

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : MACHINES ELECTRIQUES

Présenté par
MOKRANE Amar
TOUNSI Hocine

Thème

Etude d'un transformateur de puissance HT/MT avec régleur en charge

Mémoire soutenu publiquement le 28 Septembre 2014 devant le jury composé de :

Mr M T.BELASSEL

MA-A, UMMTO, Président

Mr A.KIMOUCHE

MA-A, UMMTO, Rapporteur

Mr H.REKIK

ING, CEVITAL Co-Rapporteur

Mr A.MIOUAT

MA-A, UMMTO, Examineur

Mr R.KHALDI

MA-A, UMMTO, Examineur

remerciement

Nos vifs remerciements à notre promoteur M^r: A. KIMOUCHE et co-promoteur M^r: H.REKIK qui nous ont orientés et soutenu pour l'élaboration de ce travail.

Nos remerciements à tout le personnel de LALA KHEDIDJA pour leurs encouragements durant toute la période de notre stage.

Nous remercions aussi tous les enseignants pour leurs orientations durant la réalisation de notre travail

Nos remerciement vont également à M^r le président et les membres de jury qui évalueront notre travail.

On n'oubliera pas aussi de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A mes parents qui se sont donné beaucoup de sacrifice durant ma formation.*
- ❖ *A mes frères et sœurs.*
- ❖ *A toute la famille.*
- ❖ *A mes amis.*

Amar

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A mes parents qui se sont donné beaucoup de sacrifice durant ma formation.*
- ❖ *A mes frères et sœurs.*
- ❖ *A toute la famille.*
- ❖ *A mes amis.*

Hocine

CEVITAL compte parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché, elle a été créée par des fonds privés en 1998.

Dans la commune d'Agouni Gueghrane, Ouadhia, le groupe CEVITAL a démarré l'unité d'eau minérale Lalla Khedidja que l'entreprise touristique de Kabylie (ETK) lui a cédée en 2004.

En Avril 2005 la célèbre eau minérale des monts du Djurdjura, refait surface et reprend ainsi sa place sur le marché. Il s'agit d'une eau pure, légère, oligominérale et non gazeuse riche en minéraux essentiels. La capacité de production de l'unité s'élève à 3 millions de bouteilles par jour. chaque ligne dispose d'une capacité de production de 32000 bouteilles par heure. L'usine s'étend sur 25000 m² de bâtiments, comprend principalement plusieurs locaux distincts.

1. Local filtration d'eau (water technologie)

Les espaces fonctionnels composant la locale filtration sont :

➤ Groupe de pré filtrage

L'eau minérale provenant d'une source naturelle située à environ 5 km de l'unité, est acheminée via deux arrivées principales du groupe de pré filtrage : la ligne A assurant l'alimentation des 2 lignes de conditionnement d'eau minérale, et la ligne B assurant l'alimentation de deux lignes boissons gazeuse ainsi que le local siroperie. Le débit dans chaque ligne est de 120 m³/H et la pression dans chaque arrivée est d'environ 16 bars. L'eau est pré filtrée en passant par des filtres à poches puis à cartouche.

Sur les pages graphiques du panneau de l'opérateur et du PC de supervision, les groupes de pré filtrage sont représentés de manière à indiquer à l'opérateur toutes les valeurs des grandeurs analogiques présentes comme les températures, les pressions et les débits.

➤ Stockage de l'eau pré filtrée dans des cuves

Depuis les groupes de pré filtrage, grâce aux plaques d'échange de flux, il est possible d'alimenter six réservoirs de stockage d'eau pré-filtrée. Les réservoirs sont destinés à emmagasiner l'eau à envoyer aux lignes de production. Les réservoirs sont tous pourvus d'une sonde analogique de niveau permettant de lire instantanément leur contenu.

➤ Groupe filtration finale et alimentation des lignes

Les réservoirs de stockage alimentent six lignes de filtrage et d'alimentation. Des pompes centrifuges à régime de rotation contrôlé par un inverseur permettent à l'eau contenue dans les réservoirs de stockage d'être une nouvelle fois filtrée et acheminée aux lignes de production

➤ **NEP (Nettoyage en place) ou CIP (Cleaning In Place)**

Le système est pourvu d'un NEP automatique destiné à laver toutes les parties du local. et selon les germes qui ont été détectés par le laboratoire la recette (Nettoyage avec soit de l'eau chaude, de l'acide ou de la soude) doit être préparée et envoyée vers le tank 7 puis la remplisseuse.

Sur les pages graphiques du panneau de l'opérateur et du PC de supervision, les groupes de pré filtrage ; stockage, filtration finale ; et NEP sont représentés de manière à indiquer à l'opérateur toutes les valeurs des grandeurs analogiques présentes comme les températures, les pressions, les débits, les concentrations ainsi que le régime de rotation des pompes, et ce en temps réel.

2. Local siroperie

Ce local est une installation hautement automatisée, équipée de bout en bout par des équipements très performants ; répondant aux normes internationales de production de boissons gazeuse et de jus de fruit. Cette installation est subdivisée en plusieurs stations. Ces dernières sont alimentées et commandées via trois armoires principales, dont deux d'entre elles possèdent des pupitres de supervision pour le contrôle et la surveillance des processus de fabrication de sirop ou bien pour nettoyage des stations après production (NEP).

3. Locale de préformes PET et bouchons PHD (L'injection)

Cet atelier, est doté de presses à injection de haute technologie totalement automatisées, et équipées de pupitres de contrôle et commande des valeurs process dont la précision et l'exactitude sont de mise pour l'obtention d'un produit de qualité.

Trois presses sont installées dans cet ateliers, deux pour la production de préformes destinées au conditionnement d'eau minérale, et d'autres pour le conditionnement d'huile à Bejaia. Et une autre presse récemment installée destinée a la production de bouchon polyéthylène.

4. Les Utilités

Subdivisée en deux groupes principaux : l'hydraulique et le pneumatique.

Tous les équipements au sein de l'unité tout comme ils ont besoin d'une source d'énergie électrique ; ils ont besoin d'une source en énergie pneumatique et un autre hydraulique pour leur fonctionnement, les deux dernières selon l'équipement.

Pour la production d'aire comprimé d'une pression de 40 bars; utilisé pour le soufflage des préformes, le local compresseur est doté de 5 compresseurs 40 bars pour répondre aux besoins de toutes les souffleuses.

Pour la production d'air comprimé 7 bars dont tous les équipements ont besoin soit pour le vérin ou distributeur d'électrovanne ; ou encore dépoussiéreuses des souffleuses, deux compresseur sont installé dans la local.

Pour la production d'air comprimé 13 bars pour la presse à injections on trouve un compresseur dans ce même local.

A l'extérieur du local compresseurs ; on y trouve des groupes de refroidissement soient :

- Deux tours de refroidissement pour refroidir les compresseurs 40 bars.
- Un refroidisseur pour l'ensemble des souffleuses et des compresseurs 7 bars.
- Deux refroidisseurs pour les moules des presses à injections.
- Un refroidisseur de l'eau procès des deux lignes de production de boissons gazeuse.
- Un refroidissement pour le pasteurisateur de la siroperie.
- Deux refroidisseurs pour la climatisation de la salle blanche (salle de conditionnement d'eau minérale).

5. Atelier chaudière

La vapeur qu'on utilise pour le nettoyage des circuits de passage de l'eau minérale et des circuits de passage des sirops, du sucre ainsi que l'alimentation de la sleeveuse de la 4^{ème} ligne est obtenue depuis la chaudière.

➤ Installation CO2

Le gaz CO2 stocké dans une cuve a l'extérieur, puis acheminé vers les deux lignes de production de boissons gazeuse en passant par l'évaporateur se trouvant dans la locale chaudière.

6. Local conditionnement d'eau minérale et production de boissons

Ce local appelé aussi bâtiment de production est subdivisé en trois parties : la salle blanche (salle d'embouteillage), les lignes de production, et l'aire de stockage produit fini.

➤ La salle Blanche

Dans cette salle on trouve les deux machines de soufflage et remplissage ainsi que le laboratoire. Le soufflage et le remplissage sont deux procès combinés dans deux machines :

Une souffleuse qui s'occupe du soufflage des préformes PET à une pression de 40 bars puis le remplissage qui se fait au niveau de la remplisseuse dont on possède deux type :

Remplissage par gravité, et remplissage volumique. Grace à la nouvelle technologie la souffleuse et la remplisseuse sont combinées via des roues de transfert intermédiaires pour ainsi former le combi dont la cadence maximum 3200 bouteilles/heure, pour une meilleure optimisation de performances des deux équipements.

➤ Les lignes de production

Les lignes de productions sont composées du combi, d'un contrôle bouchon et niveau des bouteilles juste a la sortie combi. En sortant de la salle blanche via la séparation en verre, les lignes de production se complètent par les autres équipements.

Les bouteilles remplies et contrôlée sont acheminées par des convoyeurs unifilaires, vers l'étiqueteuse, et pour un meilleur étiquetage un sécheur est installé en amont pour avoir des bouteilles non mouillées au niveau du poste d'étiquetages.

Les bouteilles étiquetées sont ensuite datée et acheminée encore par un film thermo rétractables. Les packs sont acheminés par des convoyeurs à packs vers la poseuse de poignées, puis vers le palettiseur, ou ils seront disposés sur une palette de 4 couches de 7x4 fardeaux pour la bouteille 1.5 litres par exemple. Une fois une palette est sortie du palettiseur via des convoyeurs à rouleau la dernière machine de ligne qui est la housseuse dépose une housse thermo rétractable sur la palette, et grâce au cadre de rétraction de la machine la palette sera couverte complètement par la housse, et ainsi sera à l'abri des impuretés.

Tous les équipements sont reliés par des convoyeurs. Grâce à la communication établie entre tous équipements par une liaison profibus d'une armoire électrique à une autre. Une ligne de production peut fonctionner à différentes cadences selon les arrêts observés sur chaque équipement ; Ainsi une synchronisation parfaite est établie entre tous les équipements et les convoyeurs.

➤ **L'aire de stockage**

La palette housée est acheminée au bout de la ligne par le convoyeur à rouleau de la Housseuse, pour être récupérée ensuite par un Clark et déplacée vers l'air de stockage. L'unité est équipée de 14 quais automatisés, d'où les palettes sont récupérées par des camions vers la commercialisation.

7. le poste de transformation haute tension

Ce poste est alimenté par un réseau de transport aérien, provisoirement via une pique sur la ligne triphasé 40 KV souk el djemaa et tizi medden. Il entièrement la propriété de cévital spa, la limite de sonelgaz est la chaine d'encrage au portique du poste, il est constitué de :

➤ **Un sectionneur tête de ligne**

C'est un organe de sécurité utilisé pour ouvrir ou fermer le circuit lorsqu'il n'est pas parcouru par un courant. Il est utilisé pour isoler le poste HT/MT de la ligne 60 kV, afin de permettre au personnel d'exploitation d'y accéder sans danger.

- Sectionneur de mise à la terre,
- un circuit bouchon : qui est constitué d'une self en série avec une batterie de condensateur. Il fait le rôle d'un filtre de fréquence pour la Sonelgaz.
- les éclateurs : pour recevoir les surtensions de manœuvres ainsi que celles de foudre
- les traversés murales: pour isoler la structure génie-civil de la HT.

➤ **Le local MCI 72 (Module Compact Intégré avec une tension de 72 kV)**

Ce local est constitué de deux travées : Travée ligne et travée transformateur.

- **La travée ligne**

Il se compose de :

- ✓ trois transformateurs de potentiel (TP) : ils sont essentiellement utilisés pour le comptage, donnent les valeurs de tension aux SEPAM, MICOM.
- ✓ Trois transformateurs de courants (TC) : ils servent pour la protection et donnent aussi les valeurs de courants aux SEPAM, MICOM ainsi qu'au superviseur.
- ✓ Un disjoncteur SB6 : c'est un disjoncteur tripolaire. Il contient dans sa chambre d'extinction un gaz SF6 (Hexa fluorure de soufre) qui éteint l'arc électrique sous une pression de 7 bars.

- **La travée transformateur**

Il se compose d'un disjoncteur et de 03 TC. Elle est alimentée par la travée ligne via un jeu de barre, qui à son tour alimente le primaire du transformateur HT/MT 15 MVA.

Dans le local MCI-72 on trouve les équipements de protection individuelle (EPI) suivants :

- ✓ une perche de sauvetage
- ✓ Une perche VAT (vérification Absence Tension)
- ✓ Dispositif de mise à la terre (MALT)
- ✓ Un casque
- ✓ Des lunettes UV
- ✓ Un tabouret
- ✓ Des gants isolants

➤ **Transformateur de puissance 15 MVA**

Placé sur deux rails parallèles et à l'air libre. C'est un transformateur respirant, sa partie active est immergée dans l'huile minérale. Son enroulement primaire est couplé en étoile avec un neutre relié directement à la terre via un sectionneur et son enroulement secondaire est couplé aussi en étoile dont le neutre est relié à une impédance, puis à la terre (régime de protection du neutre est : IT impédance-terre).

Son comportement est surveillé par un relais de protection nommé SEPAM. Il est muni d'un changeur de prises en charge, commandé par un régulateur de tension, appelé Tapcon 240. Son type de refroidissement est ONAN/ONAF (oil natural air natural/oil natural air forced). Ce transformateur nous permet de passer de 63 kV à 31,5 kV. Cette tension au secondaire sera maintenue grâce à un régleur en charge qui est entraîné par un moteur asynchrone.

➤ **Local moyenne tension**

Dans ce local, se trouvent :

Les cellules de protection des transformateurs SM6-36. L'une d'elles est alimentée directement du secondaire du transformateur de puissance, qui alimente à son tour les 05 autres cellules, via un jeu de barres. Cinq sont munies de disjoncteurs SF1 et de relais de protection communicants appelés SEPAM la sixième est munie d'un interrupteur-fusibles et d'une protection contre les courants homopolaires appelé vigirex.

03 des 06 cellules alimentent chacune un transformateur de distribution moyenne tension MT/BT 3150 kVA. L'enroulement primaire de chaque transformateur est couplé en triangle et l'enroulement secondaire est couplé en étoile. Ce sont des transformateurs hermétiques à remplissage (d'huile minérale) intégrale. Leurs comportements sont surveillés par des dispositifs de mesure et de contrôle de régime (DMCR).

➤ **Salle électrique basse tension**

Les équipements basse tension sont

- Les tableaux généraux basse tension : se sont des armoires électriques, dont les jeux de barres principaux sont alimentés séparément par une tension alternative d'une valeur de 400 V, fournie par les transformateurs MT/BT.
- Il existe trois tableaux principaux et un tableau secondaire alimenté directement du troisième TGBT. Chaque TGBT est composé d'une cellule principale, où est monté un disjoncteur de puissance masterpact de courant nominal 5000 A et de cellules (colonnes), reliées entre elles à l'aide de jeu de barres. Les blocs administratifs et les différentes stations de l'unité sont alimentés à partir de ces colonnes via des disjoncteurs compacts NS.
- Trois transformateurs d'isolement avec écran : destinés à alimenter l'éclairage et les prises de courant des blocs administratifs, du bâtiment de production et l'onduleur de 40 kVA.
- Trois batteries de condensateurs : Dont leur rôle est de compenser l'énergie réactive ainsi d'éviter d'être pénalisé par le sonal gaz à travers la facture.
- Un onduleur 40 kVA qui alimente une armoire destinée à secourir les différents PC en cas de coupure électrique.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralités sur les transformateurs triphasés	
I.1 Introduction	2
I.2 Principe de fonctionnement du transformateur.....	2
I.3 Constitution d'un transformateur.....	2
I.3.1 Partie active	2
I.3.1.1 Les enroulements.....	2
A. Disposition des enroulements	3
A.1 Disposition concentrique simple	3
A .2 Disposition concentrique double.....	4
A.3 Disposition en galettes.....	4
A. Couplage des enroulements	5
B.1 Couplage étoile-étoile	6
B.2 Couplage étoile-triangle	6
B.3 Couplage étoile-zigzag	7
I.3.1.2 Le circuit magnétique	7
I.3.1.2.1 Type cuirassé	8
I.3.1.2.2 Type à colonnes.....	8
I.3.2 Partie constructive	9
I.3.2.1 La cuve.....	9

I.3.2.2 Le couvercle	9
I.3.2.3 Les traversées	10
I.3.2.4 Conservation d'huile	10
I.4 Equation générales d'un transformateur de puissance	10
I.5 Les pertes dans le transformateur	11
I.5.1 Pertes par effet joule.....	11
I.5.2 Pertes magnétique dans le transformateur.....	12
I.5.2.1 Pertes fer	12
I.5.2.1.1 pertes par courant de Foucault.....	12
I.5.2.1.2 les pertes par hystérésis P_H	12
I.6 Indice horaire	13
I.7 Rapport de transformation	13
I.8 La protection du transformateur	14
I.8.1 Surintensité.....	14
I.8.2 Surtension	14
I.8.3 Surchauffe.....	14
I.9 Les contraintes.....	14
I.9.1 Les contraintes diélectriques	14
I.9.2 Les contraintes électriques	14
I.9.3 Les contraintes électrodynamiques	15
I.9.4 Les contraintes électromagnétiques	15
I.9.5 Les contraintes mécaniques	15
I.9.6 Les contraintes thermiques.....	15
I.9.7 Les contraintes chimiques	15
I.10 Les paramètres industriels d'un transformateur	15
I.10.1 Les paramètres techniques.....	15
I.10.1.1 La puissance nominale.....	15

I.10.1.2 Le courant nominal	15
I.10.1.3 La tension nominale.....	15
I.10.1.4 La tension de court-circuit (U _{cc})	16
I.10.2 Les paramètres d'exploitations	16
I.10.2.1 Le rendement	16
I.10.2.2 Chute de tension	16
I.11 Les différents types de transformateur.....	16
I.11.1 Transformateur d'impédance	16
I.11.2 Transformateur de courant	16
I.11.3 Transformateur de tension.....	16
I.11.4 Transformateur de mesure.....	16
I.11.5 Transformateur d'isolement.....	16
I.11.6 Transformateur d'impulsion.....	17
I.11.7 Autotransformateurs.....	17
I.11.8 Transformateur triphasé.....	17
I.12 Réglage de la tension.....	17
I.12.1 Les régleurs à vide de transformateurs	18
I.12.2 Les régleurs en charge	18
I.13 Conclusion	18

Chapitre II : Etude d'un transformateur 15 MVA de LLK

II.1 Introduction	19
II.2 Caractéristiques du transformateur LLK.....	19
II.2.1 Caractéristique techniques	19
II.2.1.1 Caractéristique pour transformateur de puissance HT/MT	19
II.2.2 Alimentation du transformateur de puissance	21
II.2.3 Le sectionneur.....	21
II.2.3.1 caractéristiques du sectionneur	22

II.2.4 Disjoncteur SB6	23
a. Les caractéristiques de ce disjoncteur.....	23
b. Principe de coupure du disjoncteur SB6.....	24
II.3 Constitution du transformateur LLK	25
II.3.1 Circuit magnétique.....	25
II.3.2 Enroulements	26
II.3.3 Isolation	27
1. Isolation en huile	27
2. Isolation en papier	27
II.3.4 Cuve	28
II.3.5 Système de refroidissement et armoire de protection.....	28
a. Système de refroidissement.....	28
b. Armoire de commande	29
II.4 Composant associé au transformateur de puissance LLK	30
II.4.1 Traversé	30
II.4.2 Transformateurs de courant	31
II.4.3 Conservateurs	33
II.4.4 Capteurs divers	33
II.4.5 Relais Buchholz.....	34
II.4.5.1 Principe du dispositif.....	34
II.4.5.2 Fonctionnement du dispositif.....	35
II.4.5.2.1 Accumulation de gaz.....	35
II.4.5.2.2 Perte de diélectrique liquide.....	35
II.4.5.2.3 Forte vitesse d'écoulement de diélectrique liquide.....	36
II.4.6 Les soupapes de sécurités.....	36
II.4.7 Régleur en charge.....	37
II.5 Défaut et protection	39
II.5.1 Défauts.....	39

II.5.2 Protection	39
II.5.2.1 Définition du SEPAM T87	39
II.5.2.2 Protections contre les défauts entre phases.....	40
II.5.2.2.1 Protection contre Défaut en amont du transformateur 15 MVA	40
II.5.2.2.2 Protection contre les surcharges	41
II.5.2.2.3 Protection contre les courts-circuits	41
II.5.2.2.4 Protection défauts terre	41
II.5.2.2.5 Protection défaut disjoncteur.....	42
II.5.2.2.6 Protection surfluxage	42
II.6 Conclusion.....	42
 Chapitre III : Etude du régleur en charge LLK	
III.1 Introduction.....	43
III.2 Histoire du changeur de prise	43
III.3 Définition d'un changeur de prise.....	44
III.4 Différents types de changeur de prise	44
III.4.1 Changeur de prises hors circuit.....	44
III.4.2 Changeur de prises en charge mécanique	45
III.4.3 Changeur de prises électronique	45
III.5 Changeur de prises du transformateur de LLK	45
III.5.1 Enroulement de réglage	46
III.5.2 Sélecteur	47
III.5.2.1 Le boîtier du sélecteur	48
III.5.2.2 Les contacts du sélecteur.....	48
III.5.2.3 Inverseur.....	49

III.5.2.4 Résistance de passage	50
III.5.3 Le commutateur	50
III.5.3.1 Principe	50
III.5.3.2 Commutateur cycle en drapeau	50
III.5.4 Entraînement par croix de malte	52
III.5.5 Conservateur d'huile	52
III.5.6 Mécanisme d'entraînement motorisé	52
III.5.6.1 Structure du mécanisme d'entraînement	52
III.5.6.1.1 Boitier de protection	52
III.5.6.1.2 porte du boitier	53
III.5.6.1.3 Cadre pivotant	53
III.5.6.1.4 Manivelle	53
III.5.6.1.4 Tableau d'affichage	54
III.5.6.1.6 Baladeuse	55
III.5.6.1.7 les éléments de commande	55
III.5.6.1.8 Chauffage anti-condensation	55
III.5.6.2 Moteur ED (Electric Drive)	55
III.6 Dispositif de protection du régleur en charge RS 2001	56
III.6.1 Boitier	57
III.6.2 Relais (boitier ouvert)	58
III.6.3 Fonctionnement	58
III.6.4 Consigne de montage du relais RS 2001	59
III.7 Conclusion	60

CHAPITRE IV : Etude de régulation automatique de la tension

IV. Introduction	61
IV.1 Régulation avec le TAPCON 240	61
IV.3 Description de TAPCON 240	61
IV.3.1 Commande et éléments d’affichage	62
IV.3.2 Description de l’écran	62
IV.3.3 Description des fonctions des touches	63
IV.3.4 Description des diodes électroluminescentes.....	64
IV.3.5 Raccordement du régulateur de tension.....	65
IV.4 Fonction et réglage	66
IV.4.1 Blocage des touches	66
IV.4.2 Activer le blocage des touches.....	66
IV.4.3 Réglage de la langue	66
IV.4.4 Régler l’affichage de la tension en kV/V	67
IV.4.5 Paramétrage	67
IV.4.5.1 NORMset.....	67
IV.4.5.1.1 Entrer la valeur de consigne 1 NORMset	68
IV.4.5.1.2 Régler la tension primaire.....	68
IV.4.5.1.3 Régler la tension secondaire	69
IV.4.6 paramètre de régulation	70
IV.4.6.1 Régler la valeur de consigne1	70
IV.4.6.2 Largeur de bande	70
IV.4.6.3 Calcul de la largeur de bande.....	71
IV.4.6.4 Réglage de la largeur de bande.....	72
IV.4.6.5 Réglage de la temporisation T 1	73
IV.4.6.6 Activer / désactiver la temporisation T 2	74
IV.4.6.7 Réglage de la temporisation T 2.....	74
IV.5 Conclusion	75

Chapitre V : Simulation du transformateur 15MVA avec régleur en charge

V. Introduction	76
V. 1 Calcul pour le choix du transformateur	76
V.2 Les équations qui relient les différentes puissances avec les tensions et courants	77
V.3 Simulation du transformateur avec régleur en charge de LLK avec Matlab Simulink.....	78
V.4 Conclusion.....	82
Conclusion générale	23

Bibliographie

Annexe

CEVITAL compte parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché, elle a été créée par des fonds privés en 1998. Dans la commune d'Agouni Gueghrane, Ouadhias, le groupe CEVITAL a démarré l'unité d'eau minérale Lalla Khedidja que l'entreprise touristique de Kabylie (ETK) lui a cédée en 2004.

En Avril 2005 la célèbre eau minérale des monts du Djurdjura, refait surface et reprend ainsi sa place sur le marché. Il s'agit d'une eau pure, légère, oligominérale et non gazeuse riche en minéraux essentiels. La capacité de production de l'unité s'élève à 3 millions de bouteilles par jour.

L'usine s'étend sur 25000 m² de bâtiments, comprend principalement plusieurs locaux distincts. L'unité eau minérale Lalla Khedidja est alimentée par un réseau de transport aérien, provisoirement via une piquête sur la ligne nominale triphasée 63 kV Souk El Djemaa-Tizi Medden.

Le transformateur de LLK est muni d'un changeur de prises en charge, commandé par un régulateur de tension, appelé TAPCON 240. Son type de refroidissement est : ONAN/ONAF (oil natural air natural/oil natural air forced).

Il est placé sur deux rails parallèles et à l'air libre. C'est un transformateur respirant, sa partie active est immergée dans l'huile minérale. Son enroulement primaire est couplé en étoile avec un neutre relié directement à la terre via un sectionneur et son enroulement secondaire est couplé aussi en étoile dont le neutre est relié à une impédance, puis à la terre (régime de protection du neutre est : IT impédance-terre), son comportement est surveillé par un relais de protection nommé SEPAM.

Le but de notre mémoire est de faire une étude théorique et aussi une Simulation du transformateur avec régleur en charge de distribution de 15 MVA en utilisant matlab simulink. Ce transformateur nous permet de passer de 63 kV à 31,5 kV. Cette tension au secondaire sera maintenue grâce à un régleur en charge qui est entraîné par un moteur asynchrone.

Dans le cadre de ce travail, cinq chapitres seront présentés :

- Chapitre I : Généralités sur les transformateurs triphasés.
- Chapitre II : Etude d'un transformateur 15 MVA de LLK.
- Chapitre III : Etude du régleur en charge de LLK.
- Chapitre IV : Etude de régulation automatique de la tension.
- Chapitre V : Simulation du transformateur 15 MVA avec régleur en charge.

I.1 Introduction

Le transformateur est une machine électrique statique destinée à transformer une tension (courant) alternative en une autre tension (courant) alternative de même fréquence, et d'amplitudes généralement différentes afin de l'adapter aux différents besoins d'utilisation.

Comme on peut l'appeler convertisseur statique à induction qui comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, inductivement couplés et destiné à la conversion, par l'intermédiaire de l'induction électromagnétique, des paramètres (tension, intensité de courant, fréquence, nombre de phases) de l'énergie électrique à courant alternatif.

Seuls les transformateurs de puissance permettent, très économiquement, de minimiser les pertes en ligne, en assurant le transport de l'énergie à longue distance sous tension élevée (200 kV et 400 kV et plus entre phases), puis d'abaisser ensuite cette tension, étape par étape, pour alimenter les réseaux de distribution régionaux et locaux, jusqu'à la tension d'alimentation domestique.

I.2 Principe de fonctionnement du transformateur

L'un des deux bobinages joue le rôle de primaire, il est alimenté par une tension variable et donne naissance à un flux magnétique variable dans le circuit magnétique. Le circuit magnétique conduit avec le moins de réluctance possible les lignes de champ magnétique créées par le primaire dans les spires de l'enroulement secondaire. D'après la loi de Faraday, ce flux magnétique variable induit une force électromotrice dans le deuxième bobinage appelé secondaire du transformateur. De par son principe, le transformateur ne peut pas fonctionner s'il est alimenté par une tension continue. Le flux doit être variable pour induire une f.é.m. au secondaire, il faut donc que la tension primaire soit variable. Le transformateur est réversible, chaque bobinage peut jouer le rôle de primaire ou de secondaire, Le transformateur peut être abaisseur ou élévateur de tension. [1]

I.3 Constitution d'un transformateur

On peut diviser les constituants d'un transformateur en deux parties différentes :

- partie active.
- partie constructive.

I.3.1 Partie active

Les composants actifs dans un transformateur sont les enroulements et le circuit magnétique.

I.3.1.1 Les enroulements

Les enroulements du transformateur sont les parties qui assurent grâce au phénomène de l'induction électromagnétique, le transfert de puissance entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire (le rôle du primaire est la création d'un champ alternatif, celui du

secondaire est la production du courant induit). Les enroulements sont faits principalement de cuivre ou dans certains cas d'aluminium.

Ils sont isolés généralement avec du papier imprégné dans d'huile. L'utilisation du cuivre dans la construction des enroulements est due à sa haute conductivité qui assure la minimisation des pertes en charge. La façon de bobiner un enroulement doit satisfaire plusieurs exigences dont les plus importantes sont les suivantes : [2]

- L'enroulement doit être économique.
- Possibilité d'évacuer la chaleur produite par les différentes pertes dans le transformateur afin d'augmenter sa durée de vie.
- L'enroulement doit présenter la rigidité diélectrique nécessaire pour supporter les surtensions.
- L'isolation des enroulements doit résister aux contraintes électrodynamiques lors d'un court circuit brusque.



Figure I.1 : Enroulement triphasé d'un transformateur

Dans les différents types de transformateurs, on trouve les principales dispositions des enroulements suivantes :

A. Disposition des enroulements

A.1 Disposition concentrique simple

Dans cette disposition, l'enroulement basse tension (BT) et haute tension (HT) sont bobinés l'un sur l'autre en deux couches sur une même colonne. La couche BT est placée près de la colonne et couche HT à l'extérieur comme l'illustre la figure I.2

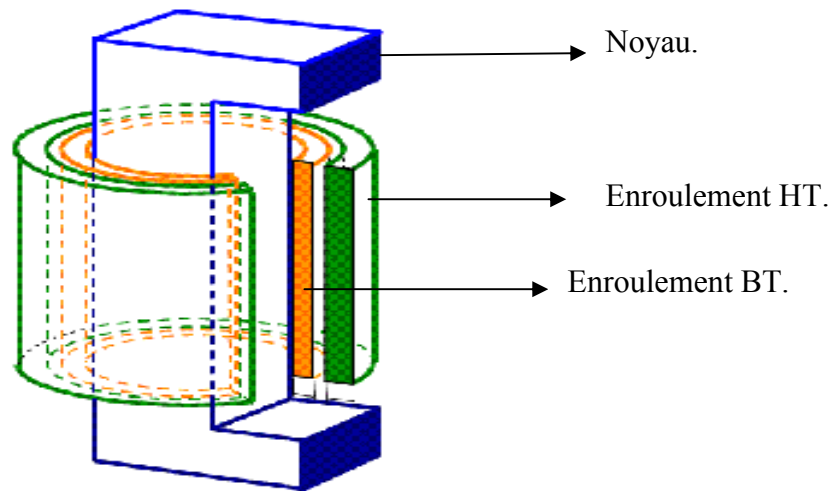


Figure I.2 : Disposition concentrique simple des enroulements

A.2 Disposition concentrique double

La moitié du bobinage basse tension est enroulée sur le noyau et isolée, puis on enroule le bobinage haut tension et on isole et enfin, on termine par la deuxième moitié du bobinage basse tension. Autrement dit, le bobinage haut tension se trouve entre les deux moitiés basses tensions. [5]

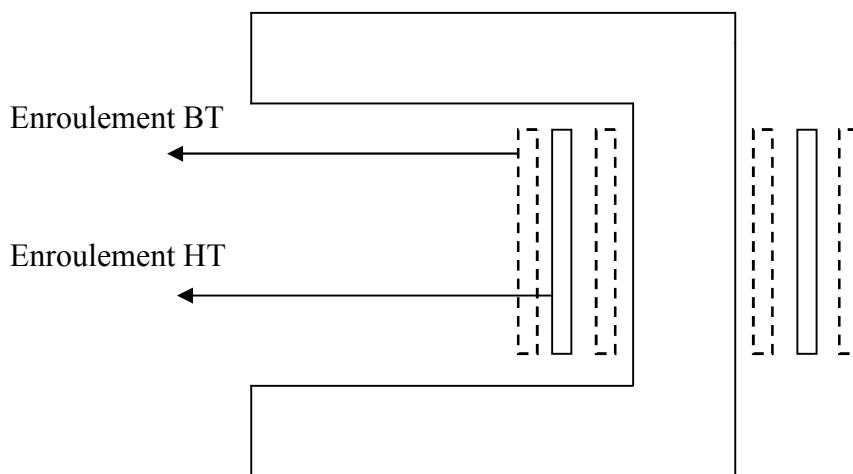


Figure I.3 : Disposition concentrique double des enroulements

A.3 Disposition en galettes

Les bobinages haute et basse tensions sont fractionnés et constitués par des couronnes ou galettes qui sont enfilées alternativement sur les noyaux.

