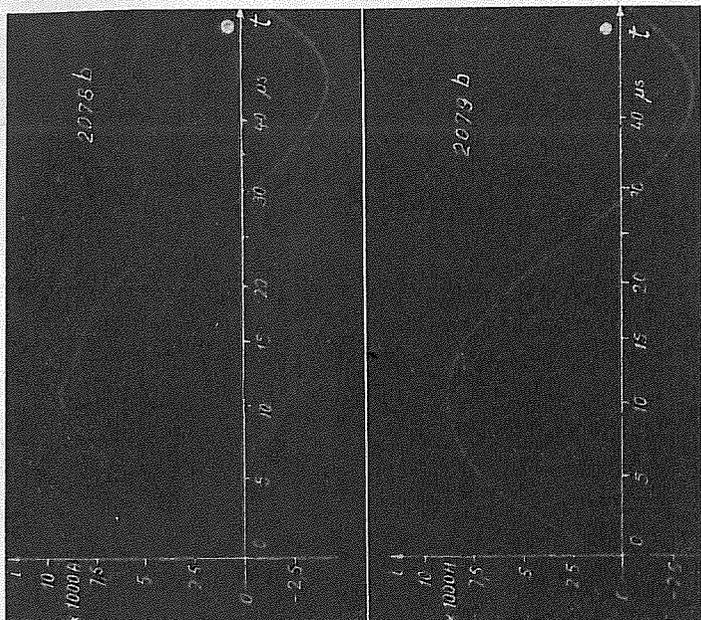
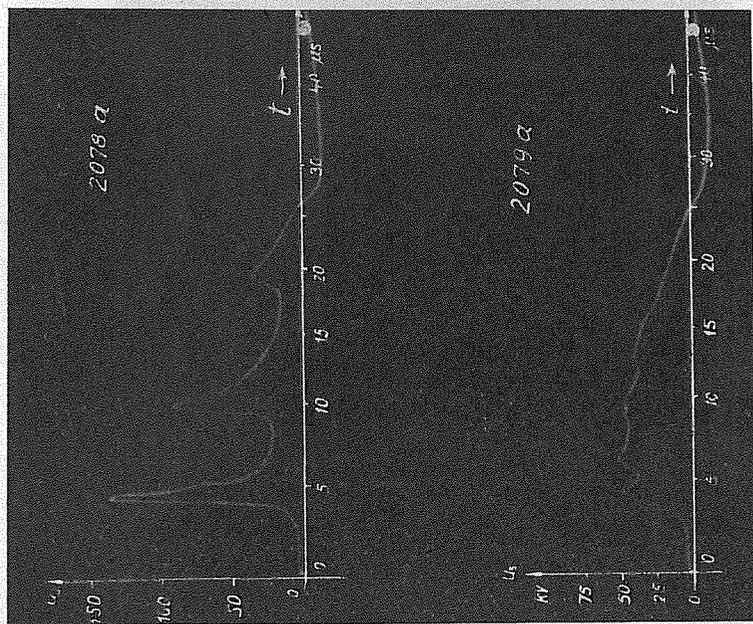


Fig. 9 a et b. — Exemple de la mesure oscillographique simultanée de la tension, du courant et du choc d'énergie lors d'un court-circuit à grande puissance.

oscillographes n'étant pas prévus jusqu'ici pour des tensions de déviation de plusieurs centaines de kilovolts, il est nécessaire de n'amener à l'oscillographe qu'une fraction connue de la tension.

