

STÉ A^{ME} DES CONDENSATEURS DE TRÉVOUX

52, RUE DE DUNKERQUE

à PARIS (9^e)



Sommaire

Généralités - Utilisation des Condensateurs	2
Calcul de la puissance réactive	3
Remarques sur la vie des Condensateurs	4, 5
Condensateurs Basse Tension	6, 7, 8
Condensateurs Haute Tension	9, 10
Renseignements pour l'établissement des devis	10
Avantages des Condensateurs S.A.C.T..	11
Economies réalisées par l'emploi des Condensateurs.	12, 13, 14
Schémas de branchement des Condensateurs Basse Tension	15
Schémas de branchement des Condensateurs Haute Tension	16

L'Amélioration du Facteur de Puissance par les Condensateurs Statiques

Généralités - Les moteurs asynchrones et les transformateurs prennent au réseau qui les alimentent, d'une part une énergie active transformée en travail utile et, d'autre part, une énergie réactive servant seulement à l'excitation de ces machines et ne produisant aucun travail.

Le rapport de l'énergie active **A** à l'énergie totale **T** est le facteur de puissance ou $\cos \varphi$.

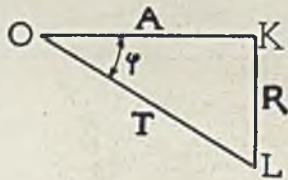


Fig. 1

En représentation vectorielle, l'énergie réactive **R** - ou **KL** - étant décalée de 90° en arrière sur l'énergie active **A** - ou **OK** - l'angle φ (fig. 1) est déterminé par la composition géométrique de ces vecteurs, **OL** représentant l'énergie totale **T**. On en déduit :

$$\cos \varphi = \frac{A}{T} = \frac{A}{\sqrt{A^2 + R^2}}$$

Mathématiquement, on voit que le $\cos \varphi$ se rapproche d'autant plus de l'unité que φ diminue, c'est-à-dire que **R** est plus petit.

Economiquement, il y a intérêt primordial à diminuer l'énergie réactive, c'est-à-dire à améliorer le facteur de puissance :

- a) Pour le producteur qui peut ainsi disposer d'une puissance de distribution plus élevée.
- b) Pour le consommateur que les secteurs pénalisent en cas de $\cos \varphi$ insuffisant, en lui facturant l'énergie réactive.

Pour l'un et l'autre d'ailleurs, il en résulte une meilleure utilisation des machines et canalisations.

Utilisation des condensateurs. - La solution la plus simple et qui se révèle la plus économique et la plus sûre pour réduire l'énergie réactive **R** autant qu'on le désire, consiste à brancher des condensateurs sur le réseau, en parallèle avec les moteurs ou transformateurs.

On sait en effet que les condensateurs produisent une énergie **R'** décalée de 90° en avant sur l'énergie active **A**. Cette énergie de compensation **R'** représentée vectoriellement par **LM** (fig. 2), a pour effet de ramener l'angle φ à la valeur φ' , l'énergie réactive de **KL** à **KM** et l'énergie totale de **OL** à **OM**.

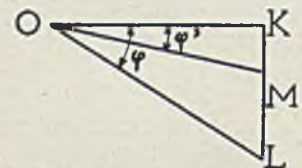


Fig. 2

Comme $KL = OK \operatorname{tg} \varphi$ et $KM = OK \operatorname{tg} \varphi'$ on en déduit :

$$KM = OK (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi') \text{ ou } R' = A (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')$$

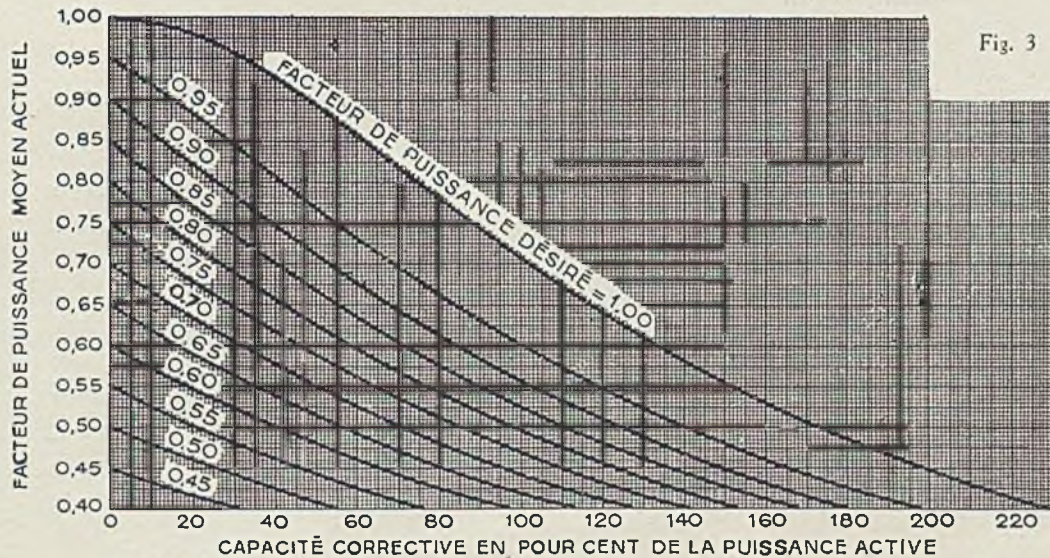


Les puissances P' et P correspondant respectivement à R' et A sont donc liées par la formule :

$$P' = P (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')$$

qui permet à l'aide d'une table trigonométrique de déterminer la puissance de compensation ou puissance apparente P' en KVA d'un condensateur, en fonction de la puissance active P en KW, pour ramener ce $\cos \varphi$ à la valeur $\cos \varphi'$ désirée.

Pour éviter de faire ce calcul, il suffit de se servir des courbes (fig. 3) qui indiquent directement P' exprimé en % de P .



APPLICATION. - Supposons que les compteurs d'énergie active et réactive donnent respectivement 50.000 KWh et 86.000 KVAh pour 1.000 heures de fonctionnement.

On en déduit le $\cos \varphi$ moyen $\frac{50.000}{\sqrt{50.000^2 + 86.000^2}} = 0,5$ correspondant à cette durée.

Supposons qu'on veuille obtenir un $\cos \varphi$ moyen égal à 0,85, la projection sur l'axe horizontal du point de rencontre de la courbe 0,85 avec l'horizontale 0,50 donne 111.

