

# Les disjoncteurs à air comprimé et à gaz

Autor(en): **Petitpierre, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :  
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen  
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes  
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **53 (1962)**

Heft 8

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916923>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

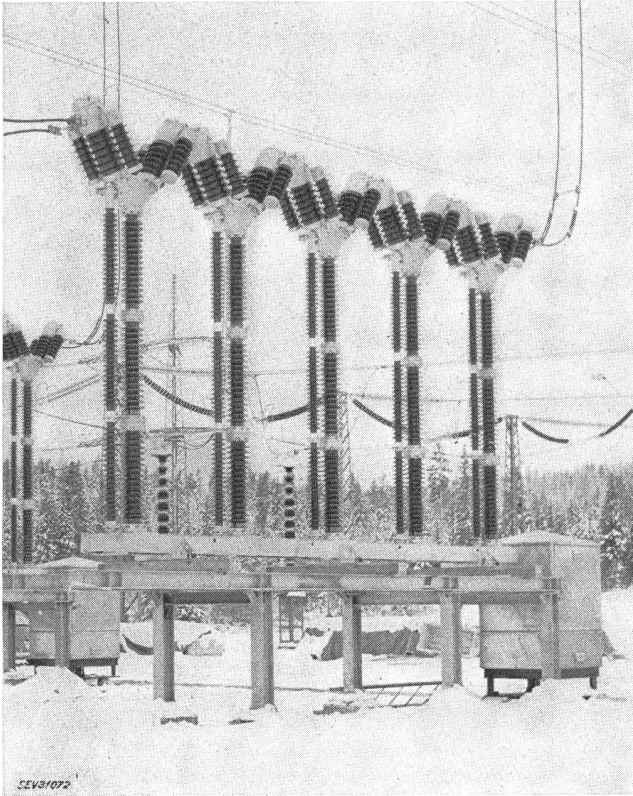


Fig. 14  
Ölarmer Schalter mit Vielfachunterbrechung für 420 kV  
in Schweden

Die erwähnte Sicherheit liess erwarten, dass die Versuche für den Schaltfall des Abstandskurzschlusses günstig verlaufen würden. Beide erwähnten Typen haben dies für eine Sammelschienenkurzschlussleistung von 10 000 MVA bestätigt. Fig. 12 zeigt die hochfrequente Einschwingspannung während einer O - CO Schaltfolge dieser Leistung mit 0,5...3 km Leitung in Fontenay. Im Gegensatz zu den meist veröffentlichten Prinzipskizzen kann aus diesem schönen Oszillogramm die Abrundung der «Sägezähne» deutlich festgestellt werden.

Auch die Abschaltung eines induktiven Stromkreises von 90 A wurde erprobt. Dank dem Parallelwiderstand beträgt die Überspannung nur 1,6.

Als letztes Oszillogrammbeispiel sei Fig. 13 angeführt. Es ist dies eine O - CO Schaltung aus einer Versuchsserie mit Strömen von 34 kA. Dieser schwierige Schaltfall wurde weit über der normalen Abschaltleistung durchgeführt und zeigt, dass der ölarmer Schalter diesbezüglich auch zukünftigen Forderungen gerecht werden kann.

## 8. Schlussbemerkungen

Die neuen Typen von Freiluftschaltern in ölarmer Bauart weisen für Höchstspannungen Mehrfachunterbrechung und ein Abschaltvermögen bei 245 kV von 10 000...12 000 MVA auf. Gleichzeitig ist es gelungen, auf die wichtigen Forderungen der Rückzündungsfreiheit, der Eigenfrequenzsicherheit und der Prüfbarkeit Rücksicht zu nehmen. Dem Problem der wiederkehrenden Spannungen, hohe Eigenfrequenz und Abstandskurzschluss bei allen Leistungsstufen, kommt hierin eine besondere Bedeutung zu, da in den letzten Jahren festgestellt wurde, dass die tatsächlichen Netzverhältnisse bei allen Kurzschlussleistungen wesentlich strenger sein können, als dies auf Grund der Vorschriften und Normen bisher angenommen wurde. Die Lichtbogenlöschung in Flüssigkeiten hat diesbezüglich hervorragende Eigenschaften. Die durch die Vielfachunterbrechung herbeigeführte Horizontalbauweise passt sehr gut zum modernen Konzept des Schaltanlagenbaues mit Pantographentrennern und oben angeordneten Sammelschienen.

Als erfreulich darf unterstrichen werden, dass es der Schweizer Industrie gelungen ist, wie bereits beim ersten ölarmer 420-kV-Schalter, auch diesmal bei den ersten 245- und 420-kV-Schaltern der Vielfachunterbrechungstypenreihe eine Pionierleistung zu vollbringen. Schalter der gezeigten Typenreihe sind seit einiger Zeit im In- und Ausland im Betrieb (Fig. 14).

### Adresse des Autors:

A. W. Roth, dipl. Ingenieur, Direktor der Sprecher & Schuh AG, Aarau.

## Les disjoncteurs à air comprimé et à gaz

Conférence donnée à l'Assemblée de discussion de l'ASE, les 30 et 31 janvier 1962 à Zurich,  
par R. Petitpierre, Baden

621.316.57.064.45—742

*Les disjoncteurs d'extérieur à air comprimé ont révélé des qualités évidentes dès le début de leur production industrielle. Les travaux de recherche poursuivis en Suisse dans ce domaine depuis une trentaine d'années ont élevé ces appareils à un haut niveau de qualité et de performances. Les expériences faites avec les disjoncteurs actuels de fabrication courante sont décrits. Une nouvelle construction conçue pour des pouvoirs de coupure très élevés est présentée. Quelques considérations sur le disjoncteur à hexafluorure de soufre établissent la situation actuelle dans le domaine plus général du disjoncteur à gaz.*

*Druckluftschalter für Freiluft zeigten schon am Anfang ihrer industriellen Erzeugung hervorragende Eigenschaften. Seit etwa 30 Jahren wurden in der Schweiz bedeutende Entwicklungsarbeiten in diesem Gebiet durchgeführt, dank welchen solche Apparate einen hohen Qualitätsgrad erhalten haben und die höchsten Ansprüche erfüllen. Die Erfahrungen mit den heutigen Schaltern aus laufender Fabrikation werden beschrieben. Eine neue Ausführung für sehr hohe Ausschaltleistung wird erwähnt. Mit einigen Betrachtungen über den SF<sub>6</sub>-Schalter wird die heutige Lage im allgemeinen Gebiet des Druckgasschalters festgelegt.*

### I. Aperçu historique

Les premiers travaux de recherche de grande envergure entrepris en Suisse dans le domaine du disjoncteur pneumatique datent d'il y a une trentaine d'années. Des appareils moyenne tension ont été

réalisés tout d'abord, appréciés pour leur pouvoir de coupure élevé et l'abandon de tout élément liquide à proximité de l'arc. Des essais systématiques ont permis alors de mettre au point un dispositif d'interruption très simple. Son principe (fig. 1) n'a cessé de

