

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département : Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

MALEK Abdelmadjid

MEZRAG Ammad Eddine

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Option : Réseaux électriques

Thème :

**Protection électrique et technologique du transformateur de puissance
22kv/400kv dans la centrale de production à cycle combinée de
Ain Arnet-Sétif 1200MW**

Devant le jury composé de :

GRICHE Issam	MAA	UAMOB	Président
YAHIOU Abdelghani	MAA	UAMOB	Encadreur
MAHBOUB Mohamed Abdelbasset	MCB	UKMO	Co-Encadreur
BERRAG Amine	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Dédicaces

On dédie ce travail à :

Nos pères abdelkader et lakhdar avec toute reconnaissance

Nos mères naçéra et louiza avec toute affection

Nos frères, nos soeurs, ainsi toute la famille

Tous Nos amis qui nous ont aidé

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années. On exprime notre profonde gratitude à nos parents, nos frères et sœurs qui, sur le plan humain, nous ont soutenu par leurs encouragements tout au long de nos études.

On remercie aussi MR MAHBOUB MOHAMED ABDELBASSET et MR YAHIOU ABDELGHANI, pour nous avoir dirigé et aidé, aussi pour leur disponibilité.

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres de jury :

- GRICHE ISSAM.

-BERRAG AMINE.

-KIRECHE NORA.

Pour avoir accepté ce travail, aussi pour les efforts donnés durant nos années d'études dans l'université.

Enfin on remercie toute personne de près ou de loin qui a participé pour rendre ce travail réalisable et présentable.

SOMMAIRE

DEDICACES	II
REMERCIEMENTS	III
SOMMAIRE	IV
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
NOMS ABREGES ET LEURS SIGNIFICATIONS.....	XV
RESUME	XIV
INTRODUCTION GENERALE.....	I

Chapitre 01.....I.1

Présentation générale sur les transformateurs

I.1.Introduction:.....	I.1
I.2.Définition:	I.1
I.3.Rôle du transformateur:	I.2
I.4.Symboles des transformateurs:.....	I.3
I.5.Caractéristiques d'un transformateur:	I.3
I.5.1.Puissance nominale:.....	I.3
I.5.2.Refroidissement:	I.4
I.5.2.1.Symboles utilisés pour le refroidissement:.....	I.4
I.5.2.2.Différents types de refroidissement des transformateurs de puissance haute tension:	I.5
I.5.2.3.Système de refroidissement:	I.6
I.5.3.Fréquence:	I.6
I.5.4.Tension:	I.6
I.5.5.Phase:	I.7
I.5.6. Changeur de prises:.....	I.7
I.5.6.1. Changeurs de prises hors tension:	I.7
I.5.6.2. Changeurs de prises sous tension:.....	I.8
I.6.Constitution d'un transformateur:.....	I.8

SOMMAIRE

I.7. Type de Transformateur selon le nombre de phase:	I.9
I.7.1. Transformateur monophasé:	I.9
I.7.2. Transformateur triphasé:	I.9
I.8. Couplages de transformateur triphasé:.....	I.10
I.8.1. Différents couplages:	I.10
I.8.1.1. Couplage étoile:	I.11
I.8.1.2. Couplage triangle:	I.11
I.8.1.3. Couplage zigzag:	I.12
I.8.2. Désignation des couplages:	I.12
I.8.3. Choix du couplage:	I.13
I.8.4. Indice horaire:	I.13
I.9. Déphasages:	I.13
I.9.1. Définition du déphasage:.....	I.14
I.9.2. Exemple l'indice (11):	I.14
I.9.3. Désignation de l'indice Dy11:	I.14
I.10. Conclusion:.....	I.16

Chapitre 02.....II.1

Présentation sur la centrale à cycle combiné 1200 MW AIN ARNET-SETIF

II.1. Introduction:	II.1
II.2. Connaissance générale de la centrale:.....	II.1
II.2.1. Principe:	II.1
II.2.2. Cycles combinés utilisant le gaz comme source primaire d'énergie:	II.1
II.2.3. Cycles combinés gaz et environnement:.....	II.2
II.3. Principaux équipements de la centrale:	II.3
II.3.1. Turbine à gaz TG:.....	II.3
II.3.2. Turbine à vapeur:.....	II.4
II.3.3. Alternateur:	II.5
II.3.4. Pompe alimentaire:	II.5
II.3.5. Pompe d'extraction:.....	II.6

SOMMAIRE

II.3.6. Chaudière de récupération HRSG:	II.7
I.3.7. Contrôle commande DCS:.....	II.8
I.3.8. Aérocondenseur ACC:	II.8
II.3.9. Aéro-réfrigérants tranches:.....	II.9
II.3.10. Poste gaz:	II.9
II.3.11. Chaudière auxiliaire:.....	II.10
II.3.12. Station production H2:	II.10
II.3.13. Station production eau déminéralisée:	II.11
II.3.14. Système fuel:	II.11
II.4. Principaux circuits de processus:	II.11
II.4.1. Circuits eau vapeur:	II.11
II.4.2. Circuits combustible:	II.11
II.4.3. Circuits air comprimé:	II.12
II.4.4. Circuits huile de graissage:	II.13
II.4.5. Circuits eau de refroidissement:	II.13
II.4.6. Circuits eau (eau déminéralisé, eau potable, eau de service):.....	II.13
I.4.7. Circuits incendie:	II.14
I.5. conclusion:	II.15
 Chapitre 03.....	III.1
<i>Essais sur site et mise en service du transformateur de puissance 22KV / 400KV AIN ARNET-SETIF</i>	
III.1. Introduction:	III.1
III.2. Pré-mise en service:	III.1
III.3. Mise en service:	III.1
III.4. Avantage de Pré-mise en service et de mise en service:.....	III.1
III.5. Différents problèmes que peut rencontrer un transformateur durant sa durée de vie:..	III.1
III.6. Différents étapes de mise en service:.....	III.2
III.6.1. Mesure de la résistance d'isolement et mesure de la capacité et du facteur de puissance de l'isolement:	III.2
III.6.1.1. Mesure de la résistance d'isolement:.....	III.2

SOMMAIRE

III.6.1.1.1. Mesure de la résistance d'isolement du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:	III.5
III.6.1.2. Mesure de la capacité et du facteur de puissance de l'isolement:.....	III.5
III.6.1.3. Mesure de la capacité et du facteur de puissance de l'isolement du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET SETIF:	III.7
III.6.2. Mesure de la résistance ohmique:	III.9
III.6.2.1. Mesure de la résistance ohmique du transformateur de puissance 420/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:.....	III.10
III.6.3. Rapport de transformation:	III.10
III.6.3.1. Contrôle du rapport de transformation:.....	III.10
III.6.3.1.1. Contrôle du rapport de transformation du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:	III.11
III.6.4. Contrôle de la connexion de l'enroulement tertiaire:.....	III.12
III.6.4.1. Contrôle de la connexion de couplage du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET -SETIF:	III.12
III.6.5. Mesure du courant magnétisant a 380V:	III.13
III.6.5.1. Mesure du courant magnétisant à 396V du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:	III.14
III.6.6. Essais de l'huile:	III.14
III.6.6.1. Résistance diélectrique de l'huile au fond de la cuve du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:	III.15
III.6.7. Fonctionnement du relais de protection:	III.15
III.6.7.1. Essai de relais actionné à l'huile et à gaz (relais Buchholz):.....	III.15
III.6.7.2. Fonctionnement et réglage du thermostat (T):	III.15
III.6.7.3. Thermomètre à contact (indicateur de température d'huile — OTI) et Imagethermique (indicateur de température d'enroulements — WTI) Contrôle defonctionnement:	III.16
III.6.7.4. Contrôle de la protection de la cuve:	III.16
III.6.7.5. Essai et fonctionnement et mise au point de l'équipement de protection et d'alarme du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:.....	III.17
III.6.8. Contrôle de fonctionnement de changeur de prise hors charge:	III.18

SOMMAIRE

III.6.8.1. Contrôle de fonctionnement de changeur de prise hors charge du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET SETIF:	III.18
III.6.9. Contrôle de désaéragage:.....	III.19
III.6.9.1. Contrôle de désaéragage du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:	III.19
III.6.10. Mise en service sous tension:.....	III.19
III.6.10.1. Contrôle d'autres protections dans l'appareillage de connexion:.....	III.19
III.6.10.2. Procédure de la première mise en service sous tension:	III.20
III.7. Conclusion:.....	III.20
Chapitre 04.....	IV.1

Protection électrique et protection technologique du transformateur de

Puissance

IV.1. Introduction:	IV.1
IV.2. Définition d'un plan de protection:	IV.1
IV.3. Qualité et rôle du plan de protection:	IV.1
IV.4. Facteurs à prendre en considération pour le choix du plan:	IV.1
IV.5. Différents incidents qui peuvent infecter un transformateur:	IV.2
IV.5.1. Causes des incidents:.....	IV.2
IV.5.2. Conséquences des incidents:.....	IV.2
IV.6. Protection électrique:	IV.3
IV.6.1. Protection différentielle (87T):	IV.3
IV.6.1.1. Rôle de protection différentielle:.....	IV.3
IV.6.1.2. Principe de base:.....	IV.4
IV.6.1.3. Déclanchement due au rapport de transformation des transformateurs de courant TC:.....	IV.5
IV.6.1.3.1. Exemple:.....	IV.5
IV.6.1.3.2. Remède (équilibre d'amplitude):.....	IV.5
IV.6.1.4. Déclanchement dû au couplage du transformateur:	IV.6
IV.6.1.4.1. Remède:.....	IV.7

SOMMAIRE

IV.6.1.5. Fonctionnement intempestif dû à l'indice horaire:	IV.8
IV.6.1.5.1. Remède:.....	IV.8
IV.6.1.6. Fonctionnement intempestif dû à l'imperfection des TC:.....	IV.10
IV.6.1.6.1. Remède:.....	IV.11
IV.6.1.7. Fonctionnement intempestif due au transformateur à vide:.....	IV.12
IV.6.1.8. Caractéristique typique de retenue et de fonctionnement d'un relais différentiel :	IV.12
IV.6.2. Protection masse cuve (50N):.....	IV.14
IV.6.2.1. Rôle de la protection masse cuve:	IV.14
IV.6.2.2. Constitution de la protection masse cuve:.....	IV.14
IV.6.2.3. Défauts surveillés par la protection masse cuve:	IV.14
IV.6.2.4. Principe de détection:	IV.15
IV.6.3. Protection contre les surintensités seuil haut (violent) 50:.....	IV.16
IV.6.3.1. Constitution de la protection:	IV.16
IV.6.3.2. Rôle de la protection:.....	IV.16
IV.6.3.3. Principe de fonctionnement:	IV.17
IV.6.4. Protection Neutre transformateur:	IV.17
IV.6.4.1. Neutre exploité directement à la terre:	IV.18
IV.6.4.1.1. Constitution:	IV.18
IV.6.4.1.2. Rôle de la protection:	IV.19
IV.6.4.1.3. Principe de protection:	IV.19
IV.6.4.2. Neutre exploité à la terre à travers une résistance:	IV.19
IV.6.5. Protection contre le maximum de flux (surexcitation F24):.....	IV.20
IV.6.5.1. Rôle de protection:	IV.20
IV.6.5.2. Principe de base:.....	IV.20
IV.6.5.3. Principe de fonctionnement:	IV.21
IV.6.6. Protection de défaillance disjoncteur 50BF (PDD):	IV.22
IV.6.6.1. Rôle de la protection ou fonction défaillance disjoncteur:	IV.22
IV.6.6.2. Actions de la protection défaillance disjoncteur:	IV.23
IV.6.7. Protection contre la surcharge:.....	IV.23
IV.6.7.1. Protection contre la surcharge Ampèremétrique (51):	IV.23
IV.6.7.2. Protection de surcharge thermique (49T):	IV.23
IV.6.7.3. Rôle de la protection ou de la fonction sur charge thermique:	IV.24

SOMMAIRE

IV.7. Protection technologique:	IV.24
IV.7.1. Relais Buchholz (63):	IV.24
IV.7.1.1. Rôle du relais Buchholz:	IV.24
IV.7.1.2. Principe de base:	IV.25
IV.7.1.3. Constitution du relais:	IV.25
IV.7.1.4. Principe de fonctionnement:.....	IV.26
IV.7.1.5. Actions de l'opérateur:	IV.27
IV.7.1.6. Analyse des gaz:	IV.27
IV.7.2. Surveillance de la température cuve (26):	IV.28
IV.7.2.1. Phénomènes thermiques dans le transformateur:	IV.28
IV.7.2.2. Conséquences des sur-échauffements:.....	IV.28
IV.7.2.3. Utilisation des thermostats:	IV.28
IV.7.2.3.1. Indication ou surveillance de la température:.....	IV.28
IV.7.2.3.2. Valeurs de réglage sont fournies par le constructeur du transformateur:	IV.29
IV.7.2.4. Utilisation de thermocouple:	IV.30
IV.7.2.4.1. Constitution:	IV.30
IV.7.2.4.2. Rôle des thermocouples:	IV.30
IV.7.2.4.3. Principe de fonctionnement:.....	IV.31
IV.7.3. Protection par Soupape de Surpression:	IV.31
IV.7.4. Protection par Clapet Anti-retour:.....	IV.32
IV.9. Conclusion:	IV.33

CONCLUSION GENERALE	1
ANNEXE A : Schéma unifilaire du central cycle combinée 1200 MW AIN ARNET SETIF	1
ANNEXE B : Numérotations des protections selon la norme C.E.I	2
REFERENCES	1

LISTES DES FIGURES

Figure I.1: Transformateur de puissance.	I.2
Figure I.2: Schéma explicatif de la structure d'un réseau électrique.	I.2
Figure I.3: Symbole d'un transformateur.	I.3
Figure I.4: Plaque signalétique indiquant les besoins en refroidissement	I.4
Figure I.5: Refroidissement à l'huile par radiateur.	I.5
Figure I.6: Refroidissement à l'huile par ventilation.....	I.5
Figure I.7: Refroidissement à l'huile par aéroréfrigérant.....	I.5
Figure I.8: Principe d'un système de refroidissement.	I.6
Figure I.9: Changeur de prise hors tension.	I.7
Figure I.10: Changeur de prise sous tension.....	I.8
Figure I.11: Constitution d'un transformateur.	I.8
Figure I.12: Structure d'un transformateur monophasé.	I.9
Figure I.13: Constitution d'un transformateur triphasé.	I.10
Figure I.14: Structure d'un couplage étoile.....	I.11
Figure I.15: Structure d'un couplage triangle.....	I.11
Figure I.16: Structure d'un couplage zig-zag.	I.12
Figure I.17: Désignation des couplages.....	I.12
Figure I.18: Indice horaire.....	I.14
Figure I.19: Composition vectorielle des courants.	I.14
Figure I.20: Indice horaire (11).	I.14
Figure I.21: Désignation de l'indice Dy11.....	I.15
Figure I.22: Couplage des enroulements Dy11.....	I.15
Figure I.23: Différents types d'indice horaire.	I.16
Figure II.1: Turbine à gaz SIEMENS (SGT5-4000F).....	II.3
Figure II.2: Turbine à vapeur SIEMENS (SST5-3000 H-IL).....	II.4
Figure II.3: Chaudière de récupération HRSG.	II.7

LISTES DES FIGURES

Figure II.4: Système d'alimentation du gaz naturel.....	II.9
Figure II.5: Station de production H ₂	II.10
Figure II.6: Circuit air comprimé.	II.12
Figure III.1: Mesure de la résistance d'isolement.	III.4
Figure III.2: Mesure de la capacité et du facteur de puissance.....	III.8
Figure III.3: Mesure de la résistance ohmique.	III.9
Figure III.4: Mesure et contrôle du rapport de transformation.	III.11
Figure III.5: Mesure du courant magnétisant.	III.13
Figure III.6: Résultats mesure résistance diélectrique de l'huile au fond de la cuve.	III.15
Figure III.7: Résultats essai et fonctionnement et mise au point de l'équipement de protection et d'alarme.....	III.17
Figure III.8: Résultats contrôle de fonctionnement de changeur de prise hors charge.....	III.18
Figure III.9: Résultats contrôle de désaéragé.	III.19
Figure IV.1: Conséquence des incidents électriques internes.....	IV.2
Figure IV.2: Eléments de mesure pour la protection différentielle.....	IV.3
Figure IV.3: Rôle de protection différentielle.....	IV.3
Figure IV.4: Principe de base de la protection différentielle.	IV.4
Figure IV.5: Schéma d'un TC de recalage.	IV.6
Figure IV.6: Couplage phase 3 relié à la terre.	IV.7
Figure IV.7: Couplage transformateur de recalage.....	IV.7
Figure IV.8: Fonctionnement intempestif dû à l'indice horaire d'YN11.....	IV.8
Figure IV.9: Equilibrage de phase pour un transformateur couplé en triangle-étoile d'indice horaire (dYn11).....	IV.9
Figure IV.10: Courants I ₁ et I ₂ équilibrés.....	IV.10
Figure IV.11: Seuil d'insensibilité du relais.....	IV.12
Figure IV.12: Caractéristique typique de retenue et de fonctionnement d'un relais différentiel.	IV.13
Figure IV.13: Protection masse cuve.....	IV.14

LISTES DES FIGURES

Figure IV.14: Détection de courant de default dans la protection masse cuve.	IV.15
Figure IV.15: Constitution de la protection contre les surintensités seuil haut (violent) 50.	IV.16
Figure IV.16: Protection contre les surintensités seuil haut (violent) 50.	IV.16
Figure IV.17: Protection neutre transformateur.	IV.18
Figure IV.18: Neutre exploité directement à la terre.	IV.18
Figure IV.19: Neutre exploité à la terre à travers une résistance.	IV.19
Figure IV.20: Principe de base de protection surexcitation F24.	IV.20
Figure IV.21: Protection de défaillance disjoncteur 50BF (PDD).	IV.22
Figure IV.22: Protection par relais Buchholz.	IV.24
Figure IV.23: Principe d'un relais Buchholz.	IV.25
Figure IV.24: Système d'alarme et flotteur d'un relais Buchholz.	IV.25
Figure IV.25: Système d'alarme et flotteur d'un relais Buchholz.	IV.26
Figure IV.26: Etapes fondamentaux de fonctionnement d'un relais Buchholz.	IV.26
Figure IV.27: Examen visuel des gaz prélevés.	IV.27
Figure IV.28: Examen complémentaire des gaz prélevés.	IV.27
Figure IV.29: Surveillance de la température par le thermostat.	IV.29
Figure IV.30: Thermocouple.	IV.30
Figure IV.31: Protection par Soupape de Surpression.	IV.32
Figure IV.32: Protection par Clapet Anti-retour.	IV.32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Fiche technique turbine à vapeur SIEMENS (SST5-3000 H-IL).....	II.4
Tableau II.2: Fiche technique de l'alternateur de type SIEMENS SGEN5-2000H.....	II.5
Tableau II.3: Fiche technique de la chaudière de récupération HRSG.....	II.7
Tableau II.4: Fiche technique de l'aérocondenseur ACC.....	II.8
Tableau III.1: Coefficients de température en kelvin pour la mesure de la résistance d'isolement.....	III.3
Tableau III.2: Résultats mesure de la résistance d'isolement.....	III.5
Tableau III.3: Coefficient de la température en kelvin pour la mesure de la capacité et du facteur de puissance.....	III.6
Tableau III.4: Résultats de la mesure de la capacité.....	III.7
Tableau III.5: Résultats de la mesure du facteur de puissance.....	III.8
Tableau III.6: Résultats mesure de la résistance ohmique.....	III.10
Tableau III.7: Résultats de contrôle du rapport de transformation.....	III.11
Tableau III.8: Contrôle de la connexion de couplage.....	III.12
Tableau III.9: Résultats mesure du courant magnétisant.....	III.14

NOMS ABREGES ET LEURS SIGNIFICATIONS

CEI :	Commission international d'électrotechnique.
E_A :	Force électromotrice (tension la plus élevée).
E_a :	Force électromotrice (tension la plus basse).
SPE:	Société de production d'électricité.
PCI:	Pouvoir calorifique inférieur.
CCGT:	Combined cycle gas turbine (turbine à gaz cycle combiné).
TGV:	Turbine gaz-vapeur.
NOX:	Oxyde d'azote.
SO₂:	Oxyde de soufre.
HP:	Haute pression.
MP:	Moyen pression.
BP:	Basse pression.
HRSRG:	Heat recovery steam generator (générateur de vapeur à récupération de chaleur).
DCS:	Distributed control system) système de contrôle distribué).
ACC:	Air cooled condenser (condenseur à air).
NGSS:	Naturel gas system source (système d'alimentation en gaz naturel).
UF:	Unité d'ultrafiltration.
Ro:	Unité osmose inverse.
MBP:	Mélange polisseuse.
RIA:	Robinet incendie arme.
OTI:	Indicateur de température d'huile.
WTI:	Indicateur de température d'enroulement.
RTD:	Détecteur température résistance.

RESUME

Résumé

Les transformateurs de puissance constituent l'une des plus importantes parties du système électro énergétique dans sa partie de production, de transport ou de distribution. en effet, pour que le rôle de ces transformateurs soit accomplie, ces derniers ont besoin d'une protection, des protections qui peuvent être soit dans le cadre électrique soit dans le cadre technologique. mais avant tout ça, ce transformateur doit être mit a des tests de pré mise en service et de mise en service, pour éviter toute sorte de problème qui peuvent l'infecter, comme des erreurs possibles commises pendant le montage ou tout endommagement survenu pendant sa transportation, si les procédures ont été long a compter de l'usine jusqu'aux travaux finaux, comme le cas qu'on va traiter dans ce mémoire "un transformateur de puissance 22KV /400KV" fabriqué par "Hyundai Daewoo" en Corée de sud destiné à une centrale à cycle combiné 1200MW AIN ARNET-SETIF en ALGERIE.

Mots-clés: transformateur de puissance, protection électrique, protection technologique, pré-mise en service, mise en service.

Abstract

Power transformers are one of the most important parts of the electro-energy system in its part of production, transport or distribution. In fact, for the role of these transformers to be fulfilled, they need protection, protections that can be either in the electrical frame or in the technological framework. but before all that, this transformer must be put to pre-commissioning and commissioning tests, to avoid any kind of problem which can infect it, like possible errors committed during the assembly or any damage occurred during its transport if the procedures have been long from the factory to the final work, such as the case that will be treated in this thesis "a 22KV / 400KV power transformer" manufactured by "Hyundai Daewoo" in SOUTH KOREA for a power plant. combined cycle 1200MW AIN ARNET-SETIF in ALGERIA.

Keywords: power transformer, electrical protection, technological protection, pre commissioning, commissioning.

ملخص

تعد محولات الطاقة واحدة من أهم أجزاء نظام الطاقة الكهربائية من حيث الإنتاج أو النقل أو التوزيع. في الواقع، من أجل تحقيق دور هذه المحولات فإنها تحتاج إلى حماية إما في الإطار الكهربائي أو في الإطار التكنولوجي. ولكن قبل كل ذلك، يجب وضع هذا المحول في اختبارات ما قبل التشغيل والتشغيل، لتجنب أي نوع من المشاكل التي يمكن أن تصيبه، مثل الأخطاء المحتملة التي تحدث أثناء التجميع أو أي ضرر يحدث أثناء النقل إذا كانت الإجراءات طويلة من المصنع إلى الأعمال النهائية، مثل الحالة التي سيتم معالجتها في هذه المذكرة "محول الطاقة 22 كيلو فولت / 400 كيلو فولت" المصنعة من قبل "هيونداي دايو"، "Hyundai Daewoo" في كوريا الجنوبية لمحطة الدورة المركبة 1200 ميغا واط عين أرانات سطيف في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: محول الطاقة ، الحماية الكهربائية ، الحماية التكنولوجية ، قبل التشغيل ، التشغيل.

I ntroduction

générale

Introduction générale:

Un transformateur de puissance est un composant électrique haute-tension essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la mise en service électrotechnique internationale est la suivante: «Appareil statique à deux enroulements ou plus qui, par induction électromagnétique, transforme un système de tension et courant alternatif en un autre système de tension et courant de valeurs généralement différentes, à la même fréquence, dans le but de transmettre de la puissance électrique» [1]. Sa principale utilité est de réduire les pertes dans les réseaux électriques. Il peut être monophasé ou triphasé et recevoir divers couplages: étoile, triangle et zigzag.

On retrouve les transformateurs de puissance dans différents types d'applications: dans les réseaux de transmission électrique, dans la distribution électrique, dans les usines en amont de fours électriques notamment et dans les trains. Chacun répondant à des contraintes et des usages très différents. La CEI divise les transformateurs de puissance dans l'huile en trois catégories en fonction de la puissance apparente: jusqu'à 2 500 kVA en triphasé ou 833 kVA en monophasé (divisé par 3) on parle de «transformateur de distribution», au-delà et jusqu'à 100 MVA en triphasé respectivement 33,3 MVA en monophasé de «transformateur de moyenne puissance», au-delà de «transformateur de grande puissance».

Les transformateurs de distribution sont très nombreux dans le monde, ceux de grande puissance le sont moins.

De nombreux aspects sont à prendre en compte pour leur conception: circuit magnétique, enroulements, conducteurs, isolation, cuve, système de refroidissement. Par ailleurs, le transformateur est indissociable d'autres composants qui doivent être conçus en même temps comme le changeur de prises, les traversées isolées, les protections et leurs capteurs. Le transformateur doit être capable de résister sans dommage à la fois aux aléas du réseau électrique: surtensions, courts-circuits, courants d'enclenchement et surcharges; et aux autres contraintes mécaniques liées le tout dans des conditions météorologiques diverses. Le transport est également un élément critique. La conception d'un transformateur de puissance est donc une entreprise complexe, assistée de nos jours par les outils informatiques. Elle est validée après la fabrication du transformateur par une phase de test, qui vérifie aussi la qualité de l'ensemble.

Les protections permettent de détecter les défauts électriques trop importants et de déconnecter le transformateur du réseau afin d'en assurer la sécurité. De par leur rôle stratégique dans le réseau, les transformateurs sont l'objet d'une surveillance accrue. Afin d'en assurer une bonne maintenance sans nuire à leur disponibilité de nombreuses techniques de diagnostics, faisant appel à du traitement du signal, ont été mises au point.

De nombreux types de transformateurs de puissance différents existent. Ils ont chacun leurs particularités. Par conséquent, il y a de nombreux fabricants de transformateurs, même si le marché est dominé par quelques gros acteurs.

Les transformateurs ont le défaut d'être bruyants, de pouvoir prendre feu et de causer des pertes, même si elles sont faibles en proportion. Les recherches actuelles tentent de remédier à ces problèmes et de réduire leurs pertes, leur bruit et leur impact écologique général. Les nouveaux types d'huile et les matériaux supraconducteurs sont des pistes à l'étude [2].

Parlant des défauts, le travail qu'on va faire dans ce mémoire consiste justement sur la protection électrique et technologique d'un transformateur de puissance 22KV /400KV situé à la centrale de production 1200MW a AIN ARNET-SETIF.

Dans ce mémoire on va devoir répondre à des problématiques :

Est-ce que ce transformateur est apte à être installer sur notre réseau après l'avoir transporter sur une longue distance et quel sont les différentes protections qu'on doit mettre en place sur ce transformateur de puissance afin d'assurer un bon fonctionnement de ce dernier et une bonne continuité de service.

Afin de réaliser tout cela le corps de ce mémoire s'articule autour de 4 chapitres:

Le chapitre 1 présente une présentation générale d'un transformateur de puissance.

Le chapitre 2 expose une présentation et une connaissance générale sur la centrale de production à cycle combiné 1200MW AIN ARNET-SETIF.

Le chapitre 3 est dédié particulièrement au mise en service et aux essais en usine et tests sur site sur le transformateur de puissance 22KV /400KV du central cycle combiné D'AIN ARNET-SETIF.

Le chapitre 4 est destiné aux protections électriques et technologiques qui vont être met en place sur le transformateur de puissance 22KV /400KV afin d'assurer un bon fonctionnement et une bonne qualité de service.

Enfin, on termine cette mémoire par une conclusion générale représentant une synthèse globale de notre travail et des perspectives.

Chapitre I

**Présentation générale sur
les transformateurs**

Chapitre I: Présentation générale sur les transformateurs:

I.1.Introduction:

Le transformateur de puissance est certainement le dispositif qui a permis l'essor puis la domination des réseaux alternatifs pour le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique.

La première fonction d'un transformateur a été l'élévation de la tension de transport afin de réduire le courant et donc les pertes joules générées dans les lignes.

