Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 90 (1964)
Heft: 12: Exposition nationale, Lausanne 1964, fascicule no 3

Artikel: Poste de transformation pour 750 kV
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66989

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

La modulation est ensuite amplifiée pour être utilisée par un haut-parleur ou un écouteur auriculaire.

Ce récepteur est également monté entièrement avec des transistors et des diodes au silicium.

C. *Transducteurs magnétostrictifs*

Ces transducteurs sont de deux types différents :

1. Celui du mésoscaphe comprend un groupe de neuf ferrites fixées sur un dôme hémisphérique par un système de suspension au caoutchouc silicone. Ce montage particulier lui permet de résister aux très fortes pressions d'immersion par grands fonds.
   Le faisceau ultrasonore obtenu, grâce à la disposition hémisphérique, est d'un grand angle, de 135° environ.
   Ce dôme est fixé sur le pont du mésoscaphe pour que l'axe du cône ultrasonore soit dirigé perpendiculairement vers la surface.
2. Celui du bateau suiveur comprend également neuf ferrites groupées mais présentant ici une surface d'émission plane.
   Le boîtier contenant les ferrites est solidaire d'un ensemble mécanique permettant son orientation contrôlée, ceci dans le but d'effectuer aisément des opérations de repérage et d'orientation du faisceau ultrasonore vers le mésoscaphe.
   Le faisceau d'ultrasons émis par ce transducteur décrit un cône d'environ 20° donc relativement bien directif pour un repérage commode.

D. *Modulation fixe pour repérage*

L'émetteur à bord du mésoscaphe comporte un circuit modulant, par simple commutation, le faisceau d'ultrasons par un son continu d'une fréquence de 1000 cycles. Cette fréquence de 1000 cycles, captée en surface par le bateau suiveur et appliquée à un instrument de mesure, permet le repérage de la position du mésoscaphe.

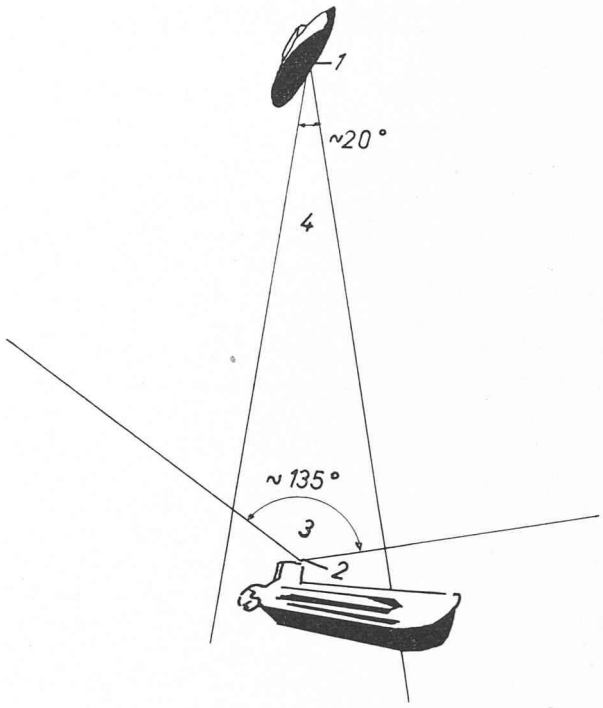


Fig. 3. — Principe d'une hydrotransmission phonique à onde porteuse ultrasonore.

1. Emetteur-récepteur du bateau de surface.
2. Emetteur-récepteur du mésoscaphe.
3. Cône d'émission ultrasonore à grand angle.
4. Cône d'émission ultrasonore à faible angle.

Technique de construction

Les techniques les plus modernes ont été employées pour la construction de ces ensembles émetteurs et récepteurs. Les éléments électrotechniques tels que transistors et diodes sont montés sur des circuits imprimés.

POSTE DE TRANSFORMATION POUR 750 KV

Pour la première fois, à l'Exposition nationale suisse 1964 de Lausanne, un poste de transformation pour 750 kV se trouve exposé, en fonctionnement, sous la pleine tension de service. Il s'agit ici d'un départ par transformateur pour une phase avec tous les appareils nécessaires, analogues à ceux que l'on rencontre déjà pour les tensions employées jusqu'à maintenant.

