

N° Ordre...../DGM/FT/UMBB/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

THEME

Maintenance et protection d'un transformateur de
puissance

Présenté par :

ACHAIBOU Said

SABI Khaled

Promoteur : Mr. Med Saïd Bouamerene

Encadreur: Mr. HAMMOUDI Moussa

Promotion 2022- 2023

Remerciement

*Ce travail a été réalisé à la faculté de science de l'ingénieur,
université M'HAMED BOUGERA- BOUMERDES,
département de génie mécanique.*

*Nous remercions d'abord « ALLAH » qui nous a donné la force et le
courage pour terminer ce travail.*

*Nous tenons de remercier aussi nos parents et nos familles qui nous
ont beaucoup aidé dans notre carrière scolaire.*

Nous remercions plus particulièrement notre promoteur

BOUAMERENE MED SAID *Nous tenons de remercier aussi nos
collègues de groupe ELECTROMECHANIQUE de promotion
2022/2023, sans oublier tous nos amis avec qui on a passé des bons
et agréables moments ; et tous les gens qu'on a connu à
l'université pendant cinq années que ce soit des professeurs, des
agents de sécurité.*

Dédicace

Je tiens sincèrement à dédier ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont élevé, formé encouragé et soutenu durant toute ma vie que dieu les protège.

A mes chères frères

A mes oncles et mes tantes paternels et maternels en particulier

A mes meilleurs amis ; A mes camarades de classe

A tous ceux qui nous ont aidés dans ce travail de près ou de loin.



ACHAIBOU Saïd

Dédicace

A mes très chers parents pour leur amour, affection, encouragement et leur soutien inconditionnel durant mon parcours et toute ma vie, que Allah vous bénisse, vous assiste, vous soit en aide et vous garde pour moi.

A mes sœurs et mes chers frères et à toute ma famille. A mes meilleurs amis.

Et en fin à tous ceux qui me connaissent.



SABI Khaled

Table de matières

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Chapitre I : Présentation de la central cap djenat	
I.1 Introduction :	1
I.2 Implantation de la centrale (situation géographique)	4
I.3 Superficie	5
I.4 Description.....	6
I.5 Historique :	6
I.6 Principe de fonctionnement	7
I.7 Poste d'eau :	7
I.8 Chaudière (générateur de vapeur)	8
I.9 Turbine de centrale CAP-DJINET	10
I.10 Les Réfrigérants	12
I.11 Alternateur	14
I.12 La partie électrique de la centrale thermique de CAP-DJINET:	16
I.12.2 Transformateur de secondaire	17
I.13 Salle de commande centralisée	17
I.14 Conclusion :	18
Chapitre II : Etude Théorique sur les transformateurs	
II.1 Introduction	21
II.2 Historique	21
II.3 Définition de transformateur	22
II.4 Différents types de transformateur.....	25
II.5 Utilisations.....	27
II.6 Choix de couplage.....	28
II.7 Technologies de construction de transformateur de puissance.....	29
II.8 Relais des Buchholz	32
II.9 Puissance des transformateurs	34
II.10 Conclusion	36
Chapitre III :Maintenance du transformateur de puissance	
III.1 Introduction	38
III.2 Définition de la maintenance	38

Table de matières

III.3 Concepts, Objectifs, types, Méthodes de la maintenance	39
III.4 Notions sur le transformateur de puissance de cap Djanet	42
III.5 Défauts, Diagnostic et Démarches de diagnostic dans les transformateurs	45
III.6 Classification des défaillances en fonction de leur manifestation.....	47
III.7 Maintenance préventive dans cas de la centrale thermique cap Djanet.....	50
III.8 Désignation des opérations.....	52
III.9 Gestion de la maintenance des transformateurs	54
III.10 Entretien et révision :.....	57
III.11 Conclusion :.....	59
Chapitre IV :Protection du transformateur de puissance	
IV. 1 Introduction.....	62
IV. 2 La protection du transformateur	62
IV. 3 Les différents types de protection	63
IV. 5 Soupape de surpression.....	65
IV. 6 Thermostat pour température d'enroulement et d'huile	66
IV. 7 Commande des réfrigérants.....	67
IV. 8 Protection Electrique	68
IV. 10 Protection sur intensité.....	69
IV. 11 Protection Thermique	70
IV. 12 Protection différentielle	71
IV. 13Défaut interne et externe dans la protection différentielle	73
IV. 14 Protection contre les surtensions	74
IV. 15 Conclusion	76
Chapitre V :Protection défférentiel du transformateurde puissance	
V.1 Introduction	78
V.2 Modélisation de la protection différentielle par MATLAB	78
V.3 Les composants de système.....	78
V.4 LA SIMULATION	79
V.5 Conclusion.....	86
Conclusion Générale	88
Annexe	
Références Bibliographie	

