

MACHINES UNIPOLAIRES INDUSTRIELLES

On sait que l'on a donné aux machines basées sur le principe bien connu du disque de Faraday le nom assez impropre de dynamos unipolaires, par opposition aux machines bi ou multipolaires, dans l'induit desquelles la force électromotrice change périodiquement de sens et qui exigent un commutateur redresseur spécial pour fournir des courants de direction invariable.

Le disque de Faraday est en réalité une machine d'induction d'une très grande simplicité, c'est la dynamo la plus simple connue jusqu'à présent et qui fournit une force électromotrice rigoureusement constante lorsque la vitesse de rotation est elle-même constante. En appuyant un balai sur l'axe et un autre sur la périphérie du disque on obtient un courant constant sans l'aide d'aucun collecteur qui, comme on le sait, constitue l'une des pièces délicates des dynamos à plusieurs pôles. De plus, le flux magnétique traversant l'induit (le disque) toujours dans le même sens n'est jamais inversé, et il n'y a par suite pas de pertes par hystérésis dans ce genre de machines. Quant aux courants de Foucault, ce sont justement eux qu'on utilise. Les avantages de cet appareil sont donc remarquables.

Cependant, par leur constitution même, ces machines ne peuvent produire, avec les vitesses ordinairement employées, qu'une force électromotrice très faible. Aussi, dans l'industrie, n'ont-elles guère été employées qu'à la production de courants très intenses, sous de très faibles voltages, tels qu'en demandent certaines applications électrolytiques.

On a bien essayé d'employer plusieurs disques isolés les uns des autres et reliés électriquement en série, mais les résultats n'ont pas été favorables. Au lieu d'augmenter le nombre de disques on peut augmenter le nombre de tours : mais tant que l'on a eu que les machines à vapeur à mouvement alternatif, le

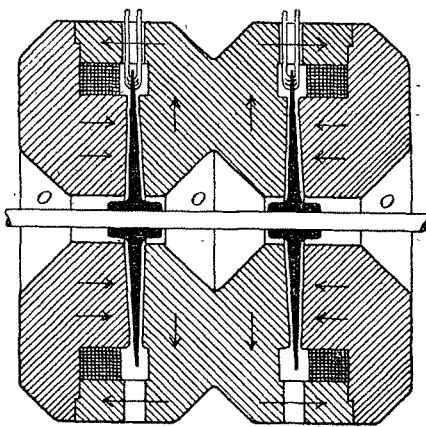


Schéma d'une dynamo unipolaire double.

nombre de tours maximum réalisable pratiquement était encore beaucoup trop faible ; maintenant que l'on dispose de turbines à vapeur tournant à des vitesses inconnues jusqu'ici il semble que l'avantage doit revenir aux machines unipolaires.

M. SEIDENER, dans les *Zeitschrift fur Electrotechnik* de Vienne, s'est attaché à cette question de l'entraînement des dynamos unipolaires par des turbines à vapeur, et il est convaincu que ces groupes électrogènes peuvent donner de très bons résultats.

Cet auteur propose le type de machine suivant, dont nous reproduisons ici un schéma. Sur un même arbre sont calés deux disques parfaitement équilibrés et tournant dans des cavités ménagées à l'intérieur d'une carcasse magnétique. La simplicité de la machine permet de se rendre immédiatement compte de son fonctionnement.

Dans le cas de la figure ci-contre, deux balais appuyent à la périphérie des disques et les champs magnétiques sont tels que les courants induits par la rotation commune vont, dans ces disques, de la périphérie au centre pour l'un, et du centre à la périphérie pour l'autre. Les deux disques sont en série et le voltage total est le double de ce qu'il serait avec un disque seul.

Si l'on inverse le champ magnétique de l'un des disques, les courants ont alors le même sens dans les deux roues ; les deux frotteurs précédents fonctionnent en parallèle et si l'on dispose un troisième frotteur sur l'axe de rotation on constitue un circuit fermé. La différence de potentiel est alors la moitié de celle du premier cas.

En adoptant la première disposition des champs magnétiques et en installant un frotteur sur l'axe, entre les deux disques, on réalise le montage d'une distribution à trois fils ; le fil neutre aboutissant au balai qui frotte sur l'axe.

Un calcul simple permet de montrer que ces machines peuvent produire de 50 à 500 volts avec des vitesses de rotation de 1500 à 12 000 tours par minute.

Pour des considérations d'ordre mécanique, l'auteur recommande de capter le courant, non pas à la périphérie proprement dite mais sur les bords latéraux.

TRANSPORT D'ÉNERGIE DE GROMO A 40 000 VOLTS

L'installation suivante a été établie en vue d'utiliser, de suite, une puissance de 2 000 chevaux au moyen d'une usine hydro-électrique située à Gromo dans la vallée du Sério, et, ultérieurement, un supplément de 2 000 chevaux, au moyen d'une autre usine située un peu plus haut.

Toute l'énergie doit être transportée de Gromo à Nembro, par courants triphasés au moyen de deux lignes posées sur les mêmes poteaux, avec faculté de pouvoir transporter l'énergie au delà de Nembro avec une perte en ligne aussi faible que possible, tout en visant à l'économie dans les frais de première installation.

Telles étaient les conditions du problème. Voyons comment l'on y a satisfait, et quelles ont été les raisons qui ont décidé la maison Brown Boveri & C^{ie} de Baden, qui a fait toute l'installation, à adopter une tension aussi élevée pour un transport d'énergie de grandeur moyenne, et à une distance relativement faible, car celle-ci n'est que de 32 kilomètres.

Dans l'établissement du premier projet on avait prévu : une tension de 30 000 volts, une ligne composée de 3 fils en cuivre de 6,5 mm. de diamètre, et une perte en ligne d'environ 4 p.100 pour le transport de 2 000 chevaux. Ces données correspondaient en effet, pour cette installation, à des conditions très avantageuses qu'on n'aurait pu réaliser avec une tension plus basse. Pour les 2 000 chevaux à installer plus tard, on aurait monté sur les mêmes poteaux une deuxième ligne.

Cependant, le montage de cette deuxième ligne, sans interrompre le service de l'installation, aurait présenté certaine

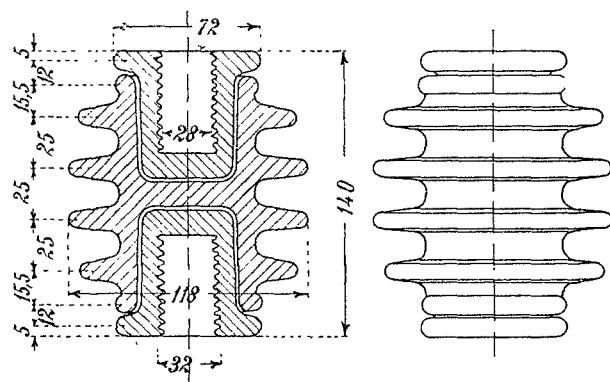


Fig. 1. — Isolateur employé à l'intérieur pour les connections à 40 000 volts.

ment des difficultés, surtout pour le cas spécial qui nous occupe. En outre si, à première vue, on peut considérer l'une des lignes comme réserve de l'autre, cet avantage ne se manifeste guère en pratique que si les deux lignes sont montées sur deux rangées de poteaux distinctes.

