

# TRANSFORMATEURS DE GRANDE PUISSANCE <sup>(1)</sup>

MM. A.-G. Ellis et J.-L. Thompson ont publié (2) une étude très détaillée sur la construction et l'emploi des gros transformateurs en Angleterre. Nous reproduisons ci-après un résumé de leur travail :

La tension de 30.000 volts la plus élevée employée en Angleterre jusqu'à ce jour va être portée à 60.000 volts.

La puissance des transformateurs est limitée par deux considérations : la possibilité de leur transport, et leur refroidissement

Envisageant le premier de ces deux problèmes, nous pouvons distinguer d'abord les transformateurs pratiquement transportables dans leur cuve, celle-ci pleine d'huile. A refroidissement naturel, peuvent ainsi être transportés en ordre de marche les appareils ayant jusqu'à 50 kilowatts de pertes à pleine charge, pour une surélévation de température de 50°. Cela donne pour une tension de 50.000 volts, les puissances maxima suivantes :

5000 KVA en triphasé	50 périodes
3000 » » monophasé	50 »
3500 » » triphasé	25 »
2000 » » monophasé	25 »

La cuve d'un tel transformateur est constituée par un réservoir en tôle lisse, avec de nombreux tubes de circulation réunissant les parties inférieures et supérieures de ce réservoir. On peut employer de simples cuves en tôle ondulée, mais avec réservoirs d'huile annexés.

Les transformateurs à circulation d'eau avec serpent, peuvent être construits pour une puissance triphasé à 50 périodes de 15000 KVA ou monophasé de 10000 KVA pour la même fréquence.

Enfin, avec des dispositifs de refroidissement extérieurs à la cuve (circulation d'huile), à 50 périodes, et en triphasé la puissance de 40000 KVA peut être atteinte.

Un tel transformateur pèse sans sa cuve 37 tonnes. La cuve seule pèse 8 tonnes, et le poids d'huile nécessaire au remplissage est de 13 tonnes. Le poids total de l'appareil en ordre de marche est donc de 58 tonnes. Sa hauteur, non comprises les bornes, est de 3 m. 50.

Pour des transformateurs plus volumineux, noyaux et cuves sont transportés séparément.

En Amérique, on réalise des transformateurs à refroidissement naturel, dont les réservoirs sont démontables. C'est ainsi qu'il est possible de transporter des transformateurs à refroidissement naturel monophasés d'une puissance de 6000 KVA pour 50 périodes et 4000 KVA pour 25 périodes. En triphasé les chiffres correspondants sont 7000 et 5000 KVA. Quant aux appareils à circulation d'eau, l'auteur prétend monter et mettre en service avec une grue de 50 tonnes un transformateur de 50000 KVA à 50 périodes 50000 volts.

### PRIX ET POIDS

Un gros transformateur monophasé est environ 7 à 10 % meilleur marché, et 12 à 15 % plus léger qu'un transformateur triphasé de même puissance.

Par contre le transformateur triphasé est environ 5 à 8 % meilleur marché, et 10 à 15 % plus léger que 3 transformateurs monophasés de même puissance totale.

Le transformateur pour 25 périodes est environ 35 % plus cher et 40 % plus lourd que le transformateur à 50 périodes de même puissance et même tension.

### CHOIX DES TYPES

Pour les puissances moyennes, sans contrôle permanent, le type à refroidissement naturel est tout indiqué jusqu'à 5000 KVA. Mais il faut prévoir une bonne ventilation de la cellule, pour que la température n'y dépasse pas 25° C.

Il faut prévoir un courant d'air suffisant par des sections largement dimensionnées. Pour un échauffement de l'air de 10°, il faut 5,6 m<sup>3</sup> d'air par minute et par kilowatt de pertes.

Si on dispose d'eau et de main-d'œuvre, on choisira eu égard aux prix et exigences d'espace les types à refroidissement par eau avec serpentins pour les puissances suivantes :

En triphasé	50 périodes, 2500 KVA et au-dessus
» »	25 » 1700 » »
» monophasé	50 » 1500 » »
» »	25 » 1000 » »

Les dispositifs de refroidissement extérieurs (circulation d'huile) sont conseillés :

En triphasé	50 périodes pour 5000 KVA et au-dessus
» »	25 » » 3500 » »
» monophasé	50 » » 3500 » »
» »	25 » » 2500 » »

La circulation de l'huile par kw de pertes doit être de 3 l/m pour une différence de température de l'huile de 15° C, et 4,5 l/m pour 10° C

Quand on est particulièrement gêné on peut recourir aux transformateurs ventilés, et en particulier pour des tensions inférieures à 20000 volts, à des transformateurs secs ventilés.