Parfois pour les transformateurs à forte intensité, les bobinages sont calés à l'aide de ressorts permettant de légers déplacements dans le cas de fortes actions électrodynamiques.

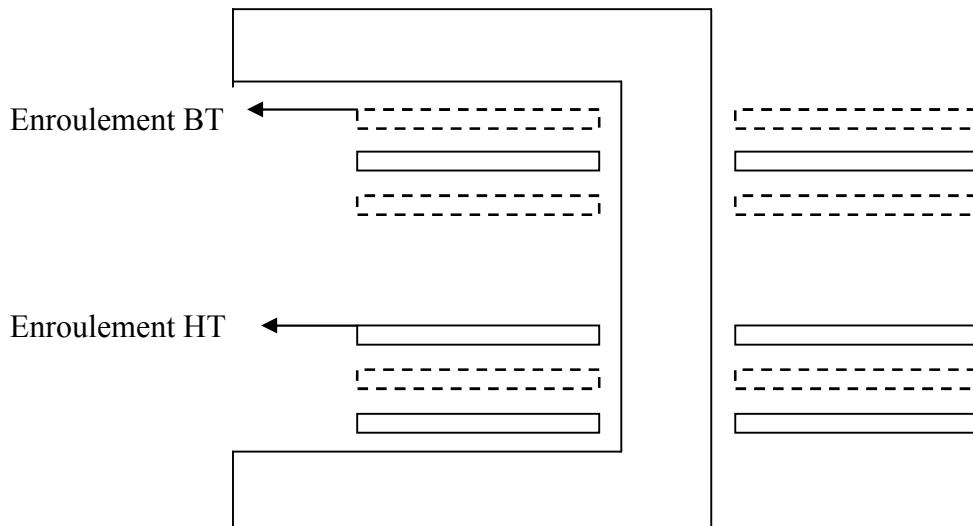


Figure I.4 : Disposition en galettes alternées des enroulements

B. Couplage des enroulements

Avant de choisir un couplage, on peut faire les remarques générales suivantes : [1]

Du point de vue dimensionnement des enroulements, on a toujours intérêt à choisir un couplage étoile aux très hautes tensions et un couplage triangle pour les fortes intensités de courant. En effet, en utilisant le couplage triangle, l'intensité de courant supportée par les enroulements est :

$$J = I / \sqrt{3} \quad (\text{I.1})$$

J : Courant de phase [A].

I : Courant de ligne [A].

$$\text{Est } V = U / \sqrt{3}. \quad (\text{I.2})$$

V : Tension simple [V].

U : Tension composé [V].

- Dans les cas de l'alimentation d'un récepteur déséquilibré, il n'est pas souhaitable d'utiliser un branchement en triangle car, la somme des forces électromotrices dans les enroulements n'étant pas nulle. On aura un courant permanent de circulation, qui sera néfaste pour les enroulements. Pour cette raison, les secondaires des transformateurs de distribution ne sont pas couplés en triangle.
- Dans certain cas, la présence du fil neutre est indispensable, donc on doit utiliser le branchement en étoile.

Dans la pratique, on trouve les couplages les plus utilisés suivants : [6]

B.1 Couplage étoile-étoile

Pour présenter l'utilité ou inconvénients de ce couplage, on prend l'exemple suivant :

On branche une charge entre la phase a et le neutre (n). Tandis que les phases b et c restent ouvertes, c'est le régime déséquilibré. Le courant i débité par le secondaire fera appel à un courant i' dans la phase correspondante du primaire. Ce courant ne peut provenir que des deux autres phases qui, elles, ne débitent aucun courant secondaire. Leur ampère-tour primaire n'est équilibré par aucun-ampère-tour secondaire, d'où une induction énorme qui ferait chauffer exagérément le fer. Lorsque les neutres ne sont pas reliés, les tensions entre les lignes et le neutre un fort troisième harmonique due a la non-linéarité de la courbe de saturation des noyaux. La distorsion qui en résulte des surtensions entre les lignes et le neutre car ces tensions possède une valeur crête plus élevée que celle correspondante à une tension sinusoïdale. Toute fois, cette connexion peut être utilisée sans raccorder les neutres si les transformateurs possèdent un troisième enroulement appelé enroulement tertiaire qui est raccordé en triangle pour supprimer la distorsion des tensions.

Et de plus, il sert à alimenter des charges auxiliaires dans les postes de transformation. En conséquence, ce mode de couplage est totalement prohibé pour les transformateurs de distribution qui sont sujet d'important déséquilibre. On utilise le couplage étoile-étoile sans fil neutre pour les transformateurs abaisseur de tension qui assurent les liaisons entre les réseaux a haute et a moyenne tension car ces réseaux sont parfaitement équilibrés. [5]

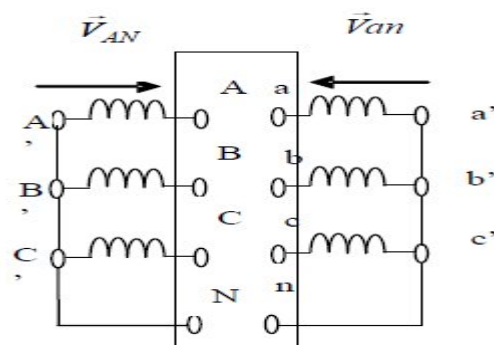


Figure I.5 : Couplage étoile-étoile

B.2 Couplage étoile-triangle

Considérons le comportement de ce couplage avec le même régime déséquilibré que pour le couplage précédent. Comme dans le cas précédent, le courant i débité dans la charge fera circuler un courant i' dans la phase correspondante du primaire, mais ce courant, qui ne circule pas dans les autres phases ne provoquera aucune perturbation dans ce transformateur fonctionnant comme un simple transformateur monophasé, les deux autres phases étant inutilisées. Ce couplage avec le neutre sorti est utilisé pour les transformateurs de distribution qui fonctionnent fréquemment en régime déséquilibré. Il est également utilisé sans neutre sorti comme transformateur élévateur de tension à la sorti des centrales. [5]

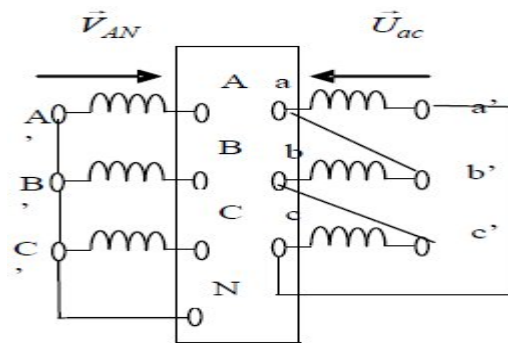


Figure I.6 : Couplage étoile-triangle

B.3 Couplage étoile-zigzag

Ce montage permet de conserver l'avantage du couplage étoile au primaire, tout en ayant un fonctionnement satisfaisant en régime déséquilibré. A cet effet, chaque colonne porte, en plus de l'enroulement primaire, deux enroulements secondaires identiques. En régime déséquilibré, le courant i traverse deux demi-bobine qui sont respectivement entre les phases c et b . il en résulte un appel de courant i' en sens contraire dans les phases correspondantes du primaire. Ce qui permet au courant de se fermer sans traverser la phase c . Ce montage est très utilisé pour les transformateurs de distribution. [5]

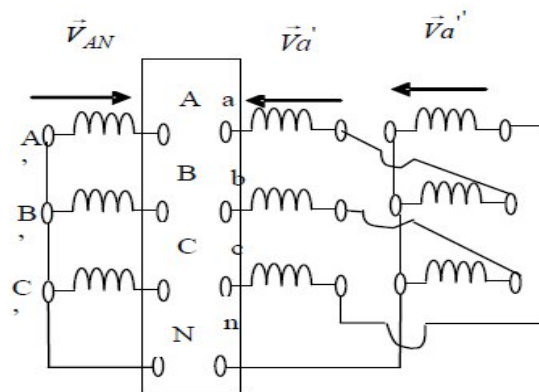


Figure I.7 : Couplage étoile-zigzag

I.3.1.2 Le circuit magnétique

Les circuits magnétiques sont toujours des assemblages de tôles fines disposées dans un même plan, parallèlement et perpendiculaire les unes aux autres.

La fonction principale des circuits magnétiques est de canaliser le flux magnétique et sert comme support aux enroulements.

Le circuit magnétique comporte trois colonnes réunies par deux culasses. Il est réalisé conformément au cahier de la charge, par empilage des tôles de 0.30mm d'épaisseur obtenues à partir d'un alliage ferro-silicium à grains orientés, laminées à froid et isolées par une très mince couche de Carlitte. [7]

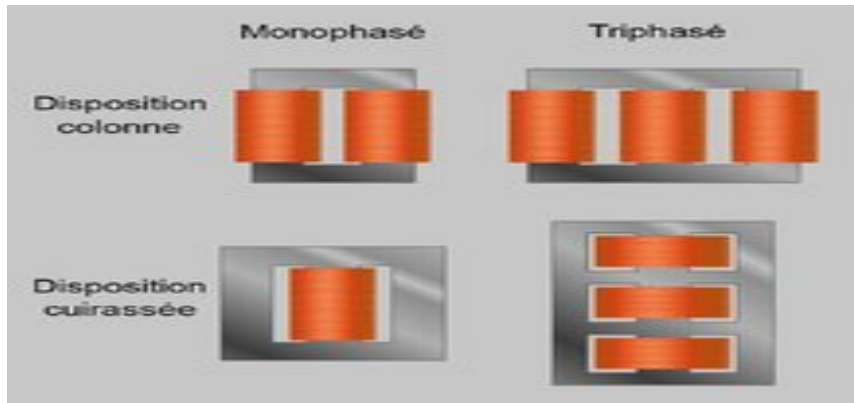


Figure I.8 : Différents types de circuit magnétique

Suivant la forme du circuit magnétique, on distingue deux types de disposition principale :

I.3.1.2.1 Type cuirassé

Pour ce type de transformateur, le circuit magnétique entoure complètement l'enroulement des deux cotés. La cuve assure le serrage de l'ensemble et le transformateur ainsi constitué est alors assuré d'une excellente rigidité mécanique associée à une grande compacité. Ces transformateurs sont utilisés principalement au sein des réseaux de transport et de répartition, ou les surtensions transitoires sont fréquentes. Pour cela des écrans sont utilisés a fin de réduire les contraintes liées aux champs électrique dans les bobinages. [9]

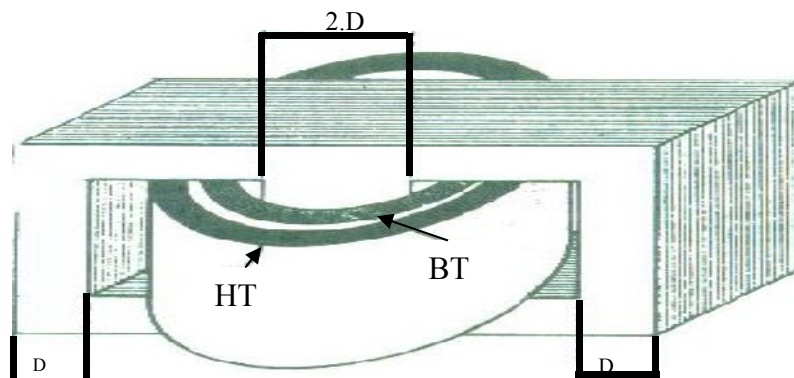


Figure I.9 : Transformateur de type à cuirassé

I.3.1.2.2 Type à colonnes

Le transformateur à colonnes est constitué de deux enroulements concentriques par phases. Ces enroulements sont montés sur le noyau ferromagnétique qui se referme à ses extrémités via des culasse a fin d'assurer une bonne canalisation du flux magnétique.

Dans cette technologie, ce sont les enroulements qui entourent le circuit magnétique de manière à maximiser le couplage tout en minimisant le volume des conducteurs.

Cette disposition plus simple que la précédente est utilisée pour les transformateurs à haute tension et les grandes puissances. Les enroulements peuvent être disposés sur un circuit magnétique comportant trois colonnes ou noyaux, ce type de circuit magnétique est dit à flux

forcé. Si le déséquilibre est important, on utilise les transformateurs à quatre ou cinq colonnes, dont trois sont bobinées, les autres servent au retour des flux. [9]

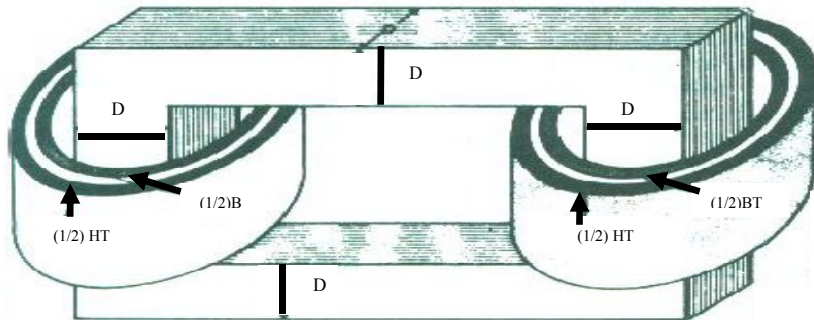


Figure I.10 : Transformateur de type à colonne

I.3.2 Partie constructive

En plus de la partie active, le transformateur comprend une série d'éléments mécaniques, destinés à la fixation et au refroidissement de la partie active et au branchement des enroulements sur le réseau électrique, elle se résume ainsi :

I.3.2.1 La cuve

En plus de son rôle de réservoir au liquide diélectrique, la cuve assure le maintien mécanique de circuit magnétique et des enroulements. Elle épouse naturellement le contour de la partie active et minimise ainsi le volume d'huile, donc également les coûts et la masse du transformateur. Enfin, à la base de celle-ci des shunts magnétiques permettent de canaliser partiellement les flux de fuites. La cuve est équipée de divers dispositifs dont les crochets, les galets, les vannes, et la plaque signalétique. Par ailleurs, elle doit répondre aux exigences suivantes : [5]

- Résistance mécanique et rigidité nécessaire pour éviter toute déformation sous l'effet du poids de la partie active, de l'huile et des charges.
- Bonne étanchéité.
- Grande surface de contact avec l'air pour faciliter le refroidissement.

Le type de cuves qui nous paraît la mieux adaptée est la cuve à ailettes.

I.3.2.2 Le couvercle

Le couvercle assure la fermeture de la cuve, par ailleurs, il sert de support aux accessoires tels que les traversées. Il est réalisé en acier muni de cavités, de trous et d'autres accessoires pour la fixation des appareils de protection et des isolateurs de traversée qui sont de trois d'un côté de couvercle (primaire) et de trois de l'autre côté (secondaire).

I.3.2.3 Les traversées

Les traversées assurent la liaison entre les enroulements du transformateur et l'extérieurs leurs formes et leurs dimensions sont très variées, elles sont fonction de la tension, la puissance et l'utilisation du transformateur.

I.3.2.4 Conservation d'huile

Il est fixé sur le couvercle à l'aide des éclisses et sur sa face frontale est placé un indicateur d'huile qui est transparent. Sur l'autre face une bride est soudée, sur laquelle l'assécheur d'air est fixé.

I.4 Equation générales d'un transformateur de puissance [5]

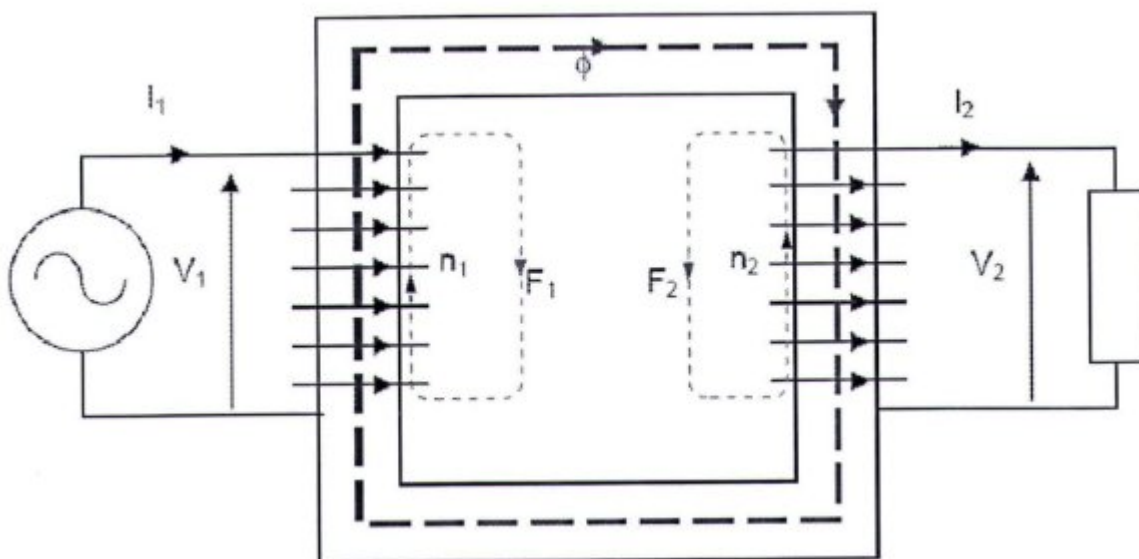


Figure I.11 : Schéma de fonctionnement d'un transformateur

Les flux traversant les enroulements primaire et secondaire sont donnés par :

$$n_1 \cdot \phi_1 = \phi + F_1 \quad (I.3)$$

$$n_2 \cdot \phi_2 = \phi - F_2 \quad (I.4)$$

- F1: Flux de fuite primaire Wb.
- F2 : Flux de fuite secondaire Wb.
- N1 : nombre de spires de l'enroulement primaire.
- N2 : nombre de spires de l'enroulement secondaire.
- ϕ : Flux commun aux deux enroulements en Wb.
- ϕ_1 : Flux totale primaire en Wb.
- ϕ_2 : Flux totale secondaire.

En considérant le circuit magnétique non saturé, les tensions primaire et secondaire s'écrivent :

$$V1 = R1. I1 + jw. n1. \varphi1 \quad (I. 5)$$

$$V2 = -R2. I2 + jw. n2. \varphi2 \quad (I. 6)$$

- R1 : Résistance de l'enroulement primaire en hom.
- R2 : Résistance de l'enroulement secondaire en hom.
- I1 : Courant de l'enroulement primaire en A.
- I2 : Courant de l'enroulement secondaire en A.

Le flux commun est donné par la relation d'Hopkinson dans laquelle on néglige les fuites :

$$n1. I1 - n2. I2 = R. \varphi \quad (I. 7)$$

- R : Réluctance du circuit magnétique en A/Wb.

Le flux de fuites propre au primaire, F1, est proportionnel au courant dans le primaire :

$$n1. F1 = I1. L1 \quad (I. 8)$$

- L1 : Inductance de fuites du primaire en H.

De même, au secondaire :

$$n2. F2 = I2. L2 \quad (I. 9)$$

- L2 : Inductance de fuite du secondaire en H.

On obtient finalement l'ensemble des équations du transformateur :

$$V1 = (R1 + jw. L1). I1 + jw. n1. \varphi1 \rightarrow jw. n1. \varphi1 = E1 \quad (I. 10)$$

$$V2 = -(R2 + jw. L2). I2 + jw. n2. \varphi2 \rightarrow jw. n2. \varphi2 = E2 \quad (I. 11)$$

$$n1. I1 - n2. I2 = R. \varphi \quad (I. 12)$$

I.5 Les pertes dans le transformateur

La conservation de l'énergie dans un transformateur s'accompagne de diverses pertes qui déterminent le niveau de l'échauffement et le rendement. [7]

I.5.1 Pertes par effet joule

Les pertes par effet joule dans les enroulements sont appelées également (pertes cuivre) elles dépendent de la résistance de ces enroulements et de l'intensité du courant qui les traverse : avec une bonne approximation elles sont proportionnelles au carré de l'intensité.

$$P_J = \sum R_i I_i^2. \quad (I.13)$$

I.5.2 Pertes magnétique dans le transformateur

On sait que toute variation d'induction dans un matériau magnétique implique à l'intérieur de celui-ci une disposition apparaissant le plus souvent sous forme de chaleur non récupérable, d'où l'expression des pertes magnétique pour désigner le phénomène. Ces pertes sont mesurées par un appareil qui s'appelle cadre d'EPSTEIN. On va citer les différents types suivants : [7]

I.5.2.1 Pertes fer

La variation du flux magnétique provoque des pertes d'énergie dans les tôles du circuit magnétique par courants de Foucault et par hystérésis.

I.5.2.1.1 pertes par courant de Foucault

Les matériaux ont souvent des propriétés conductrices du courant électrique. En présence d'un flux variable ils sont le siège de courants induits qui circulent dans la masse même de ces matériaux. L'effet joule dissipe l'énergie sous forme de chaleur appelée (pertes classiques par courants induit).

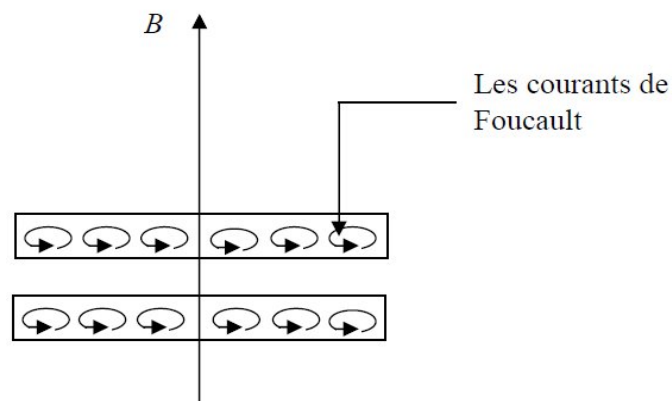


Figure I.12 : Les courants de Foucault

I.5.2.1.2 les pertes par hystérésis P_H

La surface du cycle s'exprime en joule/m³. Elle correspond à un échauffement du matériau du aux frottements des moments magnétiques, orienté dans une direction pour (+H_{max}) et dans la direction opposée (-H_{max}), c'est-à-dire une demi période plus tard (en courant alternatif).

Ainsi la puissance de pertes fer par hystérésis est donnée par :

$$P_h = fV S_h = fV(B_{\max})^2. \quad (\text{I.14})$$

- F : est la fréquence de l'excitation magnétique.
- V : est le volume de fer subissant le cycle.

- S_h : est la surface du cycle qu'on admet être proportionnelle à $(B_{\max})^2$.

On essaie de diminuer ces pertes en choisissant un matériau de surface S_h la plus faible possible.

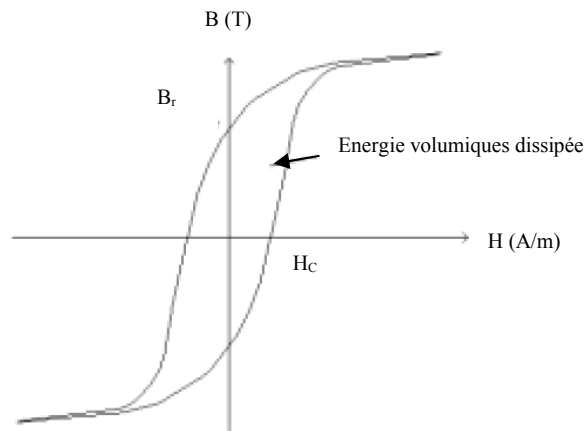


Figure I.13 : cycle d'hystérésis

I.6 Indice horaire

$$h = \frac{-}{\bar{6}} \quad (\text{I.14})$$

> 0 : Dans le sens horaire.

h : Dépend du mode de couplage, du sens d'enroulement des bobinages, de la permutation des tensions d'alimentation.

I.7 Rapport de transformation

On désigne le rapport de transformation par le rapport des tensions entre enroulement secondaire et primaire

$$K_{21} = n_2/n_1 = \overline{E_2}/\overline{E_1} \quad (\text{I.15})$$

Ou bien entre enroulement tertiaire et primaire

$$K_{31} = n_3/n_1 = \overline{E_3}/\overline{E_1} \quad (\text{I.16})$$

K : dépend du nombre de spire n_1 , n_2 , n_3 et du couplage des enroulements primaire, secondaire, tertiaire.

I.8 La protection du transformateur

Tous les transformateurs doivent être protégés contre :

I.8.1 Surintensité

Pour les petits transformateurs, la protection contre les surintensités est assurée par des déclencheurs électromagnétiques et thermiques ou par des fusibles placés en aval ou en amont ou mieux encore des 2 cotés. Le calcul du courant de court circuit, maximum d'un transformateur s'effectue à partir de l'essai en court circuit.

I.8.2 Surtension

Au court de l'essai en court circuit, nous mesurons la tension primaire U_{1cc} qui fait débiter son courant nominal au secondaire court-circuit. U_{1cc} est naturellement bien inférieure à la tension primaire nominale U_1 .

En pratique, la protection contre les surtensions peut être réalisée de la façon suivante :

- Parafoudre.
- Câble mis à la terre.
- Renforcement de l'isolation des bobines ...etc.

I.8.3 Surchauffe

La surchauffe d'un transformateur de petite puissance à air peut être contrôlée par une résistance montée en série dans un circuit de commande. La surchauffe d'un transformateur à huile provoque la dilatation du liquide de refroidissement, le déplacement de ce liquide ou son échauffement.

I.9 Les contraintes

La réalisation d'un transformateur est soumise à divers problèmes posés par les contraintes, elles peuvent être classées en plusieurs catégories.

I.9.1 Les contraintes diélectriques

La contrainte diélectrique est l'amorçage entre enroulements ou entre partie sous tension et entre pièces active et masse. Lorsque Le gradient du potentiel électrique appliqué à un isolant est supérieur à sa rigidité diélectrique un arc suivi d'un claquage s'établit. Pour protéger le transformateur contre ces contraintes, on élimine toute humidité et on améliore les propriétés diélectriques des isolants.

I.9.2 Les contraintes électriques

Ce sont les surtensions et les surintensités.

I.9.3 Les contraintes électrodynamiques

Les contraintes électrodynamiques sont dues aux efforts de court-circuit internes ou externes. On peut les réduire par un choix approprié de la nature et de la disposition des conducteurs.

I.9.4 Les contraintes électromagnétiques

Les contraintes électromagnétiques sont dues aux courants de Foucault induits dans le circuit magnétique, les pièces de serrage, ... etc.

I.9.5 Les contraintes mécaniques

Les contraintes mécaniques provoquent des déformations du matériel.

I.9.6 Les contraintes thermiques

L'échauffement est causé principalement par effet joule dans les enroulements de transformateur, les pertes fer dans le circuit magnétique ainsi que les pertes par conductivité dans l'isolant.

I.9.7 Les contraintes chimiques

Les contraintes chimiques résultent de l'action conjuguée de la corrosion et de l'oxydation sur les parois du transformateur.

I.10 Les paramètres industriels d'un transformateur [3]

I.10.1 Les paramètres techniques

I.10.1.1 La puissance nominale

C'est la valeur conventionnelle de la puissance apparente. Elle peut être utilisée lors du fonctionnement du transformateur en régime normal. Elle s'exprime en KVA ou MVA.

I.10.1.2 Le courant nominal

C'est la valeur du courant pour laquelle seront définies et garanties les caractéristiques dues à la charge (les pertes dues à la charge, U_{cc}).

I.10.1.3 La tension nominale

C'est la valeur de la tension pour laquelle seront définies et garanties les caractéristiques à vide du transformateur (courant à vide ; pertes à vides).

I.10.1.4 La tension de court-circuit (U_{cc})

C'est la tension réduite qu'il faut appliquer au primaire lorsque le secondaire est en court-circuit pour que le courant nominal circule au secondaire. Sa valeur est comprise entre 4 et 5% de la tension nominale.

I.10.2 Les paramètres d'exploitations

I.10.2.1 Le rendement

C'est le rapport de la puissance débitée par le secondaire et la puissance absorbée par le primaire. Le rendement des transformateurs est d'autant meilleur que la puissance apparente est élevée.

I.10.2.2 Chute de tension

C'est la différence numérique des tensions secondaires à vide et en charge. Elle dépend généralement de la valeur et du type de la charge.

I.11 Les différents types de transformateur

Ces distinctions sont souvent liées aux très nombreuses applications possibles des transformateurs.

I.11.1 Transformateur d'impédance

Il est principalement destiné à adapter l'impédance de sortie d'un amplificateur à sa charge.

I.11.2 Transformateur de courant

Transformateur de mesure abaisseur de courant (donc éleveur de tension), on l'utilise notamment pour mesurer l'intensité d'un courant fort. Le primaire peut alors se réduire à une seule spire ; ce type de transformateur s'utilise avec secondaire en court-circuit (dans le cas contraire, la tension apparaissant au secondaire pourrait être très élevée).

I.11.3 Transformateur de tension

Ce transformateur est utilisé pour mesurer des tensions alternatives élevées.

I.11.4 Transformateur de mesure

Transformateur utilisé pour adapter la gamme et assurer l'isolation par rapport au dispositif mesuré d'un voltmètre ou d'un ampèremètre.

I.11.5 Transformateur d'isolement

Utilisé pour assurer une isolation galvanique entre circuits, il est essentiellement utilisé pour changer la tension des circuits auxiliaires de commande et de contrôle des circuits d'éclairage.

I.11.6 Transformateur d'impulsion

Ce type de transformateur est utilisé pour la commande de gâchettes des thyristors, des triac et des transistors.

I.11.7 Autotransformateurs

Il s'agit d'un transformateur sans isolement entre le primaire et le secondaire. le secondaire est une partie de l'enroulement primaire, c'est-à-dire que le primaire et le secondaire sont directement connectés ce qui présente des risque du point de vue de la sécurité des personne.

I.11.8 Transformateur triphasé

Dans les réseaux électriques triphasés, on pourrait parfaitement envisager d'utiliser trois transformateurs, un part phase. Dans la pratique, l'utilisation de transformateur triphasé (un seul appareil regroupe les trois phases) est généralisée : cette solution permet la conception de transformateurs bien moins Couteux, avec en particulier des économies au niveau du circuit magnétique.

Les transformateurs monophasés ne sont guère utilisés, sauf pour de très grosses puissances apparentes (supérieures à 500 MV), ou le transport d'un transformateur triphasé est problématique et incite à l'utilisation de trois unités physiquement indépendantes.

I.12 Réglage de la tension

La tension constitue, avec la fréquence, la principale de qualité de l'énergie électrique. Ce paramètre est commun aux différents utilisateurs : clients, distributeurs, producteurs, raccordés sur un même nœud électrique.

Le réglage de la tension est une nécessité pour exploiter le réseau en assurant la sureté, maintenir la tension d'alimentation des clients dans les plages contractuelles, respecter les contraintes de fonctionnement des matériels, minimiser les pertes, utiliser eu mieux la capacité des ouvrages de transport.

Pour les clients et les distributeurs, chaque contrat de fourniture définit la tension d'alimentation déclarée et la page de variation acceptée autour de cette valeur. Ces deux termes, qui conditionnent le dimensionnement des appareils récepteurs de clients, doivent être, à tout moment, respectés :

- Des tensions trop hautes entraînent le vieillissement ou la destruction des matériels raccordés.
- Des tensions trop basses provoquent des surcharge dans les lignes, perturbent le bon fonctionnement de certaines protections, affectent la tenue des auxiliaires des installations de production.

Sur les réseaux, le réglage de la tension est assuré par les régleurs en charge automatiques installés sur les transformateurs THT/HT et HT/MT. Dans les transformateurs couplés en étoile, le réglage est placé du côté du neutre ou les contraintes sont plus faibles.

