

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 30 (1939)
Heft: 13

Artikel: À propos des interrupteurs. 1ère partie, coup d'œil général sur la technique actuelle des interrupteurs et les problèmes qu'elle pose
Autor: Juillard, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058362>

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: 18.01.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 5 17 42
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXX^e Année

N^o 13

Vendredi, 23 Juin 1939

A propos des Interrupteurs.

Compte-rendu ¹⁾

de la journée de discussion de l'Association Suisse des Electriciens (ASE)
du 26 novembre 1938, au Kursaal Schänzli à Berne.

Le Président, M. M. Schiesser, D^r h. c., président de l'ASE, salue cordialement les participants et se réjouit de la forte affluence. La dernière journée de discussion sur les interrupteurs à haute tension a été organisée en 1932 par la Division d'Electrotechnique de l'EPF ²⁾. Il est donc indiqué de reprendre la question. Aujourd'hui nous allons entendre quels progrès ont été réalisés dans ce domaine au cours des 8 dernières années et pouvoir nous orienter sur l'état actuel de la technique des interrupteurs à haute tension.

Il a semblé judicieux de présenter d'abord un exposé général situant de manière facilement compréhensible le problème que pose le déclenchement des courts-circuits dans les réseaux à haute tension. C'est M. le professeur E. Juillard qui a bien voulu assumer cette tâche. M. Juillard préside le Comité Technique 17 du CES, Interrupteurs à haute tension, ainsi que le Comité des Interrupteurs de la CIGRE. Dans la suite, nous entendrons un exposé des recherches effectuées au sujet de la tension de rétablissement, puis ce seront le gens de la pratique qui nous feront part de leurs expériences et finalement les constructeurs raconteront leurs succès et développeront leurs plans d'avenir.

¹⁾ La 1^{re} et la 2^{me} partie paraissent dans ce numéro. Ensuite paraîtra un tirage à part du compte-rendu comprenant les 4 parties. Pour les commandes, s'adresser au secrétariat général de l'ASE et de l'UCS, Seefeldstr. 301, Zurich 8. Plus tard, suivant la place disponible, les 3^{me} et 4^{me} parties paraîtront également dans le Bulletin.

²⁾ Voir compte-rendu dans le Bull. ASE 1932, No. 22, p. 565.

Der Vorsitzende, Herr Dr. h. c. M. Schiesser, Präsident des SEV, begrüsst die Anwesenden herzlich und gibt seiner Freude über den zahlreichen Besuch Ausdruck. Die letzte Diskussionsversammlung über Hochspannungsschalter wurde im Jahre 1932 von der Elektrotechnischen Abteilung der ETH organisiert ²⁾. Es ist daher wohl an der Zeit, dieses Thema wieder aufzugreifen. Wir werden heute einiges über die Fortschritte hören, die in den letzten 8 Jahren auf diesem Gebiete gemacht wurden, und wir werden über den heutigen Stand der Technik der Hochspannungsschalter orientiert.

Es schien zweckmässig, zunächst ein einführendes Referat zu hören, das allgemein und leichtverständlich die Probleme erörtert, die das Abschalten von Kurzschlüssen in Hochspannungsnetzen stellt. Es ist gelungen, hierfür Herrn Prof. Dr. E. Juillard zu gewinnen; Herr Prof. Juillard ist Präsident des Fachkollegiums 17 des CES, Hochspannungsschalter, und Präsident des Schalterkomitees der CIGRE. Dann werden wir über die Untersuchungen des aktuellen Problems der wiederkehrenden Spannung orientiert, hierauf kommen die Erfahrungen aus der Praxis zur Behandlung und schliesslich werden die Konstrukteure über ihre Erfolge und Pläne berichten.

¹⁾ Teil I und II erscheint in dieser Nummer. Dann wird ein Sonderdruck des ganzen, alle 4 Teile umfassenden Berichtes hergestellt. Bestellungen nimmt das Generalsekretariat des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, entgegen. Später erscheinen, nach Massgabe des Platzes, die Teile III und IV noch im Bulletin.

²⁾ Siehe Bericht im Bull. SEV 1932, Nr. 22, S. 565.

I^{ère} Partie.

Coup d'oeil général sur la technique actuelle des interrupteurs et les problèmes qu'elle pose.

Conférence donnée à la journée de discussion de l'ASE le 26 novembre 1938 à Berne,
par E. Juillard, Lausanne.

621.316.5

Dans cet exposé l'auteur décrit la complexité du problème de l'interrupteur en tenant compte des manifestations d'ordre physique donnant naissance à l'amorçage et à l'extinction de l'arc. Il décrit également les moyens employés pour l'extinction de l'arc et donne un aperçu du rôle joué par le réseau dans le fonctionnement de l'interrupteur. L'auteur termine par quelques considérations sur les travaux effectués par différentes associations nationales et internationales dans l'étude de ces différentes questions.

