

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 46 (1955)
Heft: 10

Rubrik: Production et distribution d'énergie : les pages de l'UCS

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: 18.02.2026

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

Problèmes d'actualité posés par l'alimentation en énergie des réseaux de traction électrique

Par C. Th. Kromer, Freiburg i. Br.

621.331

Le 9 décembre 1954, Monsieur le professeur C. Th. Kromer fut l'hôte de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich. Il prononça à cette occasion une conférence sur les «Problèmes d'actualité posés par l'alimentation en énergie des réseaux de traction électrique». Avec son accord, nous publions ici une partie de cette conférence, qui est certainement d'un grand intérêt pour nos lecteurs; le texte complet a déjà paru dans l'Electrique¹⁾.

L'auteur compare entre elles les différentes possibilités d'alimentation en énergie des réseaux de traction électrique; il calcule le rendement et le prix de l'énergie produite pour quelques exemples; il traite aussi à cette occasion des problèmes posés par la traction électrique en courant monophasé à 50 Hz.

Nous allons traiter de quelques problèmes d'actualité choisis parmi le grand nombre de ceux que pose l'alimentation en énergie des réseaux de traction électrique. Comme dans ce domaine les opinions sont assez diverses, mais que d'autre part chacune des solutions adoptées par les divers pays a fait ses preuves, la présente étude pourra peut-être — sans entrer dans les détails — inciter à la réflexion et contribuer à la compréhension mutuelle entre les spécialistes de la traction et ceux de la production et distribution d'énergie électrique.

Dans les pays qui possèdent de bonnes ressources en forces hydrauliques ou en charbon, on ne met plus en doute aujourd'hui que la traction électrique est avantageuse du point de vue économique. Quant aux pays qui possèdent des combustibles liquides à bon marché, une voie avantageuse du point de vue économique s'ouvre avec l'emploi de locomotives Diesel.

Le rendement thermodynamique de la machine à vapeur d'une locomotive ne dépasse pas 8 % environ; par contre, une usine génératrice thermique moderne produit l'énergie électrique destinée à la traction avec un rendement de 28 % environ. Si l'on compte, pour la locomotive à vapeur comme pour la locomotive électrique, avec un rendement de 75 % pour la transmission mécanique, on obtient un rendement total de 6 % pour la locomotive à vapeur et de 21 % par contre pour la locomotive électrique alimentée en énergie par des usines génératrices thermiques. Dit sous une autre forme, la consommation en charbon est trois ou quatre fois plus élevée dans le cas d'une locomotive à vapeur que dans celui d'une locomotive électrique.

En Europe occidentale, la longueur du tracé des chemins de fer électrifiés se monte aujourd'hui à 28 000 km environ; 7500 GWh environ sont consommés par la traction électrique, ce qui représente 270 000 kWh par km de tracé. La moitié environ est

Herr Prof. Dr. Ing. C. Th. Kromer hielt am 9. Dezember 1954 an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich eine Gastvorlesung über «Neuzeitliche Probleme der Stromversorgung für die elektrische Zugförderung». Mit seinem Einverständnis veröffentlichen wir hier auszugsweise diese Gastvorlesung, die auch für unsere Leser von Interesse sein dürfte. Der vollständige Wortlaut ist bereits in der Elektrizitätsverwertung¹⁾ erschienen.

Es werden die verschiedenen Möglichkeiten der Energieversorgung für die elektrische Zugförderung miteinander verglichen; der Wirkungsgrad sowie der Preis der erzeugten Energie werden für einige Beispiele errechnet, dabei werden auch die Probleme des Bahnbetriebes mit Einphasenstrom 50 Hz erörtert.

alimentée en courant alternatif monophasé à 16²/₃ Hz, 45 % environ en courant continu, et le reste en courant alternatif monophasé à 50 Hz ou triphasé.

Le choix entre ces différents modes d'alimentation est aussi important pour les entreprises ferroviaires que pour les entreprises d'électricité. Lorsqu'on veut débattre ces questions, on ne devrait pas perdre de vue quelques conclusions qui résultent de l'expérience acquise au cours de l'évolution qu'a subie la traction électrique.

Un des fondements les plus importants de la mécanique de la traction ferroviaire est l'utilisation de l'adhérence entre la roue et le rail, qui s'exprime par le coefficient d'adhérence. Les conditions sont d'autant plus favorables que le couple du moteur de traction a une caractéristique plus uniforme. Parmi les machines électriques qui possèdent une caractéristique dite «série», c'est certainement le moteur à courant continu qui est le plus favorable de ce point de vue. Les locomotives à groupe convertisseur, qui transforment le courant alternatif à 50 Hz ou 16²/₃ Hz qui leur est fourni par la ligne de contact en courant continu, permettent de plus un réglage continu et l'utilisation des caractéristiques idéales qui sont celles du montage Léonard. Ces deux propriétés sont très désirées, notamment sur les tracés de montagne et lorsqu'il s'agit d'entraîner de lourds trains de marchandises.

Au début du siècle, seul le moteur à courant continu était employé pour la traction électrique. Il s'est maintenu jusqu'à aujourd'hui, et on trouve actuellement de grands réseaux alimentés en courant continu en France, en Italie, et aux Etats-Unis d'Amérique. Dans ce dernier pays, on utilise normalement des tensions de 1500 V ou 3000 V. Cependant, comme les pertes dans la ligne de contact sont grandes, on est obligé d'alimenter cette dernière en des points assez rapprochés l'un de l'autre. Les sous-

¹⁾ L'Electrique, t. 30(1955), n° 1—2, p. 1...11.

¹⁾ Elektr. Verwertg. Bd. 30(1955), Nr. 1—2, S. 1...11.

stations sont alimentées en règle générale par le réseau général de distribution; elles transforment le courant alternatif à 50 Hz en courant continu, sous les tensions citées plus haut, par l'intermédiaire de redresseurs. Cette disposition a fait ses preuves et l'on n'entrevoit rien d'autre pour l'instant, sauf peut-être le passage généralisé de 1500 V à 3000 V: dans ce dernier cas en effet la distance des sous-stations entre elles est plus grande et les pertes sont moins élevées.

