

ÉLECTRICITÉ

La Transformation moderne des Courants alternatifs en Courants continus.

Les Redresseurs à Vapeur de Mercure en verre à petit débit.

(SUITE)

Par V. SYLVESTRE, Ingénieur A. M. et I. E. G.

Le redresseur en verre de Cooper Hewitt est connu déjà depuis 1902. Il consiste en une ampoule de verre B (fig. n° 25), avec une cathode de mercure à la base et deux ou trois bras latéraux portant des anodes de fer ou de graphite. Un vide aussi parfait que possible est fait à l'intérieur et doit rester constant pendant un service de plusieurs milliers d'heures. La plus haute intensité de courant que l'on puisse atteindre est limitée par l'amenée de courant aux électrodes, qui est en platine fondu dans le verre ; on est cependant parvenu à construire des redresseurs en verre pour les intensités de courant de 200 A, l'augmentation de puissance se faisant d'ailleurs au détriment de la durée de l'appareil. Par suite de leur service simple et sûr, les redresseurs en verre ont pu être appliqués avec avantage pour la charge de petites batteries ou l'alimentation de petits moteurs à courant continu.

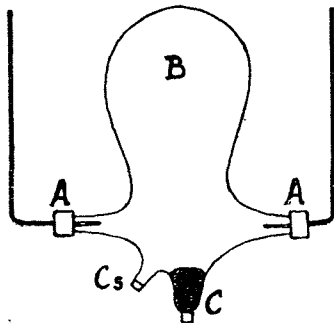


Fig. 25. — Ampoule de redresseur Cooper « Hewitt ».

AA Anodes. C Cathode principale.
B Ampoule de verre. Cs Cathode supplémentaire d'allumage.

En Amérique, ce redresseur est appliqué dans maintes villes pour l'alimentation de l'éclairage. On utilise alors 60 à 100 lampes magnétites couplées en série et demandant du courant continu à 6.000 ou 8.000 volts et 3 à 6 ampères, donc une puissance apparente allant jusqu'à 50 KW. Ces redresseurs ont les dimensions de grosses lampes à incandescence.

En France, ces redresseurs sont construits par l'Hewitt Electric Co^e (1), à Suresnes (Seine), anciennement Westinghouse Cooper Hewitt Co^e Ltd.

L'appareil consiste essentiellement (fig. 25) en une ampoule de verre dans laquelle on a fait le vide (à environ 0,01 c/m de mercure) et contenant une certaine quantité de mercure. L'ampoule est pourvue de quatre électrodes. Les deux électrodes supérieures (A A) de mercure (fig. 25) sont en graphite ou en matière appropriée, et les deux inférieures en mercure.

Les électrodes en graphite sont les anodes, la principale élec-

trode en mercure (c), la cathode, et la plus petite est l'électrode supplémentaire d'allumage (c_s).

Comme nous l'avons vu précédemment, la cathode présente une certaine résistance à l'amorçage de l'arc, résistance qu'on est obligé de surmonter en employant une anode supplémentaire et en inclinant l'ampoule de façon à former un pont de mercure entre cette anode supplémentaire (c_s) et la cathode (C) (fig. 25). L'ampoule est amorcée et ramenée dans la position verticale.

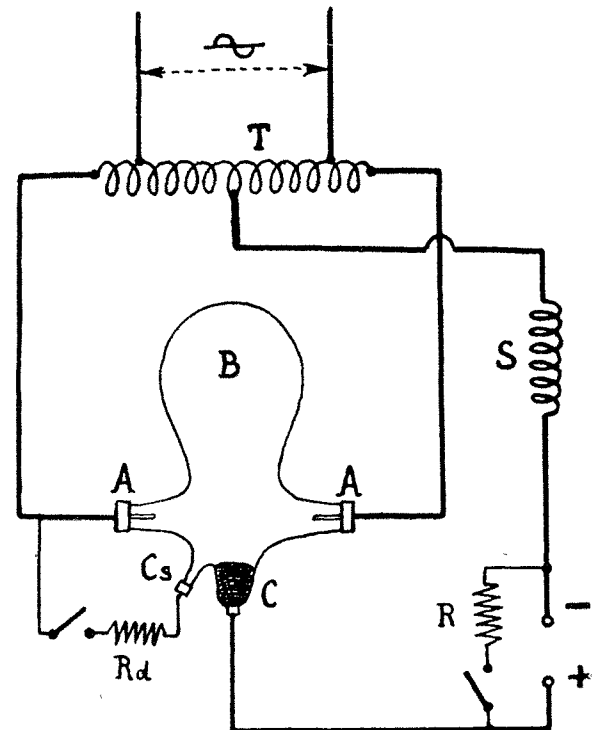


Fig. 26. — Schéma de montage d'un redresseur monophasé.

