

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 22 (1931)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Influence de la forme de la tension de rupture sur le travail des disjoncteurs  
**Autor:** Kopeliowitch, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058590>

### **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:** 29.01.2025

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

## Influence de la forme de la tension de rupture sur le travail des disjoncteurs.

Par J. Kopeliowitch, ingénieur à la S. A. Brown, Boveri et Cie, Baden.

621.3.018.3:621.316.5.064.2

L'influence de la forme de la tension de rupture sur le travail des disjoncteurs a été mis en lumière par des recherches systématiques, accompagnées de prises à l'oscillographe cathodique. La vitesse de rétablissement de la tension après l'extinction des arcs dépend de la fréquence propre du circuit d'alimentation et de ce fait peut avoir des valeurs différentes dans des réseaux ayant la même tension de service. Les valeurs constatées dans le réseau de 132 kV de l'Ohio Power Co. sont sensiblement plus petites que celles déterminées dans la station d'essais à grande puissance de la S. A. Brown Boveri. Cette comparaison montre qu'au cours des essais de plateforme, les interrupteurs sont soumis à des sollicitations bien supérieures aux contraintes qu'ils auront à supporter dans des réseaux de distribution. La capacité électrostatique de ceux-ci abaisse la fréquence propre des circuits et par conséquent diminue les valeurs du gradient  $\frac{du}{dt}$  de la tension de rupture.

Les oscillogrammes confirment l'exactitude des formules donnant la fréquence propre des circuits d'alimentation des installations triphasées. On peut conclure que les épreuves de plateforme présentent une sûre garantie pour un bon fonctionnement des interrupteurs en service.

On sait que l'ouverture d'un circuit à courant alternatif est presque toujours accompagnée d'une étincelle se formant entre les contacts du commutateur. Si les puissances mises en jeu sont importantes, l'étincelle de rupture devient un arc électrique dont l'extinction ne peut se faire qu'au premier passage du courant par zéro. A cet instant, l'espace entre les contacts de l'interrupteur est généralement encore faible; il en est de même de la rigidité diélectrique de cet espace, de sorte que sous l'influence de la tension réapparaissant entre les bornes, un réamorçage de l'arc peut avoir lieu. L'extinction ne pourra donc être définitive que lorsque la rigidité diélectrique de l'espace entre les pare-étincelles sera suffisante pour empêcher une nouvelle disruption. Analysons les facteurs intervenant dans ce processus.

La rigidité diélectrique d'un milieu est fonction de plusieurs variables, en premier lieu de la distance entre les électrodes, de la température et de la pression du milieu, du degré d'ionisation préliminaire dans la région exposée à la contrainte et enfin de la rapidité avec laquelle la tension atteint la valeur critique de disruption. Après une première extinction de l'arc, la gaine ionisée subit une rapide transformation par suite du refroidissement des gaz incandescents et de la neutralisation des ions et des électrons. Bon conducteur au début, elle acquiert de plus en plus les qualités d'un diélectrique, la loi de cette transformation étant essentiellement différente d'un système d'interrupteur à l'autre. Pour les arcs très courts, une rigidité diélectrique relativement élevée est atteinte presque immédiatement après l'extinction, l'augmentation ultérieure de la tension disruptive demandant un

Systematische, zum Teil kathodenstrahloszillographische Untersuchungen haben den Einfluss der Form der Abschaltspannung auf die Löschung des Unterbrechungslichtbogens im Schalter gezeigt. Die Geschwindigkeit der Spannungswiederkehr nach erfolgter Lichtbogenlöschung ist von der Eigenfrequenz des Speisestromkreises abhängig und kann deshalb in verschiedenen Netzen derselben Betriebsspannung verschiedene Werte annehmen. Die im 132-kV-Netz der Ohio Power Co. festgestellten Werte sind wesentlich geringer als diejenigen, welche z. B. in der Hochleistungsversuchsanlage der A.-G. Brown, Boveri & Cie. bestimmt wurden. Der Vergleich zeigt, dass bei den üblichen Versuchsstandprüfungen die Schalter wesentlich höheren Beanspruchungen unterzogen werden als diejenigen, welchen sie in Verteilungsnetzen ausgesetzt sind. Die hohe elektrostatische Kapazität dieser Netze erniedrigt die Eigenfrequenz der Stromkreise und bedingt dadurch eine Herabsetzung der Werte des Gradienten  $\frac{du}{dt}$  der Abschaltspannung.