Cette élévation est bien entendue allée de pair avec l'abaissement de la tension aux points d'utilisation. D'un point de vue plus général, un transformateur est un élément indispensable à l'interconnexion des différents réseaux d'énergie [3].

Avant d'entrer dans le vif du sujet relatif à notre travail qui est la protection d'un transformateur de puissance, il est important de présenter une brève description d'un transformateur: Son rôle, ses constituants, ses accessoires, et son principe de fonctionnement pour pouvoir lui appliquer un plan de protection adéquat.

I.2.Définition:

Le transformateur est une machine électrique statique à deux enroulements ou plus destinée, par induction électromagnétique, à transformer un système de tension et de courant alternatif en un autre système de tension et de courant alternatif d'amplitudes (valeurs) généralement différentes et de même fréquence, et afin de l'adapter aux différents besoins d'utilisation. Comme on peut l'appeler aussi convertisseur statique à induction qui comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, inductivement couplés et destinés 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 (60 KV, 230 KV et 400kV), 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 [4].



Figure I.1: *Transformateur de puissance.*

I.3.Rôle du transformateur:

Le rôle du transformateur est de modifier les amplitudes (changer) les tensions et les courants alternatifs, les élever ou les abaisser sans modification de formes. Afin de transporter l'énergie électrique avec le moins de pertes possible et de le distribuer sans risque.

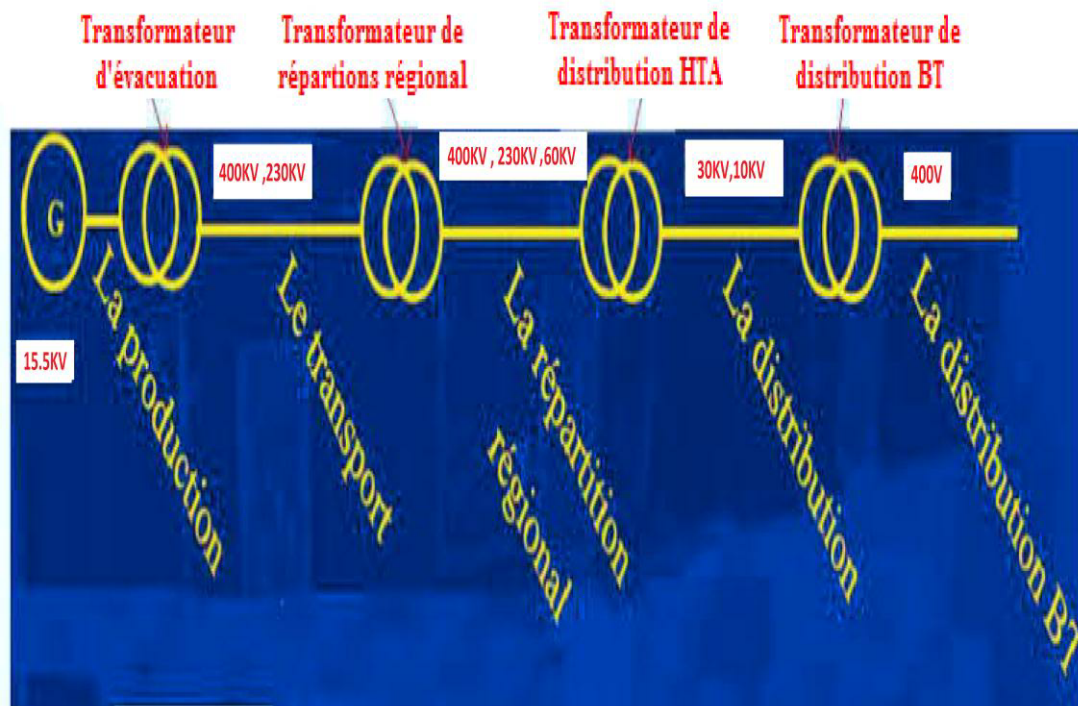


Figure I.2: *Schéma explicatif de la structure d'un réseau électrique.*

I.4.Symboles des transformateurs:

Les différents symboles sont représentés ci-contre:

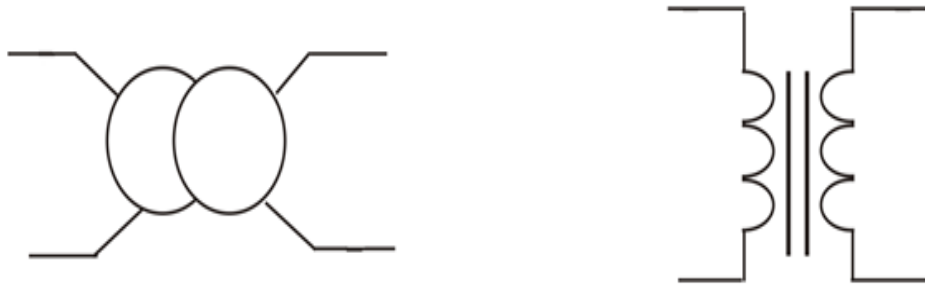


Figure I.3: Symbole d'un transformateur.

I.5.Caractéristiques d'un transformateur:

Les transformateurs peuvent être différents entre eux, mais leurs paramètres de fonctionnement sont toujours les mêmes, depuis les plus petits transformateurs hautes fréquences audio jusqu'aux plus gros transformateurs de puissance. Ces paramètres peuvent être classés en huit groupes (indiqués sur tout transformateur de taille importante):

- Puissance nominale
- Type de refroidissement
- Fréquence
- Tension
- Phase
- Couplage
- Changement de prise

I.5.1.Puissance nominale:

Chaque transformateur se caractérise par l'intensité maximale du courant qu'il peut fournir à sa tension de sortie standard.

Cette puissance nominale s'exprime en VA (Volte Ampère) (kVA ou MVA pour les gros transformateurs de puissance). Elle dépend de la température ambiante et du système de refroidissement. Si la puissance nominale est dépassée, une

surchauffe de l'induit et des enroulements risquerait de se produire et de provoquer des dommages [4].

I.5.2. Refroidissement:

La plaque signalétique ci-dessus des transformateurs indique habituellement les besoins en refroidissement en fonction de la puissance nominale et la température ambiante d'utilisation. Le Refroidissement à huile permet de fournir la pleine puissance nominale.

LIEU DE FABRICATION	PAUWELS TRAF0 BELGIUM N.V.		
NUMERO DE FABRICATION	06.4.066	ECHAUFFEMENT EN DESSOUS DE 1000 m	-DE L'HUILE SUPERIEURE 50 K -MOYEN DES ENROULEMENTS 55 K
ANNEE DE FABRICATION	2007		
NORMES	CEI		
PUISSANCE ASSIGNEE	166.67 MVA	RESISTANCE AU VIDE	-CUVE 100 % -CONSERVATEUR 100 % -RADIATEUR 100 %
REFROIDISSEMENT	ONAN/ONAF/ODAF 60%/80%/100%		
FREQUENCE ASSIGNEE	50 Hz	TYPE D'HUILE	NYNAS NYTRD 10GBNP
PHASES	1	MASSE TOTALE	132900 kg
NIVEAU D'ISOLEMENT		MASSE D'HUILE	38950 kg
borne de ligne THT	CM/CF1050/1425	MASSE A DECOUVER CLOCHE	14500 kg
borne de neutre THT/HT	CF/FI 1050/460	MASSE PARTIE ACTIVE	69850 kg
borne de ligne HT	CF/FI 1050/460	MASSE CIRCUIT MAGNETIQUE	40170 kg
borne de ligne MT	CF/FI 170/70	MASSE CUIVRE	14360 kg
GRUPE DE COUPLAGE	INa0+i		
POUR BANQUE TRIPHASE	YNa0+d11		
ALTITUDE MAX.	1000 m		
TYPE DE CHANGEUR DE PRISES	MR MI - 1203 - 300kV + ED		

Figure I.4: Plaque signalétique indiquant les besoins en refroidissement

I.5.2.1. Symboles utilisés pour le refroidissement:

Le mode de refroidissement peut être défini par quatre groupes de lettres.

➤ La première lettre = nature du diélectrique.

- O: Oïl ou l'huile.
- A: Air.
- S: Isolant solide.
- G: Gaz.
- L: Diélectrique chloré.

- La deuxième lettre = mode de circulation du diélectrique.
 - N: Naturel.
 - F:Forcé.
 - D:Forcé et dirigé dans les enroulements.
- La troisième lettre = Agent extérieur de refroidissement.
- La quatrième lettre = mode de circulation de cet agent extérieur.

I.5.2.2.Différents types de refroidissement des transformateurs de puissance haute tension:

La photo ci-contre montre le refroidissement à l'huile par radiateur:



Figure I.5: *Refroidissement à l'huile par radiateur.*

La photo ci-contre montre le refroidissement à l'huile par ventilation:



Figure I.6: *Refroidissement à l'huile par ventilation.*

La photo ci-contre montre le refroidissement à l'huile par aéroréfrigérant:



Figure I.7: *Refroidissement à l'huile par aéroréfrigérant.*

I.5.2.3. Système de refroidissement:

La figure ci-contre représente le système de refroidissement :

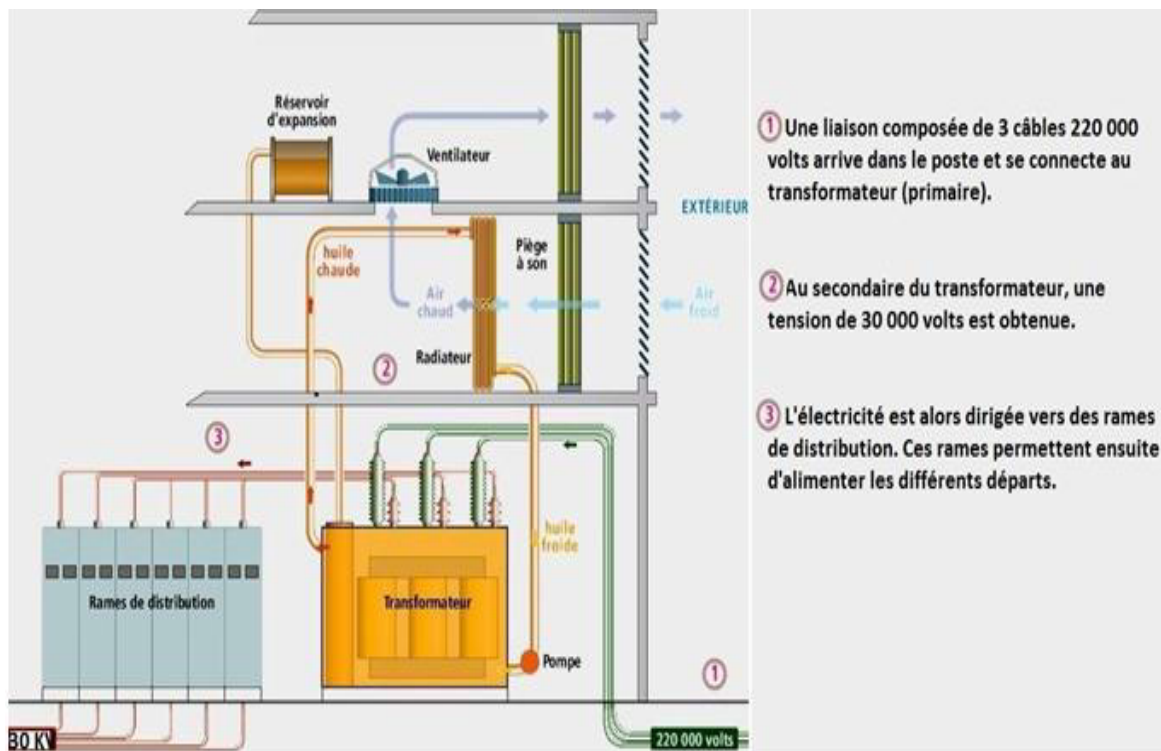


Figure I.8: Principe d'un système de refroidissement [5].

I.5.3. Fréquence:

Tous les transformateurs sont construits pour produire le meilleur couplage inductif, la chaleur la plus basse et la perte de puissance la plus faible à une certaine fréquence. Une tension induite est créée par un champ magnétique alternatif. Si la fréquence est plus élevée que la fréquence nominale, une perte excessive se produit à l'induit à cause du mauvais rendement du couplage inductif. Si la fréquence est plus basse que la fréquence nominale, une perte excessive se produit à l'enroulement à cause de la diminution du couplage inductif.

I.5.4. Tension:

L'isolation des enroulements constitue l'élément clé de la tension nominale des transformateurs. Avec la tension nominale de fonctionnement, la surtension transitoire (crête) que le transformateur peut supporter est habituellement indiquée. Cette surtension est indiquée comme une tension de tenue au choc.

I.5.5.Phase:

Les gros transformateurs triphasés sont souvent construits à partir de trois transformateurs monophasés raccordés par l'entrée ou la sortie de leurs enroulements, tel est le cas de la plupart des transformateurs de puissance chargés de transformer le courant de forte intensité produit par les alternateurs et passant par des barres omnibus isolées phase par phase avant de l'envoyer sur les lignes à haute tension. La construction d'un transformateur monophasé individuel est dans ce cas hors de question.

La plupart des transformateurs sont de ce type pour des raisons d'encombrement et de coûts.

I.5.6.Changeur de prises:

Des prises établies sur les enroulements des transformateurs permettent de changer le rapport du nombre de spires entre l'entrée et la sortie et donc de choisir la tension de sortie.

I.5.6.1.Changeurs de prises hors tension:

Ils sont utilisés par les transformateurs qui ne nécessitent que très rarement un changement de leur tension de sortie, comme avec les transformateurs de sortie des alternateurs principaux, par exemple:



Figure I.9: *Changeur de prise hors tension.*

I.5.6.2. Changeurs de prises sous tension:

Ils sont utilisés pour répondre fréquemment aux besoins créés par les fluctuations de la demande du client ou du circuit de charge pendant la journée [6].

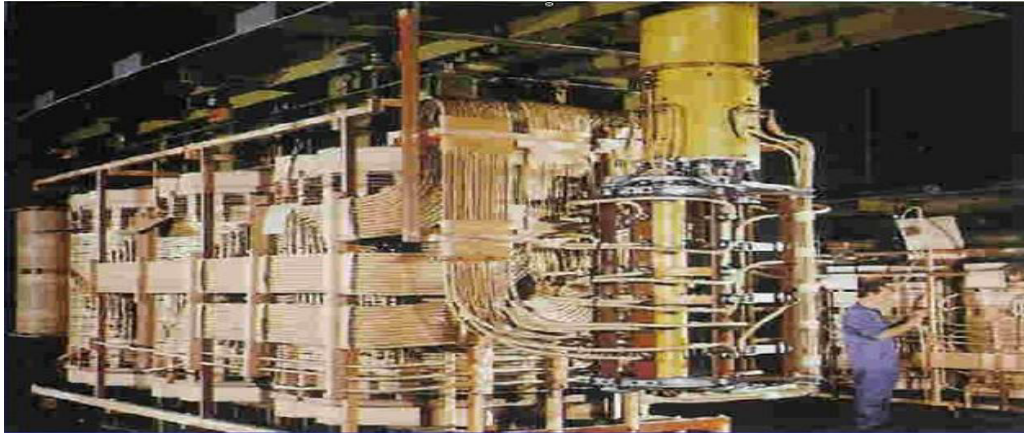


Figure I.10: Changeur de prise sous tension.

I.6. Constitution d'un transformateur:

La figure ci-contre représente la Constitution d'un transformateur:

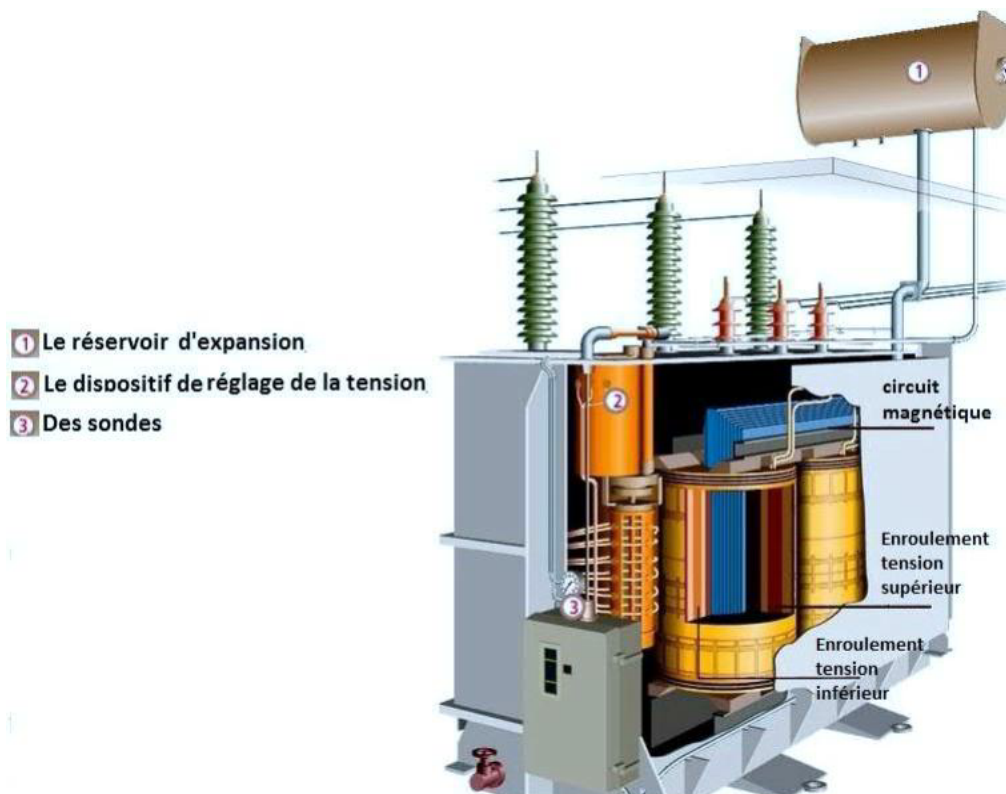


Figure I.11: Constitution d'un transformateur.

1) Le réservoir d'expansion: placé au-dessus du transformateur permet au niveau d'huile de varier sans impacter la pression dans le transformateur. En effet, les variations de températures de l'huile impliquent des variations de son volume. Ce réservoir permet d'absorber ces variations.

2) Le dispositif de réglage de la tension: assure une tension stable en sortie du transformateur régler en charge qui permet de rattraper une variation de tension allant jusqu'à 16 % pour les transformateurs alimentés en 230 kV.

Le régleur fonctionne automatiquement de façon à maintenir la tension HTA du départ poste source à la valeur affichée, un peu au-dessus de la tension nominale de façon à rattraper en partie la chute de tension côté HTA.

3) Des sondes placées à l'extérieur de transformateur permettent une surveillance permanente de la température de l'huile [7].

I.7.Type de Transformateur selon le nombre de phase:

I.7.1.Transformateur monophasé:

Le transformateur est constitué de 2 parties électriquement isolées, l'enroulement primaire et secondaire, liés magnétiquement par un circuit magnétique.

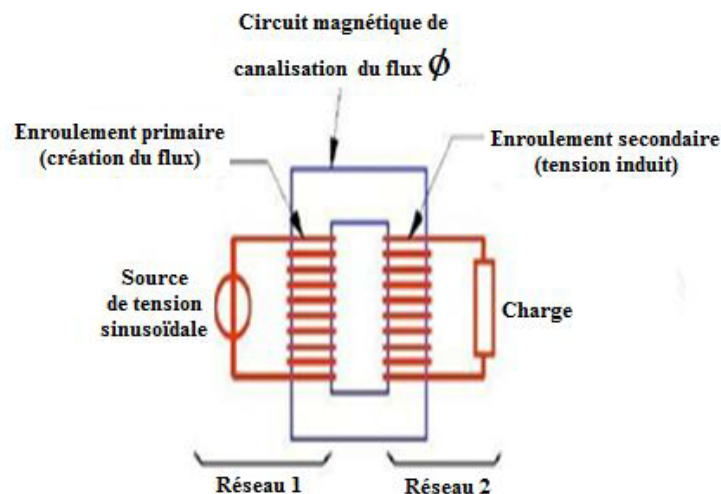


Figure I.12: Structure d'un transformateur monophasé.

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 force électromotrice (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.

I.7.2.Transformateur triphasé:

On peut réaliser un transformateur triphasé à l'aide de 3 transformateurs monophasés. Néanmoins, pour des raisons économiques mais aussi d'encombrement, on préfère le plus souvent réaliser un transformateur triphasé avec 3 enroulements primaires et trois enroulements secondaire sur un même circuit magnétique [8].



Figure I.13: *Constitution d'un transformateur triphasé.*

I.8.Couplages de transformateur triphasé:

I.8.1.Différents couplages:

Il existe trois sortes de couplages des enroulements primaires et secondaires du transformateur.

I.8.1.1. Couplage étoile:

Il permet de sortir un point neutre pour obtenir deux tensions disponibles d'une part:

- Une tension simple.
- Une tension composée.

Et d'autre part pour évacuer le courant de déséquilibre en basse tension (courant résiduel = courant du neutre).

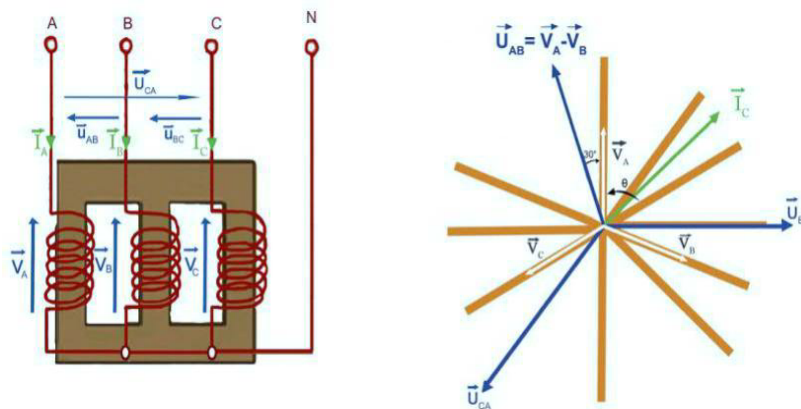


Figure I.14: Structure d'un couplage étoile.

I.8.1.2. Couplage triangle:

Il ne permet qu'une seule tension. Ce couplage est peu utilisé dans le transport et dans la distribution de l'énergie. Il est utilisé dans la production pour réduire le déséquilibre des courants.

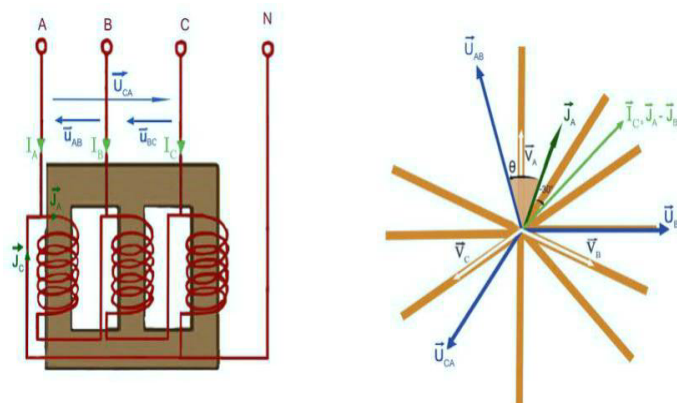


Figure I.15: Structure d'un couplage triangle.

I.8.1.3. Couplage zigzag:

Ce couplage est utilisé en basse tension pour réduire le taux de déséquilibre en HTA.

Chaque enroulement comprend deux demi-bobines lacées sur le même noyau.

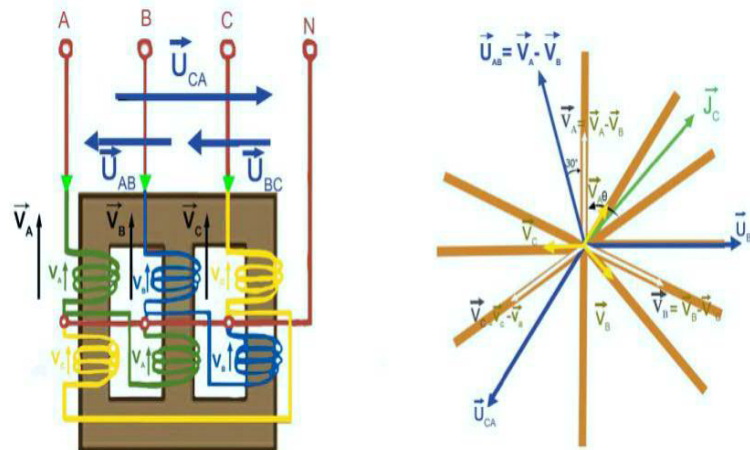


Figure I.16: Structure d'un couplage zig-zag.

I.8.2. Désignation des couplages:

Le couplage interne d'un transformateur est désigné par un groupe de deux lettres écrites dans l'ordre Décroissant des tensions (tension la plus élevée vers la plus basse) et un chiffre indiquant l'indice horaire.

- première lettre en majuscule désigne la tension la plus élevée.
- deuxième lettre en minuscule désigne la tension la plus basse.

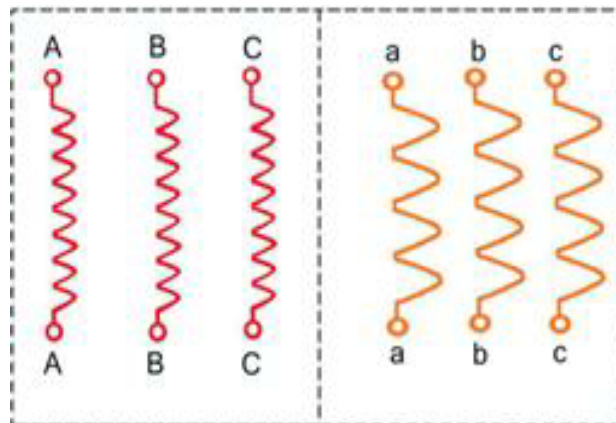


Figure I.17: Désignation des couplages.

I.8.3.Choix du couplage:

Il s'effectue de manière générale à partir de nombreux critères. Parmi ces critères on peut citer :

- Le dimensionnement des enroulements:
 - En haute tension on choisit un couplage étoile pour que chaque bobine n'ait à supporter qu'une tension simple: $u/\sqrt{3}$.
 - Pour les très forts courants on préférera le couplage triangle où chaque enroulement est parcouru par un courant $j = i/\sqrt{3}$.
- Le fonctionnement déséquilibré:
 - Si le déséquilibre est important on optera pour un couplage étoile-zigzag.
 - Si le déséquilibre et la puissance sont importants on utilisera un couplage triangle-étoile.

I.8.4.Indice horaire:

Dans le cas du transformateur monophasé les f.é.m. (forces électromotrices) induites sont telles que $E_2 = -m E_1$ pour réaliser le couplage en parallèle deux transformateurs monophasés identiques le repérage des bornes homologue est nécessaire pour relier les primaires et les secondaires entre eux. Pour les transformateurs triphasés c'est plus compliqué. En effet, les enroulements primaires et secondaires peuvent être différents et de surcroît, le même couplage peut être réalisé différemment.

I.9.Déphasages:

Compte tenu des couplages utilisés dans les transformateurs triphasés, les seuls déphasages possibles sont des multiples de 30° ($\pi/6$).

Ainsi on peut vérifier que, sur la même colonne du circuit magnétique, le déphasage (\varnothing) entre les f.é.m. E_A et E_a est égal à: « $\varnothing = \pm \pi /6$ »

Il y a donc 12 possibilités disposées selon le cadran horaire correspondant au sens de direct de rotation des phases.

I.9.1. Définition du déphasage:

On place, par convention, la f.é.m. simple E_A sur la position 0 correspondant à 12 heures (la grande aiguille) et on cherche la position de la f.é.m. simple E_a (petite aiguille).

L'heure obtenue correspond alors à l'indice horaire du transformateur triphasé (voir figures I.23 et I.24)

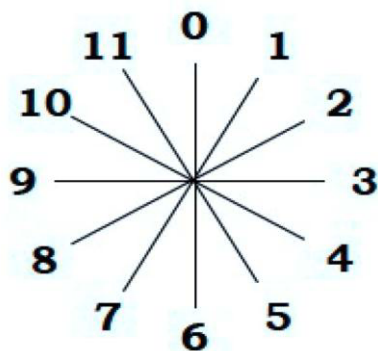


Figure I.18: L'indice horaire.

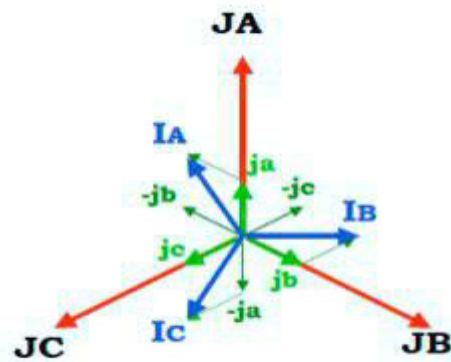


Figure I.19: Composition vectorielle des courants.