Cette dernière solution écartée, à cause des frais qu'elle entraînait, il était préférable de prévoir, dès le début, une ligne capable, à elle seule, de transporter les 4 000 chevaux ;

comme, d'autre part, on avait tout intérêt à ne pas avoir une perte d'énergie dans la ligne supérieure à 4 ou 5 pour 100, il n'e restait qu'à augmenter la section du cuivre ou à élever la tension à 40 000 volts.

Augmenter la section de cuivre, occasionnait des frais supplémentaires assez élevés. Avoir une tension de 40 000 volts présentait tout autant de sécurité pour la bonne marche de l'usine qu'une tension de 30 000 volts, tandis que les frais supplémentaires causés par cette élévation de tension étaient de beaucoup inférieurs à ceux causés par une augmentation de la section du cuivre. Pour ses raisons l'on se décida à adopter la tension de 40 000 volts.

lèle de chaque groupe se trouvent donc dans le circuit à 40 000 volts des transformateurs.

Cette disposition déjà utilisée dans l'installation à 20 000 volts de Come — (former pour chaque unité de puissance un groupe hydro-électrique-transformateur) — est la caractéristique d'une étape remarquable dans la construction des centrales électriques. Il y a quelques années, le moteur mécanique était relié au générateur électrique par des courroies, câbles, etc. Plus tard, pour simplifier l'installation mécanique et gagner de la place, on accoupla directement le moteur mécanique et le générateur, malgré les prophètes de malheur qui prédisaient à ce genre d'installation un insuccès

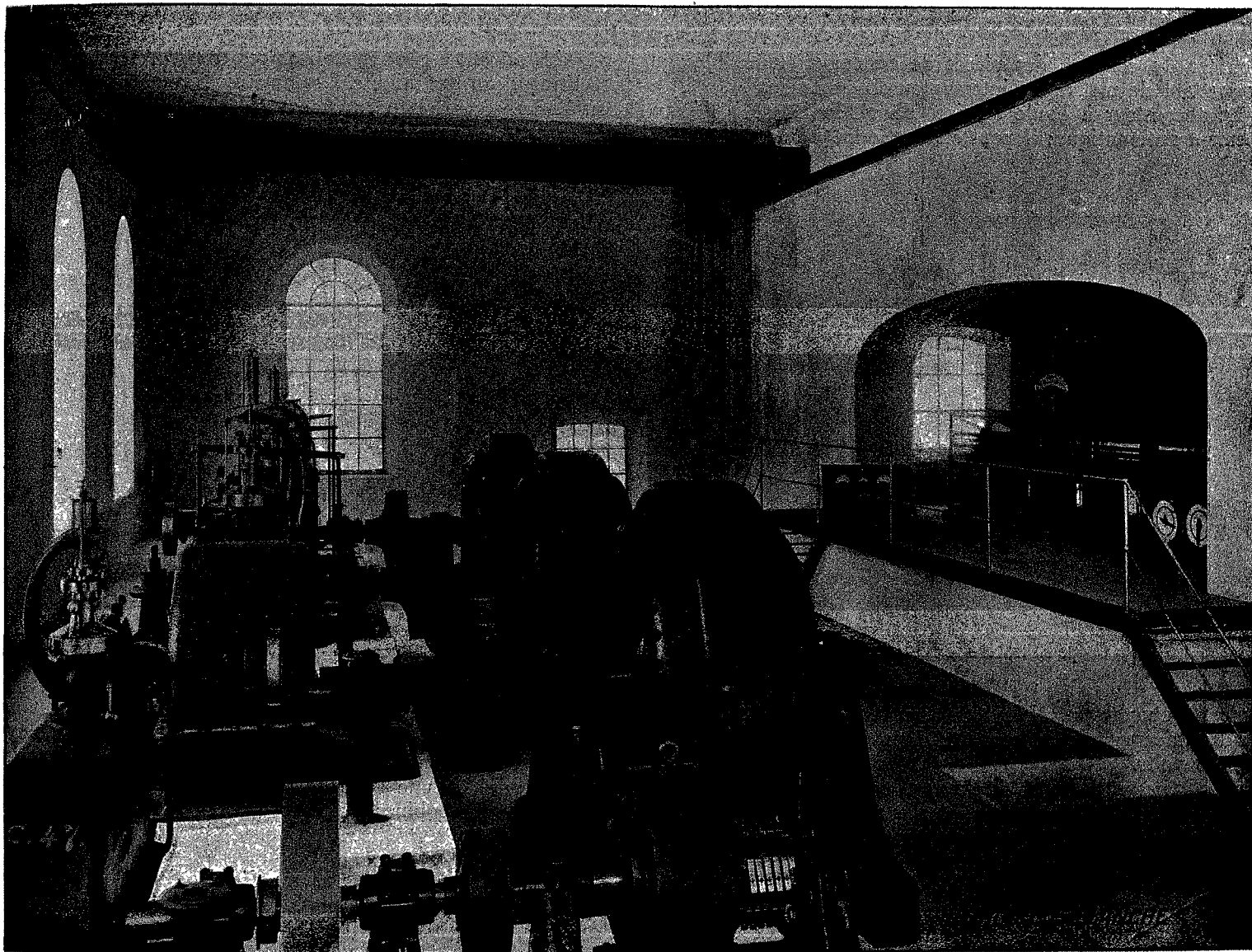


Fig. 2. — VUE DE LA SALLE DES MACHINES.

STATION CENTRALE

La fig. 3 montre deux coupes de la station. Afin d'avoir une réserve, on a installé trois unités génératrices de 1 000 chevaux chacune, et deux machines excitatrices de 25 kilowatts chacune.

Chaque générateur de 1 000 chevaux, relié directement à la turbine par un accouplement Zodel, travaille sur le transformateur correspondant de 850 kilovoltampères sans l'interposition de barres collectrices : celui-ci reçoit le courant fourni à 4 000 volts par le générateur; le transforme à 40 000 volts, et l'envoie pour la marche en parallèle sur les barres collectrices. Les interrupteurs nécessaires pour la marche en paral-

lèle de chaque groupe, elle restait tout aussi compliquée. Et maintenant, la construction des machines a fait de tels progrès, on est si sûr de leur bonne marche que, pour simplifier l'installation, on ose former de trois machines bien distinctes un tout complet. Une modification dans la partie électrique qui est à noter, c'est la tendance à faire toujours plus simple, donc mieux et meilleur marché tout en ayant autant de sécurité qu'autrefois, à racheter par la simplicité des schémas, ainsi que par la bonne exécution et la sûreté de marche des machines, les avantages obtenus auparavant par l'accumulation de réserves et de complications qui représentaient, d'un côté un capital mort, de l'autre une source de dangers et d'interruptions de service.

En laissant les barres collectrices entre générateur et transformateur de côté, on réduit de moitié le nombre des appareils nécessaires pour le contrôle et le service de l'usine. Les transformateurs de courant et de tension pour les ampèremètres et voltmètres, ainsi que des relais pour la mise en marche des interrupteurs automatiques, sont branchés sur la basse tension (4 000 volts). En tenant compte du rapport de transformation des transformateurs éleveurs de tension (1 à 10), les ampèremètres et voltmètres mesurent simultanément le courant, la tension, et dans la marche en parallèle, la phase du circuit à 4 000 et du circuit à 40 000 volts. Un autre avantage de cette disposition est que les transformateurs de mesure sont bien meilleur marché pour 4 000 que pour 40 000 volts.