Die aufgenommenen Oszillogramme bestätigen die Genauigkeit der Formeln für die Eigenfrequenz der Speisestromkreise von Drehstromanlagen. Aus dem Vorangehenden kann man schliessen, dass die Prüfungen auf dem Versuchsstand für die Betriebssicherheit der Schalter eine sichere Garantie bieten.

temps de plus en plus appréciable<sup>3</sup>). La fig. 1 représente par exemple d'après Slépián la tension disruptive entre des contacts assez rapprochés en fonction de l'intervalle de temps s'écoulant entre

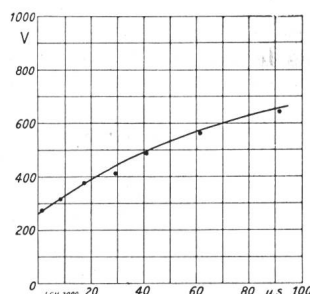


Fig. 1.

Tension de réamorçage d'un arc très court immédiatement après le passage du courant par zéro, en fonction du retard à l'amorçage. Rupture dans l'air à pression atmosphérique (J. Slépián).

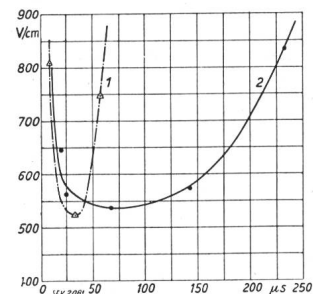


Fig. 2.

Gradient de réamorçage de l'arc dans un interrupteur à huile immédiatement après le passage du courant par zéro en fonction du retard à l'amorçage.

l'extinction de l'arc et le réamorçage consécutif. L'expérience prouve d'autre part que dans un interrupteur dans l'huile à rupture libre, la tension disruptive entre les contacts en mouvement atteint, lors des réamorçages successifs, assez rapidement des valeurs élevées. Toutefois, le rallumage est relativement plus facile après la seconde, dans certains cas même après la troisième extinction, le gradient disruptif présentant en ce moment des valeurs minima. Les résultats d'analyse de deux oscillogrammes cathodiques, reproduits à la fig. 2

<sup>3</sup>) Les renvois se rapportent à l'index bibliographique à la fin de l'article.

montrent que les premiers trois à quatre rallumages, se font dans ce cas particulier avec des gradients de 800 à 525 volts par centimètre, cette rigidité diélectrique étant atteinte au bout de 10 à 25  $\mu$ s après l'extinction. Il est utile de noter la rapidité de cette régénération pour comprendre, dans ce qui va suivre, l'importance de la fréquence propre du réseau sur le rallumage de l'arc. Remarquons encore pour plus de clarté que la distance entre les pare-étincelles augmentant continuellement, les valeurs indiquées sur la fig. 2 se rapportent à des arcs d'une longueur de plus en plus grande. Malgré les gradients disruptifs plus petits au moment du deuxième et du troisième réamorçage, les intervalles de temps croissent continuellement, puisque la tension disruptive augmente avec la distance entre les contacts et ne peut être atteinte qu'au bout d'un temps de plus en plus grand<sup>8)</sup>.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que l'extinction définitive de l'arc de rupture dépend non seulement de la valeur de la tension de rallumage, mais aussi du retard avec lequel cette tension réapparaît entre les contacts. On sait en particulier, que, toutes choses égales, la longueur de l'arc de rupture dans un interrupteur à huile augmente à peu près comme le sinus de l'angle de déphasage entre le courant et la tension du circuit considéré<sup>5)</sup>. L'expérience montre en outre que, à tension de régime égale, la longueur de l'arc est encore une fonction de la fréquence propre du circuit, puisque au moment de l'extinction de l'arc la tension se rétablit en effectuant une oscillation transitoire amortie qui se superpose à la tension de régime. On conçoit facilement que plus la fréquence propre  $f_0$  du circuit sera élevée, plus le rétablissement de la tension sera rapide. Le retard avec lequel la

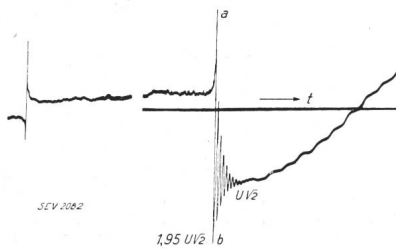


Fig. 3.

Oscillogramme cathodique de la tension après l'extinction de l'arc de rupture dans un interrupteur à eau.

$a$  = pointe de la tension à l'instant de l'extinction de l'arc,  
 $b$  = pointe de la tension due à l'oscillation transitoire,  
 $f_0 = 7000$  p/s (station d'essais à grande puissance BBC).

tension disruptive est atteinte dépend donc d'une part de la rapidité de la neutralisation et du refroidissement de la gaine ionisée, d'autre part des constantes caractéristiques du circuit oscillant. Pour illustrer ce dernier phénomène nous reproduisons un oscillogramme cathodique (fig. 3) de la tension de réamorçage, relevé lors d'une rupture de court-circuit avec un interrupteur à eau dans la station d'essais à grande puissance de la S. A. Brown Boveri.