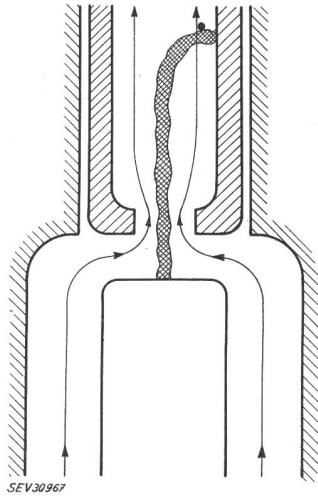
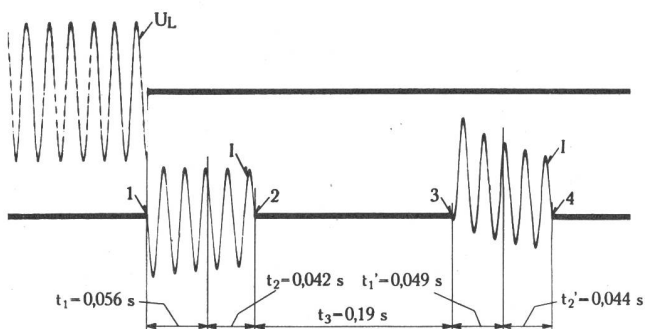
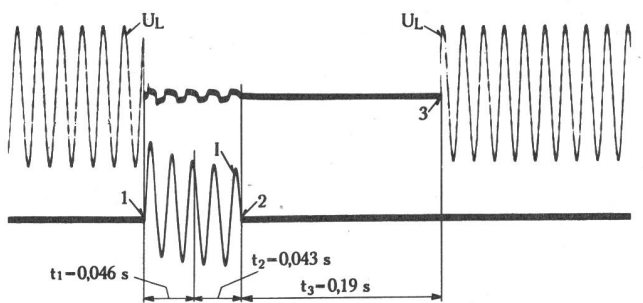


Fig. 1  
Principe de coupure des disjoncteurs à air comprimé  
Un arc de longueur réduite est balayé énergiquement

confirmer ses avantages et sert de base à la construction des disjoncteurs les plus modernes. Un arc s'établit lors de la séparation d'un contact massif et d'un contact creux. Un jet d'air comprimé longe le premier contact et traverse le second. Il fait pénétrer l'arc dans la tuyère, l'y maintient et le balaye énergiquement dans le sens longitudinal. Cet arc s'éteint à la première occasion d'un passage du courant par zéro. L'air com-



SEV 30968

$U_{L\text{eff}} \approx 150 \text{ kV}$ ,  $I_{\text{eff}} \approx 2200 \text{ A}$

Fig. 2

Oscillogrammes relevés lors de cycles de réenclenchement rapide effectués par l'un des premiers disjoncteurs pneumatiques d'extérieur apparus sur le marché

Oscillogramme supérieur: défaut fugitif

Oscillogramme inférieur: défaut permanent

$U_L$  tension sur la ligne;  $I$  courant coupé;  $t_1, t_1'$  temps propre des relais;  $t_2, t_2'$  durée d'ouverture du disjoncteur;  $t_3$  temps mort d'ouverture

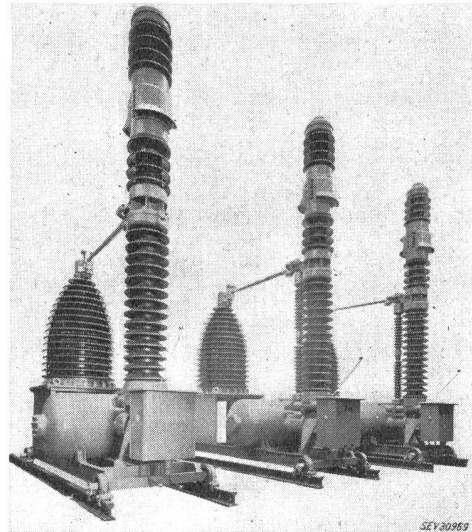


Fig. 3  
Premier modèle de disjoncteur à 150 kV apparu sur le marché

primé s'échappe entièrement à l'air libre et entraîne avec lui, dès qu'elle apparaît, toute impureté produite par l'arc. Il en résulte un niveau élevé et bien établi de la rigidité diélectrique entre contacts immédiatement après l'interruption du courant. D'autre part, le pouvoir de coupure n'est pas altéré, même après un grand nombre de manœuvres sur court-circuit.

La production industrielle de disjoncteurs pneumatiques d'extérieur a débuté quelques années avant la dernière guerre. La rapidité de fonctionnement de ces appareils a permis alors aux exploitants de réaliser et d'expérimenter le réenclenchement ultrarapide (fig. 2). Ces oscillogrammes ont été relevés lors de l'essai d'un des premiers disjoncteurs pneumatiques à 150 kV. On voit à la partie supérieure l'allure du courant et de la tension lors du déclenchement d'un court-circuit suivi d'un réenclenchement réussi. L'oscillogramme de la partie inférieure a été relevé lors d'une même opération, le défaut étant cependant permanent. Le disjoncteur a coupé une seconde fois le court-circuit. Le temps d'ouverture inférieur à 0,05 s et le temps mort d'environ 0,2 s sont comparables avec les exigences les plus sévères posées actuellement.

Cette avance prise sur la technique usuelle ne pouvait être que de nature à stimuler les constructeurs et, depuis lors, l'intensité des efforts de recherche n'a cessé d'aller croissant. Le disjoncteur de cette époque (fig. 3) n'a, si l'on en juge par son aspect extérieur, plus grand chose de commun avec celui qui, apparu sur le marché quelque 10 ans plus tard, est beaucoup plus léger et deux fois plus puissant (fig. 4). La technique de coupure est pourtant restée la même. On a successivement appliqué le principe de l'interruption multiple, apporté les moyens propres à répartir uniformément la tension de rétablissement et enfin, rationalisé la construction.

## 2. Les disjoncteurs pneumatiques actuels

Le disjoncteur de la fig. 4 a été conçu de manière à présenter une grande sécurité en toute condition d'exploitation. Il se compose d'éléments standards interchangeable tels le bloc de commande, la soupape principale, la chambre de coupure, les résistances de répartition et leur contact, et peut être assemblé sans outillage spécial à l'endroit de son installation. Les

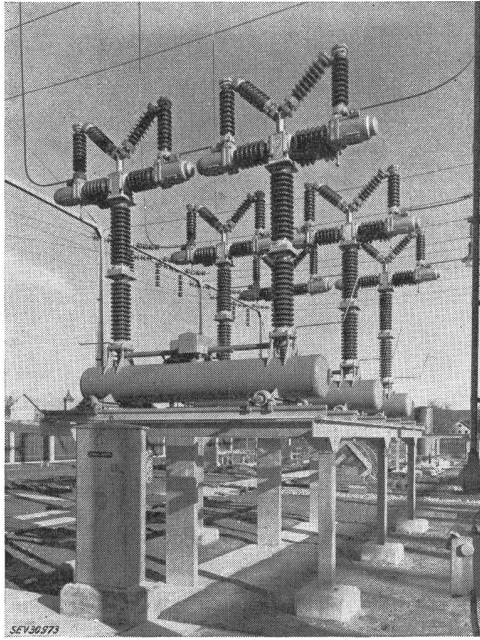


Fig. 4

Disjoncteur pneumatique moderne à 150 kV et 3500 MVA

parties mobiles sous tension sont strictement localisées dans la chambre de coupure. Légères, elles se déplacent le long d'un axe commun. Un seul canal d'amenée d'air comprimé, constitué par les porcelaines creuses, les relie aux organes de commande situés à la base.