Pour chaque groupe générateur se trouvent, entre les interrupteurs à haute tension pour 40 000 volts et les barres collectrices du courant, des pièces de connexion amovibles qui permettent de mettre les interrupteurs hors tension.

L'interrupteur à haute tension dans l'huile est à déclenchement automatique; il peut être actionné à la main, électri-

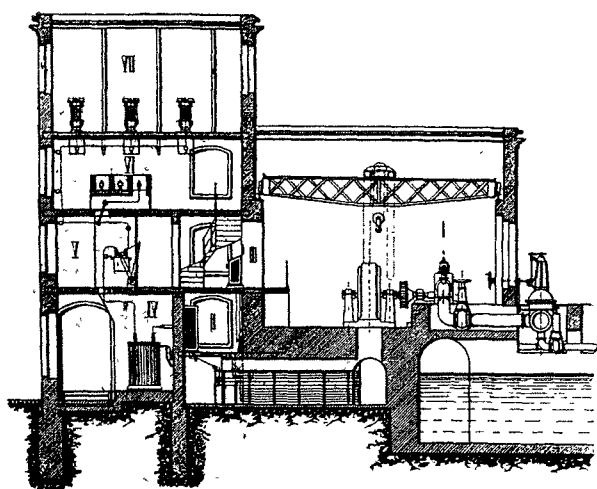
Ces machines possèdent des enroulements à tambour avec armature dentée.

Le rendement garanti est de 89 pour 100 à pleine charge, et de 87,5 pour 100 à moitié charge.

Transformateurs. — Leur puissance est de 850 kilovolt-ampères à 50 périodes avec un rapport de transformation de 4 000 à 40 000 volts. Leur rendement pour $\cos \varphi = 1$ atteint à pleine charge 97,8 pour 100, la chute de tension pour $\cos \varphi = 1$ et à pleine charge est de 0,76 pour 100, et pour $\cos \varphi = 0,7$ et à pleine charge de 2,6 pour cent.

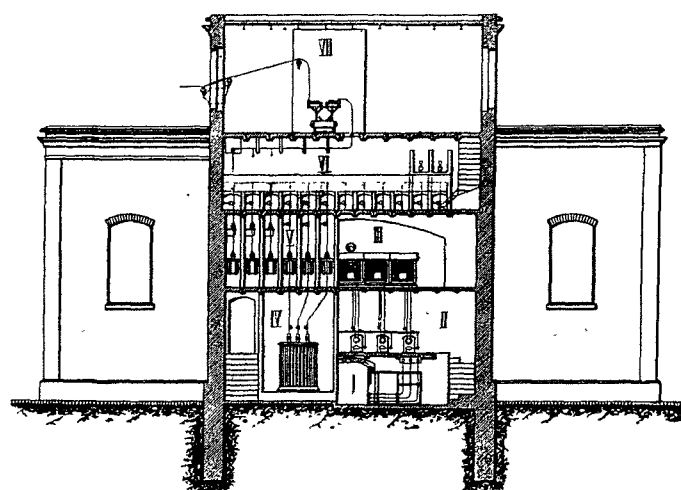
L'isolement entre les enroulements primaire et secondaire a été essayée avec une tension de 67 000 volts. Les dimensions d'encombrement de ces transformateurs sont les suivantes : Longueur 1 600 mm.; largeur 1 360 mm.; hauteur 2 180 mm.

Ce sont des transformateurs à noyaux, à bain d'huile, avec refroidissement à eau; chacun de ces transformateurs emploie 18 litres d'eau par minute. Les noyaux forment trois colonnes verticales, situées dans un même plan, reliées à leurs extrémités supérieures et inférieures par des culasses en feuillard



Coupe en travers de l'usine génératrice.

Fig. 3



Coupe du bâtiment des manœuvres électriques.

quement ou par un relais bipolaire à maximum branché sur les transformateurs de courant, du côté des transformateurs à 4 000 volts.

Des barres collectrices de courant part une seule ligne. On n'a pas prévu de plombs fusibles pour les circuits d'excitation. Le courant d'excitation des aimants qui déclanchent les interrupteurs à haute tension est pris sur les barres collectrices d'excitation.

Alternateurs. — Les alternateurs sont d'un modèle normal et développent chacun 1 000 chevaux; ils sont capables d'engendrer des courants triphasés sous une tension de 4 000 volts avec une fréquence de 50 périodes par seconde et un $\cos \varphi$ égal à 0,8; ils tournent à 500 tours par minute et possèdent 12 pôles; ils sont à champ inducteur tournant et connectés en étoile. Leur rendement, excitation comprise, est garanti égal à 93 pour 100 à pleine charge, et à 89 pour 100 à moitié charge.

La chute de tension atteint 7 pour 100 avec $\cos \varphi = 1$ et 20 pour 100 avec $\cos \varphi = 0,8$.

L'inducteur tournant, les pôles et l'épanouissement polaire sont d'une seule pièce en acier coulé. L'induit possède des bobines en fil façonné. Le poids de l'alternateur est de 13 tonnes, soit 13 kilogr. par cheval effectif.

Excitatrices. — Chaque génératrice de 25 kilowatts a 6 pôles en feuillard, elle tourne à 800 tours par minute et fournit 217 ampères sous 115 volts. La carcasse est en acier coulé.

doux. Les enroulements primaire et secondaire forment des cylindres concentriques séparés l'un de l'autre par un manteau isolant. Pour plus de sûreté, l'enroulement à haute tension est subdivisé en une série de petites bobines. La tension de chacune de ces bobines est très petite et atteint seulement 300 volts.

Tableaux de manœuvre et de distribution. — Quoique le schéma soit des plus simples, surtout pour ce qui concerne les circuits à 40 000 volts, l'étude de cette installation fut faite avec un soin extrême, afin d'éviter toute surprise désagréable, et d'avoir dès le commencement une installation fonctionnant sans accros.

Tout d'abord l'isolement des conducteurs entre eux, et entre ceux-ci et la terre, devait être suffisant, les distances devaient être assez grandes et les canalisations disposées de telle façon que le danger des décharges et de formation d'arcs électriques entre conducteurs de polarité différente fut complètement écarté.

Un bâtiment bien dimensionné, adossé à la centrale proprement dite, avait été réservé dès le commencement pour les transformateurs et l'installation des appareils de manœuvre. Ce bâtiment qui comprend un sous-sol et trois étages où l'on dispose d'une surface de plancher de 10 x 7 mètres carrés permettait une disposition générale très favorable que voici:

Le sous-sol est divisé en deux parties; la première est située à 1,2 m. au-dessous du niveau de la salle des machines; on

y trouve les rhéostats de réglage et les échafaudages pour les appareils des circuits à 4 000 volts. Sous le plancher se trouvent les canalisations arrivant de la salle des machines. La deuxième, située à 2,7 m. au-dessous du niveau de la salle des machines, contient les transformateurs.

Le premier étage est lui aussi divisé en deux parties : dans la première, ouvrant sur la salle des machines, se trouvent les tableaux de distribution et de manœuvre avec les appareils de mesure et les volants de commande; dans la deuxième partie, se trouvent les interrupteurs automatiques à haute tension et les trois transformateurs de courant pour la ligne de départ.

Le deuxième étage est réservé aux barres collectrices et au transformateur de tension branché sur ces barres. Au troisième étage se trouvent les parafoudres et la sortie de la ligne.