Es wird ein Ueberblick über das Schalterproblem gegeben, wobei der physikalische Mechanismus des Zustandekommens und Löschens des Lichtbogens und der bis heute angewandten Löschmittel besonders berücksichtigt werden. Der Einfluss des Netzes auf das Funktionieren des Schalters wird erklärt und es wird auf die technischen Gemeinschaftsarbeiten zur Erforschung dieser Fragen hingewiesen.

Quoi de plus simple, semble-t-il à première vue, que d'interrompre un courant électrique! Il suffit de couper le conducteur métallique, d'introduire

une solution de continuité en un endroit quelconque dans la structure du circuit. Et cependant, nul n'ignore à quelles manifestations souvent violentes

donne naissance l'arrêt ou la suppression d'un flux d'énergie électrique, opérée dans ces conditions, manifestations dont la plus frappante est l'apparition d'un arc électrique.

Pourquoi et comment un arc s'amorce-t-il entre les contacts d'un interrupteur?

Aussi longtemps que l'interrupteur reste fermé, les deux pôles en contact sont appuyés l'un sur l'autre avec une certaine pression. Cette pression entraîne de son côté une déformation élastique des surfaces métalliques, qui se raccordent ainsi sur une certaine étendue. Ainsi, par exemple, si les pôles ont la forme de sphères, l'appui de ces sphères se fait sur un petit cercle, dont le diamètre est d'autant plus grand que la pression est élevée. La résistance électrique d'un pôle à l'autre est minime, et le courant y passe sans développer, par effet Joule, une quantité de chaleur appréciable.

Mais si on diminue la pression qui serre les pièces de contact l'une sur l'autre, la surface d'appui commune diminue d'étendue, jusqu'à devenir un véritable «point mathématique». Les filets de courant sont obligés de se resserrer et de se concentrer de plus en plus sur une section infiniment petite. La résistance électrique croît rapidement, et par effet Joule, fait apparaître dans le voisinage immédiat de ce point de contact une quantité de chaleur de plus en plus importante. Bref, le contact passe successivement par tous les états qui vont du *bon* contact au *mauvais* contact.

Dans un interrupteur qui est en train de s'ouvrir, l'altération de la qualité du contact se déroule très rapidement. Dans cet ordre de phénomènes, le temps est à compter à l'échelle des millisecondes, voire des microsecondes. Et pourtant, le processus est malgré cela assez lent, pour que la chaleur produite et concentrée sur un espace minuscule, ait le temps de porter le dernier point de contact à une température élevée. Nous nous trouvons maintenant dans les conditions requises pour que l'arc apparaisse.

Les pièces de contact des interrupteurs sont généralement en cuivre. Du reste, lorsqu'il s'agit d'interrupteurs à grande puissance, les différents métaux dont dispose la technique ne présentent à cet égard que des différences insignifiantes. La température de fusion du cuivre est voisine de 1000 degrés (1083°). Une fois cette température atteinte, il faut bien peu de chaleur de plus, pour vaporiser le métal. De sorte que, au moment où les pièces de contact commencent à se séparer matériellement, il subsiste entre elles un petit pont de vapeur de cuivre, et le courant continue à passer.

Mais ce n'est pas tout. Un deuxième phénomène, beaucoup plus connu depuis l'apparition des lampes de TSF, vient s'ajouter au précédent. On sait qu'une surface métallique, lorsqu'elle est chauffée, émet des électrons, c'est-à-dire des quantités de petites charges électriques négatives. Ce phénomène, dit «d'émission thermoionique», est exploité dans la lampe de radio, dans laquelle le filament, la ca-

thode, chauffée, fonctionne comme générateur d'électrons. Les pôles de l'interrupteur eux aussi, grâce à leur température localement très élevée, émettent des électrons; et ceux-ci contribuent à rendre l'espace entre contacts conducteur.

En résumé: échauffement local intense des pièces de contact, vaporisation du métal et dégagement d'électrons contribuent à maintenir l'espace entre pôles conducteur. Le courant qui traverse cet espace offrant malgré tout une certaine résistance électrique, y dégage de la chaleur, et celle-ci contribue à assurer à l'arc la conductibilité nécessaire.