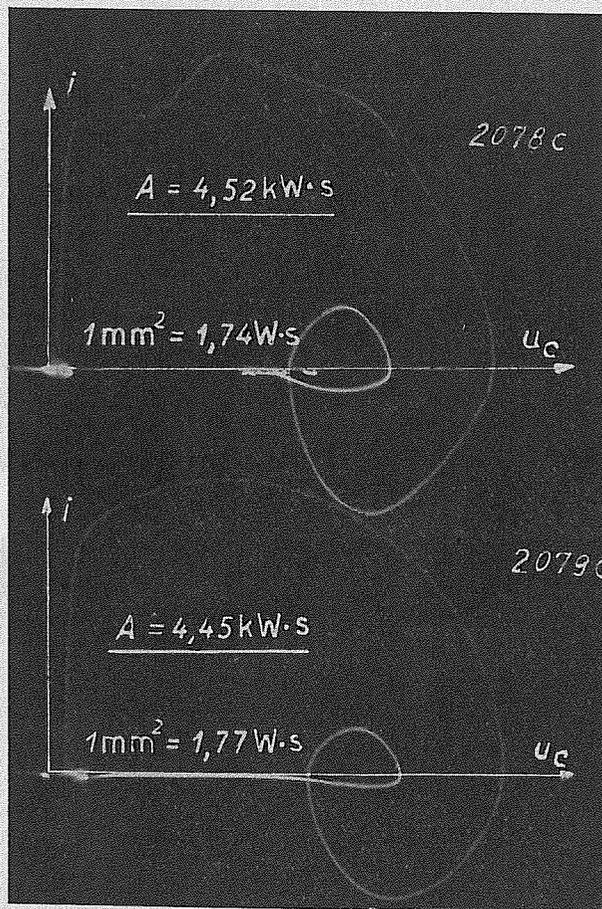


Fig. 9 c. — Exemple de la mesure oscillographique simultanée de la tension, du courant et du choc d'énergie lors d'un [coupe-circuit à grande puissance.

On utilise dans ce but un diviseur de tension qui fractionne sans les déformer les variations de tension les plus rapides. La réalisation d'un diviseur de précision est un problème difficile posé à la

technique moderne des mesures. Nous n'insisterons pas sur ce point ici ⁽¹⁾.

Les résultats mentionnés ci-après ont été obtenus avec des

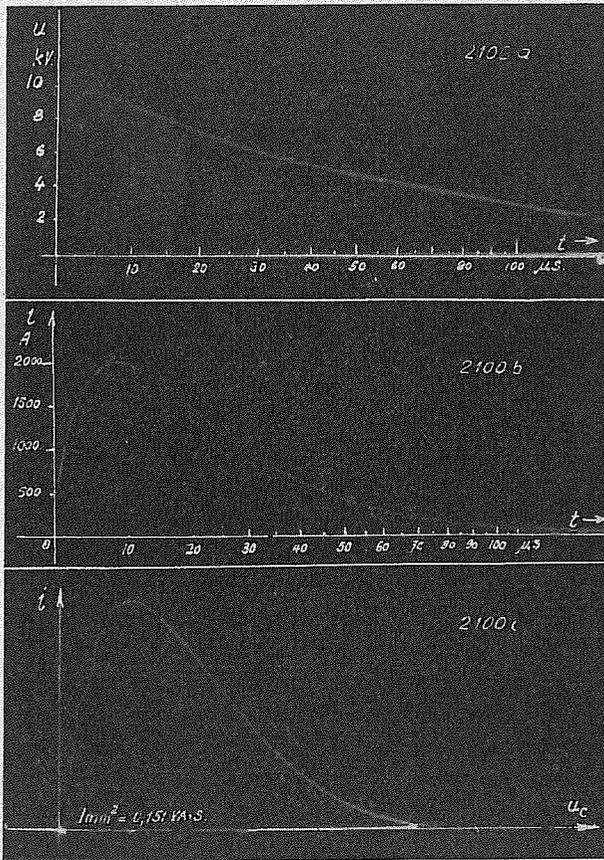


Fig. 10. — Exemple de choc d'énergie dans un parafoudre.

diviseurs de tension ohmiques. L'étalonnage se fit généralement selon le couplage de la figure 4 (voir Chapitre I) avec des chocs

⁽¹⁾ R. ELSNER, *Die Messung steiler Spannungsstöße mittels Spannungsteiler* (A.f.E., n° 1, 1939). — W. RASKE, *Messteiler für hohe Stossspannungen* (A.f.E., nos 10 et 11, 1937).

de tension de forme normale ($1/50 \mu\text{s}$). Nous publierons ailleurs un rapport détaillé à ce sujet.