Les fils à 4 000 volts et ceux de l'excitation des générateurs se trouvent dans un canal commun qui, passant sous les rhéostats de réglage et les échafaudages des appareils à 4 000 volts, les conduit dans le sous-sol.

On a prévu pour chaque générateur, un échafaudage en fer pour les appareils. Chacun de ces échafaudages, adossé à la muraille mitoyenne entre la première et la deuxième partie du sous-sol, comprend : trois coupe-circuits fusibles à haute tension unipolaires, avec cornes, pour le courant des génératrices, un transformateur de tension avec coupe-circuits fusibles et deux transformateurs de courant.

L'échafaudage est construit tout en fer, recouvert sur les parois latérales de tôle bosselée, tandis que devant, deux treillages métalliques amovibles permettent un remplacement et une surveillance faciles des fusibles. De derrière, partent à travers le mur mitoyen, pour aboutir dans l'espace réservé aux transformateurs, trois conduites à haute tension enfermées chacune dans un tube en verre épais passant à travers un tuyau en argile muré dans la bâtisse.

Pour la disposition des appareils fonctionnant à 40 000 volts, on prit les barres collectrices comme point de départ. En première ligne, on rendit impossible la formation d'un arc entre barres de différente polarité en interposant entre elles une paroi de matériaux incombustibles. Ceci a été réalisé en plaçant les trois barres sur des isolateurs dans trois canaux parallèles en maçonnerie, de telle façon que chaque barre est séparée de sa voisine par un mur de 120 mm. d'épaisseur.

On soigna particulièrement l'isolation entre les barres et la terre. Les isolateurs d'un modèle normal ne suffisaient plus : on créa un nouveau type. Voir fig. 1. Cet isolateur est composé de trois pièces différentes qui sont cuites séparément puis émaillées ensemble.

Les isolateurs sont munis de quatre profondes rainures. Chaque isolateur fut soumis avant sa livraison à une tension de 100 000 volts.

Au-dessous des barres collectrices, se trouvent au premier étage, les interrupteurs à haute tension. Pour ne pas avoir de pièces trop lourdes à obtenir, on employa pour chaque conduite triphasée trois interrupteurs dans l'huile, unipolaires, et fonctionnant tous trois simultanément.

Pour obtenir une disposition analogue à celle des barres collectrices, chacun de ces interrupteurs unipolaires fut séparé de l'autre par une paroi en maçonnerie de 120 mm. d'épais-

seur; à cette paroi sont fixés les supports des interrupteurs. De cette façon, chaque appareil se trouve dans un réduit à l'épreuve du feu, de 600 mm. de largeur. A la partie supérieure de chaque réduit se trouve une ouverture par laquelle se fait la jonction entre l'interrupteur et les barres collectrices. A cet endroit, se trouvent aussi les pièces de connexion amovibles qui permettent de mettre tout le réduit correspondant hors-tension lorsqu'on veut le nettoyer ou vérifier les appareils. Ces pièces de connexion amovibles se composent d'une barre de cuivre avec goupilles d'arrêt, mobile dans deux coulisses montées sur isolateur à haute tension; on peut faire sortir les barres de cuivre des coulisses supérieures, et de cette manière fermer ou ouvrir les circuits. Pour plus de sécurité, le support au moyen duquel l'isolateur est fixé sur la canne en bois est mis à la terre par une petite chaînette en métal. On peut donc de cette façon, lorsque les interrupteurs sont ouverts,

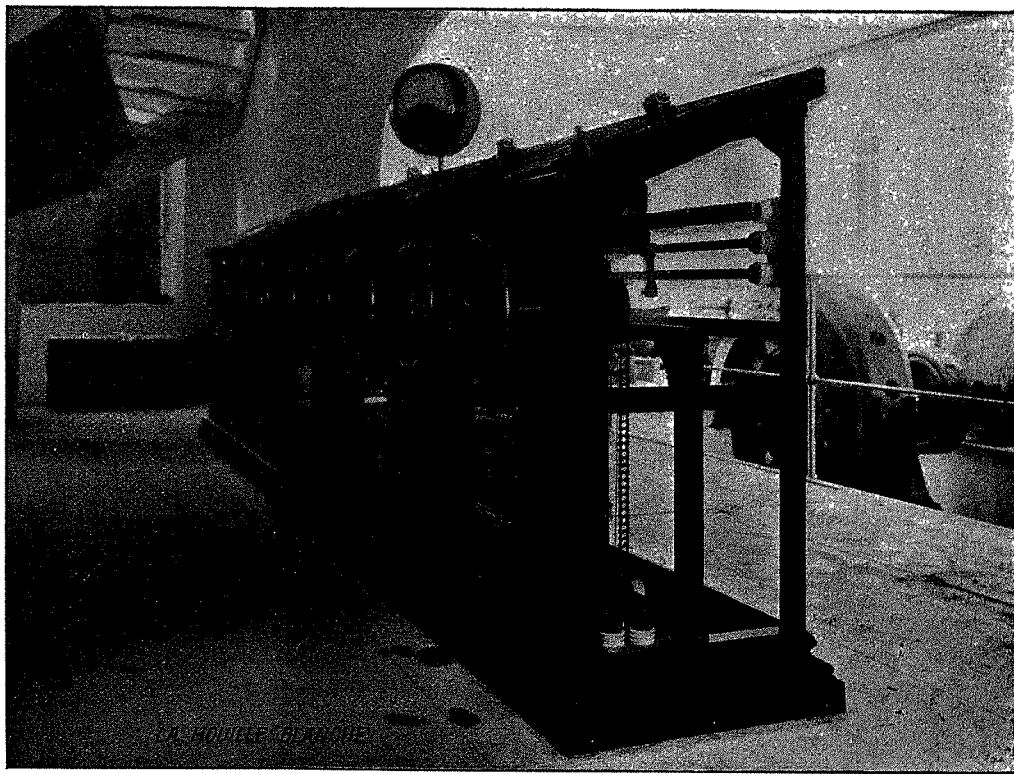


Fig. 4. — Tableau de manœuvre et de distribution.

manœuvrer les pièces de connexion amovibles absolument sans aucun danger.

L'interrupteur unipolaire est d'un type normal; construit pour cette tension de 40 000 volts, il présente des particularités intéressantes que nous allons étudier en détail.

On manœuvre l'interrupteur à distance par un mouvement de rotation. Cette solution est de beaucoup la plus élégante et la meilleure pour un appareil mécanique de ce genre; en outre, l'endroit où l'on veut placer l'interrupteur peut être choisi beaucoup plus indépendamment de celui où se trouvent les tableaux de manœuvre, qu'avec tout autre de mouvement de commande. L'interruption de courant est multiple. Les contacts de rupture ainsi que toutes les parties métalliques sous tension se trouvent plongés dans un bain d'huile, de sorte que le niveau supérieur de l'huile ne touche que des matériaux isolants ou des parties d'appareils mises à terre.

Les réservoirs à huile sont très facilement démontables et l'on peut ainsi vérifier commodément les contacts. Les parties conductrices de courant ont été solidement construites. Pour éviter la fusion des contacts principaux, on a prévu de petits contacts entre lesquels l'étincelle doit se produire et qui sont facilement interchangeables. Pour éteindre plus sûrement

l'étincelle de rupture, on a construit les contacts de telle façon qu'au moment de la rupture, l'huile est projetée avec force contre ceux-ci.