Cet événement nous fournit l'occasion de donner quelques indications complémentaires concernant l'installation ainsi fabriquée par la S.A. Brown, Boveri & Cie.

L'accroissement très rapide de la consommation d'énergie électrique réclame des capacités de transmission toujours plus grandes avec, en même temps, amélioration de leur rentabilité. Le passage à une tension de transport plus élevée offre bien cette possibilité mais comporte également des difficultés techniques correspondantes. Brown Boveri a de très bonne heure tiré la conclusion correcte de cette tendance de l'évolution et a commencé, il y a quatre ans, les études de développement d'appareils pour un échelon de tension de 750 kV. A cette époque, les échelons de tension au-dessus de 380 kV n'étaient pas du tout déterminés, bien que dans les milieux spécialisés l'on discutait d'un nouvel échelon de tension compris entre 650 et 800 kV. Il était évident que le pas à franchir pour arriver à l'échelon suivant devait être assez grand pour pouvoir offrir des avantages économiques en conséquence.

Ce choix s'est révélé juste. On construit au Canada, depuis le Maniconagan River jusqu'à Montréal, sur une distance de 570 km, une ligne de transmission à 700 kV (tension de service maximale 735 kV) qui entrera pro-

bablement en service en 1965. Brown Boveri participe déjà à la réalisation de cette installation par la livraison de disjoncteurs pneumatiques, de bobines de compensation ainsi que de transformateurs de courant et de tension. Il s'agit donc pour le poste électrique figurant à l'Exposition nationale d'un matériel d'une très grande actualité. Entre-temps la Commission Electronique Internationale (CEI) a recommandé pour cet échelon une tension maximale de 765 kV et fixé également pour l'échelon au-dessous une tension maximale de service de 550 kV.

Lors des études de ces appareils, Brown Boveri a pu bénéficier de l'expérience acquise au long de nombreuses années dans la construction de matériels haute tension jusqu'à 420 kV. Pour ce matériel à 750 kV, quelques exigences sont encore venues s'y ajouter et ont constitué le point de départ de constructions entièrement nouvelles. Les lignes suivantes traiteront de quelques-uns de ces problèmes.

Le poste de transformation exposé

Le poste 750 kV tel que le représente la figure 1 se trouve dans la section « Energie ». Il comprend l'ensemble des appareils constituant une des phases d'un départ par transformateur tels qu'ils qu'ils sont montés en service. Un départ complet d'une ligne de transmission nécessite trois groupes identiques. Les appareils exposés sont des prototypes éprouvés, prêts pour la construction à l'échelle industrielle qui se trouvent sous la pleine tension de service de $750/\sqrt{3} = 433$ kV. L'élimination d'un arc au cours de démonstrations montrera l'efficacité de la protection moderne des réseaux.

Les appareils et dispositifs suivants sont installés sur une surface de 950 m² environ :

L'alimentation :
- boîte à câble 50 kV
- sectionneur de mise à la terre.