La puissance active moyenne étant de $\frac{50.000}{1.000} = 50$ KW, pour ramener à 0,85 le $\cos \varphi$ moyen de l'installation :

Il faudra installer une batterie de condensateurs de : $\frac{111}{100} \times 50 = 55,5$ KVA.

N.B. - Bien que P' soit exprimé généralement en KVA, il est parfois intéressant de connaître la capacité C correspondant à la puissance P' . Cette capacité est donnée par la formule $C = \frac{P'}{2\pi f E^2}$ dans laquelle C est exprimé en Farads, P' en Voltampères, E en Volts, f en périodes par seconde.

Par exemple la capacité d'un condensateur de 10 KVA à 200 volts 50 périodes est de : $\frac{10.000}{2\pi \times 50 \times 200^2} = 796 \times 10^{-6}$ Farads ou 796 microfarads.

Remarques sur la vie des Condensateurs

La vie d'un condensateur dépend surtout de deux facteurs :

- 1° La contrainte permanente et admissible du diélectrique.
- 2° Les pertes à la tension et à la fréquence normale d'utilisation, et dans les limites usuelles de température ambiante.

1° **Contrainte du diélectrique.** — La contrainte admissible du diélectrique à la fréquence normale est illustrée par les " courbes de perforation " obtenues (pour un type déterminé de condensateur défini par sa capacité et sa tension de service) en portant en abscisses le temps d'application de la tension amenant, à la fréquence normale, la perforation du diélectrique et en ordonnées la valeur de cette tension.

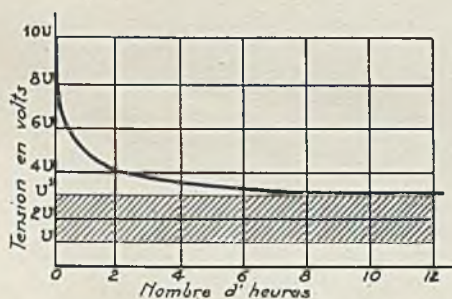


Fig. 4

La courbe (fig. 4), pour un condensateur de notre construction établi pour une tension de service U , fréquence industrielle, montre qu'au bout d'une dizaine d'heures elle tend vers une asymptote de valeur U' .

Théoriquement ce condensateur pourrait donc convenir pour une tension d'emploi voisine de U' : s'il en était ainsi, la sécurité serait illusoire, un faible accroissement de la tension provoquant le claquage. La différence entre U et U' (partie hachurée), représente la marge de sécurité adoptée.

Cette courbe montre également l'inutilité des tensions d'essai trop élevées, qui fatiguent le diélectrique : celui-ci peut les supporter pendant un temps relativement court, mais au prix d'une diminution de la durée de vie du condensateur.

Nous avons à dessein parlé des " courbes de perforation " et non des " courbes de vie ". On voit en effet d'après l'allure de la courbe des tensions de perforation, que la variation de ces tensions ΔU en fonction de la durée ΔT de leur application, n'est appréciable que pour une valeur relativement faible de ΔT . Au contraire, pour une valeur élevée de ΔT , la courbe s'aplatit et ne présente plus d'intérêt que si elle est établie pour plusieurs années : dans ce dernier cas seulement, on a le droit de l'appeler " courbe de vie ".

En courant continu on pourrait admettre théoriquement qu'aucune variation ne se produira dans le temps, puisque la contrainte du diélectrique est constante et qu'aucune énergie autre que la charge n'est dépensée. En courant alternatif il n'en est plus de même, la contrainte trop élevée amène une déformation du diélectrique avec le temps, et la vie d'un condensateur dépend alors non seulement de la tension et de la fréquence, mais

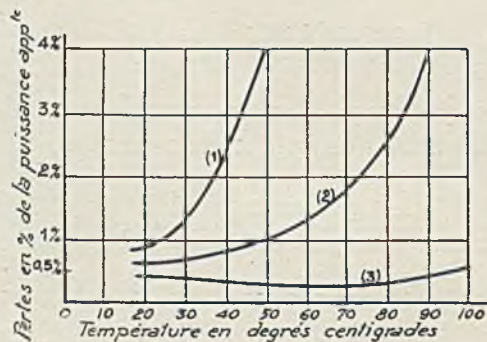


Fig. 5

encore des conditions de réalisation des éléments, de leur assemblage, de la compression qu'ils subissent en cours de fabrication et enfin de la température.

Il y a plus de dix ans que nous avons étudié les différentes tensions admissibles dans les diélectriques en fonction de ces divers facteurs : l'influence de la température notamment est mise en évidence par les " courbes de pertes ".

2° Pertes dans les diélectriques. — Les courbes (fig. 5) donnent en 0/0 de la puissance apparente des condensateurs les pertes en fonction de la température pour les



Fig. 6 - Vue d'une travée de bobinage.

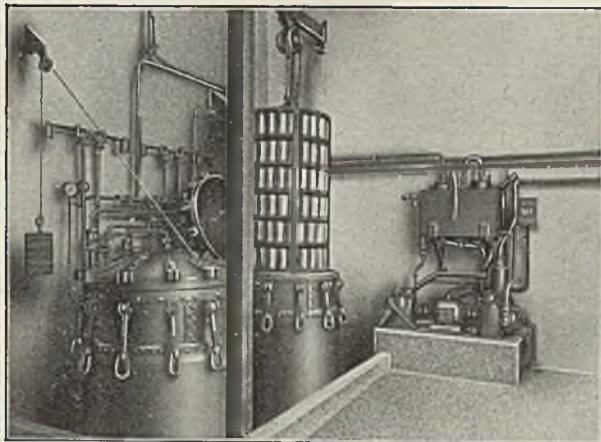


Fig. 7 - Vue d'une étuve d'imprégnation.

appareils à diélectrique papier avec imprégnants différents. Elles marquent les progrès réalisés dans les étapes successives des fabrications de nos condensateurs pour l'amélioration du facteur de puissance.

Courbe (1) : Imprégnant paraffine : pertes élevées, excluant toute application pratique.

Courbe (2) : Compound solide spécial (Trévoussite) : pertes déjà réduites pour une échelle étendue de températures.

Courbe (3) : Huile spéciale S.A.C.T. Le simple examen de cette courbe montre les remarquables résultats auxquels

nous sommes parvenus et la réduction des pertes à toutes températures.