Le schéma de la figure n° 26 représente le montage d'un redresseur monophasé. B est l'ampoule de verre dans laquelle on a fait le vide. A A sont les électrodes en graphite reliées à l'auto-transformateur d'alimentation T. Celui-ci peut être remplacé par un transformateur à deux enroulements distincts. (C) est la cathode principale en mercure et Cs la cathode supplémentaire d'allumage. Le point milieu du diviseur de tension T constitue le pôle négatif de la distribution, chaque extrémité du transformateur fournissant à tour de rôle le courant à l'anode A à laquelle elle est raccordée, la sinusoïde du courant alternatif est utilisée complètement, dans le montage de la figure n° 26.

Le transformateur T sert en outre à survolter ou à dévolter la tension alternative d'alimentation, ce qui permet d'obtenir du côté continu la tension désirée.

La mise en marche a lieu de la façon suivante : on ferme les interrupteurs des résistances d'allumage R_d et R, on bascule

(1) Voir R. G. E. (25 novembre 1921), article de M. Maurice Leblanc fils, directeur de l'Hewitt Electric.

Voir *La Houille Blanche* (septembre 1911), Les lampes à vapeur de mercure.

l'ampoule A de façon à établir un pont de mercure momentanément entre les cathodes C et C_s. Il se produira à la rupture de ce pont une étincelle suffisante, pour vaporiser le mercure, et amorcer ainsi le phénomène du redressement. Dès que le circuit d'utilisation est fermé, on met hors circuit les résistances R_n et R. La mise en marche de ce redresseur s'obtient donc instantanément et sans autre manœuvre que l'enclenchement d'interrupteurs et le basculement de l'ampoule.

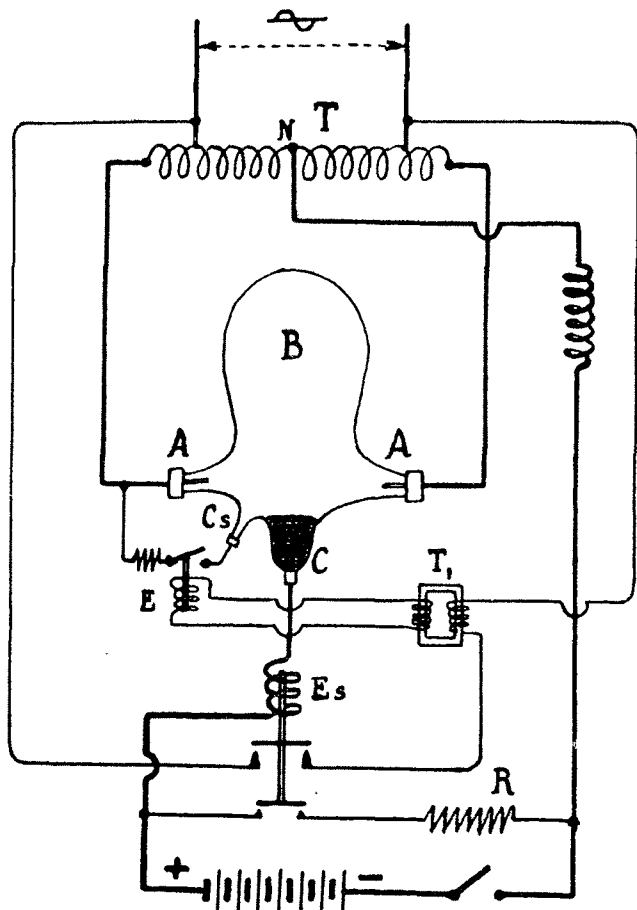


Fig. 27. — Schéma de montage d'un redresseur « Cooper-Hewitt » à mise en marche automatique (charge d'une batterie d'accumulateurs).

T Transformateur d'alimentation. E_s Electro-série.
B Redresseur. T₁ Transformateur de l'électro-basculeur.
E Electro-basculeur. S. Self.

Le schéma de la figure 27 représente le montage d'un redresseur Cooper Hewitt à mise en marche complètement automatique servant à la charge d'une batterie d'accumulateurs.

L'installation est complétée par un tableau de manœuvre, ne comportant que l'appareillage strictement nécessaire à la mise en marche à la protection, et éventuellement au réglage de la tension continue. Ce tableau porte généralement : un interrupteur général à l'arrivée du courant alternatif, un interrupteur d'amorçage, un bouton pour le basculement de l'ampoule, un fusible calibré sur le circuit continu et suivant les cas une résistance de réglage à curseur ou un régulateur à plots.

Rendement et Rapport de transformation.

La chute de tension dans le redresseur est égale à la somme des chutes de tension dans l'anode et dans la cathode qui sont pratiquement constantes, et de la chute de tension dans l'arc, qui, elle, est fonction de la longueur de l'arc, de l'intensité du courant et de la pression intérieure de l'ampoule.

Dans les redresseurs en verre à petit débit, la chute de tension dans l'arc par centimètre de longueur varie de 0,7 à 1,25 volts.