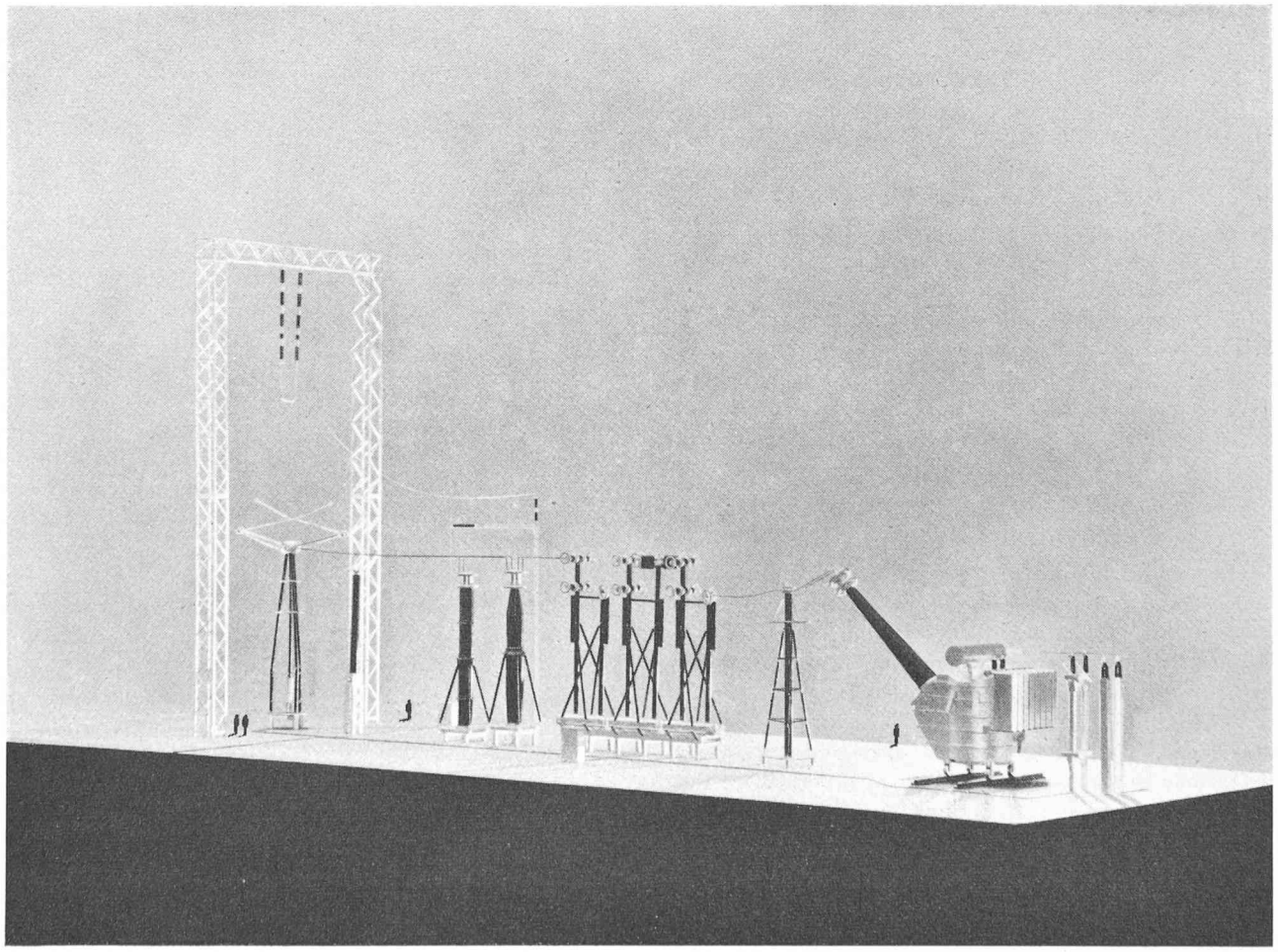
Les appareils à 750 kV :
- transformateur de puissance 750 : $\sqrt{3}/50$ kV
- parafoudre
- disjoncteur pneumatique ultrarapide
- transformateur de courant
- transformateur de tension
- diviseur de tension
- sectionneur à pantographe avec contact fixe.

A ce contact fixe se trouve raccordé un éclateur vertical muni d'un écran assurant la protection contre l'éblouissement.

A l'exception du diviseur de tension et de la borne de traversée du transformateur fabriqués par Micafil AG, Zurich, tous les appareils sont de construction Brown Boveri.

A côté d'un dispositif de commande assurant la manœuvre normale du disjoncteur, on a également rac-

Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'installation à 750 kV exposée (modèle réduit).



cordé une protection électronique de distance qui déclenche toute l'installation dans un temps très court en cas de défaut ou lors des essais prévus d'élimination d'un arc volontairement provoqué.

Les exigences auxquelles doit satisfaire le matériel à 750 kV

Pour avoir un meilleur aperçu de l'importance à attacher aux caractéristiques techniques, nous consacrerons quelques mots au fonctionnement des installations de transmission ainsi qu'aux défauts possibles et nous en déduirons les exigences auxquelles doivent répondre l'isolation des appareils, le pouvoir de coupure du disjoncteur, la précision des transformateurs de mesure, etc.