Listes Des Figures

Figure I.1 : Centrale de CAP-DJINET	03
Figure I.2 : central cap djenat	05
Figure I.3 : Bâche Alimentaire	10
Figure I.5 : Corps haut pression HP	10
Figure I.6 : Corps moyenne pression MP	13
Figure I.7 : Alternateur de centrale CAP-DJINET	13
Figure I.8 : Transformateur principal et Transformateur secondaire de CAP-DJINET	15
Figure I.9 : Salle de commande	16
Figure II.1 : schéma du transformateur	17
Figure II.2 : Transformateur monophasé	21
Figure II.3 : transformateur triphasé	21
Figure II.4 : Schéma d'un transformateur monophasé et Symbole d'un transformateur	21
Figure II.5 : Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance.	22
Figure II.6: Fonctionnement à vide et Fonctionnement en court-circuit.	22
Figure II.7 : Transformateur de contrôle et Transformateur de puissance.	23
Figure II.8 : Autotransformateur et transformateur d'isolement.	24
Figure II.9 : Transformateur de courant et Transformateur de potentiel.	25
Figure II.10 : Transformateur de distribution.	26
Figure II.11 : Emplacement d'un transformateur dans le réseau électrique.	26
Figure II.12 : Couplage triangle et étoile et étoile-étoile et étoile-zigzag	27
Figure II.13 : Vue intérieure d'un transformateur, type colonne.	28
Figure II.14 : Circuit magnétique et circuit magnétique triphasé type cuirassé e	28
Figure II.15 : Enroulements.	29
Figure II.16 : <i>Connexion de relais de Buchholz</i> , cuve et Traversées d'un transformateur	30
Figure III.1 : Les concepts de la maintenance.	34
Figure III.2 : Diagramme des types de maintenance.	37
Figure III.3: Transformateur principal	38
Figure III.4 : Classification des défaillances	41
Figure III.5 : Durée de vie d'un transformateur	45
Figure III.6 : Amorçage entre spires et point chaud du sélecteur du régleur en charge	46
Figure III.7: Effort électrodynamique franc, Joint de traversée écrasé et échauffement	47
Figure III.8 : Dégradation de la cellulose des isolants et schéma d'une boucle de courant	48
Figure III.9 : Statistiques de défaillances pour les différents composants de	50
Figure III.10 : Processus de maintenance	54

Listes Des Figures

Figure III.11 : Opérations et cycle de maintenance du transformateur.	52
Figure IV.1: Signalisation de service, déclenchement des instruments de contrôle	58
Figure IV.2 : Relais buchholz.	59
Figure IV.3 : Schéma de protection buchholz	60
Figure IV.4 : Soupape de surpression	61
Figure IV.5: Thermostat pour température d'enroulement et d'huile.	62
Figure IV.6: Schéma de commande des réfrigérants	62
Figure IV.7: Indicateur magnétique de niveau d'huile	63
Figure IV.8 : Matrice de déclenchement.	64
Figure IV.9: Schéma de principe de la protection différentielle.	68
Figure IV.10: Relais différentiel défaut externe et Relais différentiel défaut interne.	69
Figure IV.11: Photo d'éclateur et Photo de parafoudre installé sur transformateur.	70
Figure IV.12: Masse cuve.	71
Figure IV.13 : Photo des protections incendie installé sur transformateur.	71
Figure V.1 : Diagramme de de relais différentiel simple (fonctionnement normal)	74
Figure V.2 : Diagramme schématique du différentiel simple Relais	74
Figure V.3 : Courant primaire (phase a, b, c) (aucun défaut).	75
Figure V.4 : Courant secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).	75
Figure V.5 : Courant différentielle	75
Figure V.5 : Tension primaire du transformateur de puissance (aucun défaut).	76
Figure V.6 : Tension secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).	76
Figure V.7 : Modèle de défaut 3Ph externe	77
Figure V.8 : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut	77
Figure V.9 : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut externe)	77
Figure V.10 : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut externe)	78
Figure V.11 : Courants différentiel.	78
Figure V.12 : Modèle de défaut interne.	79
Figure V.13 : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.	79
Figure V.14 : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut interne).	79
Figure V.15 : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut interne).	80

Résumé

Résumé :

Dans notre modeste travail on vise l'étude du système de protection et de maintenance d'un transformateur principal, qui constitue un organe essentiel dans un site de production.

On fait appel au système de protection du transformateur lors de l'apparition d'un défaut quelconque afin de préserver la machine.

La protection différentielle est l'élément clé dans l'ensemble des protections, on présente son principe de fonctionnement et ces réglages afin d'établir un modèle sous l'environnement de MATLAB pour mieux observer ces caractéristiques.

In our modest work we aim to study the protection and maintenance system of a main transformer, which is an essential component in a production site. The transformer protection system is invoked when a fault occurs any way to preserve the machine. The differential protection is the key element in all the protections, we present itsb principle of operation and these settings in order to establish a model under the environment of MATLAB to better observe these features.

Introduction

Introduction Générale

Le transformateur est un appareil statique à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courants variables en un ou plusieurs systèmes de courants variables, d'intensité et de tension généralement différents, mais de même fréquence.