La chute de tension aux anodes et à la cathode varie de 5,5 à 6,5 volts.

Dans un même redresseur on constate qu'à partir d'une certaine charge la chute de tension totale est sensiblement constante. Les pertes étant le produit de la chute de tension par le courant il en résulte que les pertes en pour cent et par suite le rendement reste sensiblement constant en fonction de la charge. La chute de tension totale est assez faible, elle est de 15 à 18 volts dans les redresseurs en verre ; le rendement est élevé. Ce rendement sera donc de plus en plus élevé que la tension du courant continu débité sera plus élevée. Il y a donc intérêt à choisir une tension d'utilisation la plus haute possible.

Entre la tension alternative V_a et la tension continue V_c, il existe comme dans les commutatrices une relation déterminée. Cette relation est approximativement à vide :

$$V_a = (V_c \cdot 2,35) + 35 \text{ en monophasé.}$$

$$V_a = (V_c \cdot 1,6) + 28 \text{ en triphasé.}$$

Il faudra donc ajuster la tension alternative à la tension continue à produire. Dans la plupart des cas un transformateur d'alimentation sera nécessaire.

Réglage de la tension continue.

Le réglage de la tension continue peut se faire par la méthode ordinaire en insérant une résistance ohmique dans le circuit continu, ou bien en modifiant le rapport de la transformation du transformateur d'alimentation. Dans ce cas, le transformateur est muni de prises connectées à un commutateur à plots, relié aux anodes. Ce réglage de la tension continue est particulièrement utile dans le cas où l'on a à charger un nombre d'accumulateurs très variable, ou à alimenter plusieurs appareils sous des tensions continues différentes.

Courant minimum.

Le redresseur à vapeur de mercure exige un courant minimum pour rester allumé, c'est-à-dire que pour une ampoule donnée il y a un courant minimum au-dessous duquel le désamorçage se produit. Ce courant minimum est environ le 1/3 du courant maximum de l'ampoule. Lorsqu'un redresseur est destiné à alimenter une bobine de Rhumkorff absorbant du courant que par intermittences, ou des circuits susceptibles d'absorber par moments un courant plus petit que le courant minimum d'amorçage (réseau d'éclairage de nuit) il est nécessaire de maintenir l'ampoule constamment amorcée.

A cet effet, au début des applications des redresseurs en verre on consentait, pour maintenir l'ampoule amorcée en permanence, à dépenser dans une résistance montée en parallèle avec le circuit principal, le courant minimum nécessaire, ce qui conduisait à une dépense d'énergie assez importante.

Aujourd'hui, on munit l'ampoule de deux anodes supplémentaires (voir figure 28) (aa) alimentées par le secondaire d'un transformateur T₂, dont le point milieu est connecté directement à la cathode principale (C).

Deux bobines de self-induction S₁ S₂ sont montées, entre le transformateur et les anodes. Ce dispositif permet de maintenir l'ampoule constamment allumée en ne dépensant qu'une centaine de watts environ.

Courant maximum.

Le courant maximum dépend de la surface de condensation de l'ampoule, car le passage du courant dans l'ampoule produit une certaine quantité de vapeur de mercure, cette vapeur doit se condenser pour que la pression dans l'ampoule se maintienne aux

environs de 0,01 c/m de mercure, ce qui correspond à une température des parois d'environ 70° C.