Les matières premières que nous employons sont exemptes de toute impureté et sont soumises à un contrôle rigoureux avant leur utilisation ; elles sont traitées suivant une technique moderne et des procédés perfectionnés.

Les mesures et les essais multiples que nous effectuons avec une surcharge appropriée sur tous les éléments, en cours de fabrication, et sur les condensateurs terminés nous permettent de donner toutes garanties sur la qualité du matériel livré.

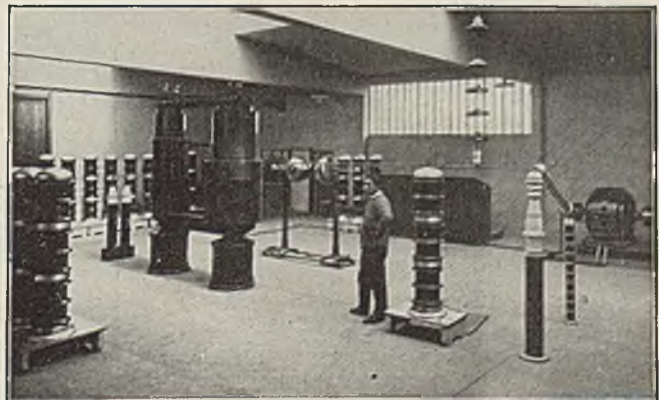


Fig. 8 - Vue d'un de nos laboratoires Haute Tension.

Condensateurs basse tension

Nos condensateurs basse tension jusqu'à 750 volts, sont composés d'éléments standard à bain d'huile type **C. P. H.** employés séparément ou groupés dans nos types **H. P.** et **H. G.** : nous pouvons établir des condensateurs pour n'importe quelle puissance, en combinant nos différents modèles pour service intérieur aussi bien que pour service extérieur.



Fig. 9

Eléments C. P. H. — Les feuilles de papier et de métal enroulées sur un support tubulaire rigide constituent des cylindres (Fig. 9) montés en boîtes métalliques de même forme (Fig. 10) remplies



Fig. 10

d'huile. Ces cylindres sont munis d'entretoises appropriées, empêchant tout déplacement dans les boîtes et tout contact avec celles-ci : les connexions des armatures aux bornes d'entrée sont soigneusement isolées pour éviter également ce dernier inconvénient.

L'huile peut circuler librement au milieu et autour de l'élément assurant un refroidissement parfait ainsi qu'une continuité absolue de l'imprégnation. La boîte est fermée par un couvercle métallique portant les bornes en matière moulée et serti mécaniquement sur cette boîte. L'ensemble est parfaitement étanche.

Nos modèles C. P. H. employés séparément pour la compensation individuelle de moteurs par exemple (Fig. 11), ne comportent pas de fusibles et peuvent être placés directement sur le sol, sur des étagères fixées au mur, etc. Ils peuvent être montés également sur charpentes métalliques appropriées, lorsque la place en profondeur est

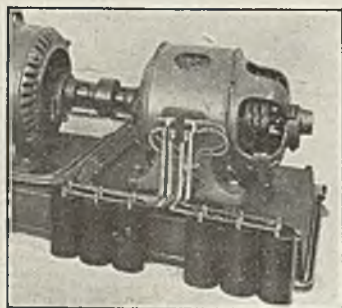


Fig. 11

limitée, par exemple pour réaliser des batteries importantes : la fig. 12 représente une installation de ce genre d'une batterie diphasée de 100 KVA 220 volts avec extension à 125 KVA, exécutée à la Société "GENERAL MOTORS", à CLICHY.

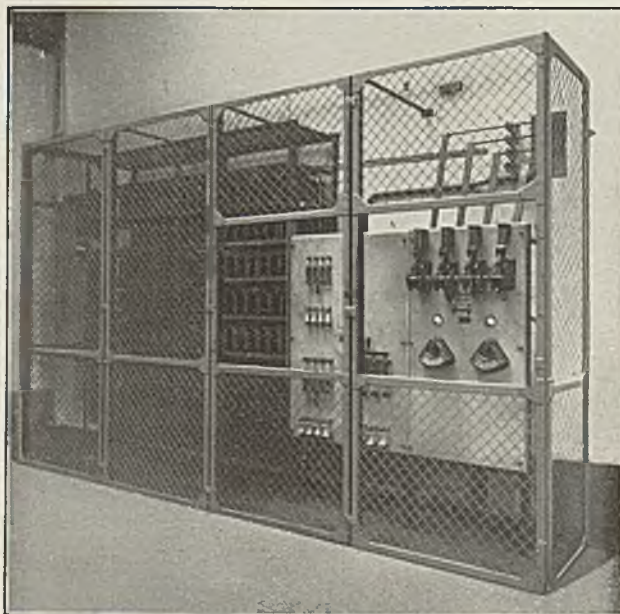


Fig. 12





Fig. 13

Condensateurs H. P. — Ces appareils sont constitués par des éléments C.P.H. monophasés montés dans des boîtes parallépipédiques (Fig. 13) en tôle épaisse, fermées par un couvercle métallique vissé ; les connexions entre les éléments sont faites à l'intérieur de la caisse et aboutissent à des bornes de branchement extérieures. Toutes les parties de cet ensemble sont facilement démontables.

Les fusibles à fusion visible, livrés avec ces appareils à raison de un pour le monophasé, deux pour le diphasé ou le triphasé, se montent directement sur les bornes et extérieurement à l'appareil.

Condensateurs H. G. — Ces condensateurs dont les figures 14 et 15 indiquent clairement la disposition générale sont constitués également par des éléments C. P. H. monophasés, disposés en étage à l'intérieur d'un châssis métallique ; celui-ci, de forme parallépipédique, est garni de panneaux de tôle pleine sur ses faces latérales, arrière et supérieure : la face avant est garnie en partie de cette façon.

Les éléments assemblés mécaniquement et maintenus rigidement au moyen de traverses et tirants métalliques appropriés, peuvent être démontés et remontés avec la plus grande facilité. Ils sont connectés électriquement entre eux, par phase ; l'ensemble pour chaque phase aboutit à un tableau de fusibles à fusion visible, fixé à l'intérieur du châssis et protégé par un panneau en tôle ajourée démontable, ce qui permet l'accès commode des fusibles et une inspection rapide de ceux-ci.

Les connexions du tableau des fusibles aboutissent à des bornes extérieures de branchement.