Les transformateurs de puissance sont des organes vitaux des réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour adapter le niveau de tension aux besoins de l'utilisation. Les transformateurs sont utilisés dans les niveaux suivants :

- A la sortie des centrales où la tension est élevée pour la transmission;
- Dans les postes d'interconnexion ou de répartition;
- Dans les sous-stations de distribution où la tension est réduite pour être adaptée à la tension de la distribution;
- Dans les postes de distribution où la tension est réduite pour être adaptée au niveau de la tension d'utilisation des entreprises et des résidences.

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. Elle permet également la mise en œuvre d'une maintenance préventive conditionnelle basée sur l'état de la dégradation de l'isolation.

L'objectif de ce travail est l'étude de la protection et la maintenance des transformateurs dans les unités industrielles, pour réaliser ce travail j'ai effectué un stage industriel dans l'entreprise SONALGAZ où l'étude est réalisée sur le type de transformateur DE puissance triphasé à bain d'huile (220 MVA/235KV).

L'étude présentée dans ce mémoire s'organise comme suit :

-Dans le premier chapitre nous présentons la centrale thermique de Cap d'Jinet son localisation et son historique et ses différentes parties électrique et électromagnétique.

-Le second chapitre on a fait une étude théorique sur les transformateurs les types, le fonctionnement et les composants d'un transformateur.

-Le troisième chapitre, nous abordons les généralités de la maintenance, en citons ses différentes formes et stratégies de maintenances préventives.

-Le quatrième chapitre en présente les différentes protections d'un transformateur de

Introduction

de puissance principale

-Dans le cinquième chapitre, en présent une simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance principale. Enfin, on termine par une conclusion générale présentant le travail accompli.

Problématique

Notre projet de fin d'études porte sur l'étude de la maintenance et protection du transformateur de puissance.

Lorsqu'il s'agit de transporter de l'énergie électrique sur de longues distances ou à des puissances élevées, il est nécessaire d'utiliser une tension suffisamment élevée.

En augmentant la tension, on réduit le courant pour une même puissance. Cependant, cela entraîne des pertes d'énergie dues à l'effet Joule et aux pertes fer.

Le transformateur joue un rôle clé dans ce processus en augmentant ou en diminuant l'amplitude de la tension alternative disponible pour le transport ou la distribution de l'énergie électrique. Ainsi, les transformateurs sont utilisés à la fois du côté de la production, pour augmenter la tension, et du côté de la consommation, pour abaisser la tension aux niveaux requis par le réseau de distribution.

Pour assurer le bon fonctionnement de l'installation électrique et garantir la continuité du service, il est essentiel de la doter de systèmes de protection. Chaque système de protection a pour rôle de surveiller en permanence l'état de l'ensemble du réseau électrique et de mettre hors service tout équipement présentant un défaut électrique. Il est primordial que ces défauts soient identifiés immédiatement.

Notre étude a été réalisée au sein du Central Thermique de CAP-DJINET à Boumerdes, où nous avons effectué notre stage. L'objectif était d'analyser les systèmes de protection existants et de donner la maintenance préventive de notre transformateur de puissance

Chapitre I:
Présentation de la centrale
CAP DJINET

I.1 Introduction

La centrale thermique de CAP-DJINET est une branche de la société nationale de électricité et de gaz SONALGAZ par abréviation.

La centrale a été construite par un consortium Austro-allemand : SEIMENS-KWU-SGP

KWU : KRAFTWERK-AG(RFA), SGP :SIMMERING GRAZ PAUKER (Autriche) SIEMENS(Autriche).

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur. Cette source peut être un combustible brûlé (tels le gaz naturel, certaines huiles minérales, charbon, déchets industriels, déchets ménagers), la fission de noyaux d'uranium 235 ou de plutonium 239.

La source de chaleur chauffe un fluide (souvent de l'eau) qui passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur par exemple) qui entraîne une turbine accouplée à un alternateur qui transforme l'énergie cinétique de la turbine en énergie électrique.

Pour entraîner la turbine, il faut que la pression soit plus faible à sa sortie qu'à l'entrée.

La baisse de pression à la sortie de la turbine est obtenue en condensant le gaz, en aval de la turbine, à l'aide d'une source froide. [1]



Figure I.1 : Centrale de CAP-DJINET

I.2 Implantation de la centrale (situation géographique)

La centrale est située au bord de la mer à l'est d'Alger près de la ville de CAP- DJINET (1KM avant) dans la Wilaya de Boumerdes (30KM à l'est de Wilaya).