L'air comprimé, dont l'admission dans la chambre de coupure suffit à opérer l'ouverture, est ici d'un usage universel (fig. 5). Cet oscillogramme permet de confronter avec les grandeurs électriques le mouvement de la tuyère et la variation de la pression d'air dans la chambre d'extinction lors de la coupure d'un court-circuit. L'air comprimé accélère le contact mobile, puis en réabsorbe l'énergie cinétique en fin de course. En même temps qu'il éteint l'arc et balaye l'espace entre contacts, il joue pour ainsi dire le rôle du sable dans un sablier, déterminant l'instant où le soufflage peut être interrompu. Le contact, terminé en aval par l'assiette de la soupape d'échappement, poursuit alors sa course

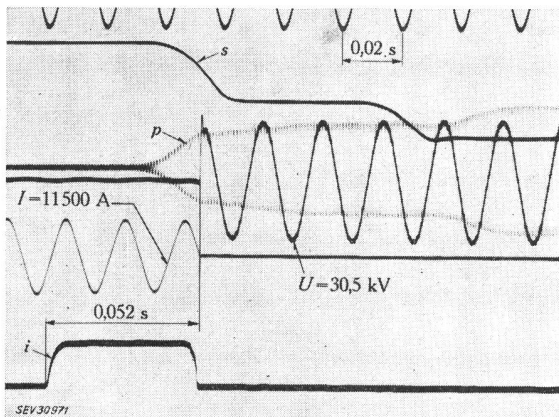


Fig. 5

Oscillogramme relevé lors de la coupure d'un court-circuit par le disjoncteur de la fig. 4

*s* mouvement du contact mobile; *p* pression d'air dans la chambre de coupure; *I* courant coupé; *U* tension de rétablissement; *i* courant dans la bobine de commande

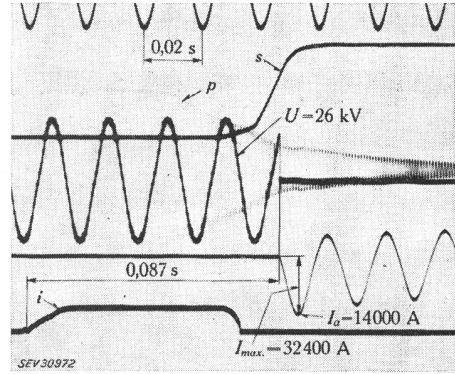


Fig. 6

Oscillogramme relevé lors de la fermeture sur un court-circuit opérée par le disjoncteur de la fig. 4

*U* tension entre contacts; *I* courant établi  
D'autres indications voir fig. 4

jusqu'à la fermeture de cette soupape. Grâce à la souplesse de l'air comprimé, le dimensionnement très large des organes moteurs n'enlève rien à la régularité du mouvement, qui se déroule sans heurts et sans usure appréciable. Le phénomène de l'extinction d'arc étant d'autre part rapide et précis, le disjoncteur se comporte de manière constante pendant toute sa longue période d'exploitation.

L'air comprimé joue également un rôle varié lors de la fermeture (fig. 6). Il contribue à l'accélération du contact et en assure le freinage rapide et pondéré. Il retarde, par sa rigidité diélectrique, l'amorçage de l'arc. Réduit à l'extrême dans sa durée, celui-ci n'altère pratiquement pas la chambre de coupure. En outre, la conductibilité entre contacts est régénérée à chaque opération de fermeture grâce à la pression, à la fois très intense et contrôlée, qu'exerce la commande pneumatique.

Les éléments standardisés qui constituent le disjoncteur se retrouvent identiquement dans toute la gamme

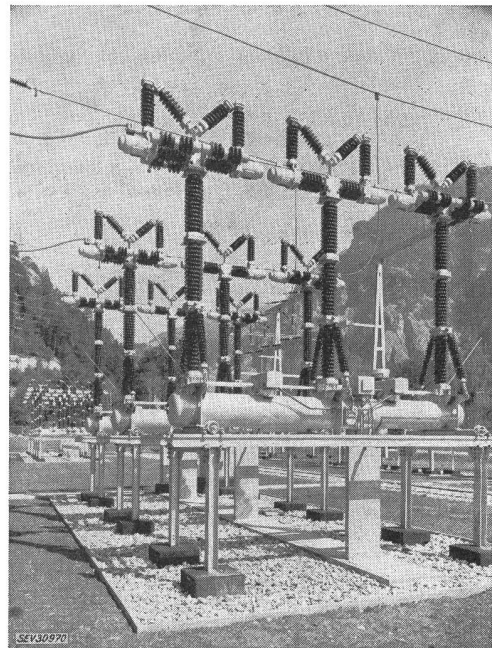


Fig. 7

Disjoncteur à 220 kV, 5000 MVA

Il est composé des mêmes éléments que celui de la fig. 4

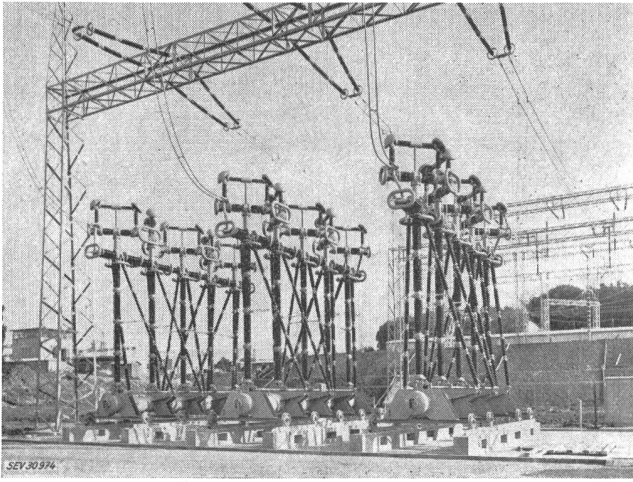


Fig. 8  
Disjoncteur à 420 kV, 20 000 MVA

des modèles conçus pour les différentes tensions de service (fig. 7). C'est un appareil à 220 kV, 5000 MVA, qui bénéficie des expériences d'atelier et d'exploitation communes à toute la série. Environ 5000 appareils de ce genre sont aujourd'hui en service, dont une part depuis une douzaine d'années, ce qui représente quelque 70 000 chambres de coupure du même type. Les expériences de service excellentes rassemblées ainsi dans toutes les parties du monde, dans les conditions d'exploitation et de surveillance les plus diverses, constituent la meilleure preuve du niveau de qualité atteint.

Des disjoncteurs de plus grandes dimensions, mais à peu près de même encombrement, ont été conçus selon les mêmes principes pour des intensités nominales et des pouvoirs de coupure plus élevés. Les quelque 1200 appareils de cette seconde catégorie mis en service jusqu'ici fonctionnent également d'une manière très satisfaisante. Fig. 8 montre le modèle le plus puissant qui assure depuis plus de 4 ans la protection de la première transmission à 380 kV construite en Allemagne occidentale, dans le réseau de la Rheinisch-Westphälische Elektrizitätsgesellschaft AG. Le pouvoir de coupure de cet appareil atteint 20 000 MVA si l'on se réfère à un court-circuit triphasé mis à la terre dans un réseau dont le neutre est effectivement à la terre (la tension de rétablissement dans la première phase qui coupe ne dépassant pas 1,3 fois la tension de phase). Ce pouvoir de coupure a pu être vérifié expérimentalement (fig. 9) en appliquant à une chambre de coupure la contrainte correspondante. Ces trois oscillogrammes ont été relevés à la Station d'essai de l'Electricité de France lors d'une série de 6 coupures faites sans révision intermédiaire. L'oscillogramme situé en haut révèle une durée d'arc de 0,2 période seulement. Celui situé au milieu correspond à une coupure au cours de laquelle un intervalle encore plus court était intercalé entre la séparation des contacts et le prochain passage du courant par zéro. La distance entre contacts étant alors trop faible, l'arc s'est éteint après 0,6 période. L'oscillogramme du bas a été relevé à balayage rapide lors de cette dernière coupure. L'allure des courants et des tensions ne présentent aucune ambiguïté. La tension d'arc est très faible et la tension de rétablissement reflète l'oscillation libre du réseau. La transition est extrêmement rapide entre la parfaite conductibilité du disjoncteur fermé et l'isole-

ment sûr du disjoncteur ouvert. Dans ces conditions, on peut déterminer par le calcul le degré d'efficacité des résistances shunt. Ainsi, les disjoncteurs décrits sont équipés de résistances de valeur élevée qui répartissent uniformément sur les chambres de coupure d'un pôle la tension transitoire de rétablissement. Ces oscillogrammes correspondent donc à la coupure par le disjoncteur complet d'un courant de 25 kA sous une tension de réseau de 460 kV, soit d'une puissance de 20 000 MVA en chiffre rond.