Avec une ligne triphasée à 750 kV, on est en mesure de transmettre sur de longues distances des puissances atteignant jusqu'à 2000 MW. Les transformateurs placés au départ et à l'arrivée de la ligne doivent être en mesure de convertir cette puissance. On emploie à cette fin plusieurs transformateurs en parallèle, eux-mêmes constitués par des transformateurs monophasés. Un seul transformateur de cette puissance ne serait pas indiqué pour des raisons tenant à la fabrication et au transport ainsi que pour des questions de sécurité. Le transfomateur monophasé exposé a une puissance nominale relativement faible de 50/3 MVA. Mais les problèmes que pose la construction de transformateurs pour très hautes tensions ne concernent pas la puissance mais surtout l'isolation. La sollicitation de l'isolation, déterminante pour son dimensionnement provient d'une élévation de la tension, sa variation dans le temps et, parmi d'autres facteurs, la montée en tension. En exploitation normale, la tension (valeur efficace) de chaque conducteur de phase par rapport à la terre ne dépasse pas $750/\sqrt{3}$, alors qu'en cas de perturbations, mise accidentelle à la terre, court-circuit et manœuvres telles qu'enclenchement de la ligne et délestage par exemple, cette tension nominale est sensiblement surpassée. Les mêmes considérations sont valables également pour les tensions produites par les perturbations atmosphériques.

Les appareils faisant partie d'une installation de transmission doivent résister à ces surtensions pour garantir la continuité du service. La valeur jusqu'à laquelle la tension de tenue est garantie, est donnée par la tension d'essai. Il existe en principe deux genres d'essais :

a) essai au choc ;
b) essai à fréquence industrielle.

L'essai au choc correspond aux surtensions soudaines provoquées par des perturbations atmosphériques et des manœuvres d'exploitation, alors qu'avec l'essai à fréquence industrielle on détermine la limite supérieure de la sollicitation admissible en cas de surtensions à la fréquence de service. La fixation des tensions d'essai doit se faire d'une part en fonction des surtensions susceptibles d'apparaître dans un réseau donné, d'autre part en fonction du niveau de protection [1] assuré par le parafoudre employé. Le parafoudre est en mesure de limiter les surtensions à une valeur donnée par le niveau de protection en créant, par l'intermédiaire d'un éclateur et d'une résistance non linéaire, une connexion entre le conducteur de phase et la terre. Ce n'est qu'avec l'emploi de parafoudres qu'il devient judicieux de fixer pour les appareils un niveau d'isolement comportant une certaine marge par rapport au niveau de protection. Ce niveau d'isolement est indiqué dans le tableau pour les différents appareils par la tension de tenue au choc en kV (tension de choc pleine et tension de choc coupée).

La *coordination de l'isolement* a pour tâche importante, à partir de la connaissance des surtensions du réseau qu'il a fallu déterminer par une étude spéciale et sur la base de la qualité du parafoudre, d'adapter les unes aux autres les tensions d'essai des appareils, le niveau de protection des parafoudres ainsi que leurs propres tensions d'essai. Pour faciliter ce travail, la Commission Electronique Internationale (CEI) a publié des recommandations fixant certaines marges et rapports entre tensions. Il s'agit ici d'arriver de façon économique à un maximum de sécurité d'exploitation. Ceci était d'autant plus difficile avec les appareils à 750 kV que l'on ne disposait encore pour ce niveau de tension d'aucune expérience pratique. Les difficultés particulières aux réseaux à 750 kV proviennent des très grandes longueurs des lignes qui peuvent provoquer des surtensions très élevées. A l'aide de bobines de compensation on dispose cependant d'un moyen de réduire ces surtensions à une valeur acceptable, ce qui permet d'arriver à un niveau d'isolement économique. De plus, au cours de ces dernières années, la qualité des parafoudres, caractérisée par un bas niveau de protection et une tension d'extinction élevée, a été sensiblement améliorée. Ceci se traduit encore par le fait que, pour des installations réalisées, le niveau de protection rapporté dans chaque cas à la tension de service a été réduit d'un échelon de tension au suivant.

Le dimensionnement de l'isolation s'effectue donc en fonction de la tension d'essai au choc. Ceci détermine quelques difficultés pour le dimensionnement des enroulements des transformateurs, étant donné que la tension ne se répartit pas linéairement le long de l'enroulement. Il faut cependant s'efforcer d'arriver à cette répartition linéaire, car c'est ainsi que le volume à disposition pour les bobinages est le mieux utilisé. Pour le prototype à 750 kV, TFK 750, on a employé à cette fin des enroulements en galettes avec dispositifs spéciaux imposant une distribution du potentiel.