I.9.2. Exemple l'indice (11):

La figure ci-contre représente l'indice horaire (11):

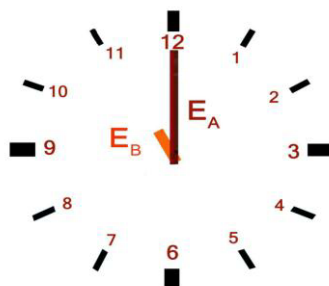


Figure I.20: Indice horaire (11).

I.9.3. Désignation de l'indice Dy11:

D couplage triangle tension la plus élevée. y couplage tension la plus basse.

11 Déphasage de $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ entre les tensions de la même colonne du circuit magnétique (voir fig. ci-contre).

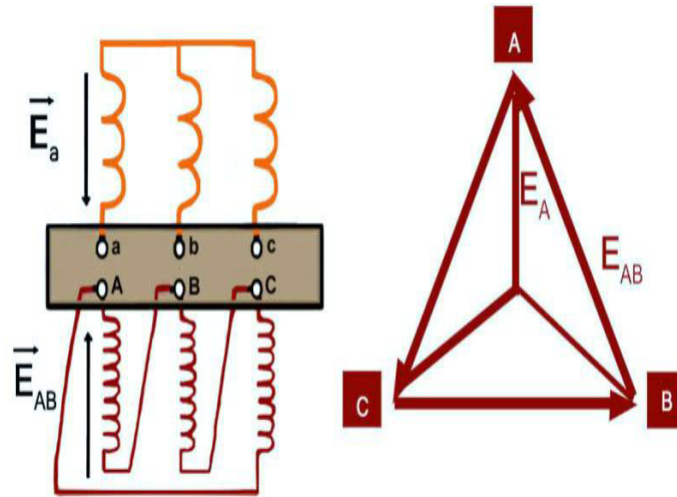


Figure I.21: Désignation de l'indice Dy11.

Les f.é.m. des enroulements a et A sont en phase car les bobinages sont concentriques et orientés dans le même sens. D'après le couplage des enroulements, la f.é.m. E_{AB} est une tension composée tandis que la f.é.m. E_a est une tension simple. Or on cherche le déphasage entre la f.é.m. simple tension la plus élevée et la f.é.m. simple de la tension la plus basse appartenant à la même colonne du circuit magnétique.

La construction vectorielle nous donne un déphasage de 30° dans le sens trigonométrique et de 330° dans le sens horaire, ce qui se traduit par l'indice horaire 11 d'où la désignation Dy11, comme indiqué sur la figure ci-dessous [9].

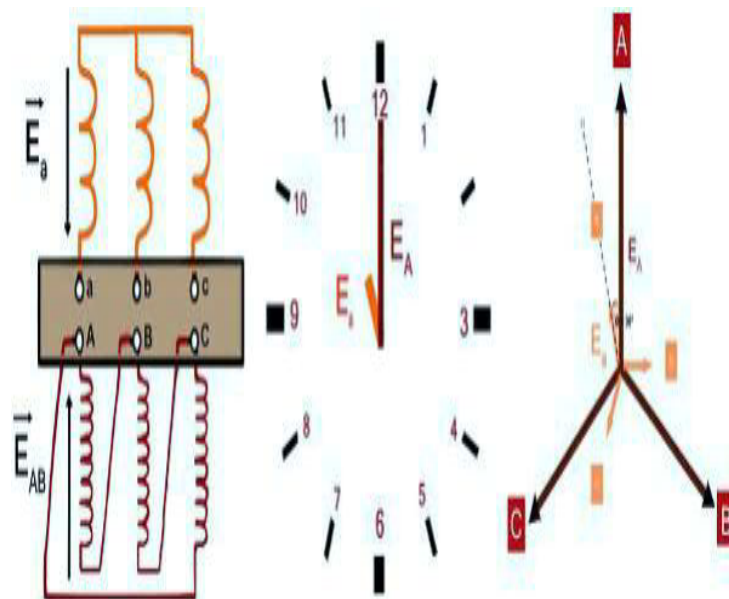


Figure I.22: Couplage des enroulements Dy11.

On peut aussi distinguer les différents types d'indices horaires (voir fig I.23):

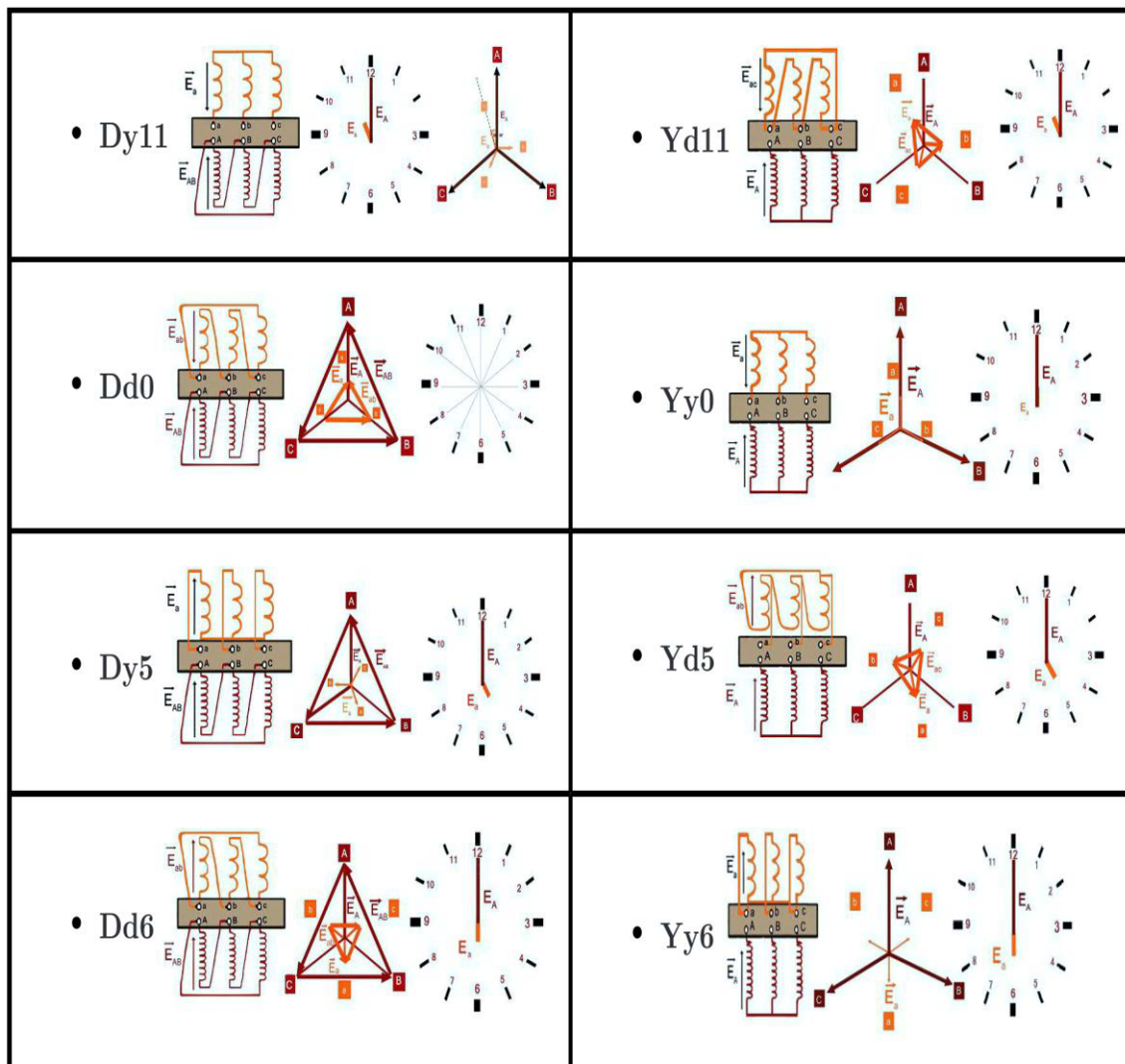


Figure I.23: Différents types d'indice horaire.

I.10.Conclusion:

Dans ce chapitre on a donné quelques généralités et notions de base sur un transformateur de puissance: Son rôle, ses constituants, ses accessoires, et son principe de fonctionnement.

Avant d'entamer notre travail sur le transformateur de puissance, il est essentielle qu'on donne une présentation générale sur le lieu où nous avons effectué notre travail qui est la centre cycle combiné 1200 kW a AIN ARNET-SETIF, son principe de fonctionnement, sa constitution, c'est ce qu'on va voir dans le prochain chapitre.

Chapitre 2

Présentation sur la centrale à cycle combiné

1200 MW

AIN ARNET- SETIF

Chapitre II: Présentation sur la centrale à cycle combiné 1200 MW AIN ARNET-SETIF:

II.1.Introduction:

La centrale électrique en cycle combiné D'AIN ARNET-SÉTIF a été inauguré le 30 avril 2017 à Sétif cette centrale électrique, située dans la commune D'AIN ARNET à 7 km à l'ouest du chef-lieu de wilaya, a été réalisée par la société de production de l'électricité (SPE), filiale de Sonelgaz avec la collaboration du consortium sud-coréen Hyundai Engineering et Daewoo International. Cette centrale est d'une puissance globale d'environ 1200 MW et s'étend sur une superficie de 30 hectares. Sa réalisation a coûté 10 milliards de dinars.

II.2.Connaissance générale de la centrale:

II.2.1.Principe:

Le moteur thermique transforme une partie de l'énergie fournie par le combustible en travail moteur pouvant ensuite être converti en électricité au moyen d'un générateur.

Cette fraction (généralement moins de 50 %), dépend du cycle thermodynamique choisi ainsi que des températures supérieure et inférieure atteintes par le cycle.

Pour des températures données, le cycle de *Carnot* possède l'efficacité énergétique théorique maximale.

En combinant deux cycles, voire plus, tel que le cycle de *Brayton* et de *Rankine*, on peut augmenter l'efficacité énergétique du système. Les plus récentes centrales à cycle combiné au gaz atteignent ainsi des rendements sur *PCI (Pouvoir calorifique inférieur)* de plus de 60 %, contre 37 % pour les centrales à gaz classiques. Le gaz et le fioul domestique peuvent être utilisés directement. Il existe également des installations utilisant la gazéification d'autres combustibles comme le charbon : les centrales de type Cycle combiné à gazéification intégrée (CCGI).

II.2.2.Cycles combinés utilisant le gaz comme source primaire d'énergie:

Une centrale à cycle combiné, généralement appelée *CCGT (Combined Cycle Gas Turbine)*, ou *TGV (Turbine Gaz-Vapeur)*, est une centrale thermique qui associe deux types de turbines: turbine à gaz et turbine à vapeur. Chacune de ces turbines entraîne une génératrice

qui produit de l'électricité (configuration "*multi-arbres*" ou "*multi-shaft*") ou les deux types de turbines sont couplées à la même génératrice (configuration "*single-shaft*").

Les *CCGT* sont conçus pour un fonctionnement en semi-base (entre 2 000 et 6 000 h/an) et constituent un moyen d'ajustement du parc de production, concourant ainsi au bon fonctionnement du système électrique.

Dans une centrale à cycle combiné, la turbine à gaz est actionnée par les gaz issus de la combustion à haute température (jusqu'à 500 °C). En sortie les gaz (fumées produites par la combustion) sont encore suffisamment chauds (entre 400 °C et 650 °C environ) pour générer de la vapeur dans une chaudière au moyen d'échangeurs de chaleur. La vapeur ainsi produite entraîne une turbine à vapeur. Il est enfin nécessaire de disposer d'une source froide (*eau de rivière - eau de mer-aéroréfrigérant*) pour évacuer la chaleur nécessairement produite par le cycle vapeur (second principe de la thermodynamique). Différentes configurations de centrale sont possibles : on peut par exemple soit avoir une turbine à gaz, une turbine à vapeur et un alternateur sur la même ligne d'arbre, soit avoir une turbine à gaz avec son alternateur et une turbine à vapeur avec son alternateur, soit deux turbines à gaz avec chacune son alternateur et une turbine à vapeur avec son alternateur. De façon approximative, la turbine à vapeur a une puissance égale à 50 % de celle de la turbine à gaz à laquelle elle est associée.

La configuration "*multi-arbres*" a l'avantage de permettre le démarrage et la montée en puissance rapides des turbines à gaz, la turbine à vapeur ayant généralement des temps de démarrage et de montée en puissance plus grands. La configuration "*single-shaft*" diminue le nombre de machines, donc l'encombrement, mais démarre plus lentement.

II.2.3.Cycles combinés gaz et environnement:

Les *CCGT* permettent de réduire de 50 % les émissions de **CO₂**, de diviser par trois les oxydes d'azote (**NO_x**) et de supprimer les rejets d'oxydes de soufre (SO₂) par rapport aux moyens de production thermique à flamme « classiques ». En outre, lorsque la combustion utilise du gaz naturel, cela ne produit ni particules de poussière ni odeurs ; mais, malgré leur nom, la plupart des turbines dites "à gaz" peuvent brûler divers combustibles liquides, et c'est la teneur en soufre du combustible utilisé qui provoque la présence d'oxydes de soufre à l'échappement. L'utilisation du gaz naturel comme carburant dans les *CCGT* présente donc des avantages notables en termes de pollution atmosphérique. Concernant le processus de refroidissement, la technologie du refroidissement du circuit par air de la partie turbine à

vapeur, si elle est choisie, permet de limiter les consommations d'eau de manière significative par rapport aux centrales du même type utilisant le refroidissement par eau, et permet également d'éviter d'influer sur la température des cours d'eau ou étendues d'eau concernés. Pour certains partisans de la sortie du nucléaire 5, les cycles combiné gaz, au côté de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, constituent un recours indispensable.

II.3.Principaux équipements de la centrale:

Une centrale à cycle combiné gaz produit de l'électricité en associant deux types de turbines: turbines à gaz et à vapeur. Elle est composée de 03 tranches d'environ 400 MW électriques chacune.

II.3.1.Turbine à gaz TG:

La turbine à gaz est une turbine SIEMENS de type SGT5-4000F, d'une puissance de 200MW, à quatre étages et constituée par plusieurs roues fixées sur un arbre unique qui entraîne également le compresseur et l'alternateur .Son système de combustion est constitué d'une chambre annulaire équipée de brûleurs de type 'bas-NOx' sans injection d'eau (sec).

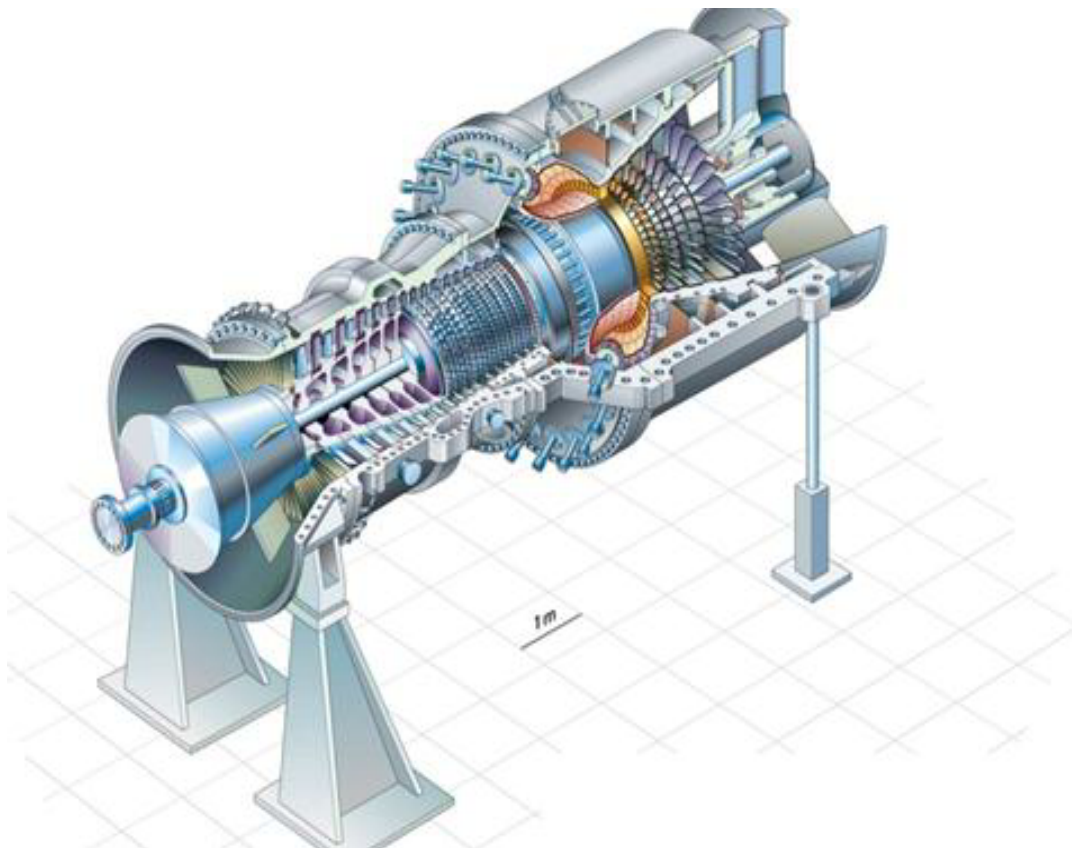


Figure II.1: Turbine à gaz SIEMENS (SGT5-4000F).

II.3.2. Turbine à vapeur:

La turbine à vapeur est une turbine SIEMENS (SST5-3000 H-IL) d'une puissance de 116 MW, de type à condensation, ayant une vitesse de 3000t/mn et constituée de trois corps HP, MP et BP.



Figure II.2: Turbine à vapeur SIEMENS (SST5-3000 H-IL).

Tableau II.1: Fiche technique turbine à vapeur SIEMENS (SST5-3000 H-IL).

SST5-3000 H-IL	
série la turbine	Haute-pression (H) modules et -pression intermédiaire combinée / Basse-pression (IL) modules pour 50 Hz
type de centrale	cycle Combiné
Puissance de sortie	90 MW to 250 MW pour applications de cycle Combiné
Vapeur principale (paramètres type)	Température: élevé au 565 °C / 1,049 °F Pression: élevé au 177 bar / 2,567 psi
Réchauffement (paramètres type)	Temperature: élevé au 565 °C / 1,049 °F
Zone d'échappement	50 Hz: 5.0 m ² to 12.5 m ² ; 26.2 inches au 45.1 inches*

II.3.3.Alternateur:

La turbine à gaz et la turbine à vapeur sont couplées au générateur de type SIEMENS SGEN5-2000H sur un même arbre « single shaft ».

Tableau II.2: Fiche technique de l'alternateur de type SIEMENS SGEN5-2000H.

GENERATOR : SGen5-2000H	
Type	Flux Axial
Fréquence	50 Hz
Facteur de puissance standard	0.90
Vitesse	3,000 rpm
Tension aux bornes	16.5 kV pour 22 kV
Efficacité	Elevé 99.0%
Puissance apparent	350 MVA au 565 MVA
Hydrogène de refroidissement	à 4 au 5 bar
Conception	accordée avec IEC et ANSI standard
Classification thermique	Class F system d'insultions
Type des enceintes	IP64 (60034-5); adapté pour les installations extérieures
Excitation	Statique
Dimensions de transport	adapté pour les rails de transport dans la plus part des pays

II.3.4.Pompe alimentaire:

Qui comporte:

➤ **Une pompe:**

Une POMPE est une machine ou un dispositif qui est utilisé pour forcer un liquide ou un gaz de s'écouler dans un sens particulier. Les principaux composants de l'ensemble de POMPE sont l'arbre de POMPE (031).Turbine (021-1), aube de guidage (022-1, 2,3), corps d'aspiration (002), le boîtier de décharge (003), carter intermédiaire (005-2,3), douille à billes (052), le palier de butée (062 à 1, 2, 3, 4), Presse-étoupe (008-1,2), le corps de palier (051-1,2).

➤ **Moteur:**

Une machine qui convertit l'électricité en un mouvement mécanique. Cette POMPE utilise un MOTEUR Hyundai de 2000 kW, 2P, 6600V, 50Hz.

➤ **Valve en arc:**

Une valve qui s'ouvre automatiquement lorsque le débit de décharge de POMPE atteint le débit minimum et contourne automatiquement le débit minimum. La POMPE utilise le modèle SCHROEDAHL SSV-18.

➤ **Couplage:**

Un couplage est un dispositif utilisé pour relier deux arbres entre eux à leurs extrémités dans le but de transmettre la puissance. La pompe utilise des disques flexibles de type spatial de NARA Co. Modèle de la série PS615 (BE = 250).

➤ **Joint mécanique:**

La fuite de fluide pompé est contrôlée par le joint d'étanchéité mécanique qui est installé dans la boîte à garniture. La pompe utilise un joint mécanique Flow-serve, de type à cartouche unique, consistant en un sous-ensemble tournant et un sous-ensemble fixe.

➤ **Unité d'huile lubrifiant:**

La lubrification pour les roulements de Pompe est effectuée dans des conditions de fonctionnement normales, par la pompe à huile principale.

Une pompe à huile auxiliaire est également fournie pour le fonctionnement au démarrage et à l'arrêt de la pompe et en cas de diminution de la pression d'huile du fait de la réduction de la pression d'huile palier.

II.3.5. Pompe d'extraction:

En générale la pompe d'extraction est une pompe multicellulaire avec une pression de refoulement assez élevée pour vaincre la pression de la bêche alimentaire. La pression de refoulement doit être supérieure à la pression de la resurchauffe. Parce que parfois le piquage du circuit d'injection de la resurchauffe est pris au refoulement de la pompe d'extraction, Elle a pour rôle d'extraire l'eau provenant de la vapeur condensée du puits du condenseur et de le

refouler à la bache alimentaire à travers le poste de réchauffage BP et le dégazeur La pompe d'extraction peut être à axe horizontal ou verticale. C'est une pompe centrifuge. La pompe d'extraction est placée à un niveau plus bas que le condenseur, La pompe d'extraction est équipée de plusieurs éléments:

Une vanne manuelle à l'aspiration, Un filtre à l'aspiration, Un clapet anti-retour au refoulement.

II.3.6. Chaudière de récupération HRSG:

La chaudière de récupération de l'énergie des gaz d'échappement de la turbine à gaz est horizontale, de type à circulation naturelle, sans feu additionnel et comporte trois étages HP, MP et BP. Chaque étage est équipé d'un économiseur, d'un ballon, d'un évaporateur et d'une surchauffeur.

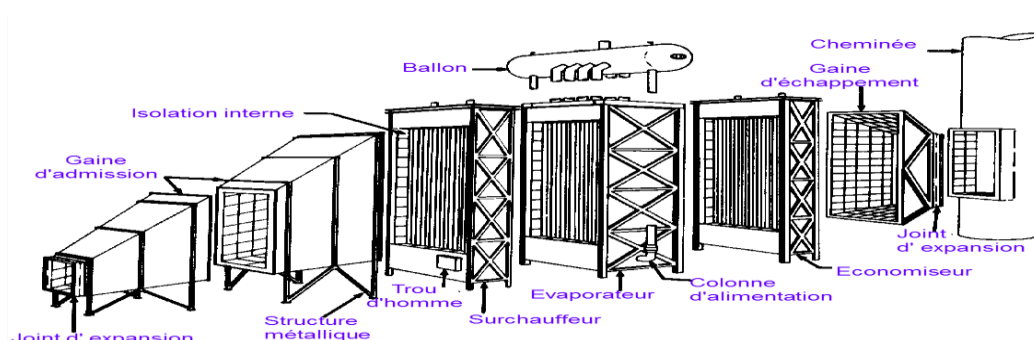


Figure II.3: Chaudière de récupération HRSG.

Tableau II.3: Fiche technique de la chaudière de récupération HRSG.

Équipements	Données techniques
Type:, circulation	Horizontale naturelle
Niveaux de pression de la vapeur Vapeur HP Vapeur MP Vapeur BP	112bar, 572 c, 237,3 ton/ heure 27,2bar , 566,2 c, 282,8 ton /heure 4,5 bar , 229,4 c , 34,3 ton/heure
Pompe alimentaire Moteur la pompe Pression de refoulement HP Pression de refoulement IP	2*100%(pour alimenter le ballon HP,IP) 6,3 KV , 2200 KW type horizontale, multicellulaire et centrifuge 141 bar 43 bar

I.3.7. Contrôle commande DCS:

Les entreprises industrielles utilisent de plus en plus les services rattachés au réseau Ethernet pour permettre d'accéder à distance à leurs processus automatisés reposant majoritairement sur des architectures de contrôle/commande distribuées pour le contrôle, la gestion, la maintenance et la supervision des installations. De nombreux problèmes se posent alors concernant la distribution des fonctions de contrôle et supervision, l'intégration de l'automatisme jusqu'au réseau Internet et la sécurité des accès distants. Le travail présenté concerne l'implémentation de contrôles et supervisions distribués à distance d'un automatisme.

Il comporte des armoires et des appareils de commande capables d'assurer le déclenchement, la commande, la surveillance et l'arrêt des installations.

Pour les salles machines il y a le système SPPA T3000 SIEMENS:

Le système numérique de contrôle-commande qui sera installé dans notre centrale c'est le YOKOGAWA CENTUM VP, YOKOGAWA est une société internationale qui offre des solutions dans le domaine de l'instrumentation, du contrôle et de la sécurité des procédés industriels.

I.3.8. Aérocondenseur ACC:

La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur sera condensée dans l'aérocondenseur. La vapeur de la turbine à vapeur est condensée par l'air ambiant environnant qui est aspiré via les ventilateurs installés dans l'aérocondenseur.

Données techniques ACC: (voir *Tableau II.4*).

Tableau II.4: *Fiche technique de l'aérocondenseur ACC.*

<i>Aérocondenseur</i>	<i>Données techniques</i>
<i>Nombre de ventilateur</i>	<i>18</i>
<i>Moteur</i>	<i>160 Kw, 380 v</i>
<i>Pompes d'extraction</i>	<i>2 x(100%)</i>
<i>Moteur</i>	<i>6,3 KV, 400 KW</i>
<i>Type de la pompe</i>	<i>Centrifuges et verticales</i>
<i>Ejecteur a jet de vapeur</i>	<i>2 pour le vide primaire et le maintien</i>

II.3.9. Aéro-réfrigérants tranches:

L'aéro-réfrigérant est composé d'une surface d'échange et d'un moyen de ventilation. L'eau à refroidir passant dans des tubes et l'air extérieur passant autour des tubes qui sont munis d'ailettes pour augmenter le coefficient d'échange thermique.

II.3.10. Poste gaz:

Le système d'alimentation en gaz naturel (NGSS) est un processus de conditionnement pour livrer le gaz naturel à un certain niveau de pureté et de pression et une température qui correspond au critère de fonctionnement et de prévision des principaux utilisateurs de gaz naturel (turbine à gaz/TG). Ce processus est nécessaire pour s'assurer qu'il ne va pas y avoir dans les systèmes de transmission et la distribution de gaz aux principaux utilisateurs des aérosols, de la condensation ou des particules solides.

Le NGSS est divisé en 9 parties: valve de coupure d'urgence, tambour d'arrêt, séparateur de filtre de gaz, mesureur du gaz d'alimentation, chauffeur du bain d'eau, système de réduction de pression, le patin final pour chaque GT (détecteur, filtre final du chauffeur fonctionnel (conduite de préchauffage, conduite de gaz froid), système de combustion du gaz et appareil de drainage du condensat (*voir fig II.4*).



Figure II.4: Système d'alimentation du gaz naturel.

- Condition d'entrée du gaz naturel au TP (à l'entrée u patin ESD) :
 - ✓ Pression du gaz naturel (Min/Max) : 31 / 69 Bar.
 - ✓ Température du gaz naturel (Min/Max) : 15 / 50 °C.
- Condition de sortie du gaz naturel :
 - ✓ Minimum 27.9 barà60°C (pour le départ, jusqu'à la douille pilote GT).
 - ✓ Minimum 29.5 barà200°C (pour le chargement de base).
 - ✓ Maximum 47.0 bar.

II.3.11. Chaudière auxiliaire:

Le rôle principale de la chaudière est d'assurer la vapeur auxiliaire au démarrage de la tranche avec: la Pression de sortie: 16 baret température à 290°C.

II.3.12. Station production H2:

Le gaz hydrogène produit par le générateur H2 est fourni avec une pureté de 99 % et une capacité de 10 Nm³/h.