La répartition uniforme de la tension a été vérifiée expérimentalement par plusieurs moyens. Lors d'un essai direct à la centrale de Grand Coulee, aux Etats Unis, un disjoncteur à 220 kV, 7500 MVA, composé de 8 chambres de coupure par pôle, a révélé une grande sécurité de fonctionnement au niveau du pouvoir de coupure établi précédemment sur la base d'essais sur une chambre. Une conclusion semblable a été tirée récemment d'un essai effectué sur un disjoncteur à 4 chambres à la nouvelle station de la Kema. Enfin, l'opération délicate a pu être menée à bien de mesurer des tensions de rétablissement partielles lors de la coupure d'un court-circuit par un pôle de disjoncteur composé de 10 chambres (fig. 10). La tension entre les bornes de la chambre côté alimentation est la différence entre les

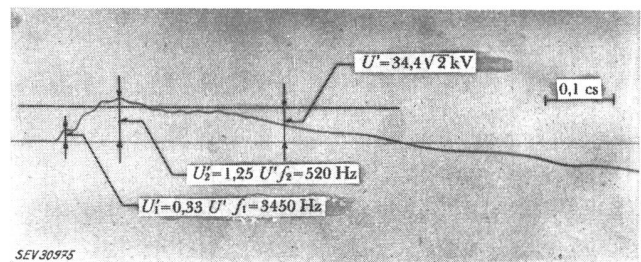
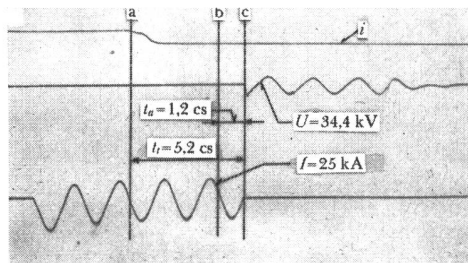
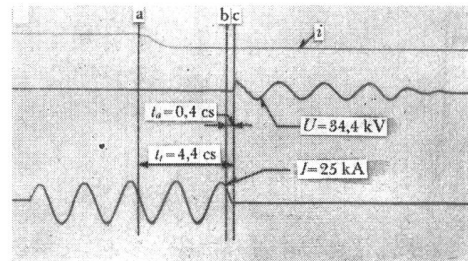


Fig. 9  
Oscillogramme relevé lors de l'essai d'une chambre de coupure du disjoncteur de la fig. 8

a début de l'ordre d'ouverture; b séparation des contacts; c extinction de l'arc; U tension de rétablissement; I courant coupé; i courant dans la bobine de commande;  $t_a$  durée d'ouverture;  $t_i$  durée d'arc;  $U'$  valeur de crête de la tension de rétablissement à fréquence industrielle;  $U'_1, f_1, U'_2, f_2$  quatre paramètres propres à définir la tension transitoire de rétablissement

Oscillogrammes extraits du compte rendu d'essai de l'EdF, Fontenay, HLA 2382 du 7 septembre 1956 (série 1, essais 5 et 7)

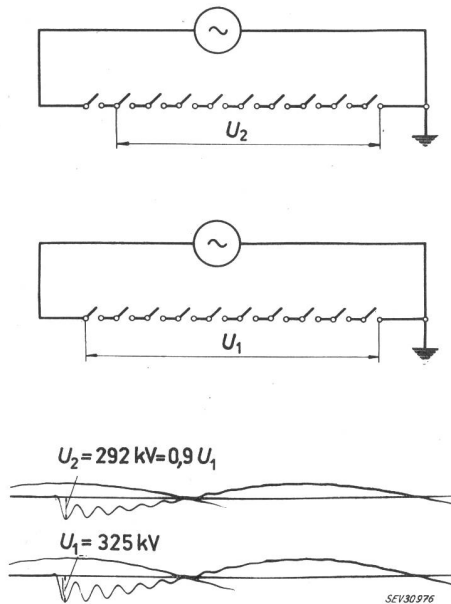


Fig. 10

Oscillogramme relevé lors de mesures de la répartition de la tension sur un disjoncteur semblable à celui de la fig. 8  
 $U_1$  tension de rétablissement totale;  $U_2$  tension de rétablissement partielle

deux tensions mesurées. Elle se maintient tout au long de son oscillation, en particulier au moment de sa première crête, au dixième de la valeur instantanée de la tension totale. Des mesures faites à d'autres jonctions entre deux chambres ont donné des résultats semblables.

De nombreux essais effectués directement dans les conditions d'exploitation, en mettant un réseau à contribution, ont permis de vérifier la nature universelle des disjoncteurs pneumatiques décrits. Il faut y ajouter plusieurs essais de grande envergure effectués en Amérique du Nord. Toutes les expériences ainsi accumulées ont apporté à l'exploitant et au constructeur des renseignements précieux sur le comportement du réseau, du disjoncteur et sur leurs influences mutuelles. Elles englobent des essais de court-circuit dans différentes conditions de réseaux, des mises au point du réenclenchement rapide, des essais de défauts évolutifs, des coupures de lignes à vide, de batterie de condensateurs, de transformateurs à vide ou en charge inductive. Plusieurs de ces essais ont été les premiers de leur genre; ainsi, en 1952, les essais de mise en service de la première transmission à 380 kV en Suède et d'autre part, en 1956, à la station de Mettlen, les premiers essais de coupure de défauts kilométriques. Dans les circonstances les plus diverses, les disjoncteurs se sont comportés de manière très satisfaisante.