Citons quelques chiffres, pour fixer les ordres de grandeur. La densité de courant dans l'arc, considéré comme un cylindre de section constante s'appuyant sur les pôles, a été mesurée plusieurs fois et trouvée de l'ordre de 2000 à 3000 A/mm². A la surface de la pièce de contact, cette densité est certainement supérieure, mettons, de l'ordre de 5000 A/mm². Or, un fil de cuivre chargé à une densité de courant pareille s'échauffe à raison de 1000 degrés en 1/100 de seconde (tout refroidissement étant supposé exclus). On conçoit donc aisément que l'ouverture des contacts soit assez lente pour que la température de vaporisation du cuivre puisse être atteinte dans le cours de l'opération. Enfin, circonstance qui corrobore ces indications, la température de l'arc lui-même, mesurée directement, se trouve vers les 7000 degrés.

Pourquoi et comment l'arc s'éteint-il?

Au début de la séparation des contacts, l'arc, à la naissance duquel nous venons d'assister, se trouve littéralement à «l'abri des courants d'air»; il est protégé par les pôles, encore très voisins l'un de l'autre. La chaleur dégagée dans l'arc contribue à rendre l'espace entre contacts conducteur: nous dirons que la chaleur *ionise* cet espace, en comprenant dans ce terme l'ensemble des causes qui amènent ce résultat. De sorte que l'arc subsiste en se fournissant à lui-même la chaleur nécessaire à son existence.

Mais au fur et à mesure que les contacts s'éloignent l'un de l'autre, le milieu ambiant (air ou huile p. ex.) enlève une portion toujours plus grande de la chaleur produite. Plus les contacts s'éloignent, plus l'arc s'allonge, plus il donne prise à cet agent extérieur. Il arrive donc fatalement un moment où l'ambiance commence à enlever plus de chaleur qu'il ne s'en produit. A partir de ce renversement, le refroidissement de l'arc s'accroît, l'espace entre contacts est progressivement déionisé, l'arc diminue de plus en plus d'épaisseur et finalement s'évanouit.

Cette extinction de l'arc a vraiment le caractère d'un escamotage, car il est dû à une rupture d'équilibre entre chaleur dégagée et chaleur enlevée, rupture qui s'accroît d'autant plus rapidement qu'elle était déjà plus marquée.

La conclusion à tirer de ces faits est que d'une part, l'amorçage d'un arc entre contacts qui vont en se séparant, est chose *inévitabile, fatale* (sauf

entre la tension aux bornes et la rigidité diélectrique de l'espace entre contacts.

Illustrons par un graphique. Dans la fig. 1, (i) représente l'allure que conserverait l'onde du courant, si l'interrupteur n'existait pas. Par la séparation progressive des contacts, représentée par C_0, C_1, C_2, C_3 , l'interrupteur insère dans le circuit une résistance qui force le courant à diminuer un peu plus rapidement: i représente l'allure réelle du courant.

En P_0 , le courant s'est annulé. Supposons qu'il continue à rester nul. La tension aux bornes de l'interrupteur, u , est ce qu'on appelle la «tension d'arc»: elle apparaît dès le moment (C_0) où les contacts commencent à se séparer, et va en croissant, au fur et à mesure de leur éloignement.

En P_0 , il n'y a plus d'arc, puisque le courant est nul. Mais la tension subsiste, car elle est fournie par le réseau. Partant de P , elle va grandissant, selon la loi imposée par les caractéristiques du réseau (courbe « u »).

D'autre part, représentons la rigidité diélectrique de l'espace entre contacts par la tension u_r , qu'il faudrait appliquer aux contacts pour le crever. En P_0 , cette tension est représentée par l'ordonnée P_0P . Là, elle se confond avec la tension d'arc. Sous l'effet des dispositifs de refroidissement, cette tension u_r croît rapidement, et augmente suivant l'allure représentée par la courbe u_r . (Comme elle représente une tension de claquage, elle existe donc des deux côtés de l'axe des abscisses.)

Au début de cette course entre la rigidité diélectrique et la tension (u), la tension de claquage (u_r) est petite; l'espace entre contacts est encore chaud. Mais il se déionise rapidement, sous l'action des dispositifs de refroidissement. La tension entre contacts, petite, elle aussi, tant que l'arc a subsisté, et encore au moment où le courant a passé par zéro, resterait petite si le courant continuait à passer dans l'autre sens. Elle augmente par contre rapidement si le courant «hésite» en quelque sorte, à continuer. Et son allure d'augmentation dépend des éléments du réseau. Lequel des deux va l'emporter?

Si la rigidité diélectrique augmente plus rapidement que la tension, le courant restera définitivement coupé; la tension finira par atteindre la valeur de service du réseau. Mais si, au contraire, la tension augmente plus vite que la reconstitution du diélectrique, elle finira par crever ce diélectrique, réamorcer l'arc, et provoquer à nouveau le passage du courant.