L'amplitude de cette oscillation transitoire est aussi influencée par la tension de l'arc au moment

de l'extinction. Sur l'oscillogramme de la fig. 3, on voit une pointe d'extinction excessivement prononcée, due à un refroidissement énergique de l'arc par la vapeur d'eau projetée avec violence contre la gaine ionisée. De ce fait la capacité électrostatique formée par les conducteurs du circuit est portée à l'instant du passage du courant par zéro à un potentiel égal à la tension d'extinction de l'arc. Après l'extinction, l'énergie électrostatique emmagasinée dans cette capacité se dissipe dans le circuit oscillant et augmente l'amplitude de la tension transitoire. Fig. 4 reproduit un autre oscillogramme cathodique de la tension de rupture du même circuit: ici la pointe au moment de l'extinction est plus faible; il en est de même de l'amplitude de l'oscillation transitoire.

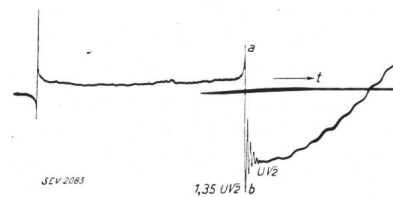


Fig. 4.

Oscillogramme cathodique de la tension après l'extinction de l'arc de rupture dans un interrupteur à eau.

$a$  = pointe de la tension à l'instant de l'extinction de l'arc,  
 $b$  = pointe de la tension due à l'oscillation transitoire,  
 $f_0 = 7000$  p/s.

L'importance pratique de ce phénomène a été reconnue ces dernières années au cours de recherches méthodiques sur le processus de rupture, accompagnées de prises à l'oscillographe cathodique. Nous avons pu par exemple réduire à 50 % la durée de l'arc dans un interrupteur à huile en branchant à ses bornes des condensateurs de plus en plus grands de manière à faire baisser la fréquence propre du réseau de 1500 p/s à 350 p/s<sup>1)</sup>. L'action de ces condensateurs est analogue à la répercussion que peut avoir un réseau de plus en plus étendu sur la fréquence propre du circuit à l'endroit de rupture. De même Park et Skeats<sup>9)</sup> indiquent que lors des essais de court-circuit faits directement aux barres de 13,2 kV d'une centrale, l'interrupteur dans l'huile utilisé avait subi une contrainte 6 fois supérieure à celle qu'il avait à supporter au cours de la répétition des mêmes essais, avec la même puissance de rupture, mais à une distance de 70 km de cette centrale. La durée de l'arc a été dans ce second cas trois fois plus courte que dans le premier.

Très concluants à ce point de vue sont également les résultats de nombreuses ruptures exécutées dans le réseau de 132 kV de l'Ohio Power Co.<sup>10 et 11)</sup>. Afin d'étudier l'influence de la fréquence propre du circuit d'alimentation sur le processus de rupture, les courts-circuits ont été amorcés à proximité des barres collectrices 132 kV de la centrale de Philo, disposant en ce moment d'une puissance totale de 209 000 kVA. Ces essais ont été faits tout d'abord sans aucune ligne de départ, ensuite en connectant aux barres une ligne de 35 km de

longueur, et enfin en branchant trois lignes d'une longueur totale de 350 km, le réseau étant bien entendu à vide. Les oscillogrammes cathodiques publiés par Spurck et Strang<sup>10)</sup> montrent que la fréquence propre aux barres de 132 kV de la centrale de Philo (209 000 kVA) est de l'ordre de 2400 p/s; il suffit de brancher une seule ligne de 35 km de longueur pour faire baisser cette fréquence à 1000 p/s, tandis qu'avec un réseau de lignes de 350 km on obtient déjà  $f_o = 330$  p/s. On peut exprimer la variation de la fréquence propre du circuit en indiquant les valeurs du gradient  $\frac{du}{dt}$  c'est-à-dire de la vitesse du rétablissement de la tension de rupture. Le calcul donne pour le premier cas 2400 V/ $\mu$ s, pour le second 600 V/ $\mu$ s et, enfin, dans le cas des trois lignes de départ on obtient un gradient de 270 V/ $\mu$ s. Ces chiffres caractérisent mieux les conditions de fonctionnement d'un interrupteur que l'indication de la fréquence propre  $f_o$  du circuit d'alimentation. Ils permettent en outre une comparaison plus facile entre les réseaux de différentes tensions de service.