Le résultat le plus important de ces épreuves sur le terrain a été la confirmation de ce qu'un dimensionnement judicieux avait été prévu à l'égard des petits courants capacitifs et inductifs. Les disjoncteurs décrits coupent sans réamorçage les lignes à vide dans les circonstances les plus critiques (fig. 11). Cet oscillogramme a été relevé lors de la coupure d'une ligne à vide de 828 km de longueur alimentée à la tension de 230 kV entre phases. La tension  $U_{0N}$  a été mesurée sur la borne du disjoncteur côté alimentation, la tension  $U_{0L}$  sur la borne côté ligne. Celle-ci oscille après la coupure, les conditions d'équilibre de la charge le long de la ligne s'étant modifiées notablement. Cette oscil-

lation d'amplitude  $U_W$  modifie l'allure de la tension de rétablissement  $\Delta U_0$  dans le sens d'une pente initiale et d'une valeur de crête notablement accrues. Il s'agit ici d'une coupure effectuée sans réamorçage par un disjoncteur à 220 kV non muni de résistances de répartition. Une sécurité beaucoup plus grande est acquise lorsque les résistances du disjoncteur normal répartis-

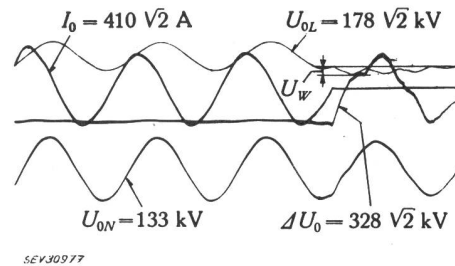


Fig. 11

Oscillogramme relevé lors de la coupure d'une ligne à vide de 828 km par un disjoncteur à 220 kV non muni de résistances de répartition

$U_{0L}$  tension sur la ligne;  $U_{0N}$  tension du réseau d'alimentation;  $\Delta U_0$  tension entre bornes d'entrée et de sortie d'un pôle de disjoncteur;  $I_0$  courant coupé;  $U_W$  amplitude de l'onde mobile  
 Oscillogramme extrait du compte rendu d'essai de l'EdF, Fontenay, HLA 27 du 30 janvier 1950 (série 5, essai 5)

sent uniformément la tension sur les chambres de coupure. Cette marge supplémentaire est nécessaire dans des conditions d'exploitation critiques, où la tension de service peut s'élever momentanément bien au-dessus de la tension normale du réseau. Des essais effectués dans un réseau canadien à 300 kV l'ont montré d'une manière particulièrement évidente. Des circonstances ont pu être reproduites dans lesquelles la tension de service dépassait de quelque 70 % la tension normale. Après la coupure, par surcroît, des phénomènes transitoires se manifestaient, de nature à favoriser notablement des réamorçages dangereux. Le disjoncteur essayé a fonctionné sans réamorçage même lorsque, pour établir la sécurité disponible, on a shunté sur chaque pôle deux des 8 chambres qui le composent.

En ce qui concerne les surtensions produites lors de la coupure de petits courants inductifs, les résistances de répartition sont conçues de manière à les amortir efficacement dans les conditions les plus critiques. Cette conclusion n'a pu être tirée avec certitude que sur la base d'un grand nombre d'essais, car ces surtensions dépendent de la nature du réseau dans une large mesure. Elles sont d'ordinaire limitées à des valeurs très inférieures au niveau d'isolement.

### 3. Nouveau développement de disjoncteurs de pouvoir de coupure très élevé

Le principe de disjoncteurs décrits a permis de se conformer jusqu'à ces dernières années aux exigences croissantes concernant les pouvoirs de coupure. Aujourd'hui encore, la plupart des demandes s'inscrivent dans le cadre des appareils de cette conception. Cependant, les puissances de court-circuit qui seront développées dans plusieurs réseaux suisses et étrangers projetés actuellement exigent l'emploi d'appareils plus fortement dimensionnés. A la tension de 220 kV par exemple, il sera nécessaire de disposer très prochainement de pouvoirs de coupure nettement supérieurs à 10 000 MVA. Cet état de choses a motivé le développement d'une nouvelle série d'appareils.

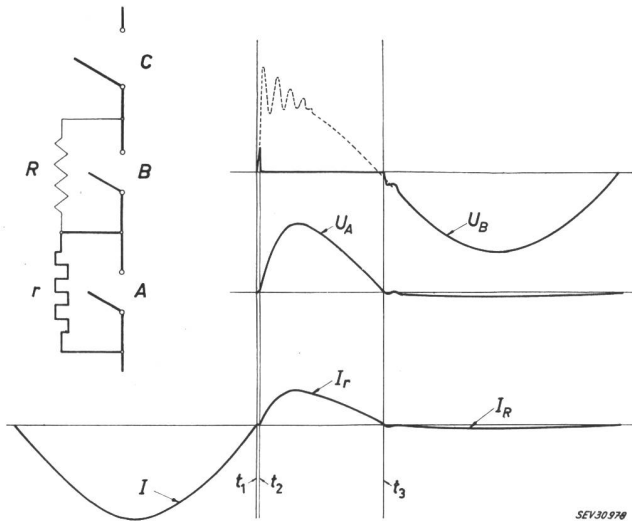


Fig. 12

Principe de coupure d'un nouveau modèle de disjoncteur de pouvoir de coupure très élevé

A, B chambres de coupure; C chambre d'isolement;  $r$  résistance de faible valeur;  $R$  résistance de valeur élevée;  $U_A$  tension de rétablissement aux bornes de la chambre A;  $U_B$  tension de rétablissement aux bornes de la chambre B;  $I$  courant coupé;  $I_r$  courant résiduel dans la résistance de faible valeur;  $I_R$  courant résiduel dans la résistance de valeur élevée;  $t_1$  extinction de l'arc;  $t_2$  réamorçage dans la chambre B;  $t_3$  coupure du courant résiduel  $I_r$ .

L'envergure et la direction données à ce développement, le principe et la forme des nouveaux appareils ont été déterminés par un certain nombre de considérations essentielles. Tout d'abord, pour éviter de se trouver à bout de souffle après quelques années, il convenait de placer le seuil à franchir au niveau d'un pouvoir de coupure de 40 000 A au moins, soit au-delà du triple de ce qui était valable il y a une douzaine d'années. D'autre part, il importe que le niveau de qualité atteint soit maintenu, tant au point de vue mécanique qu'électrique. Or, le meilleur moyen de satisfaire à cette condition consiste à se maintenir le plus possible, en ce qui concerne le détail de la construction, sur une voie traditionnelle. Il convient à cet effet d'appliquer dans une mesure encore plus large les principes de coupure éprouvés qui ont conduit à la division du disjoncteur en un certain nombre d'éléments standardisés de dimensions réduites. La conception de ceux-ci s'appuie sur une longue expérience et le constructeur en contrôle parfaitement bien le comportement. En allant trop loin dans cette voie, on risquerait cependant de s'écarter de l'optimum économique. Deux moyens simples ont permis d'éviter cet écueil: l'augmentation de la pression d'air et l'application de résistances shunt de faible valeur. L'efficacité et le bon fonctionnement de telles résistances sont bien connus dans le domaine de la moyenne tension. D'autre part, grâce au contrôle parfait des mouvements que permet de réaliser l'air comprimé, une augmentation de la pression n'enlève rien à la sécurité mécanique. Ceci a été prouvé par l'essai d'endurance à la pression de 26 kg/cm<sup>2</sup> d'un disjoncteur de série construit pour une pression nominale de 15 kg/cm<sup>2</sup>. Seules quelques modifications de détail ont dû être opérées pour que le degré d'usure se maintienne au faible niveau normalement rencontré.

Un principe de coupure a été conçu en partant de ces considérations, selon lequel les sollicitations sont non seulement divisées par l'application de l'interruption multiple, mais sont en outre distribuées suivant

leur nature à des chambres de coupure spécialisées. Cette distribution s'opère de la manière suivante (fig. 12). Les chambres A et B du schéma de gauche sont les chambres de coupure proprement dites. La première est shuntée par une résistance de faible valeur, la seconde par une résistance de valeur élevée. Elles sont identiques et de mécanisme très simple, s'ouvrent simultanément et se referment à la fin d'une opération de coupure. La chambre C s'ouvre avec un certain retard et n'interrompt que le courant résiduel de la résistance de valeur élevée. Par contre, elle assume l'isolement à l'état d'ouverture et la fermeture sur court-circuit.