Installation des Condensateurs H.P. et H.G. — Nos condensateurs H.P. et H.G. se montent aisément soit séparément, soit en éléments multiples et se prêtent à toutes

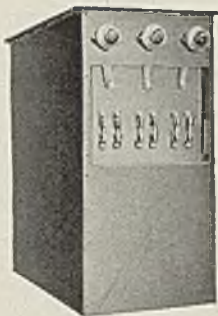


Fig. 14

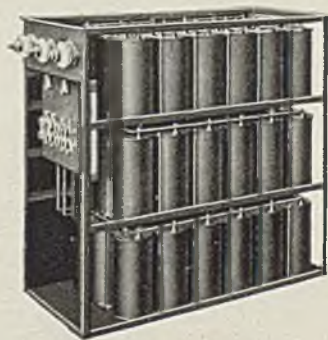


Fig. 15

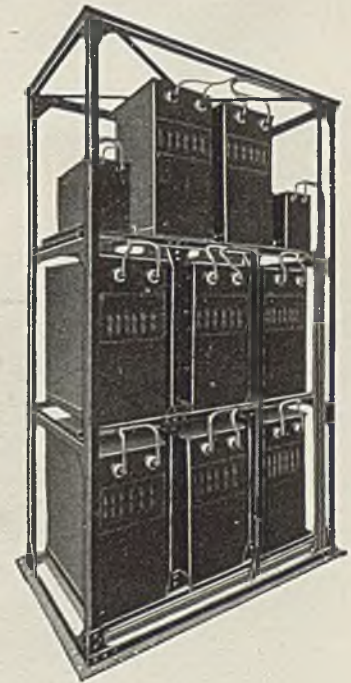


Fig. 16

les combinaisons, suivant leur application et le local dont on dispose : la Fig. 16 qui représente une batterie de 80 KVA diphasé 220 volts 50 périodes, installée aux Etablissements ABORD, SIBUET & DESVAUX, à PARIS, montre une disposition de condensateurs H. P. et H. G. sur charpente en caisson.

Condensateurs avec auto-transformateurs

On a parfois intérêt pour des tensions inférieures à 500 volts, à utiliser des condensateurs à 600 volts avec auto-transformateurs (à refroidissement dans l'air ou à bain d'huile suivant les puissances). Pour chiffrer cet intérêt il y a lieu de faire intervenir non seulement le prix d'acquisition, mais encore les pertes plus élevées dans ce dernier cas : un calcul économique rapide détermine cette solution.

L'installation de nos condensateurs combinés avec auto-transformateurs se fait très facilement, ainsi que le montrent les illustrations de cette page.

Branchement des condensateurs. - Nous indiquons page 15 les schémas de branchement des condensateurs : pour plus de simplicité nous n'avons pas fait figurer les appareils de mesure (ampèremètres, voltmètres, et éventuellement phasemètres) recommandés pour le contrôle de toute installation électrique.

Les dimensions d'encombrement de nos condensateurs C.P.H., H.P. et H.G. sont indiquées sur planches séparées adressées sur demande.

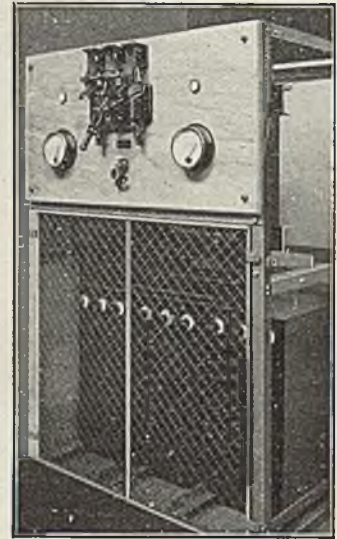


Fig. 17 - Batterie de 90 KVA : 3 condensateurs H.G. 600 volts et un auto-transformateur triphasé 220/600 volts 50 périodes.

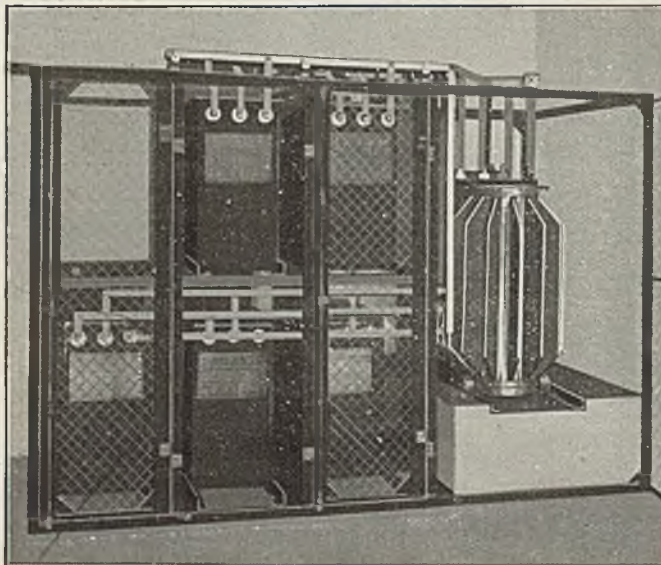


Fig. 18 - Batterie de 150 KVA (Ets Goodrich à Colombes) 5 condensateurs H.G. 600 volts et 1 auto-transformateur triphasé 220/600 volts 50 périodes : emplacement réservé pour un sixième condensateur.

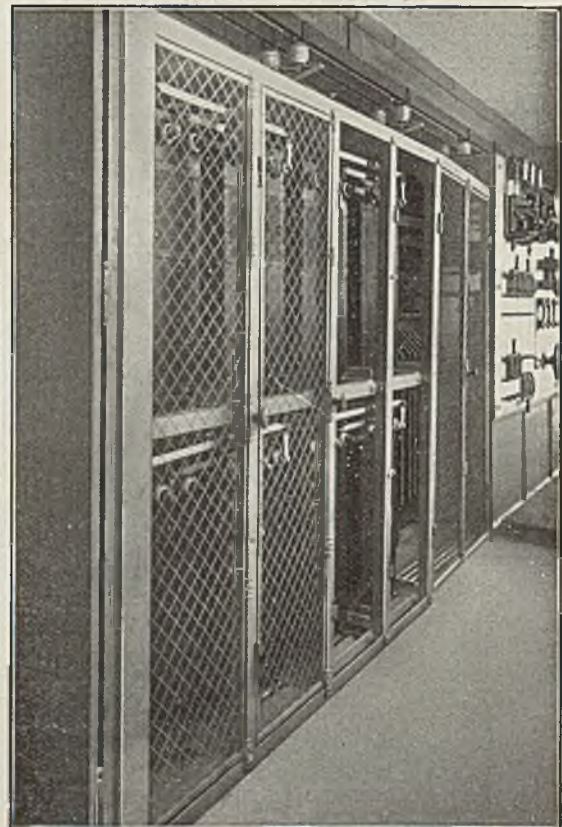


Fig. 19 - Batterie de 240 KVA (United Shoe Co Ivry) 8 condensateurs H.G. 600 volts et 1 auto-transformateur triphasé 220/600 volts 50 périodes.