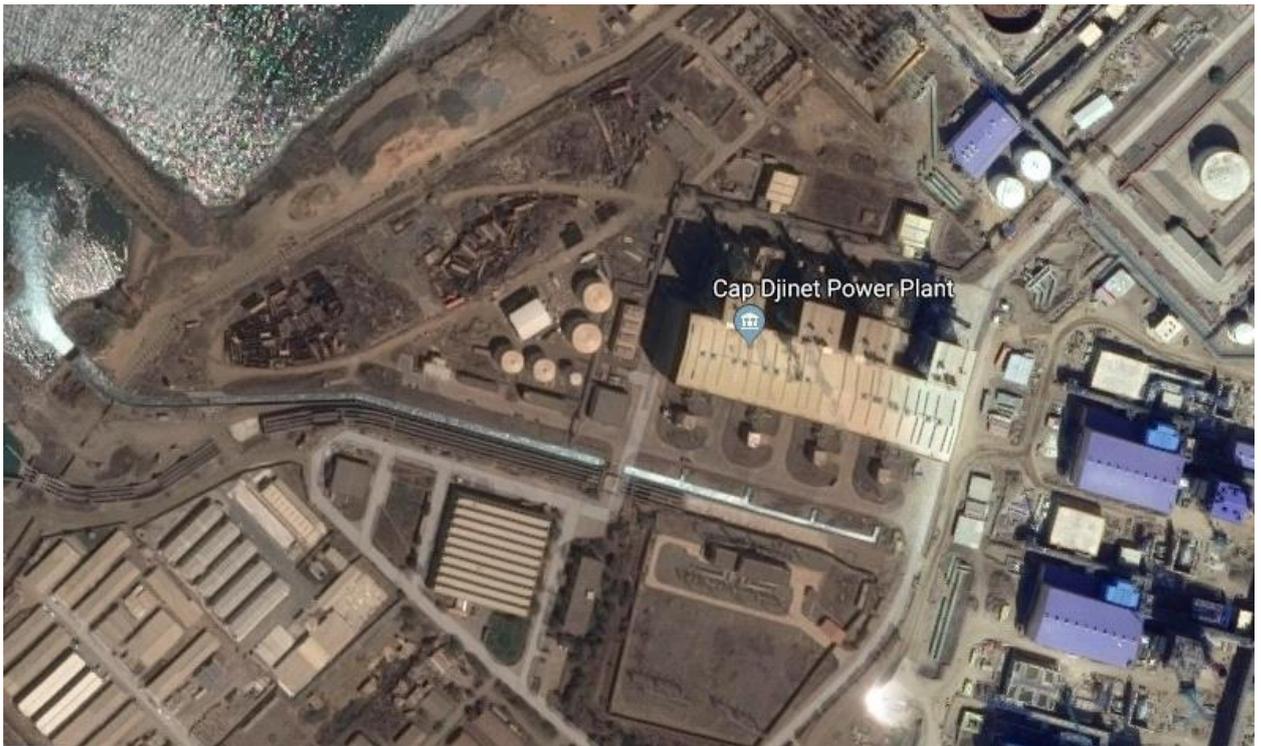


Figure I.2 : central cap djenat

I.3 Superficie 35 hectares.

Le choix de site s'est fait sur la base des critères suivants :

- Proximité de la mer et des consommateurs importants situés notamment dans la zone industrielle Rouïba -Réghaia.
- Possibilité d'extension.
- Condition de sous-sol favorable ne nécessitant pas de fondation profonde

I.4 Description

La centrale de production d'électricité de CAP-DJINET est une centrale composée de quatre groupes d'une puissance unitaire de 176MW comprenant des installations communes :

- Poste de détente gaz naturel.
- Poste fuel.
- Station de dessalement et de déminéralisation d'eau de mer.
- Station d'électro-chloration.
- Salle de compresseurs d'air comprimé de travail et de régulation. [2]

I.5 Historique

En 1986 la centrale thermique de CAP-DJINET est venue renforcer le parc de production d'énergie électrique de l'entreprise avec une puissance de 672MW. Elle se compose de quatre groupes monobloc du type thermique vapeur d'une puissance de 176MW chacun aux bornes alternateur.

Le choix du site s'est fait sur la base des critères suivant :

- A proximité de la mer, besoin important en eau de mer pour refroidissement.
- A proximité de consommateurs importants situés dans la zone industrielle (SI MUSTAPHA-BOUDOUAOU).

L'entrée en production et le couplage des quatre groupes sur le réseau électrique national est déroulée comme suit :

Groupe N° 01 Décembre 1985.

Groupe N°02 : Avril 1986.

Groupe N° 03 : Septembre 1986.

Groupe N° 04 : Décembre 1986.

I.6 Principe de fonctionnement

Avant de décrire le fonctionnement de la centrale, il sera bon de rappeler les différentes transformations énergétiques qui ont servi à la production de l'énergie électrique. En gros on a trois (3) transformations :

Transformation de l'énergie contenue à l'état latent dans le combustible (énergie chimique) en énergie calorifique.

Chaudière Energie chimique _____ Energie calorifique

- Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.
- Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.

Turbine : Energie calorifique _____ Energie mécanique

- Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Alternateur : Energie mécanique

La centrale thermique de RAS-DJINET fonctionne avec circuit fermé de circulation d'eau et de

Chapitre I : présentation de la centrale CAP DJINET

vapeur, ce circuit commence dans le condenseur où la pompe d'extraction Assurent le transfert de l'eau jusqu'à la bache alimentaire en passant par les trois (03) réchauffeurs basses pression (débit nominale d'une pompe 414m³/h).

Les Pompes alimentaires servent à alimenter la chaudière par l'eau à partir de la bache alimentaire (débit de 3 x 261,6 m³/h), passant par les réchauffeurs de moyenne et de haute pression ainsi que l'économiseur.