Les diagrammes de ce cliché montrent comment varie le courant de court-circuit  $I$ , les courants résiduels  $I_r$  et  $I_R$  et les tensions de rétablissement  $U_A$  et  $U_B$  entre les bornes des chambres de coupure A et B. Le courant de court-circuit est interrompu en  $t_1$ . La tension de rétablissement est tout d'abord localisée sur la chambre B, car le potentiomètre constitué par les deux résistances shunt est réglé au détriment de celle-ci. Si les conditions de réseau sont très sévères, cette chambre réamorçage à l'instant  $t_2$ . La fonction de supporter la tension de rétablissement est transmise à la chambre A. Cependant, la résistance de faible valeur amortit très efficacement le phénomène transitoire. Indépendamment des conditions de réseau, la tension de rétablissement se maintient dans un domaine où la chambre est exempte de toute défaillance. Le courant résiduel  $I_r$  est interrompu à son premier passage à zéro, c'est-à-dire à l'instant  $t_3$ , par la chambre B. Ainsi, la résistance de faible valeur est sollicitée pendant une durée réduite à l'extrême. Le courant résiduel  $I_R$  dans la résistance de valeur élevée circule encore. Il sera interrompu par l'ouverture temporisée de la chambre C. Cette résistance a pour but d'amortir les surtensions lors de la coupure de petits courants inductifs. En outre, en répartissant la tension de rétablissement entre plusieurs chambres de type B dont se compose un disjoncteur à très haute tension, elle confère à celui-ci de hautes

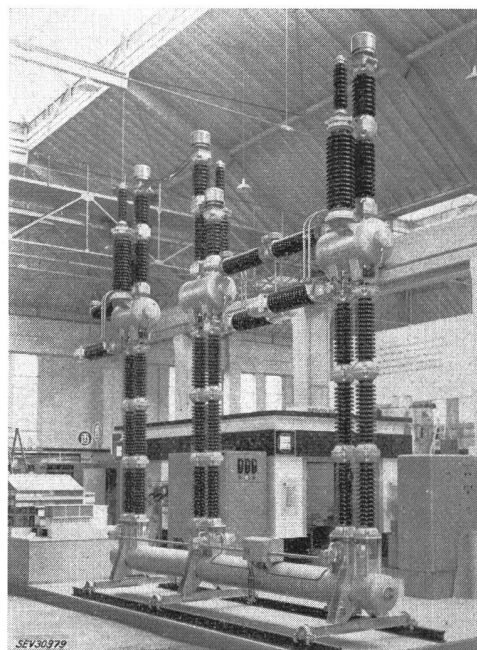


Fig. 13

Pôle de disjoncteur à 245 kV, 16 000 MVA

qualités en ce qui concerne la coupure des lignes à vide et l'opposition de phase.

Le premier disjoncteur réalisé selon ce principe est destiné à la station de Breite, installée par la Société des Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse (fig. 13). Sa tension nominale est de 245 kV, son pouvoir de coupure de 16 000 MVA et son intensité nominale de 2000 A. Tenant compte des variations possibles dans un réseau étendu, il est capable de fonctionner correctement à une tension permanente surélevée à 275 kV.

Un pôle de ce disjoncteur se compose de trois unités semblables. On reconnaît sur chaque unité les deux chambres de coupure shuntées l'une par une résistance de faible valeur, l'autre par une résistance de valeur élevée, puis la chambre qui assure l'isolement. Ces éléments sont comparables dans leurs dimensions et leur conception à ceux des disjoncteurs construits précédemment. La résistance de faible valeur, élément statique, a été dimensionnée très largement. Elle supporte un cycle d'au moins 6 coupures à pleine puissance échelonnées dans un court intervalle de temps.

Chaque chambre de coupure est commandée par une soupape principale. Celle-ci, encastrée dans le réservoir d'air situé au sommet de la colonne-support, assure d'excellentes conditions d'écoulement. Le réservoir de base n'apporte qu'un appoint d'air lors d'un cycle de réenclenchement rapide. La colonne-support se compose de deux isolateurs creux dont l'un assure une liaison permanente entre les réservoirs, l'autre la commande. Mis sous pression, celui-ci provoque l'ouverture; inversement, sa vidange provoque l'opération de fermeture. Les organes de commande situés à la base sont empruntés à un modèle connu de disjoncteur.

Le modèle pour 170 kV se compose de deux unités et coupe 10 000 MVA. Il est aisé de concevoir comment se présente un disjoncteur à 420 kV composé de 5 colonnes. A ce niveau de tension, la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement dont on doit tenir compte n'est guère plus élevée que dans des réseaux de tension inférieure. Comme cette contrainte est répartie entre un grand nombre de chambres, on peut supprimer les résistances de faible valeur et obtenir une construction particulièrement économique. En ce qui concerne les qualités de coupure dans leur ensemble, rien ne limite la possibilité de construire des disjoncteurs pour des tensions beaucoup plus élevées encore.

Des disjoncteurs d'un pouvoir de coupure situé vers 40 000 A ne seront installés, fréquemment, qu'en prévision de l'état futur du réseau. La souplesse du principe adopté permet de faire intervenir dans ces circonstances un appareil simplifié, économique et de pouvoir de coupure adapté au stade initial du réseau, susceptible d'être transformé ultérieurement pour augmenter son pouvoir de coupure. Cette transformation se réduit à l'adjonction d'éléments complémentaires standardisés (fig. 14). On reconnaît au haut de cette esquisse à gauche le schéma du disjoncteur normal. Deux stades de simplification sont repérés par les chiffres romains II et III. Le diagramme disposé à la droite de chaque schéma représente la tension de rétablissement correspondante. En premier stade, on remplace la résistance de faible valeur par une résistance de valeur élevée. La tension de rétablissement s'accroît plus rapidement, mais a une amplitude un peu réduite. Le disjoncteur est capable de couper dans ces conditions au moins les  $\frac{2}{3}$  de son pouvoir de coupure nominal. En second stade,

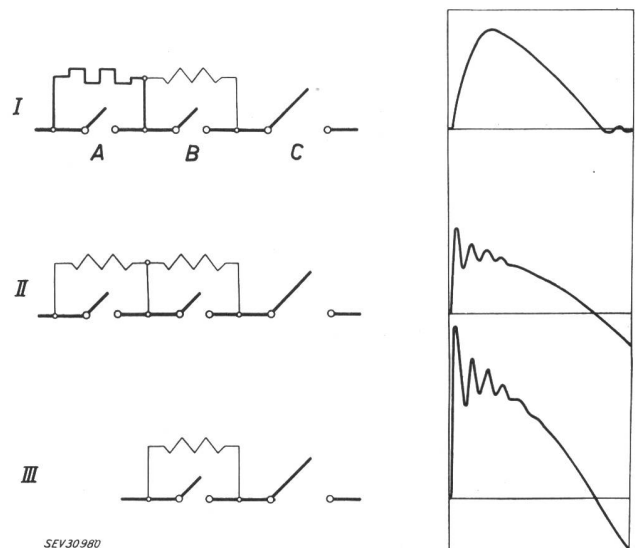


Fig. 14

Moyens de simplifier un disjoncteur à grande puissance de manière à obtenir, éventuellement en première étape d'exploitation, un disjoncteur économique de puissance réduite

I unité de disjoncteur à grande puissance; II, III unités simplifiées  
D'autres indications voir fig. 12

Diagrammes de droite: tension de rétablissement aux bornes de la chambre la plus sollicitée

on supprime l'une des deux chambres principales. Le pouvoir de coupure n'est encore réduit que de moitié par rapport au disjoncteur complet. Grâce au dimensionnement large des chambres de coupure, de tels disjoncteurs allégés présentent toute la sécurité voulue en ce qui concerne l'opposition de phase et la coupure des lignes à vide.