Condensateurs Haute Tension

Nos condensateurs haute tension, types H. T. sont établis pour monophasé, diphasé et triphasé, en modèles d'intérieur et en modèles d'extérieur pour toutes tensions jusqu'à 35.000 volts.



Fig. 20

Les éléments constitutifs, du type P. H. T. (Fig. 20), se présentent sous forme de cylindres enroulés sur des supports tubulaires isolants munis à leurs extrémités de colliers serrant fortement les bords extérieurs de chacune des armatures. Cette disposition assure, sans soudures, le maximum de contact et maintient rigide l'ensemble, sans glissement longitudinal possible.

Ces éléments, en nombre variant avec la tension d'utilisation sont connectés en série pour former des groupes qui sont eux-mêmes réunis en parallèle et par phase : le nombre de ces groupes est fonction de la capacité ou puissance apparente des condensateurs.

L'ensemble de ces éléments est monté sur un châssis isolant (Fig. 21) ajusté dans une cuve métallique remplie d'huile, à la façon des transformateurs. Bien que ce châssis soit d'une robustesse et d'une rigidité éprouvées, l'assemblage en est fait de telle façon que les montants et longerons qui le constituent sont très facilement démontables, ce qui permet un remplacement éventuel très rapide d'un élément quelconque.

Nous avons adopté la disposition verticale des éléments, qui permet la meilleure circulation de l'huile et facilite au maximum les échanges calorifiques, en évitant la constitution de points chauds.

Les cuves que nous employons sont lisses (Fig. 21) ou ondulées (Fig. 22), celles-ci étant utilisées pour les condensateurs de fortes puissances.



Fig. 22

L'expérience que nous possédons de la construction des condensateurs à haute tension (nous fournissons pour d'autres applications des condensateurs pour 60.000 volts courant alternatif et 300.000 volts courant continu), ainsi que des condensateurs pour fréquences musicales (500 à 5000 pps), nous permet de construire des condensateurs pour l'amélioration du facteur de puissance pour des tensions supérieures à la limite usuelle de 35.000 volts.

Nous pouvons établir des batteries pour toutes puissances, en un ou plusieurs condensateurs dont la puissance limite unitaire est de 350 KVA. Nous ajouterons que

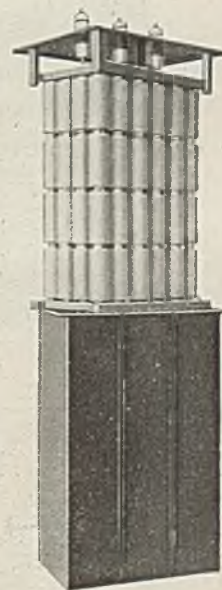


Fig. 21

les batteries fractionnées ont l'avantage de permettre une mise en service suivant les besoins et de prévoir une augmentation de la batterie par échelons.

Nous indiquons page 16 les schémas de branchement des condensateurs haute tension : les observations de la page 8 relatives aux appareils de mesure s'appliquent à ces derniers schémas.

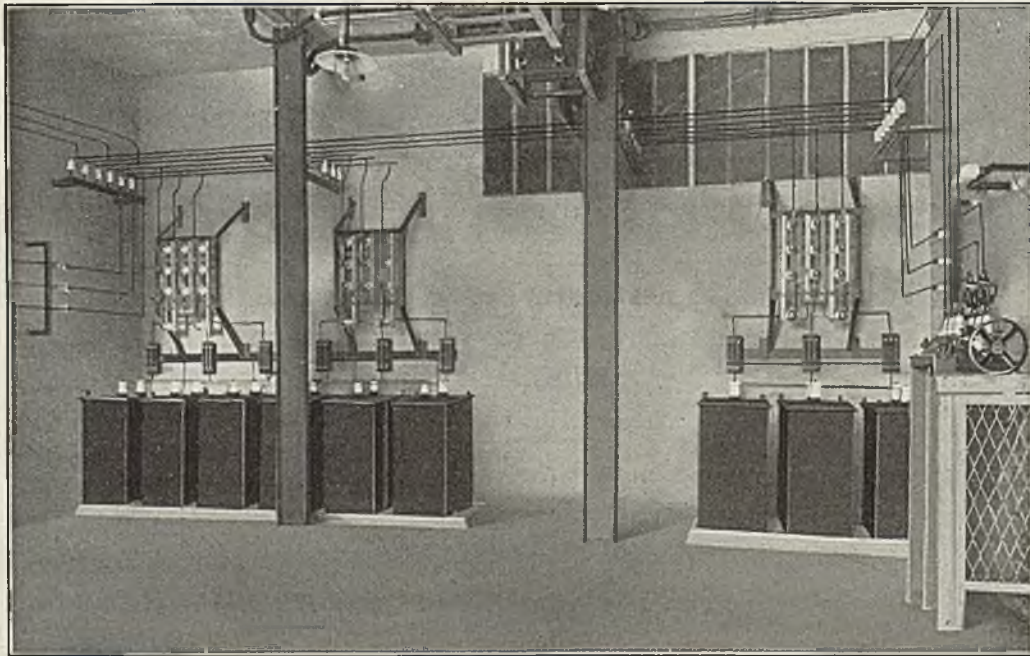


Fig. 23. - Batterie de Condensateurs de 450 KVA 5000 volts 50 périodes
(Établissements Rhône Poulenc, à Saint-Fons)

Renseignements pour l'établissement des devis

Pour nous permettre l'établissement des devis, les renseignements suivants nous sont nécessaires (pour la basse ou la haute tension) :

- 1° Tensions (valeurs moyenne et maxima) — nombre de phases — fréquence ;
- 2° Relevés d'énergie active et d'énergie réactive pendant le plus grand nombre de mois (une année si possible) ;
- 3° Durée de fonctionnement en heures correspondant à ces relevés ;
- 4° Barème des pénalités ;
- 5° Prix du kilowattheure ;
- 6° Puissance souscrite en KVA et taxe correspondante ;
- 7° Puissance des transformateurs ;
- 8° Durée de marche des transformateurs, si cette durée est différente de celle des ateliers ;
- 9° Fonctionnement de nuit (nombre et puissance des transformateurs — puissance prise par l'installation, par rapport à la puissance de jour — durée de ce fonctionnement).