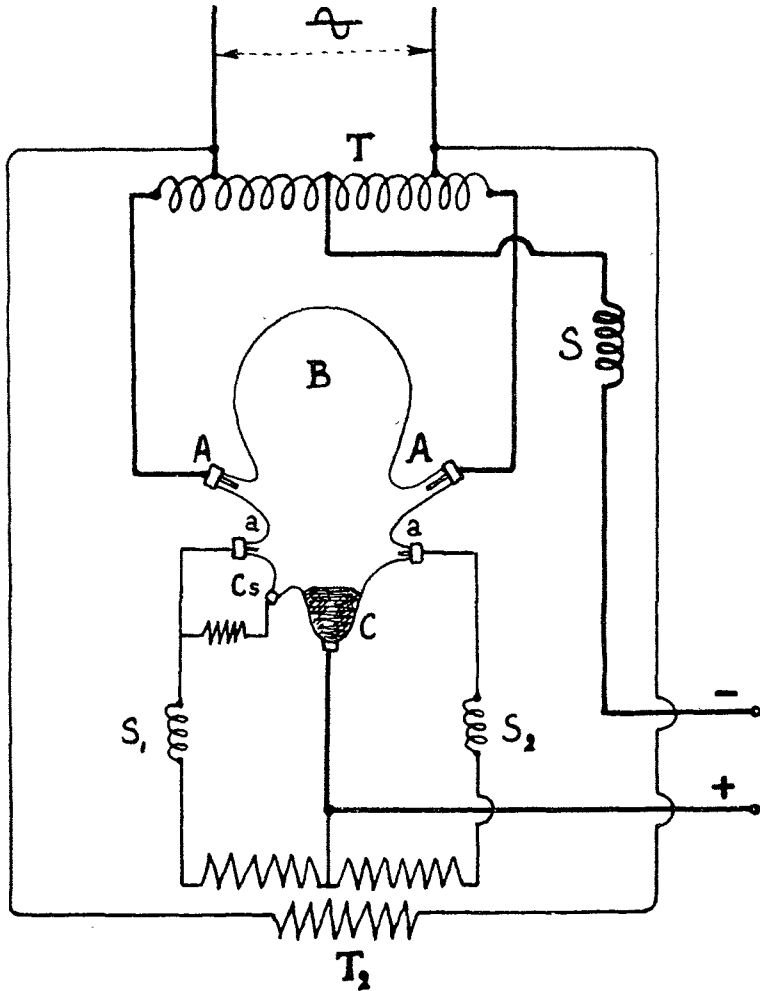


Fig. 28. — Schéma de montage d'un redresseur avec anodes supplémentaires maintenant l'ampoule amorcée en permanence.

M. Maurice Leblanc a montré que si on alimente une ampoule avec du courant continu, les diverses anodes fonctionnant en parallèle et qu'on relève la caractéristique, chute de tension dans l'ampoule en fonction du débit total (en laissant l'équilibre thermique s'établir après chaque variation de courant, on atteint une courbe (figure 29) qui passe par un minimum.

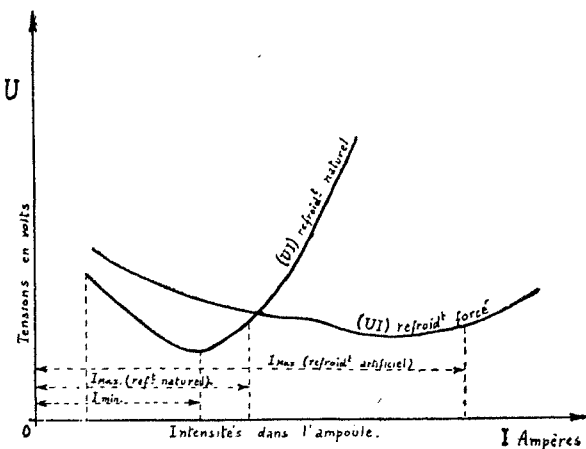


Fig. 29. — Caractéristiques de la chute de tension en fonction du débit dans une ampoule de redresseur en verre « Hewitt ».

En admettant que l'ampoule fonctionne généralement à 3/4 de charge le courant qui correspond au minimum constaté sera envi-

ron les 3/4 du courant maximum qui pourra être demandé à l'ampoule considérée.

Si on refroidit l'ampoule artificiellement à l'aide d'un ventilateur par exemple et que l'on construise à nouveau la caractéristique, on obtient une courbe beaucoup plus inclinée sur l'axe des intensités de sorte que, si pour une même ampoule à refroidissement naturel le débit maximum est par exemple de 40 ampères, ce débit pourra être de 100 ampères avec refroidissement forcé.

Les ampoules de l'Hewittic Electric Co sont largement calibrées pour le courant maximum qu'elles doivent supporter. Elles peuvent être surchargées de 50 % momentanément. Toutefois, les surcharges permanentes, même de peu d'importance, ont pour effet de réduire la vie utile qui, dans de bonnes conditions d'emploi, dépasse en moyenne un millier d'heures. On aura donc tout intérêt à ne pas choisir un appareil de puissance inférieure à celle qui est réellement nécessaire.

La grande difficulté qu'il y a eu à résoudre dans la construction des redresseurs en verre (comme nous le verrons aussi par la suite pour les redresseurs métalliques) était celle des entrées du courant dans le récipient où règne le vide.

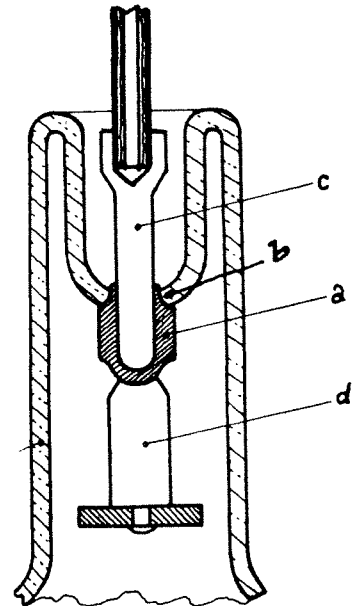


Fig. 30. — Entrée d'anode de redresseur en verre (type de l'Hewittic Electric Co).