Le gaz hydrogène est comprimé à 160 bar par le compresseur et rempli aux bouteilles de gaz hydrogène à haute pression.

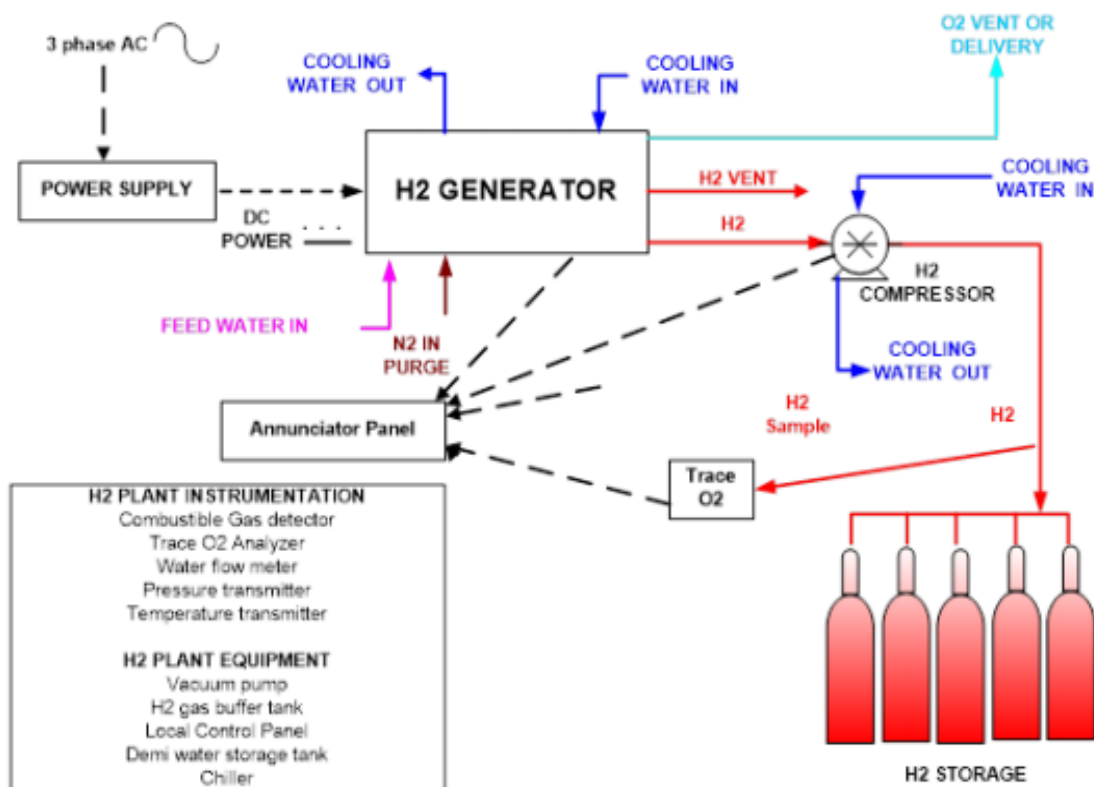


Figure II.5: Station de production H2.

II.3.13.Station production eau déminéralisée:

La fonction du système de traitement de l'eau est de fournir de l'eau potable et de l'eau déminéralisée à la centrale. Le système de traitement de l'eau est principalement composé de l'unité d'ultrafiltration "UF", l'unité osmose inverse "RO" et lit mélange polisseuse " MBP ".

L'utilisation d'un lot de système de traitement de l'eau pour produire des installations de production d'eau déminéralisée à partir d'eau de forage (puits) et un lot de système des eaux usées composé d'eaux usées huileuse et d'eau chimiques usée provenant de la station principale, compris un lot de système d'épuration composé de réservoirs septique emballes.

II.3.14.Système fuel:

La fonction du système d'alimentation de fuel est de dépoter, stocker, transférer et alimenter le fuel aux turbines à gaz.

Le système d'alimentation de fuel consiste du système de dépotage et de transfert de fuel sur le bord de route, pompes, tuyaux et robinetterie, etc.

II.4.Principaux circuits de processus:

II.4.1.Circuits eau vapeur:

Le cycle eau vapeur comprend principalement le système de condensat, le système d'eau d'alimentation et les systèmes de vapeur. Le condensat est extrait du réservoir de collection et envoyé vers le préchauffeur de la chaudière de récupération par les pompes d'extraction. Le condensat est préchauffé dans le préchauffeur de condensat et envoyé vers le ballon BP et vers les pompes d'eau d'alimentation HP/PI.

II.4.2.Circuits combustible:

Les centrales thermiques fonctionnent sur le principe de transformer la chaleur fournie par un combustible en travail mécanique en utilisant un moteur thermique (turbine à gaz, moteur diesel) entraînant un alternateur en vue de générer de l'électricité.

On distingue deux types de combustibles: le combustible gazeux (gaz naturel) et le combustible liquide (gasoil).

La centrale doit être dotée de systèmes de préparation de combustibles pour apprêter les combustibles et les conditionner pour les rendre conformes aux exigences d'admission spécifiées par les fabricants des turbines à gaz et des groupes électrogènes.

Les deux systèmes de préparation des combustibles nécessaires au bon fonctionnement des centrales, sont:

- ✓ Le système de gaz naturel: qui assure les fonctions de filtration, séparation, comptage, réchauffage, détente ou compression du gaz naturel admis à la turbine à gaz.
- ✓ Le système de gasoil: pour le dépotage, le stockage, le traitement et le transfert du gasoil à la turbine à gaz, chaudière auxiliaire et aux groupes électrogènes.

II.4.3.Circuits air comprimé:

La fonction du système d'air comprimé est:

- Alimenter de l'air d'instrument pour contrôler les instruments pneumatiques, vannes pneumatiques et pour l'air pulsé pour le filtre à l'admission d'air TG, etc.

- Alimenter de l'air de service pour fonctionner les outils à air, etc.

- Pression et température en service:
 - ✓ Pression normal en service: 5,5 à 8,6 bars.
 - ✓ Pression maximale: 8.8bar.
 - ✓ Température de conception : Min. -10 °C / Max. 45 °C.
- Point de rosée de conception pour l'air d'instrument.

L'air d'instrument est séché par les sécheurs d'air pour qu'il ait un point de rosée de -40°C à la pression atmosphérique.

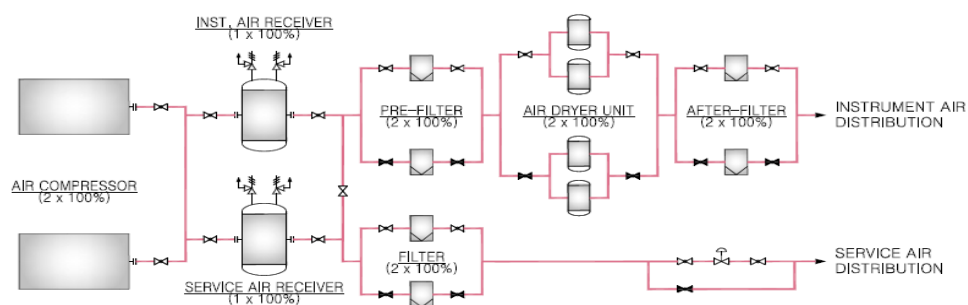


Figure II.6: Circuit air comprimé.

II.4.4.Circuits huile de graissage:

Le système d'huile de lubrification doit assurer l'alimentation en huile à une pression adéquate les éléments suivants:

- ✓ Les paliers de la turbine à gaz (palier compresseur, palier turbine).
- ✓ Les paliers de la turbine à vapeur.
- ✓ Les paliers de l'alternateur et de l'excitatrice.
- ✓ Le système d'huile de commande hydraulique.
- ✓ Le système d'huile de soulèvement.
- ✓ Le système d'huile d'étanchéité.

La fonction principale de l'huile de lubrification est de diminuer le frottement grâce au film d'huile déposé sur les paliers et qui sépare ainsi les coussinets de l'arbre en rotation. De plus, la circulation du flux d'huile sert à évacuer la chaleur des paliers grâce au passage par les échangeurs de chaleur, ainsi qu'à la filtration des particules polluantes dues à l'abrasion.

II.4.5.Circuits eau de refroidissement:

Les systèmes d'eau de refroidissement de la centrale comprennent le système d'eau de refroidissement en circuit fermé et les aéro-réfrigérants.

Les aéro-réfrigérants évacuent la chaleur du système d'eau de refroidissement en circuit fermé. Le système d'eau de refroidissement en circuit fermé évacue la chaleur de plusieurs composants de la centrale (réfrigérants d'alternateur, réfrigérants d'huile d'étanchéité et de graissage, pompes, réfrigérants d'échantillonnage, etc.) dans l'atmosphère via les aéro-réfrigérants. Les pompes d'eau de refroidissement en circuit fermé sont des pompes 2x100% pour chaque système d'eau de refroidissement en circuit fermé.

II.4.6.Circuits eau (eau déminéralisé, eau potable, eau de service):

Les systèmes d'eau doivent fournir d'une façon continue, fiable et autonome l'eau de service, l'eau de procédés, l'eau incendie et l'eau potable et assurer le traitement adéquat des eaux usées.

Les diverses qualités d'eau, les procédés de traitement et le matériel doivent être conformes aux exigences de la réglementation en vigueur en Algérie.

Le Constructeur doit effectuer l'analyse de l'eau disponible sur le site et choisir les procédés de traitement adéquats pour l'obtention des qualités d'eau requises par les normes et les manufacturiers des équipements.

Les systèmes d'eau d'une centrale de production d'énergie électrique en cycle combiné sont composés des sous-systèmes suivants:

- ✓ Alimentation en eau.
- ✓ Prétraitement de l'eau.
- ✓ Prétraitement et traitement des eaux déminéralisé.
- ✓ Traitement d'eau potable (potabilisation).
- ✓ Traitement/séparation des eaux usées.
- ✓ Drainage/stockage des eaux contaminées.

Le sous-système d'alimentation en eau fournit les qualités d'eau suivantes:

- ✓ Eau de service.
- ✓ Eau déminéralise: La déminéralisation, également connue sous le terme dés-ionisation, est le processus d'élimination des minéraux dissous dans l'eau pour la rendre apte à l'utilisation par les procédés.
- ✓ Eau d'incendie.
- ✓ Eau potable.

I.4.7.Circuits incendie:

La centrale sera protégée contre l'incendie par une détection d'incendie compréhensive, l'alarme et le système de protection. Le système de détection d'incendie fournira les moyens à détecter les incendies, les alarmes visuelles et audibles localement et à distance, et en cas de besoin, activera le système de protection d'incendie.

Tous les systèmes de protection d'incendie couvrant toutes les zones dangereuses de la centrale et les installations auxiliaires et seront fournis comme une exigence minimale.

- ✓ Poteau incendie et Robinet incendie armé (RIA).
- ✓ Système fixé de pulvérisation d'eau automatique.
- ✓ Système de sprinkler de tuyau mouillé automatique.
- ✓ Système de mousse.

- ✓ Extincteurs.
- ✓ Tous les composants et les accessoires nécessaires pour compléter le système [10].

I.5.conclusion:

Ce chapitre nous a permis d'avoir une connaissance générale sur la centrale à cycle combiné 1200MW AIN ARNET-SÉTIF. Son principe, une étude sur les cycles combinés qu'elle comporte, les principaux équipements qu'elle contient, ainsi que les circuits processus utilisés dans cette centrale ce qui va nous faciliter la tâche pour une étude plus profonde sur la philosophie utilisée afin de mettre en marche le plan de protection de transformateur de puissance de cette centrale.

Chapitre 3

**Essais sur site et mise en service du transformateur de
puissance 22KV / 400KV**

AIN ARNET-SETIF

Chapitre III: Essais sur site et mise en service du transformateur de puissance 22KV / 400KV AIN ARNET-SETIF:

III.1.Introduction:

Pendant la mise en service et le fonctionnement, il est essentiel que notre transformateur de puissance soit en bon état. Différents facteurs peuvent influencer sur la pérennité d'un transformateur tout au long de son cycle de vie.

Les tests de diagnostic et la surveillance (pré-mise en service et Mise en service) nous aident à déterminer l'état de notre transformateur et à choisir les mesures correctives adéquates pour garantir la fiabilité du fonctionnement et prolonger sa durée de vie [11].

De ce chapitre on va voir les différentes étapes du mise en service et les appliquer sur notre transformateur de puissance et cela avant de le placer sur le réseau.

III.2.Pré-mise en service:

Les activités de pré-mise en service commencent généralement jusqu'à neuf mois avant la phase de construction. Il implique l'attribution de plusieurs responsables, telles que les ingénieurs, l'entreprise de construction, les fournisseurs d'équipement et l'organisation chargée de la mise en œuvre du projet.

III.3.Mise en service:

La mise en service est un processus permettant de s'assurer que les différentes parties d'un système impliqué dans le projet fonctionnent conformément aux spécifications du client. Par exemple, le client souhaite vérifier que l'équipement est installé conformément aux spécifications du fabricant.

III.4.Avantage de Pré-mise en service et de mise en service:

Ces activités de pré-mise en service et de mise en service garantissent que le projet ne présente aucun problème [12]. Un projet, par exemple de construire la centrale de production 1200kw AIN ARNET-SETIF.

III.5.Différents problèmes que peut rencontrer un transformateur durant sa durée de vie:

- a) L'influence thermique: Surcharge, surchauffe, conditions ambiantes.
- b) Vieillessement: Humidité, acides, oxygène, contamination, fuite.
- c) Influences mécaniques: Dégâts occasionnés pendant le transport, contraintes dues aux courts-circuits, activité sismique.
- d) Influences électriques: Chocs de manœuvre, foudre, surtensions, courants de court-circuit.
- e) Problèmes de protection: Mauvais fonctionnement, défaillance [11].

III.6. Différents étapes de mise en service:

III.6.1. Mesure de la résistance d'isolement et mesure de la capacité et du facteur de puissance de l'isolement:

III.6.1.1. Mesure de la résistance d'isolement:

Lors de la mesure résistance d'isolement avant la première mise sous tension d'un transformateur, il faut contrôler les éventualités suivantes:

les erreurs possibles commises pendant le montage ou tout endommagement survenu dans le transport si les procédures effectuées sur les parties actives d'un transformateur à compter du départ de l'usine jusqu'aux travaux finaux avant la mise sous tension ont eu un mauvais impact sur les caractéristiques générales d'isolement.

La valeur absolue de la résistance d'isolement dépend de la puissance assignée du transformateur ainsi que de la quantité, la qualité, le volume, la chaleur, l'humidité et d'autres caractéristiques, mais il y a d'autres facteurs affectant cette valeur. C'est pourquoi il est impossible de désigner ou définir la valeur minimale admissible de résistance d'isolement pour des transformateurs de différentes caractéristiques assignées et tout particulièrement de différents fabricants.

Afin de pouvoir comparer les valeurs de résistance d'isolement obtenues sur le site et celles obtenues en usine, il est nécessaire d'effectuer la mesure sur le site dans les mêmes conditions que celles présentes dans l'usine pendant la même mesure (humidité relative, propreté des traversées, même huile, etc.) Toutefois, comme il n'est pas possible de disposer de mêmes conditions, on aura recours à une estimation comme celle décrite dans le texte ci-après.

La loi de changement de la résistance d'isolement dans un transformateur sous l'effet du changement de température étant suffisamment connue, les valeurs de résistance d'isolement obtenues sur le site peuvent être mises en relation avec la température de référence de 20°C dans l'intérêt de comparaison avec des valeurs obtenues dans l'usine.

L'impact d'autres facteurs est estimé pour chaque cas en particulier.

Pour lier la résistance d'isolement à la température de référence de 20°C, on a recours à la règle suivante: pour tout 10K de l'échauffement ou de baisse de température, une minute de la résistance d'isolement est réduite ou augmentée approximativement 1,99fois.

Les coefficients peuvent être relevés du tableau ci-après:

Tableau III.1: *Coefficients de température en kelvin pour la mesure de la résistance d'isolement.*

Température d'essai °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Coefficient k	0.25	0.36	0.5	0.75	1	1.4	1.98	2.8	3.95	5.6

La valeur du coefficient pour d'autres températures peut être calculée par interpolation.

Toutefois, les autres paramètres mentionnés peuvent avoir une telle influence que même deux fois diminuée par rapport à celle mesurée à l'usine, la résistance d'isolement ainsi obtenue peut être complètement satisfaisante.

C'est tout particulièrement le cas lorsque la résistance d'isolement mesurée dans l'usine a été extrêmement élevée. Pour ces cas-là, il faut respecter la règle suivante: lorsque la résistance d'isolement obtenue de la manière mentionnée est inférieure à 50 % de la valeur mesurée dans l'usine, il faut consulter le fabricant. Afin de connaître le mieux possible les conditions d'isolement, il convient de mesurer la valeur de la résistance d'isolement prise après 15 et 60 secondes comptées du moment de l'application de la tension d'essai.

Il est possible de comparer les résultats obtenus par application de la même connexion et de la tension d'essai uniquement.

Pour cette mesure il faut régulièrement utiliser un mégohmmètre 2500 ou 5000 V avec une borne de garde.

Pour un transformateur à deux enroulements, la résistance d'isolement sera mesurée pour les combinaisons suivantes:

- HT-BT (m).
- HT-m (BT).
- HT-m (HT).

La résistance à mesurer doit être connectée entre les bornes "L" et "E" tandis que les points donnés entre parenthèses sont connectés à la borne de garde.

➤ Légende:

- HV (HT) - enroulement haute tension.
- LV (BT)- enroulement basse tension.
- m - parties au potentiel de terre (cuve, etc.).

Exemple: La connexion pour une des combinaisons possibles est montrée ci-après:

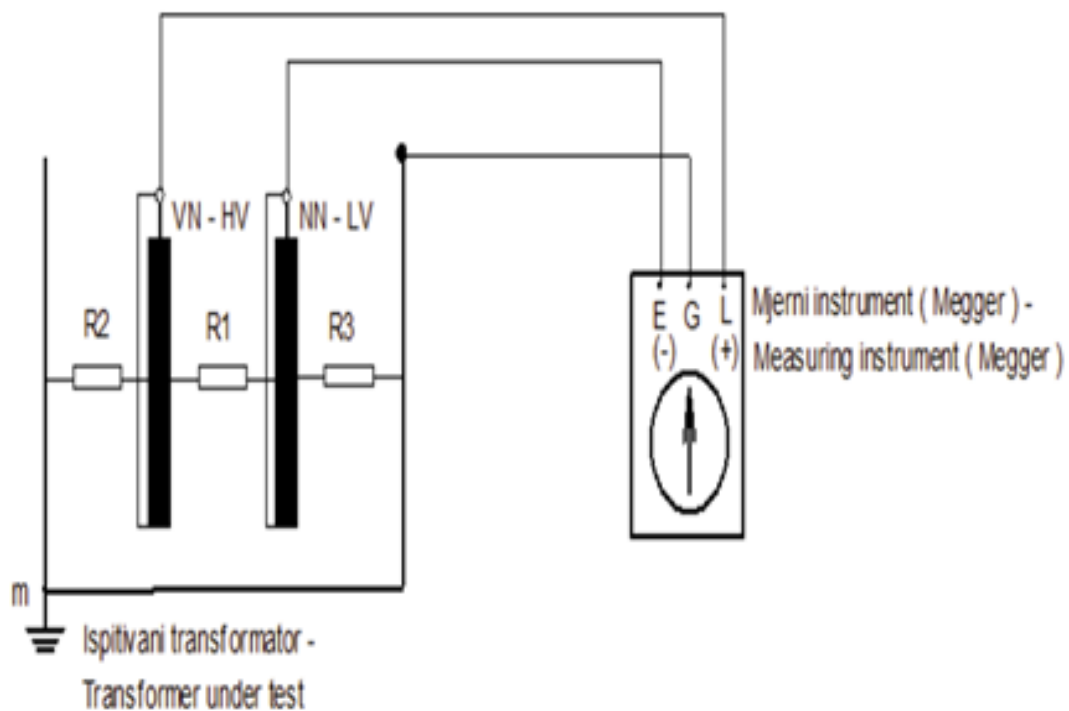


Figure III.1: *Mesure de la résistance d'isolement.*

(Mesure R1 = HT — MT (BT + m); enroulement HT vers enroulement MT.

Enroulement BT et m (cuve) vers la borne G)

Outre la résistance d'isolement des parties actives sous-mentionnée, la résistance d'isolement de l'enroulement secondaire d'un transformateur de courant ainsi que la résistance d'isolement de la cuve d'un transformateur (en cas de protection de la cuve) est vérifiée à l'aide d'un mégohmmètre.

III.6.1.1.1.Mesure de la résistance d'isolement du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

Tableau III.2:Résultats mesure de la résistance d'isolement.

<i>Mesure à l'aide de: CHAUVIN ARNOUX C.A. 6550 sn: 100564 QAH : U_{test}= 5 kV Temp 20 °C</i>				
<i>Entre</i>	R 15s	R 60s		R 60s /R 15s
HV- LV (m)	42840 MΩ	55980 MΩ		1.30
HV - m (LV)	18150 MΩ	24550 MΩ		1.35
LV - m (HV)	40000 MΩ	48790 MΩ		1.22
Core insulation résistance – Résistance D'isolation de noyau	Core - (Frame + m) Noyeau - (Cadre de connexion + m)		3780 MΩ	U_{test} = 1kV ; Temp:20°C
	Frame - (Core + m) Cadre de connexion - (Noyeau + m)		3750 MΩ	

Les résultats obtenus sont conforme au spécification des valeurs d'usine.

III.6.1.2.Mesure de la capacité et du facteur de puissance de l'isolement:

Le but de cette mesure est de fournir la preuve de l'état qualitatif du système d'isolement. La mesure de la capacitance et du facteur de perte tg à sur le chantier est effectué afin de déterminer la sécheresse/siccité du système d'isolement (indication d'un bon ou faible séchage) du transformateur et des traversées du condensateur.

➤ **La méthode de mesure sur le chantier dépend des instruments utilisés.**

Pour faire la comparaison entre les valeurs du facteur de perte tg à obtenues sur le chantier et celles obtenues à l'usine il sera nécessaire d'effectuer la mesure sur le chantier dans les mêmes conditions que celles prévalant à l'usine au temps de la mesure (humidité relative, propreté des traversées, la même huile, etc.).

Les valeurs du facteur de perte tg d mesurées sur le chantier peuvent être liées à la température de référence de 20°C pour la comparaison avec les valeurs obtenues à l'usine.

Les coefficients peuvent être pris du tableau ci-dessous:

Tableau III.3: *Coefficient de la température en kelvin pour la mesure de la capacité et du facteur de puissance.*

t(°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
K	0.80	0.90	1.00	1.12	1.25	1.40	1.55	1.75	1.95	2.18	2.42	2.70	3.00

Le coefficient pour autres températures peut être calculé par l'interpolation suivante :

$$F_{p20} = \frac{F_{pt}}{K}$$

Où:

- ✓ F_{p20} : facteur de puissance corrigé à 20 °C (%).
- ✓ F_{pt} : facteur de puissance mesuré à la température t (%).
- ✓ t : température pendant l'essai (°C).
- ✓ K : facteur de correction.

Le transformateur doit être complètement installé et rempli de l'huile isolante.

Le transformateur doit être déconnecté du poste de commutation extérieure et/ou des lignes de transport (barre omnibus).

La cuve du transformateur doit être mise à la terre. Toutes les bornes de chaque enroulement doivent être connectées ensemble (court-circuitées) pendant la mesure.

Toutes les porcelaines des traversées doivent être sèches et nettoyées avec précaution.

Des pièces de cordes ne seront pas utilisées pour séparer des lignes, parce qu'elles peuvent devenir humides et introduire une ligne de fuite suffisamment importante à fausser la vraie lecture.

Aussi un haut degré de l'humidité de l'atmosphère peut avoir une influence sur les résultats de l'essai. Pendant la mesure sur le chantier ou pourrait avoir des problèmes dans le cas d'interférence d'une fréquence industrielle à proximité.

Des exemples pour la mesure de la capacitance et du facteur de perte tg à en utilisant l'équipement avec GUARD LEAD (circuits d'essai pour la mesure sur les transformateurs avec 2 et avec 3 enroulements) sont présentés ci-dessous.

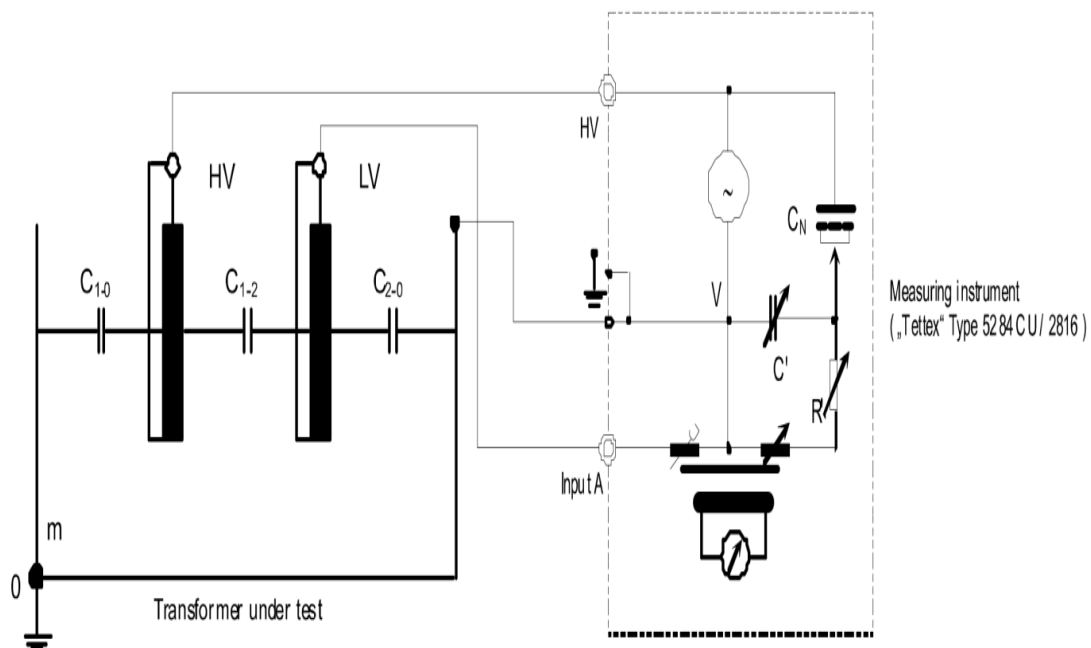


Figure III.2: Mesure de la capacité et du facteur de puissance.

III.6.1.3. Mesure de la capacité et du facteur de puissance de l'isolement du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

Tableau III.4: Résultats de la mesure de la capacité.

	C (nF)	C (nF/ph)	tg δ (%)	U_{test} (kV)
C_{1-2}	6 328	2.109	0.20	10
C_{1-0}	6 214	2.071	0.22	10
$C_{1-2}+C_{1-0}$	12 542	4.180	0.22	10
C_{2-0}	29 691	9.897	0.31	10
$C_{1-2}+C_{2-0}$	36 030	12.010	0.31	10

Tableau III.5: Résultats de la mesure du facteur de puissance.

Terminal	Bushing type	Manufacer	Bushing sn:	C ₁ (pF)	tg δ ₁ (%)	U _{test} (KV)
R	PN0.420.1550 .1250	PASSONI VILLA	207448	582.63	0.50	10
S	PN0.420.1550 .1250	PASSONI VILLA	207447	588.39	0.53	10
T	PN0.420.1550 .1250	PASSONI VILLA	209300	592.59	0.47	10
N	PN0.245.1550 .1250	PASSONI VILLA	208840	521.33	0.44	10
R	GOH 170/16	ABB	1ZSC280 01166/02	528.49	0.28	10
S	GOH 170/16	ABB	1ZSC280 01166/01	528.34	0.28	10
t	GOH 170/16	ABB	1ZSC280 01166/03	532.18	0.32	10

Une fois les mesures effectuées, il convient de comparer les valeurs aux valeurs de référence mentionnées dans les normes applicables à l'élément testé.

Une augmentation de la capacité de plus de 10 % par rapport aux résultats précédents est normalement considérée comme dangereuse pour les traversées.

Elle indique qu'une partie de l'isolation est déjà dégradée et que la contrainte diélectrique s'exerçant sur l'isolation restante est trop élevée.

Les mesures de $\tan(\delta)$ standard à 50 Hz ou 60 Hz permettent uniquement de détecter les effets de l'humidité et du vieillissement à un stade avancé. En effectuant les mesures sur une plage de fréquences plus étendue, il est possible de détecter ces effets plus tôt, ce qui permet d'anticiper la planification des actions correctives [11].