Lorsque le réglage est de $\pm 10\%$ à $\pm 12\%$, les prises se trouvent sur un enroulement auxiliaire dit de réglage en série avec l'enroulement HT.

I.12.1 Les régleurs à vide de transformateurs

A fin de maintenir le plan de tension sur les réseaux, les transformateurs sont munis de régleurs de tension. En modifiant le rapport de transformation, en fonction des variations de la tension au primaire, les régleurs permettent de maintenir la tension autour de la valeur de consigne au secondaire. Ces régleurs peuvent être manuels ou automatiques. Le réglage à vide exige la mise hors tension du transformateur avant toute manœuvre, d'où des interrupteurs de service.

I.12.2 Les régleurs en charge

Les régleurs en charge permettent de modifier sans interrompre le courant de charge. Le réglage en charge, par phase, nécessite un enroulement de réglage, une résistance de passage (ou une inductance), des interrupteurs pour assurer les commutations. Les changements de prises sont effectués avec une temporisation initiale (passage de la première prise) de 30 secondes pour les transformateurs du réseau de transport (une minute pour les transformateurs HT/MT, puis de 10 secondes pour le passage des prises suivantes. Ces dispositifs sont très utiles en situation normale. Ils peuvent se placer sur l'enroulement HT ou BT. On préfère les placés habituellement sur l'enroulement HT pour les raisons suivantes :

- Le courant très faible, ce qui facilite sa mise en œuvre.
- L'enroulement HT est plus accessible car il est à l'extérieur de l'enroulement BT.

I.13 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons donné un aperçu général sur la constitution du transformateur de puissance en rappelant quelques équations magnétiques et électriques régissant son fonctionnement.

II.1 Introduction

Les transformateurs sont des machines électrique statiques dont la fonction est d'élever ou d'abaisser la tension d'un circuit électrique parcouru par un courant alternatif sans en modifier la fréquence. Ils jouent un rôle essentiel dans le transport de l'énergie électrique à distance. En effet, les tensions de fonctionnement des machines génératrices n'excèdent pas une vingtaine de kilovolts en courant alternatif. Or le transport de grandes puissances sur des distances notables ne peut être réalisé de façon économique que s'il est effectué à très haute tension, soit plusieurs centaines de kilovolts. Il est donc nécessaire d'installer, à proximité immédiate des groupes générateurs, des transformateurs « élévateurs » de tension. On devra trouver des appareils « abaisseurs » aux points de fourniture de l'énergie électrique, les tensions normales d'utilisation étant comprises entre quelques centaines et quelques milliers de volts.

II.2 Caractéristiques du transformateur LLK

II.2.1 Caractéristique techniques

II.2.1.1 Caractéristique pour transformateur de puissance HT/MT

Caractéristique de conception	
Utilisation	Abaisseur
Type de transformateur	Sur noyau
Nombre de phase	3
Type de diélectrique liquide	huile minérale
Installation du transformateur	Extérieur
Installation du conservateur	Sur le transformateur
Installation des ventilateurs	Sur le transformateur
Température pour le dimensionnement	40 °C
Echauffements à puissance assignée en régime permanent : -admissible des enroulements à S_n -admissible de l'huile au sommet	65 (°K) 60 (°K)
Transformateur avec tertiaire	Non
Puissance assigné du transformateur	15 (MVA)
Mode de refroidissement Correspondant à : ONAN ONAF	ONAN-ONAF 12 (MVA) 15 (MVA)
Enroulement primaire	
Tension assignée à vide U_1	63 (kV) Tolérance a confirmé
Fréquence	50 (Hz)

Tension assignée d'isolement U_m		72.5 (kV r.m.s)				
Tension de tenue assignées :						
De courte durée induite		140 (kV r.m.s)				
Aux chocs de foudre		325 (kV peak)				
Connexion de l'enroulement		YN				
Courant de courte durée de l'installation I_K		25 (kA r.m.s) 1s				
Courant de crête de l'installation		79 (kA peak)				
Enroulement secondaire						
Tension assignée à vide U_2		31.5 (kV)				
Fréquence		50 (Hz)				
Tension assignée d'isolement U_m		36 (kV r.m.s)				
Tension de tenues assignées :						
-A fréquence industrielle.		70 (kV r.m.s)				
-aux chocs de foudre		170 (kV peak)				
Courant de courte durée de l'installation I_k		25 (kA r.m.s) 1s				
Courant crête de l'installation I_p		79 (kA peak)				
Point neutre sorti		Oui				
Connexion de l'enroulement		Yn00				
Caractéristique électrique communes						
Couplage des enroulements du transformateur		YNyn00				
Impédances de court-circuit sur prise principale à S_n		11 (%)				
Tolérance selon la norme CEI 7661		Oui				
Fonctionnement en parallèle des transformateurs		Non				
Réglage de tension						
Réglage de tension sur transformateur		Coté primaire				
Régleur de tension en charge :						
-étendue de réglage des prises		+12 (%) / -12 (%)				
-définition du réglage des prises		Par échelon (1,5 % par échelon)				
-nombre d'échelons de réglage (0 inclus)		17				
Tension auxiliaires						
Tension auxiliaires du transformateur						
Type de circuit	DC/AC	Fréquence (Hz)	Type	Tension d'alimentation	+(%)	- (%)
Ventilateurs	AC	50	Triphasé	380	*	*
Eclairage et résistance de chauffage	AC	50	Monophasé	220	*	*
Relayage	DC	/	/	127	*	*
Tension auxiliaires pour l'OLTC						
Type de circuit	DC/AC	Fréquence (Hz)	Type	Tension d'alimentation	+(%)	- (%)
Ventilateurs	AC	50	Triphasé	380	*	*
Eclairage et résistance de chauffage	AC	50	Monophasé	220	*	*
Relayage	DC	/	/	127	*	*
Les tolérances sur tension auxiliaire doivent être conformes à la CEI						

Tableau II.1 : Caractéristique pour transformateur de puissance HT/MT [3]

II.2.2 Alimentation du transformateur de puissance

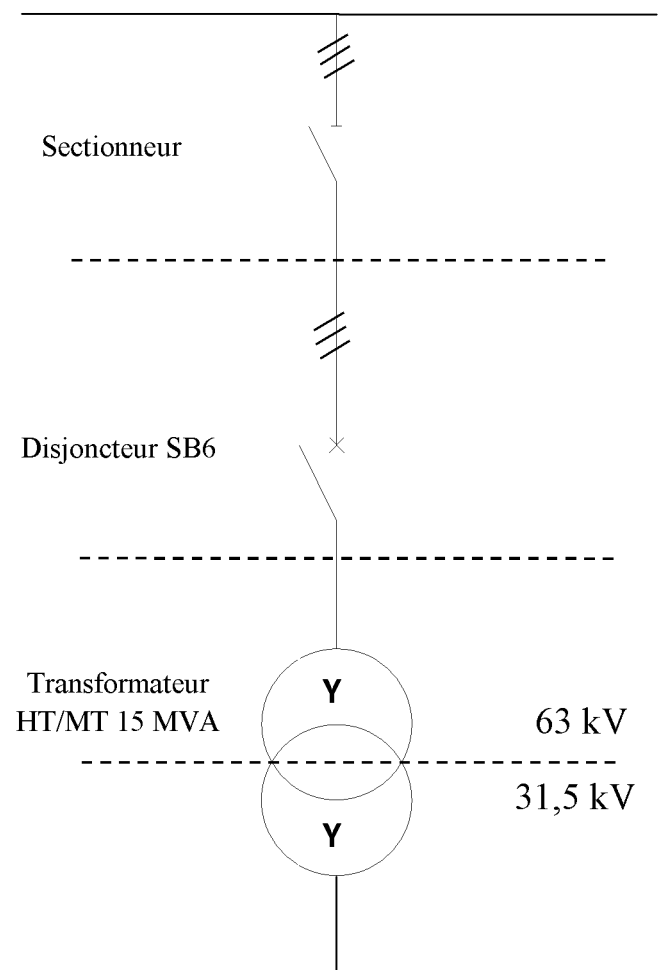


Figure II.1 : Schéma unifilaire de l'alimentation du transformateur HT/MT 15 MVA [3]

II.2.3 Le sectionneur

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer de façon mécanique un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou bien d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties. Le sectionneur à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur n'a pas de pouvoir de coupure ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture. On distingue trois types de sectionneur : Sectionneur haute tension, Sectionneur de mise à la terre. [3]

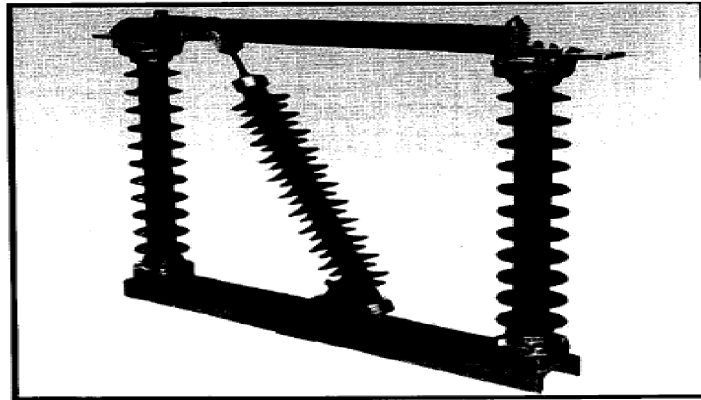


Figure II.2 : Sectionneur pour l'intérieur ou l'extérieur de type 17997

On distingue deux types de sectionneur :

- Sectionneur ligne connecté en série avec le réseau.
- Sectionneur terre connecté en dérivation avec le réseau.

II.2.3.1 caractéristiques du sectionneur

• Sectionneur ligne

Type..... : A couteaux basculants

Installation..... : Murale

Courant nominale..... : 1250 A

Courant de court-circuit..... : 25 kA 1 s

Raccordements..... : Plaque aluminium

Commande..... : Manuelle comportant des tubes

Contact auxiliaire..... : 6 NO 6 NF

✓ Verrouillage

Un verrouillage mécanique entre le sectionneur de phase et le sectionneur de terre, est réalisé à l'aide d'une serrure pour interdire toute manœuvre (ouverture ou fermeture) du sectionneur si le disjoncteur est fermé.

• Sectionneur terre

Type..... : A commande indépendante

Montage..... : Côté contact de rotation

Tenue thermique..... : 25 kA 1 s

Commande..... : Manuelle comportant des tubes

Contactes auxiliaires..... : 6 NO 6 NF

✓ Verrouillage

Un verrouillage mécanique entre le sectionneur de phase et le sectionneur de terre. Une serrure est montée sur la commande afin de verrouiller le sectionneur en position fermé. Clé libre pour sectionneur fermé.

II.2.4 Disjoncteur SB6

Le disjoncteur **SB6** débouchable, est destiné à des postes HTB, il peut être utilisé dans les postes classiques d'extérieur ou être intégré dans un poste sous enveloppe métallique (poste blindé). Il est à extinction de l'arc dans le gaz **SF6 (Hexafluorure de Soufre)** qui a de bonnes caractéristiques diélectriques. Le gaz SF6 est très utilisé dans les appareils de haute tension. Il a une excellente rigidité électrique, et est très électronégatif, il a une bonne capacité de transfert thermique. Il est également inerte, non inflammable et non toxique. Le seul danger pour la santé est le risque de suffocation. Sa bonne rigidité provient du fait qu'il est très électronégatif, absorbant des électrons qui ne peuvent ainsi pas ioniser le gaz et ne peuvent pas mener à une décharge électrique. Le SF6 a par ailleurs une propriété remarquable pour l'extinction des arcs électriques : il se décompose sous l'effet de l'arc et se recompose extrêmement rapidement, permettant au gaz de retrouver sa rigidité électrique. Cette propriété le rend tout particulièrement adapté pour la réalisation de disjoncteurs en courant alternatif.

En cas de fuite du gaz SF6, la pression baisse jusqu'au premier niveau d'alarme **CR/Complément de Remplissage** (0,62 MP) sur le densistat qui est un appareil de mesure de la pression du gaz SF6, qui se trouve sur le compartiment du disjoncteur. A ce niveau de pression il n'y a aucun verrouillage, le disjoncteur peut être exploité normalement, mais il faut effectuer un complément de remplissage en SF6.

Si la pression continue à descendre, au niveau de pression **BP/Basse Pression SF6** (0,6 MP), le disjoncteur se verrouille dans la position où il se trouve, car il n'aura plus ses capacités de couper. Alors il est recommandé de réaliser le pont de déclenchement automatique sur le **BP SF 6** entre les bornes (X68 et X69) dans l'armoire, ainsi le disjoncteur s'ouvrira automatiquement au passage du seuil critique de pression **SF 6** et pourra être débouché pour maintenance. [3]

a. Les caractéristiques de ce disjoncteur

Caractéristiques	Valeurs
Type	SB6 72
Coupure au courant de court-circuit	25/31,5 kA
Capacité de fermeture kA crête	63
Cycle de manœuvre	O 0.3 s CO 1 min CO
Temps de coupure	60 ms

Pression Effective Assignée de remplissage	0.70 Mpa
Pression Effective d'alarme 1 ^{er} stade ou de signalisation	0.62 Mpa
Pression Effective d'alarme 2 ^{ème} stade ou de verrouillage	0.60 Mpa
Pression Effective minimale de fonctionnement	0.60 Mpa
Masse de gaz par disjoncteur tripolaire	4 Kg
Masse de gaz par pôle	1.33 Kg
Ligne de fuite	25 mm/kV
Tenue de fréquence industrielle	140 kV
Tenue Choc de foudre	325 kV

Tableau II.2 : Caractéristiques du disjoncteur SB6 [3]

b. Principe de coupure du disjoncteur SB6

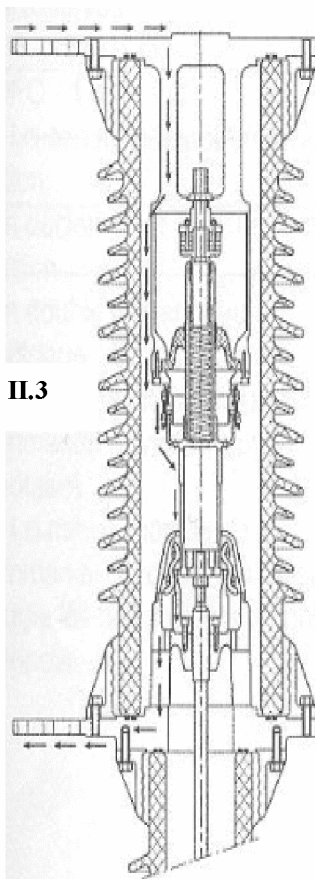


Figure II.3

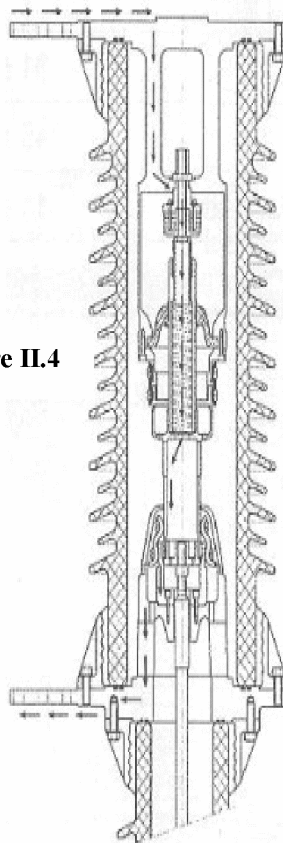


Figure II.4

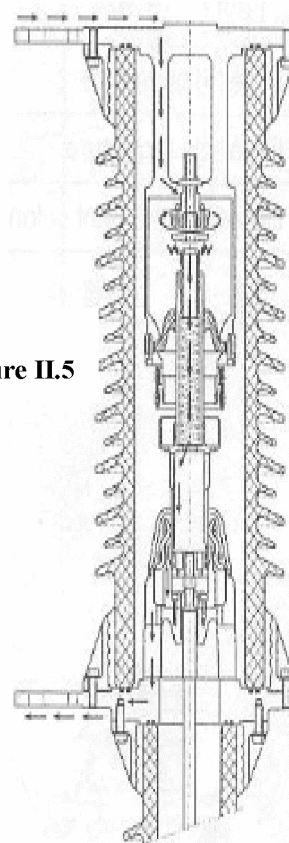


Figure II.5

Figure II.3 : Disjoncteur fermé, zone de passage du courant permanent.

Figure II.4 : Début d'ouverture, l'ouverture du contact principal délivre le courant par la bobine de rotation de l'arc et le contact d'arc.

Figure II.5 : Début de l'arc de coupure, le courant parcourt la bobine, l'arc jaillit entre les contacts, le champ magnétique de la bobine entraîne l'arc en rotation.

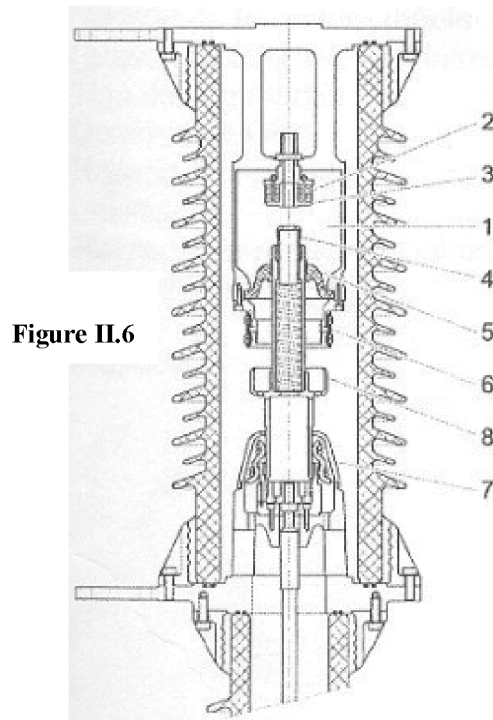


Figure II.6

Figure II.6 : Fin d'ouverture, l'arc est éteint, la tenue diélectrique est rétablie.

- 1-chambre d'auto expansion.
- 2-Bobine de rotation de l'arc.
- 3-contact d'arc fixe.
- 4-contact d'arc mobile.
- 5-Séparateur isolant.
- 6- contact principale fixe.
- 7- contact glissant, partie fixe.
- 8- contact permanent, partie mobile.

II.3 Constitution du transformateur LLK

II.3.1 Circuit magnétique

Le noyau est composé d'un empilage de tôles ferromagnétique de haute perméabilité, isolées électriquement entre elles. Il doit être conçu de façon à réduire les pertes par courant de Foucault et par hystérésis qui se produisent lors de la variation périodique du flux magnétique. On parvient à résoudre ce problème en prenant des mesures à savoir:

- Emploi d'acier magnétiquement doux ayant une petite surface du cycle d'hystérésis et de faibles pertes par hystérésis.
- Emploi d'aciers spéciaux présentant, grâce à des additifs, une résistivité élevée.
- Emploi de tôles dont l'épaisseur est choisie tel que les courants de Foucault soient pratiquement sans effet.

Suivant la forme du circuit magnétique le transformateur de puissance de LLK est de la forme à colonnes. Donc il est constitué de deux enroulements concentriques par phase. Ces

enroulements sont montés sur le noyau ferromagnétique qui se referme à ses extrémités via des culasses afin d'assurer une bonne canalisation du flux magnétique.

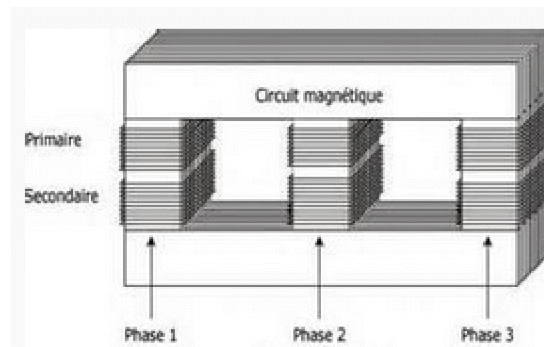


Figure II.7 : le circuit magnétique

Dans cette technologie, se sont les enroulements qui entourent le circuit magnétique de manière à maximiser le couplage tout en minimisant le volume des conducteurs. Cette disposition plus simple que la disposition cuirassée, est utilisée pour les transformateurs à haute tension et les grandes puissances. Les enroulements peuvent être disposés sur un circuit magnétique comportant trois colonnes ou noyaux, ce type de circuit magnétique est dit à flux forcé. [8]

Si le déséquilibre est important, on utilise les transformateurs à quatre ou cinq colonnes, dont trois sont bobinées, les autres servent au retour des flux de défaut.

II.3.2 Enroulements

Un enroulement est l'ensemble des spires formant un circuit associé à l'une des tensions pour lesquelles le transformateur a été établi. Traditionnellement on appelle un enroulement qui reçoit la puissance active de la source d'alimentation en service enroulement primaire et celui qui délivre la puissance active à une charge enroulement secondaire. Ces termes ne sont pas significatifs de l'enroulement qui a la tension assignée la plus élevée et il convient de ne pas les utiliser sauf dans le contexte de la direction de flux de puissance active. Pour plus de clarté il convient d'employer les termes enroulement haute tension (HT), moyenne tension (MT) et basse tension (BT) qui ne prêtent pas à confusion étant classés en fonction de leur niveau de tension.

Le rapport du nombre de spires entre primaire et secondaire détermine le rapport de conversion des tensions et des courants. Les enroulements sont quasiment toujours réalisés en cuivre, bien qu'on trouve également de l'aluminium pour des raisons de coût dans les transformateurs de faible puissance. Ces matériaux ont en effet, une excellente conduction électrique ce qui limite les pertes cuivres. La section de la bobine dépend du courant la traversant et détermine sa forme. La principale contrainte à prendre en compte lors de la conception d'un enroulement est sa résistance au courant de court-circuit, il faut qu'il puisse évacuer la chaleur et ne se casse pas sous l'effet de la contrainte mécanique. Les bobines primaire et secondaire sont enroulées de manière coaxiale autour des colonnes bobinées du noyau magnétique. [8]

II.3.3 Isolation

1. Isolation en huile

L'huile pour transformateur est une huile isolante pour les transformateurs et appareillages électriques semblables pour lesquels une stabilité à l'oxydation normale est requise. Elle sert également à imprégner l'isolation papier de ces composants. Il s'agit traditionnellement d'huile minérale hautement raffinée.

L'huile est un bon conducteur thermique, et sa circulation au travers de radiateurs permet d'évacuer la chaleur produite par les bobines et le circuit magnétique du transformateur. Elle permet aussi l'isolation diélectrique des enroulements entre eux. De ce fait, elle doit posséder un haut niveau d'isolation diélectrique et un haut point d'éclair pour permettre une exploitation en toute sécurité.

Les huiles minérales pour transformateur sont principalement composées de 4 familles d'hydrocarbure : les paraffines, les naphthènes, les aromatiques et les alcènes.

La paraffine a le défaut de geler rapidement et d'empêcher l'exploitation des transformateurs par grands froids. Si le taux de paraffine est en dessous de 50 % on parle d'huile naphthénique, s'il se trouve entre 50 et 56 % d'huile intermédiaire, au-delà on dit d'huile paraffinique.

Les aromatiques ont un effet sur le vieillissement de l'huile à double tranchant : à cause de l'effet qu'ils ont sur l'oxygène en présence de lumière ils dégradent l'huile, d'un autre côté leur production de phénols permet de détruire les radicaux libres sources de vieillissement. Ils stockent le dihydrogène émis par les décharges partielles. Ils sont donc peu présents dans les huiles utilisées dans les transformateurs très sujets au vieillissement, ils sont par contre laissés dans les condensateurs et les traversées isolées.

Les alcènes accélèrent également la dégradation de l'huile et sont donc éliminés. Par ailleurs le soufre qui peut être présent dans l'huile doit être enlevé. Il est en effet fortement corrosif. Les furanes, à savoir le 2-Furfural, doivent également être absent. Pour limiter le vieillissement des additifs antioxydants sont ajoutés à l'huile, on parle alors d'huile inhibée, dans le cas contraire d'huile non-inhibée. Ces additifs disparaissent avec le temps, il convient donc de les renouveler.

2. Isolation en papier

L'isolation papier est réalisée à l'aide de couches de papier superposées, imprégnées d'huile puis séchées. Les pores du papier atteignent alors une grande rigidité diélectrique, des pertes diélectriques faibles et une constante diélectrique proche de celle de l'huile. Il est à noter que le papier associé à l'huile a de bien meilleures propriétés diélectriques que le papier ou l'huile séparément. La présence d'humidité dans l'isolation est très néfaste pour ses propriétés. Cette isolation est ensuite disposée dans le transformateur entre les enroulements et la cuve en suivant la technique des barrières : Les fines couches d'isolation sont alternées avec de l'huile. La partie centrale est simplement constituée de cylindres concentriques, la

contrainte électrique étant purement radiale. L'extrémité des enroulements et le flux de fuite en résultant rendent la partie supérieure plus technique, la solution consiste à alterner des couches pétales espacées entre elles d'environ 8 cm. Auparavant cette partie supérieure faisait des angles droits avec les cylindres centraux, depuis des parties moulées épousent mieux les équipotentielles grâce à leurs formes arrondies.

Les enroulements sont également entourés d'une fine bande de papier isolant afin d'isoler les différents bobinages en parallèle. Au niveau axial, les enroulements sont isolés à l'aide de cales de papier pressé.

L'isolation papier a la propriété de pouvoir absorber une grande quantité d'humidité. Cela détériore ses propriétés diélectriques et augmente considérablement son volume. L'isolation doit donc être séchée avant d'être placée dans la cuve.

II.3.4 La Cuve

Les cuves des transformateurs sont faites de tôles d'acier. Elles doivent pouvoir résister aux forces exercées lors du transport du transformateur. Leur couvercle est amovible et scellé grâce à des boulons ou une soudure. Il est incliné d'au moins 1° afin d'évacuer les eaux de pluie. Afin de garantir l'étanchéité, des joints en caoutchouc synthétique sont utilisés. L'étanchéité doit être parfaite, la cuve est testée sous vide pour contrôler ce point. Par ailleurs, pour résister aux conditions les cuves sont peintes à l'aide d'un revêtement résistant à la corrosion.

Par ailleurs pour les transformateurs de forte puissance, le flux de fuite devient assez important, pour éviter un échauffement trop important des enroulements ou de la cuve, liés au courant de Foucault s'induisant en leurs seins, des écrans sont placés à l'intérieur des parois de la cuve. Ceux-ci conduisent le flux et évitent ainsi son passage dans les autres parties et ainsi leur échauffement. [4]

II.3.5 Système de refroidissement et armoire de commande

a. Système de refroidissement

Le système de refroidissement d'un transformateur a pour but de maintenir les températures des enroulements et de l'isolant (huile par exemple) à des niveaux acceptables. Le choix du mode de refroidissement se fait en particulier en fonction des paramètres suivants : pertes à évacuer, température ambiante extérieure, contraintes de bruit, contraintes dimensionnelles limitant la taille du transformateur, et bien sûr coût.

Un système de refroidissement est caractérisé par un code de quatre lettres :

- ✓ La première lettre désigne le fluide de refroidissement interne :
O: pour l'huile minérale (99 % des cas), K: pour les liquides isolant ayant un point de feu $>300^{\circ}\text{C}$, L: pour les liquides à point de feu non mesurable.
- ✓ La seconde lettre désigne le mode de circulation du fluide de refroidissement interne :

N: pour naturel, F: pour forcé (présence d'une pompe, mais l'huile circule librement), D: pour forcé et dirigé (pompe et l'huile est forcée et dirigée à travers les enroulements).

✓ La troisième lettre indique le fluide de refroidissement externe :

A : pour air, W : pour eau.

✓ Enfin la quatrième lettre désigne le mode de circulation du fluide de refroidissement externe :

N : pour naturel, F : pour forcé (ventilateurs).

Ainsi le mode de refroidissement le plus simple est l'ONAN. Concrètement l'huile colporte la chaleur vers l'extérieur du transformateur et est refroidie à l'intérieur du radiateur, qui évacue la chaleur par convection. Des ventilateurs permettent d'augmenter cette dernière.

Le transformateur de l'unité Eau Minérale LLK est immergé dans l'huile minérale et à refroidissement naturel de type ONAN (Oil Naturel Air Naturel). Si l'on ajoute des ventilateurs sur les radiateurs il devient de type ONAF (Oil Naturel Air Forcé). Sa façon de possibilité de stockage de l'huile c'est la respiration avec conservateur, ça veut dire que c'est un transformateur avec réservoir d'huile à pression atmosphérique. Cela permet la dilatation thermique de l'huile (changement de volume). La surface du diélectrique peut être en contact direct avec l'air ambiant ou en être séparée par une paroi étanche en matière synthétique déformable. Dans tout les cas un assécheur d'air (avec un produit dessiccateur) évite l'entrée d'humidité à l'intérieur du réservoir.

Dans le fonctionnement normal de ce transformateur son type de refroidissement est ONAN, ça veut dire que la température du diélectrique est inférieure au premier seuil à 80 °C (seuil alarme). Au-delà de cette valeur, ça veut dire à l'échauffement du diélectrique causé par divers phénomènes peuvent causés une augmentation de la température du diélectrique au-delà du seuil alarme comme : l'élévation de la température du climat, le fonctionnement en surcharge du transformateur, causant ainsi la dilatation du diélectrique et par conséquent le déclenchement des moto-ventilateurs ; c'est le refroidissement en mode ONAF.

Si l'air forcé n'arrive pas à refroidir le diélectrique et la température dépasse 120 °C (seuil de déclenchement), le relais de protection (SEPAM T87), récupère l'information à partir des sondes de température placées dans le transformateur et donne l'ordre au disjoncteur de couper l'alimentation du transformateur.

b. Armoire de commande

L'armoire de commande est montée sur le coté du transformateur et contient :

- Tous les appareils de commande et de protection des motos ventilateurs.
- Les bornes de raccordement des appareils de protection et de surveillance comme la signalisation avertissement et déclenchement.
- Chauffage commandé par thermostat fiche à contact de protection et éclairage commuté par contact de porte.
- Schéma des connexions.
- Les bornes pour l'alimentation des moteurs et des ventilateurs.

- Un commutateur pour choisir le mode de refroidissement (AUTO/MAN).

II.4 Composant associé au transformateur de puissance LLK

II.4.1 Traversé

Nous désignons par "traversées murales" toutes les traversées isolées servant à la transmission de l'énergie électrique d'un local vers un autre ou vers l'extérieur. Les deux côtés des traversées sont exposés à l'air, mais les conditions atmosphériques sont différentes. La bride et le conducteur doivent être étanches.

En général, la paroi de séparation est au potentiel de terre. Son épaisseur est variable, ainsi que sa nature (mur en brique, en tôle de fer nervures métalliques...). Elles peuvent être montées en position verticale ou horizontale. La partie active est constituée essentiellement d'un corps isolant appelé "fuseau", en papier phénoplaste, obtenu par enroulement autour du conducteur central qu'il s'agit d'isoler.

Dans ce corps isolant sont incorporées des couches conductrices judicieusement placées pour répartir le champ électrique au sein du papier. Ces couches, dont la première est reliée électriquement au conducteur et la dernière à la bride de fixation, frettée sur le corps isolant, forment entre elles un système de condensateurs en série. Côté extérieur, la protection de la partie active contre les intempéries ou la condensation d'eau dans les locaux humides est assurée par une enveloppe en porcelaine. Cet isolateur, formé d'un ou plusieurs éléments, est pressé fortement contre la bride par un système de serrage.

L'espace entre le corps isolant et l'isolateur en porcelaine est rempli d'un produit isolant souple. Côté intérieur, la partie active est recouverte d'un vernis spécial assurant une protection efficace contre tous les risques de reprise d'humidité.