L'étalonnage concerna tout d'abord deux éclateurs différents à sphères de 1 m, dont l'un était installé sur une plate-forme d'essais en plein air et l'autre dans un laboratoire. Ces deux spintermètres étaient verticaux. Le premier était disposé conformément aux règles de la C.E.I., tandis que l'autre ne répondait pas tout à fait à ces règles en ce qui concerne la distance par rapport aux parois et aux

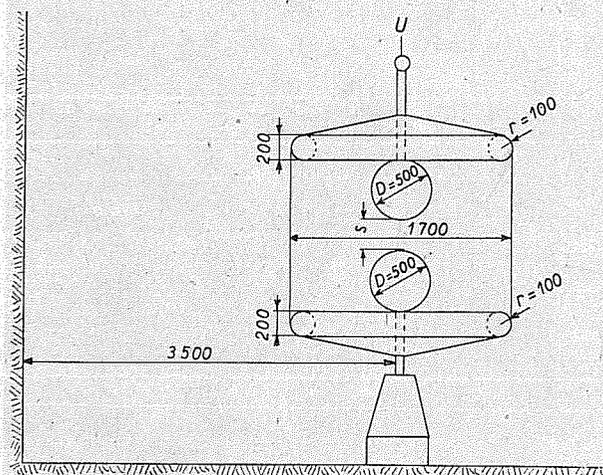


Fig. 11. — Croquis de l'éclateur de mesure étalonné, à sphères de 500 mm et anneaux de garde.

fixations du plafond. Les mesures indiquées ci-après ne se rapportent qu'à l'éclateur à sphères de 1 m installé dans le laboratoire.

Nous avons étudié, d'autre part, sur un troisième éclateur à sphères de 500 mm, l'effet d'écrans métalliques ⁽¹⁾ (anneaux de garde) destinés à rendre le champ plus homogène dans les sphères et à soustraire l'éclateur à l'action perturbatrice de champs étrangers. La figure 11 montre la disposition de ces écrans, constitués par un anneau en tôle de zinc auquel est soudée une plaque en tôle pleine, ainsi que les cotes approximatives.

(1) E. PUGNO-VANONI et C. DI PIERI, *Ricerca sugli Spinterometri a Sferre con Anelli di Guardia* (*L'Elettrotecnica*, 1937, p. 390).

Sans entrer dans les détails, les figures 12 et 13 indiquent quelques résultats. La figure 12 montre les courbes d'étalonnage obtenues pour les sphères de 500 mm avec et sans anneaux de garde, par rapport aux valeurs de la C.E.I. indiquées dans la Publication 52 : *Règles pour la mesure de la tension d'essai aux fréquences industrielles dans les essais diélectriques au moyen d'éclateurs à sphères.*

Selon les recommandations de la C.E.I., l'éclateur à sphères normalisé (sans anneaux de garde) ne doit être utilisé pour les tensions de choc que jusqu'à des distances d'éclatement ne dépassant pas le rayon des sphères (250 mm). L'étalonnage sans anneaux de garde (courbes 3 et 4) indique en effet que l'imprécision des mesures augmente à partir des distances d'éclatement dépassant 300 mm. Par contre, le montage d'anneaux de garde a permis un étalonnage pour tensions de choc *negatives* jusqu'à des distances d'éclatement de 500 mm.

En résumé, les étalonnages ont donné les résultats suivants :

1° L'allure générale des courbes d'étalonnage selon la C.E.I. est également confirmée pour les courbes avec anneaux de garde. En revanche, la tension disruptive positive n'est supérieure à la tension négative qu'aux grandes distances d'éclatement. Quand il s'agit de distances plus faibles, la tension disruptive négative peut devenir au contraire jusqu'à 1 % plus élevée que la tension positive.