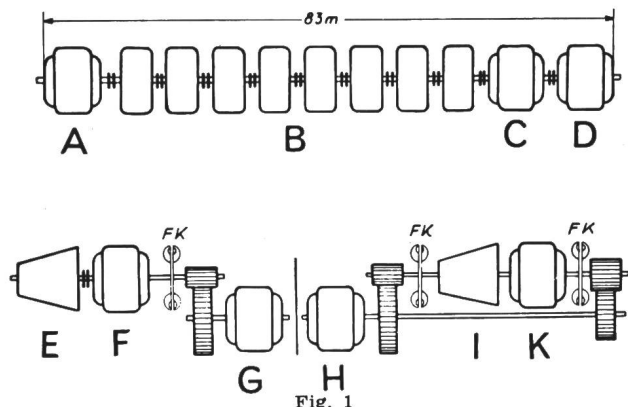


Fig. 1
Production commune d'énergie triphasée à 50 Hz
et monophasée à 16 2/3 Hz

En haut: Pfrombach — En bas: Marguerre

- | | |
|---|-------------------------------------|
| A alternateur triphasé de 17,5 MVA | E turbine de 50 MW |
| B 8 turbines Francis spéciales de 3,5 MW chacune, $n = 250$ t./m. | F alternateur triphasé de 35 MW |
| C alternateur monophasé de 20 MVA | G alternateur monophasé de 12/15 MW |
| D moteur triphasé de 17,5 MVA | H alternateur monophasé |
| | I turbine |
| | K alternateur triphasé |

Une nouvelle locomotive à courant continu intéressante est la locomotive française dite «CC», qui a atteint, lors d'essais effectués sur la ligne Paris—Lyon, la vitesse extrêmement élevée de 243 km/h. D'autres pays européens, tels la Suisse, l'Allemagne, l'Autriche, la Suède et la Norvège, ont choisi l'alimentation en courant alternatif à 16 2/3 Hz. Le nombre de sous-stations nécessaire est ici beaucoup

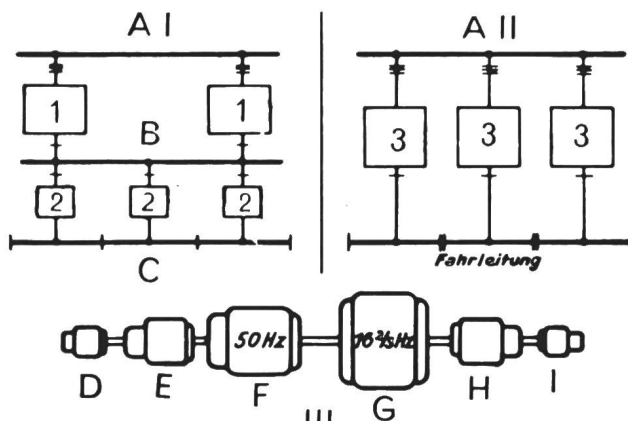


Fig. 2
Conversion 50 Hz/16 2/3 Hz

- | | |
|--|----------------------------------|
| I conversion centralisée | E machine en cascade |
| II conversion décentralisée | F moteur à 50 Hz |
| III groupe convertisseur «élastique» | G alternateur à 16 2/3 Hz |
| A réseau général à 110 kV, 50 Hz | H exitatrice principale |
| B réseau de traction à 110 kV, 16 2/3 Hz | J exitatrice auxiliaire |
| C ligne de contact | 1 centrale de conversion |
| D convertisseur de fréquence | 2 sous-station de transformation |
| | 3 sous-station de conversion |

plus faible, car la tension de la ligne de contact est de 15 kV. C'est surtout à cause des problèmes posés par la commutation qu'on se décida pour une fréquence de 16 2/3 Hz. Le moteur monophasé à collecteur qu'on développa dans ce but a fait ses preuves, et c'est presque exclusivement ce moteur qui est aujourd'hui employé dans les pays cités. Une automotrice du chemin de fer Bern—Lötschberg—Simplon constitue une autre solution intéressante; cette automotrice a été construite pour courant alternatif à 16 2/3 Hz, mais elle peut être munie en cas de besoin d'un dispositif lui permettant de circuler aussi sur les lignes alimentées en courant continu sous une tension de 1500 ou 3000 V.

Il existe diverses solutions pour l'alimentation d'un réseau de traction en courant alternatif à 16 2/3 Hz. Les fig. 1 et 2 indiquent quelques unes de ces possibilités. C'est ainsi que l'on peut coupler à une turbine hydraulique ou à vapeur une génératrice monophasée alimentant le réseau de traction; une génératrice triphasée couplée à la même turbine peut, si on le désire, travailler comme moteur et entraîner la génératrice monophasée à la place de la turbine, réalisant ainsi un groupe convertisseur.

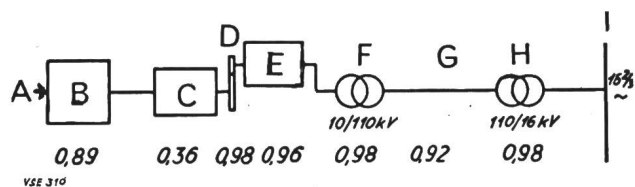


Fig. 3
Rendements de la production thermique
d'énergie monophasée à 16 2/3 Hz

Rendement de l'usine génératrice:

$$\eta_k = 0,89 \cdot 0,36 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 0,30$$

Rendement du transport d'énergie:

$$\eta_u = 0,92 \cdot 0,98 = 0,90$$

Rendement total (pour un «facteur d'exploitation» de 0,90)

$$\eta_r = (0,90 \cdot 0,30) \cdot 0,90 = \eta_k' \cdot 0,90 = 0,27 \cdot 0,90$$

$$\eta_r = 0,24$$

- | | |
|---|-----------------------------------|
| A | charbon |
| B | chaudière 70 at |
| C | turbine à vapeur de 25 MW |
| D | transmission par engrenages |
| E | alternateur monophasé à 16 2/3 Hz |
| F | transformateur 10/110 kV |
| G | ligne de transport |
| H | transformateur 110/16 kV |
| I | ligne de contact (16 2/3 Hz) |

L'emploi de groupes convertisseurs de fréquence asynchrone/synchrone — placés dans les usines génératrices ou dans les sous-stations de l'entreprise ferroviaire — permet de passer de 50 Hz à 16 2/3 Hz, c'est-à-dire d'alimenter le réseau de traction à 16 2/3 Hz par le réseau de distribution générale à 50 Hz.

Nous avons calculé, pour diverses solutions permettant l'alimentation en courant alternatif monophasé à 16 2/3 Hz, le rendement total de la transformation d'énergie: charbon/énergie électrique fournie à la locomotive par la ligne de contact. Il s'agit des divers cas suivants:

- Production thermique d'énergie monophasée à 16 2/3 Hz (fig. 3);
- Production thermique d'énergie monophasée à 16 2/3 Hz et d'énergie triphasée à 50 Hz dans un même groupe de machines (fig. 4);

c) Production thermique d'énergie triphasée à 50 Hz et utilisation d'un groupe convertisseur de fréquence (fig. 5).