L'eau arrive d'abord à son ballon de chaudière, par gravité il descend dans les tubes des écrans où il sera chauffé par des huit brûleurs a température plus élevée, l'eau chaud monte dans les tubes jusqu'à l'évaporation, la vapeur et surchauffée par les trois surchauffeurs et attaque le premier corps haute pression de la turbine à température 540°C et pression de 160 bar, la vapeur récupère à la sortie (après la détente à 200°C et 47 bar de pression), la chaudière augmentée la température de la vapeur jusqu'à 540°C et attaque les deux corps moyenne et basses pression.

Le condenseur récupère la vapeur à la sortie de corps basse pression de la turbine et refroidir jusqu'à la température ambiante.

Un autre circuit est présent pour le refroidissement du condenseur c'est le circuit d'eau de mer, il est composé d'une pompe d'extraction qui aspire l'eau filtré en grande quantité et le refouledans le condenseur pour refroidir ce dernier et sa course en retournant vers la mer.

I.7 Poste d'eau

I.7.1 Condenseur

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur à échange par surface. Il est placesous la turbine à basse pression. La vapeur se condense au contact des parois des tubes, dans les quelles passe l'eau de mer de refroidissement.

Les principales fonctions de condenseur sont :

- assurer la condensation de la vapeur d'eau évacué du corps (BP) de la turbine et de réintroduire de condensât dans le circuit eau-vapeur (poste d'eau).
- augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissant une dépression, afin d'obtenir un rendement de la turbine aussi élevé que possible.
- dégazer le condensât et d'évacuer les incondensables (en majorité de l'air)
- recoit également le condenast des rechauffeurs (BP).

I.7.1.1 Caractéristiques du condenseur

- Pression dans le condenseur : 0,07 bar absolue.
- température de sortie : 32,9°C.

I.7.2 Les pompes

Il existe dans la centrale de CAP-DJINET : (02) pompes d'extraction et (03) pompes d'alimentation et des pompes de circulation

I.7.2.1 Pompes d'extraction

Les pompes d'eau d'extraction ont pour rôle d'acheminer le condensat principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bache alimentaire en passant par les réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été, les réfrigérants d'hydrogène.

I.7.2.2 Caractéristiques des pompes d'extraction

- Type de pompe : centrifuge à 3 étages.
- Température d'entrée : 32,9°C
- Pression de service (hauteur totale) : 16,8 bars.
- Pression (hauteur à débit nul) : 19,7 bars.
- Débit nominale : 414 m³ /h.
- Température de sortie : 33°C.

I.7.2.3 Pompes d'alimentation

Les pompes alimentaires servent à alimenter le générateur de vapeur (chaudière) avec de l'eau nécessaire en passant par les réchauffeurs haut pression (HP) du poste d'eau (le poste d'eau est l'ensemble des appareils qui transfère l'eau du cycle depuis le condenseur jusqu'à la chaudière) et l'économiseur du générateur de vapeur.

Les pompes alimentaires doivent fournir la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le niveau de l'eau dans le réservoir de la chaudière entre deux limites bien définies.

Les conditions de fonctionnements des pompes alimentaires :

- Aspirent de l'eau chaude.
- Refoulent l'eau à une pression élevée.

- Assurent un débit d'eau important.
- Doivent avoir une grande sécurité de marche pour éviter les très graves conséquences d'échec d'eau dans le générateur de vapeur.

La centrale contient trois pompes avec un débit de 261,6 m³/h pour chacune de ces pompes. Ces pompes renvoient l'eau à une forte pression.

I.7.2.4 Caractéristiques des pompes d'alimentation

Type : pompe centrifuge Température de l'eau : 151,4°C
Débit nominale : 261,6 m³/h. Pression aspiration : 5,6 bars.
Pression refoulement : 177 bars.

I.7.3 Bâche alimentaire

La bâche alimentaire a un rôle de réchauffeur et conditionne la pression à l'aspiration de la pompe alimentaire. C'est un réservoir cylindrique combiné avec un dégazeur. Il reçoit de l'eau à partir des pompes d'extraction, eau qui traverse un certain nombre de réchauffeurs. Il reçoit également de la vapeur à partir du soutirage (S4) qui vient du corps MP (moyenne pression).

L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression du soutirage, en condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine.

Le dégazeur et la bâche alimentaire sont protégés par des soupapes de sécurité installées sur la tuyauterie.

I.7.3.1 Caractéristiques de la bâche alimentaire

Le volume total : 163 m³ Diamètre de l'enveloppe : 3,6 m.
La longueur de la bâche : 16,5 m Température à la sortie de la bâche : 150-151°C.
Pression : 4,9 - 5 bars. Le débit : 145,34 kg/s Température d'entrée : 114°C



Figure I.3 : Bâche Alimentaire

I.7.4 Réchauffeurs bas pression (BP)

Le rôle de ces trois réchauffeurs de BP est de réchauffer le condensât lors de son transfert dans la bâche alimentaire. Ils sont alimentés par les soutirages qui viennent du corps BP de la turbine. Le débit dans les réchauffeurs : 114,415 kg/s.