III.6.2. Mesure de la résistance ohmique:

Cette mesure n'est généralement pas effectuée sur le site. Elle ne doit être effectuée qu'en cas de doute d'endommagement survenu dans le transport ou sur une demande spéciale;

La résistance des enroulements entre les bornes correspondantes est mesurée à l'aide de la méthode tension-courant (U-I).

La mesure est effectuée sur les prises principales et les prises extrêmes du changeur de prises en charge. Le courant continu et la chute de tension sont mesurés à l'aide des instruments de la classe 0.2 selon la Figure suivante. Un rapport entre la chute de tension et le courant donne la résistance mesurée. La température est mesurée par un thermomètre logé dans un doigt de gant sur le couvercle du transformateur. Le courant nécessaire est fourni par une batterie de 12 V.

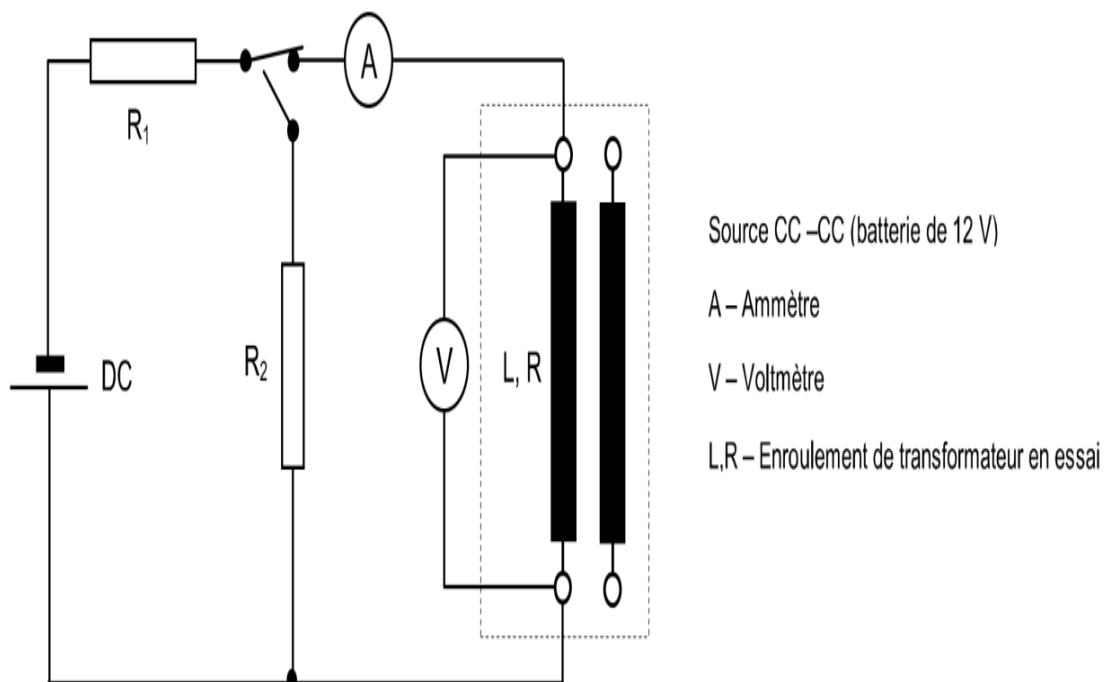


Figure III.3: Mesure de la résistance ohmique.

III.6.2.1. Mesure de la résistance ohmique du transformateur de puissance 420/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

Tableau III.6: Résultats mesure de la résistance ohmique.

MESURE DE LA RESISTANCE DES ENROULEMENTS (mΩ)							
Température: 20 °C							
Position	Entre						Valeur moyenne à 20 °C
	R-S à 7 °C / à 20 °C		S-T à 7 °C / à 20 °C		T-R à 7 °C / à 20 °C		
1	613.95	646.93	610.53	643.33	606.73	639.32	643.19
2	599.07	628.65	595.10	627.07	592.39	624.21	626.64
3	583.15	614.48	580.81	612.02	577.61	608.64	611.71
4	569.24	599.82	566.15	596.56	562.70	592.93	596.44
5	554.13	581.50	551.33	580.95	548.06	577.50	579.98
	r-s à 6 °C / à 20 °C		s-t à 6 °C / à 20 °C		t-r à 6 °C / à 20 °C		
-	1.5925	1.6850	1.6008	1.6937	1.5921	1.6845	1.6877

Pour la résistance d'enroulement, les résultats ne doivent pas différer de plus de 1 % des mesures de référence. En outre, les différences entre les phases sont généralement inférieures à 2-3 %.

III.6.3. Rapport de transformation:

III.6.3.1. Contrôle du rapport de transformation:

Cette mesure étant effectuée dans l'usine, elle sera juste vérifiée sur le site.

Pour les transformateurs de réglage il est particulièrement important d'effectuer cette mesure sur toutes les prises de réglage. Le contrôle se fait par la méthode de voltmètre de manière à appliquer la tension triphasée ou monophasée d'environ 380/220 V côté HT et de lire les résultats du côté BT dans toutes les positions du changeur de prises en charge et du changeur de prise hors charge.

La mesure est effectuée en mesurant les mêmes tensions de phase par des voltmètres de classe 0.2 — 0.5.

Les résultats obtenus doivent être conformes aux résultats donnés dans le rapport d'essai.

La mise à l'essai peut être effectuée comme montré sur la Figure ci-après:

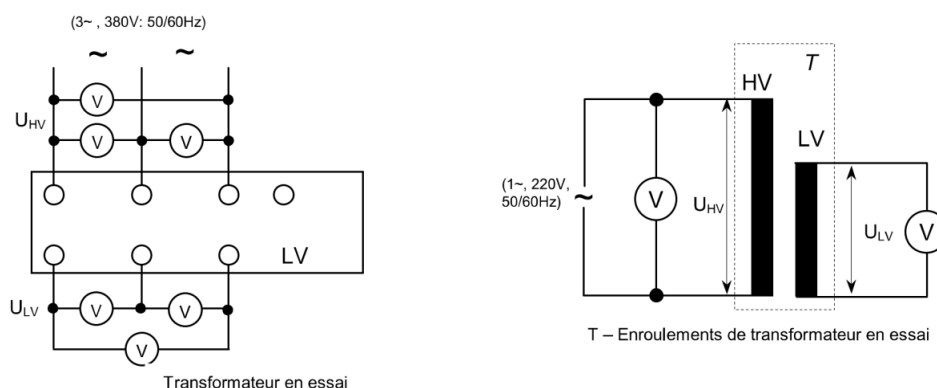


Figure III.4: *Mesure et contrôle du rapport de transformation.*

III.6.3.1.1. Contrôle du rapport de transformation du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

Tableau III.7: *Résultats de contrôle du rapport de transformation.*

Measured values – Valeurs mesurées										
Tap pas - Posit	"R-N / r-s"		Ratio Rapport	"S-N / s-t"		Ratio Rapport	"T-N / t-r"		Ratio Rapport	Rated ratio - Rapport nominal (V / V)
	(V)	(V)		(V)	(V)		(V)	(V)		
1	399.90	34.483	11.6120	399.91	34.458	11.6059	399.91	34.437	11.6127	$\frac{441000}{\sqrt{3} / 22000} = 11.573$
2	399.88	35.303	11.3271	399.90	35.320	11.3222	399.90	35.300	11.3285	$\frac{430500}{\sqrt{3} / 22000} = 11.298$
3	399.92	36.211	11.0442	399.90	36.226	11.0391	399.91	36.206	11.0453	$\frac{420000}{\sqrt{3} / 22000} = 11.022$
4	399.90	37.162	10.7609	399.91	37.181	10.7558	399.90	37.158	10.7622	$\frac{409500}{\sqrt{3} / 22000} = 10.747$
5	399.91	38.168	10.4775	399.91	38.186	10.4726	399.91	38.165	10.4785	$\frac{399500}{\sqrt{3} / 22000} = 10.471$

Les résultats sont comparés aux valeurs de la plaque signalétique et entre les phases. Conformément aux normes CEI 60076-1 et IEEE C57.152, les valeurs mesurées ne doivent pas s'écarter de plus de 0,5 % du rapport nominal [11].

III.6.4. Contrôle de la connexion de l'enroulement tertiaire:

Si l'enroulement tertiaire ne doit être chargé par une charge externe, la connexion delta sera fermée et une borne mise à la terre.

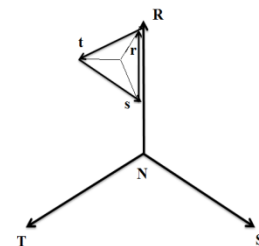
III.6.4.1. Contrôle de la connexion de couplage du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET -SETIF:

Le transformateur est enregistré avec 3 phases 380 V, 50Hz aux enroulements Tap – 3.

La ligne des bornes R et r sont connectés au galvanomètre (court-circuit).

Tableau III.8: Contrôle de la connexion de couplage.

<i>Entre bornes</i>	<i>U (V)</i>	<i>Entre bornes</i>	<i>U (V)</i>
R-S	398.8	R-r	0,0
S-T	397.2	R-s	21.26
T-R	400.5	R-t	21.17
R-N	231.5	S-r	398.7
S-N	229.2	S-s	380.6
T-N	230.5	S-t	399.0
r-s	21.23	T-r	400.7
s-t	20.81	T-s	382.8
t-r	21.15	T-t	382.9
		N-r	231.6
		N-s	210.5
		N-t	221.6



$$R-s + N-s = R-N \quad 21.26 + 210.5 = 231.76 = 231.5$$

$$(T-s = S-s) < (T-r = S-r) \quad (382.8 = 380.6) < (400.7 = 398.7)$$

$T-t < T-r$	382.9	<	400.7
$S-t > S-s$	399.0	>	380.6

Indice horaire : YNd1 = OK

III.6.5. Mesure du courant magnétisant a 380V:

Par la mesure du courant magnétisant à cette tension-là il est possible d'établir la mauvaise erreur dans un transformateur.

La mesure doit être effectuée sur chaque phase de chacun des enroulements sur la prise principale.

La mesure doit être effectuée par application de la tension triphasée/monophasée à partir d'une source d'environ 380 V / 220 V à travers des ammètres connectés en séries (instruments universels), Les fils des connexions doivent être bien isolés pour la tension d'essai et les instruments seront placés sur la table (caisse) près de la semelle du transformateur.

Les résultats obtenus doivent être proches des valeurs fournies dans le rapport d'essai de l'usine et s'ils sont absents, il faut donner une estimation conformément aux courants mesurés à vide.

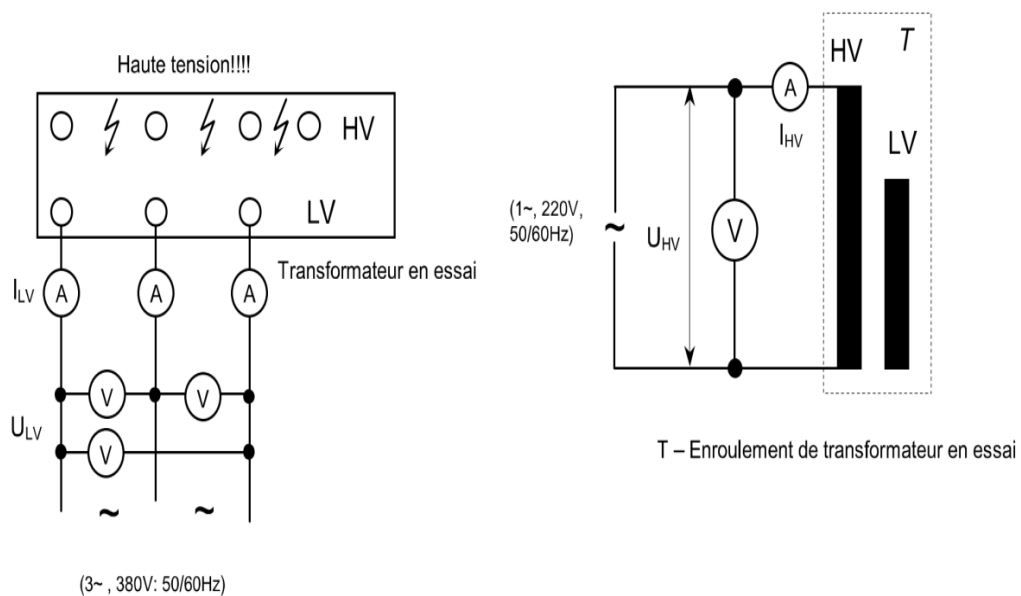


Figure III.5: Mesure du courant magnétisant.

III.6.5.1. Mesure du courant magnétisant à 396V du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

Tableau III.9: Résultats mesure du courant magnétisant.

NO-LOAD CURRENT at. 396 V, 50 Hz - COURANT MAGNETISANT à 396 V, 50 Hz				
Tap pos. - Position de réglage	Winding – Enroulement	Phase- Phase "R"(mA)	Phase- Phase "S"(mA)	Phase- Phase "T"(mA)
3.	HV - HT	6.53	4.82	6.93
-	LV - BT	599	436	513

Le test du courant de magnétisation doit être comparé entre les phases et positions de prises. En fonction de la construction du transformateur et du nombre de colonnes, les résultats doivent montrer des résultats similaires pour deux ou trois phases. Les phases similaires ne doivent pas dévier de plus de 5 à 10 % les unes des autres [11].

III.6.6. Essais de l'huile:

Ces essais sont conduits conformément à la CEI 60156.

Cette norme prescrit la méthode de prélèvement des échantillons d'huile, la préparation de celle-ci, la méthode d'essai, les caractéristiques du matériel nécessaire, etc.

Un échantillon d'huile sera pris depuis le niveau inférieur de la cuve et l'essai effectué.

Si la valeur moyenne des cinq derniers claquages est supérieure à 60 kV/2,5 mm, la rigidité diélectrique est satisfaisante et si elle ne l'est pas, l'huile sera traitée à nouveau.

III.6.6.1. Résistance diélectrique de l'huile au fond de la cuve du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF :

Résistance diélectrique de l'huile au fond la cuve, s'élève a :

78,9 KV / 2.5mm

Figure III.6: Résultats mesure résistance diélectrique de l'huile au fond de la cuve.

La valeur de la résistance est supérieure à 60 kV/2,5 mm donc rigidité diélectrique est satisfaisante.

III.6.7. Fonctionnement du relais de protection:

III.6.7.1. Essai de relais actionné à l'huile et à gaz (relais Buchholz):

Le fonctionnement d'un relais actionné à l'huile et à gaz concernant son action sur la signalisation et le déclenchement d'un disjoncteur sera obligatoirement testé par une action directe sur les flotteurs avant la mise en service. Le relais Buchholz doit être connecté de manière à mettre hors circuit les disjoncteurs à partir du côté de l'alimentation.

Un montage approprié est d'une importance essentielle pour son fonctionnement correct. La flèche sur le relais doit pointer dans la direction de la cuve de conservateur.

La raison d'un défaut de relais peut être une couche d'oxyde sur les contacts de micro-interrupteur, son endommagement pendant le transport, l'entrée de l'huile dans les flotteurs ou blocage des flotteurs et de l'aiguille d'essai.

Le contrôle du fonctionnement de micro-interrupteur est effectué par un ohmmètre ou une lampe-témoin.

III.6.7.2. Fonctionnement et réglage du thermostat (T):

Le bon fonctionnement du thermostat est testé facilement en déplaçant l'aiguille indicatrice tant que la température du médium n'est atteinte. Dans la zone étroite autour de cette valeur le contact doit être

Ouvert et fermé respectivement, c'est-à-dire qu'il doit donner le signal d'alarme ou le signal pour le déclenchement du disjoncteur.

Suite à ce contrôle, le thermostat doit être réglé à la température requise (habituellement à 105°C).

III.6.7.3. Thermomètre à contact (indicateur de température d'huile — OTI) et Image thermique (indicateur de température d'enroulements — WTI) Contrôle de fonctionnement:

Le thermomètre à contact et l'image thermique (WTI) peuvent être équipés de 2 ou 4 contacts (micro- interrupteurs). Le premier contact sert pour indiquer la température excessive (contact d'alarme) et l'autre pour mettre le transformateur hors circuit (contact de déclenchement). Les deux autres contacts peuvent être utilisés pour la commande du refroidissement de transformateur (enclenchement et déclenchement des ventilateurs et des pompes à l'huile). Le contrôle de fonctionnement est effectué en déplaçant manuellement l'aiguille dans le sens horaire. En atteignant les valeurs de températures prédéterminées, la commande de refroidissement, l'alarme et le déclenchement seront actionnés respectivement. Les aiguilles ne doivent jamais être déplacées dans le sens horaire inverse vers la température actuelle plus basse.

Les sondes (capteurs) OTI et WTI pour la mesure de la température sont logées dans les doigts de gant sur le couvercle de transformateur. La sonde WTI possède sa propre résistance alimentée par le courant secondaire d'un transformateur de courant monté sur le transformateur. Les bornes secondaires d'un transformateur de courant sont généralement court-circuitées et mises à la terre lors du transport. Après la connexion au dispositif de chauffage de WTI, le pont de court-circuit sur l'enroulement secondaire du transformateur de courant doit être déconnecté. Une seule borne secondaire (généralement S1) du transformateur doit être mise à la terre.

III.6.7.4. Contrôle de la protection de la cuve:

Si la protection de la cuve est envisagée par l'étude, il est nécessaire de contrôler la résistance d'isolement de la cuve envers les parties au potentiel terrestre. En vue d'un fonctionnement correct de l'équipement de protection de la cuve, sa résistance d'isolement doit dépasser 100 ohms. La borne libre du côté primaire de la protection incorporée de la cuve de transformateur de courant doit être connectée au système de mise à la terre. Si la protection de la cuve n'est pas envisagée par l'étude, la cuve doit être mise à la terre directement.

III.6.7.5.Essai et fonctionnement et mise au point de l'équipement de protection et d'alarme du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

.1 Buchholz relay - <i>Relai Buchholz</i>				
- Alarm - <i>Alarme</i>				OK
- Trip of transformer - <i>Déclenchement du transformateur</i>				OK
2 Winding temperature indicators - <i>Images termiques</i>				
- Stage I - <i>Degré I :</i>	Cooling control; group 1 (24 fans)	at - à	60 °C	OK
- Stage II - <i>Degré II :</i>	Cooling control; group 2 (2 oil pumps)	at - à	70 °C	OK
- Stage III - <i>Degré III :</i>	Alarm - <i>Alarm</i>	at - à	113 °C	OK
- Stage IV - <i>Degré IV :</i>	Trip of transf. - <i>Déclench. du transf.</i>	at - à	135 °C	OK
- Remote indication - <i>Indication à distance (4 - 20 mA DC;)</i>				OK
- Set value of the resistance R (Ω) / H (K) for WTI - <i>Valeur de la résistance R (Ω) / H (K) réglé pour image thermique</i>				24 K OK
3 Oil temperature indicator - <i>Indicateur de température de l'huile</i>				
- Stage I - <i>Degré I :</i>	Cooling control; group 1 (24 fans)	at - à	50 °C	OK
- Stage II - <i>Degré II :</i>	Cooling control; group 2 (2 oil pumps)	at - à	60 °C	OK
- Stage III - <i>Degré III :</i>	Alarm - <i>Alarm</i>	at - à	95 °C	OK
- Stage IV - <i>Degré IV :</i>	Trip of transf. - <i>Déclench. du transf.</i>	at - à	105 °C	OK
- Remote indication - <i>Indication à distance (4 - 20 mA DC;)</i>				OK
4 Bushing current transformers - <i>Transformateurs de courant</i>				
- Secondary circuits connection check (by multimeter) <i>Contrôle du couplage des circuits secondaires (par multimètre)</i>				OK
[CT - connected - <i>est raccorde</i> : ok ; earthed terminal - <i>borne de terre</i> : S1]				OK
[CT - short-circ. : ok <i>court circuit</i> : ok and earthed on terminal - <i>et mise à la terre</i> : S1]				OK
.5 Oil level indicators - <i>Indicateurs de niveau d'huile</i>				
- Alarm contacts functional check - <i>Contrôle de fonctionnement des contacts d'alarme</i>				OK
.6 Overpressure relief devices - <i>Soupape de securite</i>				
- Trip contacts functional check <i>Contrôle de fonctionnement des contacts de déclenchement</i>				OK
.7 OLTC protective relais - <i>Relais de protection du changeur de prise en charge</i>				
- Trip contacts functional check <i>Contrôle de fonctionnement des contacts de déclenchement</i>				n/a
8 OffCTC wrong manipulation protective switch - <i>Interrupteur de protection contre la fausse manoeuvre du changeur de prises hors charge</i>				
- Trip and signalization contacts functional check <i>Contrôle de fonctionnement des contacts de déclenchement et de signalisation</i>				OK
9 Prestressed non return valve (Shutter) - <i>Clapet anti-retour</i>				
- Trip and signalization contacts functional check <i>Contrôle de fonctionnement des contacts de déclenchement et de signalisation</i>				n/a
10 Oil flow indicators - <i>Indicateurs de circulation d'huile</i>				
- Alarm contacts functional check - <i>Contrôle de fonctionnement des contacts d'alarme</i>				OK
11 Water flow indicators - <i>Indicateurs de contrôle de la circulation d'eau</i>				
- Alarm contacts functional check - <i>Contrôle de fonctionnement des contacts d'alarme</i>				n/a

Figure III.7:Résultats essai et fonctionnement et mise au point de l'équipement de protection et d'alarme.

L'équipement de protection et d'alarme du transformateur de puissance 400/22kv sont impeccables.

III.6.8. Contrôle de fonctionnement de changeur de prise hors charge:

Un manuel d'instructions relatif à sa mise en service est joint à chaque unité de changeur de prises hors charge et il doit être strictement observé.

Vérifications suivantes seront effectuées sur le changeur de prises hors charge:

- Vérifier manuel d'utilisation
- Lecteur moteur, c'est à dire s'il ya lieu, contrôle de fonctionnement. Un cycle de fonctionnement complète.
- La vérification de fonctionnement de l'interrupteur limiteur pour les positions finales.
- Indicateurs de position vérification du fonctionnement du robinet.
- Signalisation.
- Chauffage et éclairage de l'armoire de commande du mécanisme d'entraînement.

III.6.8.1. Contrôle de fonctionnement de changeur de prise hors charge du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

1	Manual operating check. - Contrôle manuel du mécanisme de l'entraînement.	OK
2	Motor drive operation check. One complete cycle of operation. - Contrôle de l'entraînement à moteur. Traverser une fois toutes les positions.	
	- Local/Remote - Local / A distance	n/a
	- Automatic/Manual - Automatique / Manuel	n/a
3	Operation check of limiter switch for end positions - Contrôle des verrouillages en positions finales	n/a
4	Tap position indicators operation check - Contrôle des indicateurs de positions des prises	OK
5	Signalization - Signalisation	OK
6	Motor drive cubicle heating and lightning - Chauffage et éclairage de l'armoire de commande du mécanisme d'entraînement.	n/a
7	Counter position of motor drive: Date:	n/a

Figure III.8: Résultats contrôle de fonctionnement de changeur de prise hors charge.

Les réglages de changeur de prise hors charge du transformateur de puissance 400/22kv sont impeccables.

III.6.9. Contrôle de désaéragé:

Bien que le processus de désaéragé soit effectué à la fin du montage, le désaéragé seul doit être contrôlé. Il est effectué de sorte que les bouchons ou robinets sur les points de purge soient ouverts et que l'air éventuel soit laissé s'échapper. Une purge répétée des bushings de condensateur est dans la plupart des cas sans importance, alors que, dans d'autres cas, les bushings doivent être purgés obligatoirement.

III.6.9.1. Contrôle de désaéragé du transformateur de puissance 400/22kv central cycle combinée AIN ARNET-SETIF:

.1 Visual inspection - <i>Contrôle visuel</i> (bushings, tank, radiators, cooling equipment, accessories)	OK
.2 Valves and lids correct position check - <i>Contrôle de la position correcte des soupapes et couvercles</i>	OK
.3 Oil levels - <i>Niveaux d'huile</i>	OK
.4 Transformer de-airation - <i>Purge du transformateur</i>	OK
.5 Dehydrating breather (silicagel) - <i>Déhumidificateur de l'air (silicagel)</i>	OK
.6 Tank earthing - <i>Mise à la terre de la cuve</i>	OK
.7 Neutral point earthing - <i>Mise à la terre du neutro</i>	OK
.8 Earthing of stabilizing winding - <i>Mise à la terre de l'enroulement de stabilisation</i>	n/a
.9 Equipment earthing - <i>Mise à la terre de l'équipement</i>	OK
11 All other transformer protections (differential, over current,...) were tested by: <i>Toutes les autres protections du transf. (différentielle, surintensité, ..) ont été contrôlées par</i>	not Ready

Figure III.9: Résultats contrôle de désaéragé.

Les paramètres de désaéragé du transformateur sont impeccables.

III.6.10. Mise en service sous tension:

Même si tous les contrôles susmentionnés étaient effectués d'une manière satisfaisante, la première mise sous tension devrait être réalisée avec le plus d'attention possible.

III.6.10.1. Contrôle d'autres protections dans l'appareillage de connexion:

Outre l'équipement de protection faisant partie intégrante du transformateur lui-même, le transformateur est généralement, en tant que partie du système, assisté par la protection contre la surintensité, la protection différentielle, la protection à distance et quelques autres protections envisagées comme faisant partie de l'appareillage de connexion. Préalablement à la mise en service sous tension d'un transformateur, un spécialiste pour la protection doit vérifier le fonctionnement correct de la protection du déclenchement de disjoncteur.

Avant la première mise sous tension, ces protections seront réglées à la plage de courants minimale possible et à la temporisation la plus courte. Le fonctionnement correct de ces protections est noté dans le compte-rendu d'essai sur le site.

Le bon fonctionnement de toutes les protections est la condition préalable à la mise en service sous tension du transformateur.

III.6.10.2.Procédure de la première mise en service sous tension:

Lorsque tous les contrôles susmentionnés sont accomplis et notés dans le rapport d'essai sur le site, la mise en service sous tension elle-même peut démarrer. S'il y a la possibilité, la première mise en service sous tension à vide sera effectuée en augmentant la tension lentement jusqu'à la tension nominale.

Pour des précautions de sécurité la présence d'aucun ouvrier ne sera autorisée aux abords du transformateur pendant cette opération.

Après que les conditions transitoires ont disparu, c'est-à-dire que le transformateur est resté en service, il est permis de venir plus près et vérifier son fonctionnement en écoutant pendant et hors la marche du changeur de prises en charge. Si aucun signe anormal n'est repéré pendant une heure environ, il est autorisé à continuer le chargement ainsi que l'exploitation permanente. Le fonctionnement correct à vide du transformateur doit être noté dans le rapport d'essai sur le site [13].

III.7.Conclusion:

Dans ce chapitre on a découvert les différents défauts qui peuvent infecter un transformateur de puissance et les différentes étapes de mise en service de ces derniers d'une façon générale ainsi que les outils utilisés pour un bon diagnostic pour notre transformateur. Et après avoir appliqué toutes ces procédures sur le transformateur qui nous intéresse dans ce mémoire "transformateur de puissance 22/400kv.on peut conclure que tous les tests effectués sur l'alimentation du transformateur sont conformes aux spécifications du fabricant et sont en mesure de répondre aux besoins du central cycle combinée 1200kw AIN ARNET-SETIF" et on pourra donc entamer notre plan de protection qu'on va voir dans le prochain chapitre.

Chapitre 4

**Protection électrique et protection technologique
du transformateur de puissance**

Chapitre IV: Protection électrique et protection technologique du transformateur de puissance:

IV.1.Introduction:

Un transformateur de puissance haute tension est un dispositif important, c'est l'élément essentiel d'un réseau, tant du point de vue de sa fonction que de son prix élevé. De ce fait, sa disponibilité est très importante pour éviter des pertes de production dues à des incidents électriques (Les surcharges, les surtensions et les courts-circuits).

La fiabilité du transformateur pourra être accrue par un système de contrôle et de commande efficace (protections et système de supervision).

Contrairement à un défaut sur une ligne qui peut être réparée sur place, alors qu'un défaut sur un transformateur peut nécessiter une intervention en usine d'où la nécessité d'un plan de protections qu'on va développer dans ce chapitre.

IV.2.Définition d'un plan de protection:

Concevoir un plan de protections c'est rechercher un compromis entre:

La sélectivité, la sensibilité, la rapidité, la fiabilité, la simplicité.

Sachant que la sûreté et la sécurité ne sont jamais négociables.