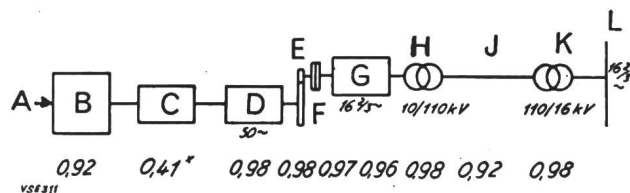


Fig. 4

Rendements de la production thermique d'énergie monophasée à 16 $\frac{2}{3}$ Hz et d'énergie triphasée à 50 Hz dans un même groupe de machines

$$\eta_k = 0,92 \cdot 0,41 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 0,34$$

$$\eta_u = 0,92 \cdot 0,98 = 0,90 \text{ «facteur d'exploitation»: } 0,90$$

$$\eta_T = (0,90 \cdot 0,34) \cdot 0,90 = \eta_k' \cdot 0,90 = 0,31 \cdot 0,90$$

$$\eta_T = 0,28$$

- | | |
|--------------------------------|---|
| A charbon | F accouplement |
| B chaudière 115 at | G alternateur monophasé à 16 $\frac{2}{3}$ Hz |
| C turbine à vapeur de 40 MW | H transformateur 10/110 kV |
| D alternateur triphasé à 50 Hz | J ligne de transport |
| E transmission par engrenages | K transformateur 110/16 kV |
| | L ligne de contact (16 $\frac{2}{3}$ Hz) |

Il est certainement permis de multiplier les différents rendements entre eux, à savoir les rendements thermiques, mécaniques et électriques; le résultat obtenu peut être défini comme étant le rendement de la transformation d'énergie; il caractérise du point de vue économique la solution choisie.

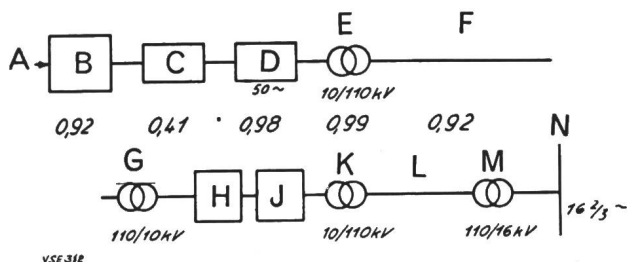


Fig. 5

Rendements de la production thermique d'énergie triphasée à 50 Hz avec utilisation d'un groupe convertisseur de fréquence

$$\eta_k = 0,92 \cdot 0,41 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,37$$

$$\eta_u = 0,92 \cdot 0,99 \cdot 0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,92 \cdot 0,98 = 0,75$$

$$\text{«facteur d'exploitation»: } 0,92$$

$$\eta_T = (0,37 \cdot 0,92) \cdot 0,75 = \eta_k' \cdot 0,75 = 0,34 \cdot 0,75$$

$$\eta_T = 0,26$$

- | | |
|--------------------------------|--|
| A charbon | G transformateur 110/10 kV |
| B chaudière 115 at | H groupe convertisseur |
| C turbine à vapeur de 60 MW | J 50 Hz/16 $\frac{2}{3}$ Hz |
| D alternateur triphasé à 50 Hz | K transformateur 10/110 kV |
| E transformateur 10/110 kV | L ligne de transport |
| F ligne de transport | M transformateur 110/16 kV |
| | N ligne de contact (16 $\frac{2}{3}$ Hz) |

Comme on le voit, le plus mauvais rendement est obtenu dans le cas de la production thermique d'énergie monophasée à 16 $\frac{2}{3}$ Hz (fig. 3). Ceci pro-

vient surtout du faible rendement du groupe turbo-alternateur monophasé; la puissance maximum de tels groupes est aujourd'hui de 25 MW, et leur rendement ne peut donc atteindre celui des groupes turbo-alternateurs triphasés beaucoup plus puissants qui sont en service dans les usines thermiques modernes. Il est un peu plus avantageux de produire de l'énergie triphasée à 50 Hz, de la transformer en énergie monophasée à 16 $\frac{2}{3}$ Hz dans un groupe convertisseur et d'alimenter alors le réseau de traction par l'intermédiaire d'une ligne de distribution à 100 kV parallèle au tracé du rail (fig. 5).

Le meilleur rendement est obtenu par l'emploi d'un groupe turbo-alternateur triphasé couplé à une génératrice monophasée. C'est là une solution qui fut appliquée pour la première fois par Marguerre à la grande usine génératrice de Mannheim. Elle permet de faire bénéficier la génératrice monophasée des rendements élevés du puissant groupe turbo-alternateur (valeurs élevées de la pression d'admission, resurchauffe intermédiaire); la génératrice monophasée est couplée au groupe triphasé par l'intermédiaire d'une transmission à engrenages et d'un accouplement hydraulique (fig. 6).

Coût de l'énergie fournie au réseau de traction par des usines génératrices thermiques

Tableau I

	Coût de l'énergie (16 $\frac{2}{3}$ Hz) Pfg./kWh			
	110 kV à la sous-station		16 kV à la ligne de contact	
	4000 h	5000 h	4000 h	5000 h
Production d'énergie monophasée à 16 $\frac{2}{3}$ Hz	5,94	5,44	6,39	5,81
Production d'énergie monophasée à 16 $\frac{2}{3}$ Hz et d'énergie triphasée à 50 Hz dans le même groupe de machines	5,43	4,96	5,87	5,32
Production d'énergie triphasée à 50 Hz et conversion 50 Hz/16 $\frac{2}{3}$ Hz	4,88	4,50	6,34 7,16	5,76 6,49

Si l'on calcule, en plus des rendements, le prix de revient effectif en Pfg./kWh (Tableau I), qui tient compte des investissements pour l'usine génératrice et les sous-stations de transformation et de conversion, on constate ce qui suit:

Le prix de revient de l'énergie fournie à la locomotive par la ligne de contact se monte — si l'on admet une durée d'utilisation de 4000 heures par an — à 6,39 Pfg. dans le cas de la production dans des groupes générateurs monophasés comme celui de la fig. 3; à 5,87 Pfg. dans le cas de la production

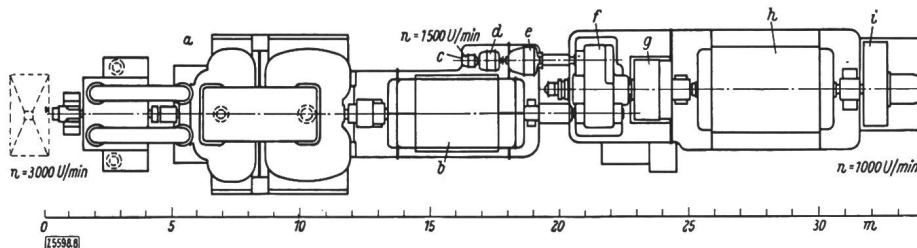


Fig. 6

Groupe de machines pour la production d'énergie monophasée à 16 $\frac{2}{3}$ Hz et d'énergie triphasée à 50 Hz (système Marguerre)

- | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| a turbine à vapeur de 40 MW | c excitatrice auxiliaire | f transmission par engrenages 3:1 | h alternateur monophasé de 16,3 MVA |
| b alternateur triphasé de 40 MVA | d excitatrice de b | g accouplement Voith-Marguerre | i ventilateur pour h |
| | e excitatrice de h | | n vitesse de rotation |

d'énergie monophasée d'après le système Marguerre (fig. 4); à 6,34 Pfg. dans le cas de la production d'énergie triphasée et d'emploi des groupes convertisseurs si la ligne de contact est située dans le voisinage immédiat de la sous-station de conversion; à

réserve n'est pas aussi claire: elle est à résoudre dans chaque cas particulier. Tout dépend aussi jusqu'à quel point l'on désire pourvoir à une réserve.

Des pays comme la Suisse et l'Autriche ont fait de bonnes expériences aussi bien en construisant des

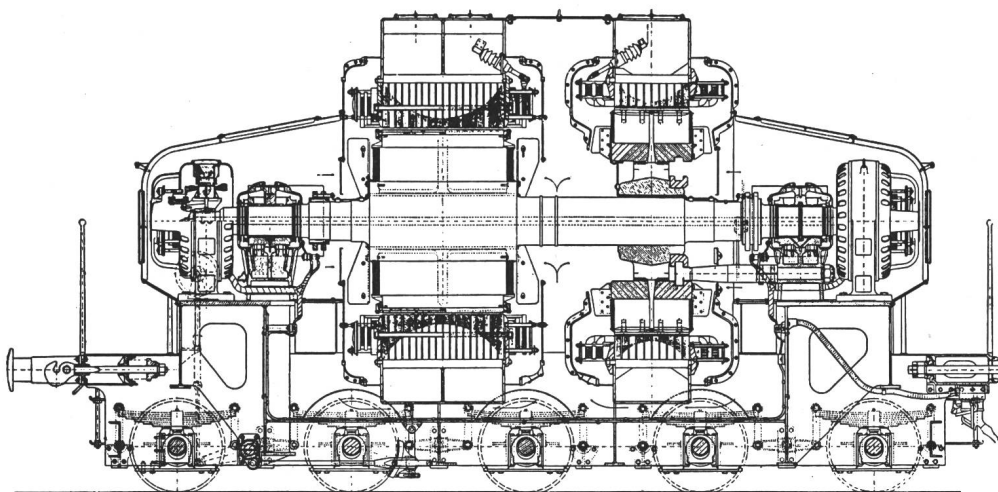


Fig. 7

Groupe convertisseur synchrone/synchrone roulant

7,16 Pfg. enfin dans ce même cas mais si l'énergie à $16\frac{2}{3}$ Hz doit être encore transportée à de grandes distances par des lignes à 110 kV (fig. 5). Si l'on pose égal à 100 le prix de revient dans le cas de la fig. 3, on obtient pour le cas de la fig. 4 un chiffre de 91 seulement et pour celui de la fig. 5 99, respectivement 110 environ.

A côté de ces chiffres, certaines considérations ayant trait à l'exploitation proprement dite sont importantes. Il s'agit notamment du problème de la réserve en moyens de production.

Un autre point important est celui-ci: dans les pays disposant aussi de ressources hydrauliques, le prix de revient de l'énergie thermique peut souvent être abaissé, notamment lorsque on peut disposer en été de la dite énergie hydraulique. Si l'énergie monophasée est produite dans des groupes séparés (comme c'est le cas aux fig. 3 et 4), la question de la

usines génératrices destinées uniquement à l'alimentation du réseau de traction, que des usines génératrices mixtes, produisant à la fois de l'énergie monophasée et de l'énergie triphasée.

Un exemple simple d'alimentation du réseau de traction par le réseau général interconnecté à 50 Hz

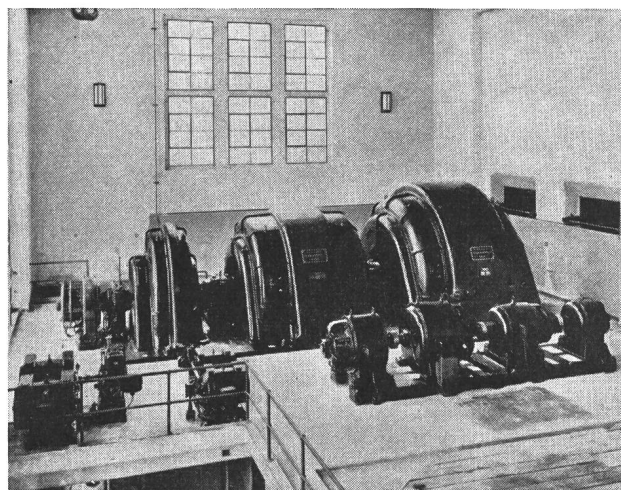


Fig. 9

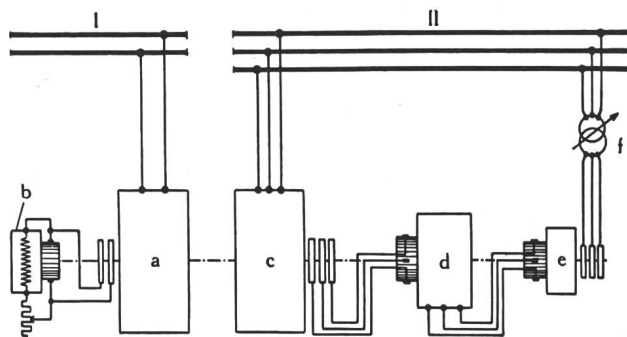
Groupe convertisseur de fréquence 50 Hz/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 10 625 kVA

Fig. 8

Schéma des connexions d'un groupe convertisseur couplé élastiquement au réseau

- | | |
|--|---|
| I réseau monophasé à 16 $\frac{2}{3}$ Hz | d machine de Scherbius (régulant c) |
| II réseau triphasé à 50 Hz | e convertisseur de fréquence (excitant la machine de Scherbius) |
| a alternateur synchrone monophasé | f régulateur à induction |
| b excitatrice de a | |
| c moteur asynchrone triphasé | |

est donné par la Suède¹⁾, où l'énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz est produite par de petits groupes convertisseurs synchrone/synchrone (fig. 7). Les Suédois justifient ce choix en relevant que l'énergie triphasée à disposition est à très bon marché. On ne trouve pas en Suède de réseau de traction séparé à 110 kV: la ligne de contact est directement alimentée par les groupes convertisseurs cités.