Quelle fut l'influence de cette diminution du gradient  $\frac{du}{dt}$  sur le processus de rupture? Les nombreux essais permettent une conclusion très nette qui d'ailleurs concorde très bien avec les résultats de nos propres essais mentionnés plus haut. Indépendamment du genre des contacts utilisés (chambres d'explosion avec contacts usuels ou bien avec deux contacts en série par chambre, le dernier étant de forme tubulaire à soufflage par jet d'huile) une réduction notable de la longueur d'arc a pu être constatée. Si, l'on représente par 100 % la longueur maximum mesurée au cours de la première série d'essais, on obtient pour la seconde au maximum 60 à 67 % de cette longueur et pour la troisième seulement 42 à 62 %. Les valeurs moyennes sont respectivement pour les contacts usuels: 100, 70 et 63 %; pour les contacts à soufflage: 100, 80 et 52 %.

Il n'est pas aisé d'indiquer la relation qui existe entre la rapidité de la neutralisation des gaz incandescents formant l'arc et l'influence de la fréquence  $f_o$  de l'oscillation transitoire sur le processus de rupture. On constate que dans les interrupteurs travaillant avec un soufflage énergétique de l'arc, tels que les interrupteurs à gaz ou à vapeur sous pression, la régénération de la gaine ionisée est particulièrement rapide de sorte que l'espace entre les contacts acquiert la rigidité diélectrique finale presque instantanément après l'extinction de l'arc. Il est évident que dans ces conditions les oscillations de fréquence  $f_o$  même très élevées, de l'ordre de plusieurs milliers de périodes par seconde peuvent sensiblement influencer la rupture. Ainsi, nous avons pu augmenter de 2,6 fois la puissance de rupture limite d'un interrupteur à air comprimé sous 6 atm, en diminuant  $f_o$  de la station d'essais à grande puissance de  $f_o = 18\ 600$  p/s à  $f_o = 7200$  p/s, au moyen de batteries de condensateurs branchés aux bornes de l'appareil. Ces recherches ont été

exécutées sous 12 à 16 kV, le rétablissement de la tension entre les contacts du disjoncteur se faisant avec des gradients  $\frac{du}{dt} = 1140$  V/ $\mu$ s dans le premier

cas et  $\frac{du}{dt} = 550$  V/ $\mu$ s dans le second cas. Par contre il semble que dans les interrupteurs à huile, une influence marquée de la diminution de la fréquence propre du circuit d'alimentation ne se manifeste que pour des valeurs plus faibles de  $f_o$ , comme cela résulte des essais mentionnés plus haut.

En négligeant la résistance ohmique des conducteurs, on peut établir par un calcul assez simple la formule donnant la fréquence propre d'un circuit triphasé<sup>13)</sup>. Remarquons que si le court-circuit est amorcé sur toutes les phases, l'extinction momentanée des arcs de rupture a lieu alternativement sur les trois pôles du disjoncteur à des intervalles de temps correspondant aux passages successifs des trois courants par zéro. A chaque extinction d'un arc le circuit libre se compose de la capacité de cette phase par rapport aux deux autres et de son inductivité de fuite en série avec celles des deux phases mises en parallèle. On obtient ainsi le circuit oscillant représenté par le schéma de la fig. 5. Nous avons désigné par  $L_g$  l'inductivité de fuite d'une phase des enroulements statoriques des alternateurs, y compris l'inductivité des bobines de réactance si celles-ci se trouvent à proximité des alternateurs. Les condensateurs  $c_{12}$  et  $c_{13}$  sont formés par les conducteurs primaires de la phase 1 avec ceux des deux autres phases. L'inductivité de fuite  $L_T$  est celle d'une phase des enroulements des transformateurs, ramenée au primaire, y compris l'inductivité des bobines de réactance, si celles-ci sont à proximité des transformateurs. Enfin  $C_{12}$  et  $C_{13}$  désignent la capacité électrostatique par les conducteurs de la phase 1 du côté haute tension avec ceux des phases 2 et 3. Si  $n$  est le rapport de transformation, on a

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{2} n^2 (C_{12} + C_{13}) (L_T + L_g) + \frac{3}{2} (c_{12} + c_{13}) L_g} \quad (1)$$

Cette formule est établie en admettant que les capacités  $C$  sont concentrées en un point. Cette hypothèse n'est plus vérifiée quand il s'agit de réseaux étendus. Les capacités  $C$  étant uniformément réparties, les valeurs données par la formule (1) devraient encore être corrigées par un coefficient tenant compte du nombre de lignes branchées en parallèle ainsi que de leur longueur. L'expression (1) montre que la fréquence propre  $f_o$  croît quand la puissance des centrales augmente, c'est-à-dire quand  $L_T$  et  $L_g$  diminuent. Par contre, pour une puissance donnée, la fréquence  $f_o$  baisse quand l'étendue du réseau (c'est-à-dire  $C_{12}$  et  $C_{13}$ ) augmente. En particulier,  $f_o$  diminue quand le rapport de transformation  $n$  croît. Dans les réseaux à très haute tension on aura donc les valeurs de  $f_o$  les plus faibles.