La question du choix des transformateurs monophasés ou triphasés, est une question de prix d'espace et de réserve. Pour de petites stations à une ou deux unités triphasés, il est recommandé les groupes de transformateurs monophasés. Un transformateur triphasé est meilleur marché, a moins de pertes et exige moins de place. Mais il faut comme réserve prévoir un transformateur de même grosseur.

Le tableau suivant permet une comparaison :

*Transformateur à circulation d'eau avec dispositif réfrigérant spécial. — 25 pps. — 6500/20000 volts*

	23.400 triphasé	3 × 7.800 KVA monophasés
Poids sans cuves . . . . . kgs	39.100	3 × 14.200 = 42.600
Poids de la cuve . . . . . kgs	5.600	3 × 2.800 = 8.400
Volume d'huile . . . . . litres	14.500	3 × 5.900 = 17.700
Prix avec huile . . . . . £	18.500	3 × 6.500 = 19.500
Pertes dans le fer en watts . . . . .	52.000	3 × 20.000 = 60.000
Pertes dans le cuivre . . . . .	202.500	3 × 67.500 = 202.500
Circulation d'huile l/min . . . . .	820	840
Circulation d'eau l/min . . . . .	410	3 × 140 = 420
Élévation de la température de l'huile	50°	50°
Différence entre température de sortie et rentrée de l'huile . . . . .	10°	10°
Différence de température entre rentrée et sortie de l'eau . . . . .	9°	9°
Puissance de la pompe à huile en HP	10	10
Longueur de l'installation . . . . .	4,40 m.	2,07 × 3 mètres
Largeur de l'installation . . . . .	2,21 m.	1,91 m.
Hauteur totale avec isolateurs . . . . .	3,81 m.	3,81 m.

Les transformateurs monophasés ci-dessus ont été construits par un des auteurs pour la station de Dalmanoreck de la Corporation de Glasgow.

(1) Extrait de l'El. Techn. Zeil, 1921, Heft 2.  
(2) Inst. El. Eng., Bd 57, 1920, p. 547.

## PERTES ET SURCHARGES

Pour les transformateurs qui travaillent toujours à pleine charge, le rapport des pertes est à peu près indifférent. Ceci s'applique en général aux usines de forces. De 40 à 60 périodes, pour atteindre le rendement le meilleur on répartira les pertes de façon sensiblement égale entre le fer et le cuivre.

Les grands transformateurs à refroidissement par circulation d'eau, atteignent leur température de régime en un temps relativement court (4 à 6 heures). En conséquence les surcharges possibles interviendront pour beaucoup dans la détermination du type à adopter.

Dans les stations secondaires, le rapport des pertes le plus favorable dépend du facteur de charge — on ne peut donc poser de règle générale. Les pertes dans le cuivre peuvent atteindre un chiffre multiple des pertes dans le fer.

Comme la température de régime des transformateurs a refroidissement naturel est très longue à s'établir, on peut pour ces appareils atteindre de notables surcharges pendant plusieurs heures.

COMPARAISON DES TRANSFORMATEURS A NOYAUX  
ET DES TRANSFORMATEURS CUIRASSÉS

La préférence pour l'un ou l'autre de ces deux types dépend essentiellement de la pratique du constructeur. Ils peuvent être construits avec égale sécurité et perfection.

La quantité de matériaux actifs est pratiquement la même. Leur comparaison porte sur les points suivants :

1° Dans les transformateurs à noyaux la tendance des enroulements au tassement est plus considérable. De tels enroulements ont accusé après douze mois de service un raccourcissement de 2,5 %.

Dans les transformateurs du type cuirassé, il n'y a pratiquement pas de tassement ;

2° Dans les deux types les bobines doivent être fortement serrées les unes contre les autres, de façon à rendre tout mouvement impossible.

Dans les transformateurs à noyaux, et à cause du tassement, il faut surveiller ce serrage avec soin ; ou bien prévoir des ressorts qui remédient automatiquement à ces effets de tassement. L'auteur donne des exemples de ressorts appropriés.