Il est conseillé de ne pas dépasser un degré d'humidité relative de 65%. Pour l'installation éventuelle dans des locaux humides (mais sans formation de rosée), dont l'humidité relative moyenne est de 80%, la protection du fuseau peut être réalisée avec un revêtement spécial en polyuréthane. Toutes les traversées ont, sur la bride, une vis de contact reliant la couche de terre à la masse. Sauf avis contraire, les traversées ne sont pas équipées d'un éclateur de coordination. [3]

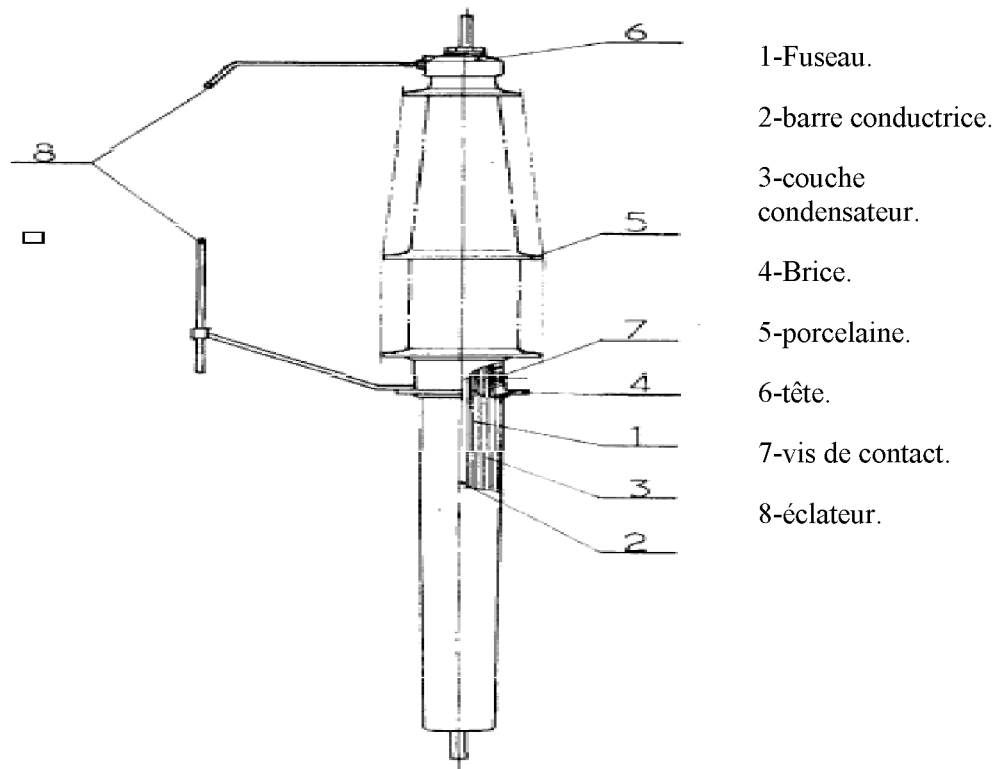


Figure II.8 : Traversé murales

II.4.2 Transformateurs de courant

Un transformateur peut être équipé de transformateurs de courant placés dans les dômes des traversées (à leur pied). Sur les transformateurs de grande puissance, il y a souvent un transformateur de courant de mesure par phase, et plusieurs de protection pour chaque phase et le neutre.

Les transformateurs de courant de mesure permettent de mesurer le courant traversant le transformateur. Ceux de protection donnent des informations aux protections. Ils peuvent mesurer le courant avec une bonne précision même lorsque celui-ci dépasse de plusieurs facteurs d'ordre le courant nominal contrairement aux transformateurs de mesures qui ne sont précis que pour des valeurs proches de la valeur nominale.

Un enroulement est souvent prévu pour brancher un système dit image thermique qui permet d'évaluer les échauffements des enroulements.

Le transformateur de puissance de LLK possède quatre types de TC :

- **TC primaires** : (type : 200/2 – 10VA – classe 3).

Est un transformateur de courant utilisé pour alimenter l'indicateur de température de l'enroulement HT.

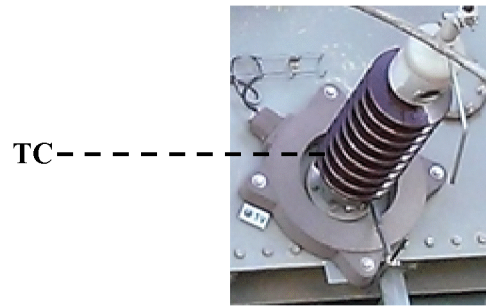


Figure II.9 : TC Primaire transformateur

- **TC secondaire :** (type 350/2 – 10 VA – classe 3).

Est un transformateur de courant utilisé pour alimenter l'indicateur de température de l'enroulement MT.

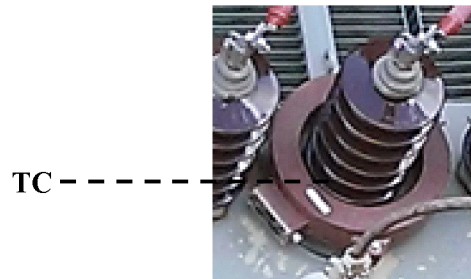


Figure II.10 : TC Secondaire transformateur

- **TC point neutre HT et MT :** (type B20 – 300/5 – 10VA – classe.10 P10).

Est un transformateur de courant utilisé pour la mesure du courant du point neutre HT. Et pour la partie MT pour la mesure du courant des masses des têtes d'extrémités des 3 phases du secondaire transformateur.

- **TC masse cuve :** (type B20 – 100/5 – 10 VA – classe10 P10).

Il permet de mesurer l'intensité du courant de défaut entre la masse de la cuve et la terre.

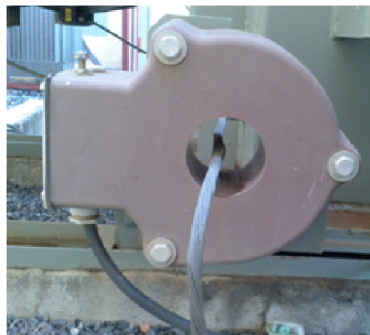


Figure II.11 : Transformateur de courant type B 20

II.4.3 Conservateurs

Le conservateur est un réservoir d'huile surplombant le transformateur. La température de l'huile n'étant pas constante ; elle dépend de la température extérieure et de la charge du transformateur, elle se dilate plus ou moins selon les circonstances. Ainsi une augmentation de la température de 100 kelvins entraîne une augmentation de volume d'huile de l'ordre de 7 à 10 %. Il est donc nécessaire en cas de forte température de stocker le surplus. Dans le cas des transformateurs dit «respirant» ce rôle est rempli par le conservateur.

Ce cylindre métallique peut être séparé en deux parties distinctes à l'aide d'une membrane de caoutchouc, dit « diaphragme», d'un côté l'huile du transformateur, de l'autre de l'air sec (de l'humidité pourrait avec le temps traverser la membrane et dégrader les propriétés diélectriques de l'huile).



Figure II.12 : Le conservateur d'huile du transformateur

Le conservateur est rendu sec grâce à un dessiccateur se trouvant entre la poche d'air et l'extérieur. L'huile peut donc monter ou descendre dans le conservateur sans être en contact avec l'air.

II.4.4 Capteurs divers

Le transformateur de puissance contient de nombreux capteurs pour collecter tout un ensemble de paramètres pouvant devenir critiques. Des systèmes électroniques modernes peuvent ensuite centraliser les informations pour les interpréter, les transmettre à l'exploitant et au besoin déclencher alarmes et systèmes de protection.

La température de l'huile est mesurée en haut de la cuve. Un thermomètre à résistance de platine peut être utilisé (PT 100). La température ambiante est mesurée autour du transformateur. La température moyenne des enroulements est mesurée de manière indirecte au moyen d'une image thermique, il est constitué d'une résistance reliée au secondaire d'un transformateur de courant, son échauffement est alors proportionnelle à celui de l'enroulement principal. Plusieurs sondes reliées grâce à des fibres optiques peuvent permettre de mesurer la température du point chaud. La pression à l'intérieur du transformateur peut également être

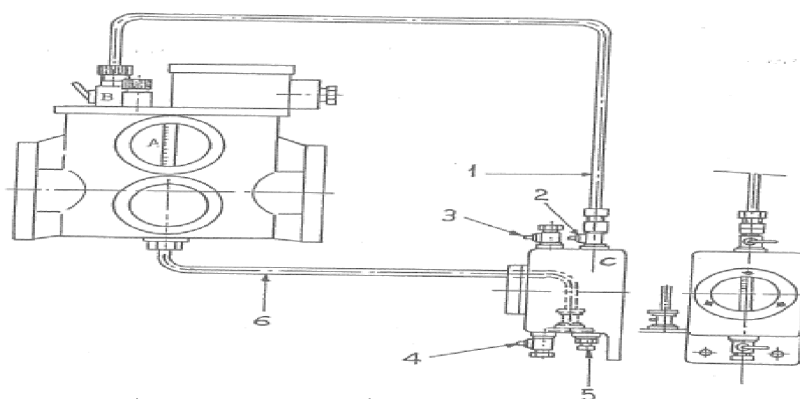
contrôlée. Le débit d'huile dans les radiateurs est mesuré. Le niveau d'huile dans la cuve est mesuré. Une mesure de l'humidité de l'huile est également réalisée. Les détecteurs de gaz peuvent fonctionner selon plusieurs principes :

- à chromatographie en phase gazeuse, La chromatographie est une technique utilisée principalement en laboratoire pour faire l'analyse des gaz pour mesurer avec précision l'ensemble des gaz présent dans l'huile. Cette technique est précise mais onéreuse, ce qui limite pour l'instant son usage aux transformateurs les plus puissants ou les plus critiques.
- à spectrographie photo-acoustique, La spectrographie photo-acoustique mesure l'onde sonore produit quand on irradie brutalement un gaz à l'aide de rayonnement tel que des infrarouges. Elle est globalement moins chère que la précédente et ne nécessite pas de calibration.
- pile à combustible : Cette méthode pile brûle les gaz extrait et produit ainsi un courant qui peut être mesuré. Elle a l'avantage d'être compacte et peu onéreuse, par contre il est difficile de différencier quel gaz est présent dans le transformateur et les gaz non combustibles ne sont pas détectés.
- conductivité thermique : Dans cette méthode l'hydrogène est extrait de l'huile par capillarité, sa concentration est ensuite mesurée grâce à la conductivité thermique. L'avantage de cette méthode est qu'elle mesure en parallèle l'humidité, qui est également un paramètre important.

II.4.5 Relais Buchholz

II.4.5.1 Principe du dispositif

Tout dégagement de gaz qui se produit dans un transformateur est à priori anormal qu'il s'agisse de gaz combustible provenant d'un échauffement local et d'une carbonisation d'isolant ou de gaz non combustible des dispositions sont prises dans le transformateur pour conduire ces gaz à la partie supérieure du couvercle ou ils sont récupérés par une tuyauterie qui les conduit vers le relais dans buchholz La présence de gaz dans ce relais sera toujours le signe d'un fonctionnement anormal sans être dangereux si les gaz ne sont pas combustibles. Malheureusement ce buchholz se trouve toujours près des parties sous tension du transformateur et la vérification des gaz oblige à mettre le transformateur hors tension



- 1: Tubulure de raccordement au relais.
- 2 : Robinet d'isolement vers relais 1/4.
- 3: Robinet de prélèvement de gaz 1/4.
- 4 : Robinet de vidange d'huile 1/4.
- 5: soupape d'entrée d'air pour essai des circuits du relais.
- 6 : vidange.

Figure II.12 : Relais Buchholz

II.4.5.2 Fonctionnement du dispositif

En fonctionnement normal, la chambre de gaz (A) du Buchholz est pleine d'huile, le robinet (B) ouvert le tuyau plein d'huile ainsi que la chambre de gaz (C) les robinets (3) et (4) sont fermés. Si des gaz se sont accumulés dans le relais Buchholz et qu'on désire les analyser on ouvre le robinet (4) de l'huile s'écoule jusqu'à ce que la pression exercée par l'huile de conservateur ait chassé les gaz de la chambre du buchholz dans la tuyauterie et la chambre (4), ces gaz arrivant par le raccord (1) iront s'accumuler a la partie supérieure de la chambre (C).

Les principes de fonctionnement du relais Buchholz sont présentés au moyen de l'exemple d'un appareil à deux flotteurs, en cas de perturbation survenant à l'intérieur du transformateur, le relais Buchholz réagit comme suit :

II.4.5.2.1 Accumulation de gaz

- **Défaut** : présence du gaz non dissous dans le diélectrique liquide.
- **Réaction** : les gaz montent vers le haut, s'accumulent dans le relais Buchholz et délogent le diélectrique liquide. L'abaissement du niveau du liquide fait tomber le flotteur supérieur. Le mouvement du flotteur provoque l'actionnement d'un contact (tube commutateur magnétique), et par la suite le déclenchement d'une alarme.

La position du flotteur inférieur n'est pas touchée, car à partir d'un certain seuil, l'excès de gaz s'évacue par la tuyauterie vers le bac d'expansion.

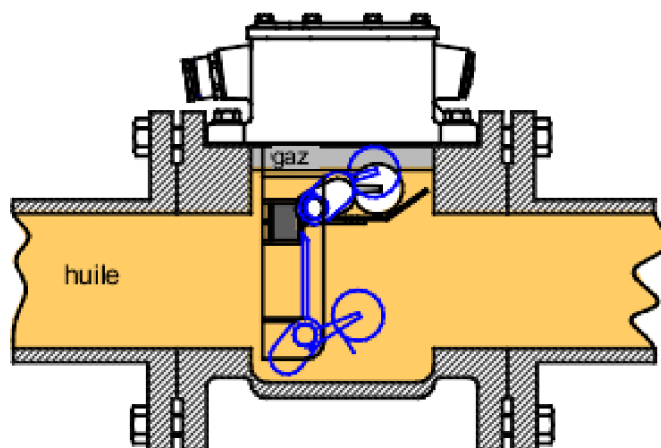


Figure II.13 : Accumulation de gaz

II.4.5.2.2 Perte de diélectrique liquide

- **Défaut** : présence du gaz non dissous dans le diélectrique liquide.
- **Réaction** : les gaz montent vers le haut, s'accumulent dans le relais Buchholz et délogent le diélectrique liquide. L'abaissement du niveau du liquide fait tomber le flotteur supérieur. Le mouvement du flotteur provoque l'actionnement d'un contact (tube commutateur magnétique), et par la suite le déclenchement d'une alarme.

La position du flotteur inférieur n'est pas touchée, car à partir d'un certain seuil, l'excès de gaz s'évacue par la tuyauterie vers le bas d'expansion.

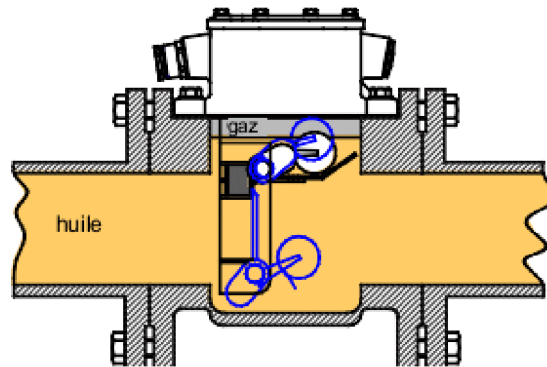


Figure II.14 : Perte de diélectrique liquide

II.4.5.2.3 Forte vitesse d'écoulement de diélectrique liquide

- **Défaut :** suite à un brusque événement se crée une onde de compression qui se propage vers le bac d'expansion.
- **Réaction :** le courant de liquide se heurte à la vanne de retenue aménagée, si la vitesse d'écoulement devient supérieure au seuil de fonctionnement de la vanne de retenue, cette dernière se déplace dans le sens d'écoulement tout en actionnant un contact. Ceci provoque la coupure du transformateur.

Après l'atténuation de l'onde de compression, le système de contact inférieur retourne dans sa position initiale. Le relais Buchholz possède une vanne de retenue qui est maintenue dans sa position initiale. Donc le relais Buchholz est un dispositif qui assure la protection et le bon fonctionnement du transformateur.

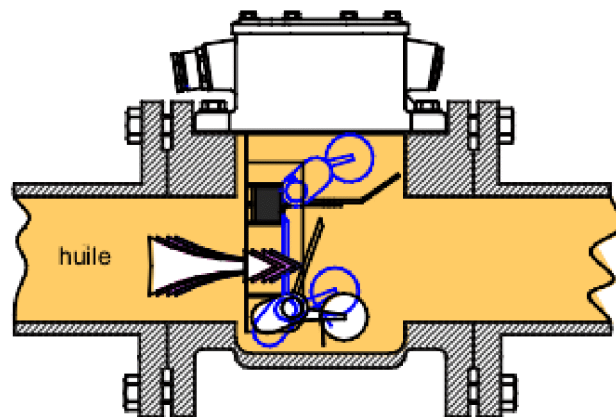


Figure II.15 : Forte vitesse d'écoulement de diélectrique liquide

II.4.6 Les soupapes de sécurités

Une soupape de sûreté ou soupape de sécurité est un dispositif de protection contre les surpressions dans des ensembles soumis à pression et dans tout système où la circulation du

fluide ou bien gaz ne devrait s'effectuer que dans un sens. On installe une soupape de sécurité sur les réservoirs, tuyauteries de gaz, liquide pouvant être soumis à des variations de pression.

Une soupape permet d'évacuer du fluide ou bien un gaz surcomprimé vers l'extérieur lorsque la pression atteint la valeur limite pour laquelle elle a été tarée, ce qui permet de garder en bon état de fonctionnement tout le circuit, et d'éviter surtout les incidents domestiques ou professionnels. Une fois la pression retombée, la soupape se referme.

Dans la grande majorité des cas, la soupape de sécurité ne doit pas entrer en action, car la montée de pression peut être régulée de façon automatique via une baisse de la température. Elle ne se met en action que si les autres dispositifs destinés à limiter la pression ont failli ou se sont montrés inactifs.

Le transformateur de puissance de LLK est muni d'une soupape de type T 125 qui est utilisée pour contrôler la pression intérieure du réservoir du transformateur, plus précisément lorsque la pression peut subir accidentellement des augmentations instantanées et incontrôlées avec le risque d'explosion.

Sa caractéristique spécifique est de pouvoir évacuer vers l'extérieur en quelques millièmes de secondes l'augmentation de pression qui s'est produite par dilatation de l'huile isolante dans la cuve. Elle est largement utilisée dans les cuves métalliques des transformateurs électriques refroidis par huile. En fait, si à l'intérieur de ces cuves se produit un court-circuit soudain et violent, un énorme volume de gaz se forme instantanément, ce qui entraîne une augmentation considérable de la pression intérieure. Si cette pression ne peut être évacuée vers l'extérieur, le transformateur explosera, avec toutes les conséquences qui en découleront.

Pour éviter cela, il est donc indispensable de monter une ou plusieurs soupapes qui possèdent une section d'échappement proportionnelle au volume d'huile contenu dans le transformateur. Il peut également être utile de les monter dans tous les autres cas où la valeur de la pression intérieure ne doit pas dépasser les limites de sécurité données.

II.4.7 Régleur en charge

L'enroulement haute tension des transformateurs comporte un enroulement de réglage avec prises disposées sur chaque phase côté neutre. Ces prises sont raccordées à un changeur de prises en charge manœuvrable électriquement sur place et à distance et manuellement sur place au moyen d'une manivelle. Le changeur de prises en charge doit être conçu de façon telle que l'évacuation des gaz du commutateur s'effectue sans pollution de l'huile du transformateur.

Une vanne avec bouchon d'étanchéité autorisant le raccordement d'une tuyauterie souple doit être disposée sur le changeur de prises en charge pour permettre la vidange

partielle du compartiment du commutateur en cas de dépose. Le compartiment du changeur de prises en charge doit être conçu pour supporter les Surpressions. [6]

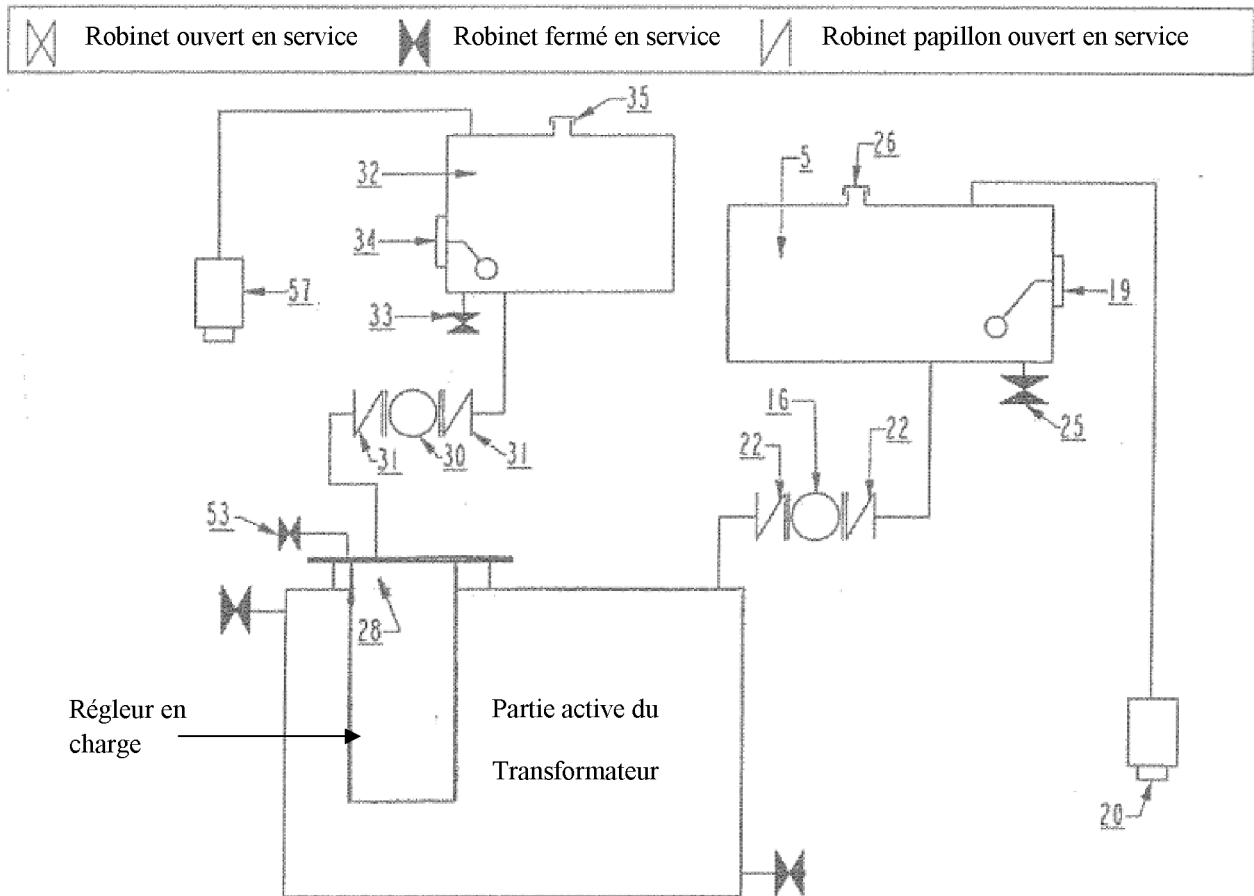


Figure II.16 : Schéma des deux conservateurs séparés [3]

- 5 : Conservateur principal
- 16 : Relais Buchholz
- 19 : Indicateur de niveau d'huile du conservateur principal
- 20 : Assécheur d'air pour le transformateur
- 22 : Robinet d'isolement du relais Buchholz
- 25 : Robinet de vidange du conservateur principal
- 26 : Orifice de remplissage du conservateur principal
- 28 : régleur en charge
- 30 : Relais de protection du régleur en charge (relais RS 2001)
- 31 : Robinet d'isolement du relais RS 2001
- 32 : réservoir du régleur en charge
- 33 : Robinet de vidange du conservateur régleur
- 34 : Indicateur de niveau d'huile du conservateur du régleur en charge
- 35 : Orifice de remplissage du conservateur du régleur en charge
- 53 : Robinet de siphonage du régleur en charge
- 57 : Assécheur d'air du conservateur du régleur

II.5 Défaut et protection

II.5.1 Défauts

En générale les transformateurs sont soumis à quatre types de défaut :

- les surcharges.
- les courts-circuits.
- les défauts à la masse.
- les surfluxages.

Dans le premier cas, l'intensité du courant traversant le transformateur devient trop grande, ce qui conduit à une augmentation de la température interne du transformateur ce qui est nuisible à la durée de vie.

Les courts-circuits sont eux de deux types :

- Interne : Les premiers sont dus à des arcs entre les enroulements, ils entraînent une dégradation rapide de l'huile et la formation de gaz qui peuvent mener à des incendies ou à l'explosion du transformateur
- Externe : Les seconds entraînent principalement une forte contrainte mécanique sur les enroulements et peuvent s'ils sont prolongés mener à un court-circuit interne.

Les défauts à la masse sont comparables aux courts-circuits internes avec une connexion entre le bobinage et le noyau ou la cuve.

Le surfluxage : ce n'est qu'une hausse du flux magnétique dans le noyau de fer du transformateur. Il est causé soit par une surtension, soit par une baisse de la tension.

Dans tous les cas, si un défaut est détecté, il convient de déconnecter au plus vite le transformateur. Concrètement un relais envoie un ordre d'ouverture (de déclenchement) au disjoncteur relié au transformateur.

II.5.2 Protection

Toutes les protections présentes sur le transformateur de puissance 15 MVA sont assurées par le SEPAM T87. [System for Electronic Protection Automation and Measurement].

II.5.2.1 Définition du SEPAM T87

C'est un relais de protection qui sert à protéger le transformateur 15 MVA, lors de la présence de l'un des défauts précédant. En cas de défaut le relais SEPAM T87 envoie un ordre d'ouverture (de déclenchement) au disjoncteur relié au transformateur et affiche l'alarme associée et la communique au système de supervision.



Figure II.17 : Le SEPAM T87

II.5.2.2 Protections contre les défauts entre phases

II.5.2.2.1 Protection contre Défaut en amont du transformateur 15 MVA

Le défaut est éliminé par le relais de protection du transformateur. Un seuil haut permet l'élimination rapide de la plupart des défauts établis, si la P_{cc} est suffisante (les 2 postes 63 kV sont opérationnels). Ce seuil est réglé assez haut pour être insensible aux défauts en aval du transformateur, mais inférieur au courant de court-circuit minimum. Un autre seuil, temporisé suffisamment pour être sélectif avec les relais de protections situés en aval du transformateur, permet d'éliminer un défaut établi en amont du transformateur quand la P_{cc} est très réduite (un seul poste 63 kV opérationnel).

Un seuil bas permet l'élimination de défauts impédants. Il est temporisé à temps dépendant pour permettre la sélectivité avec les relais situés en aval du transformateur. Le relais de l'arrivée 63 kV est temporisé pour être sélectif avec le relais de protection du transformateur. [3]

Cette protection n'a qu'une fonction de secours du relais de protection du transformateur

Localisation	T01 – transformateur 15 MVA– coté 63kV
Nom de la simulation	TR_63kV
Type de relais	Sepam T87
TC	3x100-200A/1A 5P20
Capteur homopolaire	1x300A 10P10 + CSH30? sur la connexion du neutre à la terre. 1x100A 10P10 + CSH30 sur la liaison masse-cuve.
TT	3x 63kV/ $\sqrt{3}$ - 100V/ $\sqrt{3}$

Tableau II.3 : Protection contre Défaut en amont [3]

II.5.2.2.2 Protection contre les surcharges

Des protections à image thermique sont utilisées. Un capteur de débit d'huile permet de s'assurer de la bonne circulation de l'huile dans le circuit de refroidissement. Son code ANSI (American National Standards Institute) est **49 RMS** :

- Seuil d'alarme à 100 % de l'échauffement.

Et pendant une constante du temps de 10 à 30 minutes sa sera le :

- Seuil déclenchement à 120 % de l'échauffement.

II.5.2.2.3 Protection contre les courts-circuits

Pour les courts-circuits, des relais Buchholz sont utilisés dans le cas de transformateur respirant, et des protections à maximum courant de phase instantanée protègent des courts-circuits violents au primaire. Son code ANSI est **50/51** :

- Le premier seuil à 220 A pendant une durée de 1.5 s, provoque un déclenchement
- Le deuxième seuil à 1.23 kA pendant 8 s, provoque aussi un déclenchement.

II.5.2.2.4 Protection défauts terre

Par ailleurs une protection différentielle mesure par l'intermédiaire des transformateurs de courant comme toutes les protections liées au courant, la différence entre les courants entrants dans le transformateur et ceux en sortant et protège le transformateur contre les courts-circuits entre phase. Ces protections peuvent être également capables de détecter les défauts entre spires. Et son code ANSI est **64 REF** :

- Si le seuil atteindra 15 A il y aura un déclenchement.

On peut également isoler la cuve du transformateur de la masse, et mesurer le courant dans la connexion reliant la cuve et la masse, on parle alors de protection maximum de courant masse-cuve. Son code ANSI est **51G** :

- Si le seuil > 20 A pendant 0.1 s il y aura un déclenchement.

On a deux autres protections défauts terre ; une appelée maximum de courant terre instantanée calculée et mesurée avec les trois TC (200/1). Et son code ANSI est **50 N** et une autre protection appelée maximum de courant terre temporisée calculée et mesurée toujours avec les trois TC (200/1). Et son code ANSI est **51 N**.

- Si $I_0 > 200$ A pendant 0.1 s il y aura déclenchement du transformateur.
- Si $I_d > 30$ A pendant 0.1 s il y aura un déclenchement du transformateur.

II.5.2.2.5 Protection défaut disjoncteur

C'est une protection de secours délivrant un ordre de déclenchement aux disjoncteurs en cas de non-ouverture du disjoncteur après un ordre de déclenchement, détectée par la non-extinction du courant de défaut. Et son code ANSI est **50 BF**.

II.5.2.2.6 Protection surfluxage

Le flux est directement proportionnel au rapport tension sur fréquence, si le phénomène devient trop fort il y aura déclenchement du transformateur, et son code ANSI est **24** :

- Si le seuil $> 1.05 U_n/f_r$ pendant 1 heure il y aura un déclenchement du transformateur.

II.6 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre on s'est intéressé à faire une étude générale d'un transformateur de distribution de 15 MVA de lala Khedidja. Lors de ce chapitre on s'est intéressé aux différents constituants principaux du transformateur, les différents défauts auquel sera soumis le transformateur ainsi que les différents moyens de protection de ce dernier.

III.1 Introduction

Les tensions appelées par les différents utilisateurs, dans un réseau, changent constamment, provoquant, du fait des chutes de tension, une variation dans le temps de la tension aux divers points du réseau. Ces variations sont de plusieurs sortes :

- Les variations rapides (durée d'une fraction de seconde à la dizaine de seconde) dues à l'enclenchement d'appareils, à des fluctuations de puissance (fours à arc), à des manœuvres dans le réseau. Elle provoque des perturbations dans l'éclairage, le fonctionnement des appareils électronique, des moteurs, etc.
- Les variations lentes (durée supérieure à la dizaine de seconde et pouvant s'étendre sur plusieurs heures) dues à la mise en ou hors service progressive de nombreux équipements de faible puissances et à des changements de régime de fonctionnement. La gêne causée aux utilisateurs provient du fait que la valeur moyenne de la tension se trouve trop au-dessous de la tension normale de fonctionnement.

Nous ne considérons que les variations lentes de tension pour lesquelles les possibilités de réglage de tension des transformateurs offrent une solution.