Par une bonne disposition des contacts de l'interrupteur à 40 000 volts, le courant est interrompu six fois simultanément pour chaque conducteur. Comme la course décrite par les contacts est d'environ 8 centimètres, la longueur totale destinée à l'interruption est d'environ 35 centimètres en tenant compte de la hauteur des contacts. Cette distance dans l'huile est certainement bien suffisante pour une tension de 40 000 volts. En outre, il ne faut pas oublier que par circuit il y a deux conducteurs qui entrent en fonctionnement; cela fait donc que le courant est interrompu douze fois simultanément par phase. Cet interrupteur qui a été exécuté unipolaire pour cette installation, est aussi construit tripolaire, mais les réservoirs à huile sont toujours distincts pour chaque phase.

Par un mouvement circulaire qui met en jeu un système à

met en mouvement cet arbre de manœuvre au moyen de câbles, de chaînes et de roues dentées.

L'arbre de commande est retourné par l'énergie emmagasinée dans les ressorts des interrupteurs lorsque le déclenchement des interrupteurs se produit, tandis que le système de commande à distance est ramené à sa position initiale par l'homme de service aux tableaux immédiatement après que l'on a fermé l'interrupteur. Ce résultat est atteint de la façon suivante : la roue dentée de l'arbre de manœuvre n'est pas clavetée sur l'arbre, mais peut tourner librement : elle porte un ergot qui glisse dans un coulisseau semi-circulaire pratiqué dans une roue à câble fixée sur l'arbre de manœuvre. Lorsqu'on tourne la roue dentée dans la direction des aiguilles d'une montre pour fermer les contacts des interrupteurs, ce mouvement est transmis par l'ergot et la roue à câble à l'arbre de manœuvre, tandis que si la roue dentée tourne en sens contraire, l'ergot tourne à vide dans le coulisseau. La roue à

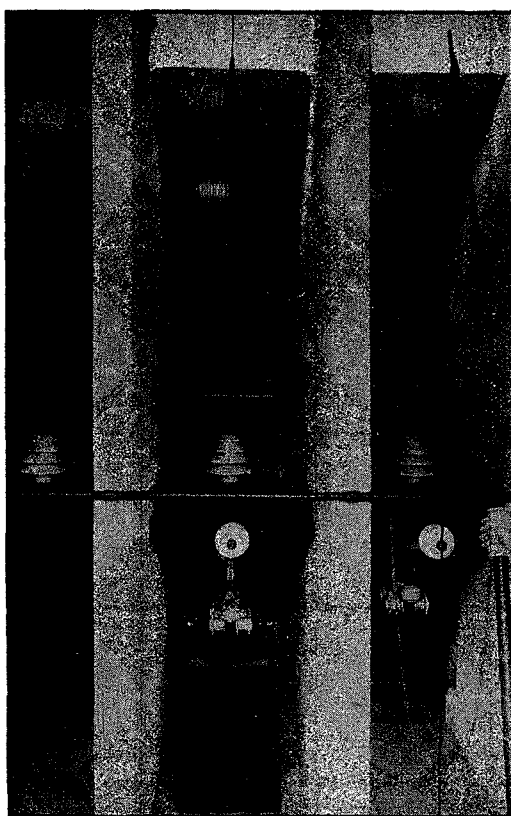


Fig. 5. — Vue de face des interrupteurs automatiques.



Fig. 6. — Arbres de manœuvre et de déclenchement des interrupteurs.



Fig. 7. — Parafoudres.

manivelle, les contacts sont fermés tandis que les ressorts des interrupteurs fixés à des coulisseaux sont tendus. Si l'on tourne la manivelle au delà du point mort, l'interrupteur reste fermé de lui-même et cette disposition est employée lorsque l'interrupteur est toujours manœuvré à la main. Lorsque le déclenchement de l'interrupteur doit se produire automatiquement, la manivelle ne doit pas arriver tout à fait jusqu'au point mort, et l'interrupteur est maintenu fermé par une came et un cliquet. Si l'on soulève le cliquet, la tension des ressorts provoque le déclenchement de l'interrupteur. Dans les petits modèles, ce soulèvement du cliquet est effectué directement par un électro-aimant. Lorsqu'on ferme l'interrupteur, le poids est ramené en même temps à sa position initiale et se tient prêt à accomplir une nouvelle chute. Un arbre de manœuvre, porté par des coussinets fixés à la maçonnerie, est commun aux trois interrupteurs. Cet arbre de manœuvre agit sur les arbres des interrupteurs au moyen de roues dentées et de chaînes.

Un volant de commande fixé aux tableaux de distribution,

câble suit forcément les mouvements de l'arbre de commande et par conséquent ceux des arbres des interrupteurs; elle est reliée par un câble fin spécial à une aiguille située sur les tableaux de distribution concentriquement au volant de manœuvre et indiquant à chaque instant, indépendamment de ce dernier, la position de l'interrupteur. Comme il a été dit plus haut, le volant de manœuvre, et avec lui tout le dispositif de commande à distance, doit être ramené à la position initiale aussitôt après que l'interrupteur a été fermé. Une inscription « volant à retourner en arrière » apparaissant lorsqu'on ferme l'interrupteur rappelle cette prescription à l'électricien préposé aux tableaux de distribution. Si l'on oublie de le faire, la force emmagasinée dans les ressorts des interrupteurs suffirait, lors du déclenchement de ces derniers, à ramener tout le dispositif de commande à sa position initiale, comme les essais l'ont démontré.

Le déclenchement des interrupteurs peut, s'il n'est pas produit par le relais à maxima, avoir lieu à la main, au moyen

d'une poignée que l'on tire et qui fait tourner l'arbre de déclanchement.

En outre, par un contact à pression, on peut fermer le circuit de l'électro-aimant, ce qui provoque la chute du poids et par là le déclanchement des interrupteurs.

Le relais à maximum qui doit effectuer le déclanchement des interrupteurs au moyen de l'électro-aimant est bâti d'après le principe de Ferraris. Un disque léger en aluminium tourne entre les pôles d'un électro-aimant à courant monophasé, branché sur les bornes secondaires d'un transformateur de courant intercalé dans le circuit principal. Le couple produit par les courants de Foucault qui se développent à l'intérieur de ce disque, est équilibré par un petit poids suspendu à un fil de soie. Sitôt qu'une surcharge se produit l'équilibre est rompu, le fil de soie s'enroule sur un petit tambour, et le poids arrivé au bout de sa course ferme le circuit de l'électro-aimant. Par une plus ou moins grande longueur du fil de soie, on règle ainsi le temps nécessaire correspondant à une surcharge donnée, pour fermer le circuit de l'électro. Il en ressort que l'appareil n'est pas seulement un appareil à maximum, mais aussi un appareil à temps. L'interruption ne se produira dans le cas de surcharges faibles que si celles-ci durent assez longtemps pour cela, et devenaient, par ce fait, dangereuses pour les machines, tandis que dans le cas de fortes surcharges, l'interruption se produira rapidement. Ce relais est construit normalement unipolaire, mais on peut en réunir deux ou trois à un appareil bi ou tripolaire.