Dans les transformateurs cuirassés les ressorts sont inutiles ;

3° Dans les transformateurs cuirassés la tension par spire est plus élevée que dans les transformateurs à noyaux. L'isolement des spires entre elles doit donc être plus grand.

Les tours de début doivent être isolés de façon spéciale. Pour les tensions jusqu'à 30000 volts, l'auteur prétend pour chaque 10 KV de tension isoler plus fortement 1 % des enroulements à partir des bornes ; soit 3 % pour 30000 volts. Le premier 1 % des spires doit être prévu pour résister entre elles à la tension totale. L'isolement normal est ensuite rejoint par degrés ;

4° Les enroulements des transformateurs cuirassés sont logés dans le fer, et par conséquent à l'abri d'accidents mécaniques ;

5° En cas de court-circuits, les efforts développés sont énormes : un transformateur monophasé de 8000 KVA à 25 périodes, ayant une tension de court-circuit de 6 %, supporte en court-circuit franc une pression de 300.000 kilogs sur les flasques de serrage des enroulements, soit environ 470 kilogs par centimètre carré.

Pour la limitation de l'intensité de court-circuit, il faut prévoir une réactance suffisamment élevée : soit celle même du transformateur, soit en intercalant une réactance spéciale. Cette deuxième solution donne à la vérité une sécurité plus grande, l'enroulement étant complètement préservé du choc du court-circuit ; mais elle est plus onéreuse, et demande un espace assez grand pour son installation. Ces réactances supplémentaires peu-

vent être construites soit avec noyau de fer ; elles ressemblent alors à un transformateur, dont le circuit magnétique est toutefois interrompu par des lames de matière non magnétique ou bien ces réactances sont construites sans fer — par exemple l'enroulement étant noyé dans du béton.

L'auteur distingue :

Les réactances pour barres omnibus limitant l'intensité de court-circuit à 4 à 5 fois l'intensité normale ;

Les réactances pour génératrices limitant l'intensité de court-circuit à 8 fois l'intensité normale ;

Les réactances de départs limitant l'intensité de court-circuit à 20 fois l'intensité normale.

## COEFFICIENT DE SÉCURITÉ

Les auteurs examinent les isolements entre spires, galettes et enroulements (primaires et secondaires).

Si on définit le coefficient de sécurité par le rapport entre les tensions de rupture et de service, on a :

Entre spires un coefficient variant de 900 pour les petits appareils à 150 pour les gros ;

Entre galettes un coefficient variant de 40 à 6.

Entre enroulements un coefficient variable avec la tension et dont les différentes valeurs sont consignées dans le tableau ci-après :

Tension service	Tension rupture	Coefficient de sécurité
2.200	40.000	18,2
6.600	60.000	9,1
11.000	80.000	7,25
22.000	110.000	5
33.000	140.000	4,25
55.000	200.000	3,65

Aux bornes, la ligne de rupture doit être mesurée à la surface de la porcelaine de façon que dans le service il y ait au moins un coefficient de sécurité de 3.

## TRANSFORMATEURS POUR COMMUTATRICES

Si la tension doit être réglée par variation de l'excitation, le transformateur doit avoir de fortes fuites magnétiques. Il peut être construit avec dérivation du circuit magnétique entre le primaire et le secondaire, dérivation qui est pratiquement exempte de pertes.

## SERVICE ET ENTRETIEN DES TRANSFORMATEURS

À la mise en circuit, il peut se produire une surintensité et une surtension. La surintensité se produit dans les transformateurs à haute saturation lorsque la fermeture a lieu à un instant de tension nulle. Cette surintensité peut être évitée en fermant lentement l'interrupteur, ce qui permet au courant de se fermer à un maximum de tension.

La surtension à la fermeture est d'autant plus grande que la saturation du transformateur est plus faible.

Tous les transformateurs doivent être soigneusement séchés avant la mise en service. Un contrôle des isolements est conseillé pendant le séchage. Il est préférable que cette préparation soit faite par le constructeur lui-même.

Un examen minutieux des transformateurs doit être fait après chaque période de 6 à 12 mois de service ; le tassement des enroulements est à surveiller ; le serrage des écrous et le niveau de l'huile à vérifier. Le filtrage de l'huile chaque année serait à conseiller.