III.2 Histoire du changeur de prise

Les premiers changeurs de prises sont réactifs. L'apparition du premier changeur de prises en Charge résistif date de 1926 lorsque le docteur Bernhard Jansen déposa le brevet 474 613 du changeur de prise résistif, décrivant le principe de fonctionnement toujours en usage de nos jours. Soucieux d'industrialiser son invention, il confie sa fabrication à la Maschinenfabrik Reinhausen (fabriquant de machine de Rheinhausen MR) à Ratisbonne. [3]

Si les premiers sont installés en 1929, il faut attendre les années 1950 pour qu'ils dominent le marché au Royaume-Uni et les années 1980 aux Etats-Unis. De nos jours les changeurs de prises résistif sont majoritaires dans le quasi totalité des pays. Si bien-sûr des améliorations techniques furent faites entretemps, la principale innovation arriva en 2000 quand MR lança le premier changeur de prise utilisant des interrupteurs à vide évitant le souillement de l'huile et permettant des délais entre les maintenances beaucoup plus importants. [3]



Figure III.1 : Changeur de prises selon le principe de Jansen avec son module de contrôle, construit en 1952 et exposé au Deutsches Museum

III.3 Définition d'un changeur de prise

Un changeur de prise d'après la désignation de la commission électrotechnique internationale (CEI), régleur en charge, d'après la désignation RTE (Transport de Réseau Electrique). Le changeur de prises est un appareil permettant au transformateur de faire varier son rapport de transformation en jouant sur la valeur de l'inductance de ses enroulements (au primaire ou au secondaire). Cela permet de régler le niveau de tension du réseau électrique (Elles permettent donc de garder la tension secondaire à sa valeur nominale même si la tension appliquée au primaire est plus faible que la tension nominale). Il est situé en général sur le côté du transformateur et dispose d'une cuve d'huile séparée. Les arcs électriques se produisant lors de la commutation des prises décomposent en effet l'huile et nuisent aux propriétés diélectriques de celle-ci, il est donc nécessaire de ne pas la mélanger avec l'huile saine. [4]

III.4 Différents types de changeur de prise

III.4.1 Changeur de prises hors circuit

Le changeur de prises hors circuit permet de modifier l'impédance d'un enroulement du transformateur (généralement le primaire). Il n'y a pas d'enroulement dans le changeur de prise. Le changeur de prises hors circuit ne contient pas de commutateur, seulement un sélecteur. Dans un changeur de prises hors circuit, le changement de prises se fait de manière manuelle.

Ce changement de prise peut mener à la formation d'un arc électrique qui va causer l'apparition de gaz dans l'huile et au déclenchement de relais de protection **DMCR**

(dispositif de mesure et contrôle régime) ou bien s'appelle aussi le **DGPT (détecteur de gaz et pression température)** du transformateur.

Ils sont surtout utilisés pour les transformateurs de distribution, ou pour des transformateurs auxiliaires. Ainsi le transformateur d'une centrale électrique connecté au réseau peut avoir intérêt à être équipé d'un changeur de prises hors circuit, la prise est réglée avant chaque synchronisation.

III.4.2 Changeur de prises en charge mécanique

Un changeur de prises en charge reprend le principe d'un changeur de prises hors-circuit mais il peut modifier la prise sans interrompre le transfert d'énergie, ce qui est capital dans un réseau électrique. Il doit le faire sans court-circuiter aucune partie de l'enroulement du transformateur.

Le changeur de prise en charge mécanique est constitué principalement de deux parties généralement distinctes :

- le sélecteur : c'est un dispositif destiné à être parcouru par le courant, mais non à l'établir ou à le couper.
- le commutateur : c'est un dispositif qui a donc la fonction d'établir ou de couper le courant. Dans le cas d'un cycle en drapeau sélecteur et commutateur sont confondus.

III.4.3 Changeur de prises électronique

Les changeurs de prises en charge mécanique ont le défaut principal d'être lents : 3 à 10 secondes pour une permutation, de 50 à 100 ms pour le seul mouvement du commutateur, classique ou à interrupteurs à vide. Ils sont également des pièces mécaniques complexes et donc coûteuses. L'échauffement produit par la résistance de commutation limite le nombre de changements consécutifs réalisables par un changeur de prise. Pour stabiliser la tension sans recourir aux changeurs de prises.

Ces dispositifs sont constitués des éléments d'électroniques de puissance, ils ont la particularité d'être très rapide. En conséquence, l'idée de construire un changeur de prises avec de l'électronique de puissance permettant de combiner les avantages des deux systèmes a germé. Enfin, avant l'apparition des changeurs de prises à interrupteurs à vide, l'usage d'électronique de puissance semblait la seule solution pour éviter les arcs dans l'huile et les maintenances les accompagnants.

III.5 Changeur de prises du transformateur de LLK

Le changeur de prises du transformateur de puissance de l'unité Lalla Khedidja est un changeur de prises mécanique, il est constitué de :

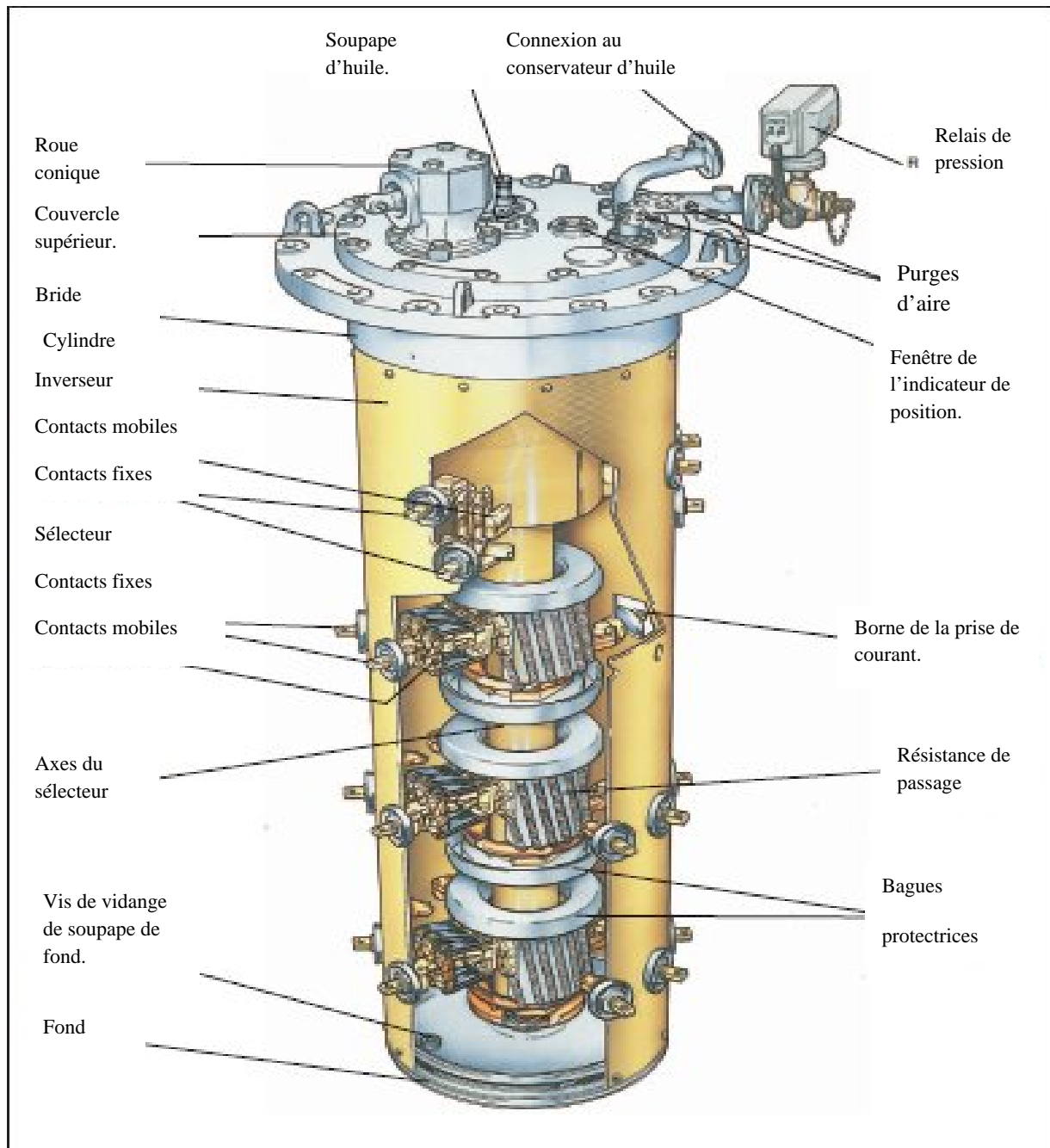


Figure III.2 : Changeur de prises du transformateur de LLK [3]

III.5.1 Enroulement de réglage

Physiquement, un changeur de prises permet de modifier l'inductance de l'enroulement primaire ou secondaire d'un transformateur de puissance. Pour ce faire un enroulement supplémentaire appelé enroulement de réglage est intégré au transformateur. Il est connecté en série à l'un de ses enroulements (enroulement primaire dans le cas du transformateur de puissance de LLK). Il est subdivisé en petites sections d'un nombre de spires régulier qu'on peut brancher séparément, on dit que l'on branche telle ou telle « prise ». [3]

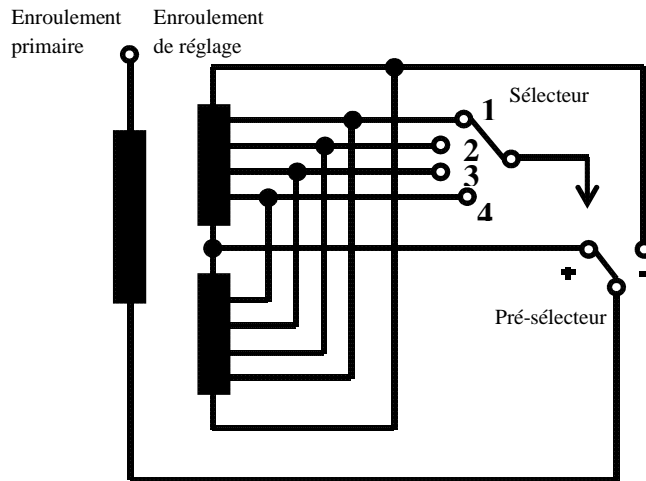


Figure III.3 : Principe de l'enroulement de réglage

Pour économiser de l'isolation, et ainsi réduire la taille et le coût du transformateur, l'enroulement de réglage est intégré directement à l'un des deux autres enroulements quand cela est possible. Il est nettement séparé dans les transformateurs de grande puissance (comme le transformateur de puissance de LLK).

La majorité des transformateurs ont leurs enroulements de réglage connecté au primaire. En effet la puissance provient en général du primaire et est transporté vers le secondaire (à l'exception notable des transformateurs accolés à des générateurs), la tension appliquée se trouve au primaire.

III.5.2 Sélecteur

Le sélecteur sert donc à sélectionner la prise par laquelle va circuler le courant en régime permanent. En plus de la partie linéaire, un pré-sélecteur peut être ajouté afin d'augmenter le nombre de prises ou leurs amplitudes. Il peut être de deux types : à réglage grossier ou inverseur. Le pré-sélecteur à réglage grossier permet d'ajouter ou non un nombre important de spires aux précédentes prises et le pré-sélecteur inverseur permet quant à lui d'ajouter ou de soustraire des spires.

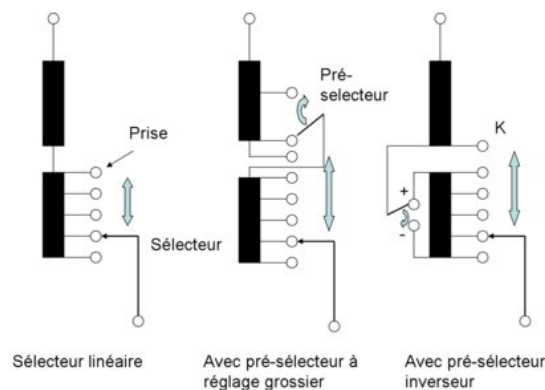


Figure III.4 : Les différents types de sélecteur

Donc, le type de sélecteur utilisé dans le changeur de prise du transformateur de puissance de LLk est le sélecteur avec un pré- sélecteur inverseur (commutation plus ou moins).

III.5.2.1 Le boîtier du sélecteur

Le compartiment d'huile du changeur de prises est séparé de l'huile du transformateur par le biais d'un cylindre résistant au vide, conçu pour supporter une pression d'essai de 100 kPa ou un vide total. Ce cylindre est réalisé en plastique renforcé à la fibre de verre.

L'extrémité supérieure présente une bride métallique et l'extrémité inférieure un fond métallique fermé. Le fond, la bride, le capot supérieur et les accessoires montés sur ce capot sont en fonte d'aluminium.

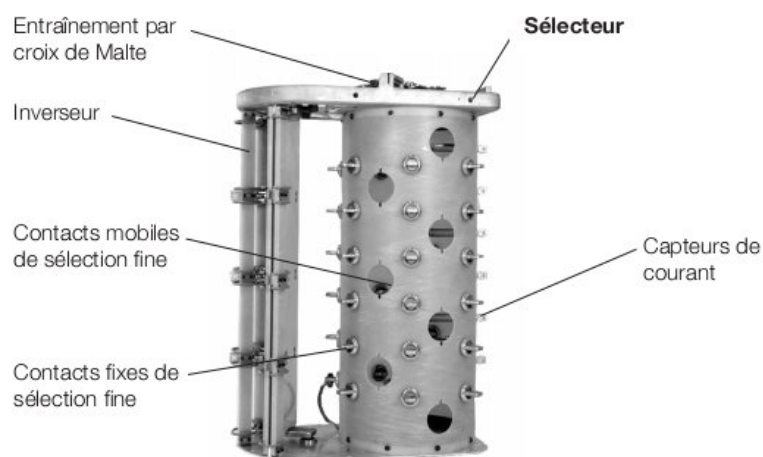


Figure III.5 : Le boîtier du sélecteur

Le cylindre et la garniture sont conçus pour être étanches à l'huile. Cette précaution garantit la séparation entre l'huile contaminée du changeur de prises et l'huile du transformateur. Le capot supérieur est pourvu de brides de raccordement pour les tuyaux aboutissant au conservateur d'huile et au relais de pression. [3]

III.5.2.2 Les contacts du sélecteur

Le sélecteur se compose d'un système de contacts fixes et mobiles.

Les contacts fixes sont montés sur des bagues insérées à travers la paroi de cylindre du boîtier du sélecteur. Chaque contact fixe possède deux lignes de contact de chaque côté, l'une pour le contact principal mobile et l'autre pour les contacts de commutation mobiles.

Le système de contacts mobiles d'une unité monophasée se compose du contact principal, du contact de commutation principal et de deux contacts de transition. Le système est construit sous la forme d'un dispositif rigide pivotant par le biais d'un axe de transmission commun isolé. En position de service, le courant de charge est transmis par le contact principal mobile, qui consiste en deux griffes maintenues contre le contact fixe au moyen de ressorts.

Le contact de commutation mobile et les contacts de transition sont apparentés à des rouleaux, qui se déplacent sur les contacts fixes en forme de lame (Voir la Fig.III.2). La génération et la rupture du courant s'effectuent entre les contacts de commutation fixes et mobiles.

Les contacts de commutation sont en cuivre/tungstène ou en cuivre uniquement, dans le cas de changeurs de prises de plus faible intensité. En position de service, le courant est véhiculé par des surfaces propres de cuivre ou d'argent, non sujettes à la formation d'arcs électriques.

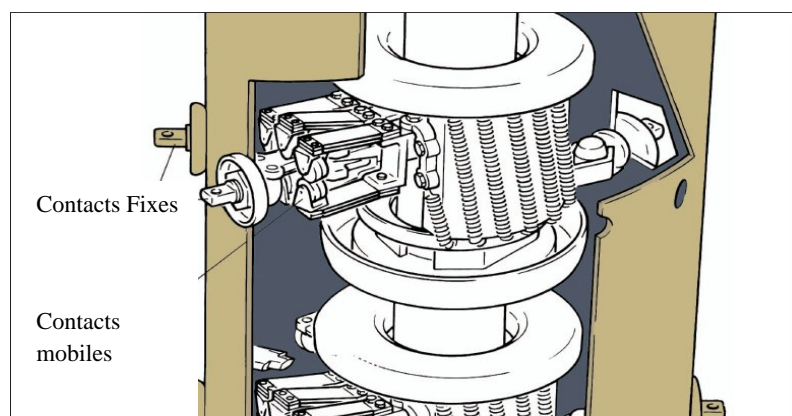


Figure III.6 : Contacts fixe et mobile

III.5.2.3 Inverseur

L'inverseur permet d'inverser l'enroulement d'équilibrage ou de modifier la connexion dans le réglage approximation/ précision.

Une phase de l'inverseur comprend un contact mobile et trois contacts fixes. Le contact mobile est installé sur un cylindre isolé, monté en pivot au sommet de l'axe de transmission voir (Fig.III.6.). Le courant est véhiculé par les quatre griffes du contact mobile. Les surfaces de contact sont en argent et en cuivre. L'inverseur n'assure ni la production ni la rupture du courant en cours de fonctionnement.

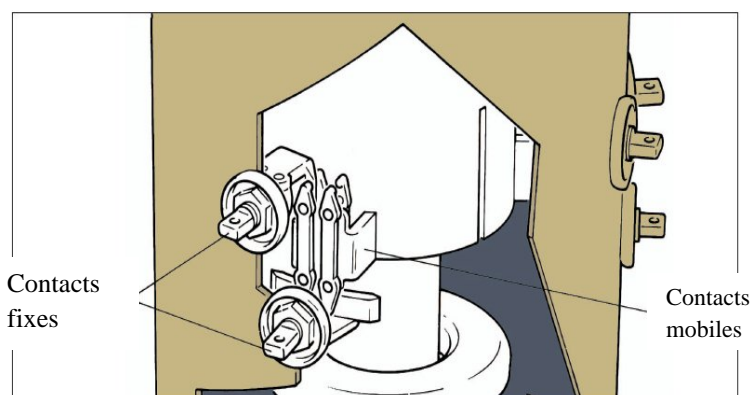


Figure III.7 : Inverseur

III.5.2.4 Résistance de passage

Les résistances sont faites de fil enroulé en spirale sur des bobines isolantes. Elles sont connectées entre le contact principal mobile et les contacts de transition.

III.5.3 Le commutateur

III.5.3.1 Principe

Le changement de prise nécessite le passage par un État où 2 prises sont simultanément fermées (dans le schéma ci-contre (Fig.III.8) la 2^{ème} et la 3^{ème}), un courant de commutation s'établit alors entre la prise 2 et 3, il circule au travers du commutateur (A, B). Il est nécessaire de limiter au maximum ce courant pour éviter qu'il n'endommage la bobine, pour cela deux résistances sont présentes dans le circuit (A et B). Ces résistances sont souvent réalisées en nickel-chrome. Pour ne pas introduire de résistances inutiles en régime permanent, ces résistances ne sont connectées que lors de la commutation. Le commutateur utilisé dans le changeur de prise du transformateur de puissance de LLK est : le commutateur cycle en drapeau.

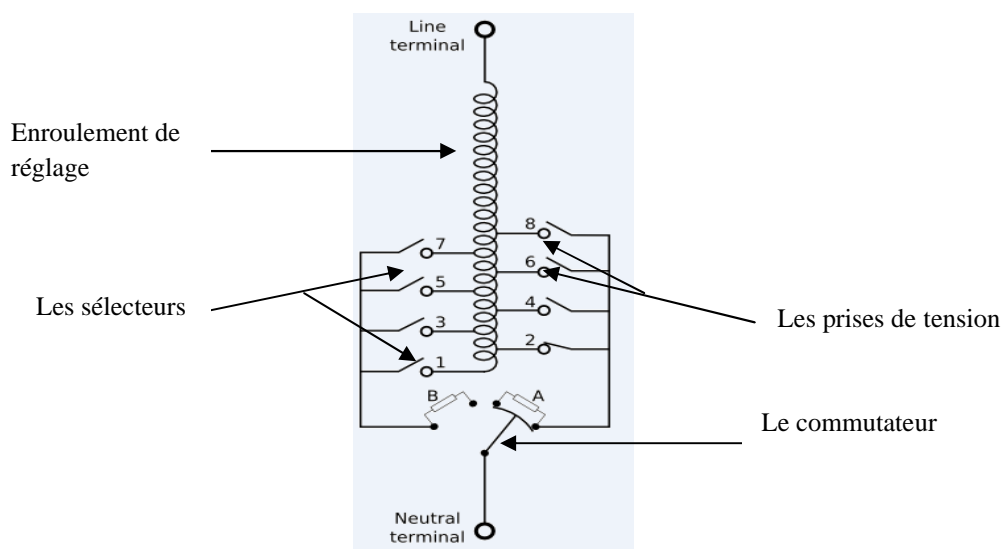


Figure III.8 : Le système de commutation en drapeau

III.5.3.2 Commutateur cycle en drapeau

Dans un cycle en drapeau, le courant traversant est commuté des contacts principaux de commutation avant que le courant de circulation ne s'établisse.

Voici un exemple qui nous montre le fonctionnement du mécanisme de commutation en drapeau : (comment aller de la prise 2 à la prise 3).

- Le sélecteur de la droite sélectionne la prise 2.

- Le commutateur se met en action, le courant traversant circule alors à travers la résistance A.

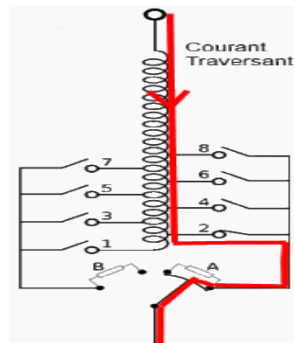


Figure III.9 : Sélecteur en prise 2 et le commutateur en A

- Le sélecteur de la gauche sélectionne la prise 3.
- Le contact entre A et le commutateur est ouvert, le courant de circulation est interrompu (arc électrique), le courant traversant circule à travers la résistance B.
- Le commutateur atteint le contact B, les deux prises sont alors connectées ensemble, un courant de circulation s'établit, il est limité par les deux résistances.

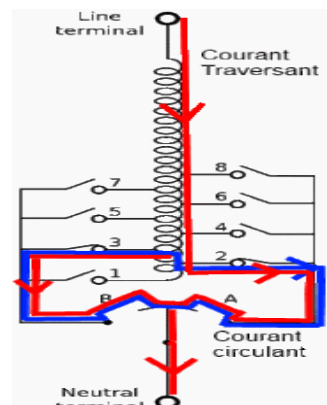


Figure III.10 : Création du courant de circulation [3]

- Le contact principal en B est fermé. La résistance est court-circuitée.
- Le sélecteur de droite n'est plus traversé par aucun courant, il peut donc se déplacer à sa guise vers une autre prise.

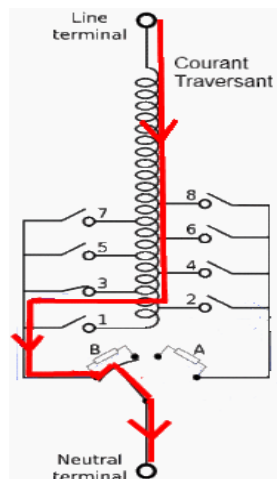


Figure III.11 : Sélecteur en prise 3 et le commutateur en B [3]

III.5.4 Entraînement par croix de malte

Le principe de l'entraînement par croix de Malte permet de convertir un mouvement rotatif en mouvement intermittent. L'entraînement est transmis par le biais d'un système d'axes et de roues coniques du mécanisme d'entraînement motorisé. Activé par un accumulateur à ressorts, l'entraînement par croix de Malte régit le sélecteur et l'inverseur. Il s'utilise également pour verrouiller le système de contacts mobiles en position. Le système d'engrenages ne requiert aucun entretien.

III.5.5 Conservateur d'huile

Le changeur de prises doit être connecté à un conservateur d'huile distinct, de préférence placé à la même hauteur ou juste en dessous du conservateur destiné au transformateur.

III.5.6 Mécanisme d'entraînement motorisé

Le mécanisme d'entraînement motorisé assure la transmission nécessaire au fonctionnement du changeur de prises. Comme son nom l'indique, l'entraînement est généré par un moteur au moyen d'engrenages, puis transmis par un axe de transmission. Le mécanisme se complète de divers dispositifs qui allongent les intervalles de service et optimisent la fiabilité.

Le mécanisme d'entraînement ED de conception modulaire sert à adapter la position de service des changeurs de prises en charge/ des commutateurs hors tension dans les transformateurs aux besoins de fonctionnement. Le changement de prises en charge est mis en route par l'actionnement de l'entraînement par moteur (impulsion de commande unique, notamment par un appareil de la série TAPCON). Ce processus de réglage est contraint de s'exécuter jusqu'à la fin d'une manœuvre, même si d'autres impulsions de commande ont été données pendant la durée du processus de commutation. La commutation suivante n'est alors possible qu'après la mise au repos de tous les appareils de commande.

III.5.6.1 Structure du mécanisme d'entraînement [3]

III.5.6.1.1 Boîtier de protection

Le mécanisme d'entraînement ED peut être livré en deux tailles de boîtier avec une symétrie homogène pour la fixation et pour la prise de mouvement. Le boîtier de protection reçoit une couche d'apprêt (peinture RAL 6019) et une couche de revêtement (peinture RAL 7033).

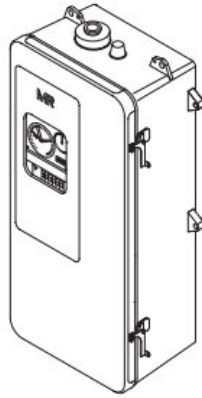


Figure III.12 : Le boîtier de protection du mécanisme d'entraînement

Ce boîtier de protection se compose de deux éléments, la cuve et la porte en fonte d'aluminium très résistante à la corrosion. Les zones de séparation entre la porte et la cuve, ainsi que l'ensemble des orifices utilisés pour le fonctionnement de l'appareil reçoivent une garniture spéciale d'étanchéité qui empêche les projections d'eau et la poussière de pénétrer.

La ventilation du boîtier de protection est assurée par deux orifices labyrinthiques pourvus d'un filtre métallique qui se trouve dans les parois latérales. La cuve de boîtier est fermée par trois plaques de fond dans lesquelles il est possible d'aménager les passages de câbles.

III.5.6.1.2 porte du boîtier

Dans sa version standard, la porte est fixée au moyen de deux gonds et se laisse ouvrir vers la gauche. La butée standard pour la porte du boîtier de protection fait 130° . Sur la face intérieure de la porte du boîtier est fixée une poche à documents afin d'y placer les schémas de câblage.

III.5.6.1.3 Cadre pivotant

Tous les éléments de commande sont intégrés dans un panneau de cadre pivotant fermé, installé à l'arrière de la porte du boîtier de protection. Il protège tous les composants électriques et mécaniques du mécanisme d'entraînement contre le toucher. Les charnières du cadre pivotant sont conçues de telle sorte qu'elles rendent impossible un mouvement inopiné du cadre.

III.5.6.1.4 Manivelle

La manivelle permet d'actionner manuellement le mécanisme d'entraînement si ce dernier est utilisé en régime de secours ou pendant le montage et pour avoir une prise il faut faire 33 tours avec la manivelle. Cette manivelle est fixée à l'intérieur du boîtier de protection sur la plaque de recouvrement supérieure.

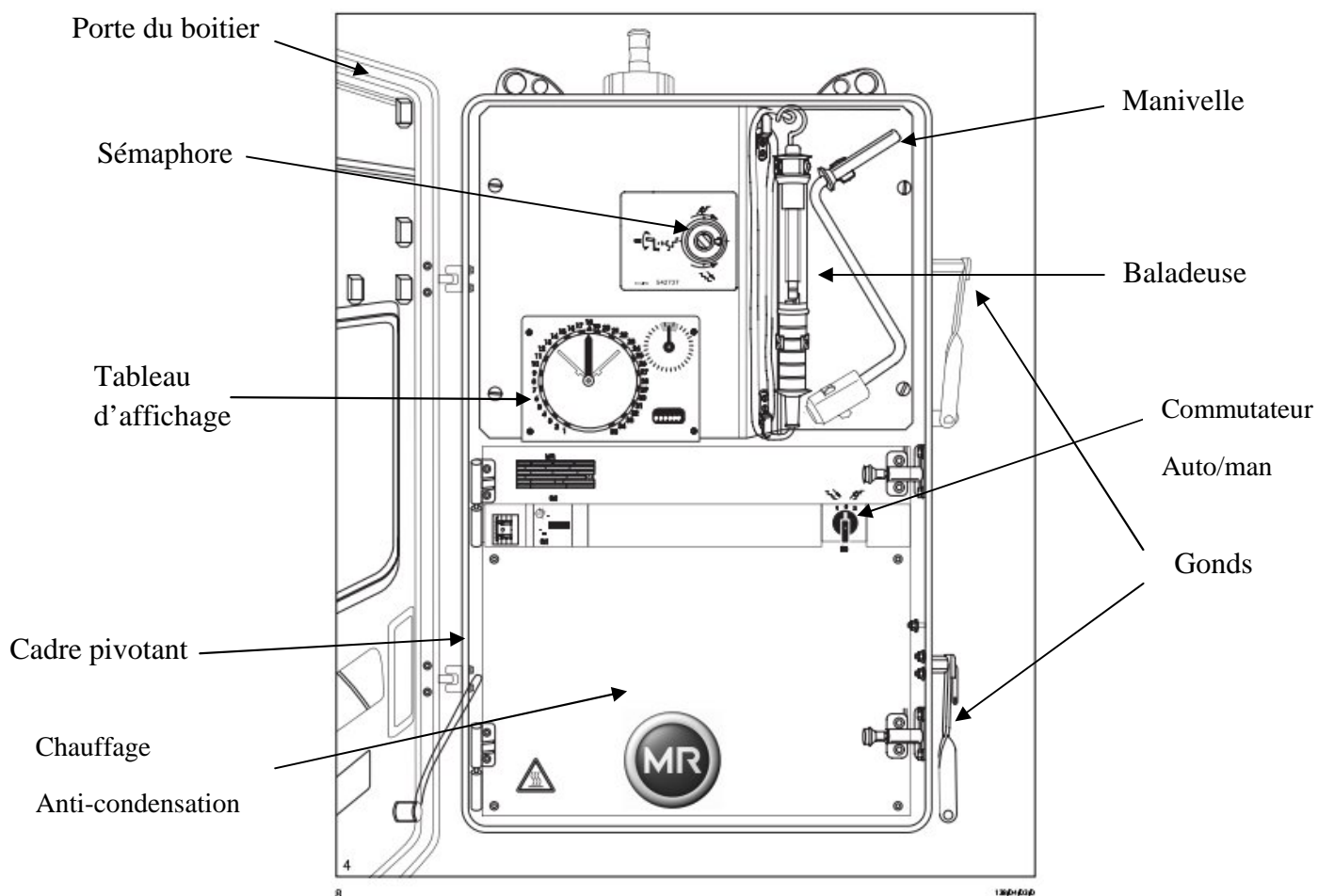


Figure III.13 : Armoire du mécanisme d'entraînement

III.5.6.1.5 Tableau d'affichage

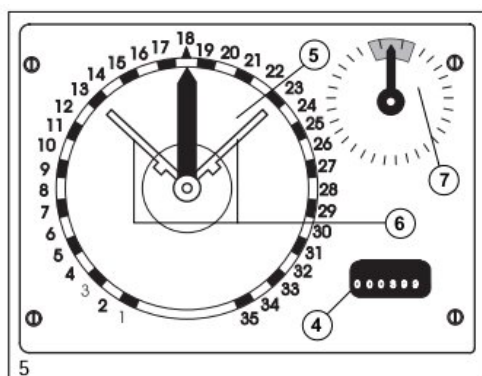


Figure III.14 : Le tableau d'affichage du mécanisme d'entraînement

Dans la partie supérieure du panneau de commande. Un tableau d'affichage bien disposé est incorporé, les informations suivantes peuvent y être lues.

- 4 : Compteur mécanique pour indiquer le nombre des manœuvres.
- 5 : Indicateur de position du mécanisme d'entraînement et du changeur de prises.
- 6 : Affichage de la plage de réglage utilisée au moyen de deux aiguilles entrainées.
- 7 : affichage des unités de paliers de commutation ; affichage de la position réelle de la came de commande.

Les aiguilles et le compteur sont entrainés mécaniquement et indiquent le déroulement de commutation de l'entraînement par moteur. La touche de remise à zero du compteur est plombée en usine.

III.5.6.1.6 Baladeuse

A l'intérieur du boîtier de protection se trouve un tube néon de 4 W (longueur de câble d'environ 1 m) qui s'allume lorsque la porte du boîtier est ouverte.

III.5.6.1.7 les éléments de commande

Dans la version standard, les éléments de commande suivants figurent sur la partie supérieure du cadre pivotant :

- contact électrique de porte pour la baladeuse.
- disjoncteur de protection.
- bouton de commande électrique d'un changement de prise «augmenter/diminuer».

III.5.6.1.8 Chauffage anti-condensation

Le chauffage anti-condensation, est un corps chauffant à large surface et forme en même temps le revêtement frontal du cadre pivotant.