Figure I.4 : Vue de face d'un réchauffeur

I.7.5 Réchauffeurs haute pression (HP) Le rôle de ces deux réchauffeurs est de réchauffer l'eau d'alimentation lors de son transfert dans la chaudière. Ils sont alimentés par des soutirages provenant : l'un du corps MP et l'autre du corps HP.

I.7.6 Dégazeur Le dégazeur a pour rôle d'éliminer les gaz des eaux. Il contient une chambre de mélange pour les condensats à dégazer, une plaque de dégazeur et un collecteur horizontal, zone de collecte et d'évacuation des incondensables.

I.8 Chaudière (générateur de vapeur)

Le rôle de générateur de vapeur est de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état de vapeur surchauffée à haute pression en vue d'alimenter la turbine. C'est l'un des éléments essentiels du circuit thermique, il permet d'obtenir de la vapeur, et se compose :

- Chambre de combustion formée par les tubes écrans (faisceaux vaporisateurs).
- Ballon (réservoir) et un économiseur.
- Trois surchauffeurs et deux resurchauffeurs.
- Trois désurchauffeurs par injection d'eau pour la régulation de température de vapeur (deux pour HP (corps haut pression), et un corps MP (corps moyenne pression)).
- Quatre colonnes de descentes (faisceaux vaporisateurs).
- Huit brûleurs de combustion mixtes gaz /fuel.
- Deux ventilateurs de recyclage, ont pour rôle de recycler en fonction de la charge, une partie des fumées issue de la combustion afin de régler la température à la sortie du resurchauffeur.
- Deux ventilateurs de soufflage, ont pour rôle de fournir l'air de combustion.
- Deux préchauffeurs d'air à vapeur, sert à l'augmentation de la température de l'air de combustion avant le réchauffeur rotatif.

I.8.1 Ses caractéristiques principales

Capacité de vaporisation : 5301 /h	Pression à la sortie des surchauffeurs : 147 bar
Température de vapeur surchauffée : 540 C°	Température de vapeur resurchauffée : 535C°
Pression sortie vapeur resurchauffée : 35 bar	Température de l'eau d'alimentation : 246C°
Température de sortie de fumée : 118C°	Température dans le foyer : 900C°

I.8.2 Principe de fonctionnement

Le premier élément traversé par l'eau d'alimentation afin d'augmenter sa température est l'économiseur, l'eau traverse le ballon chaudière et à partir des tubes écrans l'eau va se vaporiser dans la chambre de combustion, on obtient un mélange eau-vapeur qui remonte au ballon dans laquelle on aura la partie inférieure qui est constituée de l'eau et la partie supérieure qui est constituée de la vapeur. Cette dernière passe dans le surchauffeur pour augmenter encore

la température [3]

I.8.3 La chambre de combustion

La chambre de la combustion est la partie principale du générateur de vapeur. C'est dans l'enceinte qu'elle constitue que se développe la flamme de combustion et qu'ont lieu les principaux échanges de chaleur.

I.8.4 Les brûleurs

Le générateur de vapeur est équipé de huit (8) brûleurs au gaz naturel et au fuel léger. Les brûleurs sont disposés sur quatre étages de la face avant de la chaudière. Les brûleurs sont prévus pour fonctionnement mixte.

I.8.5 Le réservoir du générateur de vapeur (ballon)

Le ballon a pour rôle d'assurer l'alimentation des tubes écrans en eau, et sert de réservoir pour l'émulsion eau- vapeur provenant des tubes écrans et d'assurer au maximum une bonne séparation de l'eau et de la vapeur afin d'éviter le phénomène de primage. Il constitue une enceinte de mélange dans laquelle se trouve réunies la phase liquide et la phase vapeur, de ce fait la température de l'eau du ballon se trouve être la température de saturation correspondant à la pression dans cette enceinte.

I.9 Turbine de centrale CAP-DJINET

C'est l'élément le plus essentiel dans la centrale, elle transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

Cette turbine est une machine à une ligne d'arbres, composée de corps HP (Haute Pression), MP (Moyenne Pression), et BP (Basse Pression) séparés.

Elle comporte (06) soutirages qui alimentent (03) réchauffeurs (BP), et (02) réchauffeurs (HP) et la bêche alimentaire. Les rotors de la turbine et de l'alternateur sont accouplés.