Avantages des Condensateurs S. A. C. T.

Nos condensateurs, dont la sécurité est démontrée par le nombre d'installations réalisées (nos extraits de listes de références n'en donnent qu'une idée incomplète) ont des pertes réduites de l'ordre de 0,3 % environ de la puissance apparente. Ils ne nécessitent pas d'entretien : il n'y a pas à se préoccuper de l'huile contenue dans les appareils, celle-ci ne subissant aucune altération avec le temps. Ils ne présentent pas de « vieillissement » en raison de la pureté des matières premières employées, de leur traitement et de l'échauffement insignifiant des condensateurs élémentaires. En effet, pour une ambiante de 40 degrés et dans les conditions normales d'aération du local, la surélévation de température n'est que de quelques degrés.

Par rapport aux machines tournantes de compensation, nos condensateurs possèdent les avantages suivants :

Pertes réduites (0,3 % pour nos appareils, contre 5 à 15 % pour les machines tournantes).

Pas d'entretien pour les condensateurs. Les machines tournantes, au contraire, exigent le remplissage d'huile des paliers, l'entretien du collecteur et des balais.

Frais d'installation réduits : nos appareils ne nécessitent pas, comme les machines tournantes, de fondations spéciales, de caniveaux, etc., ni de personnel spécialisé pour leur installation. Ils peuvent se monter facilement et rapidement sur le sol, sur des consoles, en châssis, etc., sans aucune difficulté.

Facilité de mise en route : celle-ci est en effet réalisée simplement par la fermeture d'interrupteurs ou de disjoncteurs.

Absence de bruit.

Intérêt de la solution : moteur asynchrone avec batterie de condensateurs.

Cet ensemble arrive à concurrencer dans la majorité des cas les machines spéciales telles que moteurs synchrones, asynchrones synchronisés, asynchrones compensés, qui fournissent une puissance réactive en même temps qu'une puissance active.

Le moteur asynchrone combiné avec la batterie conserve toutes ses qualités de robustesse. L'ensemble a moins de pertes que les machines spéciales, est mis en route très simplement et ne nécessite aucune connaissance particulière du personnel chargé des manœuvres. Il présente une grande souplesse de fonctionnement, provenant de la séparation de la puissance active et de la puissance réactive, donnant la possibilité d'arrêter l'une des sources d'énergie sans répercussion sur l'autre. Dans la machine spéciale, au contraire, l'arrêt de celle-ci entraîne la suppression de ces deux énergies ; de plus, la marche à vide d'une telle machine pour la fourniture de la puissance réactive ne se fait qu'au prix de pertes très élevées.



Exemples d'économies réalisées par l'emploi de nos Condensateurs

Les principales tarifications imposées par les Secteurs en France peuvent être classées dans les catégories suivantes :

1° Tarification C.P.D.E. (Cie Parisienne de Distribution d'Electricité).

a) Coefficient de bonification croissant suivant l'horaire d'utilisation, cet horaire étant égal au quotient du nombre de KWh enregistrés au cours d'une année par la puissance active souscrite (puissance apparente multipliée par 0,8) ;

b) Augmentation du coefficient de bonification suivant le $\cos \varphi$ jusqu'à 0,95.

2° Pénalisation au-dessous de $\cos \varphi = 0,8$

0,3 % par centième de $\cos \varphi$ pour $\cos \varphi$ variant de 0,8 à 0,7

0,6 % — — — — — 0,7 à 0,6

0,9 % — — — — — au-dessous de 0,6

3° Énergie réactive comptée à un certain taux de l'énergie active.

4° Énergie complexe.

L'énergie complexe E_C est déterminée par différentes formules dans lesquelles on ajoute à l'énergie active E_a une fraction du dépassement de l'énergie réactive E_r par rapport à un taux de l'énergie active pris comme base. Par exemple :

$$E_C = E_a + \frac{E_r - 0,75 E_a}{3} \text{ pour } \cos \varphi < 0,8 \quad E_C = E_a + \frac{E_r - 0,75 E_a}{4} \text{ pour } \cos \varphi > 0,8$$

5° 1 % par centième de $\cos \varphi$ au-dessous de 0,8.

6° Prix du kilowattheure variable suivant le $\cos \varphi$.

Nous indiquons ci-après des exemples chiffrés en application de quelques-unes de ces tarifications (les prix donnés pour les batteries sont approximatifs) :

Tarification C.P.D.E. — Prenons le cas d'une installation dont les données sont les suivantes :

Courant diphasé 220 volts 50 périodes.

Consommation trimestrielle : Energie active 150.000 KWh. — Energie réactive 200.000 KVAh.

Durée de fonctionnement : 8.760 heures par an (2.190 heures par trimestre).

Prix du courant : 0 fr .70 le KWh. — Puissance souscrite 250 KVA.

Puissance de base pour le calcul de l'horaire d'utilisation : $250 \times 0,8 = 200 \text{ KW}$.



Bonification pour l'installation sans batterie de condensateurs. — La consommation annuelle étant de $150.000 \times 4 = 600.000$ KWh, l'horaire d'utilisation est de $600.000 : 200 = 3.000$ heures, pour lequel le pourcentage (barème C.P.D.E.) est de 42 % (coefficient 0,42).

Le cos φ déterminé facilement par la formule (voir page 3) est égal à 0,6. Le coefficient multiplicateur de bonification (barème C.P.D.E.) pour cette valeur est de 0,82.

La bonification annuelle est donc $(600.000 \times 0,70) \times 0,42 \times 0,82 = 144.648$ frs.

Bonification pour l'installation avec batterie de condensateurs remontant le cos φ à 0,95. — Le coefficient multiplicateur (barème C.P.D.E.) pour cette valeur étant de 1,15, la bonification annuelle est de $(600.000 \times 0,70) \times 0,42 \times 1,15 = 202.860$ frs.

