

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 81 (1955)  
**Heft:** 21-22: École polytechnique fédérale Zurich: centenaire 1855-1955, fasc. no 2

**Artikel:** Le convertisseur à contacts et ses applications dans l'industrie  
**Autor:** Rossé  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-61378>

### **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:** 01.04.2025

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

effectués pour étudier les possibilités d'adapter ces matériaux nouveaux à l'isolation des machines. On a, par exemple, cherché à remplacer le mica par des produits formant un film continu et régulier. Les essais avec le triacétate de cellulose n'ont pas donné les résultats espérés, par suite de la rigidité insuffisante de l'isolant et de sa destruction rapide par les effluves, accompagnée de dégagements d'acide acétique. Par contre, en agglomérant des paillettes de mica on a réussi à fabriquer un papier de mica qui se présente sous la forme d'une feuille homogène et très régulière et peut être employé, en liaison avec un vernis adéquat, pour l'isolation des gaines des bobines. Par ailleurs, les résines de polyesters et d'aéthoxyline (araldite) présentent d'excellentes qualités, tant diélectriques que mécaniques ou thermiques. Les courbes 3 et 4 de la figure 10 montrent les pertes diélectriques relevées sur des bobines d'essai enrobées d'isolations au mica agglomérées, l'une avec une résine aéthoxyline et l'autre avec des polyesters. Les valeurs de  $\text{tg}\delta$  se rapprochent de celles du micafolium à l'asphalte et l'on peut en attendre encore une diminution par une amélioration des procédés de fabrication. Les gaines obtenues sont très dures et résistent bien à la température.

Mais il est évident qu'un nouveau produit nécessite une mise au point parfaite et qu'un isolant qui a fait ses preuves, comme le micafolium à l'asphalte, ne peut pas être supplanté du jour au lendemain par un autre isolant, si prometteur soit-il. Il s'agit d'étudier le comportement de ces matériaux vis-à-vis des différents critères de qualité que nous avons cités plus haut. Par exemple un isolant thermo-durcissant se déformera moins à

haute température qu'un isolant thermoplastique, mais est-il suffisamment élastique et ne risque-t-il pas de devenir cassant et de ne plus pouvoir résister aux efforts électro-dynamiques ? Quel sera son comportement après vingt ans de service sous l'attaque combinée de la tension (effluves), de la température (vieillesse) et des contraintes mécaniques (déformations) ? A partir de quelle puissance ou de quelle tension l'isolation normale est-elle en défaut et doit-elle céder le pas aux produits nouveaux ? D'autre part, les frais considérables qu'entraîne une modification du procédé de fabrication sont-ils justifiés par une augmentation de la qualité et de la sécurité de l'isolation ? Ce sont autant de questions qui se posent pour le constructeur et qui prouvent que la technique de l'isolation doit être en constante évolution si elle veut se maintenir au niveau des améliorations continues apportées aux machines, améliorations déterminées par l'accroissement toujours plus grand de la puissance et de la tension.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. K. BERGER : *La rigidité diélectrique à chaud des isolants solides*. (Revue Brown Boveri 1926, n° 5, p. 115.)  
— *Der Durchschlag fester Isolierstoffe als Folge ihrer Erwärmung*. (Bull. A.S.E. 1926, n° 2, p. 37.)
2. F. BELDI : *Le problème de l'isolement dans la construction des machines et des transformateurs modernes*. (Revue Brown Boveri 1943, n° 9/10, p. 224.)
3. *Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*. (A.I.E.E. n° 43, April 1950.)
4. R. LANGLOIS-BERTHELOT : *La fatigue diélectrique des isolants et la maintenance des appareils électriques*. (C.I.G.R.E. 1954, Rapport n° 105.)
5. F. BELDI : *Die Wicklungsisolierung im Grossmaschinenbau*. (Bull. A.S.E. 1948, n° 10, p. 329.)

## LE CONVERTISSEUR A CONTACTS ET SES APPLICATIONS DANS L'INDUSTRIE

par M. ROSSÉ, ingénieur E.P.F., Baden

Si nous considérons le développement des applications de l'énergie électrique dans les différentes industries, nous sommes frappés de l'évolution prise ces dernières années par les services d'électrochimie. Cette branche de l'industrie, dont les débuts remontent vers les années 1885, doit son essor non seulement aux rapides progrès réalisés dans le domaine électrochimique, mais également aux perfectionnements apportés aux générateurs d'énergie électrique sous forme courant continu.