Une partie importante des essais de développement et de vérification a été effectuée dans les stations d'essai les plus puissantes d'Europe. Le temps disponible ne me permet de présenter qu'un extrait rapide des résultats de quelque 500 coupures de courts-circuits effectuées dans les conditions les plus sévères réalisables aux centres de recherche de la Kema, en Hollande, de l'EdF en France et du Cesi en Italie. Il s'agissait en premier lieu de vérifier le comportement de l'appareil en présence d'intensités de court-circuit très élevées (fig. 15). Cet oscillogramme montre comment une unité standard des disjoncteurs en question coupe un courant de 53 500 A. Dans le domaine des intensités de court-circuit très élevées, des précautions particulières doivent être prises lorsqu'on établit un pouvoir de coupure. Un court-circuit situé aux bornes du disjoncteur n'est pas nécessairement le plus critique. Il est alimenté par un réseau étendu composé de plusieurs centrales et de nombreuses lignes aériennes, dont la fréquence propre est très basse. Des exceptions à cette règle n'ont été constatées que dans des régions où la production et la

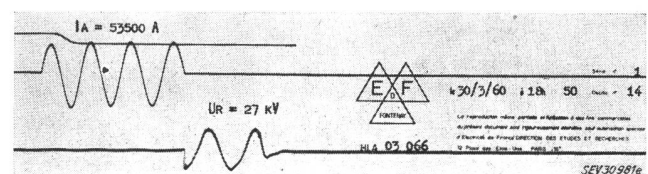


Fig. 15

Oscillogramme relevé lors de la coupure d'une intensité de 53 500 A par une unité de coupure du disjoncteur de la fig. 13  
Cette coupure a été effectuée à la station d'essai de Fontenay de l'Electricité de France



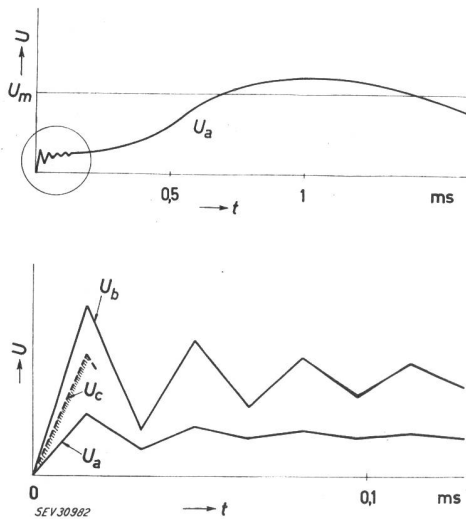


Fig. 16

**Allure de la tension transitoire de rétablissement lors de la coupure d'un défaut kilométrique**

$U_m$  valeur de crête de la tension de rétablissement à fréquence industrielle;  $U_a$  tension transitoire de rétablissement correspondant à un pouvoir de coupure de 5000 MVA à 220 kV;  $U_b$  tension transitoire de rétablissement correspondant à un pouvoir de coupure de 16 000 MVA à 220 kV;  $U_c$  tension transitoire limite susceptible d'être supportée (avec la puissance de court-circuit correspondante) par un disjoncteur normal non muni de résistances de faible valeur

Lors d'un défaut kilométrique, l'accroissement initial et la première crête de la tension transitoire de rétablissement sont toutes deux proportionnelles au courant coupé

consommation de grandes quantités d'énergie se concentrent sur un espace restreint, par exemple dans le bassin de la Ruhr. Des disjoncteurs pneumatiques normaux convenablement choisis répondent d'ailleurs très bien aux exigences spéciales qui en découlent. Un défaut kilométrique, c'est-à-dire un court-circuit situé sur une ligne aérienne à une distance de l'ordre de grandeur du kilomètre, met en jeu une intensité réduite, mais cependant une tension transitoire de rétablissement de nature beaucoup plus sévère. Les qualités d'un disjoncteur dans de telles circonstances ne peuvent être vérifiées par un essai de court-circuit classique, même lorsqu'on applique une fréquence propre surélevée.

Le diagramme supérieur de la fig. 16 représente une telle tension transitoire. Il s'agit ici tout d'abord d'un cas bénin, celui d'un réseau à 220 kV capable de développer lors d'un court-circuit aux bornes du disjoncteur une puissance de court-circuit maximum de 5000 MVA. On reconnaît, encadrée par un cercle, l'oscillation en dent de scie, caractéristique du défaut kilométrique. Cette partie critique de la variation de la tension transitoire est représentée à grande échelle dans le graphique inférieur. Désignée par  $U_a$ , elle est à comparer avec la variation  $U_b$ , qui se manifeste lorsque la puissance de court-circuit du réseau est augmentée de 5000 à 16 000 MVA. La pente initiale et la première crête de la tension transitoire de rétablissement sont toutes deux, lors d'un court-circuit placé à une distance critique déterminée, proportionnelles au courant coupé.

Les résistances de faible valeur apportent un excellent moyen de parer à cet accroissement multiple des contraintes. Elles amortissent très efficacement le régime transitoire de la tension de rétablissement. Ce

moyen ne s'impose cependant que dans le domaine des puissances très élevées. Un disjoncteur normal non muni de résistances de faible valeur fonctionne correctement dans tout le domaine situé au-dessous de la ligne  $U_c$ .

Pour obtenir un disjoncteur d'un pouvoir de coupure de 16 000 MVA présentant toute la sécurité voulue, on aurait pu aussi augmenter le nombre des chambres de coupure couplées en série. Dans l'état actuel des moyens d'essai, la résistance de faible valeur permet cependant un dimensionnement plus sûr.

Fig. 17 représente des tensions transitoires de rétablissement relevées lors d'essais de coupure de défauts kilométriques à la station à grande puissance de Fontenay. Les tensions désignées par  $U_s$  ont été mesurées entre les bornes du pôle de disjoncteur essayé, celles désignées par  $U_L$  entre la borne côté ligne et la terre. Celle-ci a été tracée à plus grande échelle et met en évidence l'oscillation sur le tronçon de ligne coupé. Les tensions transitoires de gauche se sont manifestées lors d'une coupure opérée par un disjoncteur non muni de résistances de faible valeur. Celles de droite correspondent à une coupure dans les mêmes conditions de réseau par un disjoncteur équipé de telles résistances. L'effet de celles-ci ressort clairement.