Coût et dépense annuelle de la batterie. — Pour ramener le cos φ de 0,6 à 0,95 en consultant la courbe (fig. 3) de la page 3, on voit que la puissance apparente de la batterie est égale à la puissance réelle en KW (le coefficient étant égal à l'unité) c'est-à-dire $150.000 : 2.190 = 68,5$ KVA environ, que nous portons à 70 KVA pour plus de commodité.

Le coût d'une batterie basse tension de cette puissance avec appareillage de contrôle et installation est de : **38.000 frs.**

La dépense annuelle en pertes (210 watts par heure) est de : $210 \times 8760 \times 0,70 = 1.280$ frs.

Conclusion. — Le gain résultant de l'installation de la batterie étant de : $202.860 - 144.648 - 1.280 = 56.932$ fr. et la dépense nécessitée par son achat et son installation étant de **38.000 fr.**, l'amortissement de cette dépense est effectué en **8 mois.**

Tarification dépendant du cos φ . — Prix du kilowatt heure augmenté des pourcentages suivants d'après le cos φ enregistré :

0,3 %	par centième de cos φ	entre 0,8 et 0,7
0,6 %	—	— 0,7 et 0,6
0,9 %	—	— au-dessous de 0,6

Données. — Installation en courant triphasé 220 volts, 50 périodes.

Relevés mensuels d'énergie (fonctionnement mensuel : 200 heures) :

Energie active : 20.000 KWh — Energie réactive : 40.000 KVAh.

Prix du kilowatt heure : 0 fr. 60.

Puissance souscrite : 275 KVA. - Taxe sur puissance souscrite : 120 frs par KVA.

Calculs. — Le cos φ moyen mensuel est de 0,45 soit une pénalité de 22,5 %.

La dépense mensuelle pour pénalité est de $0,225 \times (20.000 \times 0,60) = 2.700$ francs.

La dépense annuelle correspondante est de $12 \times 2.700 = 32.400$ francs.

La puissance réactive à fournir pour relever le cos φ au-dessus de 0,8, valeur à partir de laquelle il n'y a plus de pénalités, est de 125 KVA.

Le coût de la batterie de 125 KVA (condensateurs à 600 volts avec auto-transformateur 220/600 volts) et appareillage de contrôle, tout installé est de **31.125 francs.**

Les pertes de la batterie et de l'auto-transformateur sont de 2.425 watts par heure, occasionnant une dépense annuelle de $12 \times 200 \times (2.425 \times 0,60) = 3.500$ francs.

Conclusion. — Le gain résultant de l'installation de la batterie étant de $32.400 - 3.500 = 28.900$ francs et la dépense nécessitée par son achat et son installation étant de **31.125 francs**, l'amortissement de cette dépense est effectué en moins de **14 mois.**



Energie Complexe (suivant les deux formules du paragraphe 4 de la page 14).
Le contrat est souscrit en KVA et le compteur de dépassement est réglé en KW en tenant compte du facteur de puissance moyen : un client qui a souscrit un contrat de 100 KVA et dont le $\cos \varphi$ est de 0,6 paiera le dépassement pour toutes les pointes au delà de 60 KW.

Données. — Prenons cet exemple : Contrat souscrit 100 KVA — Courant triphasé 5.500 volts, 50 périodes — Marche 25 jours par mois à 24 heures par jour (600 heures par mois).

Energie active mensuelle : 30.000 KWh — Energie réactive : 40.000 KVAh.

Dépassement 2.000 KWh — Compteur de dépassement réglé pour $\cos \varphi = 0,6$.

Coût du KWh : 0 fr. 40 — Dépassement : tarif triple.

Calculs. — Sans condensateurs, la première formule (majoration) due et la facture mensuelle s'élève à **15.933 francs**, plus la prime fixe par KVA souscrits.

En installant une batterie de condensateurs de 70 KVA 5.500 volts ramenant le $\cos \varphi$ à une valeur voisine de l'unité, la deuxième formule (minoration) est appliquée et le dépassement étant évité, la facturation sera réduite à **9.750 francs**, plus la consommation de la batterie ($0,03 \times 70 \times 600 \times 0,40 = 51$ francs), plus la prime fixe par KVA souscrits.

Le coût de la batterie et de son appareillage installés est de **25.000 francs**.

Conclusion. — L'amortissement de la batterie est effectué en **4 mois** environ.

N.-B. — Il est à remarquer, pour les exemples ci-dessus, que l'on pourra peut être obtenir encore des secteurs une réduction de la puissance souscrite comme conséquence de l'amélioration du $\cos \varphi$. Ce gain rajouté, à ceux qui ont été calculés et concourra, par suite, à la réduction de la durée d'amortissement.

Exemple d'économie réalisée dans l'emploi d'un moteur asynchrone avec condensateurs par rapport à un moteur asynchrone synchronisé.

Données. — Puissance 45 CV. triphasé 200 volts, 50 périodes — Fonctionnement 8.760 heures par an.

Prix du KWh : 0 fr. 70.

Calculs. — Le moteur asynchrone (à pleine charge : rendement = 0,88 ; $\cos \varphi = 0,89$) a des pertes de 4.000 watts. La batterie de condensateurs de 30 KVA en parallèle avec ce moteur a des pertes de 90 watts, soit pour l'ensemble : 4.090 watts.

Le moteur asynchrone synchronisé ayant des pertes de 6.260 watts, le supplément de pertes pour cette machine est de $6,26 - 4,09 = 2,17$ KW par heure occasionnant une dépense annuelle supplémentaire de $2,17 \times 8760 \times 0,70 = 13.300$ francs.

Le prix du moteur asynchrone est de 6.470 francs, celui de la batterie est de 11.400 francs. Le prix du moteur asynchrone synchronisé est de 22.300 francs.

Conclusion. — Le gain réalisé sur le prix d'acquisition de l'ensemble (moteur asynchrone et batterie de condensateurs) par rapport au moteur asynchrone synchronisé est de $22.300 - (6.470 + 11.400) = 4.430$ francs et le gain annuel relatif aux pertes est de **13.300 francs**.