Si la rupture a lieu directement aux bornes d'un alternateur ou d'un transformateur, les capacités  $c$  et  $C$  sont très faibles et l'équation (1) peut servir dans le cas donné pour  $f_0$  des chiffres trop élevés. Dans ces conditions il est préférable de déterminer par des formules connues la fréquence propre des enroulements<sup>12)</sup>.

Après l'extinction définitive des arcs sur une phase, le court-circuit devient monophasé et la fréquence  $f_0$  de l'oscillation transitoire est alors donnée par l'expression (2) analogue à l'équation (1) :

$$f'_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{n^2(C_{23} + \frac{C_{12}C_{13}}{C_{12}+C_{13}})2(L_T + L_g) + \left(c_{23} + \frac{c_{12}c_{13}}{c_{12}+c_{13}}\right)2L_g}} \quad (2)$$

Si les capacités formées par les conducteurs de différentes phases pris deux à deux sont égales entre elles, les formules (1) et (2) deviennent :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{3}} \frac{1}{\sqrt{n^2 C (L_T + L_g) + c L_g}} \quad (3)$$

Il est intéressant de mentionner que si le court-circuit s'amorce entre une phase et la terre dans un réseau dont le neutre est relié directement à la terre, le circuit se fermant par le sol est généralement si fortement amorti par la résistance élevée que présente le sol au passage des courants de haute fréquence, que les oscillations transitoires ne se produisent pas dans ce circuit. Par contre le circuit représenté par la fig. 5 peut dans ce cas également être le siège d'oscillations transitoires, de sorte que la fréquence  $f_0$  reste la même quelle que soit le genre de court-circuit; elle n'est donc déterminée que par les constantes caractéristiques de l'installation triphasée. Les oscillations libres à la suite des courts-circuits entre une phase et la terre présentent cependant une particularité, puisque sur la phase endommagée il n'apparaît par rapport à la terre que les deux tiers de l'amplitude de la tension transitoire, l'autre tiers de cette tension étant réparti sur les phases saines.

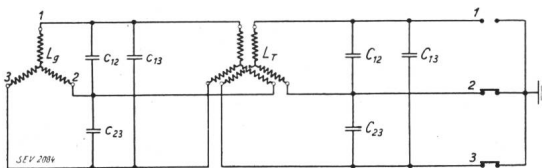


Fig. 5.

Schéma du circuit triphasé après l'extinction des arcs de rupture dans un pôle d'interrupteur.

De ce qui précède on peut conclure que lors d'une rupture d'un court-circuit triphasé les arcs des trois pôles du disjoncteur sont rallumés par des tensions dont le rétablissement se fait avec la fréquence  $f_0$ . Cette fréquence reste encore la même après l'extinction définitive des arcs sur un des pôles, de sorte que les réamorçages consécutifs entre les contacts des deux autres pôles se font sous l'action d'une tension se rétablissant avec la fréquence  $f_0$ . On sait que dans un réseau avec neutre

isolé l'amplitude de la tension de réamorçage à fréquence de régime atteint par pôle de disjoncteur  $1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ph}$  tant que le court-circuit est triphasé. Après la rupture définitive des arcs sur un pôle, les deux autres sont sollicités par une tension plus faible égale à  $0,866 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ph}$ . Les oscillations transitoires ayant la même fréquence dans les deux cas, l'extinction des arcs sur les deux derniers pôles, surtout quand l'influence mutuelle des différentes phases est négligeable (disjoncteurs à trois cuves), se fera généralement au premier passage du cou-

rant par zéro. La contrainte subie par chaque pôle pendant la rupture est donc, toutes choses égales, proportionnelle à  $1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ph}$ . Dans un disjoncteur triphasé à une cuve, la rupture sur l'un des pôles est souvent accélérée sous l'influence mutuelle électromagnétique des trois phases. Bien qu'après cette extinction la tension de réamorçage par pôle devient plus faible, les arcs des deux autres phases peuvent encore subsister pendant quelques demi-ondes. Il convient de rappeler enfin que si le neutre du réseau est solidement mis à la terre, chaque pôle du disjoncteur est sollicité par  $\sqrt{2} U_{ph}$  si le court-circuit est à la terre, respectivement par  $0,866 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ph}$  et  $1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ph}$  si le court-circuit est entre 2 resp. 3 phases. Les oscillations transitoires se superposent à ces amplitudes, tout en gardant la même fréquence  $f_0$  donnée par la formule (3). Si l'on admet pour fixer les idées que leur amortissement, ainsi que la pointe d'extinction des arcs restent aussi les mêmes, l'amplitude de ces oscillations sera dans chaque cas proportionnelle à celle de la tension de réamorçage de régime.