Pour le *transformateur*, la fabrication de la borne de traversée constitue un problème en soi. Par suite de sa grande longueur, voir figure 2, il a fallu disposer plusieurs cylindres de presspan distincts.

Le *parafoudre* est installé à proximité du transformateur, l'appareil le plus cher. Sa tension d'extinction de 665 kV — valeur efficace de la tension maximale de service pour laquelle le parafoudre peut encore assurer l'extinction de l'arc — est un peu supérieure aux surtensions susceptibles d'apparaître dans un réseau à 750 kV. Le courant nominal de décharge et la tenue aux ondes de choc rectangulaires renseignent sur la capacité de charge thermique au moment du fonc-

[1] Le niveau de protection est donné par la plus grande des deux valeurs de la tension d'amorçage au choc et de la tension résiduelle aux bornes du parafoudre pour le courant nominal de décharge.

tionnement du parafoudre. L'importance de la tension a déjà été mentionnée. Ces caractéristiques techniques ont été obtenues grâce à des éclateurs à soufflage magnétique qui sont montés avec les résistances non linéaires et les résistances imposant la distribution du potentiel dans la colonne du parafoudre, voir figure 1.

Les exigences auxquelles doivent répondre les *disjoncteurs pneumatiques ultrarapides* sont données principalement par l'élimination du court-circuit se produisant dans le réseau et pouvant survenir dans un cas extrême à quelques centaines de mètres à peine du disjoncteur même. Pour limiter à un minimum les destructions provoquées par le courant de court-circuit et garantir également la stabilité de la marche en parallèle, le disjoncteur doit couper ce courant de court-circuit dans le temps le plus court. Avec le disjoncteur exposé, on arrive à atteindre une durée d'ouverture, comptée à partir de l'arrivée de l'ordre d'ouverture jusqu'à l'extinction de l'arc, de 33 ms. Il s'agit donc ici du premier disjoncteur à deux périodes offert et vendu sur le marché mondial. Un simple coup d'œil sur le disjoncteur (figure 2) montre sa construction par éléments. Sur les isolateurs-supports sont montés trois groupes de chambres comprenant chacun quatre chambres de coupure proprement dites en série avec trois chambres de sectionnement. Il faut noter spécialement le faible encombrement de cette disposition. Le processus de coupure proprement dit s'effectue dans les premières chambres mentionnées, l'air comprimé se chargeant de l'évacuation de la chaleur, de la désionisation du trajet de l'arc, de l'étirement de l'arc jusqu'à l'extinction après séparation des contacts. Les chambres de sectionnement ne s'ouvrent qu'après extinction de l'arc. Le rétablissement rapide de la rigidité diélectrique entre contacts (désionisation) après l'extinction de l'arc est un facteur très important pour éviter tout réamorçage à l'apparition de la tension de rétablissement. L'absence de réamorçages sur le disjoncteur est l'une des conditions fondamentales à respecter pour réaliser des appareils avec le niveau d'isolement indiqué. On arrive avec le disjoncteur en question à un pouvoir de coupure triphasé de 60 000 MVA. C'est là une valeur qui ne devrait se présenter à l'avenir que pour un réseau à 750 kV fortement maillé. La stabilité de la marche en parallèle de machines synchrones implique très souvent un réenclenchement immédiat qui est réalisé pour ce disjoncteur dans les chambres de sectionnement, après que les contacts des chambres de coupure proprement dites se soient fermés. Comme pour la mise sous tension de lignes à vide, il peut apparaître alors, suivant la nature du réseau, des surtensions très élevées. Par la mise en place de résistances appropriées qui court-circuitent les contacts principaux à l'enclenchement et sont elles-mêmes court-circuitées par la suite, ces surtensions à la fermeture peuvent être diminuées, ce que constitue une contribution non négligeable à la réduction du niveau d'isolement. Le montage des résistances en question est aussi prévu sur le type de disjoncteur exposé.

Les *transformateurs de mesure* pour le courant et la tension qui à l'exposition viennent immédiatement après le disjoncteur, fournissent les grandeurs électriques

Fig. 2. — Vue d'un pôle de disjoncteur pneumatique ultrarapide à 750 kV.