Les tableaux de manœuvre et de distribution ont la forme de pupitres inclinés dans la direction de celui qui les surveille; la table est en fonte et les appareils de mesure sont encastrés dans cette table. Les tableaux sont placés sur une galerie surélevée, dans l'ouverture donnant du bâtiment des appareils sur la salle des machines, de telle façon que l'électricien préposé aux appareils puisse facilement surveiller ses appareils et les machines. Les tableaux de manœuvre ne contiennent que des appareils à basse tension. Toute la construction est divisée en 5 panneaux, dont 3 pour les génératrices, 1 pour la ligne de départ et 1 pour l'excitation.

Chacun des panneaux pour les génératrices et la ligne de départ possède 2 volants de commande, l'un pour la manœuvre des interrupteurs à huile à haute tension, l'autre pour le réglage de la tension. Les volants de manœuvre des régulateurs de tension des trois génératrices peuvent être accouplés au moyen d'un levier, de sorte que de chacun des panneaux pour les génératrices on peut régler simultanément les trois unités. Sous chacun de ces volants se trouve enfoncé dans la paroi: pour chaque panneau des génératrices un relais bipolaire à maximum, et pour le panneau de la ligne de départ un relais tripolaire à maximum. Les contacts à pression pour le déclanchement électrique des interrupteurs à haute tension, les lampes de phase et les interrupteurs pour celles-ci se trouvent montés sur la table; la poignée pour le déclanchement mécanique des interrupteurs est montée dans le volant de manœuvre. Le tableau pour l'excitation comprend deux volants pour le réglage du shunt des génératrices et deux leviers doubles pour les interrupteurs bipolaires.

Toute la construction des tableaux de distribution est en fer: les parois sont formées de tôle bosselée.

Le voltmètre général est monté sur une console au-dessus du milieu des tableaux de distribution.

Les rhéostats de réglage pour les champs des générateurs se trouvent dans le sous-sol, directement au-dessous des tableaux de distribution, et peuvent être contrôlés sans aucun danger durant la marche de l'usine.

Au troisième étage du bâtiment des appareils se trouvent les parafoudres, chacune des phases étant séparée de l'autre par un mur. Ces parafoudres sont du type bien connu à rouleaux de Würtz, et isolés plusieurs fois de la terre au moyen d'isolateurs en porcelaine.

A la même hauteur que les parafoudres se trouvent les

départs de la ligne à haute tension. Chaque fil sort de l'usine par une fenêtre à travers un trou pratiqué dans les vitres. A cet endroit le fil passe dans un tube de verre à parois épaisses: celui-ci est maintenu dans sa position normale par deux petits entonnoirs en cuivre soudés au fil. La distance minimum entre chaque fil de départ et entre tout corps non isolé est de 250 millimètres.

LIGNE

La ligne est longue d'environ 32 kilomètres. Elle suit plus ou moins le cours de la rivière Serio dans la « Val Seriana » et part de Gromo pour aboutir à Nembro, aux usines pour le traitement du coton de la maison Crespi & C^o de Milan.

Elle a été calculée pour transporter une énergie totale de

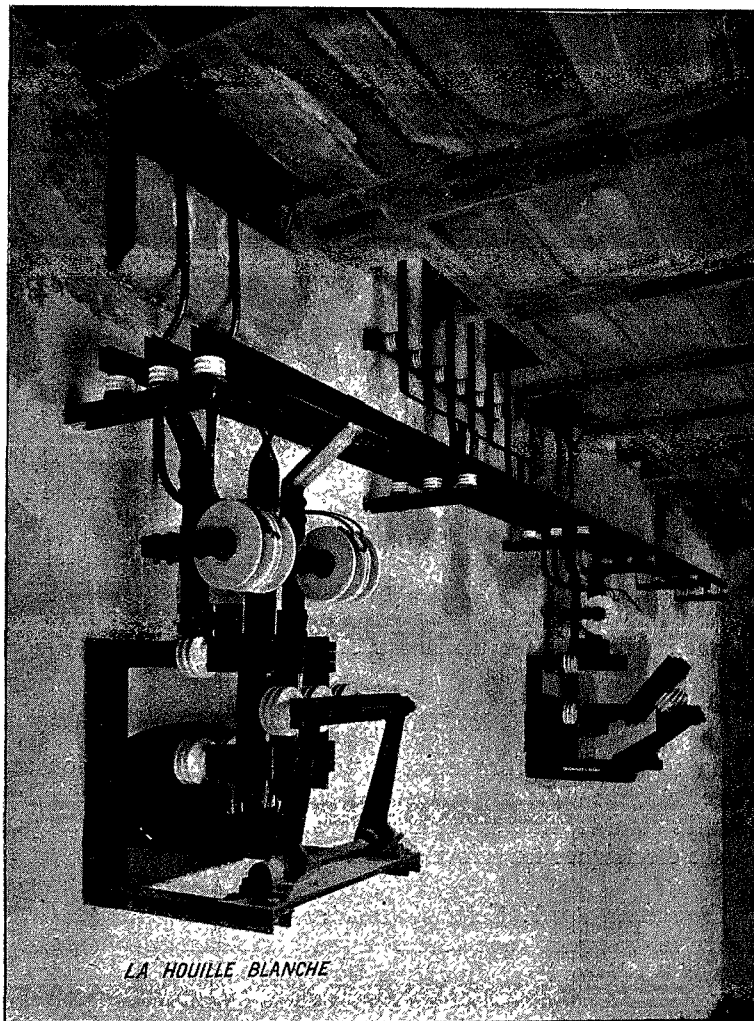


Fig. 8. — Barres collectrices secondaires avec transformateurs de courant et pièces de connexions amovibles.

4 000 chevaux avec une perte maximum de 5 pour 100. Elle est constituée par trois fils de cuivre de 6,5 mm. de diamètre, montés sur isolateurs brevetés Delta de la fabrique de porcelaine Hermsdorf. Voir fig. 9.

Ces isolateurs, d'un modèle nouveau étudié spécialement pour cette installation, présentent tous les avantages des isolateurs Delta ordinaires.

En outre, on a trouvé par des essais vigoureux: Que l'étincelle sautait par dessus l'isolateur à la tension de 89 000 volts, dans une atmosphère dont l'humidité relative était de 62 pour 100 — que l'étincelle sautait par dessus l'isolateur à la tension d'environ 54 000 volts, lorsque celui-ci était soumis à une pluie artificielle intense, déposant sur le sol une couche d'eau dont la hauteur atteignait 35 à 40 mm. par minute, — que le pouvoir isolant de chaque isolateur atteignait dans une atmosphère sèche plusieurs millions de mégohms, — que le

pouvoir isolant de chaque isolateur atteignait dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau (humidité relative de 40 à 50 pour 100) quelques dizaines de mille mégohms.

Chaque isolateur fut soumis avant sa livraison à une tension de 80 000 volts. Cette épreuve assure une sécurité bien satisfaisante pour l'isolement de la ligne.