L'Hewittic Co a résolu cette question de la façon suivante : (figure 30). Le joint est assuré par une petite capote en platine (a) soudée dans le verre en (b). Le conducteur extérieur en cuivre (c) et le conducteur intérieur en fer (d) sont soudés de part et d'autre au fond de cette capote. La partie latérale de la capote qui assure le joint n'est traversée par aucun courant, elle n'est pas sujette à chauffer, elle peut donc être très mince et sa soudure avec le verre se faire très facilement. Il a été constaté aux essais et par l'usage que ce genre de scellement est susceptible de supporter des surcharges allant jusqu'au double de l'intensité normale.

Marche en parallèle de plusieurs ampoules.

Pour des intensités dépassant 50 ampères, il est possible, moyennant certaines dispositions constructives, de connecter en parallèle deux ou plusieurs ampoules débitant simultanément sur le même circuit. Comme on le verra dans le tableau ci-joint donnant la spécification des types courants de redresseurs en verre de l'Hewittic Electric Co, les redresseurs de 60 et 80 ampères notamment, comportent deux ampoules à mercure débitant chacune 30 et 40 ampères, alimentés par un seul transformateur et constituant un appareil unique.

Types Monophasés	COURANT CONTINU			Dimensions et Poids approximatifs	Types Triphasés
	AMPERES minim.-maxim.	VOLTS maxim. compris entre	PUISSANCE watts		
W 5	3-5	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	150 à 1250	Haut. : 800 $\frac{m}{m}$ Long. : 400— Larg. : 300— 50 kgs	Néant
W 10	4-10	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	300 à 2500	Haut. : 800 $\frac{m}{m}$ Long. : 400— Larg. : 300— 60 kgs	D 10
W 20	5-20	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	600 à 5000	Haut. : 1000 $\frac{m}{m}$ Long. : 500— Larg. : 400— 120 kgs	D 20
W 30	6-30	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	900 à 7500	Haut. : 1000 $\frac{m}{m}$ Long. : 500— Larg. : 400— 160 kgs	D 30
W 40	8-40	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	1200 à 10.000	Haut. : 1000 $\frac{m}{m}$ Long. : 500— Larg. : 400— 180 kgs	D 40
W 60 2 types W 30 jumelés	12-60	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	1800 à 15.000	Haut. : 1000 $\frac{m}{m}$ Long. : 1000— Larg. : 400— 300 kgs	D 60 2 types D 30 jumelés
W 80 2 types W 40 jumelés	16-80	a 30 b 31 — 80 c 81 — 130 d 131 — 180 e 181 — 250	2400 à 20.000	Haut. : 1000 $\frac{m}{m}$ Long. : 1000— Larg. : 400— 350 kgs	D 80 2 types D 40 jumelés

Caractéristiques des types courants de redresseurs à vapeur de mercure en verre de l'Hewittic Electric Co

Chaque modèle de redresseur peut être établi à volonté pour raccordement sur triphasé, avec équilibrage parfait des phases, ou sur monophasé, entre 2 fils de phase ou entre phase et neutre.

Pour des débits supérieurs à 80 ampères, les constructeurs livrent des batteries de redresseurs constituées par plusieurs unités pouvant être mises en service séparément ou simultanément.

En aucun cas il ne faut mettre en parallèle des appareils qui n'ont pas été prévus pour ce mode de montage, car on arriverait à un déséquilibre de la charge entre les ampoules, ce qui les mettrait rapidement hors d'usage. Dans les petites sous-stations où l'on a des redresseurs en parallèle, et où la tension doit pouvoir être réglée de $\pm 10\%$, on emploie, un régulateur d'induction ou plusieurs régulateurs, pouvant être accouplés mécaniquement à volonté.

Dans une installation relativement importante, on peut employer un dispositif de mise en circuit automatique d'une nouvelle ampoule, dès que la charge des ampoules en service atteint 95 % de la valeur de la pleine charge.

Distribution à trois fils.

Avec le redresseur en verre, on peut très facilement obtenir une distribution de courant continu à 3 fils. Il suffit de monter le redresseur entre les conducteurs extrêmes, c'est-à-dire à la tension maximum (somme de tensions des deux ponts). Le rendement est alors meilleur. On obtient le point neutre de la distribution en montant entre les fils extrêmes : soit une batterie d'accumulateurs, soit deux redresseurs en série, soit un groupe équilibreur constitué par deux moteurs en série montés sur un arbre commun. Cette dernière solution est celle qui est généralement employée dans les distributeurs à courant continu 3 fils. Les circuits d'excitation des deux petits moteurs sont croisés, c'est-à-dire que l'excitation de la machine montée sur l'un des ponts est prise sur l'autre pont et inversement.

La puissance du groupe équilibreur ou compensateur est de l'ordre, du dixième, de celle du redresseur général d'alimentation.

Rendement des redresseurs en verre et facteur de puissance.

Au point de vue électrique, les redresseurs à vapeur de mercure en verre présentent par rapport aux machines rotatives, l'avantage d'un rendement nettement supérieur, et pouvant atteindre pour des tensions côté continu de l'ordre de 700 volts, une valeur voisine de 98 %.