2° Les tensions disruptives des éclateurs à sphères de 500 mm avec anneaux de garde sont sensiblement plus élevées que sans les anneaux, cet écart étant déjà notable pour les petites distances de 50 et 100 mm, et augmentant bien entendu pour les distances plus grandes.

3° Avec les anneaux de garde indiqués sur le croquis, l'étalonnage de l'éclateur pour tensions de choc *negatives* a été possible jusqu'à des distances d'éclatement de 450 et 500 mm. Pour cette dernière, des claquages se produisirent parfois non plus entre les deux sphères, mais entre le rebord inférieur (positif) de l'anneau de garde et la sphère supérieure, sur une longueur d'arc d'environ 1,5 m.

4° Avec des tensions de choc *positives*, la disposition du croquis ne permettait plus d'étendre l'étalonnage à des distances d'éclatement de plus de 300 mm, car les claquages ne se produisaient plus entre les deux sphères, mais entre le rebord de l'anneau de garde supérieur (positif) et la sphère inférieure. Sur cette distance,

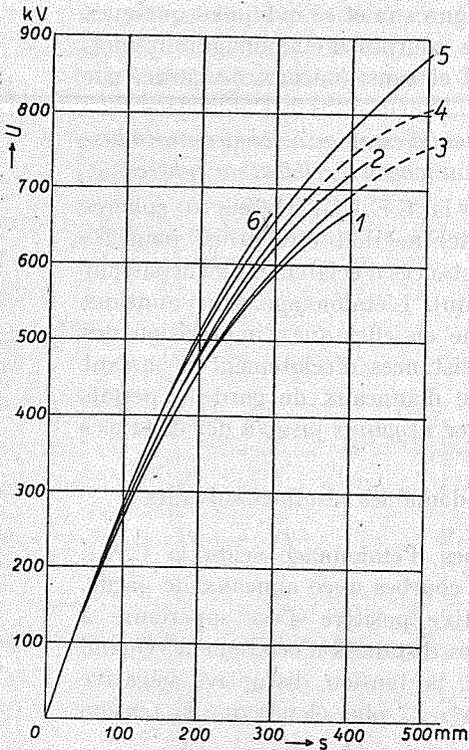


Fig. 12.

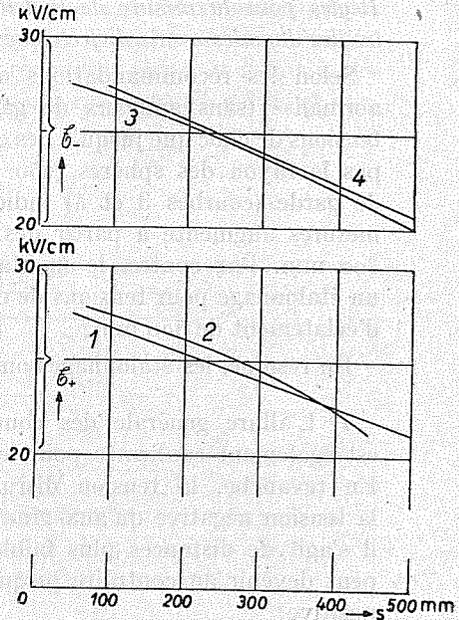


Fig. 13.

Fig. 12. — Courbes d'étalonnage de l'éclateur à sphères de la figure 11 avec et sans anneaux de garde.

$p = 760 \text{ mm Hg}$, $t = 20^\circ \text{ C}$.

- 1, courbe d'étalonnage C.E.I. pour choc négatif; 2, courbe d'étalonnage C.E.I. pour choc positif; 3, courbe d'étalonnage Zurich pour choc négatif; 4, courbe d'étalonnage sans anneaux pour choc positif; 5, courbe d'étalonnage Zurich pour choc négatif; 6, courbe d'étalonnage avec anneaux pour choc positif.

avec anneaux

Fig. 13. — Intensités moyennes de champ de claquage d'un éclateur de laboratoire à sphères de 1 m, sans anneaux de garde.

$p = 760 \text{ mm Hg}$, $t = 20^\circ \text{ C}$.