Dans ce domaine, on a vu se succéder la dynamo entraînée par turbine, le groupe moteur-générateur, la commutatrice et enfin le mutateur qui devait, par ses propriétés remarquables, donner une solution au problème de la transformation à haut rendement du courant alternatif en courant continu. Le succès du mutateur fut d'autant plus grand que les électrochimistes se sont appliqués à modifier les caractéristiques de leurs installations, en élevant la tension de

service, pour profiter des avantages de ce nouveau convertisseur.

Cependant, il existe certaines électrolyses et plus particulièrement les électrolyses aqueuses pour lesquelles on ne saurait élever la tension sans qu'il en résulte une augmentation inadmissible des frais d'implantation et aussi certains dangers pour le personnel. Ainsi les électrochimistes imposent depuis quelques années de basses tensions continues tout en demandant des intensités de plus en plus élevées correspondant au développement très intense de la fabrication de produits par voie électrolytique. Le constructeur a donc cherché, sous la poussée des exploitants, à présenter sur le marché un convertisseur à forte intensité, basse tension et très haut rendement.

Le problème à résoudre revêtait sans doute un caractère technique dont on ne saurait ignorer les sérieuses difficultés, mais également économique. En effet, la solution à donner au problème posé devait

satisfaire aux conditions impératives suivantes : une très grande sécurité de fonctionnement indispensable pour une exploitation avec un si haut degré d'utilisation, service permanent ; une réduction des frais de personnel et d'entretien, et enfin un rendement très élevé de transformation du courant permettant un amortissement des frais de premier établissement dans un temps minimum.

A ces conditions seulement, un nouveau convertisseur pouvait répondre à la demande actuelle de l'exploitant et être présenté sur le marché. Ce convertisseur existe, il a fait ses preuves en exploitation industrielle, c'est le convertisseur à contacts. Sa récente introduction sur le marché vers l'année 1940 d'une part, et son emploi limité dans les installations d'électrolyse d'autre part, constituent les raisons pour lesquelles ce convertisseur est encore peu connu.

L'avantage principal du convertisseur à contacts réside dans son rendement très élevé. En effet, le convertisseur lui-même, libéré de la lourde hypothèque des pertes dans les enroulements ou de la chute de tension dans l'arc, permet d'obtenir des rendements totaux de 96-97,5 %, ce qui ressort clairement des courbes représentées à la figure 1. Le convertisseur à contacts comble une lacune dans la série des convertisseurs de courant à basse tension et haute intensité.

Le convertisseur à contacts, figure 2, présente certaines analogies avec le mutateur dans lequel les arcs, qui s'établissent entre les électrodes, sont remplacés par le passage du courant au travers de contacts manœuvrés au moyen de poussoirs actionnés par un arbre à cames entraîné par un moteur synchrone tournant à la fréquence du réseau alternatif.

L'organe principal est ainsi constitué par des contacts à pont, dont la mise au point a exigé de minutieuses recherches et de longs essais, afin de résoudre les nombreux problèmes de technologie et de commande, qui devaient être résolus en considération du fait que, pour un service continu, chaque contact effectue  $1,57 \cdot 10^9$  manœuvres par année.

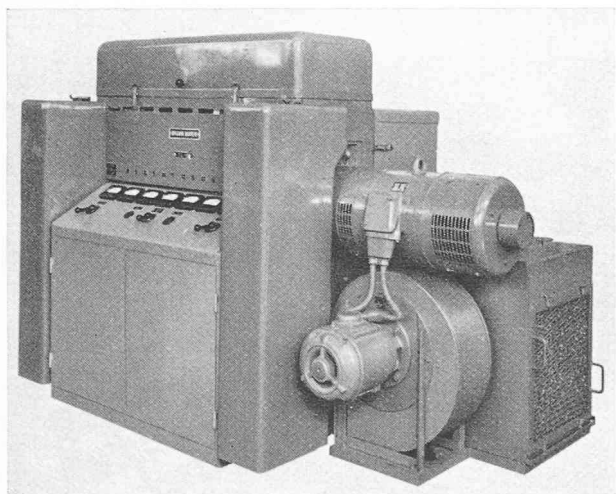


Fig. 2. — Convertisseur à contacts avec pupitre de commande et dispositif de réfrigération par air soufflé.

Puissance nominale 5000 kW sous une tension continue de 200-500 V.