De plus, si on trace la courbe du rendement en fonction de la charge, on trouve que le rendement est sensiblement constant quelle que soit la charge, propriété très intéressante au point de vue économie d'énergie réalisée dans les installations où la charge varie dans de grandes limites.

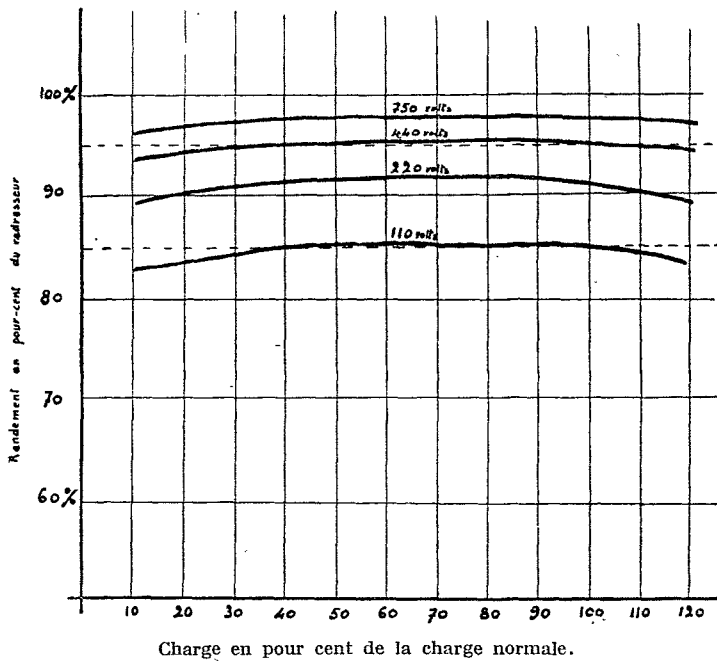


Fig. 31. — Courbes du rendement d'un redresseur en fonction de la charge, et des différentes tensions normales d'utilisation.

Nous avons représenté dans la figure n° 31 les courbes du rendement d'un redresseur en fonction de la charge pour les différentes tensions normales de 110, 200, 440 et 750 volts. Ces courbes font nettement ressortir que le rendement d'un redresseur en verre est d'autant plus élevé que la tension d'utilisation est elle-même plus grande.

Il est à remarquer que ces courbes ne tiennent pas compte, dans le cas de redresseurs munis d'anodes supplémentaires d'entretien, de l'énergie dépensée pour l'entretien de l'arc, énergie qui est de l'ordre de 100 à 150 watts. Enfin le facteur de puissance dépend surtout des harmoniques d'ordre supérieur du circuit à courant continu. Ces harmoniques dépendent du nombre de phases du redresseur. Ainsi pour les redresseurs en verre mono et triphasés le facteur de puissance est de l'ordre de 0,80 à 0,90. Nous verrons plus loin que dans les redresseurs métalliques à grand débit alimentés en hexaphasé, on obtient du côté primaire du transformateur d'alimentation un facteur de puissance plus élevé, de l'ordre de 0,95 à 0,97.

Applications des redresseurs en verre.

Nous avons vu que les redresseurs à vapeur de mercure avec ampoule en verre se construisent facilement jusqu'à 200 ampères, soit 50 Kw sous 250 volts (voir fig. 32). En Angleterre ils sont

couramment employés dans des petites sous-stations à courant continu, car les installations électriques ont été faites dans ce pays, d'abord en courant continu, et depuis quelques années, la transformation des réseaux en courant alternatif conduit à changer tout le matériel basse tension. Dans bien des cas, les industriels au lieu de modifier toute leur installation, préfèrent la laisser telle quelle, et installer une petite sous-station de transformation.