- 1, intensité moyenne de champ selon la C.E.I. pour choc positif; 2, intensité moyenne de champ, mesure Zurich, pour choc positif; 3, intensité moyenne de champ selon la C.E.I. pour choc négatif; 4, intensité moyenne de champ, mesure Zurich, pour choc négatif.

la longueur de l'arc dépasse près de quatre fois l'écartement des sphères !

5° Pour que ces anneaux de garde puissent être utilisés pratiquement, il faut que leurs bords soient beaucoup plus arrondis. De cette façon seulement, il sera peut-être possible d'étendre l'emploi des spintermètres à des distances d'éclatement supérieures au diamètre des sphères. Le gain de tension pourrait alors atteindre environ 50 % au maximum, lors d'un emploi jusqu'au diamètre des sphères.

6° Aussi bien avec les éclateurs à sphères de 1 m qu'avec ceux à sphères de 500 mm, des écarts de quelques pour 100 se présentent entre les valeurs moyennes mesurées à différentes dates, écarts qui n'ont pas encore pu être expliqués. Il semble que la température joue un rôle essentiel à cet égard, mais les thermomètres habituels sont trop lents pour déterminer exactement cette influence. Ainsi, le soir et le matin, il était impossible d'obtenir en plein air des valeurs exactement semblables.

7° Entre les éclateurs à sphères de 1 m montés en plein air et ceux montés en laboratoire, on a constaté des durées différentes jusqu'au claquage, l'éclateur en plein air fonctionnant plus vite que celui de laboratoire. Avec ce dernier, le claquage se produisait souvent au dos de la tension de choc, peu après le passage par l'amplitude, tandis qu'avec l'éclateur en plein air le claquage se produit plus près de l'amplitude. A ce point de vue, il semble que le retard du spintermètre soit déjà mesurable pour les tensions de choc normales ($1/50 \mu\text{s}$).

8° D'après nos observations, il est possible de mesurer des tensions élevées avec une précision de quelques pour 100 à l'aide des éclateurs à sphères et des méthodes habituelles de correction de la température et de la pression barométrique, à condition de procéder, pour chaque tension à mesurer, à un grand nombre de mesures avec l'éclateur et d'en tirer la moyenne. Des mesures individuelles peuvent donner lieu à des erreurs beaucoup plus grandes. L'élimination des sources d'erreurs des éclateurs à sphères pour très hautes tensions se heurte à de très grandes difficultés, qui n'ont pas encore pu être entièrement surmontées. Pour l'instant, les mesures de grande précision ne peuvent être réussies qu'à l'aide de l'oscillographe cathodique équipé avec un diviseur de tension approprié.

SUMMARY.

A new method for the accurate measurement of the peak voltage by means of the Braun tube or Cathode ray oscillograph is first described together with its application to the calibration of the sphere gap. Further two circuits are developed for the measurement of the energy in a surge. As uses of this the rating of surge absorbers and high power fuses are mentioned.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Autoren beschreiben zunächst eine neue Methode zur genauen Messung von Spannungsscheitelwerten mittels Braunscher Röhren oder Kathodenstrahloszillographen (KO), deren Anwendung auf die Eichung der in der Hochspannungstechnik üblichen Normal-Kugelfunkenstrecken gezeigt wird. Ferner werden zwei Schaltungen zur Ausmessung kurzzeitiger Energie-Stösse entwickelt und einige Anwendungsbeispiele erwähnt, welche die Qualifizierung von Überspannungsableitern und Hochleistungssicherungen betreffen.

RIASSUNTO.

Gli Autori descrivono anzitutto un nuovo metodo per la misura esatta delle ampiezze delle tensioni per mezzo di tubi di Braun o di oscillografi catodici e l'applicazione di tale metodo alla taratura di spinterometri normali a sfere utilizzati nella tecnica delle alte tensioni. In seguito illustrano due circuiti destinati alla misura di impulsi di energia di breve durata e ne indicano alcune applicazioni relative alle specificazioni degli caricatori e degli interruttori a grande distanza.