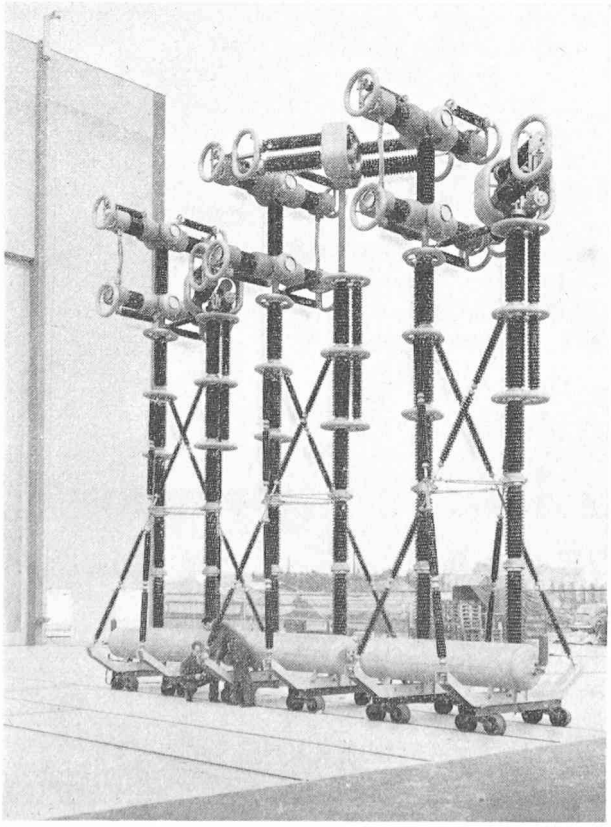
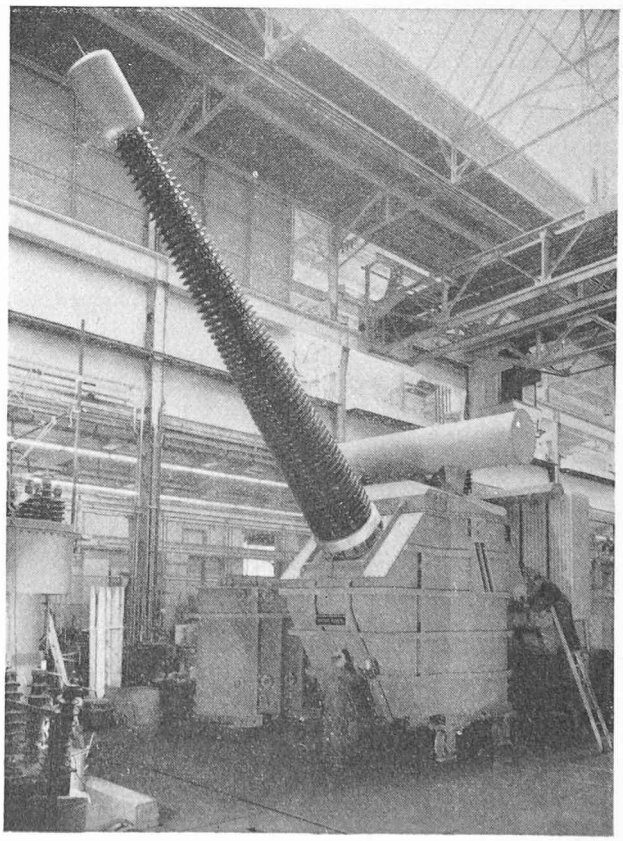


Fig. 3. — Vue du transformateur à 750 kV prise dans les ateliers de la S.A. Brown, Boveri & Cie.



nécessaires pour la surveillance et la protection. Pour le transformateur de courant, type TMBRh 750, il s'agit d'un transformateur à deux éléments en cascade fournissant, suivant le principe même du transformateur, un courant proportionnel au courant circulant en ligne. Par un dimensionnement approprié des noyaux magnétiques du transformateur on arrive, même pour des processus à déroulement rapide, à un comportement correspondant à celui d'un transformateur à un seul élément. L'erreur sur le courant est inférieure à 0,5 %.

Le transformateur de tension comprend quatre éléments à noyau cylindrique rectiligne en cascade, comme le révèle la division de la porcelaine. Ce transformateur de tension garantit aussi un fonctionnement irréprochable des relais rapides de protection.