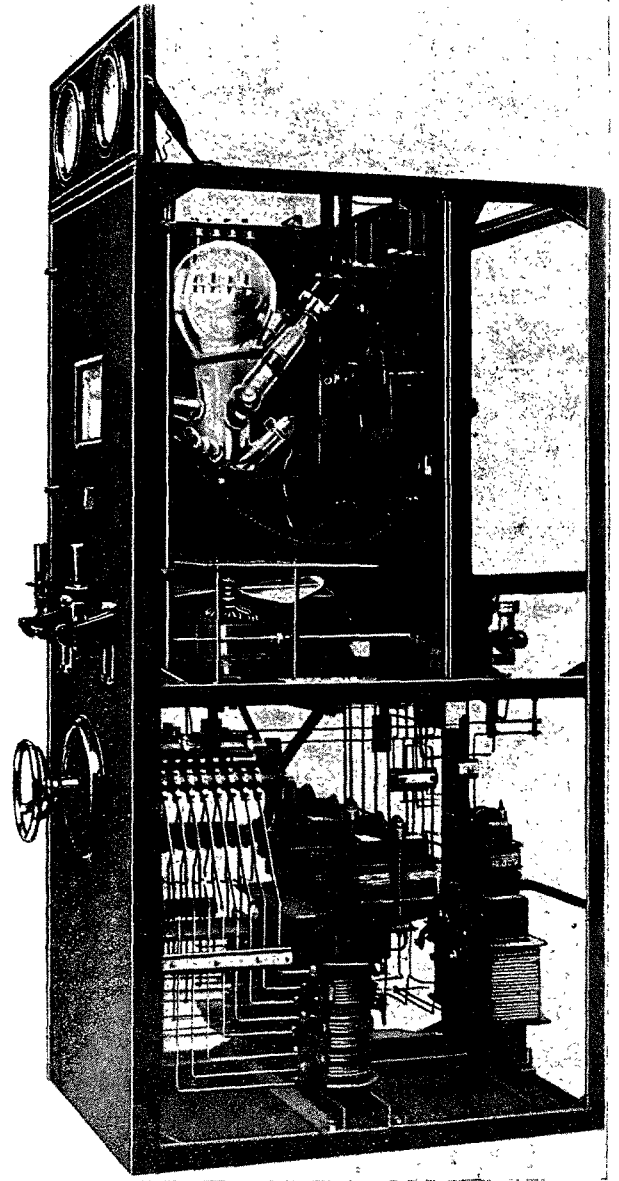


Fig. 32. — Redresseur à vapeur de mercure, type en verre installé par l'Hewittic Electric Co de Suresnes (Seine) aux sous-stations de Villarodin et de Lanslebourg (Savoie) alimentant la ligne électrobus Modane-Lanslebourg (Type 50 Kw, 600 volts continu).

Celle-ci peut d'ailleurs être prévue à fonctionnement entièrement automatique.

Les principales applications des redresseurs en verre sont les suivantes :

a) Charges des petites batteries d'accumulateurs. — La charge de batterie d'accumulateurs pour électro-mobilité à l'aide de redresseurs en verre a pris une grande extension en Amérique et en Angleterre, où la traction par voiture électrique est tout à fait courante.

La charge de ces batteries se fait soit à tension constante, soit à intensité constante, comme avec les dynamos.

On peut réaliser avec le redresseur la charge automatique ; avantage appréciable dans les garages où la charge se fait la nuit. Le redresseur est prévu avec dispositif d'allumage automatique, de telle sorte que, si pour une cause quelconque, le courant vient à manquer, la charge reprend automatiquement lorsque le courant est rétabli.

b) Alimentation de moteurs à courant continu. — Le redresseur

constante, ce qui donne toujours au moteur un bon couple de démarrage.

c) Le redresseur est également employé, à l'alimentation des électro-aimants de levage, dans les installations téléphoniques et télégraphiques, à l'alimentation des arcs cinématographiques dont le fonctionnement sur courant alternatif est défectueux.

Le redresseur s'applique également très bien à l'électrolyse et à la galvanisation, à l'alimentation des appareils électro-médicaux, radiographie, thermo-cautères, lampes de quartz.

Il s'applique aussi à la production de courant continu de faible débit et de très haute tension pour la charge de batteries de petits accumulateurs en très grandes séries, ou de condensateurs à l'alimentation des circuits de plaque d'audions en télégraphie sans fil, etc...

Avantages des redresseurs.

Les redresseurs à vapeur de mercure à petit débit, en verre, introduits sur le marché depuis une douzaine d'années, ont rapidement acquis la faveur de tous ceux qui recherchaient un moyen simple et économique de transformer du courant alternatif en courant continu.

Des millions d'appareils fonctionnent aujourd'hui, dans les applications les plus diverses.

Ces appareils n'ont aucune pièce en mouvement, ils fonctionnent sans bruit et ne nécessitent pas plus de surveillance qu'un transformateur statique ordinaire. Leur mise en marche est infiniment plus simple que celle des groupes rotatifs. Leur poids et leurs dimensions sont 4 à 5 fois moindres que ceux des groupes rotatifs d'égale puissance. Ils ne nécessitent aucune fondation, ni travail préparatoire d'installation. L'appareil forme un ensemble complet, monté derrière son tableau (fig. 32) ; il suffit de connecter les câbles d'arrivée du courant alternatif et ceux de départ vers les appareils d'utilisation à courant continu.

L'ampoule à mercure est aussi hermétiquement fermée qu'une lampe à incandescence ; il n'y a aucun dégagement de vapeur corrosive, aucune manifestation de liquide, comme c'est le cas par exemple, avec les soupapes électrolytiques. Au point de vue

électrique leur grand avantage est celui du rendement qui est très élevé, dans certains cas il atteint 98 % et reste sensiblement constant quelle que soit la charge.

Enfin ils sont irréversibles, c'est-à-dire qu'avec eux, il n'y a pas à craindre un retour de courant, dans le cas de la charge d'une batterie d'accumulateurs.