III.5.6.2 Moteur ED (Electric Drive)

Le mécanisme d'entraînement est équipé d'un moteur triphasé (asynchrone, 400 V, 50 Hz), sa puissance est de 0.75 kW. Il est utilisé pour l'entraînement de l'arbre de transmission du régleur en charge lors d'un changement de prises. IL est installé en dessous du réducteur de puissance, et protégé par un disjoncteur de protection.

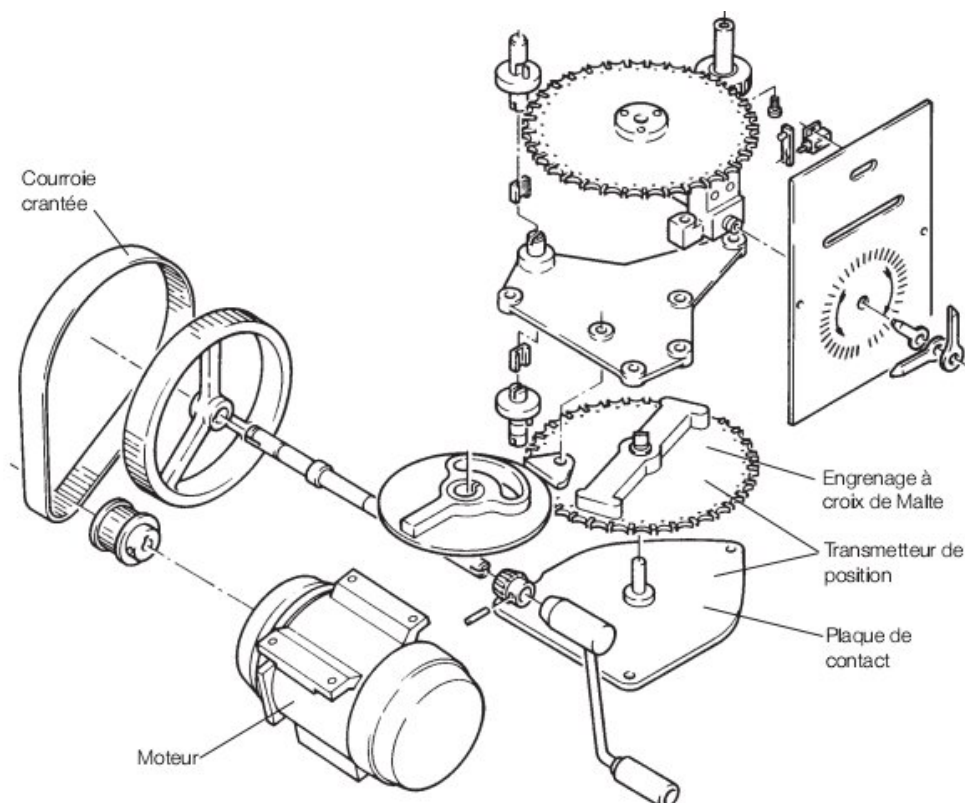


Figure III.15 : Le moteur de type ED du mécanisme d'entraînement [3]

III.6 Dispositif de protection du régleur en charge RS 2001

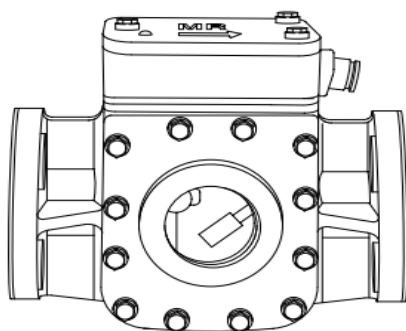


Figure III.16 : Le relais de protection RS 2001 [3]

Le relais de protection RS 2001 sert à la sécurité du changeur de prises en charge et du transformateur en cas de défaut survenant à l'intérieur du compartiment à huile du commutateur ou du sélecteur en charge. Il réagit au dépassement provoqué par un déplacement du flux d'huile prédéfini entre la tête du changeur de prises en charge et le conservateur d'huile. Le relais de protection doit être branché de telle sorte que son déclenchement provoque la mise hors tension instantanée du transformateur. Ce dispositif de protection est installé dans la tuyauterie, entre la tête du changeur de prises et le conservateur d'huile.

Le relais de protection est un composant du changeur de prises en charge, il est constitué de :

III.6.1 Boîtier

Le boîtier moulé en métal léger résistant à la corrosion est muni de brides pour le raccordement aux tuyaux de liaison vers la tête du changeur de prises en charge et vers le conservateur d'huile.

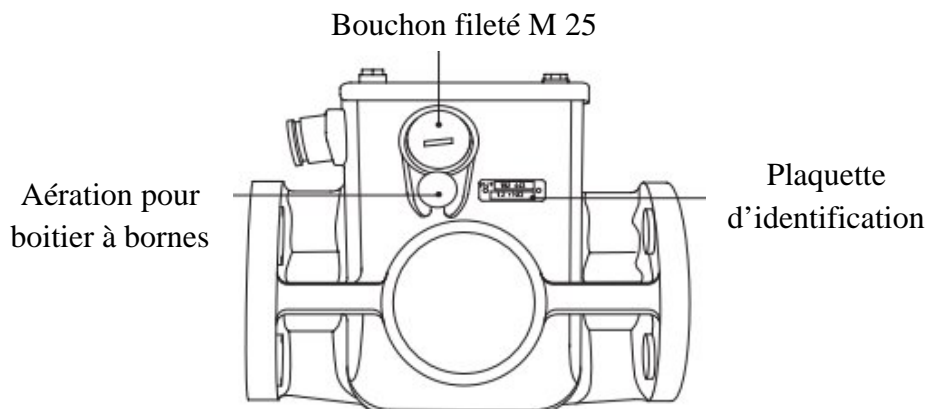


Figure III.17 : Boîtier du relais RS 2001 [3]

Un regard est situé sur la face avant du boîtier, d'où on peut visualiser la position du clapet.

Les bornes de raccordement de l'interrupteur magnétique à gaz protecteur sont placées dans une boîte à bornes séparée de façon étanche du compartiment à huile du relais. La boîte à bornes est aérée par une ouverture couverte.

On trouve aussi deux touches d'essai logées dans la boîte à bornes sont destinées au contrôle de la fonction de déclenchement.

Les bornes de raccordement sont protégées par une coiffe en plastique transparent.

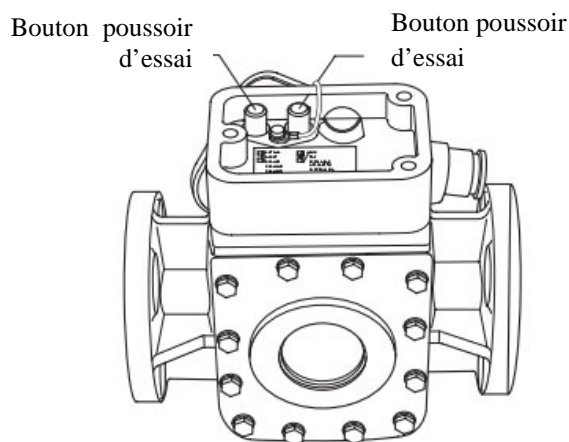


Figure III.18 : Les bornes de raccordement (couvercle ouvert)

III.6.2 Relais (boîtier ouvert)

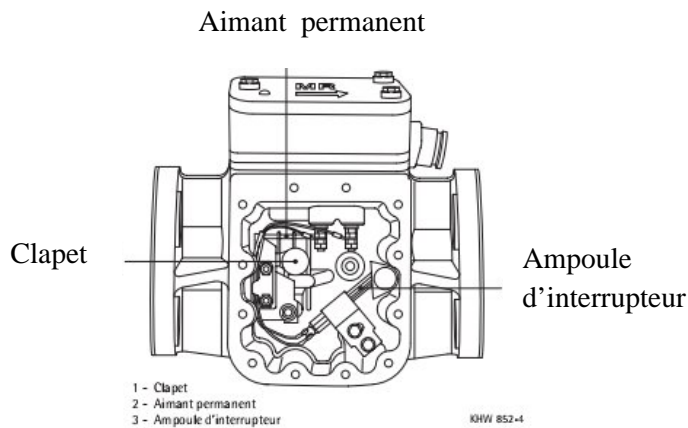


Figure III.19 : Le relais de protection RS 2001

L'organe actif du relais comprend un clapet muni d'un alésage à aimant permanent. Celui-ci sert à actionner l'interrupteur et au maintien du clapet en position «EN FONCTIONNEMENT» et la figure suivante nous montre la position du relais, une position intermédiaire n'est pas possible.

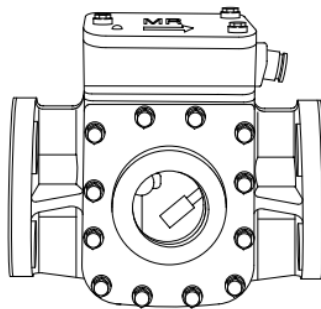


Figure III.20 : La position du relais «En fonctionnement»

III.6.3 Fonctionnement

Le fonctionnement du relais de protection ne peut être provoqué que par des flux d'huile depuis la tête du changeur de prises en charge vers le conservateur d'huile.

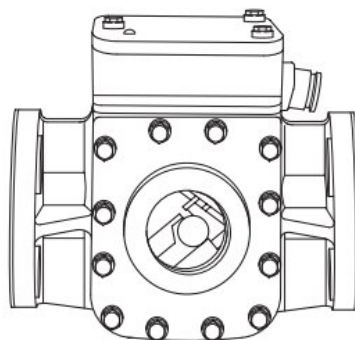


Figure III.21 : La position du relais en «Déclenchement»

Ce flux pousse sur le clapet et le fait basculer en position «Déclenchement». De ce fait, l'interrupteur magnétique à gaz protecteur est actionné, provoquant ainsi l'ouverture du disjoncteur et la mise hors service du transformateur.

III.6.4 Consigne de montage du relais RS 2001

Le relais de protection doit être monté dans la tuyauterie entre la tête du changeur de prises en charge et le conservateur d'huile, le plus près possible du côté de la tête du changeur de prises en charge.

Contrôlez le bon fonctionnement du relais de protection avant son montage. Déposez le couvercle de la boîte à bornes en dévissant les trois vis M6/ clef de 10 puis appuyez sur :
La touche d'essai « **déclenchement** » :

Le clapet est en position oblique (le repère de positionnement apparaît au milieu du regard, **(Fig.III.21)**).

La touche d'essai « **en fonctionnement** » :

Le clapet est en position verticale **voir (Fig.III.20)**

Le relais de protection doit être monté en position horizontale, les boutons-poussoirs d'essai étant tournés vers le haut. La flèche sur le couvercle de la boîte à bornes doit être dirigée vers le conservateur d'huile.

Pour effectuer la liaison entre le relais de protection et la tête du changeur de prise en charge et le conservateur d'huile, employez un tuyau d'une section nominale minimale de 25mm². Le relais de protection doit être monté dans ce tuyau bien appuyé et exempt de vibrations.

Le tuyau entre le relais de protection et le conservateur d'huile doit être monté avec une pente ascendante d'au moins 2% afin d'assurer la libre évacuation des gaz de commutation. Prévoyez une vanne d'arrêt entre le relais et le conservateur d'huile (**voir Fig.III.22**).

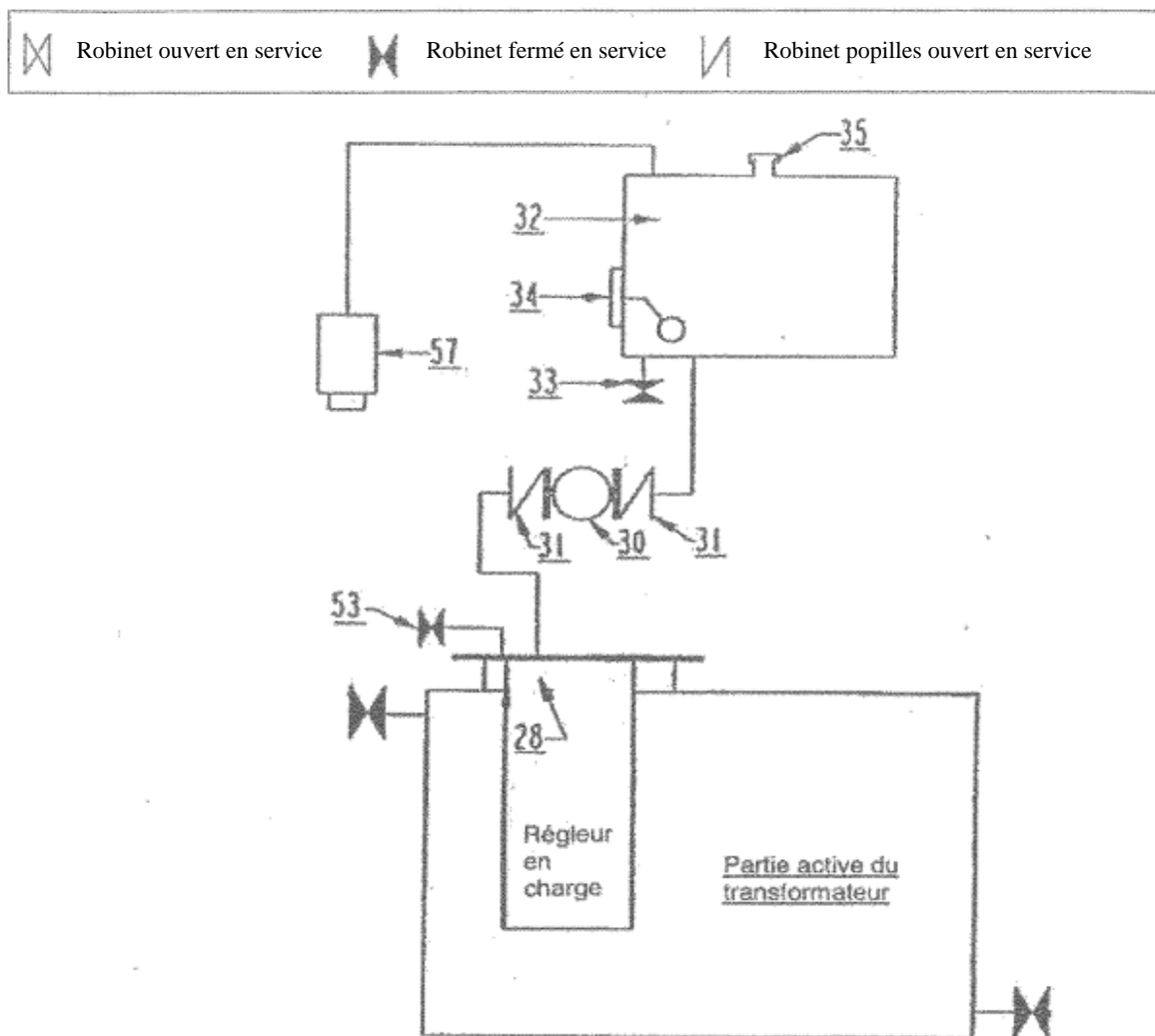


Figure III.22 : Schéma de montage du régleur en charge et son relais de protection avec le conservateur d'huile

- 57 : Assécheur d'air du conservateur.
- 53 : Robinet de siphonage du régleur en charge.
- 35 : Orifice de remplissage du conservateur d'huile.
- 34 : Indicateur de niveau d'huile.
- 33 : Robinet de vidange du conservateur d'huile.
- 32 : Réservoir du régleur en charge.
- 31 : Robinet d'isolement.
- 30 : Relais de protection du régleur en charge.
- 28 : Régleur en charge.

III.7 Conclusion

Dans ce troisième chapitre on s'est intéressé à faire une étude du changeur de prise du transformateur de distribution de 15 MVA de lala Khedidja. En mentionnant les différents constituants principaux du changeur de prise, ainsi que le rôle de chaque élément et la protection de ce dernier.

IV. Introduction

La régulation dans le domaine des procédés industriels concerne la mise en œuvre de l'ensemble des moyens théoriques, matériels et techniques pour maintenir chaque grandeur physique essentielle égale à une valeur désirée, appelée consigne, par action sur une grandeur réglante, et ce malgré l'influence des grandeurs perturbatrices du système. Le terme régulation peut avoir d'autres acceptions. Dans un sens générale, la régulation est l'ensemble des techniques permettant le maintien de la constance d'une fonction.

Dans une définition correspondant aux transports ou a la logistique, la régulation désigne les techniques permettant d'organiser les flux de marchandises, de voyageurs, de véhicules, de manière optimale, et lorsque cela est possible conformément a un plan prévu a l'avance. Elle se rapproche alors de la définition industrielle du terme: détecter les non-conformités (retard, bouchons, pannes incidents de toute sorte altérant le déroulement du plan de transport) et ramener la situation a la normale, à ce qui est conforme au plan, le plus vite et avec le moins de conséquences possibles.

IV.1 Régulation avec le TAPCON 240

Le régulateur de tension électronique TAPCON 240 est employé pour la commande automatique de transformateurs équipés de changeurs de prises en charge, actionnés par un entraînement à moteur. L'entraînement à moteur reçoit du régulateur de tension les ordres de réglage correspondants. Ceci permet au changeur de prises en charge de passer à la position suivante, et la valeur de la tension du transformateur s'aligne sur la valeur de consigne pré-réglée.

Pour adapter la régulation de manière personnalisée, en fonction des conditions d'utilisation, il est possible de programmer des variables telles que la temporisation, la sensibilité, ainsi que des paramètres dépendant de la ligne et de la charge, à des fins de compensation et de limites dépendant de la tension et du courant. De plus le régulateur de tension est en mesure de commander la marche en parallèle de transformateurs.

IV.3 Description de TAPCON 240

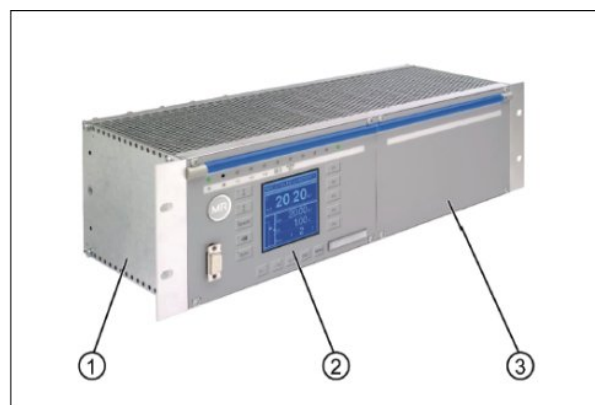


Figure IV.1 : Vue de face du régulateur de tension

- 1- Boîtier insérable de 19 pouces (Selon DIN 41494,5^e partie).
- 2- Panneau de commande avec affichage et DEL.
- 3- Sous-ensemble pour les extensions optionnelles.

IV.3.1 Commande et éléments d'affichage

La face du régulateur de tension est divisée en différentes zones de commande de l'appareil et d'affichage des informations. La figure IV.2 montre un aperçu des différents éléments.



Figure IV.2 : Panneau de commande du régulateur de tension

- 1-Diode électroluminescentes.
- 2- Touches de paramétrage et de configuration.
- 3-Interface série COM 1 (RS 232).
- 4-Touches de commande de fonctionnement.
- 5-Bande d'inscription des DEL.
- 6-Possibilité de réglage du contraste de l'écran.

IV.3.2 Description de l'écran

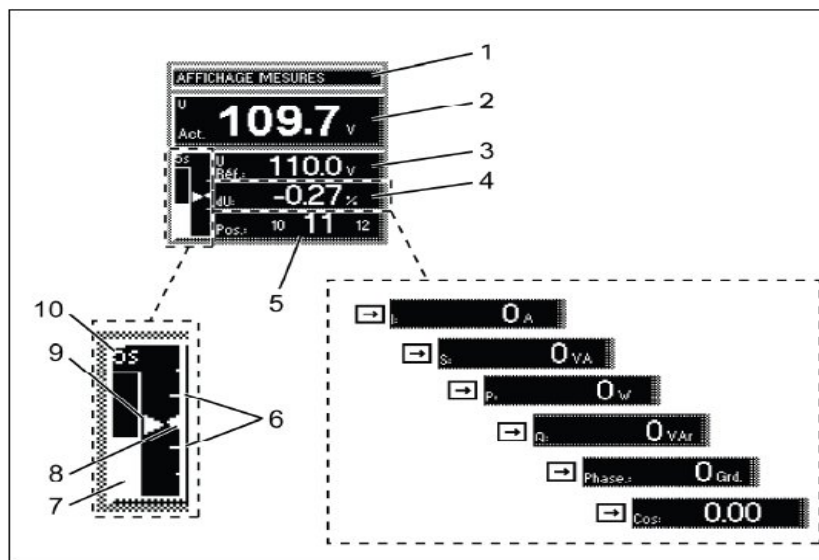






Figure IV.3 : Ecran principale




- 1-ligne d'état.
- 2-Tension de mesure $U_{réelle}$.
- 3-Tension de consigne $U_{consigne}$.
- 4-autre valeurs de mesure (changer avec  ou ).
- 5- Position de prise (n-1, n, n+1).
- 6-largeur de bande (limite supérieure et inférieure).
- 7-Barre de temps de la temporisation T1.
- 8-Repère pour la tension de consigne.
- 9-Repère pour la tension de mesure.
- 10- Temps restant de la temporisation.

Avec les touches  ou  vous pouvez régler l'affichage de la valeur de mesure en mode automatique et en mode manuel. Les valeurs de mesure suivantes peuvent être affichées :

- Ecart de tension (dU :)
- Courant(I)
- Puissance apparente (S.) :
- Puissance active (p :)
- Puissance réactive (Q :)
- Angle de phase (Phase :)
- Cosinus (Cos :)

Dans le cas d'un événement ou d'un réglage, les informations afférentes sont affichées dans la ligne d'état (affichage 'Message').

IV.3.3 Description des fonctions des touches

Touche	Symbole	Fonction
Augmenter		Dans le mode manuel, la touche AUGMENTER permet d'utiliser directement le mécanisme d'entraînement à moteur. Le mécanisme d'entraînement à moteur provoque la modification du changeur en charge et par la même de la tension de prise en raison de l'augmentation.
Diminuer		Dans le mode manuel, la touche DIMINUER permet d'utiliser directement le mécanisme d'entraînement à moteur. Le mécanisme d'entraînement à moteur provoque la modification du changeur de prises en charge et par la même de la tension de prise en raison de la diminution.
A distance		En mode 'A distance' les instructions d'un niveau de commande externe sont exécutées. Dans ce cas, la commande manuelle des touches










		AUGMENTER/DIMINUER, MANUEL et AUTO ne fonctionne pas.
Manuel		Mode manuel. Pour la commande manuelle du mécanisme d'entraînement à moteur et le paramétrage du régulateur de tension.
Auto		Mode automatique. Régulation de tension automatique.
Touches fléchées suivant/retour	 	Les touches fléchées vous permettent de régler l'affichage des valeurs de mesure en mode automatique et en mode manuel : par ailleurs, vous pouvez passer d'une fenêtre à l'autre dans les sous-menus.
entrer		Confirmation ou enregistrement d'un paramètre modifié des menus des paramètres.
Echap		Après actionnement de la touche Echap, vous parvenez dans le menu supérieur, c'est-à-dire que vous revenez toujours au niveau de menu précédent supérieur.
Menu		Après actionnement de la touche, la fenêtre de sélection des menus s'affiche.
F1...F5	 	Les touches de fonction sont des touches de sélection de menu. Elles servent en outre à défiler dans les sous-groupes du menu et les masques de saisie et à sélectionner une décimale que vous pouvez vous-même régler.

Tableau IV.1 : Fonction de chaque touche sur TAPCON 240

IV.3.4 Description des diodes électroluminescentes

Le régulateur de tension est doté de 10 diodes électroluminescentes situées au-dessus de l'affichage dont le rôle est de signaler les différents états de fonctionnement ou les événements.

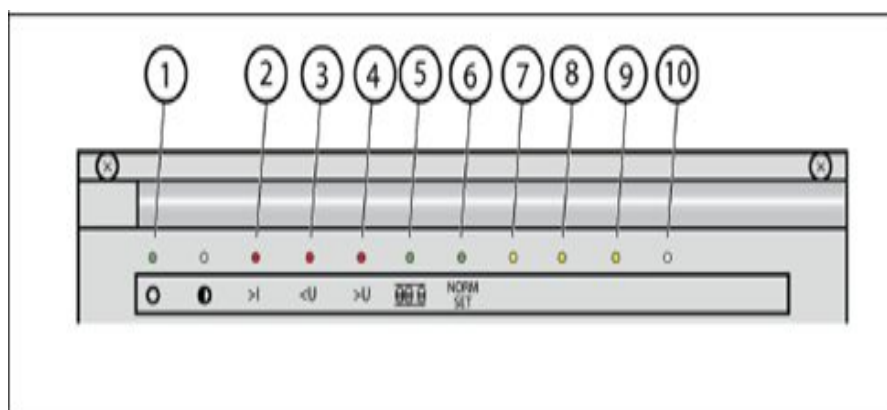


Figure IV.4 : Description des DEL

- 1-verte-Témoin de service.
- 2-rouge-Blocage de surintensité de courant.
- 3- rouge-Blocage par tension trop basse.
- 4- rouge-Blocage de surtension.
- 5-verte-Marche en parallèle oui.
- 6-verte-NORMset oui.
- 7-jaune-Configurable à volonté (DEL 1).
- 8- jaune-Configurable à volonté (DEL 2).
- 9- jaune-Configurable à volonté (DEL 3).
- 10-verte/jaune/rouge-Configurable à volonté (DEL 4).

IV.3.5 Raccordement du régulateur de tension

Le régulateur de tension est équipé des interfaces physiques RS 232 et RS 485 ainsi que de la fibre optique optionnelle et d'ethernet servant à la transmission des données via le protocole de communication.



Figure IV.5 : Raccordement du TAPCON 240

- **UC** : carte liaison BCD pour la position prise régulateur.
- **CPU** : pour liaison PC ou imprimante.
- **MI** : relie aux boites essaie pour injection courant/tension. (Récepteur de la tension MT mesurée par les TP via le borniez XB 02).
- **IO** : carte entrées/sorties pour fonctionnements de commande.
- **SU** : alimentation en 127 VDC.
- **AD** : communication avec le régleur en charge OLTC.
- **SI** : communication avec la passerelle Ethernet pour ensuite vers le superviseur.

IV.4 Fonction et réglage

IV.4.1 Blocage des touches

Le régulateur de tension est muni d'un mécanisme de blocage des touches dont le rôle est de prévenir toute commande involontaire. Une définition des paramètres n'est possible en mode manuel (MANUEL) que lorsque le blocage des touches est désactivé.

IV.4.2 Activer le blocage des touches

Pour activer le blocage des touches, procédez comme suit :

- Appuyer simultanément sur **ESC** et **F5** une confirmation s'affiche brièvement à l'écran (voire la figure IV.6). Le blocage des touches est activé (on ne peut plus entrer les paramètres).

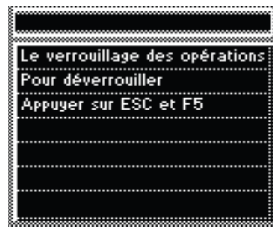


Figure IV.6 : Activation des touches

IV.4.3 Réglage de la langue

Vous pouvez régler la langue d'affichage ou changer celle-ci à volonté, les langues suivantes sont disponibles :

- Anglais
 - Français
 - Espagnol
 - Italien
 - Portugais
- 1. Appuyer sur **MENU** > **F4** configuration > **F3** Généralités.
 - ➔ <00> langue.
 - 2. Appuyer sur **F1** ou sur **F5** pour sélectionner la langue souhaitée.
 - 3. Appuyer sur **←** la tension secondaire du transformateur est réglée.



Figure IV.7 : Réglage de la langue

IV.4.4 Régler l'affichage de la tension en kV/V

Le passage de l'affichage de V à kV entraîne la conversion et l'affichage conséquent des valeurs mesurées et des valeurs de réglage dans l'appareil coté primaire du transformateur de tension. Cependant, le coté primaire est toujours affiché en kV et le coté secondaire en V.

Pour régler l'unité de consigne pour l'affichage de la tension, procédez comme suit :

- 1. Appuyez sur **MENU** > **F4** configuration > **F3** généralités > 3x **→**.
→ <03> Affichage kV/V.
- 2. Appuyez sur **F1** ou **F5** pour sélectionner l'unité kV ou V.
- 3. Appuyez sur **←** et l'unité de consigne pour l'affichage de la tension est réglée.



Figure IV.8 : Réglage de la tension en kV ou V

IV.4.5 Paramétrage

IV.4.5.1 NORMset

Une solution alternative au paramétrage manuel du régulateur de tension est le mode NORMset qui permet une mise en service facile et conviviale du régulateur de tension avec jeux de paramètres restreint. Si vous sélectionnez ce mode, les réglages usine indispensables pour la régulation de la tension sont importés.

- 1. Appuyez **MENU** > **F2** Normset.
→ <00> Activation Normset.> Normset, à <00> Activation Normset.
- 2. Appuyez sur **F1** ou **F5** pour sélectionner 'Activé' afin d'activer Normset.
- 3. appuyez sur **←**.
- 4. appuyez sur **↑** ou **↓** pour procéder à un changement de prise manuel.
- La DEL témoin de service NORMset S'allume. Le mode NORMset est activé.



Figure IV.9 : Activation de NORMset

IV.4.5.1.1 Entrer la valeur de consigne 1 NORMset

Le réglage de la valeur de consigne se réfère à la tension primaire du transformateur de potentiel relié au TAPCON 240. Le réglage de la valeur de consigne en V se réfère à la tension secondaire du transformateur de tension raccordé.

Plage de réglage	Incrément	Réglage usine
49 V...140 V	0.1 V	95V

Tableau VI.2 : Plage de réglage de la valeur de consigne 1 NORMset en V

Pour régler la valeur de consigne 1, procédez comme suit :

- 1. Appuyez **MENU** > **F2** Normset > 1x **→**.
- <01> Valeur de consigne 1.
- 2. Appuyez sur **F4** pour sélectionner une décimale.
- Ladite décimale est sélectionnée et la valeur peut être changée.
- 3. Appuyez sur **F1** pour augmenter la valeur ou sur **F5** pour la diminuer.
- 4. Appuyez sur **←** la valeur de consigne 1 est réglée.



Figure IV.10 : Réglage de la tension de consigne

IV.4.5.1.2 Régler la tension primaire

De manière générale, le régulateur n'affiche la tension secondaire en V que si vous n'avez pas réglé la tension primaire. La tension primaire n'est affichée que si vous avez réglé le paramètre «affichage kV/V » sur kV.

Plage de réglage	Incrément	Réglage usine
0 kV...9999 kV	1 kV	33 kV
0 kV...999.9 kV	0.1 kV	33 kV
0 kV...99.99 kV	0.01 kV	33 Kv

Tableau IV.3 : Plage de réglage de la tension primaire en kV

Pour régler la tension primaire, procédez comme suit :

- 1. Appuyer **MENU** > **F2** Normset >2x **→**.
- <02> Tension primaire.

- 2. Appuyer sur **F3** pour sélectionner la décimale.
- la décimale est définie et la valeur peut être changée.
- 3. appuyer sur **F4** pour sélectionner une décimale.
- ladite décimale est sélectionnée et la valeur peut être changée.
- 4. Appuyer sur **F1** pour augmenter la valeur ou sur **F5** pour la diminuer.
- 5. Appuyer sur **←** la tension primaire est réglée.



Figure IV.11 : Réglage de la tension primaire

IV.4.5.1.3 Régler la tension secondaire

La tension secondaire est affichée et indiquée en V

Plage de réglage	Incrément	Réglage usine
57 V...125 V	0.1 V	100 V

Tableau IV.4 : Plage de réglage de la tension secondaire en V

Pour régler la tension secondaire, procédez comme suit :

- 1. Appuyez **MENU** ➤ **F2** Normset > 3x **→**.
- <03> Tension secondaire.
- 2. Si nécessaire Appuyez sur **F3** pour sélectionner la décimale.
- La décimale est définie et la valeur peut être changée.
- 3. Appuyez sur **F4** pour sélectionner une décimale.
- Ladite décimale est sélectionnée et la valeur peut être changée.
- 4. Appuyez sur **F1** pour augmenter la valeur ou sur **F5** pour la diminuer.
- Appuyez sur **←** La tension secondaire est réglée.