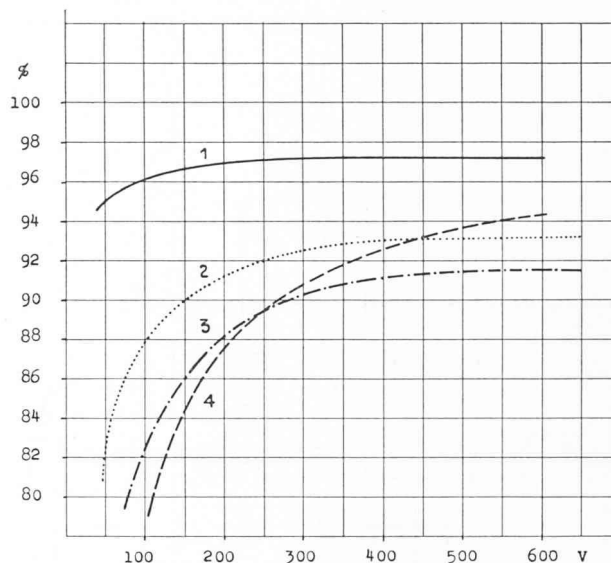


Fig. 1. — Comparaison des rendements de différents convertisseurs en fonction de la tension.

1. Rendement du convertisseur à contacts, y compris les pertes du transformateur, de la bobine de commutation et des services auxiliaires. — 2. Rendement de la commutatrice. — 3. Rendement du moteur-générateur. — 4. Rendement du mutateur, y compris les pertes du transformateur et des services auxiliaires.

La fermeture et l'ouverture des contacts devant être franches de toute étincelle de rupture pour un service régulier et permanent, et, comme d'autre part ces manœuvres ne peuvent pratiquement être réalisées pendant le passage naturel du courant par zéro, il est nécessaire de créer une période à intensité réduite au moyen de bobines de commutation avec noyau de fer à haute saturation, dont la courbe de magnétisation présente un coude fortement prononcé. Ces bobines non saturées présentent une haute résistance inductive et absorbent pratiquement la totalité de la tension composée au moment de la commutation à la fermeture des contacts et maintiennent à une valeur réduite le courant aux contacts pendant la période à intensité réduite.

Malgré l'insertion de bobines de commutation en série dans les circuits des contacts, afin de produire une période à intensité réduite, il subsiste cependant, au moment de l'ouverture des contacts, un courant résiduel qui, bien que très faible, serait suffisant pour entraîner une destruction rapide des contacts. Pour obvier à cet inconvénient, on a prévu pour chaque contact un circuit parallèle comportant en principe une triode, dont la grille est commandée par une impulsion de tension d'un enroulement auxiliaire de la bobine de commutation. Si cette impulsion de tension est positive au début de la période à intensité réduite, la triode s'amorce et laisse passer un courant d'une source auxiliaire de sens opposé à celui du circuit principal au travers du contact encore fermé, ainsi, seule la différence des courants est à couper par le contact. Le circuit parallèle, qui n'est d'ailleurs en service que pendant la période à intensité réduite, permet de décharger le contact de la coupure du courant résiduel, fonction qui est reprise et exécutée par le circuit parallèle. Figure 3.

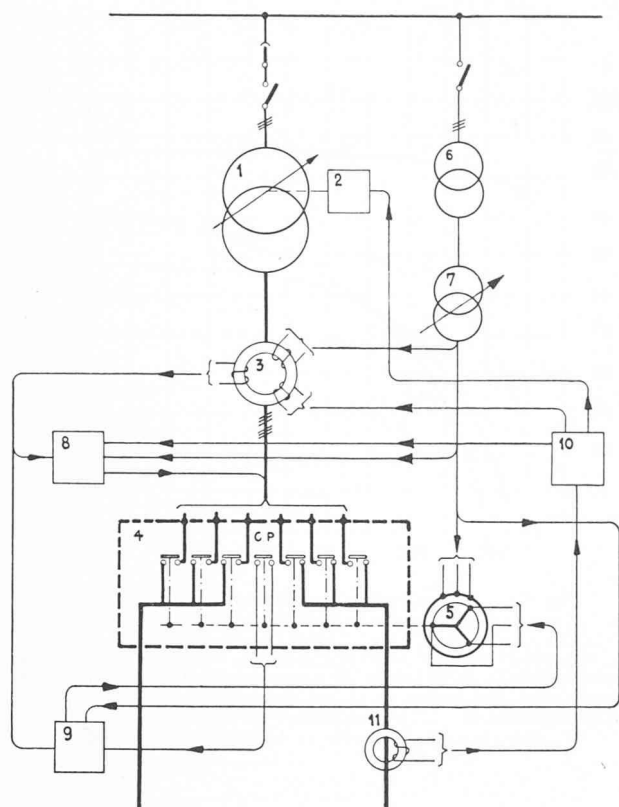


Fig. 3. — Convertisseur à contacts.  
Schéma de principe.