Nous avons cherché à vérifier la formule (3) par des mesures directes à l'oscillographe cathodique dans la station d'essais à grande puissance de la S. A. Brown Boveri. Cette installation se compose actuellement d'un alternateur de construction spéciale dont les dimensions correspondent à une puissance nominale de 80 000 kVA. Le transformateur à bain d'huile a une puissance de 85 000 kVA avec une tension de court-circuit de 2,2 % seulement. Le réglage de la puissance de court-circuit se fait au moyen de trois bobines de réactance par phase, qui peuvent être branchées en série, en parallèle ou en série-parallèle. Les différentes connexions du transformateur permettent de transformer la tension de l'alternateur jusqu'à 87 kV en triphasé et 150 kV en monophasé. Le transport à haute tension jusqu'au stand d'essai se fait par une ligne aérienne de 40 m, les trois conducteurs étant disposés en une nappe horizontale et espacés de 250 cm. Jusqu'à 13 kV les interrupteurs à l'essai sont alimentés au moyen de 6 câbles en parallèle, ayant chacun une section de  $3 \times 350 \text{ mm}^2$ .

Quelques résultats de cette investigation sont représentés à la fig. 6 en fonction du nombre de

bobines de réactance insérées dans le circuit. Les fréquences  $f_0$  lues sur les oscillogrammes cathodiques concordent très bien avec les valeurs calculées, qui sont indiquées sur la même figure par les courbes. Les oscillations transitoires ont une fréquence très élevée, qui atteint 20 000 p/s pour la connexion directe de l'alternateur au stand d'essai.

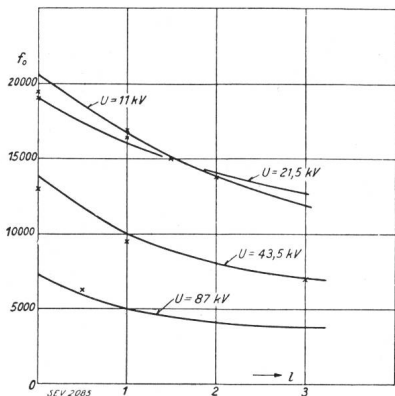


Fig. 6.

Fréquence des oscillations transitoires se superposant à la tension de rupture de la station d'essais à grande puissance de la S. A. Brown, Boveri, en fonction du nombre de bobines de réactance  $l$  insérées dans le circuit.

$U$  = tension nominale du circuit.

$x$  = valeurs mesurées à l'oscillographe cathodique.

La fig. 7 reproduit un oscillogramme cathodique, à balayage sinusoïdal, de la tension de rupture lors d'un essai de court-circuit avec un disjoncteur à air comprimé: la fréquence propre est ici de 16 500 p/s. Aux connexions du transformateur donnant les tensions de plus en plus élevées correspondent des valeurs de  $f_0$  de plus en plus faibles. Dans tous les cas la fréquence propre du circuit d'alimentation reste cependant bien au dessus de ce qu'on peut rencontrer dans une centrale même de très forte puissance, ainsi que nous l'avons vu plus haut dans le cas de la centrale de Philo ayant une puissance de 209 000 kVA.

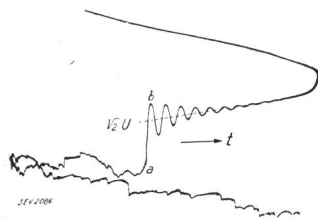


Fig. 7.

Oscillogramme cathodique de la tension après l'extinction de l'arc de rupture dans un interrupteur à air comprimé

$f_0 = 16500$  p/s.

Il est utile d'indiquer ici en quelques mots pourquoi dans la station d'essais décrite la fréquence  $f_0$  a des valeurs aussi élevées. Par une construction appropriée de l'alternateur et du transformateur il a été possible de réduire au minimum la réactance de fuite  $L_g + L_T$  (voir formule 3), à peu près au quart de la valeur qu'aurait eu une centrale de même puissance nominale. En outre, l'installation ne comporte qu'un tableau de distribution très réduit, incomparablement plus simple et plus ramassé qu'une centrale de 300 à 400 MVA. Les capacités  $C$  et  $c$  ont donc également des valeurs plus faibles

que dans une usine génératrice. On peut estimer à 400 à 500 MVA la puissance d'une centrale ayant une fréquence propre  $f_0$  égale à celle de la station d'essais à grande puissance de S. A. Brown, Boveri & Cie, et encore à condition seulement que les barres ne soient pas subdivisées au moyen de bobines de réactance, comme cela se fait généralement.