IV.3.Qualitétrôleduplande protection:

Le plan de protections du transformateur doit être fiable et rapide afin de déconnecter le transformateur le plus rapidement possible, dans les délais, pour limiter les conséquences.

La surveillance du transformateur de puissance peut être également utilisée pour détecter les conditions anormales pouvant entraîner le développement de défaut.

IV.4.Facteursàprendreenconsidérationpourlechoixduplan:

- La taille, c'est-à-dire la puissance.
- La tension.
- Le type de refroidissement du transformateur (sec, à l'huile, forcé).

IV.5. Différents incidents qui peuvent infecter un transformateur:

- Les courts circuits entre spires d'un même enroulement.
- Les courts circuits entre enroulements (ou entre phases).
- Défaut d'isolement entre enroulements et le circuit magnétique.
- Les courts circuits entre enroulements et la cuve.
- La surcharge.
- La surtension.

IV.5.1. Causes des incidents :

- Une perte d'isolement entre enroulements (on dit aussi entre phases) ou entre enroulement et noyau, enroulement et la cuve elle-même et entre spires.
- Un vieillissement du transformateur dû à un échauffement de longue durée.
- Une contamination de l'huile.
- Des surtensions transitoires dues à la foudre ou aux manœuvres.
- Des forces électrodynamiques sur les enroulements dues aux courants élevés de défauts externes ou aux courants d'enclenchement lorsque le transformateur est mis sous tension.
- Dommage sur le réservoir dû à une surpression.

IV.5.2. Conséquences des incidents:

- Pertes techniques et économiques (énergie non distribuée).
- Détérioration des équipements.
- La qualité de service n'est plus garantie (constance de la tension et de la fréquence, rupture de fourniture) [14].



Figure IV.1: Conséquence des incidents électriques internes.

IV.6. Protection électrique:

IV.6.1. Protection différentielle (87T):

La figure ci-contre représente les éléments de mesure pour la protection différentielle:



Figure IV.2: Eléments de mesure pour la protection différentielle.

IV.6.1.1. Rôle de protection différentielle:

La protection différentielle protège le transformateur contre les court-circuits à l'intérieur de la cuve et les courts-circuits situés dans la zone limitée par les P₂ des transformateurs de courant (voir fig IV.3).

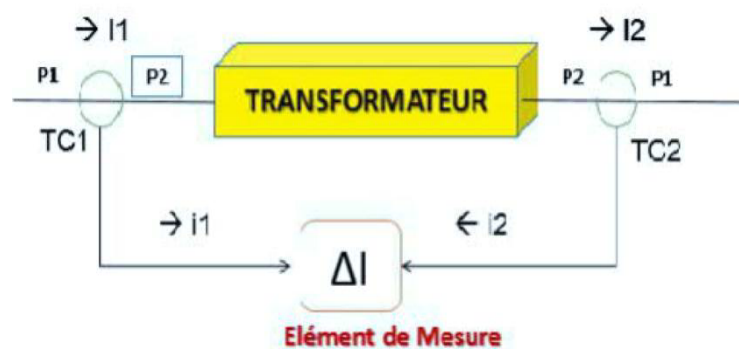


Figure IV.3. Rôle de protection différentielle.

IV.6.1.2.Principe de base:

La protection différentielle du transformateur compare phase à phase (même phase) le courant primaire et le courant secondaire du transformateur protégé le courant primaire I_A traverse le TC₁ de P₁ vers P₂ au secondaire de celui-ci on recueille I_1 qui passe de S₁ vers S₂ et traverse le relais 87 et revient vers le TC₁. Le courant I_B au secondaire du transformateur circule de P₂ vers P₁ du TC₂ qui généré à son secondaire un courant I_2 sortant de la borne S₁ et revenant par S₂ en passant à travers le relais 87.

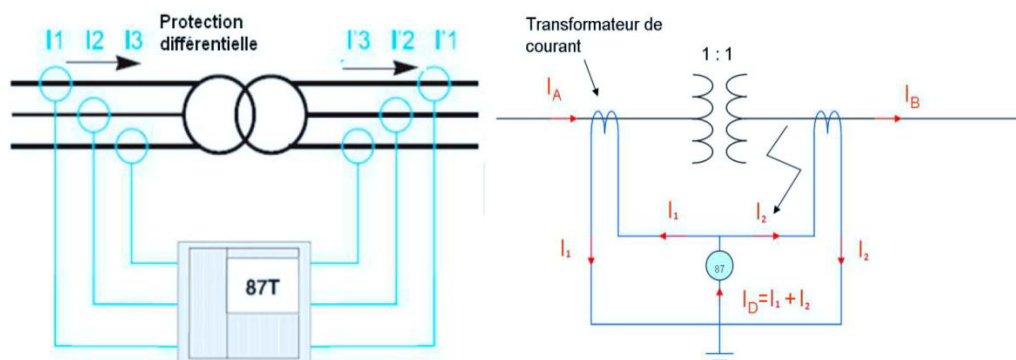


Figure IV.4: Principe de base de la protection différentielle.

On constate que le relais 87 est traversé par deux courants en opposition (différence des courant) d'où le nom de différentielle.

Cette protection différentielle est dite classique (elle est basée que sur la comparaison des courants) elle provoquera à chaque instant des déclenchements intempestifs à cause des problèmes suivants:

- Les rapports de transformation des transformateurs de courant sont différents car les tensions sont différentes.
- Le couplage du transformateur de puissance.
- L'indice horaire.
- L'imperfection - des transformateurs de courant (classe de précision).
- Le transformateur à vide (le courant rémanent).

IV.6.1.3. Déclanchement due au rapport de transformation des transformateurs de courant TC:

IV.6.1.3.1. Exemple:

Pour comprendre pourquoi on va donner cet exemple théorique:

Soit le transformateur de puissance de la central cycle combinée AIN ARNET-SETIF 22KV/400KV, de puissance 420 MVA, couplé en triangle-étoile et d'indice horaire (dYN11).

- a) Nous allons calculer les courants nominaux du transformateur et nous choisirons les transformateurs de courant qui alimenteront la protection différentielle.

D'après la relation $S_n = U_n \times I_n \times \sqrt{3}$ nous déduisons $I_n = S_n / U_n \times \sqrt{3}$ d'où:

$$I_1 = 420 \times 10^6 / 22 \times 10^3 \sqrt{3} = 11023 \text{ A} \quad \text{et} \quad I_2 = 420 \times 10^6 / 400 \times 10^3 \sqrt{3} = 607 \text{ A}.$$

- b) Choix des transformateurs de courant:

Puisque le transformateur peut être utilisé en surcharge pendant une durée bien déterminée, on prendra des TC de rapports: 12000A/ 1A ou 5A et 700A/1A ou 5A le courant secondaire des TC dépendra de la charge c'est - à -dire des relais.

- c) Après avoir choisi les rapports des TC nous allons calculer les courants nominaux ramenés aux secondaires des TC:

$$I_1 = 11023 / 12000 = 0,92 \text{ A} \quad \text{et} \quad I_2 = 607 / 700 = 0,86 \text{ A}.$$

Nous constatons qu'il y a une différence $I_d = I_1 - I_2$ dont la valeur absolue sera amplifiée en cas de défaut externes à la zone limitée par les TC et provoquera le fonctionnement de la protection différentielle.

IV.6.1.3.2. Remède (équilibre d'amplitude):

Pour y remédier nous utiliserons des TC de recalages qui nous permettent de rendre les courants entrant dans le relais sensiblement égaux, ce principe est appelé équilibrage d'amplitude. Pour cela nous devons déterminer le rapport de ces TC de recalage.

m = le courant ramené au secondaire divisé par le courant secondaire des TC de phases (principaux).

$$m_1 = 0,92/1 = 0,92 \text{ et } m_2 = 0,86/1 = 0,86.$$

Exemple de TC de recalage sur le schéma suivant:

L'équilibrage d'amplitude nous a permis d'avoir des courants sensiblement égaux, mais cela n'exclut pas le fonctionnement intempestif de la protection à cause du couplage du transformateur de puissance.

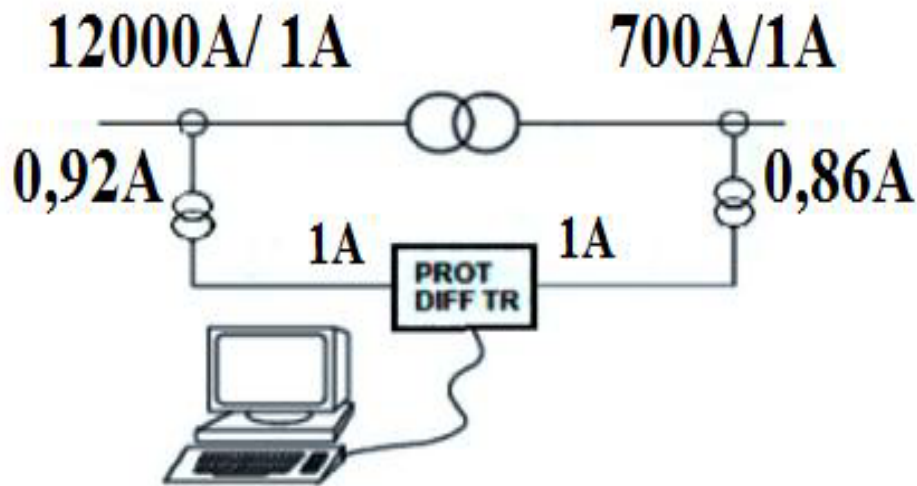


Figure IV.5: Schéma d'un TC de recalage.

IV.6.1.4. Déclenchement dû au couplage du transformateur:

Prenons l'exemple donné dans le schéma de la Figure suivante, Supposant que la phase 3 du réseau est à la terre (court-circuit monophasé) le courant augmente sur cette phase. Le courant de court-circuit est généré par deux phases (3 et 1) du primaire du transformateur.

Aux secondaires des transformateurs de courant, les courants augmentent sur les phases 1 et 3, alors qu'au secondaire du transformateur de puissance, il n'augmente que sur la phase 3 d'où fonctionnement du relais (les phases une du primaire et du secondaire sont saines).

On dit aussi "fonctionnement intempestif" (sans incident) du relais.

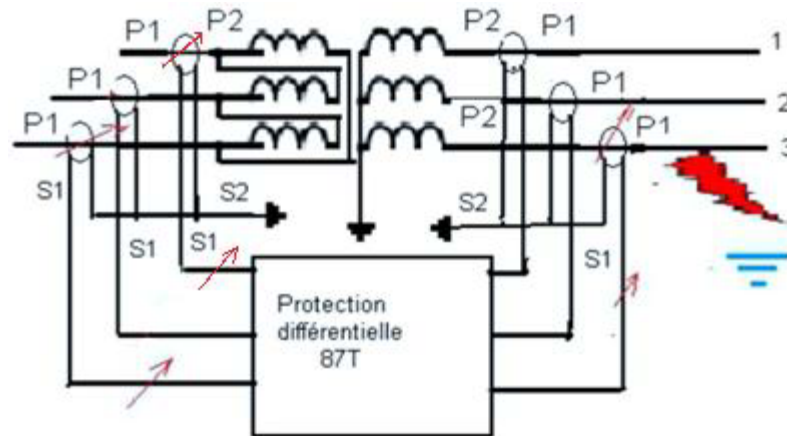


Figure IV.6: Couplage phase 3 relié à la terre.

IV.6.1.4.1.Remède:

Pour résoudre le problème du couplage nous utiliserons le couplage des transformateurs de recalage qui seront couplés en étoile- triangle si le transformateur de puissance était couplé en triangle - étoile Les transformateurs de recalage seront couplés le contraire du transformateur de puissance (*voir Figure IV.7*).

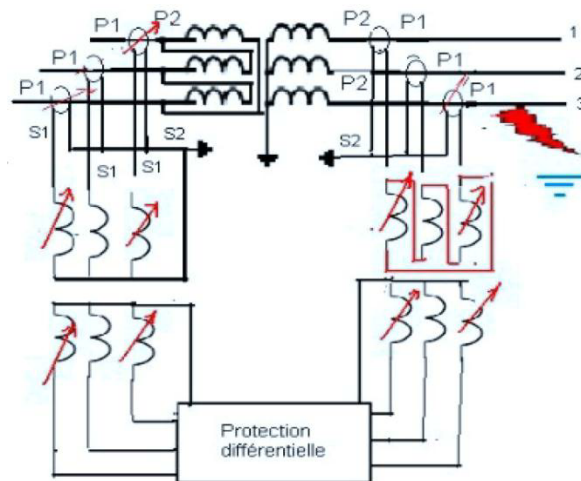


Figure IV.7: Couplage transformateur de recalage.

Exemple:

- Le transformateur est couplé étoile-triangle, les TC de recalage seront couplé triangle-étoile.
- Le transformateur est couplé étoile-étoile, les TC de recalage seront couplé triangle-triangle.

IV.6.1.5. Fonctionnement intempestif dû à l'indice horaire:

Prenons l'exemple du transformateur qui a pour indice d'YN11 (voir Figure IV.8) et nous prendrons comme référence le primaire du transformateur. Cet indice ramené aux secondaires des transformateurs de courant nous donne:

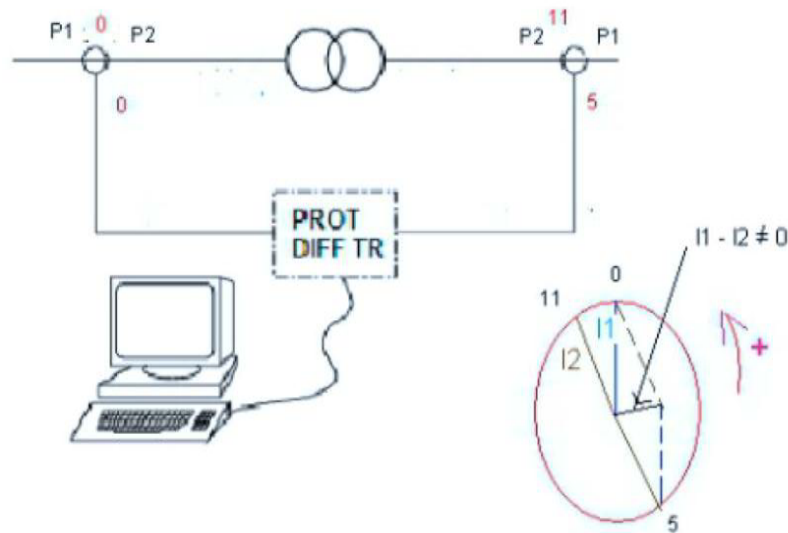


Figure IV.8: Fonctionnement intempestif dû à l'indice horaire d'YN11.

- Coté primaire du transformateur indice 0.
- Coté secondaire du transformateur l'indice 5, parce que les transformateurs de courant sont inversés (P2-P1).

Donc la différence vectorielle des courants est différente de 0, le relais fonctionnera sans incidents.

IV.6.1.5.1. Remède:

Pour résoudre ce problème d'indice horaire nous allons faire l'équilibrage de phases qui consiste à ramener les courants I_1 et I_2 en opposition de phase.

Pour réaliser cette opération nous utiliserons deux déphaseurs de 120° et 180° de chaque côté du transformateur comme indiqué sur (voir la Figure IV.9).

Ces déphaseurs nous offre la possibilité de déphaser les deux courants ou de les maintenir en phase.

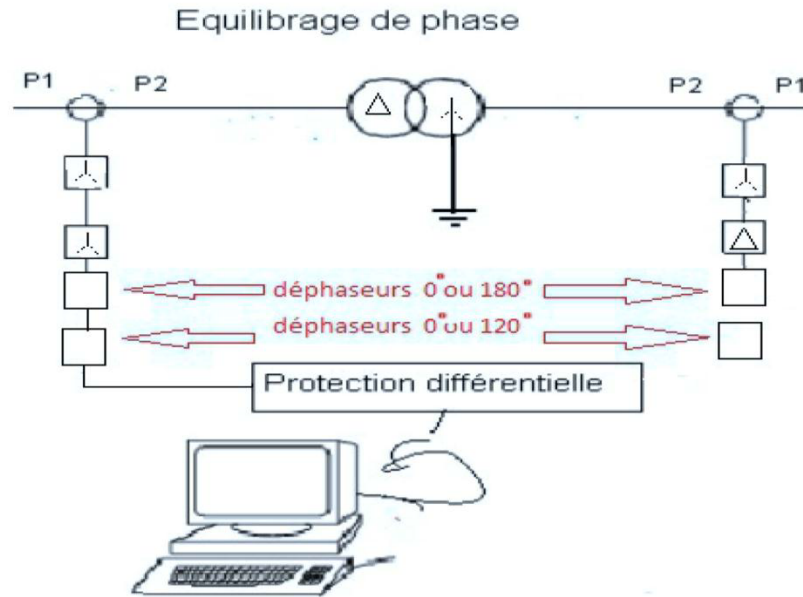


Figure IV.9: *Equilibrage de phase pour un transformateur couplé en triangle-étoile d'indice horaire (dYn11).*

Exemple:

Pour faire l'équilibrage de phases, prenons l'exemple du transformateur couplé en triangle-étoile d'indice horaire (dYn11)

Pour faciliter l'équilibrage nous commencerons toujours du côté où les secondaires des transformateurs de courants principaux et les transformateurs de recalage sont couplés en étoile.

Au primaire du transformateur de puissance nous avons l'indice zéro (0), ramené au secondaires des TC principaux nous aurons l'indice zéro (0) (pour rappel le courant primaire TC et son courant secondaire sont en phase).

Comme le couplage étoile ne crée pas de déphasage nous obtenons aux secondaires des TC de recalage zéro (0). Nous allons mettre les deux déphaseurs sur la position zéro (0) et nous aurons à l'entrée du relais zéro coté primaire, donc il faut avoir à l'autre entrée du relais (coté secondaire) l'opposé de zéro c'est-à-dire six (6).

Au secondaire du transformateur de puissance nous avons l'indice onze (11), au secondaire des TC principaux nous aurons l'indice cinq (5) car les TC sont inversés par rapport à ceux du primaire.

Les secondaires des TC de recalages coté secondaire du transformateur de puissance sont couplés en triangle ils créent une avance de 30° dans le sens trigonométrique et nous donnent l'indice quatre (4), pour arriver à l'indice six (6) nous allons déphaser de 180° (indice 10) et puis de 120° (indice 6) qui est l'opposé de zéro (0) donc nos deux courants sont en opposition de phase.

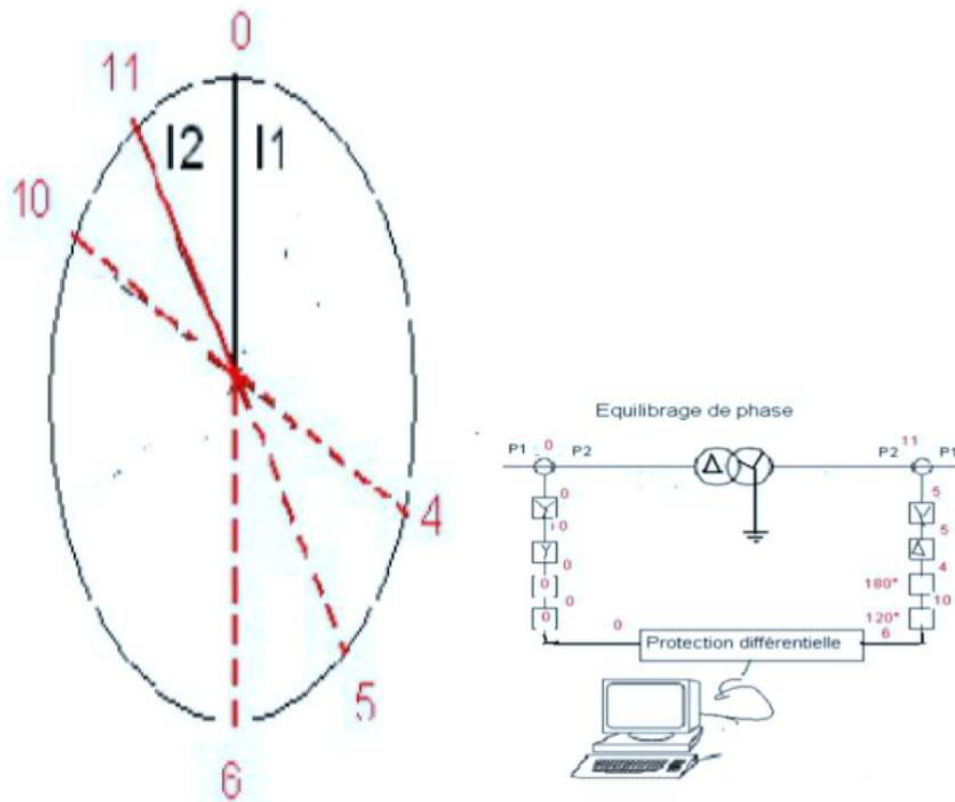


Figure IV.10: Courants I_1 et I_2 équilibrés.

IV.6.1.6. Fonctionnement intempestif dû à l'imperfection des TC:

Supposant que les TC utilisés dans notre exemple sont de classe 5P et de rapports: 12000A/1A. 700A/1A Aux courants nominaux des TC (primaires des TC) nous aurons aux secondaires de ces derniers:

$$1 \pm 5 \times 1/100$$

$$1 - 0,05 = I_s = 1 + 0,05$$

Le TC coté primaire nous délivre à son secondaire un courant $I_1 = 1,025A$. Le TC coté secondaire nous donne à son secondaire un courant $I_2 = 0,098A$.

Dans les deux cas nous sommes dans la tolérance, mais nous aurons un courant différentiel $I_d = 1,025 - 0,98 = 0,045A$.

Supposant que le courant différentiel de réglage (I_{dr}) est de 0,2 A, le relais ne fonctionnera pas mais pour un court-circuit externe la différence des est proportionnelle au courant de défaut et la protection peut fonctionner intempestivement.

Si le courant de court-circuit est égal à dix fois le courant des TC nous aurions un courant différentiel de 0,45A et le relais fonctionnera alors que le défaut est sur le réseau.

IV.6.1.6.1. Remède:

Pour éviter ce déclenchement du à la classe de précision nous utiliserons une protection différentielle dite à: "**pourcentage**", "**retenue**" ou "**basse impédance**".

Pour résoudre le problème de l'imperfection des transformateurs de courant nous prendrons deux transformateurs intermédiaires dont l'un (TC différentielle) sera traversé par la différence des courants ($\Delta I = |I_1 - I_2|$) et l'autre (TC sommateur) sera parcouru par la moyenne de ces deux courants ($I = (I_1 + I_2)/2$).

Faisons le rapport ΔI sur I

$\Delta I/I = ((I_1 - I_2)/(I_1 + I_2))/2 = p$ ce rapport est inférieur à 1, car la différence de deux nombres qui se suivent divisée par leur moyenne est toujours inférieur à l'unité donc c'est un pourcentage d'où le nom de «différentielle à pourcentage».

Donc on peut écrire $\Delta I = p \times I$, c'est l'équation d'une droite de pente p .

Nous allons convertir ΔI et I en circuit électrique en utilisant deux transformateurs de courant:

- Un TC différentiel dont le primaire sera traversé par deux courants en opposition de phases (I_1 et I_2), au secondaire de celui-ci nous recueillerons la différence entre I_1 et I_2 .
- Un TC sommateur dont le primaire sera traversé par $I = (I_1 + I_2)/2$, nous obtiendrons à son secondaire I .

Faisons le rapport $\Delta I/I = p$ (pente) d'où $\Delta I = pI$ c'est l'équation d'une droite.

Le fonctionnement de la protection dépendra de deux paramètres:

- La différence des courants ΔI .
- La pente P .

La caractéristique de fonctionnement de la protection différentielle à pourcentage, à retenue ou à basse impédance est représentée par la figure ci-dessous:

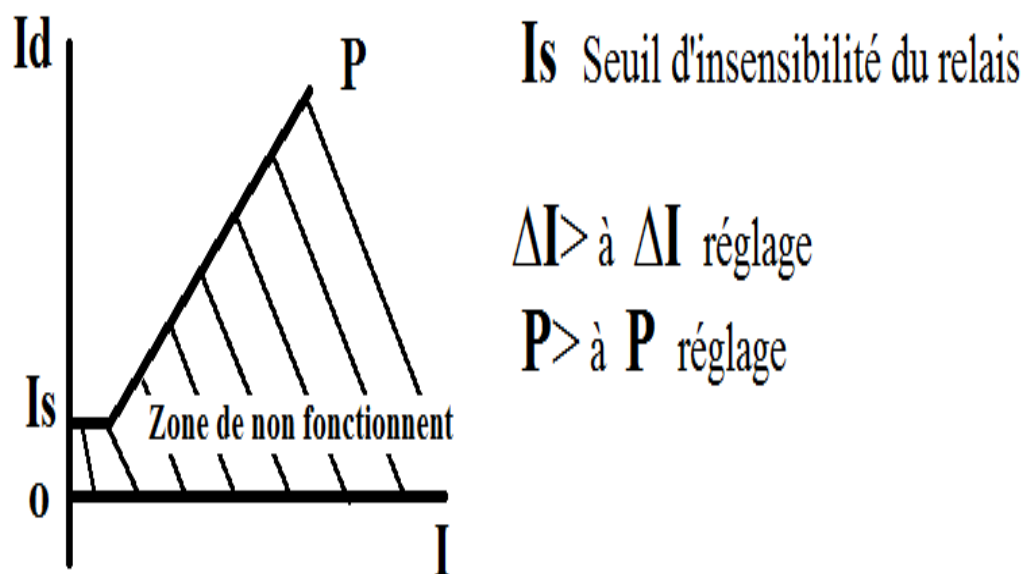


Figure IV.11: Seuil d'insensibilité du relais.

IV.6.1.7. Fonctionnement intempestif due au transformateur à vide:

À la sortie du transformateur le courant $I_2=0$ et à l'entrée (primaire) $I_1=I_0$.

Donc:

$$I_1 - I_2 = \Delta I$$

La solution est de régler un $\Delta I > I_0$ (I_0 courant à vide)[15].

IV.6.1.8. Caractéristique typique de retenue et de fonctionnement d'un relais différentiel:

La figure ci-contre représente la Caractéristique d'un relais différentiel:

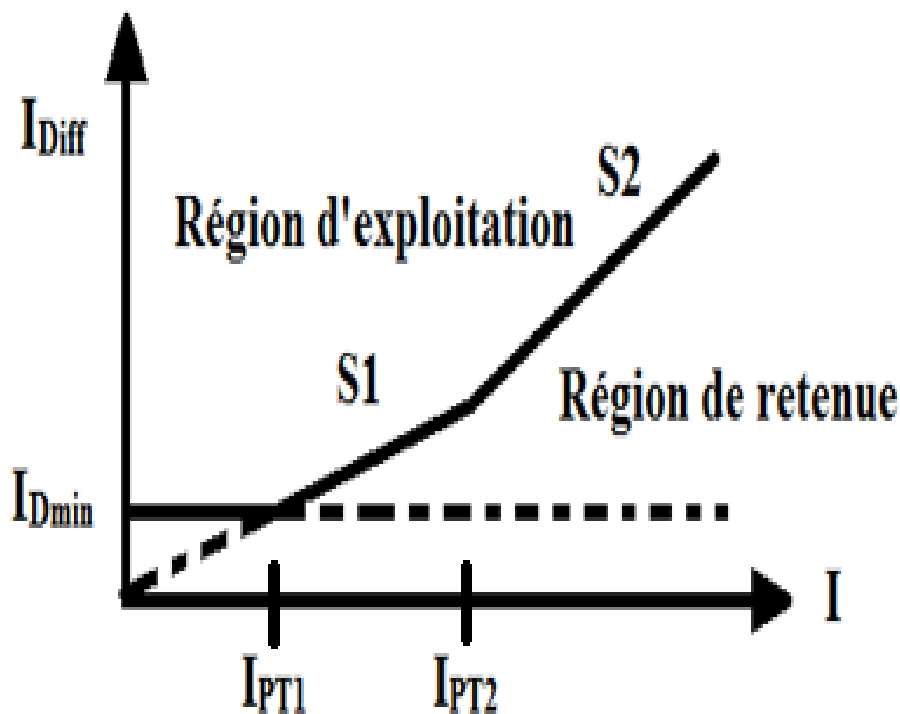


Figure IV.12: Caractéristique typique de retenue et de fonctionnement d'un relais différentiel.

I : Courant total à travers le système différentiel, mesure de la charge du système.

I_{Diff} : Pour une valeur donnée de I_{TOT} , il s'agit du courant de retenue appliqué par le relais ou en variante, le courant différentiel minimum requis pour faire fonctionner le relais.