1. Transformateur principal. — 2. Commutateur à gradins. — 3. Bobine de commutation. — 4. Convertisseur à contacts. — 5. Moteur synchrone. — 6. Transformateur auxiliaire. — 7. Régulateur d'induction. — 8. Circuits parallèles. — 9. Dispositif de réglage de la période à intensité réduite. — 10. Dispositif de réglage de l'intensité. — 11. Transducteur.

Dans le cas d'un convertisseur à contacts, le recouvrement varie avec la charge et la tension de commutation. Pour permettre un fonctionnement régulier et sûr à toutes charges, il est nécessaire de prévoir un réglage automatique de la durée de contact tel que l'ouverture des contacts soit réalisée toujours dans la première moitié de la période à intensité réduite. Le moment d'ouverture des contacts doit rester constant, quelles que soient les conditions de fonctionnement du convertisseur.

A cet effet, on utilise d'une part un courant de consigne défini et réglé pour un service normal du convertisseur à contacts et d'autre part un courant dépendant des variations se présentant au cours de l'exploitation. Un régulateur à action rapide compare ces deux valeurs et corrige instantanément tout déséquilibre provoqué par une modification des constantes fixées, en variant la position de phase du moteur synchrone d'entraînement des contacts et par là, la période à intensité réduite.

Le dispositif de commande comporte en principe, en plus d'une source fixe de courant, valeur de consigne, un contact-pilote fonctionnant en synchronisme avec l'un quelconque des contacts, qui permettra le passage du courant de mesure à une triode, dont la grille est libérée par une impulsion de tension positive, fournie par un enroulement supplémentaire de la

bobine de commutation. Le régulateur corrigera la position de la période à intensité réduite dépendante des variations de la charge aussi longtemps que les deux valeurs des courants comparés ne sont pas équilibrées. Ce réglage, comme nous venons de le voir, est réalisé uniquement par voie électrique.

L'exploitation d'installations d'électrolyse exige fréquemment un réglage automatique de l'intensité débitée par les convertisseurs. Un tel réglage est obtenu par variation de la tension continue aux bornes des convertisseurs. On peut distinguer plusieurs modes de réglage, qui sont généralement combinés et coordonnés aux exigences de l'exploitation.

La compensation des variations de la tension d'alimentation ainsi que le réglage grossier de la tension continue sont obtenus au moyen d'un commutateur à gradins branché aux prises de l'enroulement primaire du transformateur principal. Ce réglage sous charge peut s'étendre à un vaste domaine de tension tenant compte d'une exploitation normale de l'installation. Cependant, la précision obtenue n'est pas toujours suffisante, de sorte qu'il est indiqué de prévoir un réglage précis supplémentaire combiné avec le premier. Un régulateur à action rapide connecté à un transducteur inséré sur le circuit continu maintient l'intensité débitée à une valeur fixée à volonté en variant l'aimantation additionnelle de la bobine de commutation du convertisseur à contacts. On produit ainsi un déphasage par rapport à la commutation naturelle aux contacts. Lorsque le régulateur est à fin de course, il commande automatiquement le commutateur à gradins qui augmente ou diminue la valeur de la tension de base au transformateur.

Lors du démarrage d'une installation ou de la formation de fours, dans le cas d'électrolyses de sels fondus, il est particulièrement intéressant de pouvoir réduire la tension continue à une valeur de quelques volts seulement. Ce réglage est réalisé par variation de l'aimantation additionnelle de la bobine de commutation au moyen d'un régulateur d'induction auxiliaire. Le courant ne pouvant s'établir qu'à la fin de la période à



Fig. 4. — Convertisseurs à contacts pour une installation d'électrolyse,  $4 \times 10\,000$  A sous une tension continue de 350 V.

intensité réduite, à la fermeture des contacts, nous obtenons la même réaction que lors du réglage par déphasage au moteur synchrone. Ce mode de réglage, d'une grande souplesse, permet de répondre à chaque cas particulier d'exploitation.

Nous tenons à signaler que la marche en parallèle du convertisseur à contacts avec d'autres convertisseurs, groupes tournants ou mutateurs, ne présente pas de difficulté, ce qui permet une extension progressive et économique des installations existantes.