Et nous nous retrouvons alors au même point qu'au départ: arc et courant à travers l'interrupteur, avec la différence cependant que, durant la demi-onde qui va suivre, les contacts sont plus éloignés et continuent à s'écarter. Au nouveau passage naturel du courant par zéro, les conditions de déionisation sont meilleures, et on peut espérer que cette fois-ci, c'est la rigidité diélectrique qui l'emportera, et que le courant restera définitivement coupé. Sinon, il faudra attendre qu'une nouvelle demi-onde ait passé, et ainsi de suite.

Or, si le refroidissement de l'arc, la déionisation de l'espace entre contacts est affaire de l'interrupteur, et des dispositifs ménagés sur lui à cet effet, la façon dont la tension réapparaît aux bornes de l'interrupteur, et livre assaut au diélectrique entre contacts, provient en tout premier lieu du réseau, de ses caractéristiques, de sa charge, des machines, transformateurs, inductivités et capacités qui s'y trouvent. Une certaine contribution à la vitesse de rétablissement de la tension est due néanmoins aussi à la façon dont le diélectrique se reconstitue entre contacts. Nous ne voulons pas nous étendre davantage sur ce point; qu'il nous suffise de relever que le rétablissement de la tension est d'autant plus «dur» pour l'interrupteur, que le réseau est plus inductif, ou que le facteur de puissance de la charge à couper est plus petit. Rappelons que tout le processus se déroule pendant la durée d'une demi-onde.

Pour pouvoir réaliser un interrupteur qui soit à la hauteur de sa tâche, le constructeur doit être en possession d'un certain nombre de renseignements qui touchent le réseau. Or, ces renseignements sont pratiquement assez difficiles à établir, ne serait-ce déjà que par la difficulté qu'il y a à les relever expérimentalement sur un réseau en exploitation. Aussi, les constructeurs ont-ils été amenés à réaliser dans leurs stands d'essai des installations fort coûteuses, dites «stations à grande puissance», grâce auxquelles ils sont à même de soumettre l'interrupteur à des conditions de fonctionnement au moins aussi difficiles que celles dans lesquelles l'interrupteur se trouvera placé plus tard.

Dans quelle mesure le contrôle en station à grande puissance, ignorant des conditions du réseau, donne-t-il à l'exploitant la garantie que son interrupteur se comportera convenablement chez lui? Bien qu'on puisse, en station, réaliser des conditions excessivement dures, encore faut-il être assuré que, sur le réseau, ces conditions ne seront jamais dépassées. Et cela ramène de nouveau à porter ses investigations sur les réseaux. Une première réponse à cette question est cependant actuellement fournie par la statistique. Le mauvais comportement d'un interrupteur contrôlé en station à grande puissance est actuellement chose excessivement rare.

D'autre part, l'importance de cette question a amené l'ASE à s'en préoccuper elle-même. Son comité d'étude des interrupteurs travaille depuis plusieurs années à ce problème. Dans ce même ordre d'idées, la CIGRE, qui siège à Paris tous les deux ans, a porté ces mêmes questions sur le plan international. La Suisse a le privilège de présider aux travaux du Comité international des interrupteurs, dont la tâche consiste à présenter finalement à la Commission Electrotechnique Internationale des bases concrètes pour une normalisation internationale. L'honneur en revient aux constructeurs et aux exploitants suisses: aux uns, c'est un hommage à leur talent; aux autres, c'est reconnaître le courage qu'ils ont montré, à plusieurs reprises, en prêtant leurs réseaux à des expériences très remarquées, et qui n'étaient pas sans inspirer bien des inquié-

tudes, si l'on songe aux nécessités impérieuses de l'exploitation.

Dans ce rapide exposé, bien incomplet d'ailleurs, j'ai essayé de vous montrer toute la complexité du problème de l'interrupteur; j'espère cependant vous avoir fait entrevoir aussi la beauté et la grandeur de cette lutte de l'ingénieur avec l'Energie, et

les satisfactions intellectuelles de haute classe qu'il éprouve chaque fois qu'il réussit à arracher à la Nature un de ses secrets.

Der Vorsitzende dankt Herrn Professor Juillard herzlich für das kurze, prägnante Referat, das in übersichtlicher Form die Grundlagen der Schaltertechnik in Erinnerung rief und das Wesentliche betonte.

II^{ème} Partie.

Die wiederkehrende Spannung bei Abschaltungen mit Hochspannungsschaltern.

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 26. November 1938 in Bern, von W. Wanger, Baden.