Fig. 18 donne les résultats d'essais de défauts kilométriques effectués sur l'une des trois unités de coupure du disjoncteur à 245 kV, 16 000 MVA. Cette puissance de coupure est valable pour un défaut situé aux bornes du disjoncteur. Elle correspond, pour une tension de réseau minimum de 220 kV, à une intensité maximum de 42 000 A. Si, toutes conditions restant égales d'ailleurs, le défaut se produit sur une ligne aérienne, la réactance  $X_L$  du tronçon de ligne séparant le défaut du disjoncteur est intercalée dans le circuit. Le courant de court-circuit est réduit à une valeur qui peut être lue sur la courbe de ce graphique. A chaque réactance  $X_L$  correspond également une allure déter-

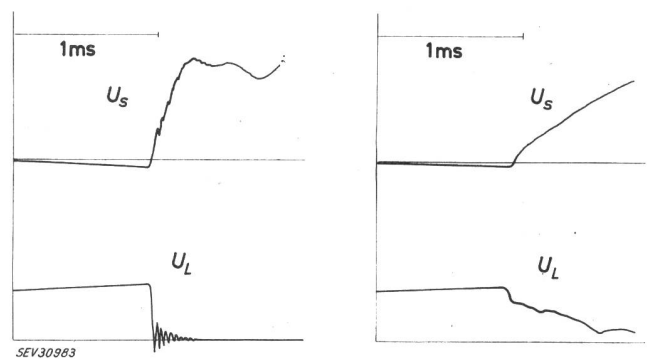
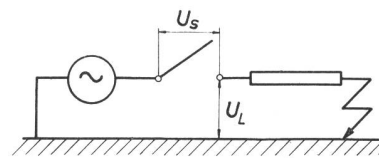


Fig. 17

**Tensions transitoires relevées lors de l'élimination d'un défaut kilométrique**

$U_s$  tension entre bornes d'entrée et de sortie du disjoncteur;  $U_L$  tension entre la borne côté ligne et la terre

Les tensions de gauche ont été mesurées lors de la coupure par un disjoncteur non muni de résistances de faible valeur, celles de droite dans les mêmes conditions lorsque le disjoncteur était shunté par de telles résistances. Les résistances de faible valeur apportent une solution élégante dans le domaine des puissances très élevées

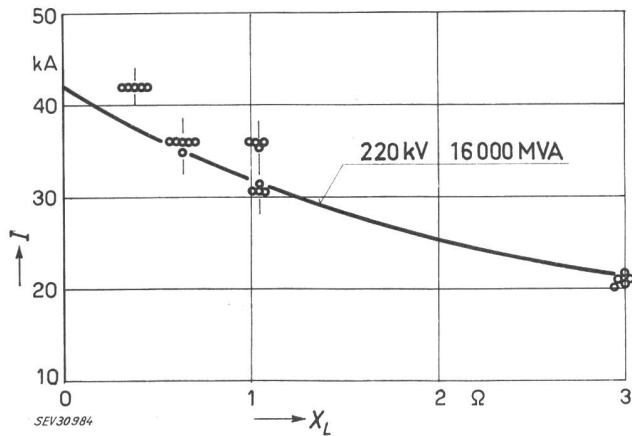


Fig. 18

Vue d'ensemble d'une série d'essais de coupure de défauts kilométriques sur une unité de coupure du disjoncteur de la fig. 13. Ce disjoncteur présente une grande sécurité dans les conditions les plus critiques.

minée de la tension transitoire de rétablissement. Les essais ont été faits dans des conditions de sévérité correspondant strictement à des valeurs bien déterminées de cette réactance. Les intensités coupées sans défaillance dans ces conditions particulièrement sévères dépassent notablement celles qui correspondent aux garanties données. Elles sont représentées par de petits cercles dans ce graphique. Les points de coupure sont particulièrement denses dans la zone de gauche qui, sur la base de nombreuses recherches, a été reconnue comme étant la plus critique.

Les mêmes essais effectués sur une unité de coupure permettent de juger du comportement d'un disjoncteur à 170 kV, 10 000 MVA composé de deux unités par pôle.

Il faut ajouter à ces résultats ceux obtenus lors de fermetures sur court-circuit et lors de l'application des contraintes correspondant à l'opposition de phases. Ils ont également confirmé le degré de sécurité prévu. On peut donc conclure en disant que le but assigné est atteint, soit le franchissement du seuil de 40 000 A sans préjudice aucun en ce qui concerne d'autres performances. D'autre part, les nouveaux disjoncteurs pouvant être livrés sous une forme simplifiée, ils ne laissent pas de lacune entre les très gros pouvoirs de coupure et ceux communément rencontrés jusqu'ici.

#### 4. Quelques considérations sur le disjoncteur à hexafluorure de soufre

Quand bien même l'air comprimé continue de donner entière satisfaction à tout point de vue, il convient de se demander ce qui peut être fait dans le domaine

plus général du disjoncteur à gaz. L'air comprimé présente la propriété très élégante d'être emprunté au milieu ambiant et de lui être entièrement restitué à chaque opération, entraînant au fur et à mesure les impuretés produites par l'arc. Par contre, on a découvert ces dernières années que l'hexafluorure de soufre lui est supérieur en ce qui concerne l'isolement et la coupure. Ce nouveau gaz permettra-t-il de ce fait une construction plus économique des disjoncteurs à grande puissance?

Dans l'état actuel des recherches, il n'est guère possible de répondre à cette question. L'emploi de l'hexafluorure de soufre est lié à un certain nombre d'impondérables qui ne pourront être levés qu'avec les progrès des constructions et les expériences de service. À une pression de quelques atmosphères, ce gaz se condense dans le domaine des températures de plein air. Il ne peut donc être utilisé à des pressions élevées et demande des précautions spéciales par temps froid. Par contre, on a tendance à utiliser l'air comprimé à de très hautes pressions et, de ce fait, celui-ci gagne en qualité. S'il est suffisamment desséché, ce qui peut être acquis par des moyens simples, il est pratiquement insensible aux différences de température. D'autre part, la nécessité d'une circulation de l'hexafluorure de soufre en circuit fermé complique la construction. Dans le même ordre d'idées, ce gaz très dense se prête moins bien que l'air comprimé à l'entraînement de commandes mécaniques rapides. En outre, il en émane en présence de l'arc électrique des produits de décomposition corrosifs qui doivent être neutralisés. Les problèmes spéciaux qui se posent à l'égard des disjoncteurs à hexafluorure de soufre réclameront pour le moins, si l'on veut atteindre la sécurité acquise par l'air comprimé, de longues années d'étude et d'expérimentation dans diverses conditions d'exploitation.

#### 5. Conclusions

J'espère avoir mis en évidence les résultats apportés dans le domaine du disjoncteur pneumatique par une trentaine d'années de recherches ininterrompues. Le principe de l'air comprimé permet de suivre l'accroissement rapide des puissances de court-circuit que l'exploitant doit prévoir. Il est particulièrement avantageux lorsqu'il s'agit de maîtriser un grand nombre de défauts sans altérer les qualités de l'appareil. Le souci constant des constructeurs de connaître les conditions d'exploitation sous tous leurs aspects et d'améliorer la fabrication en conséquence a permis d'atteindre un niveau de qualité élevé et une grande sécurité de fonctionnement en toute circonstance.

L'adresse de l'auteur:

R. Petitpierre, ingénieur dipl., S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden (AG).

## Schalterfragen in den schwedischen Hochspannungsnetzen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 30. und 31. Januar 1962 in Zürich, von G. Jancke, Stockholm

621.316.57.027.3(485)

### I. Einleitung

Leistungsschalter werden in einem Netz installiert, um einerseits eine Veränderung des Stromlaufschemas bei fehlerfreiem Betrieb zu bewirken und, andererseits, um nach einem Impuls vom Relaischutz, fehlerhafte Teile des Netzes auszuschalten. Diese beiden Aufgaben

stellen an die Schalter erhebliche Anforderungen verschiedenster Art. Unter anderem kommt dies in den ungewöhnlich umfangreichen Normen zum Ausdruck. Trotzdem sind diese nicht ausreichend, sondern müssen durch technische Vorschriften ergänzt werden, die auf die Verhältnisse des Netzes Rücksicht nehmen, in