¹⁾ Th. Thelander, Electrification of the Swedish State Railways in its Engineering and Economic Aspects.

En Autriche, on vient de mettre en service pour le tronçon Vienne—Salzbourg un important groupe convertisseur asynchrone/synchrone de 16 MW, qui transforme la fréquence de 50 Hz à 16 $\frac{2}{3}$ Hz (voir fig. 8).

Les Chemins de Fer Fédéraux suisses ont en service plusieurs centrales hydroélectriques leur appartenant en propre et produisant de l'énergie monophasée. En collaboration avec les entreprises livrant de l'énergie à des tiers, ils exploitent d'autre part des centrales mixtes comme celles de Rupperts-wil-Auenstein et de l'Etzel, où sont installés

chone/synchrone qui sera alimenté en énergie à 50 Hz par le réseau du «Badenwerk» et livrera de l'énergie monophasée au réseau de traction. On a prévu, de plus, d'installer un autre groupe convertisseur analogue sur la ligne Bâle—Karlsruhe. Pour

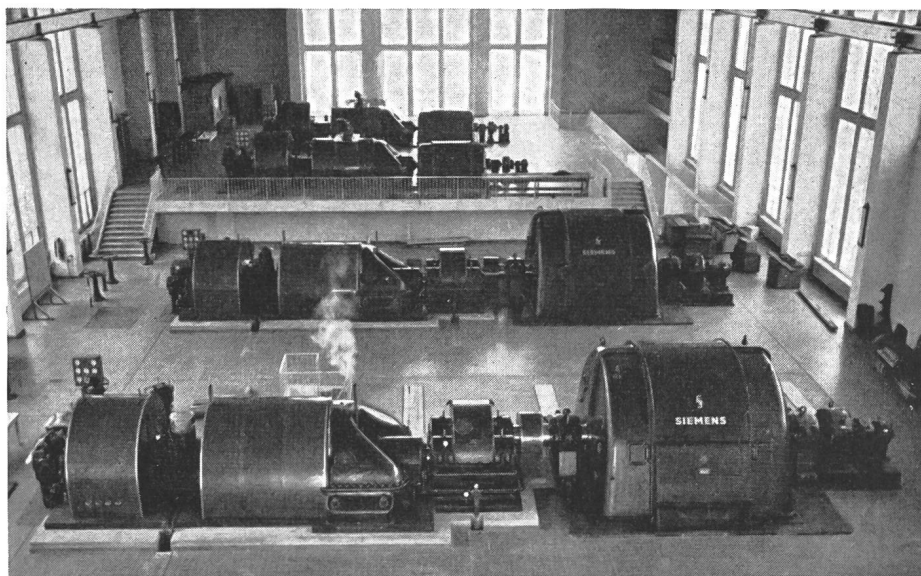


Fig. 10

Usine génératrice de Penzberg de la «Deutsche Bundesbahn»: 2 groupes turbo-alternateurs de 10/12,5 MW alimentant le réseau de traction

des groupes générateurs monophasés destinés uniquement à l'alimentation du réseau du traction. Enfin, de l'énergie triphasée est prélevée sur le réseau de distribution générale pour être transformée en énergie monophasée dans des groupes convertisseurs asynchrone/synchrone (fig. 9) ou synchrone/synchrone.

l'électrification de la région de la Rhur, on a tout d'abord mis en service un groupe turbo-alternateur monophasé dans une centrale d'une entreprise livrant de l'énergie à des tiers; de plus, on installe actuellement des groupes convertisseurs asynchrone/synchrone. La fig. 12 représente un groupe convertisseur utilisé pour un tel mode d'alimentation du réseau de traction.

Les entreprises ferroviaires attachent souvent une grande importance au fait de pouvoir installer dans les centrales des entreprises d'électricité des groupes générateurs monophasés leur appartenant en propre. C'est possible dans certains cas, et peut aussi être juste. Il y a cependant des cas où un groupe générateur monophasé détruit en quel-

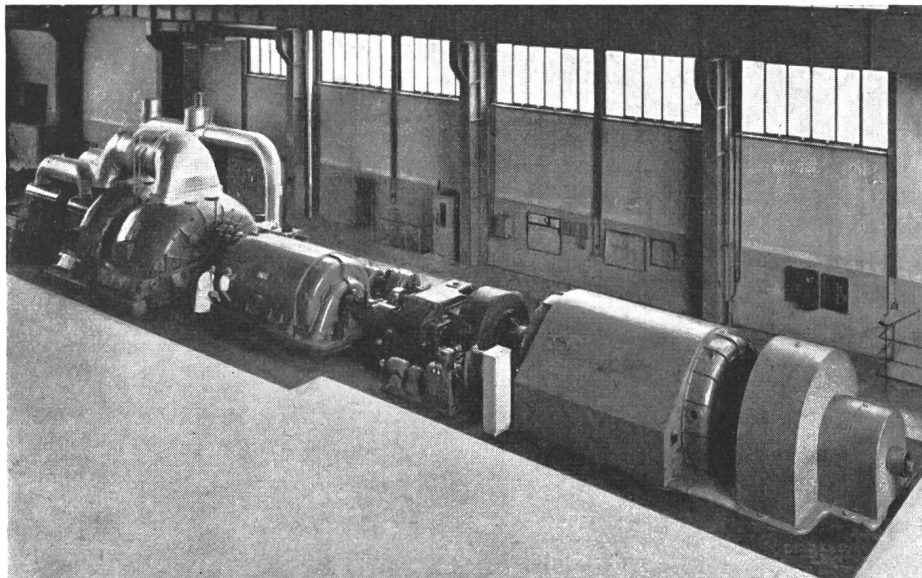


Fig. 11

Groupe turbo-alternateur triphasé et monophasé de 40 MW

A la «Deutsche Bundesbahn», le réseau de traction est alimenté par des centrales hydrauliques spéciales, par des centrales thermiques appartenant aux chemins de fer et possédant des groupes générateurs monophasés (fig. 10), par des centrales enfin appartenant à des entreprises livrant de l'énergie à des tiers où sont installés des groupes générateurs monophasés appartenant aux chemins de fer (fig. 11). En ce qui concerne les lignes en cours d'électrification du pays de Bade, la «Deutsche Bundesbahn» a installé à Karlsruhe un groupe convertisseur asyn-

que sorte, du point de vue de l'exploitation, l'harmonie d'une centrale produisant de l'énergie triphasée. C'est le cas par exemple pour les usines génératrices de type dit «bloc»; dans ces usines, sont installées une série de chaudières et de machines identiques, qui sont exploitées sous forme de «bloc». Dans une telle centrale, l'introduction d'un groupe de machines système Marguerite par exemple ou d'un groupe générateur monophasé normal aurait une telle influence sur l'agencement de la salle des machines, que l'exploitation en souffrirait et per-

draît en clarté, sans parler de l'asymétrie du bâtiment (fig. 13).