Figure IV.12 : Réglage de la tension secondaire

IV.4.6 paramètre de régulation

Cette section décrit toutes les fonctions, tous les paramètres et les plages de réglages de la régulation de la tension avec le régulateur de tension. Pour faciliter la recherche de paramètres précis, les sous-groupes sont décrits avec des individuels correspondants.

IV.4.6.1 Régler la valeur de consigne1

Le réglage de la valeur de consigne 1 ce fait de la même manière que dans IV.4.4.1.1.

IV.4.6.2 Largeur de bande

La largeur de bande est l'écart admissible de la tension de mesure par rapport à la valeur de consigne sélectionnée. Si la tension de mesure actuelle est située à l'intérieur de la largeur de bande, aucune instruction de commande n'est envoyée au changeur de prises. Si la tension de mesure sort de la largeur de bande prescrite, une instruction de commande est générée après la temporisation T 1 réglée. Le changeur de prises en charge effectue un changement dans le sens positif ou négatif.

En cas de dépassement permanent de la largeur de bande ou de chute permanente au-dessous de la largeur de bande, le message d'alarme "Surveillance du fonctionnement" est déclenché au bout de 15 minutes. Le relais correspondant se déclenche également. Le message d'alarme n'est réinitialisé que si la tension de mesure retourne dans la largeur de bande réglée.

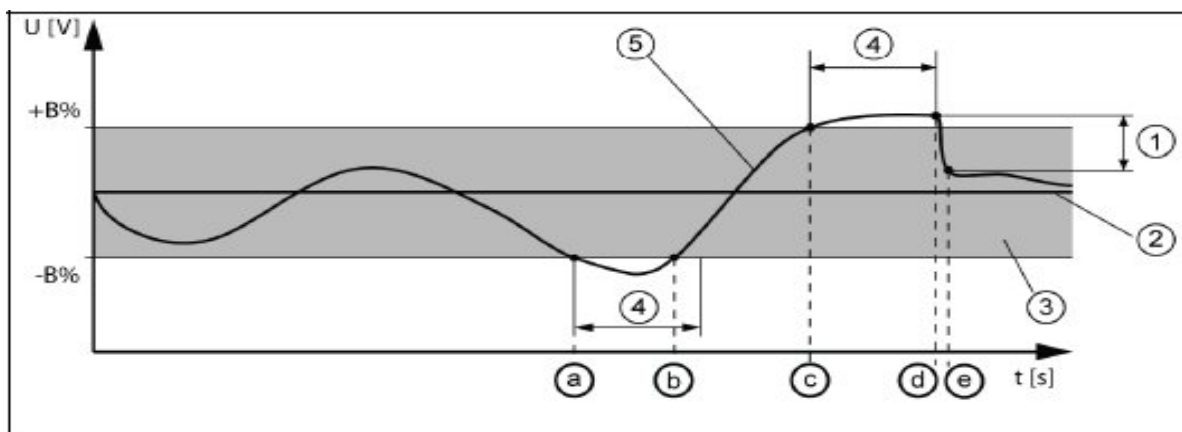


Figure IV.13 : Progression de la tension de mesure et de la largeur de bande

- 1- ΔU_{Prise} : saut de tension.
- 2- U_{Consigne} : valeur de consigne en V.
- 3- B % : Plage de largeur de bande.
- 4- T 1 : Temporisation réglée.
- 5- $U_{\text{réelle}}$: tension de mesure.
- a- $U_{\text{réelle}}$ en dehors de la largeur de bande, T 1 commence à s'écouler.
- b- $U_{\text{réelle}}$ avant expiration de T 1 dans la largeur de bande, aucune commande.
- c- $U_{\text{réelle}}$ en dehors de la largeur de bande, T 1 commence à s'écouler.

- d- $U_{réelle}$ jusqu'à expiration de T 1 en dehors de la B %, l'opération de commutation est lancée.
- e- Opération de commutation terminée, $U_{réelle}$ à l'intérieur de la largeur de bande.

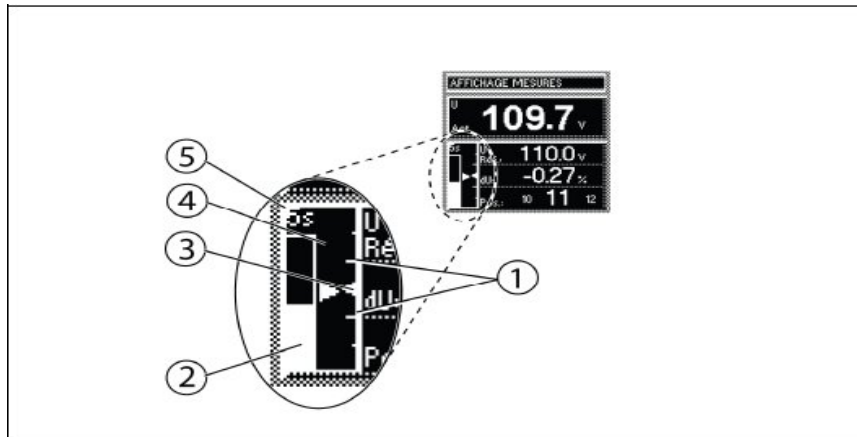


Figure IV.14 : Représentation visuelle de l'écart par rapport à la valeur de consigne

- 1- Largeur de bande (limite supérieure et inférieure).
- 2- Barre de temps de la temporisation T 1.
- 3- Valeur de consigne de tension.
- 4- Tension de mesure.
- 5- Temps restant de la temporisation T 1.

IV.4.6.3 Calcul de la largeur de bande

Pour pouvoir régler correctement la valeur, les tensions de prise et la tension nominale du transformateur doivent être connues.

La valeur suivante est recommandée pour la largeur de bande "B %" :

$$\pm B \geq \frac{U(n-1) - U(n)}{U(\text{nom})} * 100\% \quad (\text{VI. 1})$$

Avec :

- U_{n-1} : Tension de prise de la position n-1.
- U_n : Tension de prise de la position n.
- U_{nomin} : Tension nominale.

➤ Exemple de calcul

Pour calculer la largeur de bande recommandée, les valeurs caractéristiques du transformateur sont utilisées à titre d'exemple :

Tension nominale	$U_{\text{nomin}} = 63000 \text{ V}$
Tension de prise position 4	$U_{\text{prise4}} = 67725 \text{ V}$
Tension de prise position 5	$U_{\text{prise5}} = 66780 \text{ V}$

Tableau IV.5 : Exemple de calcul

➤ Application

$$\pm B \geq \frac{U(\text{prise4}) - U(\text{prise5})}{U(\text{nom})} * 100\% \quad (\text{VI. 2})$$

$$\pm B \geq \frac{67725 - 66780}{63000} * 100\% \quad (\text{VI. 3})$$

$$\pm B \geq \frac{67725 - 66780}{63000} * 100\% \quad (\text{VI. 4})$$

Sachant que la largeur de bande doit être

$$[\pm B] \geq 1.5 \quad (\text{VI. 5})$$

IV.4.6.4 Réglage de la largeur de bande

Plage de réglage	Incrément	Réglage usine
0,5 %...9 %	0,01 %...1 %	1.5 %

Tableau IV.6 : Plage de réglage de la largeur de bande

La largeur de bande déterminée est indiquée comme suit :

- 1. Appuyez **MENU** ➤ **F3** paramètres ➤ **F2** paramètres de régulation ➤ 3x **→**.
- ➔ <03> Bande passante.
- 2. Appuyez sur **F4** pour sélectionner une décimale.
- ➔ Ladite décimale est sélectionnée et la valeur peut être changée.
- 3. Appuyez sur **F1** pour augmenter la valeur ou sur **F5** pour la diminuer.
- 4. Appuyez sur **←** la largeur de bande est réglée.



Figure IV.15 : Réglage de la largeur de bande ou sensibilité

IV.4.6.5 Réglage de la temporisation T 1

La temporisation T 1 tempore l'émission d'une instruction de commande pour une période définie. Cette fonction sert à prévenir les opérations de commutation inutiles lorsque la plage de largeur de bande est provisoirement quittée.

Plage de réglage	Incrément	Réglage usine
0 s...600 s	1 s	30 s

Tableau IV.7 : Plage de réglage de la temporisation T 1

Pour régler la temporisation T 1, procédez comme suit :

- 1. Appuyer **MENU** > **F3** paramètres > **F2** paramètres de régulation > 4x **→**.
- <04> Temporisation T 1.
- 2. Appuyer sur **F4** pour sélectionner une décimale.
- Ladite décimale est sélectionnée et la valeur peut être changée.
- 3. Appuyez sur **F1** pour augmenter l'heure ou sur **F5** diminuer l'heure.
- 4. Appuyer sur **←** la Temporisation T 1 est réglée.



Figure IV.16 : Réglage de la temporisation

La temporisation T 1 peut être réglée de manière linéaire ou intégrale. Le régulateur de tension réagit au "temps linéaire" indépendamment de l'écart de tension par rapport à une temporisation constante.

Pour régler le comportement de régulation T 1, procédez comme suit :

- 1. **MENU** > **F3** paramètres > **F2** paramètres de régulation > 5x **→**.
- <05> T 1 Type de régulation.
- 2. Appuyez sur **F5** pour sélectionner 'T 1 linéaire' ou sur **F1** pour sélectionner 'T1 intégrale'.
- 3. Appuyez sur **←** le comportement de régulation T 1 est réglé.



Figure IV.17 : T 1 Intégrale ou linéaire

IV.4.6.6 Activer / désactiver la temporisation T 2

La temporisation T 2 ne devient effective que lorsque plus d'un changement de prise est nécessaire pour ramener la tension à l'intérieur de la largeur de bande réglée.

Pour activer / désactiver la temporisation T 2, procédez comme suit :

- 1. Appuyez **MENU** > **F3** paramètres > **F2** paramètres de régulation > 6x **→**.
- ➔ <06> Activation T 2.
- 2. Appuyez sur **F5** ou sur **F1** pour activer/désactiver T 2.
- 3. Appuyer sur **←** la temporisation T 2 est activée/désactivée.



Figure IV.18 : T 2 activé

IV.4.6.7 Réglage de la temporisation T 2

La section suivante explique comment régler la temporisation T 2.

Plage de réglage	Incrément	Réglage usine
1 s...10 s	0.1 s	10 s

Tableau IV.8 : Plage de réglage de la temporisation T2

Pour régler la temporisation T 2, procédez comme suit :

- 1. Appuyer **MENU** > **F3** paramètres > **F2** paramètres de régulation > 7x **→**.
- ➔ <07> Temporisation T 2.
- 2. Appuyer sur **F1** pour augmenter l'heure ou sur **F5** diminuer l'heure.
- 3. Appuyer sur **←** la temporisation est réglée.

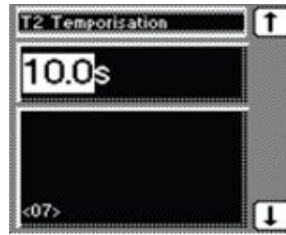


Figure IV.19 : Réglage de la temporisation T 2

IV.5 Conclusion

Dans ce quatrième chapitre on s'est intéressé à faire une étude de régulation automatique de la tension avec le TAPCON 240.

On a fait une étude générale sur le TAPCON 240 les différents éléments constituant, le rôle de chaque élément ainsi que le fonctionnement de ce dispositif.

Le choix du transformateur se repose sur différents calculs des puissances.

La méthode d'estimation de la puissance optimale du transformateur peut être ou plus ou moins sophistiquée. On procède en général de la manière suivante

$$P_{ut} = \sum P_u (\text{tgbt}) \quad (\text{V.1})$$

- P_{ut} : puissance de consommation utile.
- TGBT : Tableau générale basse tension.
- $P_u (\text{tgbt})$: puissance utile des différents tgbt.

$$P_{inst} = 0.8 P_u \quad (\text{V.2})$$

- P_{inst} : puissance instantané

$$S_a = \frac{P_{inst}}{\cos \varphi} \quad (\text{V.3})$$

- S_a : puissance d'appelle.

- $\cos \varphi = 0.89$

Pour les puissances utiles des différents TGBT, les en résumes dans le tableau suivant :

	Tgbt1	Tgbt 2	Tgbt 3	Tgbt presse	Total
P_u (kW)	4219.54	3246.3	2720.2	1636.1	11822.14

Tableau V.1 : Les différents bilans de puissance des TGBT

- **Résultat**

$$P_{inst} = 9457.712 \text{ kW.} \quad (\text{V.4})$$

$$S_a = 10.626 \text{ MVA.} \quad (\text{V.5})$$

Le choix du transformateur de LLK se porte sur un transformateur de puissance de 15 MVA qui satisfait à la puissance d'appelle $S_a = 10.626 \text{ MVA}$.

V.2 Les équations qui relient les différentes puissances avec les tensions et courants

$$P1 = \sqrt{3} \cdot U1 \cdot I1 \cdot \cos\varphi \quad (\text{V.6})$$

$$Q1 = \sqrt{3} \cdot U1 \cdot I1 \cdot \sin\varphi \quad (\text{V.7})$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U1 \cdot I1 \quad (\text{V.8})$$

$$U1 \cdot I1 = U2 \cdot I2 \quad (\text{V.9})$$

$$P2 = \sqrt{3} \cdot U2 \cdot I2 \cdot \cos\varphi \quad (\text{V.10})$$

$$Q2 = \sqrt{3} \cdot U2 \cdot I2 \cdot \sin\varphi \quad (\text{V.11})$$

A partir de l'essai en court-circuit et ainsi des caractéristiques techniques de notre transformateur on peut déterminer :

$$S_{cc} = \sqrt{3} \cdot U_{cc} \cdot I_{cc} \quad (V. 12)$$

$$U_{cc} = 14 \% \cdot U_n \quad (V. 13)$$

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_{cc}} \quad (V. 14)$$

$$Z_{cc} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{cc}}{I_{cc}} \quad (V. 15)$$

Connaissant les valeurs suivantes issues de la plaque signalétique

- $S_n = 15 \text{ MVA}$: Puissance apparente nominale.
- $\cos \phi = 0.89$: Facteur de puissance.
- $U_1 = 63 \text{ kV}$: tension au primaire du transformateur.
- $U_2 = 31.5 \text{ kV}$: tension au secondaire du transformateur.
- $I_{cc} = 31.5 \text{ kA}$: courant de court circuit

On trouve les résultats donné par le tableau

Q_1 (kvar)	P_1 (kW)	I_1 (A)	I_2 (A)	U_{cc} (kV)	S_{cc} (MVA)	Z_{cc} (ohm)
6749.64	13349.29	137.62	275.24	8.82	480.64	6.1835

Tableau V.2 : les résultats de calcul

V.3 Simulation du transformateur avec régleur en charge de LLK avec Matlab Simulink

Nous utilisant le logiciel simulink pour réaliser la simulation du transformateur de puissance 15 MVA ave régleur en charge de LLK, l'objectif c'est de maintenir une tension de 31.5 kV au secondaire du transformateur.

Les paramètres de simulation sont donnés :

- $S_n = 15 \text{ MVA}$: puissance apparente nominale.
- $V_{ref} = 95 \text{ V}$: tension de consigne.
- $R_1/X_1 = 0.049$: rapport entre la résistance et réactance au niveau du primaire.
- $U_n = 63 \text{ kV}$: tension nominale du primaire
- $F = 50 \text{ Hz}$: Fréquence
- $\pm B \% \geq 1.5\%$: Largeur de bande
- $T = 30 \text{ s}$: Temporisation de changement de prise.
- $N = 1 \dots 17$ (17 Prises) : position de changeur de prise

Le schéma bloc de la simulation du transformateur avec régleur en charge est donné dans la figure V.3:

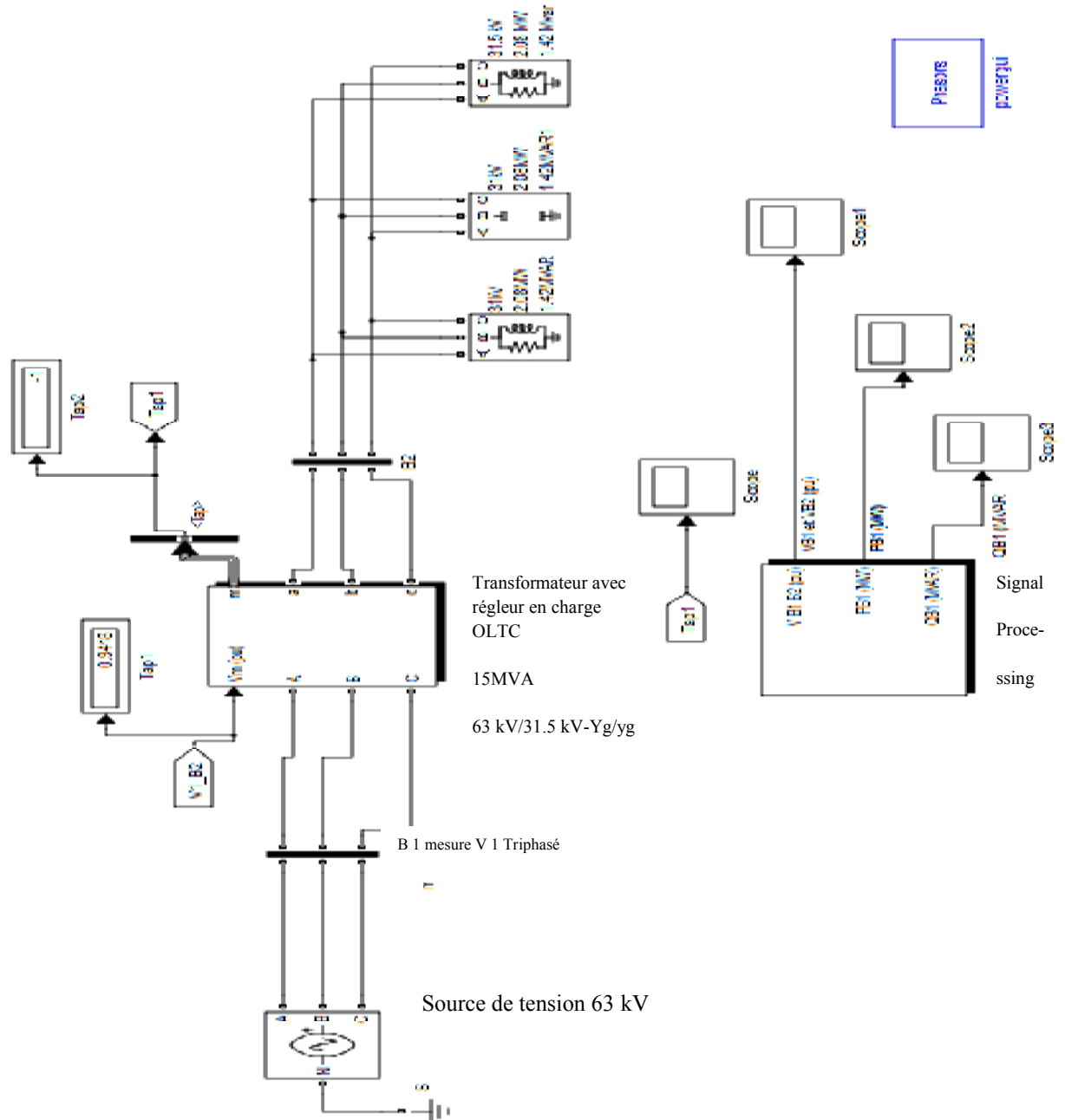


Figure V.3 : Block de simulation transformateur avec régleur en charge

➤ **Résultat obtenu après la simulation du block**

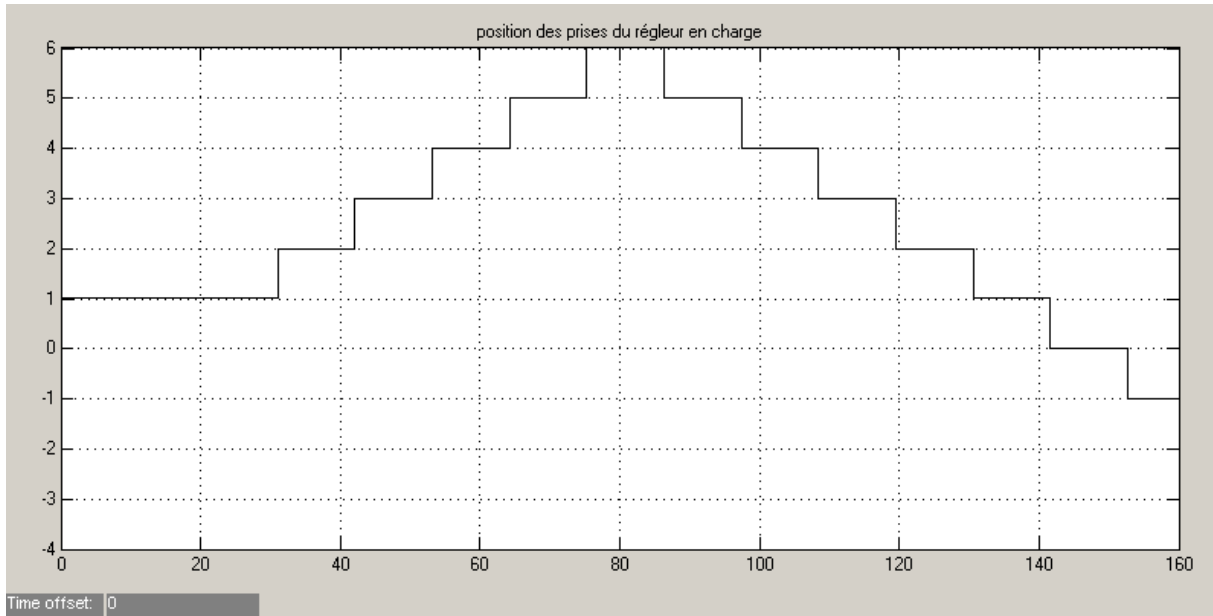


Figure V.4 : Position des prises du régleur en charge en fonction de tension au primaire

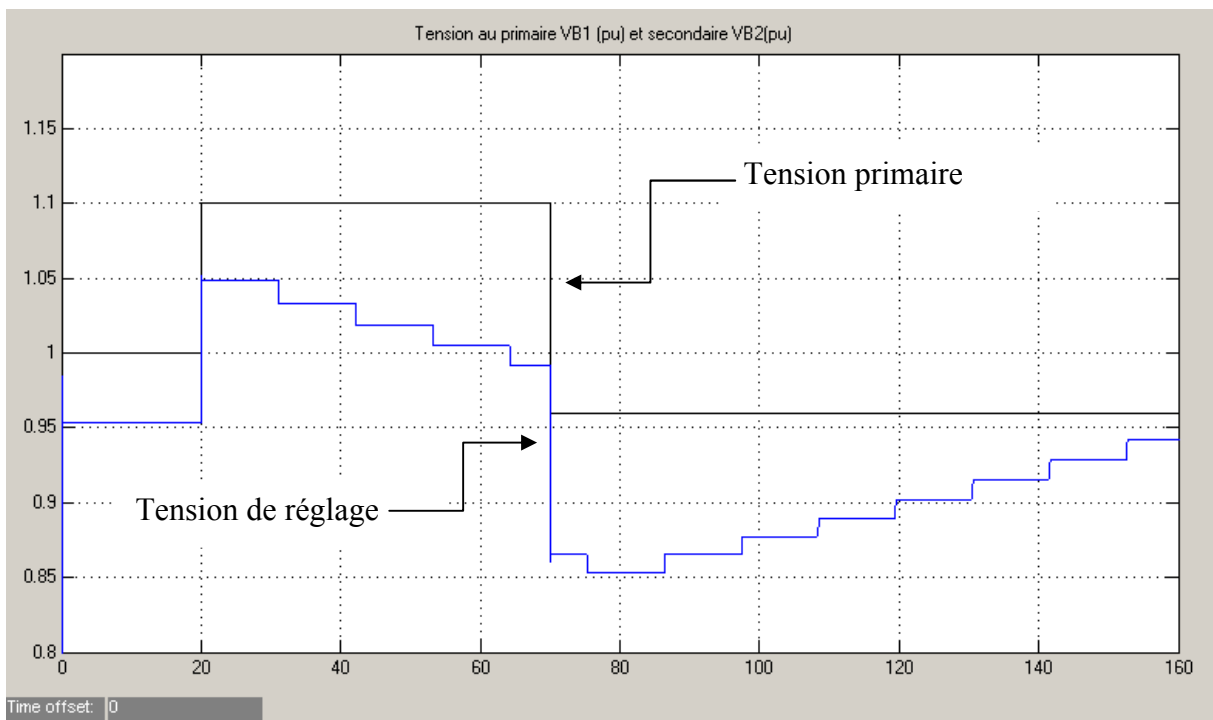


Figure V.5 : Variation de tension primaire et tension de réglage du transformateur

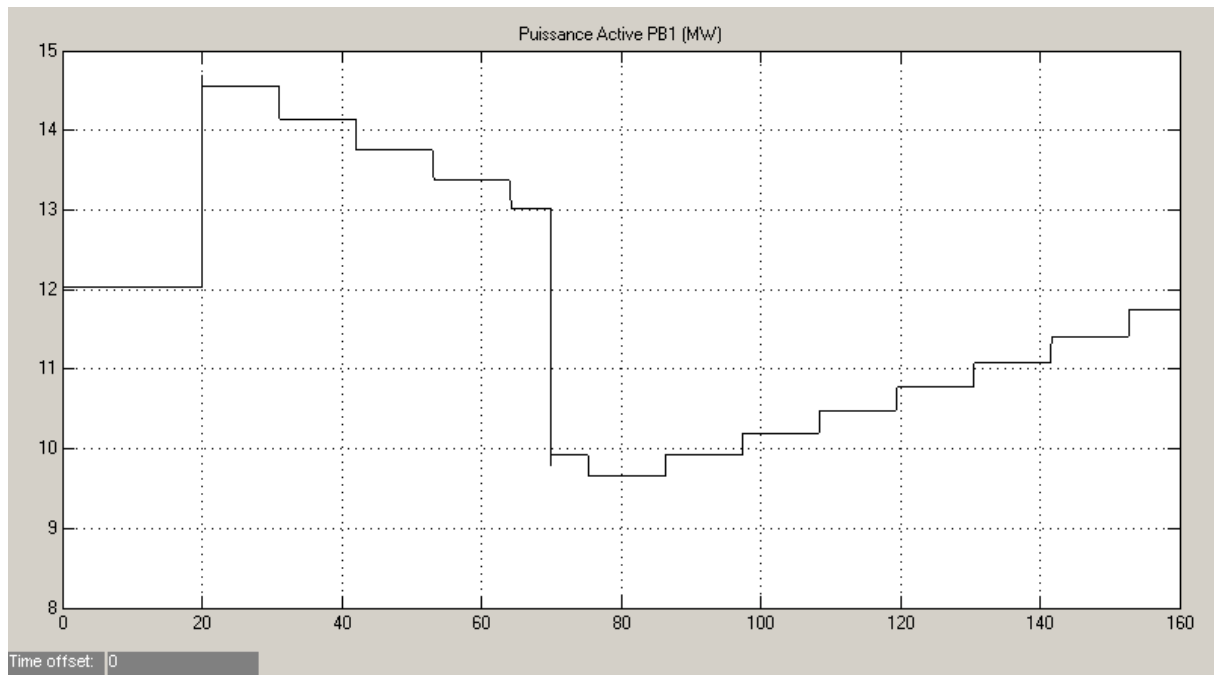


Figure V.6 : Variation de puissance active au niveau du primaire

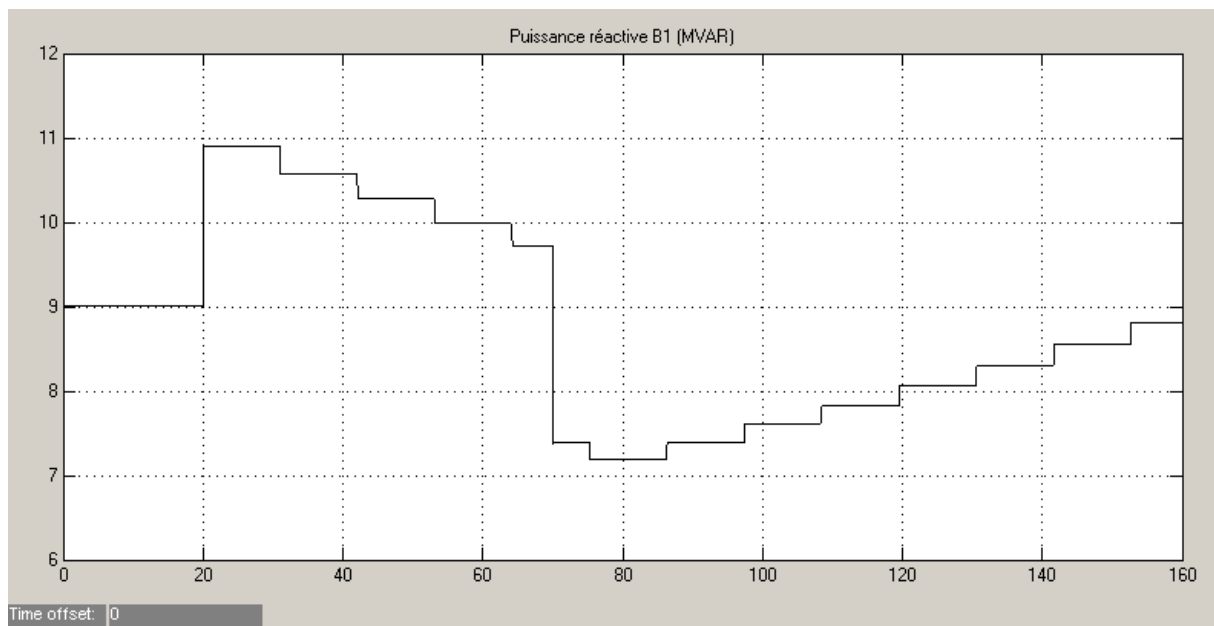


Figure V.7 : Variation de la puissance réactive au niveau du primaire

➤ Discussion et interprétations des résultats

La simulation du modèle est réalisée en tenant compte de 17 prises du changeur de prise afin de régler la tension secondaire à 31.5 kV (qui correspond à une tension de référence 95 V).

La durée de la simulation est de 160 s, durant cette durée on applique trois niveaux de tension au primaire :

- 63 kV (1 pu) démarrant de 0 s
- 69.3 kV (1.1 pu) à partir de 20 s
- 60.48 kV (0.96 pu) à partir de 70 s

La position initiale de prise correspond à 1 (valeurs entre -8 et 8 avec zéro inclus).

Le premier changement de prise a commencé à l'instant $t = 30$ s après le changement du niveau de la tension, pour tenter à atteindre la tension de référence

On voit la diminution de la tension de réglage (fig V.5) jusqu'à l'instant $t = 70$ s où on a appliqué le troisième niveau de la tension (60.48 kV) à partir de ce moment on remarque toujours le changement de prise en sens inverse (fig V.4) et la tension de réglage augmente successivement en fonction des variations de prise jusqu'à atteindre presque la tension de référence (0.95 pu) à l'instant $t = 150$ s.

Les figures (V.6, V.7) montrent respectivement la puissance active et la puissance réactive au primaire, on remarque que les deux allures suivent la forme de la tension de réglage.

V.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une simulation de transformateur de puissance (15 MVA-63 kV/31.5 kV) avec régleur en charge contenant 17 prises. Nous avons utilisé les paramètres et valeurs donnés par LLK.

La simulation s'est faite avec le logiciel simulink qui nous a permis d'obtenir des résultats acceptables.

L'objet visé à travers ce travail, est l'étude d'un transformateur de puissance 15 MVA de LLK avec régleur en charge et la réalisation d'une simulation sous matlab simulink.

Nous avons commencé ce travail par une étude générale sur les transformateurs de puissance : leurs objectifs, Les principaux éléments les constituant ainsi que leurs rôles, quelques équations magnétiques et électriques régissant son fonctionnement et enfin les différents type de transformateurs de puissance.

Après cela on a fait une étude descriptive sur le transformateur de distribution de 15 MVA de lala Khedidja (de prés). On s'est intéressé aux Caractéristiques du transformateur LLK, et les différents défauts auxquelles sera soumis ainsi que sa protection. Ce transformateur nous permet de passer de 63 kV (au primaire) à 31,5 kV (au secondaire) et de maintenir cette dernière constante (31.5 kV) grâce a un changeur de prise placé au primaire du transformateur.