Schémas de branchement des Condensateurs Basse Tension pour l'amélioration du facteur de puissance

Sans auto transformateur

Schéma N° 1

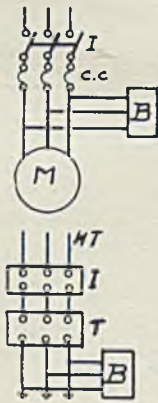


Schéma N° 2

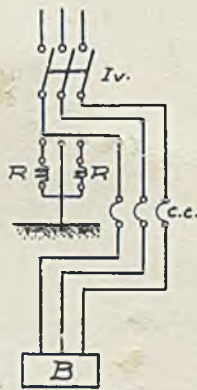
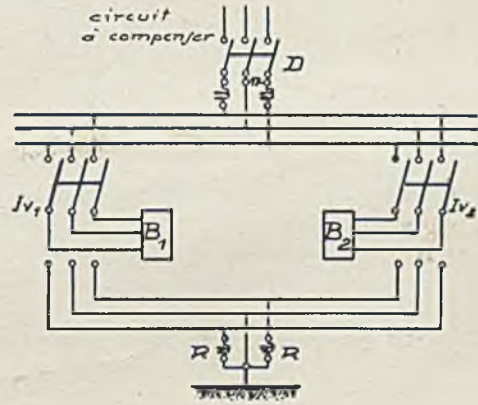


Schéma N° 3



Avec auto transformateur

Schéma N° 4

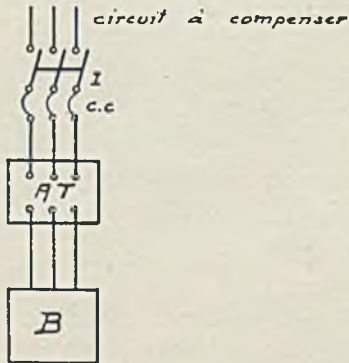
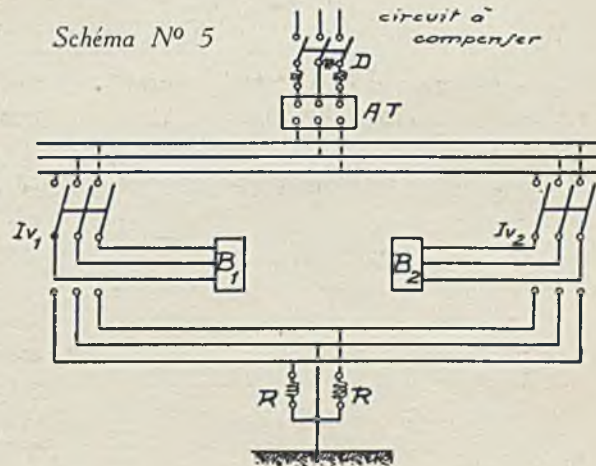


Schéma N° 5



LÉGENDE

M - Moteur. - T - Transformateur.
 AT - Autotransformateur.
 B - B₁ - B₂ - Condensateur
 ou batterie de condensateurs.

I - Interrupteur.
 Iv - Iv₁ - Iv₂ - Inverseurs.
 CC - Coupe-circuit.
 R - Résistance de décharge.



Schémas de branchement des Condensateurs Haute Tension pour l'amélioration du facteur de puissance

Schéma N° 1

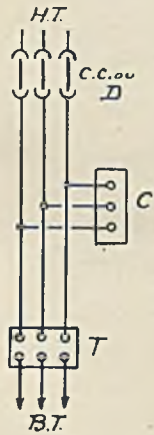


Schéma N° 2

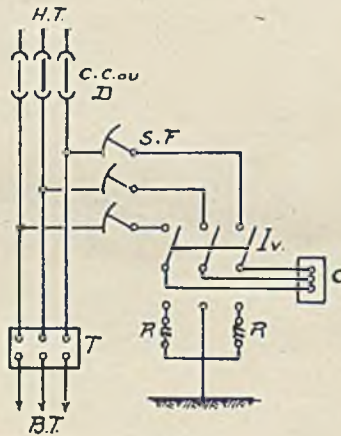


Schéma N° 3

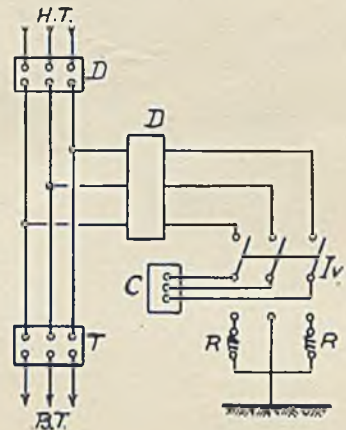


Schéma N° 4

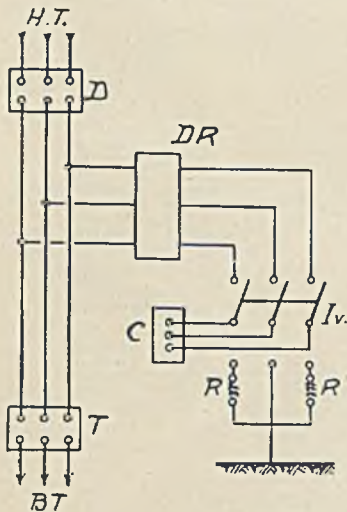
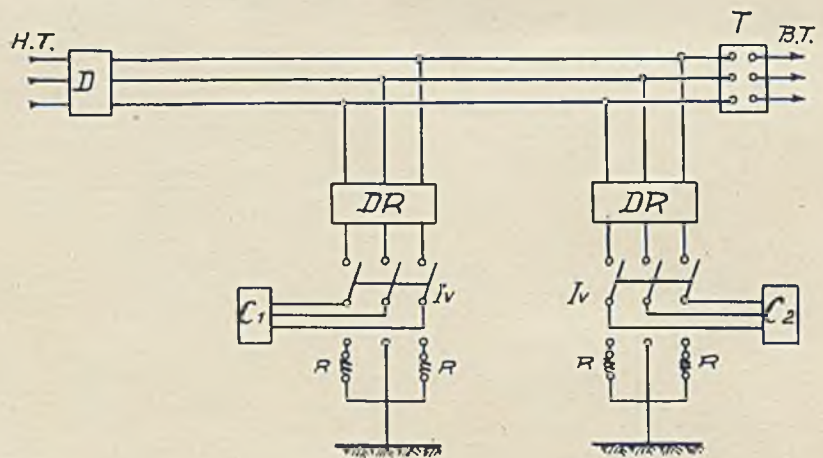


Schéma N° 5



LÉGENDE

T - Transformateur.
 C - C₁ - C₂ - Condensateur
 ou batterie de condensateurs.
 Iv - Inverseur.
 CC - Coupe-circuit.

SF - Coupe-circuit sectionneur.
 R - Résistance de décharge.
 D - Disjuncteur.
 DR - Disjuncteur avec résistances
 intercalaires.