Les paramètres à prendre en compte sont I_{Dmin} , I_{PT1} , I_{PT2} , $S1$ et $S2$. En outre, la deuxième harmonique (H2) et la cinquième harmonique (H5) peuvent être utilisées lorsque la technique de retenue harmonique. Ce sont des représentations génériques des paramètres. Ils différeront d'un fabricant à l'autre. Où il y a deux droites données avec une pente de $S1 = 0.25$ et une pente de $S2 = 0.6$, qui va de I_{rt0} à I_{rt1} et de I_{rt1} à I_{rt2} , respectivement, et une ligne horizontale définissant le courant de démarrage minimum du relais, $I_{Dmin} = 0.3A$. La région de fonctionnement du relais est située au-dessus de la pente, et la région de retenue est en dessous de la pente. Le modèle de pourcentage à double pente ajoute une zone de restriction et évite les dysfonctionnements causés par la saturation. Par rapport à un système à pourcentage de pente unique, la protection différentielle de courant à deux pentes peut être considérée comme une meilleure adaptation de la courbe des principes opérationnels du transformateur [16].

IV.6.2. Protection masse cuve (50N):

IV.6.2.1. Rôle de la protection masse cuve:

Elle protège le personnel et le transformateur contre les défauts d'isolement entre les enroulements, le noyau et la cuve.

IV.6.2.2. Constitution de la protection masse cuve:

Le dispositif de détection ne comporte qu'un relais à maximum d'intensité alimenté par le secondaire d'un transformateur d'intensité. Afin de maintenir une jonction visible et continue de la cuve du transformateur à la masse, le T.C. utilisé est du type Tore extérieur noyé dans un isolant.



Figure IV.13: Protection masse cuve.

IV.6.2.3. Défauts surveillés par la protection masse cuve:

La protection masse cuve protège le transformateur et la personnel contre les défauts suivants:

- Défauts d'isolement entre enroulements (coté primaire) et la cuve.
- Défauts d'isollements entre enroulements (coté secondaire) et la cuve.
- Défauts de contournement ou claquage d'une borne etc...
- Cette protection détecte uniquement l'écoulement d'un courant entre la cuve du transformateur et le circuit de terre.

IV.6.2.4. Principe de détection:

Le fonctionnement de cette protection est conditionné par la bonne isolation de la cuve du transformateur par rapport à la terre (5Ω).

La cuve du transformateur est isolée de la terre du poste par les galets, nous établissons la connexion de la cuve à la terre de manière à canaliser un éventuel courant de défaut (contournement des bornes du transformateur amorçage des éclateurs, défaut de masse) qui traversera le transformateur de courant inséré dans la connexion de la mise à la terre et alimentera le relais ampère métrique (50N).

En cas de défaut d'isolement le courant s'écoule de la cuve vers la terre en traversant le TC.

Si le courant de défaut dépasse le seuil de réglage, le relais donnera un ordre de déclenchement aux disjoncteurs d'encadrement.

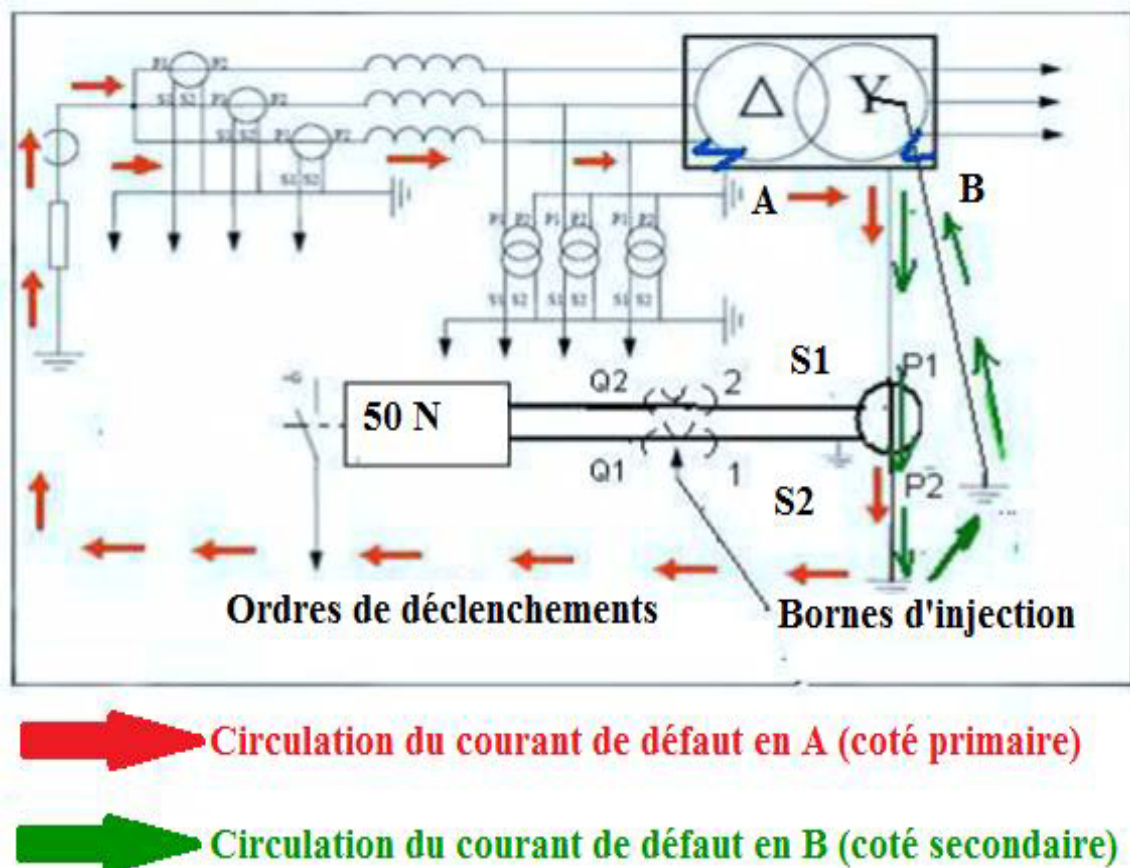


Figure IV.14: Détection de courant de défaut dans la protection masse cuve.

IV.6.3. Protection contre les surintensités seuil haut (violent) 50:

IV.6.3.1. Constitution de la protection :

Elle est constituée de trois transformateurs d'intensité et d'un relais à maximum d'intensité surveillant les trois courants de phases connu sous le nom de 3I pour certains constructeurs.

Dans le cas d'un relais numérique on active la fonction surintensité (50).

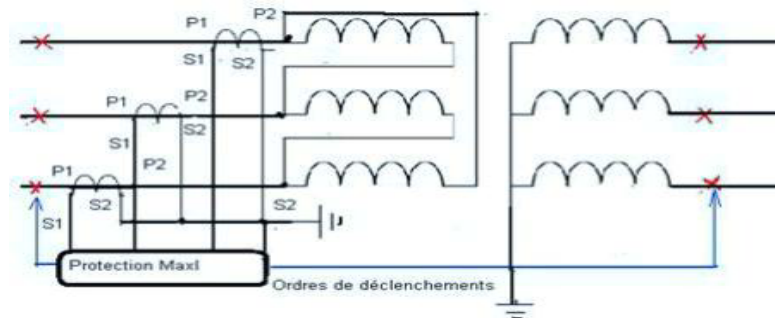


Figure IV.15: Constitution de la protection contre les surintensités seuil haut (violent) 50.

IV.6.3.2. Rôle de la protection:

Cette protection vient en secours de la protection différentielle (87T) et du relais Buchholz.

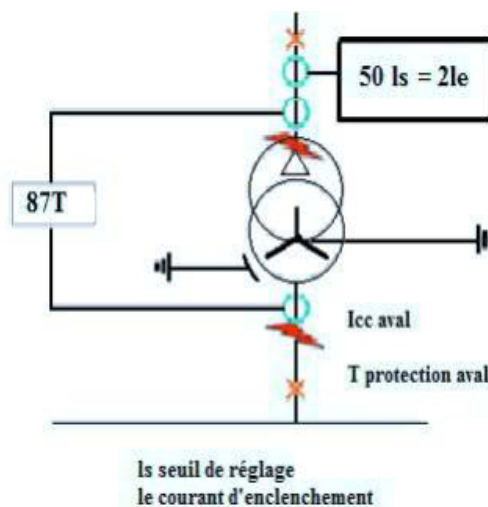


Figure IV.16: Protection contre les surintensités seuil haut (violent) 50.

IV.6.3.3.Principe de fonctionnement:

La protection (fonction) à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le transformateur (coté primaire) à une valeur limite. Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit a eu lieu.

Elle commande alors l'ouverture du réseau électrique, on parle de «déclenchement».

La protection peut être symbolisée par : $I >>$. (Connu aussi sous le nom 3I).

Elle porte les codes ANSI 50 (instantané).

Pour les relais numérique, les signaux (les courants) analogiques de la fonction sont échantillonnés 12 fois par cycle.

L'amplitude de l'harmonique fondamentale pour chaque phase est calculée par l'analyse de Fourier. A chaque échantillon, la valeur d'amplitude calculée est contrôlée pour déterminer si la valeur de réglage a été dépassée.

Si au cours de 24 échantillons consécutifs (2 cycles), les valeurs sont supérieures au réglage, la fonction est démarrée.

De même, la temporisation correspondante est démarrée et la sortie d'alarme dans la matrice de déclenchement est active.

Après l'expiration de la temporisation, si la fonction est toujours active, le signal de déclenchement dans la matrice de déclenchement est réglé. Si au cours de 36 échantillons consécutifs (3 cycles), les conditions d'initiation ne sont plus remplies, la sortie d'alarme et de déclenchement dans la matrice de déclenchement est réinitialisée [17].

IV.6.4.Protection Neutre transformateur:

Les photos ci-dessous nous montre les conséquences de l'oubli de la protection neutre transformateur:

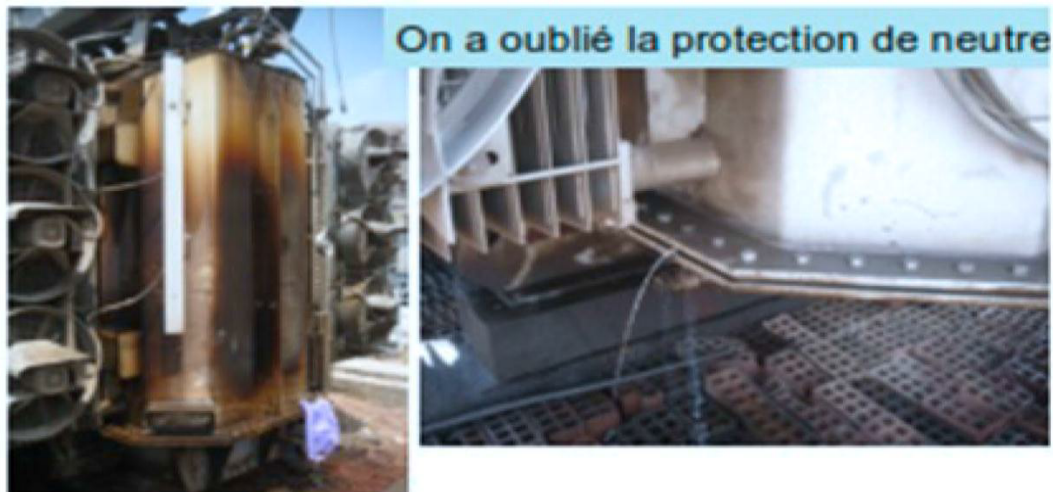


Figure IV.17: Protection neutre transformateur.

IV.6.4.1. Neutre exploité directement à la terre:

IV.6.4.1.1. Constitution:

Elle est constituée d'un transformateur d'intensité inséré dans le neutre du transformateur de puissance. Et d'un relais ampère métrique.

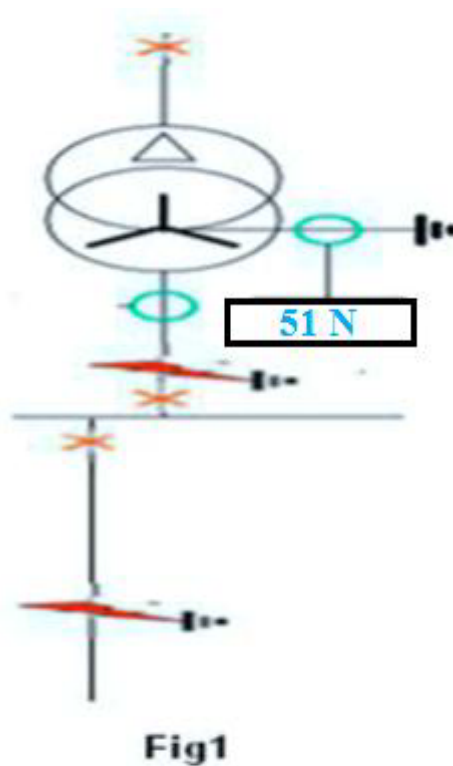


Figure IV.18: Neutre exploité directement à la terre.

IV.6.4.1.2.Rôle de la protection:

La protection ou la fonction 51N protège le transformateur contre les défauts à la terre en amont des protections lignes ou départs et porte secours aux protections lignes et départs en cas d'un mauvais fonctionnement de celles-ci ou une défaillance des disjoncteurs.

IV.6.4.1.3.Principe de protection:

Le transformateur, avec neutre mis à la terre, est un générateur de courant homopolaire pour l'ensemble du réseau, à ce titre une protection ampère métrique placée dans le neutre sera sollicitée sur défaut à la terre en amont des protections lignes ou départs et pourra servir en secours des protections du réseau.

IV.6.4.2.Neutre exploité à la terre à travers une résistance:

Le Neutre exploité à la terre à travers une résistance (*Fig IV.19*), utilise un relais voltométrique à maximum de tension résiduelle 59N.

Le relais a le même rôle que le relais à maximum de courant car le défaut à la terre referme la boucle phase–terre par l'intermédiaire de la résistance insérée dans le neutre.

En appliquant la loi d'ohm nous recueillerons une tension que nous ramènerons en basse tension par un TT.

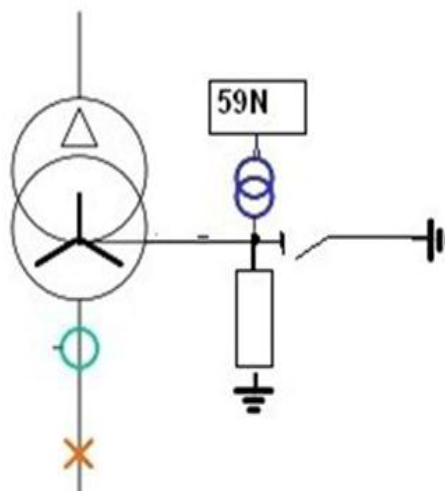


Figure IV.19: Neutre exploité à la terre à travers une résistance.

IV.6.5. Protection contre le maximum de flux (surexcitation F24):

L'augmentation de l'induction de fonctionnement du transformateur provoquée par une surtension (exemple une surexcitation, ou réseau capacitif...) et/ou une baisse de fréquence entraîne une augmentation du courant magnétisant qui peut entraîner des échauffements préjudiciables.

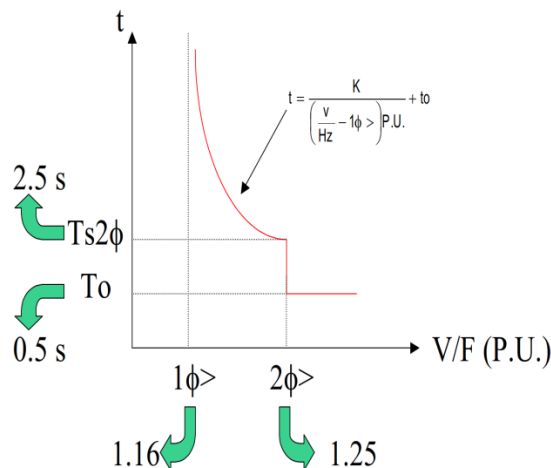
Lorsque le noyau feuilleté d'un transformateur de puissance alternatif est soumis à une densité de flux magnétiques supérieure à ses limites assignées, les flux parasites circuleront dans les composants non feuilletés qui ne sont pas conçus pour transporter ces flux et ils généreront des courants de Foucault. Ces courants de Foucault peuvent provoquer un échauffement excessif et endommager l'isolement.

IV.6.5.1. Rôle de protection:

Cette protection ou cette fonction surveille l'induction (ou flux) de fonctionnement du transformateur.

IV.6.5.2. Principe de base:

La figure ci-contre représente le principe de base de protection surexcitation F24:



Seuil 1 = $1\phi >$ réglable de 1 à 2 (ex: 1.16 P.U.).

Seuil 2 = $2\phi >$ réglable de 1 à 2 (ex: 1.25 P.U.).

$t_{2\phi}$ = temporisation d'alarme (ex: 2.5 s).

K = coefficient «TMS» de la protection.

Figure IV.20 : Principe de base de protection surexcitation F24.

L'induction dans un transformateur est de la forme:

$$\beta = K(E/F)$$

Où:

- ✓ K: constante pour un transformateur donné (prenant en compte un coefficient, le nombre de tours, la section.
- ✓ E: tension appliquée (en référence il est pris U_n).
- ✓ F: fréquence de la tension appliquée (en référence il est pris F_n). On fait:

Le rapport V / F qui est égal à U_n / F_n et s'exprime généralement en «P.U.»(Pourcent unitaire).

Le constructeur du transformateur définit aussi les temps de surexcitation admissible en fonction de la valeur U / F en donnant une courbe pour l'état froid du transformateur et une courbe pour le transformateur en charge.

La plage minimum de fonctionnement d'un transformateur est de $U_n \pm 10\%$ et $F_n \pm 5\%$, cela signifie que la surexcitation permanente admissible, avec ces valeurs, est de:

$$(U_n + 10\%) / (F_n - 5\%) = 1.16 \text{ P.U.}$$

Il n'est pas possible de préciser à priori d'autres points ceux-ci dépendant de:

- ✓ β : induction nominale de 1.4 à 1.9 T (tôles au silicium, pour les grandeurs nominales U_n et F_n le réglage de la protection suivra la courbe machine (sécurité minimum de 5%) en pleine charge communiquée par le constructeur et les courbes à temps dépendant seront préférées.

Le réglage de la protection suivra la courbe machine (sécurité minimum de 5%) en pleine charge communiquée par le constructeur et les courbes à temps dépendant seront préférées [17].

IV.6.5.3.Principe de fonctionnement:

La protection de maximum de flux est un système monophasé. Le signal de tension fournie est échantillonné 12 fois par cycle. La valeur et la fréquence du signal pour chaque échantillon sont déterminées en utilisant la transformation de Fourier, puis la valeur V/f est calculée. Cette valeur est ensuite comparée à la valeur nominale V [20].

IV.6.6. Protection de défaillance disjoncteur 50 BF (PDD):

La figure ci-contre représente le principe de la Protection de défaillance disjoncteur 50BF (PDD):

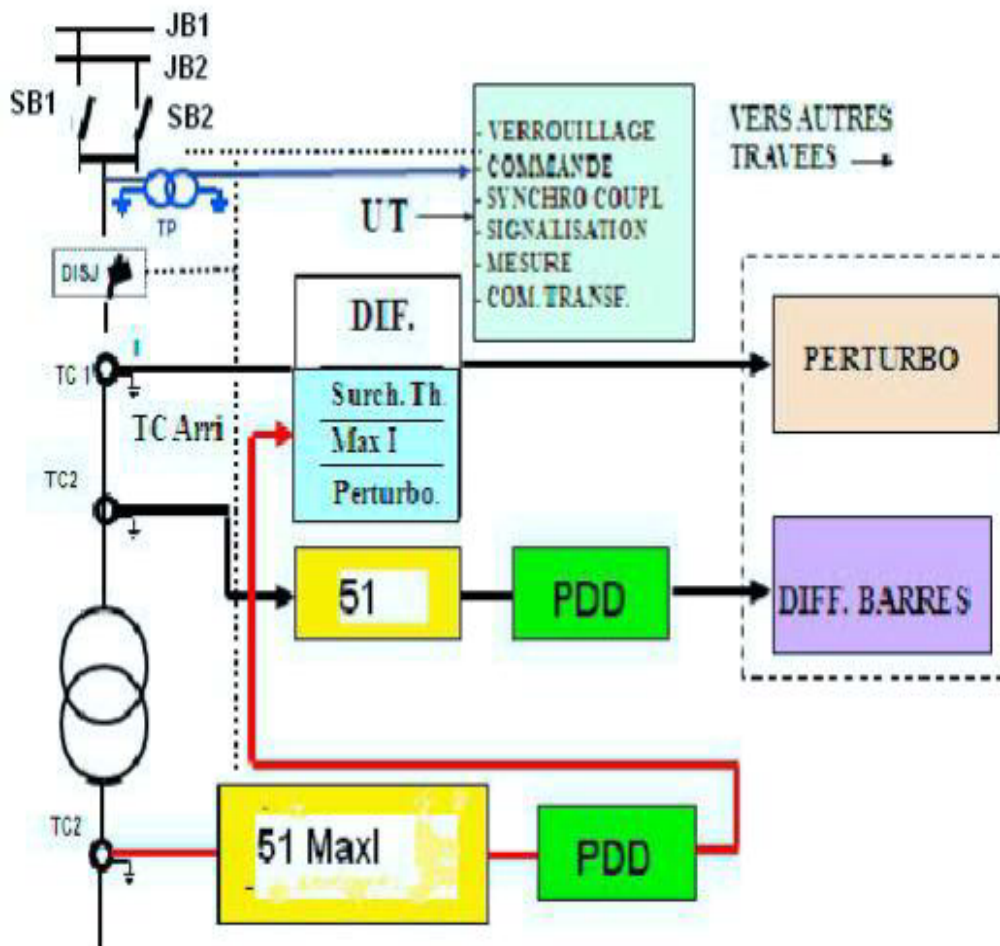


Figure IV.21: Protection de défaillance disjoncteur 50BF (PDD).

IV.6.6.1. Rôle de la protection ou fonction défaillance disjoncteur:

La fonction de protection contre les défaillances du disjoncteur assure en réserve le déclenchement rapide des disjoncteurs adjacents. Le fonctionnement de la protection contre les défaillances du disjoncteur peut être basé sur le courant, sur des contacts ou une combinaison des deux principes. Un contrôle du courant avec un temps de retombée extrêmement court est utilisé comme critère de protection pour garantir une sécurité élevée contre les fonctionnements intempestifs.

IV.6.6.2.Actions de la protection défaillance disjoncteur:

- Si la protection défaillance disjoncteur se situe au secondaire d'un transformateur abaisseur elle donnera un ordre de déclenchement du disjoncteur primaire.
- Si la protection défaillance disjoncteur se situe au primaire du transformateur Cette protection fonctionne en cas de refus d'ouverture du disjoncteur de la travée. Son démarrage est effectué par l'ordre de déclenchement des protections de lignes A l'échéance d'une temporisation de 0,3 seconde, si un critère de courant confirme la position fermée du disjoncteur, un ordre de déclenchement est élaboré et entraîne les ouvertures du couplage et de tous les départs aiguillés sur la même barre que le départ en défaut.

IV.6.7. Protection contre la surcharge:

IV.6.7.1.Protection contre la surcharge Ampèremétrique (51):

Cette protection s'avère nécessaire vis-à-vis des surcharges engendrées par les reports de charge qui sont à l'origine des fonctionnements en régime perturbé du réseau.

Elle comporte deux seuils de fonctionnement:

- Un seuil réglé à la valeur du courant maximale admissible, donnant une alarme, suivie d'un déclenchement après un temps de l'ordre de trois fois la constante de temps fournie par les constructeurs.
- Un seuil réglé au courant de surcharge provoquant un déclenchement après une temporisation de 10secondes.

IV.6.7.2.Protection de surcharge thermique (49T):

Conséquence d'une élévation de température causée par une surcharge :

Si la température d'un transformateur de puissance atteint des valeurs trop élevées, l'équipement peut être endommagé.

L'isolement du transformateur aura vieilli. En conséquence, le risque de défauts phase-phase ou phase-terre internes augmente.

Une température élevée dégradera la qualité de l'huile du transformateur.

IV.6.7.3. Rôle de la protection ou de la fonction sur charge thermique:

La protection contre les surcharge thermiques évalue continuellement la capacité thermique interne du transformateur/de l'alternateur (température). L'estimation est faite en suivant un modèle thermique de transformateur / alternateur avec deux constantes de temps, basé sur la mesure des courants. Seuils d'avertissement sont disponibles. Ceci permet d'agir au niveau du réseau avant que des températures dangereuses ne soient atteintes. Si la température continue à augmenter jusqu'à atteindre la valeur de déclenchement, la protection lance le déclenchement du transformateur [18].

IV.7. Protection technologique:

IV.7.1. Relais Buchholz (63):

La figure ci-contre représente le Relais Buchholz (63):

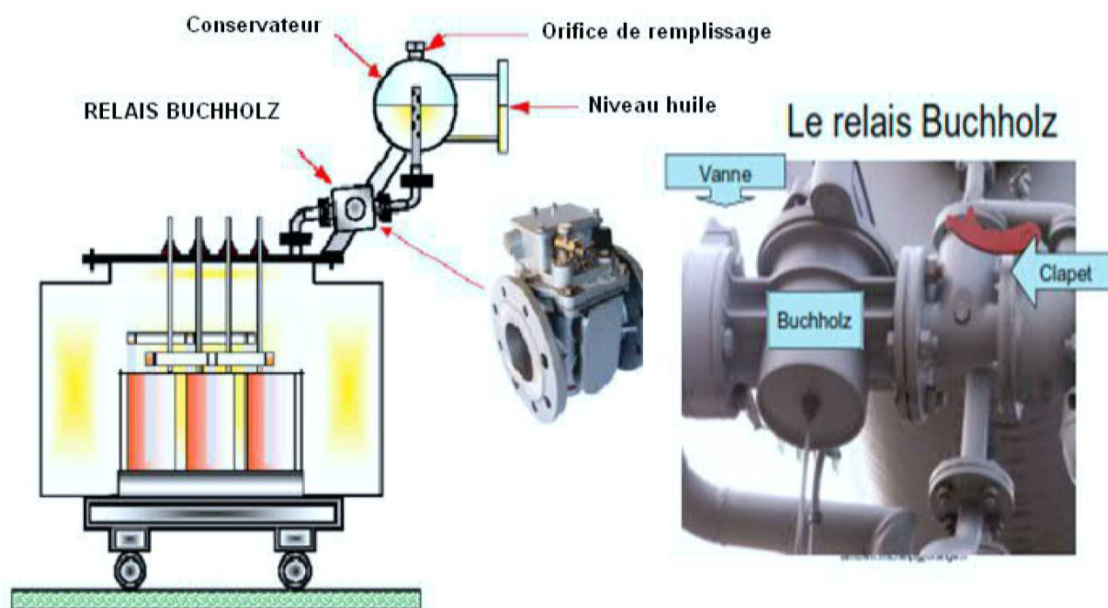


Figure IV.22: Protection par relais Buchholz.

IV.7.1.1. Rôle du relais Buchholz:

Le relais «Buchholz» protège le transformateur contre tout défaut d'isolement apparaissant à l'intérieur de la cuve.

IV.7.1.2.Principe de base:

La décomposition du diélectrique par l'arc électrique engendre des gaz chauds qui vont monter vers la surface de ce liquide.

Ce principe est utilisé dans un transformateur dont les enroulements sont immergés dans l'huile et possédant un conservateur. En cas de défaut, l'arc entraîne une surpression, puis une décomposition de l'huile, puis une émission d'huile et du gaz .qui vont monter vers le réservoir d'huile et actionne le relais Buchholz.

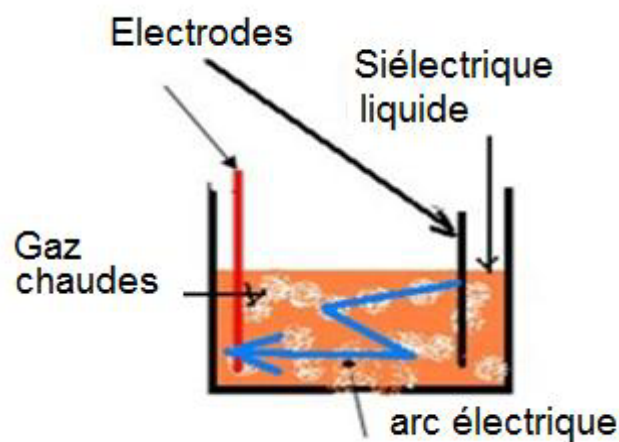


Figure IV.23:Principe d'un relais Buchholz.