Les isolateurs sont fixés sur des poteaux et traverses en bois. En général, la ligne montée sur un seul poteau forme un triangle équilatéral de 850 mm. de côté. Les poteaux normaux ont une hauteur de 8 m. au dessus du sol (9,0 m. pour les croisements). Les isolateurs inférieurs sont à une hauteur de

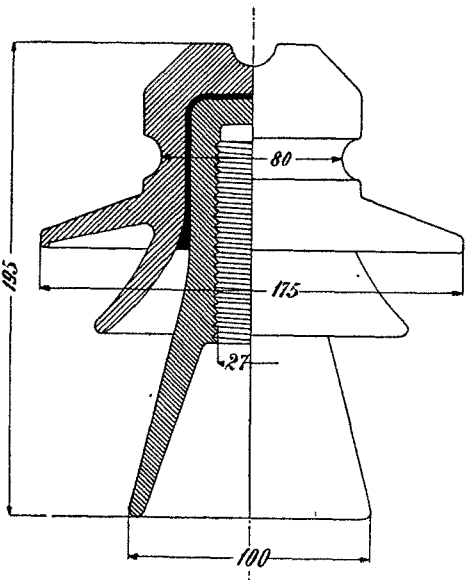


Fig. 9. — Isolateur pour la ligne.

7,5 m. au-dessus du sol (8,5 pour les croisements). Dans les cas de grandes portées et d'angles vifs, on a mis deux poteaux et les isolateurs sont fixés tous les trois à la même hauteur, sur une seule traverse, et distants l'un de l'autre de un mètre. La plus grande portée est de 120 mètres et l'angle le plus aigu est de 145 degrés. A San Carlo, la ligne croise une ligne monophasée à 2 000 volts, et à Albino elle traverse une ligne et un canal.

La distance moyenne des poteaux est de 40 mètres.

A 1,5 m. au-dessus des isolateurs à haute tension se trouve la ligne du téléphone reliant la centrale à la transformatrice. Elle est formée de 2 fils en bronze au silicium de 3 mm. de diamètre, montés sur isolateurs ordinaires.

STATION TRANSFORMATRICE

La station transformatrice se trouve à Nembro. A son arrivée la ligne doit présenter une tension de 38 000 volts, et d'après cette tension se règle à Gromo le voltage des groupes hydro-électriques-transformateurs.

Transformateurs. Cette station transformatrice ne contient pour le moment que deux transformateurs triphasés de 500 kilovoltampères, du même type que ceux de la centrale de Gromo quoique plus petits. On a réservé la place pour un troisième transformateur.

Leur puissance est de 500 kilovoltampères, à 50 périodes, avec un rapport de transformation de 38 000/500 volts. Leur rendement pour $\cos \varphi = 1$ et à pleine charge atteint 97,6 pour 100, la chute de tension pour $\cos \varphi = 1$ et à pleine charge est de 0,8 pour 100, et pour $\cos \varphi = 0,7$ et à pleine charge de 2,9 pour 100.

L'isolement entre les enroulements primaire et secondaire a été essayé avec une tension de 57 000 volts.

Les dimensions d'encombrement de ces transformateurs sont les suivantes: Longueur 1 600 mm.; largeur 1 155 mm.; hauteur 2 005 mm.

Il faut 13 litres d'eau par minute pour le refroidissement de chacun de ces transformateurs.

Dans ses grandes lignes, le schéma de cette station pour le circuit à haute tension est le même que celui de la station de Gromo.

Un interrupteur de secours tripolaire, monté sur les poteaux en bois, est placé à l'extérieur du bâtiment, et l'on peut, au moyen de ce dernier, mettre toute la station secondaire hors

circuit. La construction de cet interrupteur à cornes est bien connue. Comme cet interrupteur est monté à l'air libre, il pourrait se faire que, la station secondaire étant hors circuit, des décharges de courant se produisent entre la conduite sous tension et celle qui entre dans la station, soit parce qu'un corps étranger, oiseau ou autre, se trouve entre les cornes de l'interrupteur, soit parce qu'un temps humide provoque ces décharges. Pour éviter tout danger de cette nature on a monté

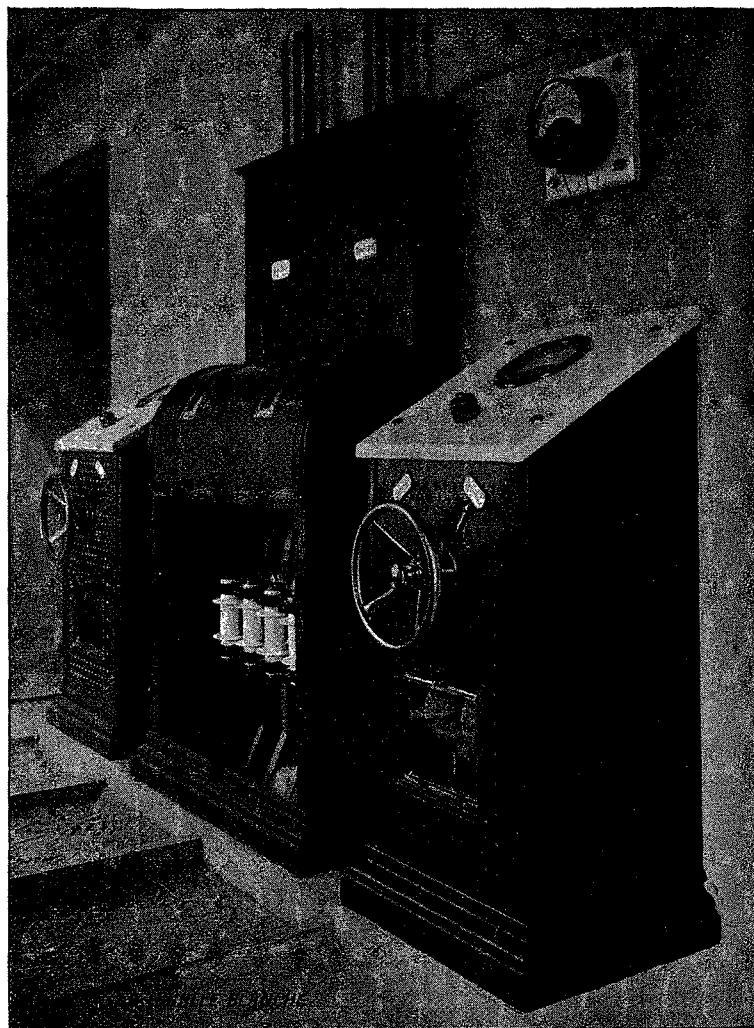


Fig. 10. — Tableau de manœuvre pour les primaires et secondaires des transformateurs et pour les feeders à 500 volts.

sur l'interrupteur trois contacts, de telle façon que l'interrupteur étant ouvert, ces contacts mettent les trois lignes pénétrant dans la station secondaire en court-circuit entre elles et en communication avec la terre.

A son entrée dans la station la ligne traverse les parafoudres et aboutit aux barres collectrices primaires à 38 000 volts. De ces barres collectrices partent les fils allant aux transformateurs. Sur chacune de celles-ci sont branchées trois pièces de connexion amovibles unipolaires et trois interrupteurs dans l'huile, automatiques, à haute tension, unipolaires. Dans le circuit secondaire de chacun des transformateurs se trouvent des pièces de connexion amovibles tripolaires et deux transformateurs de courant dont l'un alimente le relais à maximum et l'ampèremètre, et l'autre le relais seul. Les transformateurs travaillent sur des barres collectrices à 500 volts d'où partent des feeders avec interrupteur et coupe-circuits fusibles. Les moteurs travaillent sous la tension de 500 volts. Un grand voltmètre de station est branché sur les barres collectrices à 500 volts.