La protection d'un groupe contre les courts-circuits, résultant généralement de perturbations sur le réseau primaire, est assurée par les disjoncteurs des côtés alternatif et continu, équipés de relais appropriés et d'autre part par des contacteurs spéciaux, qui court-circuitent les contacts, qui ne sauraient supporter les contraintes de telles surintensités. Ces dispositifs permettent une protection efficace, soit des transformateurs et bobines, soit plus spécialement des contacts.

Ainsi que nous l'avons déjà souligné précédemment, le constructeur s'est appliqué, lors de la réalisation du convertisseur à contacts, à réduire au minimum les frais d'entretien et d'exploitation, afin d'augmenter d'autant plus le caractère économique de ce nouveau convertisseur.

Comme dans toute machine, dont plusieurs organes sont en permanence en mouvement, certaines pièces, les contacts en particulier, sont soumises à l'usure. Cependant, grâce aux dispositions prises, les frais d'entretien d'un convertisseur à contacts sont, sur la base de comparaisons établies par les exploitants eux-mêmes, sensiblement inférieurs à ceux d'autres convertisseurs, les groupes rotatifs par exemple.

En ce qui concerne l'exploitation, un appareillage étudié avec soin commande et contrôle automatique-

ment le fonctionnement du convertisseur à contacts, de sorte qu'une surveillance continue est superflue. Le personnel normalement occupé dans l'installation de fabrication peut en même temps veiller à la bonne marche du convertisseur, d'où résulte une économie appréciable des frais de personnel. Figure 4.

Les convertisseurs à contacts Brown Boveri peuvent être proposés pour les puissances suivantes :

10 000 A	Tension max. 500 V
	Couplage du transformateur, Graetz
20 000 A	Tension max. 250 V
	Couplage du transformateur, hexaphasé avec bobine d'absorption monophasée
25 000 A	Tension max. 200 V
	Couplage du transformateur, hexaphasé avec bobine d'absorption triphasée

Comme il ressort de ce qui précède, le domaine d'application des convertisseurs à contacts est limité, malgré son excellent rendement, aux applications de basses et moyennes tensions continues.

La Société Brown Boveri, ayant toujours montré un intérêt tout particulier aux problèmes de la production de l'énergie électrique sous forme courant continu, et joué un rôle prépondérant dans le développement du principal convertisseur, le mutateur, devait naturellement répondre à la récente demande de l'industrie électrochimique de disposer d'un convertisseur économique mieux approprié à ses besoins en hautes intensités et bas voltages.

Une très longue expérience, des études et recherches menées à une très vaste échelle nous ont permis de présenter sur le marché le convertisseur à contacts, qui répond aux exigences de l'industrie et constitue la solution la plus économique et la mieux appropriée aux conditions d'exploitation.

## QUELQUES PROGRÈS RÉCENTS DANS LA CONSTRUCTION DES TRANSFORMATEURS

par CL. ROSSIER, ingénieur E.P.F., Genève

En observant le développement des transmissions à haute tension au long des dernières décennies, on constate que la technique des transformateurs a suivi, pas à pas, l'augmentation des tensions et des puissances unitaires souhaitées par les exploitants.

Au cours de la même période, de nombreux progrès d'ordre constructif ou technologique ont grandement amélioré la qualité des transformateurs, notamment leur rendement et leur sécurité de service.

Nous allons, dans cet article, citer quelques-uns de ces progrès choisis parmi les principaux.

### 1. Poids et rendement

Sur un graphique (fig. 1), nous avons tracé le poids (en kg/kVA), les pertes à pleine charge et à vide (en %) de divers gros transformateurs exécutés par la S. A.

des Ateliers de Sécheron au cours des vingt-cinq dernières années.

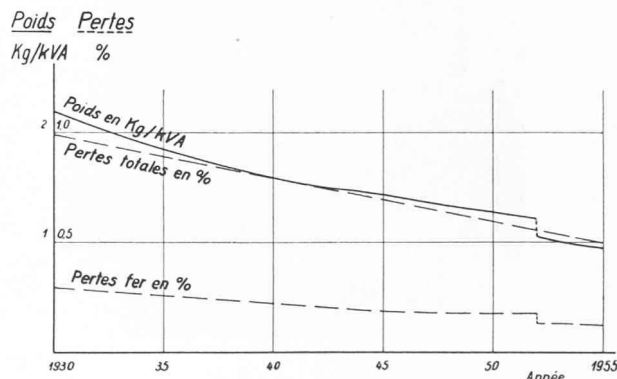


Fig. 1. — Poids et pertes de gros transformateurs 1930-1955.