Il est intéressant de calculer les gradients  $\frac{du}{dt}$

de la tension de rupture pour les différentes connexions de la station d'essais. Ces calculs ont été faits en admettant pour plus de simplicité que l'amplitude de l'oscillation transitoire est égale à 0,65 de la tension rétablie, ce qui peut très souvent avoir lieu, comme on le voit sur l'oscillogramme de la fig. 3. Les valeurs obtenues sont visibles à la fig. 8. Une comparaison de ces résultats avec le gradient  $\frac{du}{dt}$  le plus élevé de 2400 V/ $\mu$ s indiqué par Spurek et Strang pour les barres de 132 kV de la centrale de Philo, montre que la vitesse de rétablissement

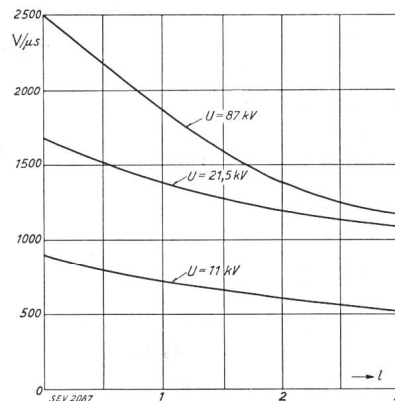


Fig. 8.

Vitesses de rétablissement des tensions de rupture de la station d'essais à grande puissance de la S.A. Brown, Boveri, en fonction du nombre de bobines de réactance  $l$  insérées dans le circuit.

$U$  = tension composée (nominale).

de la tension dans la station d'essai connectée pour 87 kV seulement atteint déjà 2500 V/ $\mu$ s. Même lors des essais à 11 kV les valeurs les plus faibles de  $\frac{du}{dt}$  que nous obtenons pour la station d'essais en insérant dans le circuit les trois bobines de réactance par phase (520 V/ $\mu$ s) sont encore de beaucoup supérieures à ce qu'on a dans le réseau de 132 kV de l'Ohio Power Co. formé par les trois lignes de 350 km (270 V/ $\mu$ s).

Cette constatation permet de conclure que les ruptures de court-circuit dans une station d'essais à grande puissance représentent pour les disjoncteurs une épreuve excessivement dure. On peut certainement s'attendre à ce que tout type d'appareil qui a supporté avec succès le cycle des essais de plateforme se comportera impeccablement en service pour peu que son entretien ne soit pas négligé. Cette remarque est particulièrement intéressante pour les interrupteurs à bain d'huile.

*Index bibliographique.*

- 1) J. Kopeliowitch: Neuere Forschungsergebnisse über Vorgänge beim Schalten unter Oel, Bull. ASE 1928, p. 541.
- 2) J. Slepian: Extinction of an A. C. Arc, Trans. AIEE, 1928, p. 1398.
- 3) J. Slepian: Theory of the Deion Circuit Breaker, Trans. AIEE 1929.
- 4) J. Kopeliowitch: C. R. de la Conférence Internationale des Grands Réseaux 1929, t. I, p. 397.
- 5) E. B. Wedmore et W. B. Whitney: Introduction aux recherches de rupture de circuit, Conférence Internationale des Grands Réseaux 1929, t. I, p. 295.
- 6) Kesselring: Das Schalten grosser Leistungen, ETZ 1929, p. 1005.
- 7) J. Biermanns: Hochleistungsschalter ohne Oel, ETZ 1929, p. 1073, 1114.
- 8) J. Kopeliowitch: Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile, RGE 1930, t. XXVII, p. 251, 291.
- 9) R. H. Park and W. F. Skeats: Circuit Breaker Recovery Voltages, JAIEE 1930, p. 1017, Trans. AIEE 1931, p. 204.
- 10) R. M. Spurck and H. E. Strang: Circuit Breaker Fields Tests on Oil-Blast Explosion Chamber Oil Circuit Breakers, Trans. AIEE 1931.
- 11) Ph. Sporn and H. P. St. Clair: Oil Circuit Breaker Tests Philo 1930, Trans. AIEE 1931.
- 12) J. Fallou: Contribution expérimentale à l'étude des sursensions dans les transformateurs, Bull. SFE 1926, p. 1246.
- 13) H. Gubler: Berechnung der Eigenfrequenz der wiederkehrenden Spannung und ihre Bedeutung für die Abschaltleistung, VDE Fachberichte 1931.

**Die Elektrizität an der XV. Schweizer Mustermesse in Basel.**

Vom Generalsekretariat des SEV und VSE, Zürich (Ing. M. Baumann).