Disposition des appareils. La station transformatrice a un rez-de-chaussée et deux étages. Le rez-de-chaussée et le premier étage sont divisés en deux parties: Au rez-de-chaussée,

dans la partie arrière, se trouvent les transformateurs; dans la partie avant, adossés au mur mitoyen, se trouvent les barres collectrices secondaires, les pièces de connexion amovibles et les transformateurs de courant.

Au premier étage, au-dessus de l'espace occupé par les transformateurs, se trouvent les interrupteurs automatiques à haute tension: ils offrent la même disposition et la même construction qu'à Gromo. Dans la partie avant se trouvent pour le moment deux tableaux pour le service des deux interrupteurs à huile à haute tension, et un échafaudage pour appareils contenant deux interrupteurs à 500 volts et les fusibles des feeders à 500 volts. Les panneaux d'appareils ont un aspect extérieur rappelant celui des tableaux de Gromo: cependant, il n'y a qu'un volant de manœuvre pour les interrupteurs à haute tension, et au-dessous les relais bipolaires à maxima.

Le fonctionnement de ces interrupteurs et de l'aiguille pour indiquer leur position sont les mêmes qu'à Gromo.

Sur la table inclinée en marbre se trouve encastré un ampèremètre qui, au moyen d'un transformateur de courant, est branché sur le circuit secondaire des transformateurs.

L'échafaudage pour les appareils à 500 volts est construit tout en fer. Toutes les parties conductrices de courant sont protégées par un revêtement en tôle.

Les feeders partent de l'échafaudage par la partie supérieure pour sortir ensuite du bâtiment.

Le voltmètre de station est monté séparément sur une petite plaque de marbre.

Au deuxième étage se trouvent les barres collectrices à 38 000 volts. Elles présentent absolument la même disposition qu'à Gromo, et à la même hauteur se trouvent les parafoudres et l'entrée de la ligne à haute tension.

Ce transport de force, qui a été mis en fonctionnement régulier le 11 juillet dernier, et cette installation pour une centrale de puissance moyenne, prouvent surabondamment que la haute tension adoptée ne nuit en rien à l'économie générale de l'installation et à son bon fonctionnement, et qu'en outre, grâce aux dispositions adoptées, elle ne requiert pour son service pas plus d'attention et ne présente pas plus de dangers qu'une installation à tension moyenne.

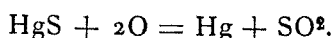
(D'après *Schweizerische Elektrotechnische Zeitschrift*).

Extraction du mercure au four électrique

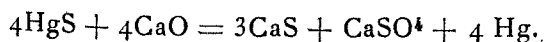
d'après M. H. BECKER.

Le mercure ne se rencontre que dans un nombre restreint de minéraux. Le cinabre, ou sulfure de mercure, est le seul minéral de mercure proprement dit que l'on trouve en grandes quantités dans la nature et qui soit l'objet d'un traitement spécial en vue de l'extraction du mercure. Le cinabre est assez fréquemment accompagné, mais en petites quantités, de mercure natif.

Pour l'extraction du mercure du cinabre, on suit deux voies différentes. L'une est basée sur le fait qu'à haute température l'oxygène de l'air se combine avec le soufre du sulfure en mettant le métal en liberté d'après la formule :



L'autre repose sur l'action de la chaux sur le sulfure de mercure dont le soufre se combine avec le calcium pour former du sulfure de calcium, tandis que le mercure devient libre, d'après la formule :



La chaux peut être remplacée par du fer, mais le procédé est plus onéreux; on a dans ce cas :



L'oxydation du soufre par l'oxygène de l'air ou la combinaison du soufre avec le calcium ou le fer se produisent à des températures supérieures au point d'ébullition du mercure (360°), de sorte que ce dernier est séparé sous forme de vapeurs et doit, par conséquent, être condensé.

Le chauffage du cinabre au contact de l'air peut se faire dans des fours à cuve, à réverbère, etc. Dans ce cas, les vapeurs de mercure sont, par conséquent, diluées par de l'acide sulfureux, de l'azote, de l'air en excès, et par les produits de la combustion du combustible, acide carbonique, oxyde de carbone et vapeur d'eau. Les condenseurs doivent présenter une grande surface et être construits en une matière inattaquable à l'acide sulfurique, dont il se produit d'assez grandes quantités. Le mercure condensé sur les parois du condenseur ne se rassemble pas facilement et entièrement. Il se forme, en effet, sur les parois une forte couche de stupp (suie de mercure, noir de mercure, etc.). Cette stupp est un mélange de mercure finement divisé, de combinaisons de mercure, de noir de fumée, de produits de la distillation sèche des combustibles, des matières bitumineuses des minerais, ainsi que d'autres éléments minéraux. Ce mélange qui se produit en assez grande quantité remferme jusqu'à 80 % de mercure. La plus grande partie du mercure peut en être extraite par divers systèmes de compression. Les résidus de stupp sont mélangés aux minerais ou bien sont additionnés de chaux et chauffés dans des cornues.

Pour le chauffage du cinabre avec de la chaux ou du fer on utilise également des cornues. Cette manière d'opérer a ses avantages et ses inconvénients. Les vapeurs de mercure produites sont très concentrées et faciles à condenser.

En outre, les fours et les appareils de condensation sont beaucoup moins coûteux à installer que pour l'extraction du mercure par chauffage du cinabre au contact de l'air. Voilà pour les avantages; quant aux inconvénients ils sont les suivants: Les minerais doivent être pulvérisés, on ne peut opérer que sur de petites quantités de minéral à la fois, les cornues ne durent qu'assez peu de temps, l'opération occasionne une grande dépense de combustible et beaucoup de main-d'œuvre et, finalement, lors de la vidange des cornues, les ouvriers sont très exposés aux vapeurs mercurielles.

Ce procédé de traitement des minerais de mercure est actuellement presque abandonné, et cela se comprend.

A la suite d'essais industriels pour l'extraction du zinc au four électrique, M. Becker a eu l'idée d'appliquer le four électrique à l'extraction du mercure. Or, si on chauffe du minéral de mercure avec de la chaux, dans un four électrique, on distille la totalité du mercure et la vidange du four est pour ainsi dire sans danger. En outre, le four électrique supprime l'emploi des cornues et peut facilement être alimenté de façon continue. Le chargement peut, en effet, être fait automatiquement par un des nombreux systèmes de trémies à vis d'Archimède, à piston, à deux portes, etc., comme on en construit pour certains fours électriques dans lesquels il faut éviter l'accès de l'air. Il va sans dire que les ouvertures par lesquelles les électrodes pénètrent dans le four ne doivent pas communiquer avec l'atmosphère. Elles peuvent être munies de cylindres ou tubes dans lesquels on peut, au moyen d'un mécanisme approprié, faire avancer les électrodes fixées aux extrémités de barres métalliques qui traversent les presses-garnitures qui terminent les cylindres. Ce système de disposition des électrodes ressemble beaucoup à celui qui était utilisé déjà en 1886 par les frères Cowles, les premiers en électrometallurgie, par leurs fours à bronze d'aluminium.

Voici les dispositions que l'on pourrait adopter industriellement pour l'installation d'un four électrique avec condenseur à mercure.

Le four est placé sous une hotte dans laquelle on fait un appel d'air. La conduite par laquelle les vapeurs mercurielles s'échappent du four est fortement inclinée. Cette conduite, de section rectangulaire, est formée de deux conduites en fer placées l'une dans l'autre et entre lesquelles circule un courant d'eau froide. Le mercure qui se condense dans cette conduite