Dans les centrales hydrauliques au fil de l'eau, il n'est pas toujours possible d'installer des groupes générateurs monophasés de telle façon que l'explo-

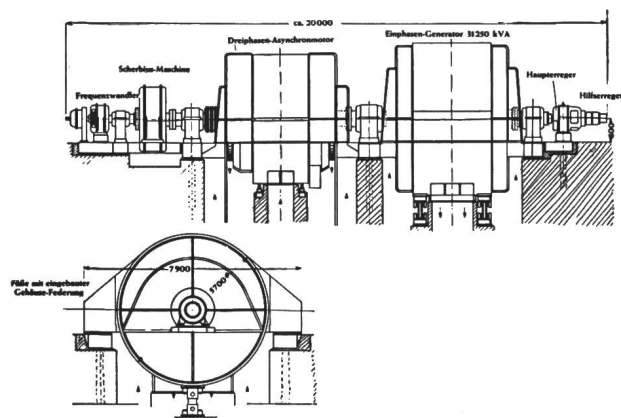


Fig. 12

Groupe convertisseur 50 Hz/16 2/3 Hz couplé élastiquement au réseau

tation des groupes triphasés n'en souffre pas: on perd en effet en flexibilité du point de vue de la répartition des quantités d'eau à disposition. C'est notamment le cas lorsque la centrale comprend plusieurs groupes générateurs triphasés appartenant chacun à diverses entreprises partenaires; les difficultés seraient spécialement grandes dans le cas d'usines génératrices situées sur des cours d'eau frontalières, car la répartition de l'énergie et les échanges à travers la frontière exigent la présence de groupes générateurs unitaires. La situation serait spécialement critique en cas de basses eaux, lorsque il n'est pas possible de maintenir en service toutes les machines.

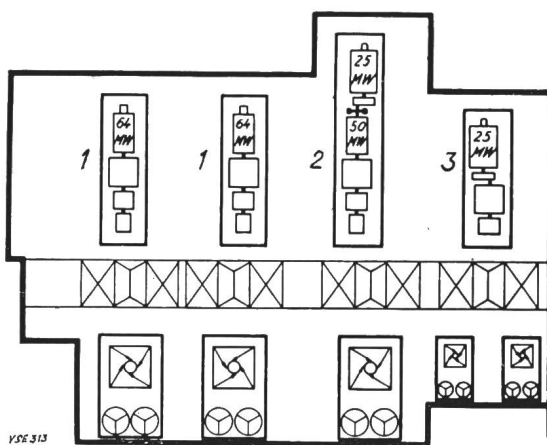


Fig. 13

Usine génératrice de type dit «à blocs» agencée pour la production d'énergie triphasée et monophasée

En ce qui concerne l'alimentation des réseaux de traction en énergie monophasée, on ne peut établir de règles générales. Dans les pays possédant des ressources hydrauliques, les conditions ne sont pas les mêmes que dans ceux qui ne peuvent employer pour la traction que de l'énergie d'origine thermique. Les systèmes qui ont été développés et sont appliqués depuis des dizaines d'années ne peuvent pas être jugés de la même façon que ceux qu'il serait dési-

table d'appliquer lors de l'électrification de nouvelles lignes de chemin de fer importantes. C'est ainsi que l'on peut, dans les pays où de tels projets sont en discussion, se demander comment faut-il faire — indépendamment des systèmes déjà connus —, pour électrifier une ligne donnée dans les conditions les plus avantageuses, et ceci en étroite collaboration avec le réseau de distribution général existant. C'est pourquoi nous dirons encore quelques mots de l'alimentation de réseaux de traction en courant alternatif monophasé à 50 Hz provenant directement du réseau de distribution générale.

En Allemagne, les essais de principe relatifs à l'alimentation en courant alternatif monophasé à 50 Hz ont été faits sur la ligne de la «Höllentalbahn» en Forêt Noire²⁾. La Société Nationale des Chemins de fer Français a procédé de son côté sur le tronçon Aix-les-Bains/La Roche-sur-Foron à des essais concluants. Comme les résultats étaient satisfaisants, on fut conduit à adopter aussi ce mode d'alimentation pour des tronçons très chargés — comme le tronçon Valenciennes/Thionville.

L'influence de la traction à 50 Hz sur l'ensemble des grands réseaux interconnectés n'est pas nuisible d'après les expériences faites et selon l'avis des spécialistes. La capacité des réseaux est devenue si grande que la consommation des différentes locomotives — qui peuvent charger des phases différentes — ne se remarque pratiquement pas sur la charge totale du réseau. Aux Etats-Unis d'Amérique, on a déjà fait des expériences concernant l'influence des redresseurs «Ignitron» montés sur des locomotives à convertisseur sur le réseau de distribution générale du point de vue de la teneur en harmoniques. Ces données manquent en Europe; c'est pourquoi l'on propose, pour l'équipement électrique de ces locomotives, des solutions qui permettent certainement d'éviter la teneur en harmoniques élevée du courant primaire des dits redresseurs. D'autre part, l'influence sur le réseau à 50 Hz du point de vue de la teneur en harmoniques ne peut pas être grande, puisqu'il s'agit de machines dont la puissance n'est pas comparable à celle des redresseurs installés dans les grandes entreprises de l'industrie électrochimique, pour lesquels on peut maintenir dans des limites acceptables l'influence

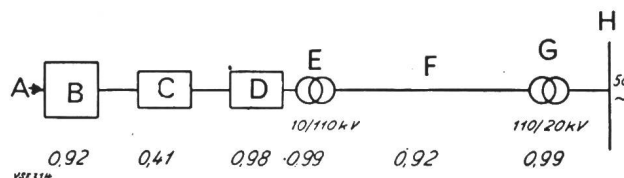


Fig. 14

Rendements et prix de l'énergie pour la traction à 50 Hz (production thermique)

$$\begin{aligned}\eta_k &= 0.92 \cdot 0.41 \cdot 0.98 \cdot 0.99 = 0.37 \\ \eta_u &= 0.92 \cdot 0.99 = 0.91 \\ \text{«facteur d'exploitation»} &= 0.92 \\ \eta_T &= (0.92 \cdot 0.37) \cdot 0.91 = \eta_k \cdot 0.91 = 0.34 \cdot 0.91 \\ \eta_T &= 0.31\end{aligned}$$

Coût de l'énergie:

5,23 Pfg./kWh pour une durée d'utilisation de 4000 h

4,79 Pfg./kWh pour une durée d'utilisation de 5000 h

A charbon E transformateur 10/110 kV
B chaudière 115 at F ligne de transport
C turbine à vapeur G transformateur 110/20 kV
D alternateur triphasé à 50 Hz H ligne de contact (50 Hz)

¹⁾ Voir Bull. ASE t. 46(1955), n° 1, p. 34...40.

sur le réseau. Les entreprises d'électricité ont donc tendance, du point de vue technique aussi, à accepter ce mode d'alimentation du réseau de traction.