L'objectif du changeur de prise dans notre cas est de gardé la tension au secondaire à 31.5kV, et pour cela on a fait une étude sur ce dernier qui nous a permis de connaitre son fonctionnement, ainsi que la nécessiter de l'utiliser dans un transformateur de puissance.

On a entamée notre travail par une étude sur la régulation automatique de tension avec la TAPCON 240 qui a pour rôle la commande automatique de transformateurs équipés de changeurs de prises en charge, actionnés par un entrainement à moteur.

A la fin on a clôturé le travaille par une simulation du transformateur de 15MVA avec le changeur de prise en utilisant matlab simulink, pour but de maintenir la tension de secondaire stable a 31.5 kV ainsi que de montré a partir des résultats de simulation le principe de fonctionnement du changeur de prise.

- [1] Francis MILSANT, « cours d'électrotechnique », Tome 1 : transformateurs et réseaux électriques, BERTI Editions, 2001.
- [2] M^{elle} K. DJAROUN, M^{elle} F. KACI « calcul d'un transformateur hermétique de distribution, 315 KVA, 10 kV/0.4 kV » Mémoire de fin d'étude ingénieur, Université de TIZI OUZOU, Promotion 2003.
- [3] documentation technique au niveau d'usine cévital (poste haute tension).
- [4] Bernard hochard « le transformateur de puissance » 2^{eme} édition ,1982.
- [5] M^f : M. AFETOUCHE ET M^f T. ARAB «étude d'un transformateur de puissance triphasé par la méthode des éléments finis » mémoire de fin d'étude ingénieur, université de TIZI OUZOU, promotion 2010.
- [6] Théodore WILDI, « Electrotechnique » 3^{eme} Edition DE BOECK Université, 2000.
- [7] M^{elle} : A. BOUDISSA et M^f B. AKLIOUT et M^f L.BELLAHSENE «étude d'un transformateur triphasé à trois enroulements 1250KVA, 30kV /690 V/690 V immergé dans l'huile » mémoire de fin d'étude ingénieur, université de TIZI OUZOU, promotion 2008.
- [8] Luc Lasne. professeur agrégé à l'university de bordeaux « exercices et problèmes d'électrotechnique ».Dunod,paris, 2005.
- [9] M^f Madjid.Meziani « Contribution à la modélisation analytico-numérique des transformateurs de puissance » mémoire de fin d'étude magister, université de TIZI OUZOU, promotion 2011.
- [10] M^{elle} : N. DAFFEUR, M^{elle} : F. AMENSOUR « Etude d'un transformateur triphasé 2.8 KVA 380/220 V » mémoire de fin d'étude ingénieur, université de TIZI OUZOU, promotion 2001.
- [11] M^f : A. BERFAS, M^f : M. NEKACHE « Calcul et exploitation d'un transformateur de puissance 25/30 MVA-30 kV/5.875 kV » mémoire de fin d'étude ingénieur, université de TIZI OUZOU, promotion 2010.

- Les niveaux de puissance consommable dans l'usine LLK sont donnée dans les tableaux (V.1 ; 2 ; 3 ; 4)

DEPART TGBT 1						
N°	DESIGNATION INITIALE	DESIGNATION MODIFIEE	repère	Pu (KW)	Section câbles (mm²)	Ref Disjoncteur
SECTION 1 : LIGNE 1						
1	SELECT 20GL 90/15C :SIDEL		4A	542,00	3x2x1x300	NS 1000 H 3P PAV MICR 60
2	ALIMENTATEUR DE BOUCHONS : CCF	RESERVE	6A	1,50		NS 100 H TM 100D 3P3D
3	CONTRÔLE NIVEAU DE BOUCHON: HEUFT		7A	0,50	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
4	ARMOIRE D'AUTOMATISATION:CCF		10A	45,00	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
5	ETIQUETEUSE OPERA 300: SACMI		11A	27,00	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
6	DATEUSE S300B: DOMINO		13A1	0,70	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
7	EXTRACTEUR DPX1000:DOMINO		13A2	1,41	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
8	FARDELEUSE TSM 4 SDI : CERMEX – OC		14A	149,00	3x1x150	NS 400 H STR23SE 400 3P3D
9	ALIMENTATEUR POIGNEES METE : TWINPACK		16A	4,70	3x6	NS 100 H TM 100D 4P4D
10	PALETTISEUR P432-20 : CERMEX		18A	45,00	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
11	HOUSSEUSE :THIMON		20A	46,00	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
SECTION 2 : LIGNE 2						
12	SELECT 20GL 90/15C :SIDEL		4B	542,00	3x2x1x300	NS 1000 H 3P PAV MICR 60
13	ALIMENTATEUR DE BOUCHONS : CCF	RESERVE	6B	1,5		NS 100 H TM 100D 3P3D
14	CONTRÔLE NIVEAU DE BOUCHON: HEUFT		7B	0,5	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
15	ARMOIRE D'AUTOMATISATION:CCF		10B	45,00	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
16	ETIQUETEUSE OPERA 300: SACMI		11B	27,00	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
17	DATEUSE S300B: DOMINO		13B1	0,70	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
18	EXTRACTEUR DPX1000:DOMINO		13B2	1,41	3x6	NG 125 L 2P 10A C
19	FARDELEUSE TSM 4 SDI : CERMEX – OC		14B	149,00	3x1x150	NS 400 H STR23SE 400 3P3D
20	ALIMENTATEUR POIGNEES METE : TWINPACK		16B	4,70	3x6	NS 100 H TM 100D 4P4D
21	PALETTISEUR P432-20 : CERMEX		18B	45,60	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
22	HOUSSEUSE :THIMON		20B	46,00	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
SECTION 3 : LIGNE 3						
23	SELECT 20BV 140/15C :SIDEL		4C	589,00	3x2x1x300	NS 1000 H 3P PAV MICR 60
24	ALIMENTATEUR DE BOUCHONS : CCF	RESERVE	6C	1,50		NS 100 H TM 100D 3P3D
25	CONTRÔLE NIVEAU DE BOUCHON: HEUFT		7C	0,50	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
26	PREMIX :SIDEL FILLING		8C	105,00	3x120	NS 250 H TM 250D 3P3D
27	ARMOIRE		11C	55,00	4x25	NS 100 H TM 100D

	D'AUTOMATISATION:CCF					4P4D
28	ETIQUETEUSE OPERA 300: SACMI		12C	27,00	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
29	DATEUSE S300B: DOMINO		14C1	0,70	3x2,5	NG 125 L 2P 10A C
30	EXTRACTEUR DPX1000:DOMINO		14C2	1,41	3x6	NG 125 L 2P 10A C
31	FARDELEUSE TSM 4 SDI : CERMEX – OC		15C	149,00	3x1x150	NS 400 H STR23SE 400 3P3D
32	ALIMENTATEUR POIGNEES METE : TWINPACK		18C	4,70	3x6	NS 100 H TM 100D 4P4D
33	PALETTISEUR P432-20 : CERMEX		19C	45,00	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
34	HOUSSEUSE :THIMON	CARBONATEUR	21C	25,00	3x50- 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
35	SLIVEUSE N01	RESERVE	22C	50,00		NS 100 H TM 100D 4P4D
SECTION 4 : LIGNE 4						
36	SELECT 20BV 140/15C :SIDEL		4D	589,00	3x2x1x300	NS 1000 H 3P PAV MICR 60
37	ALIMENTATION DE BOUCHONS CCF	ALIM COMPRESSEUR ATLAS COPCO 7 BARS (02)	6D	45,00	3x2,5	NS 100 H TM 100D 3P3D
38	CONTRÔLE NIVEAU DE BOUCHON: HEUFT		7D	0,50	2x4	NG 125 L 2P 10A C
39	PREMIX :SIDEL FILLING		8D	105,00	3x120	NS 250 H TM 250D 3P3D
40	ARMOIRE D'AUTOMATISATION:CCF		11D	55,00	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
41	ETIQUETEUSE OPERA 300: SACMI		12D	27,00	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
42	DATEUSE S300B: DOMINO		14D1	4,00	2x4	NG 125 L 2P 10A C
43	EXTRACTEUR DPX1000:DOMINO		14D2	1,41	3x6	NG 125 L 2P 10A C
44	FARDELEUSE TSM 4 SDI : CERMEX – OC		15D	149,00	3x1x150	NS 400 H STR23SE 400 3P3D
45	ALIMENTATEUR POIGNEES METE : TWINPACK		18D	4,70	3x6	NS 100 H TM 100D 4P4D
46	PALETTISEUR P432-20 : CERMEX		19D	55,00	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
47	HOUSSEUSE :THIMON		21D	46,00	3x25	NS 100 H TM 100D 3P3D
48	SLIVEUSE N02		22D	50,00	3x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
SIROPERIE						
49	ARMOIRE DE CONTRÔLE SIROPERIE		E1	26,00	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
50	ARMOIRE DE CONTRÔLE		E2	93,00	4x120	NS 250 H TM 250D 4P4D
51	ARMOIRE DE CONTRÔLE		E3	78,00	3x95 -1x50	NS 250 H TM 250D 4P4D
52	DEPART RESERVE N 01	SECHEUR LIGNE 01	T1 01	18,00	3x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
53	DEPART RESERVE N 02	SECHEUR LIGNE 02	T1 02	18,00	3x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
54	DEPART RESERVE N 03	SECHEUR LIGNE 04 N° 02	T1 03	18,00	3x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
55	DEPART RESERVE N 04	POSEUSE DE MANCHONS LIGNE 01	T1 04	10,00	3x35	NS 100 H TM 100D 4P4D
56	DEPART RESERVE N 05	EVAPORATEUR CO2	T1 05	46,90	3x6	NS 100 H TM 100D 4P4D
57	CONDENSATEUR 725 KVAR		C 1600		3x4x240	NS 1600 H 3P PAV MICRO
				4219,54 KW		6 851,24 A

Tableau V.1 : Bilan de puissance TGBT1

DEPART TGBT 02						
N°	DESIGNATION INITIALE	DESIGNATION MODIFIEE	repère	Pu (KW)	Section câbles (mm²)	Ref Disjoncteur
1	ARMOIRE ELECTRIQUE SIAD 1 (compresseur 40Bar Tempo 2350)		T2- 01	454	3x2x1x185	NS 1000 H 3P PAV MICRO
2	ARMOIRE ELECTRIQUE SIAD 2 (compresseur 40Bar Tempo 2350)		T2- 02	454	3x2x1x185	NS 1000 H 3P PAV MICRO
3	ARMOIRE ELECTRIQUE SIAD 3 (compresseur 40Bar Tempo 1850)		T2- 03	378	3x2x1x150	NS 800 H 3P PAV MICRO
4	ARMOIRE ELECTRIQUE SIAD 4 (compresseur 40Bar Tempo 1850)		T2- 04	378	3x2x1x150	NS 800 H 3P PAV MICRO
5	ARMOIRE ELECTRIQUE SIAD 5 (compresseur 40Bar Tempo 1850)		T2- 05	378	3x2x1x150	NS 800 H 3P PAV MICRO
6	COFFRET DE REPARTITION SIAD		T2- 06	141	3x95	NS 400 H STR23SE 3P3D
7	REFRIGERANT WKL 3580 - 4HT :EF		T2- 07	28,6	3x16	NS 100 H TM 100D 3P3D
8	CENTRALE DE REFROIDISSEMENT : EF		T2- 08	212	4x1x185	NS 400 H STR23SE 4P4D
9	ALIMENTATION EXTRACTEUR FUMEE 01	PORTES RIDEAUX A et B	T2- 09	22	2x3x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
10	ALIMENTATION EXTRACTEUR FUMEE 02	ALIMENTATION LABORATOIRE	T2- 10	22	3x50 - 1x35	NS 100 H TM 100D 4P4D
11	ALIMENTATION EXTRACTEUR FUMEE 03	COMPRESSEUR CO2	T2- 11	22	4x6	NS 100 H TM 100D 4P4D
12	ALIMENTATION EXTRACTEUR FUMEE 04	EXTRACTEUR D'AIR HUSKY	T2- 12	5	5x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
13	ALIMENTATION EXTRACTEUR D'AIR TRANSFO 1	EXTRACTEUR D'AIR CHAUDIERE	T2- 13	2,5	4x10	NS 100 H TM 100D 4P4D
14	ALIMENTATION EXTRACTEUR D'AIR TRANSFO 2	EXTRACTEUR D'AIR COMPRESSEUR	T2- 14	10	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
15	ALIMENTATION EXTRACTEUR D'AIR TRANSFO 3	Chauffe Moule Piovan Presse à Injection Bouchon	T2- 15	44	5x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
16	ALIMENTATION CLIMATISEUR 01 (salle electrique)		T2- 16	30	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
17	ALIMENTATION CLIMATISEUR 02 (salle electrique)		T2- 17	30	4x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
18	COMPRESSEUR 7BAR 2xROL 150 : WORTHINGTON		27	232	3x1x150	NS 630 H STR23SE 630 3P3D
19	COMPRESSEUR DE RESERVE 7BAR 2xROL 150 : WORTHINGTON	REFROIDISSEUR VDM	28	278	3x2x1x150	NS 630 H STR23SE 630 3P3D
20	DEPART RESERVE N 01	GROUPE HYDRAULIQUE VDM	T2- 18	26,4	3x35	NS 160 H TM 160D 3P3D
21	DEPART RESERVE N 02	GROUPE HYDRAULIQUE WT	T2- 19	44,8	3x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
22	DEPART RESERVE N 03	GH PRODUCTION CLIMATISATION 02	T2- 20	22	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
23	DEPART RESERVE N 04	GH PRODUCTION CLIMATISATION 01	T2- 21	22	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
24	DEPART RESERVE N 05	POSEUSE DE MANCHONS LIGNE 02	T2- 22	10	3x35	NS 100 H TM 100D 4P4D
25	CONDENSATEUR 725 KVAR		C 1600		3x4x240	NS 1600 H 3P PAV MICRO
	Remarque: la puissance utile de chaque extracteur d'air est de 2,5 KW			3246,3 KW		5 270,99 A

Tableau V.2 : Bilan de puissance TGBT2

DEPART TGBT 3						
N°	DESIGNATION INITIALE	DESIGNATION MODIFIEE	repère	Pu (KW)	Section câbles (mm²)	Ref Disjoncteur
1	TRAITEMENT D'EAU		N01	238,00	3x1x185	NS 630 H STR23SE 630 3P3D
2	CHAUDIERE		N02	45,00	4x16	NS 100 H TM 100D 3P3D
3	CHILLER EAU MINERALE		N03	413,20	3x2x1x185	NS 800 H 3P PAV MICR
4	ALIMENTATION ECLAIRAGE USINE		N04	200,00	3x1x150	NS 400 H STR23SE 400 4P4D
5	ALIMENTATION ARMOIRE BUREAU		N05	400,00	3x1x150 - 1x95	NS 800 H 4P PAV MICR
6	ALIMENTATION PRODUCTION CLIMATISATION	REFROIDISSEUR WT n°01 PRODUCTION CLIMATISATION CTA	N06	340,00	3x2x1x150	NS 400 H STR23SE 400 4P4D
7	ALIMENTATION CLIMATISEUR SALLE ELECTRIQUE	CHAMBRE FROIDE COTE TGBT	N07	30,00	4x70	NS 100 H TM 100D 4P4D
8	ALIMENTATION POSTE DE GARDE	Deshumidificateur de Moules Presse à Injection Bouchon	N08	16,50	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
9	DEPART DE RESERVE N 03	RESERVE	N09	80,00	3x50 - 1x35	NS 250 H TM 250D 3P3D
10	ALIMENTATION PONT ROULANT N 01 (compresseur)		N10	25,00	3x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
11	ALIMENTATION PONT ROULANT N 02 (Husky)		N11	25,00	3x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
12	ALIMENTATION COFFRET PORTES AUTOMATIQUES ET QUAIS AMOVIBLES		N12	30,00	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
13	ALIMENTATION CHAMBRE FROIDE	CHAMBRE FROIDE COTE CHAUDIERE	N13	20,00	4x10 - 1x35	NS 100 H TM 100D 4P4D
14	ALIMENTATION SECOND BATIMENT	PRESSE A INJECTION BOUCHON	N14	150,00	4x120	NS 630 H STR23SE 630 4P4D
15	ALIMENTATION ONDULEUR 40 KVA		N15	36,00	3x16	NS 100 H TM 100D 4P4D
16	DEPART ALIMENTATION CLIMATISEUR LABORATOIRE		N16	6,00	4x4	NS 100 H TM 100D 4P4D
17	DEPART ALIMENTATION CLIMATISEUR DE COMMANDE DE LA SIROTERIE		N17	1,50	3x2,5 - 1x35	NG 125 L 2P 10A
18	ALIMENTATION COFFRET MAINTENANCE	PRODUCTION CLIMATISATION	N18	45,00	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
19	DEPART RESERVE 01	SECHEUR LIGNE 04	N19	18,00	3x25	NS 100 H TM 100D 4P4D
20	DEPART RESERVE 02	STATION GPL et PORTES PNEUMATIQUES	N20	20,00	4x25	NS 100 H TM 100D 4P4D

SECTION 5 : LIGNE 5						
21	SOUFLEUSE	APV	L5 01	110,00	3x120	NS 400 H STR23SE 400 3P3D
22	REFROIDISSEUR SOUFLEUSE		L5 02	40,00	3x25 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
23	CONVOYEUR		L5 03	20,00	3x10 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
24	REMP LISSEUSE		L5 04	19,00	3x10 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
25	ETIQUETEUSE		L5 05	6,00	3x4 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D

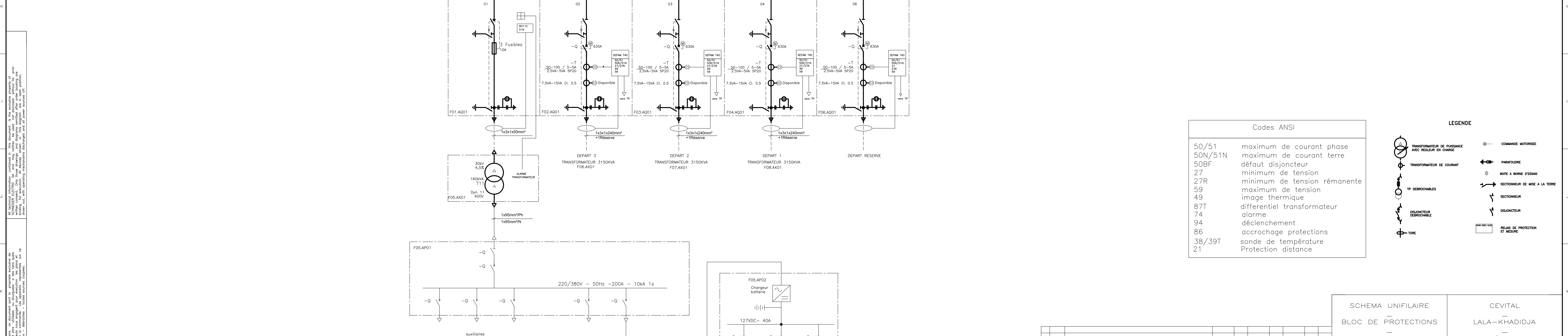
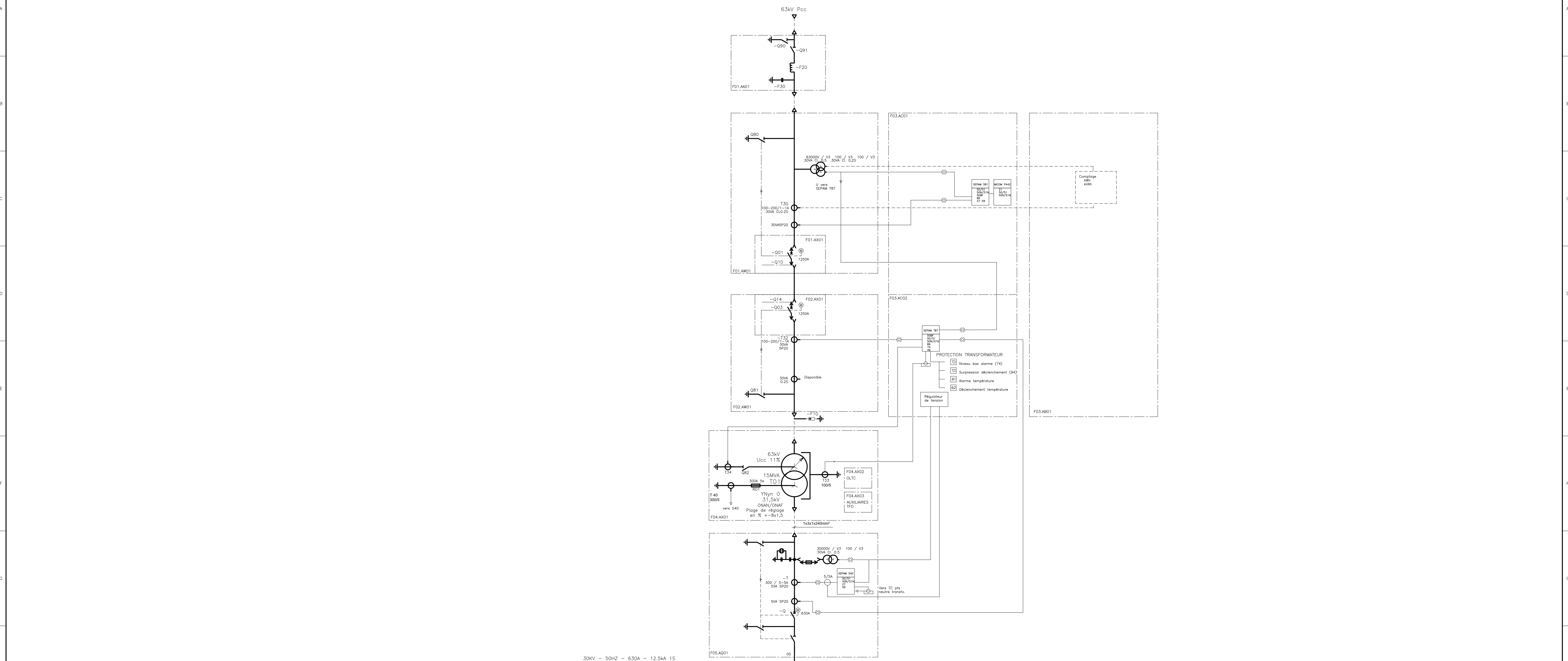
26	MISE POIGNEES		L5 06	4,00	3x4 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
27	PALITISEUR		L5 07	24,00	3x16 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
28	HOUSSEUSE		L5 08	18,00	3x16 - 1x35	NS 100 H TM 100D 3P3D
29	COMPRESSEUR 40 BAR	REFROIDISSEUR WT n°02 PRODUCTION CLIMATISATION CTA	L5 09	340,00	3x1x300	NS 630 H STR23SE 630 3P3D
30	CONDENSATEUR 725 KVAR		C 1600		3x4x240	NS 1600 H 3P PAV MICRO
				4675,30K W		7 591,25A

Tableau V.3 : Bilan de puissance TGBT3

DEPART TGBT PRESSES							
N°	DESIGNATION	Repère	Pu (kW)	Section câbles (mm ²)	Quantité prévue (MI)	Ref Disjoncteur	La résistance d'isolement par rapport à la masse (G Ω)
Section1: avec presse N: 1 et auxiliaires							
1	MACHINE A INJECTION 25:1	Hypet 400	370,00	2x3x1x150 mm ² +1x150 mm ² + 1x95 mm ²	700	NS 800 H STR23SE 800 4P4D CHASSIS DERBO COMPLET	4
2	CHAUFFE MOULE 96EMPRESINTES	96 E	76,00	3X50+1X35 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 160 H TM 160D 4P4D	1,5
3	SYSTEME DE SECHAGE	DP 630	152,50	3X1X120 mm ² 1X50 mm ²	1800	NS 400 H STR23SE 400 SP3D DEBRO ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	2
4	DEHUMIDIFICA TEUR DE MOULE	RPA 1800	16,50	3X10 mm ² 1x35 mm ²	1800	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	3
5	CONVOYEUR SOFT DROP PIOVAN	SDP	1,00	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	800	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR COC,(FUSIBLE 4 GF)	5
6	DOSEUR MASTERBATCH	MDT3/CH	0,50	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	800	NG 125 L 2P 10A C	5
7	ALIMENTEUR S 40 POUR DOSEUR	S 40	1,00	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	800	NS 125 L 2P 10 A C	5
8	BOOSTER PUMP	GP2/18,5V	37,00	3X16 mm ² 1x35 mm ²	800	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	3
Section2: avec presse N: 2 et auxiliaires							
9	MACHINE A INJECTION 25:1	Hypet 400	425,00	2x3x1x150 mm ² +1x150 mm ² + 1x95 mm ²	700	NS 800 H STR23SE 800 4P4D CHASSIS DERBO COMPLET	5
10	CHAUFFE MOULE 96 EMPRESINTES	96 E	76,00	3X50+1X35 mm ² 1x35 mm ²	800	NS 160 H TM 160D 4P4D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	2
11	SYSTEME DE SECHAGE	DP 630	152,50	3X1X120 mm ² 1X50 mm ²	2000,00	NS 400 H STR23SE 400 SP3D DEBRO ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	4 pour PH1 4n pour PH 2 5 pour PH3

12	DEHUMIDIFICATEUR DE MOULE	RPA 1800	16,50	3X10 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	3
13	CONVOYEUR SOFT DROP PIOVAN	SDP	1,00	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR COC,(FUSIBLE 4 GF)	5
14	DOSEUR MASTERBATCH	MDT3/CH	0,50	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	700	NG 125 L 2P 10A C	5
15	ALIMENTEUR S 40 POUR DOSEUR	S 40	1,00	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	700	NG 125 L 2P 10 A C	5
16	BOOSTER PUMP	GP2/18, 5V	37,00	3X16 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	3
Section3: Utilités							
17	COMPRESSEUR GA 45-13WP	GA 45-13WP	45,00	3x25mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 4P4D CHASSIS DERBO COMPLET	1,5
18	SECHEUR	FD 170	2,00	3x2,5mm ² 1x35 mm ²	800	NG 125 L 2P 10 A C	5
19	2 REFROIDISSEUR	SFM240	175,00	3X1X120 mm ² 1X35mm ²	2000	NS 400 H STR23SE 400 3P3D DEBRO ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	4
20	REFROIDISSEUR A			3x120 mm ²		NS 400 H STR23SE	
21	POMPE PRIMAIRE	GP1/11	11,00	3X6 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	3
22	POMPE DE DISTRIBUTEUR	HTC GP3/18,5	37,00	3X16 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR SOC,	3
23	STATION DE VIDANGE BIG BAG	S B B	2,10	3X2,5 mm ² 1x35 mm ²	700	NS 100 H TM 100D 3P3D ACC COMPLET DEBRO SUR COC,(FUSIBLE 4 GF)	5
			1636,10 KW		2 656,52A		

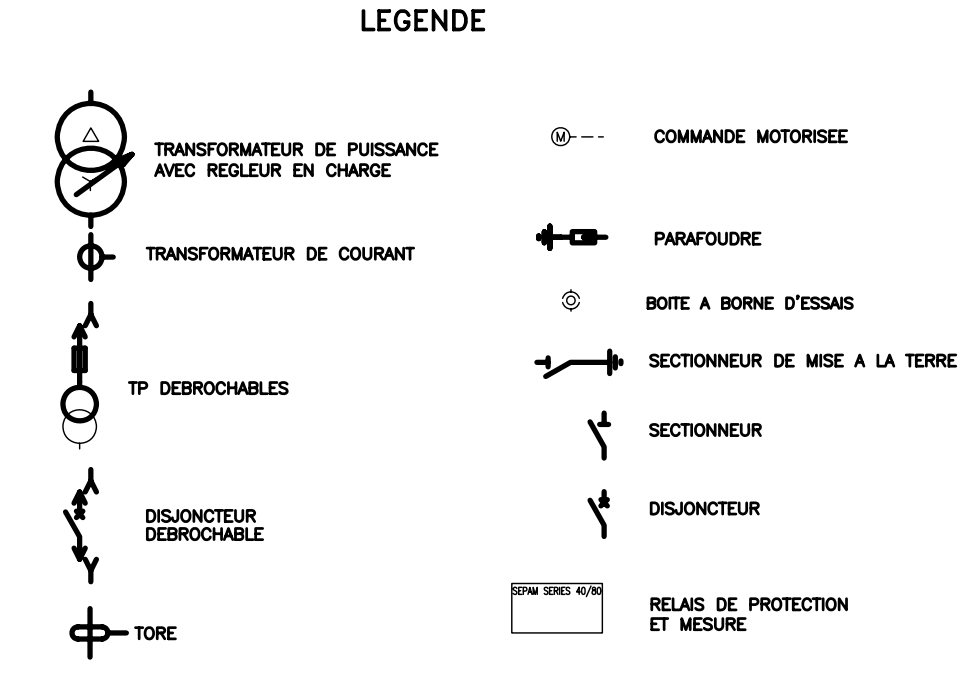
Tableau V.4 : Bilan de puissance TGBT PRESSE



ALL INFORMATION CONTAINED HEREIN IS THE PROPERTY OF SCHNEIDER ELECTRIC. IT IS TO BE USED ONLY FOR THE PROJECT AND SITE SPECIFICALLY IDENTIFIED HEREIN. IT IS NOT TO BE REPRODUCED, COPIED, OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM. THE USER OF THIS DOCUMENT AGREES TO INDEMNIFY AND HOLD HARMLESS SCHNEIDER ELECTRIC FROM AND AGAINST ALL CLAIMS, DAMAGES, LOSSES AND EXPENSES, INCLUDING REASONABLE ATTORNEY'S FEES, ARISING OUT OF OR RESULTING FROM THE USE OF THIS DOCUMENT.

Codes ANSI

50/51	maximum de courant phase
50N/51N	maximum de courant terre
50BF	défaut disjoncteur
27	minimum de tension
27R	minimum de tension rémanente
59	maximum de tension
49	image thermique
87T	differential transformateur
74	alarme
94	déclenchement
86	accrochage protections
38/39T	sonde de température
21	Protection distance



07	***	Tel que construit	MA	TICHADOU	BERARD	
08	***	Mise a jour localisation TFO	PHM	BERARD	BERARD	
05	***	MAJ suite commentaires CEVITAL	PHM	BERARD	BERARD	
04	***	Mise a jour	PHM	BERARD	BERARD	
03	***	Mise a jour	PHM	BERARD	BERARD	
02	***	Mise a jour	COS	BERARD	BERARD	
01	***	Mise a jour	COS	BERARD	BERARD	
00	***	Edition originale/1er essai	COS	BERARD	BERARD	
Ind	Date		Norm./Ann.	Visa	Norm./Ann.	Visa
rev	Date	Modification/modifieur	Destinat./Ann.	Verif./Ann.	Approuv./Ann.	Imprimé

SCHEMA UNIFILAIRE
BLOC DE PROTECTIONS
ET MESURES

CEVITAL
LALA-KHADIDJA
Poste 60/30kV -15MVA

Echelle
Scale

Unité/appartement
PM

Date diffusion
Distribution code

Projet - No commande
N°001 - 000000

dl4pe5992

0296674700

Ind./N°/Folio/Ann.
07/00/1

Original AutoCAD format A0

Le transformateur, par ses différentes facettes d'utilisation, rend possible ce transport, et se trouve présent à toutes les étapes d'utilisation de l'énergie électrique, depuis le transport jusqu'à l'utilisation.

Les transformateurs sont d'importants composants des réseaux électriques, l'un des dispositifs importants, pour l'exploitation de cette énergie électrique.

L'objet visé à travers ce travail, est l'étude d'un transformateur de puissance 15 MVA de LLK avec régulateur en charge et la réalisation d'une simulation sous matlab simulink.

Le travail réalisé est basé sur une étude théorique du transformateur de 15 MVA de LLK ainsi que le changeur de prise.

On s'est intéressé au principe de fonctionnement de ces deux derniers ainsi que les différents éléments les constituant et leurs.

A la fin on a fait une simulation avec matlab simulink pour montrer beaucoup plus le principe de changement de prise dans un transformateur.

Mots clés

TAPCON 240

Disjoncteur SB6

Isolation

Sepam T87

Changeur de prise en charge mécanique, hors circuit, électronique.