Il est hors de doute que l'emploi des redresseurs deviendra de plus en plus courant et qu'ils sont appelés à remplacer les groupes rotatifs dans la plupart des cas, car l'économie réalisée dans la consommation du courant, compense rapidement les frais de premier établissement et permettent de réaliser par la suite une grande économie sur le courant consommé.

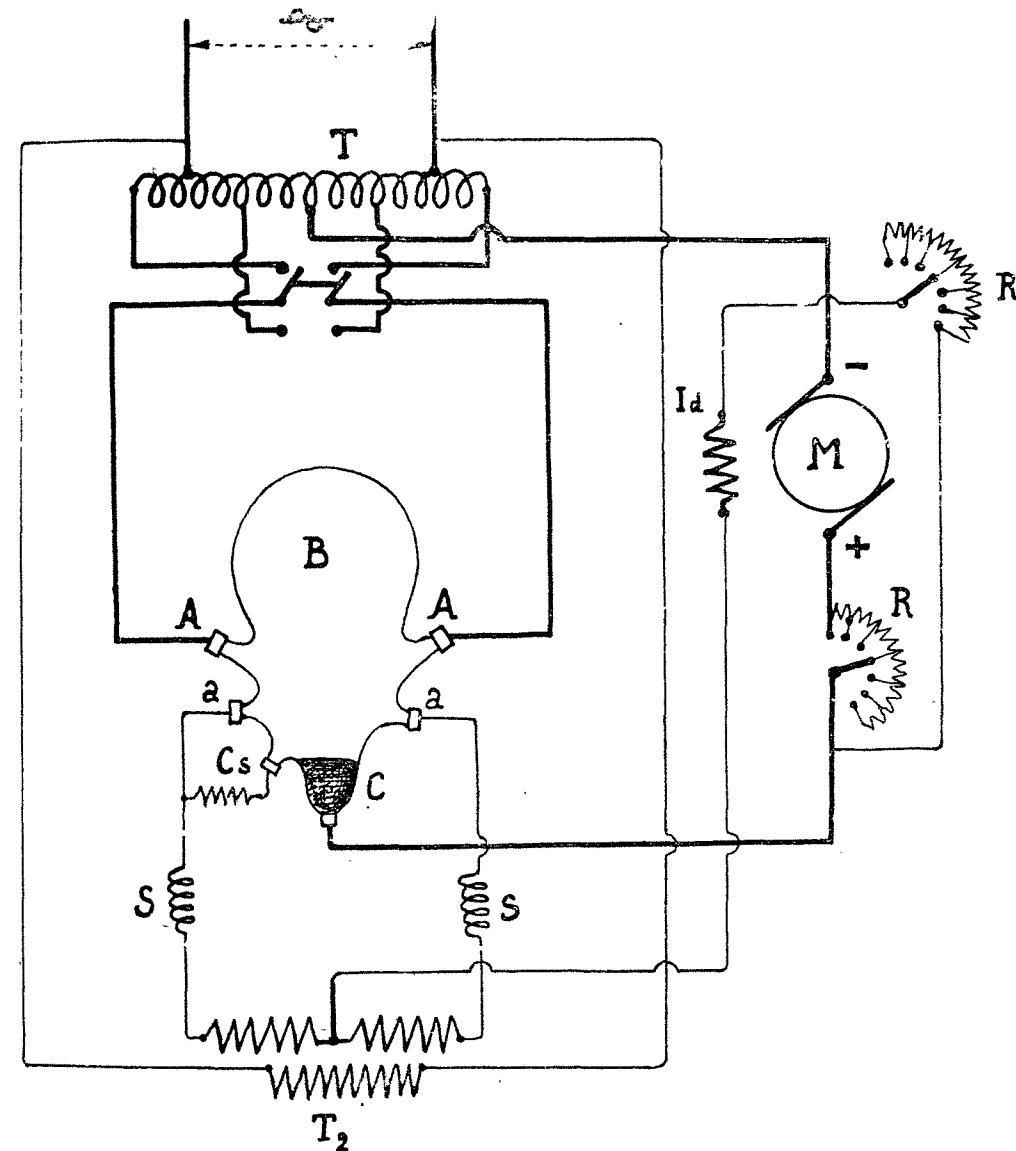


Fig. 33. — Schéma de montage d'un redresseur alimentant un moteur à courant continu à excitation shunt, à vitesse variable.

convient très bien pour l'alimentation des petits moteurs à courant continu à vitesse variable, tels que ceux des machines à imprimer, calendres, machines-outils, ponts roulants, ascenseurs, monte-charges, etc...

Le schéma de la figure 33, représente le montage d'un moteur à courant continu à vitesse variable. L'induit est branché sur le circuit principal du redresseur, l'inducteur est connecté au circuit d'entretien, de sorte que c'est le courant d'excitation du moteur qui maintient le redresseur en service. On peut faire varier le courant dans l'induit, à l'aide de prises effectuées sur le transformateur d'alimentation.

On voit donc que le champ inducteur est alimenté à tension