Du point de vue économique, les conditions sont en tous cas meilleures pour l'alimentation à 50 Hz que pour l'alimentation en courant monophasé à $16\frac{2}{3}$ Hz. De façon tout à fait analogue aux figures relatives à ce dernier mode d'alimentation, la fig. 14 donne les rendements et le prix de revient pour l'énergie triphasée à 50 Hz provenant de centrales thermiques. Le rendement d'ensemble obtenu est meilleur et le prix de revient ne dépasse pas 89 % de celui qui a été donné plus haut pour l'énergie produite dans des centrales thermiques par des groupes générateurs monophasés. Ce prix de revient est aussi en dessous de celui calculé dans le cas du système Marguerre, cas le plus favorable lors de l'alimentation en énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz. Rele-

vons enfin que, si l'énergie nécessaire à la traction est fournie directement par le réseau de distribution générale, il ne se pose pas de problèmes du point de vue réserve en moyens de production, et que d'autre part un réseau de distribution appartenant en propre aux chemins de fer devient inutile, d'où des économies correspondantes.

Les problèmes que pose l'alimentation en énergie des réseaux de traction sont aujourd'hui si nombreux, que nous ne pouvions ici les traiter tous en détail. Nous avons essayé d'exposer quelques idées capables de faciliter une vue claire sur l'ensemble de la question. La poursuite de la collaboration entre les entreprises ferroviaires d'une part et les entreprises d'électricité de l'autre ne pourra que contribuer à la solution de ces problèmes.

Adresse de l'auteur:

C. Th. Kromer, Prof. Dr.-Ing., Gunterstalstr. 19, Freiburg i/Breisgau.

Essais de réception des disjoncteurs, relais, transformateurs de mesure et transformateurs de puissance; expériences faites en service avec ces appareils (jusqu'à 50 kV)

Remarque concernant les comptes rendus des assemblées de discussions de l'UCS du 29 avril 1954
à Zurich et du 11 mai 1954 à Lausanne.

Par G. Courvoisier, Baden

061.3 : 061.2(494) VSE : 621.31

Nous venons de recevoir une communication provenant des milieux de l'industrie; nous la reproduisons textuellement ici, en estimant servir ainsi à la collaboration entre exploitants et constructeurs.

Aus Kreisen der Industrie ist nachfolgende Zuschrift eingegangen, die wir hier im Wortlaute wiedergeben in der Meinung, dass damit der Zusammenarbeit zwischen Elektrizitätswerk und Konstruktionsfirma gedient wird.

Quelques passages des comptes rendus cités en titre du présent article ont donné lieu à une certaine opposition de la part des constructeurs. Comme, cependant, les deux partis sont d'accord pour estimer que — pour reprendre les termes de l'introduction aux dits comptes rendus — «... seule une collaboration sincère entre exploitants et constructeurs permettra d'atteindre les buts recherchés par les uns comme par les autres», et comme, d'autre part, les questions fondamentales soulevées par ces comptes rendus ont déjà été débattues lors d'une rencontre entre les représentants des deux partis, nous nous bornerons, dans ce qui suit, à quelques mises au point et compléments de nature technique.

Dans la version allemande du compte rendu de l'assemblée de Lausanne, on peut lire sous «3. Diskussion. a) Netzschutz und Relais» la phrase suivante: «Im Netz eines grossen städtischen Werkes hat die Selektivschutzanlage mit Distanzrelais nie gut funktioniert.» Il s'agit là d'une erreur de traduction; dans le cas particulier, on a affaire non pas à des relais de distance, mais à une installation de signalisation de terres constituée par des relais de terres directionnels. Le paragraphe suivant du même compte rendu montre d'ailleurs qu'il ne s'agit pas là d'un défaut de principe de telles installations; ces dernières sont toutefois qualifiées à tort dans ce paragraphe de «Selektivschutz».

Une remarque qu'on peut lire dans le compte rendu de l'assemblée de Lausanne sous «1. Relais et transformateurs de mesure» pourrait donner lieu à de fausses interprétations. Il y est dit en effet que «... de 1942 à 1947, ... sur 32 cas de fonctionnement

des relais de distance, il a été assuré dans 75 % des cas une sélection parfaite, ce qui est satisfaisant». Nous ne savons pas comment ce chiffre a été calculé; selon nous, un tel résultat n'est pas du tout satisfaisant. Afin que le lecteur puisse se faire une idée de la qualité de la protection qui est assurée par des installations de relais de distance rapides, nous donnons ci-dessous un exemple typique extrait des «Rapports de dérangements» que plusieurs grandes entreprises d'électricité ont l'obligeance de nous faire parvenir régulièrement:

Dans un grand réseau suisse, dans lequel 184 blocs de relais de distance rapides sont en service, 301 disjonctions commandées par ces relais se sont produites durant la période 1953/54. Dans 98 % des cas, la protection par relais de distance s'est comportée parfaitement; dans deux des 6 cas restants, on a constaté un nombre trop grand de déclenchements de disjoncteurs; 4 cas n'ont pas pu être complètement éclaircis. On n'a relevé aucun cas de non-fonctionnement.

Nous tenons enfin à faire remarquer que les insuffisances relevées dans le compte rendu de la discussion de Zurich sous «2. Relais primaires et protection des réseaux — Expériences faites en service» concernent des types de relais qui sont apparus sur le marché il y a plus de quarante ans, mais sont encore en service dans quelques entreprises d'électricité, bien qu'ils aient été remplacés il y a vingt ans déjà — précisément à cause des insuffisances citées — par de nouveaux types donnant toute satisfaction.