606.4(494)

Die XV. Schweizer Mustermesse, welche vom 11. bis 21. April in Basel stattfand, erfreute sich auch dieses Jahr wiederum eines starken Interesses. Die Ausstellerzahl ist gegenüber dem letzten Jahre von 1090 auf 1110 gestiegen. Die Gruppe «Elektrizitätsindustrie» umfasste 63 verschiedene Firmen, darunter 16, welche letztes Jahr noch nicht zu den Ausstellern zu zählen waren. Dagegen beteiligten sich 13 Firmen, welche an der Messe 1930 vertreten waren, dieses Jahr nicht mehr an der Ausstellung. Von den Firmen der Grosselektromaschinenindustrie war wie letztes Jahr nur die S. A. des Ateliers de Sécheron vertreten.

Im folgenden seien einige Eindrücke, die uns ein Besuch der Gruppe «Elektrizitätsindustrie» hinterlassen hat, wiedergegeben. Dabei sei ausdrücklich erwähnt, dass dieser Bericht nicht Anspruch auf Vollständigkeit in bezug auf Aussteller noch auf ausgestellte Objekte erhebt. Genaue Auskunft darüber gibt der offizielle Messekatalog.

**Elektrische Koch-, Heiz- und andere Wärmeapparate.**

Wie letztes Jahr, so war auch diesmal dieser Zweig der Elektrizitätsindustrie wiederum stark vertreten. Konnte man aber früher sehr oft zwischen den Erzeugnissen verschiedener Fabriken recht grosse Unterschiede beobachten, so zeigten nun die an der diesjährigen Messe vorgeführten Apparate alle eine gewisse Ähnlichkeit. Ueberall wurde nach einer Lösung gestrebt, die ein hohes Mass von Vollkommenheit darstellt, und es ist begreiflich, dass sich auf Grund der in der Praxis gewonnenen Erfahrungen im Laufe der Jahre ganz bestimmte Formen und Ausführungen herausgebildet haben. So sahen wir z. B. fast durchwegs den emaillierten Haushaltungskochherd mit seinen aus Stahlblech gefertigten Rahmen und Herdplatten, der sich von den älteren Modellen auch durch seine sehr einfache und bequeme Reinigungsmöglichkeit unterscheidet.

Nach dieser allgemeinen Beurteilung der Kochherde sei noch kurz erwähnt, was von seiten der

Fabriken elektrothermischer Apparate an der diesjährigen Mustermesse besonders Interessantes ausgestellt war.

Die *Therma-Schwanden* war, wie früher, wiederum mit einer Reihe von Haushaltungskochherden und Grossküchenapparaten vertreten. Bei den ersteren wurde als Neuheit ein Modell gezeigt, das mit seinen zwei Kochplatten von 220 mm Durchmesser und 1 bis 2 weiteren Platten von 140 mm Durchmesser besonders schmal gehalten ist und dort verwendet werden dürfte, wo zur Aufstellung eines Herdes nur ein verhältnismässig schmaler Raum zur Verfügung steht. Als willkommene Ergänzung zu Herden ohne Backofen fabriziert die Firma einen neuen Haushaltungs-Back- und Bratofen mit je 4fach regulierbarer Ober- und Unterhitze, dessen Heizkörper und Backblechträger zum Zwecke der Reinigung der Bratrohre sehr leicht herausgenommen werden können. Nicht zu vergessen ist auch der elektrische Speicherherd System «Seehaus», der in der Zwischenzeit manche Verbesserungen erfahren hat und für den ein Prüfattest der Materialprüfanstalt des SEV vorliegt. An Grossküchenapparaten wurde ein kleinerer Hotelkochherd mit zu Gussplatten ausgebildeten Bratofenheizkörper, ein Hotelgrill mit beheizbarem Einschieberost, eine Kippkesselbatterie, eine Wandkipptopfgruppe mit zwei Kesseln von 10 und 30 l Fassungsvermögen und eine Bratpfanne aus Stahlblech gezeigt. Interessant war die Vorführung der nach den Normalien des SEV verlangten Prüfung des Verhaltens im Gebrauch an 4 fünfstufigen 15/10 A, 250/380 V Walzenshaltern mit Qualitätszeichen des SEV. Das als technische Neuheit unter dem Namen «Therma Automatic Eisen» vorgeführte Bügeleisen wird in zwei Modellen gebaut, das eine mit unverstellbarem, das andere mit verstellbarem Temperaturregler. Mittels Temperaturregler kann das Eisen jeweils auf die zum Bügeln von verschiedenen Stoffen erforderliche richtige Temperatur eingestellt werden. Die Hauptvorteile dieses neuen Eisens sind: kürzere Aufheizzeit, da eine grössere Belastung gewählt werden kann;