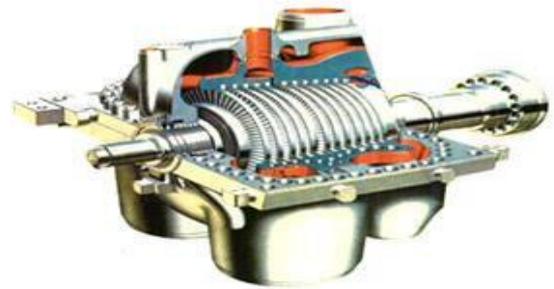


Figure I.5 : Corps haut pression HP

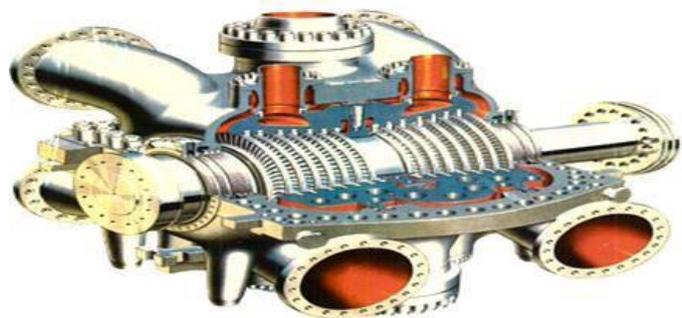


Figure I.6 : Corps moyenne pression MP

I.9.1 Caractéristiques de la turbine

Longueur : 16,125 m. Largeur : 13 m. Poids : $500 \cdot 10^3$ kg.
 Vitesse de rotation : 3000 tr/min. Puissance : 176 MW (pleine charge)

Corps HP : il est à simple flux avec un soutirage S6 qui alimente les réchauffeurs hauts pression (HP₆).

- A l'entrée du corps : Pression : 138 bars. Température : 540°C.
- A la sortie du corps : Pression : 40 bars. Température : 357°

Corps MP il est à double flux avec deux soutirages S5 et S4.

- A l'entrée du corps : Pression : 35,9 bar. Température : 535°C.

Chapitre I : présentation de la centrale CAP DJINET

- A la sortie du corps : Pression : 5,52 bar. Température : 282°C.
- Le soutirage S5 alimente le réchauffeur haut pression (HP₅) avec une température de 423°C, et d'une pression de 16,5 bars.
- Le soutirage S4 alimente la bêche alimentaire avec une température de 282°C, et d'une pression de 5,5 bars.

Corps BP il est à double flux avec trois soutirages, l'entrée de ce corps est liée directement avec la du corps MP par une conduit.

- Le soutirage (S3) : alimente le 3^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 173°C, et d'une pression de 1,77 bar.
- Le soutirage (S2) : alimente le 2^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 89°C, et d'une pression de 0,65 bar.
- Le soutirage (S1) : alimente le 1^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 56°C, et d'une pression de 0,15 bar.

I.10 Les Réfrigérants

I.10.1 Réfrigérants d'été (Réfrigérants d'eau d'extraction)

Les réfrigérants d'été servent à refroidir l'eau d'extraction dans le cas de température élevées dans le circuit (généralement en été d'où le nom de réfrigérants d'été). Les deux réfrigérants d'été utilisent l'eau de mer comme source froide.

I.10.2 Réfrigérants d'hydrogène

Le réfrigérant d'hydrogène sert à refroidir l'hydrogène contenu dans l'alternateur. Les quatre réfrigérants d'hydrogène (H2) (4*25%) sont logés horizontalement à l'intérieur de l'enveloppe de l'alternateur. C'est des échangeurs par surface qui refroidissent l'H₂ chaud par la méthode des courants croisés. L'échange de chaleur entre l'H₂ et l'eau de refroidissement s'effectue par l'intermédiaire de tubes à ailettes parcourus par l'eau.

I.11 Alternateur

L'alternateur est une machine transformatrice, c'est pour cela qu'il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

I.11.1 Caractéristiques de l'alternateur

La puissance maximale produite est de 176 MW. La tension : 15,5 KV.

La fréquence : 50 Hz.

L'intensité du courant : 8195 A



Figure I.7 : Alternateur de centrale CAP-DJINET

I.12 La partie électrique de la centrale thermique de CAP-DJINET

I.12.1 Transformateur principal

Ce transformateur évacue l'énergie produite par l'alternateur au réseau. Il est un transformateur à machine triphasée à bain d'huile à 220 MVA avec ajusteur de tension intégré pour le réglage du côté 235 KV. Ses données caractéristiques sont les suivantes :

- Puissance nominale : 220 MVA.
- Rapport de transformation : $235 \text{ KV} \pm 2 \times 2.5\% / 15.5 \text{ KV}$.
- Ajustage du rapport de transformation : du côté haute tension, le transformateur peut être ajusté en 5 positions ($\pm 2 \times 5875 \text{ V}$) à l'état sans tension au moyen de l'interrupteur à prises. L'interrupteur est manuellement actionné à l'aide du mécanisme à manivelle.
- Groupe de commutation : YNd 11.
- Refroidissement : refroidissement par circulation forcée d'huile ,3+1(réserve) radiateurs huile-air (3 ventilateurs et 1 pompe chacun). [4]

I.12.2 Transformateur de secondaire

Ce transformateur alimente les services intérieurs et les auxiliaires d'une tranche en transformant l'énergie directement de la tension de l'alternateur (15.5 KV) à celle du réseau intérieur (6.3 KV). Il est un transformateur des auxiliaires triphasé à bain d'huile à 20 MVA avec commutateur de tension en charge intégré pour le réglage du côté 15.5 KV. Ses données caractéristiques sont les suivantes :

- Puissance nominale : Sans ventilateurs (ONAN) 14 MVA. Avec ventilateurs (ONAF) 20 MVA., Rapport de transformation : $15.5 \text{ KV} \pm 9 \times 1.2 \% / 6.3 \text{ KV}$.
- Commutateur de réglage en charge : du coté haute tension, le transformateur peut être réglé en 19 positions ($\pm 9 \times 1830 \text{ V}$) au moyen d'un commutateur en charge. Le commutateur de réglage en charge est commandé par moteur électrique.
- Groupe de commutation : Ydl 1.
- Refroidissement : ONAN/ONAF :

Refroidissement par circulation naturelle d'huile ,15 radiateurs huile-air (15 ventilateurs).