Adresse de l'auteur:

G. Courvoisier, ing. dipl. EPF, Brown, Boveri et Cie., Baden.

Dérangement survenu à un interrupteur sur poteau

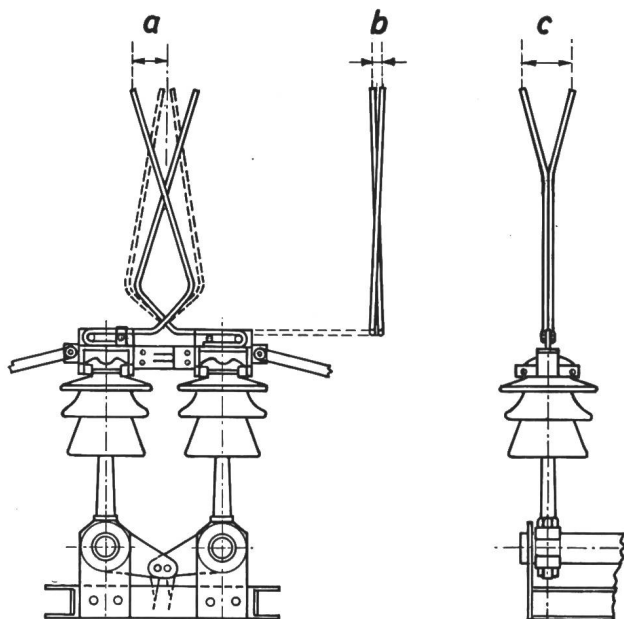
Par R. Wild, Zurich

621.316.542.8 - 742.004.6

A la suite de la parution, dans le Bull. ASE vol. 46(1955), n° 8, p. 377...378 (Prod. et Distr. Energie vol. 2(1955), n° 8, p. 93...94) de l'article de W. Jaggi «Dérangement survenu à un interrupteur sur poteau», R. Wild nous a communiqué les expériences faites à ce sujet aux «Elektrizitätswerke des Kantons Zürich» (EKZ). Les constatations faites par R. Wild lors d'un dérangement survenu dans le réseau des EKZ sont très voisines de celles communiquées par W. Jaggi dans l'article mentionné ci-dessus. Il est intéressant d'apprendre que le dérangement décrit par W. Jaggi ne constitue pas un cas isolé; c'est avec plaisir que nous publierions ici d'autres contributions au même sujet.

W. Jaggi nous fait cependant remarquer que le dérangement qu'il a décrit est bien le premier survenu dans le réseau de l'Atel, bien que l'on n'y ait toujours employé que des cornes en cuivre et que plusieurs modèles d'interrupteurs sur poteau y soient en service.

W. Jaggi a décrit un dérangement survenu à un interrupteur sur poteau. Or, le même dérangement s'est produit, il y a quelques années déjà, dans le réseau à 8/16 kV des Entreprises Electriques du Canton de Zurich (EKZ). Le cas fut étudié en détail. Il s'agissait d'un interrupteur sur poteau d'un autre modèle que celui dont le dérangement a été décrit dans l'article de W. Jaggi, ce qui semble montrer que le défaut en question est commun à tous les interrupteurs à cornes.



VSF 309

Fig. 1

Vue partielle d'un interrupteur sur poteau à 16 kV

- a position limite des cornes vibrant lors de la fermeture de l'interrupteur
- b croisement des cornes lorsque leurs extrémités n'ont pas été courbées
- c l'éloignement des deux extrémités ($c > b$) permet d'éviter le retour du dérangement

Les isolateurs mobiles, dont le mouvement permet d'effectuer les manœuvres d'enclenchement et de déclenchement, sont comparables à des leviers à

Nach dem Erscheinen des Artikels von W. Jaggi «Störung an einem Freileitungsschalter» im Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 8, S. 377...378 (Energie-Erzeugung und Verteilung) Bd. 2 (1955), Nr. 8, S. 93...94, teilte uns R. Wild die Erfahrungen mit, die diesbezüglich bei den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ) gemacht worden sind. Die Feststellungen von R. Wild anlässlich einer Störung im Netz der EKZ decken sich im wesentlichen mit denjenigen, die von W. Jaggi im erwähnten Artikel mitgeteilt werden. Es ist interessant zu erfahren, dass die von W. Jaggi beschriebene Störung keinen Einzelfall darstellt. Wir werden in diesen Spalten allfällige weitere Mitteilungen aus diesem Gebiet gerne veröffentlichen.

W. Jaggi teilt uns noch mit, dass die von ihm beschriebene Störung tatsächlich die erste dieser Art im Netz der Atel war, trotzdem bei dieser Gesellschaft stets Kupferhörner verwendet worden und mehrere Modelle von Freileitungsschaltern in Betrieb sind.

un bras; la corne est la partie qui est la plus éloignée du point fixe, et la vitesse tangentielle de rotation de son extrémité est relativement grande lors de la fermeture de l'interrupteur. Si donc l'on ferme celui-ci rapidement, les extrémités des cornes restent tout d'abord en arrière, par suite de l'inertie et de l'élasticité de ces dernières, puis ces extrémités sont projetées, au moment de l'arrêt brusque du mouvement à bout de course, au delà de leur position normale. Si l'amplitude de ce dernier mouvement est suffisante, les extrémités des deux cornes correspondantes ne se recouvrent plus durant un court instant, et, comme dans le but d'assurer un contact permanent on leur a donné une certaine pression réciproque, elles se croisent aussitôt. Une fois croisées, les cornes s'accrochent l'une à l'autre en reprenant leur position normale. Au cours des essais effectués pour déterminer la cause du dérangement mentionné ci-dessus, on put constater que, si les enclenchements étaient suffisamment énergiques, les cornes s'accrochaient une fois sur dix environ.

Il fut assez facile d'empêcher le retour du défaut: il a suffi en effet de courber les extrémités des deux cornes correspondantes de façon à ce qu'elles s'écartent l'une de l'autre. Cette mesure une fois prise, il fut impossible de reproduire le défaut malgré des enclenchements répétés; il s'est confirmé dans la pratique que la solution choisie était la bonne, puisque le dérangement en question ne s'est plus produit depuis nombre d'années, et ceci bien que le nombre d'interrupteurs à cornes en service aux EKZ soit de plusieurs centaines.

W. Jaggi constate que le dérangement survenu dans son réseau est le premier de ce genre depuis 50 ans; nous aimerions de même souligner, de notre côté, que ce dérangement n'est apparu aux EKZ que lorsque les cornes en acier furent remplacées par des cornes en cuivre. Cette dernière remarque indique toute l'importance de l'élasticité des cornes pour l'apparition du défaut.

Adresse de l'auteur:

R. Wild, Entreprises Electriques du Canton de Zurich, Zurich.

Rédaction des «Pages de l'UCS»: Secrétariat de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité, Seefeldstrasse 301, Zurich 8, téléphone (051) 34 12 12; compte de chèques postaux VIII 4355; adresse télégraphique: Electrunion Zurich.

Rédacteur: Ch. Morel, ingénieur.

Des tirés à part de ces pages sont en vente au secrétariat de l'UCS, au numéro ou à l'abonnement.