621.316.5.064.31

Die Methoden der Berechnung und der kurzschlusslosen Messung der wiederkehrenden Spannung werden mitgeteilt. Es wird auf die Abhängigkeit der Eigenfrequenzen von den Netzeigenschaften und der Anschlußstelle des Schalters eingegangen. Dann wird der Einfluss des Schalters auf die wiederkehrende Spannung behandelt. Zum Schluss werden die Abschaltversuche in den Schalterprüfanlagen betrachtet, besonders auch der Fall, in dem die Abschaltleistung des Schalters die ausnützbare Kurzschlussleistung der Prüfanlage übersteigt.

L'auteur expose les méthodes de calcul de la tension de rétablissement et sa mesure sans l'aide d'un court-circuit. Il étudie ensuite comment les fréquences propres dépendent des propriétés du réseau et de l'endroit où l'interrupteur est inséré. Il traite également de l'influence de l'interrupteur sur la tension de rétablissement. Finalement il donne quelques considérations sur les essais de coupure en plateforme, en particulier sur le cas où la puissance de coupure de l'interrupteur est supérieure à la puissance disponible en court-circuit dans l'installation d'essai.

1. Einleitung.

Von den zahlreichen Problemen, die sich bei der Konstruktion, der Prüfung und dem Betrieb von Hochspannungsschaltern stellen, möchte ich hier nur ein einziges herausgreifen: die wiederkehrende Spannung. Die damit zusammenhängenden Fragen sind wahrscheinlich noch am wenigsten abgeklärt

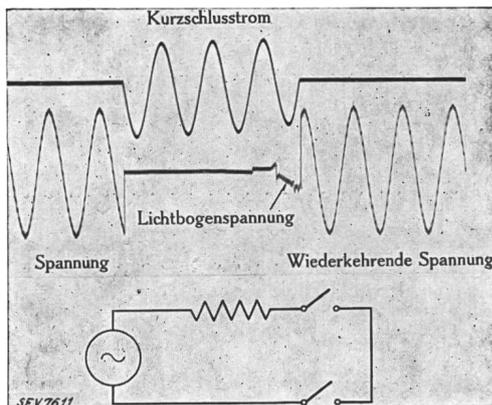


Fig. 1.

Schleifenoszillogramm einer Kurzschlussabschaltung.

und vielleicht auch am schwersten zu verstehen, so dass es sich rechtfertigt, sie in einem besonderen Vortrag zu Beginn der heutigen Tagung zu behandeln.

Fig. 1 zeigt das Schleifenoszillogramm einer Kurzschlussabschaltung. Infolge des Kurzschlusses bricht die Spannung an den Schalterklemmen auf null zusammen. Sobald sich die Kontakte trennen, erscheint an den Schalterklemmen die Lichtbogen-

spannung. Nach der endgültigen Unterbrechung des Kurzschlußstromes stellt sich wieder die volle Netzspannung ein. Dieser Teil der Spannungskurve heisst die wiederkehrende Spannung. Sie ist neben dem unterbrochenen Strom in erster Linie massgebend für die Beanspruchung des Schalters.

Die wiederkehrende Spannung hat vor einigen Jahren Anlass zu vielen Diskussionen gegeben. Ich erinnere nur an die Frage, welche wiederkehrende Spannung gewählt werden soll, wenn Dreiphasenschalter einphasig geprüft werden. Alle diese Streitfragen sind aber durch die Schalterregeln der CEI¹⁾ geregelt worden, so dass der niederfrequenten Teil der wiederkehrenden Spannung, der auf einem Schleifenoszillogramm sichtbar ist, heute vollständig abgeklärt erscheint.

Ich will mich daher mit dieser Seite der Aufgabe gar nicht befassen, sondern nur die hochfrequenten Vorgänge behandeln. Im Moment, wo der Kurzschlußstrom unterbrochen wird, scheint die Spannung plötzlich vom kleinen negativen Wert der Lichtbogenspannung auf ungefähr den Scheitelwert der wiederkehrenden Spannung anzusteigen. Eine plötzliche Spannungsänderung ist aber infolge der immer vorhandenen Kapazitäten nicht möglich. Die Aenderung erfolgt tatsächlich durch eine hochfrequente Schwingung, die jedoch auf dem Schleifenoszillogramm nicht sichtbar ist.

Die Schwingung kann dagegen mit dem Kathodenstrahloszillographen aufgenommen werden, wie Fig. 2 zeigt. Dieses Bild stellt einen kleinen Ausschnitt aus dem vorhergehenden Bild dar, jedoch in sehr grossem Zeitmaßstab. Der scheinbar plötzliche Spannungsanstieg ist im zweiten Bild so aus-

¹⁾ Fascicule 56 de la CEI.