La division des transformateurs en éléments suivant le principe de la boîte de construction présente les avantages d'un transport plus aisé, d'essais plus faciles au laboratoire à haute tension, les éléments pouvant également être assemblés pour constituer des transformateurs pour une tension nominale plus faible. Les problèmes d'isolation qui sont ici aussi essentiels sont résolus par une étude soignée de la distribution du potentiel le long du transformateur.

Le *diviseur de tension* qui a encore été ajouté et qui a été fabriqué par Micafil fonctionne suivant le principe de la division capacitive de la tension. Il ne s'agit donc pas ici d'un transformateur à proprement parler. Il est de structure plus simple, également meilleur marché à l'achat et est souvent employé pour cette raison dans les installations à très hautes tensions. Il n'offre pas par contre la même précision que le transformateur de tension précédemment décrit (surtout pour les phénomènes transitoires).

Le sectionneur-pantographe avec son contact fixe suspendu verticalement à son aplomb complète l'installation exposée. Le sectionneur est toujours manœuvré hors courant. On notera le faible encombrement occupé au sol qui se répercute favorablement sur la conception générale de l'ensemble d'un poste qui comporte un grand nombre de sectionneurs.

Pour les connexions entre les appareils dans les postes et de même entre ceux qui sont exposés, on a employé des conducteurs en faisceau afin d'éviter l'effet de couronne et la création de parasites radiophoniques. On a ainsi monté en parallèle avec un écartement de 400 mm deux tubes en aluminium de 56 mm de diamètre extérieur. Sur les lignes aériennes on utilise, pour les très hautes tensions, des faisceaux de quatre conducteurs en câble d'aluminium.

Une *protection électronique de distance*, qui exploite comme grandeurs d'entrée les valeurs fournies par les transformateurs de mesure, est également raccordé à l'installation à 750 kV. Dans les systèmes de transmission, la protection de distance commande en cas de défaut sur une section donnée de la ligne, l'élimination de la section en cause. L'ordre de déclenchement est donné en fonction de la distance à l'emplacement du défaut, si le défaut se trouve dans la section immédiatement avoisinante, l'ordre de déclenchement est envoyé dans le délai le plus bref. Pour la protection de distance employée ici cette durée est de

13 ms pour tous les défauts à la terre et les courts-circuits triphasés ;

25 ms pour les courts-circuits entre deux phases sans mise à la terre.

Compte tenu de la durée d'ouverture du disjoncteur pneumatique, on atteint des temps totaux de déclenchement de quelque 50 à 60 ms, ce qui est particulièrement intéressant.

Démonstrations effectuées sur l'installation à 750 kV

Dans le poste à 750 kV de l'Exposition nationale, la protection de distance est surtout prévue à des fins de démonstration. Comme on le note dans la vue d'ensemble sur la figure 1, on a installé après le sectionneur pantographe un éclateur vertical muni d'un écran assurant la protection contre l'éblouissement. Un canon pneumatique projetant en l'air, à tension réduite, un fil fin entre les sphères de cet éclateur amorce un arc. Celui-ci d'une longueur de plus de 6 m est très impressionnant. Dans certains cas, on le laisse durer deux secondes, dans d'autres il est détecté par la protection de distance et éliminé en quelque 50 ms par le disjoncteur pneumatique, ce qui démontre de façon très expressive l'efficacité de la protection de distance combinée à des disjoncteurs pneumatiques ultrarapides.

Le fait qu'il soit nécessaire de réduire la tension au cours de cet amorçage provoqué vient de la charge trop élevée qui serait autrement appliquée au réseau d'alimentation. Le dispositif de commutation et le transformateur intermédiaire nécessaire pour la réduction de la tension se trouvent dans la sous-station Expo des Services de l'électricité de la Ville de Lausanne, située à quelque 500 m de là, d'où un câble à 50 kV assure la liaison avec le poste exposé.

L'AUTOMATISATION DES INSTALLATIONS DE FABRICATION DES FLANS PAR COULÉE CONTINUE EN BANDE

par MM. Dr D. ALTENPOHL et J. von HULST, de l'Aluminium Suisse S.A.

1. Introduction

Lors de la fabrication d'emballages en aluminium, tels que boîtes et tubes, il est absolument indispensable que les pièces de départ soient produites à des prix de revient suffisamment bas pour permettre au métal léger de supporter la concurrence des autres matériaux généralement utilisés. C'est pourquoi, ces dernières années,