IV.7.1.3.Constitution du relais:

Le relais possède un flotteur d'alarme et un flotteur de déclenchement sensible au flux élevé de gaz et au refoulement d'huile lors de défauts internes sévères.

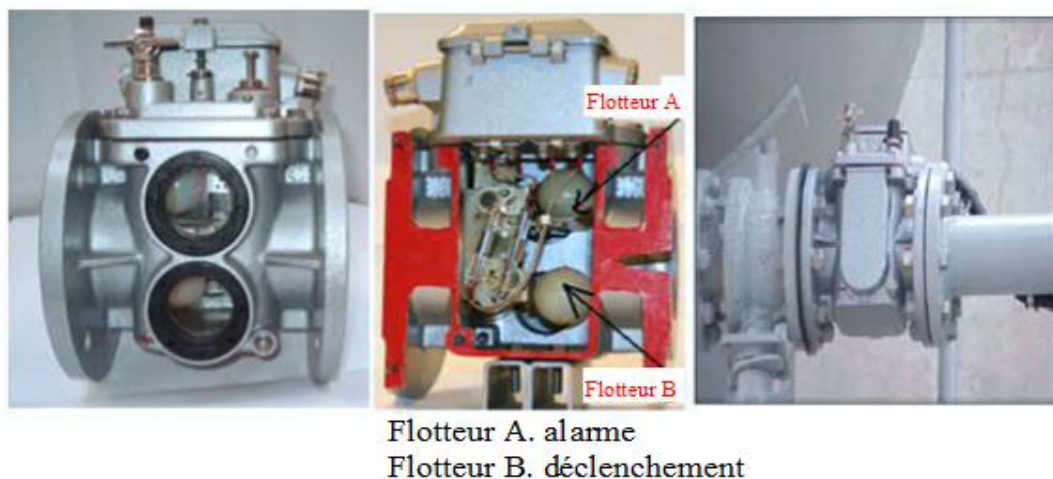


Figure IV.24: Système d'alarme et flotteur d'un relais Buchholz.

IV.7.1.4.Principe de fonctionnement:

Le schéma ci- contre illustre le fonctionnement d'un relais Buchholz.

Lorsqu'un défaut d'isolement se produit à l'intérieur de la cuve, l'huile se décompose et les gaz chauds vont monter vers le réservoir d'huile en créant un refoulement d'huile qui actionnera le flotteur B qui fermera le circuit de déclenchement.

Lors d'un dégagement d'une poche d'air celle-ci monte et s'installe entre les parois du relais et le flotteur A qui actionnera l'alarme.

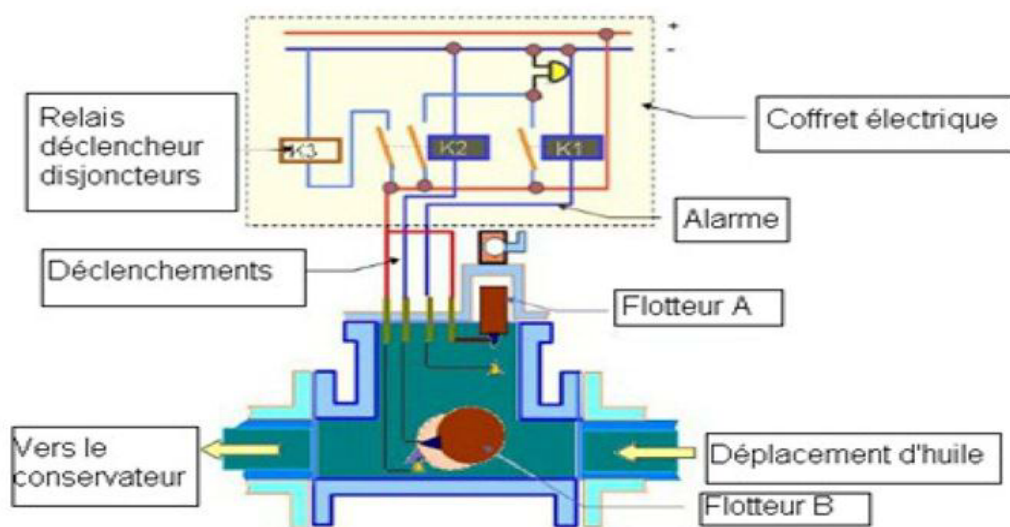


Figure IV.25: Système d'alarme et flotteur d'un relais Buchholz.

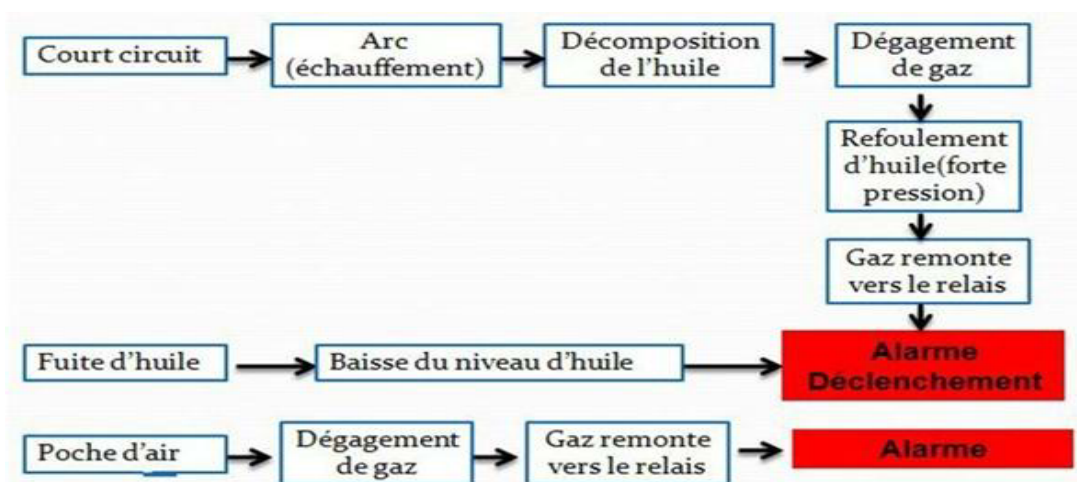


Figure IV.26: Etapes fondamentales de fonctionnement d'un relais Buchholz.

IV.7.1.5. Actions de l'opérateur:

- Il est strictement interdit de remettre le transformateur sous tension
- Informer l'opérateur système de l'indisponibilité du transformateur
- Consulter les enregistreurs
- Faire les mesures d'isolement
- Faire l'analyse de l'huile

IV.7.1.6. Analyse des gaz:

Le gaz collecté est analysé peut délivrer des informations sur la cause de son existence : si le gaz est inflammable cela veut dire qu'il y a décomposition d'huile ou de papier, sinon, c'est de l'air et donc pas de danger.

Pour ce faire, 2 examens rapides peuvent être effectués sur site :

- Examen visuel des gaz prélevés (coloration des gaz) pour se renseigner sur l'origine du défaut.
- Examen complémentaire (combustion des gaz) pour se renseigner sur la nature du défaut [19].

EXAMEN VISUEL DES GAZ PRELEVES	
COULEUR DES GAZ	ORIGINE DU DEFAUT
→	
• Gaz Blanc	→ Destruction du papier
• Gaz Jaune	→ Destruction du Bois
• Gaz Noir	→ Détérioration de l' huile
• Gaz Gris	→ Détérioration de l' huile

Figure IV.27: Examen visuel des gaz prélevés.

EXAMEN COMPLEMENTAIRE DES GAZ PRELEVES	
NATURE DU DEFAUT	
• Gaz in inflammable (inodore)	• on conclut que c'est de l' air qui provient soit de l'évacuation d'une <u>poche d'air</u> , soit de <u>fuite d'huile</u> !
• Gaz Inflammable	• On conclut qu'il y'a destruction des matières isolantes : Le transfo doit être mis Hors Service !

Figure IV.28: Examen complémentaire des gaz prélevés.

IV.7.2. Surveillance de la température cuve (26):

IV.7.2.1. Phénomènes thermiques dans le transformateur:

Le transformateur est composé d'un circuit magnétique, siège de «pertes fer» et d'enroulements (tension basse et tension élevée) dégageant des «pertes joules»: toutes ces pertes sont source de chaleur pour le transformateur.

Ces pertes sont évacuées par convection dans l'air et par rayonnement : ces phénomènes s'effectuent dans les différents canaux situés entre le circuit magnétique, la tension la plus basse (enroulements) et la tension la plus élevée (enroulements).

IV.7.2.2. Conséquences des sur-échauffements:

- Des dilatations, voire des fissures dans les matériaux.
- Dégradation des propriétés diélectriques des matériaux isolants.

Un vieillissement prématuré des composants, notamment les isolants utilisés dans les enroulements. En effet, chaque fois que le transformateur est surchargé (ambiante, courant, tension) par rapport à son fonctionnement nominal, il y a su réchauffement.

Puisque la durée de service du transformateur dépend de la température dans le noyau et les enroulements durant le fonctionnement, les températures de niveau d'huile supérieur et d'enroulement doivent être contrôlées de manière continue, d'où la nécessité de surveiller la température de la cuve.

IV.7.2.3. Utilisation des thermostats:

IV.7.2.3.1. Indication ou surveillance de la température:

Une élévation de température anormale peut être due à un défaut électrique provoquant un échauffement local ou par une utilisation intensive du transformateur.

La surveillance de la température est assurée par 2 thermostats indépendants compensés en température. Lorsque la température du diélectrique atteint le point de consigne affiché, le contact du thermostat concerné bascule une température très élevée dans le transformateur peut être causée par une surcharge, un problème de refroidissement ou une saturation.

Les transformateurs immergés dans l'huile sont surveillés par thermomètre. Ils font partie de l'équipement standard du transformateur.

Il y a un choix à faire entre deux types : thermomètre pour huile ou pour enroulement. Pour les gros transformateurs (> quelques MVA), les deux sont fournis.

Les deux types constituent des capteurs pour la surcharge. Pour chaque type, il y a une alarme qui peut mettre en marche un système de refroidissement et un déclencheur.

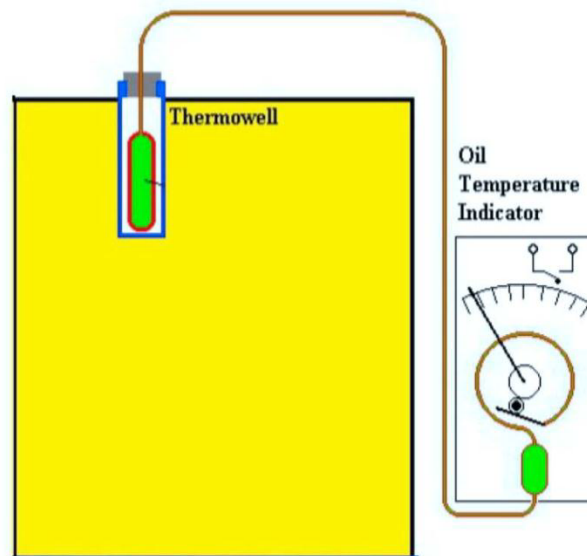


Figure IV.29: Surveillance de la température par le thermostat.

IV.7.2.3.2. Valeurs de réglage sont fournies par le constructeur du transformateur:

T1 le premier seuil de température peut être utilisé en alarme afin de signaler à l'utilisateur qu'il n'est pas loin de la puissance nominale du transformateur.

T2 le second seuil doit protéger le transformateur contre une utilisation au-delà de la température maxi définie par le constructeur.

Généralement, il sera utilisé en déclenchement côté secondaire.

La coupure du primaire n'est pas interdite, mais pas forcément nécessaire non plus.

La température de fonctionnement admissible d'un TR dépend de deux températures variables.

La température ambiante qui varie en fonction des conditions climatiques et météorologiques La température provoquée Par le passage du courant dans les enroulements transformateurs Les réglages adoptés:

- Température de déclenchement: $T^{\circ}2 = 110^{\circ}$.
- Température d'alarme : $T^{\circ}1 = 90^{\circ}$.
- Constante de temps globale : $\tau = 20$ mn.

IV.7.2.4.Utilisation de thermocouple:

Le thermomètre à résistance de platine est un dispositif (en fait, un type de thermistance) permettant de mesurer la température. Il est basé sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température. En anglais on parle généralement de sonde RTD pour (RésistanceTempératureDetector).



Figure IV.30:*Thermocouple.*

IV.7.2.4.1. Constitution:

La sonde à résistance de platine est constituée d'un filament de platine (Pt), entourant une tige de verre ou non, dont la caractéristique est de changer de résistance en fonction de la température. Sa résistance augmente en même temps que la température.

Les sondes les plus couramment utilisées sont de type Pt 100 (100Ω à $0^{\circ}C$).

IV.7.2.4.2.Rôle des thermocouples:

Les sondes de température (ou capteurs de température) sont des dispositifs permettant de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement t sur leurs composants en signal électrique.

Le type le plus courant, appelé Pt 100 Il a une résistance de 100 ohms à 0 °C et 138,5 ohms à 100 °C Pour des caractérisations métrologiques, la Pt100 ne suffit plus.

La sonde à résistance de platine (ou encore thermomètre à résistance de platine TRP) définie comme instrument d'interpolation par l'ait-90 (Échelle Internationale de Température 1990) est la plus élaborée et permet des mesures de température de très haute exactitude [3].

L'utilisation de cette sonde s'accompagne de polynômes d'interpolation correspondants à la gamme de températures explorées afin d'établir la relation entre la résistance du platine et la température.

IV.7.2.4.3.Principe de fonctionnement:

La résistance thermique est alimentée par un TC sur l'enroulement chargé du transformateur. L'augmentation de température dans la résistance thermique est donc proportionnelle à l'augmentation de température dans l'enroulement au-dessus de la température du niveau supérieur d'huile. D'un autre côté, l'ampoule de l'instrument est placée dans l'huile la plus chaude du transformateur et capte donc la température du niveau supérieur d'huile. De ce fait, la jauge de mesure réagit à l'augmentation de température de la résistance thermique, correspondant à la température de l'enroulement en amont de la température du niveau d'huile supérieur, ainsi qu'à la température du niveau supérieur d'huile. L'instrument indique donc la température de l'endroit le plus chaud de l'enroulement, une température de pointe locale. La constante temporelle thermique pour l'instrument est de même ampleur que celle de l'enroulement. L'indicateur donne donc une image thermique de la température de l'enroulement par rapport au temps [20].

IV.7.3.Protection par Soupape de Surpression:

L'objectif de la soupape de surpression est d'empêcher des dommages mécaniques à la cuve de transformateur en libérant toute pression en excès qui dépassera la limite fixée et de diminuer le risque d'explosion du transformateur lui-même.

Si dans un transformateur, la pression admissible de la soupape est dépassée, le couvercle se soulève et le joint s'ouvre en l'espace de quelques millisecondes.

Si la pression est inférieure à celle tarée, la soupape se referme.

Il suffit ensuite de ramener l'indicateur visuel dans sa position normale. Les contacts de signalisation optionnels intégrés sont également réinitialisés.

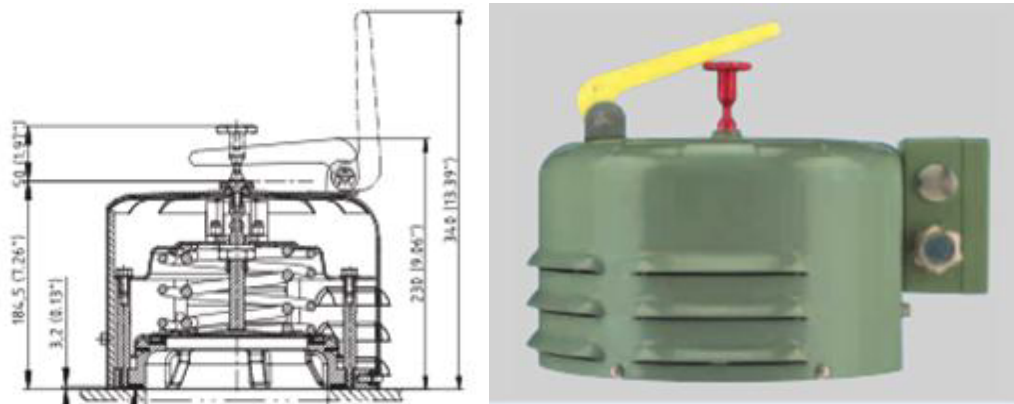


Figure IV.31: Protection par Soupape de Surpression.

IV.7.4. Protection par Clapet Anti-retour :

Le Clapet Anti-Retour (**Vanne d'isolation du conservateur de transformateur**) bloque la vidange d'huile de conservateur en cas d'une fuite importante d'huile qui arrive soudaine.

Le Clapet est installé entre le Relais Buchholz et la vanne du réservoir de Conservateur.

Le clapet permettra l'écoulement d'huile dans les deux directions sans interruption dans un état normal et en aucune façon d'affecter le fonctionnement du transformateur.

Elle permettra d'éviter l'écoulement d'huile du conservateur à la cuve du transformateur seulement, au cas où le taux de flux dépasse le taux réglage dans une gamme donnée (Litre par Minute) [21].

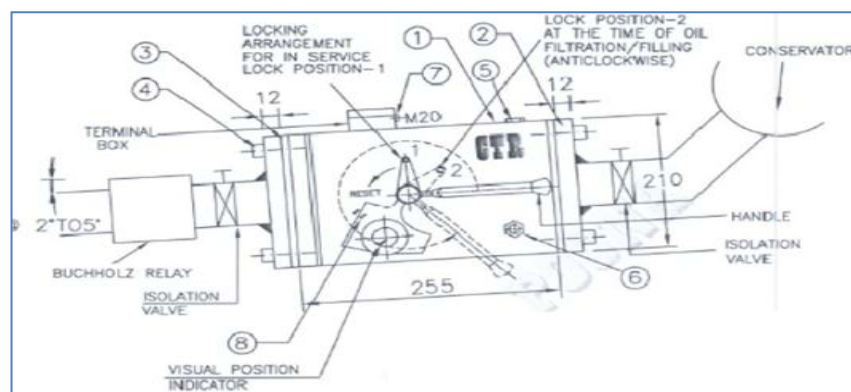


Figure IV.32: Protection par Clapet Anti-retour.

Les résultats des tests des mises en service des protections technologiques sont conformes aux spécifications du fabricant (*voir Figure III. 7*).

IV.9.Conclusion:

Dans ce chapitre on a finalement atteint le but de ce mémoire ou on a pu présenter les différents types de protection qui peuvent être mise en place sur le transformateur de puissance 20kv/400kv du central cycle combiné AIN ARNET-SETIF. On a vu la définition, le rôle, la constitution, de chaque protection ainsi que leurs défèrent problème et leur solutions.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Le diagnostic et la détection de défauts mobilisent à ce jour beaucoup de chercheurs dans différents domaines industriels. Les transformateurs de puissance composants critiques de transport d'énergie électrique ne font pas l'exception.

Les transformateurs de puissance sont des composants décisifs. Ils sont soumis à de nombreuses contraintes et nécessitent une surveillance et un suivi régulier.

Le but de ce travail était la protection technologique et électrique du transformateur de puissance 22/400 KV du central cycle combinée AIN ARNET-SETIF.

Dans le chapitre 1 nous avons donné une présentation générale sur le transformateur de puissance ce qui est évident pour bien connaître les paramètres de transformateur sur lequel nous allons travailler.

Dans le chapitre 2 nous avons exposé une présentation et une connaissance générale sur la centrale de production à cycle combiné 1200MW AIN ARNET-SETIF, ce qui nous a bien aidé à faire une étude plus profonde sur notre travail.

Dans le chapitre 3 on a fait une étude profonde sur la mise en service, cette dernière qui est très importante pour le bon fonctionnement et la protection du transformateur, on a vu ses différentes étapes, ces étapes qu'on a appliqué sur le transformateur qui nous intéresse 22/400kv du central cycle combiné AIN ARNET-SETIF qui nous ont aidé à déterminer l'état de notre transformateur et à choisir les mesures correctives adéquates pour garantir la fiabilité du fonctionnement et prolonger sa durée de vie.

Les résultats de la mise en service de transformateur de puissance 22/400kv du central cycle combiné AIN ARNET-SETIF ont été conformes aux spécifications des fabricants.

Dans le chapitre 4 nous avons atteint le but de notre mémoire et on a présenté les différents types de protection qui peuvent être mise en place sur le transformateur de puissance 22kv/400kv du central cycle combiné AIN ARNET-SETIF. Des protections électriques et technologiques contre des défauts internes et externes, On a vu leurs définition, leurs rôle, la constitution, de chaque protection ainsi que leurs défèrent problème et leur solutions.

Un transformateur défaillant produit des situations parfois très lourdes de conséquences: techniques, financières, commerciales, et environnementales, d'où la nécessité de détecter et d'identifier le défaut ensuite protéger le transformateur contre ces défauts.

Comme perspective à notre travail nous suggérons l'application de toutes ces protections pour le bon fonctionnement de notre transformateur ainsi pour éviter les nombreuses contraintes qui pourront l'infecter, et ne pas négliger la mise en service pour tout nos transformateurs afin de garantir la fiabilité du fonctionnement et prolonger le durée de vie de ces derniers.

ANNEXES

ANNEXE A: Schéma unifilaire du central cycle combinée 1200 MW AIN ARNET-SETIF

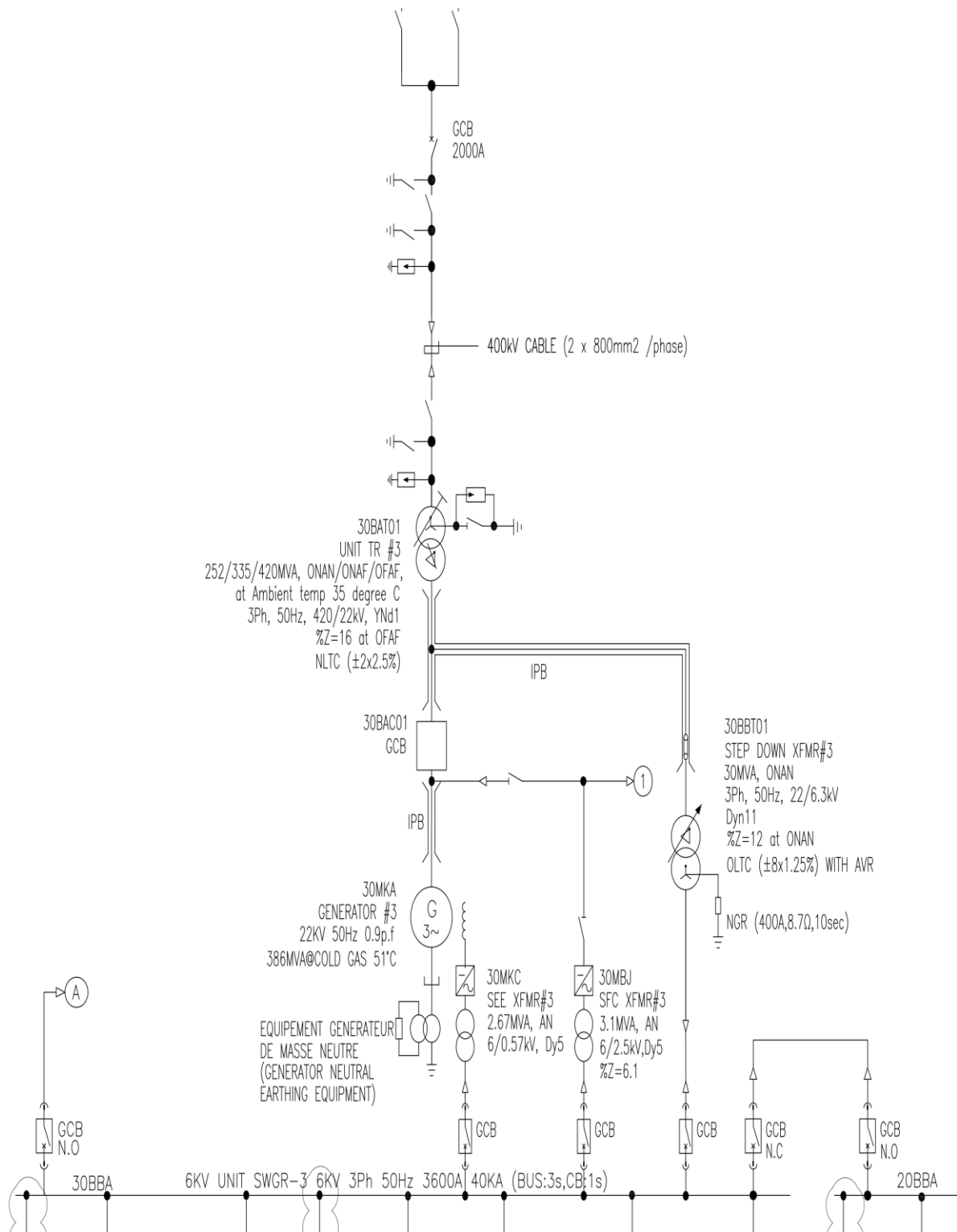


Figure: schéma unifilaire du central cycle combinée 1200 MW AIN ARNET-SETIF.

ANNEXES

ANNEXE B: Numérotations des protections selon la norme C.E.I :

Tableau: *Numérotation des protections selon la norme C.E.I.*

Désignation	Code
Protection contre le maximum de flux	24
Surveillance de la température cuve	26
surcharge thermique	49 T
Maximum de courant phase instantanée	50
Défaillance de disjoncteur	50BF
Maximum de courant terre instantanée (TC tore)	50G
Protection masse cuve	50N
Protection ampèremétrique	51
Maximum de courant terre temporisée (3TCphase)	51N
Maximum de courant terre temporisée (TC tore)	51G
Disjoncteur	52
Relais Buchholz	63
Maximum de courant phase directionnelle	67
Maximum de courant terre directionnelle (Neutre)	67N
Réenclencheur	79
Différentielle transformateur	87T

REFERENCE

- [1] CEI 60076-1, "clause 3.1.1", version 2011.
- [2] CEI 60076-7, "clause 3.1-3.3", version 2005.
- [3] eric gicquel " transformateur de puissance" département eea university reenne 1 1999.
- [4] T. WILDI, G. SYBILLE " *Electrotechnique*", Département de Boeck Université, 4e édition, 2005.
- [5] Martin J. Heathcote, "*J&P Transformer Book*", Oxford, Elsevier (ISBN 978-0-7506-8164-3), 2007.
- [6] www.shneider-electric.fr "Politique de protection des données de Schneider Electric" 2015.
- [7] Pauwels international service «formation générale sur les transformateurs de puissance GRTE octobre 2008».
- [8] Charles Harel, "*Machines électriques et essais de Machines*", Société française des électriciens – École_supérieure_d'électricité, p. 152-153 Paris, 1960.
- [9] D. Oeding et B.R. Oswald, "*Elektrische Kraftwerke und Netze*", p. 217-255 Berlin, Springer, 2004.
- [10] Fichier institut de formation en electricité et gaz.
- [11] Wenyu Guo "Tests de diagnostic et surveillance des transformateurs de puissance" OMICRON société internationale qui développe et commercialise des solutions innovantes de test et de diagnostic pour l'industrie électrique, Autriche 2015.
- [12] Enyong P. M. "*Report on the Installation of a 16MVA Power Transformer*"; National Electric Power Authority, Sapale Power Station; An unpublished Technical Report; p.13. 1994.
- [13] O.Maros koncar power transformers ltd SIEMENS "procedure d'essais sur le site avant la mise en service" Croatia 2016.

REFERENCE

- [14] BOUCHAOUI Lahcene, « Diagnostic des transformateurs de puissance par la méthode d'analyse des gaz dissous : application des réseaux de neurones », Mémoire de magister département d'Electrotechnique, université de Sétif. 2010.
- [15] M. REKKAB Abdelkader Copyrights IFEG/ ETB/DPF/Laboratoire "Courant Faible Développement" : Laboratoire E-learning 2017.
- [16] Bouderbala R., Bentarzi, H. and Ouadi A.: "Digital Differential Relay Reliability Enhancement of Power Transformer. International Journal of Circuits, Systems and Signal processing 5: pp.263-270 2011.
- [17] Microener " Cahier Technique N°8" Protection des transformateurs de puissance".
- [18]. Jean Sanchez, "Aide au diagnostic des défauts des transformateurs de puissance" université Grenoble alpes, 2011.
- [19] Document sonelgaz "protection électrique des transformateur HT" SPE ain arnet setif 2017.
- [20] Anderson Avenue "DBF Protection Défaillance de Disjoncteur Manuel d'Instructions GEK-106462F" GE Multilin .canada 2006.
- [21] Drei Hasen "M PreC" Messko GmbH Gewerbegebiet An den Messko-Platz 161440 Oberursel", Allemagne 2011.