Figure I.8 : Transformateur principal et Transformateur secondaire de CAP-DJINET

I.12.3 Transformateur de réseau

Ce transformateur est alimenté par un réseau local de 6.3 KV et sert à alimenter les services intérieurs et les auxiliaires de la centrale de 6.3 KV. Chaque fois que les transformateurs de soutirage sont hors de service, ou qu'ils ne peuvent pas marcher en pleine charge. Il est un transformateur de démarrage triphasé à bain d'huile à 20 MVA avec commutateur de tension en charge intégré pour le réglage du coté 6.3KV. Ses données caractéristiques sont les suivantes :

- Puissance nominale : sans ventilateurs(ONAN) 14 MVA. avec ventilateurs(ONAF) 20 MVA.
- Rapport de transformation : $6.3 \text{ K V} \pm 9 \times 1.2 \% / 6.3 \text{ K V}$.
- Commutateur de réglage en charge : pour la mise au point de la transformation coté haute tension (19 positions $15.5 \text{ KV} \pm 9 \times 1.2\%$), un commutateur de réglage de tension en charge est intégré dans le transformateur. Ce commutateur triphasé est actionné par moteur

commandé d'un tableau dans la salle de commande, les positions sont indiquées sur le tableau de couplage et dans la salle de commande.

- Groupe de commutation : YNyO/d.
- Refroidissement : la surface des radiateurs est dimensionnée de façon à ce que lors de la transmission de la puissance ONAN (14 MVA). La température max, admissible de l'huile ne soit pas dépassée.

I.13 Salle de commande centralisée

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis la salle de commande. La salle de commande comprend pour chaque tranche :

Deux (02) pupitres de conduits.

- Deux (02) tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
- Un (01) tableau Synoptique schématisant les auxiliaires électriques.



Figure I.9 : Salle de commande

I.14 Conclusion

La centrale « CAP-DJINET » située à l'est de la wilaya d'Alger d'une superficie de 35 hectares extensible, assure une capacité de production de 672 MW/ jour, et cela dû à son emplacement qui est basé sur des critères géographiques, techniques et selon le besoin. Cette centrale a atteint son max de production dès les années 86, en transformant de l'énergie latente (énergie chimique) en énergie calorifique, puis en énergie mécanique et enfin on aboutit à l'énergie électrique, tout ce processus est assuré par les différents composants de la centrale à

Chapitre II: Etude Théorique sur les transformateurs

II.1 Introduction

Le transformateur joue un rôle essentiel dans le secteur du transport et de la distribution de l'énergie électrique. Il permet efficacement le transport à longue distance de l'énergie électrique, suivie de sa distribution aux industries et aux habitations.

Le deuxième chapitre de ce travail commence par présenter le contexte dans lequel les transformateurs de puissance s'inscrivent. Il explique en détail les principes de fonctionnement des transformateurs, les différentes catégories existantes, ainsi que les éléments clés qui les composent.

II.2 Historique

En 1820, Hans Christian Oersted, physicien danois a découvert qu'un conducteur véhiculant un courant génère un champ magnétique. Quelques années plus tard, en 1830, Josef Henry donne corps aux notions d'induction et de self-induction. En 1831 l'anglais Michael Faraday a une série d'expériences avec un appareil constitué d'un anneau de fer et d'enroulements de fil cuivre isolé.

En 1832 Lucien Gaulard (1850-1880), jeune électricien français, chimiste de formation, présente à la société Française des Électriciens un « générateur Secondaire », dénommé depuis transformateur. Devant le scepticisme de ses compatriotes, il s'adresse à l'anglais Gibbs et démontre le bien-fondé de son invention à Londres.

En 1883, Lucien Gaulard et John Dixon Gibbs réussissent à transmettre pour la première fois, sur une distance de 40 km, du courant alternatif sous une tension de 2000 Volts à l'aide de transformateur avec un noyau en forme de barres.

En 1884 Lucien Gaulard met en service une liaison bouclée de démonstration (133 Hz) alimentée par du courant alternatif sous 2000 Volts et allant de Turin à Lanzo et retour (80 km). On finit alors par admettre l'intérêt du transformateur qui permet d'élever la tension délivrée par un alternateur et facilite ainsi le transport de l'énergie électrique par des lignes à haute tension. La reconnaissance de Gaulard interviendra trop tardivement. Entre-temps, des brevets

Gaulard attaque, perd ses procès, et finit ses jours dans un asile d'aliènes. Le transformateur de Gaulard de 1886 n'a pas grand-chose à envier aux transformateurs actuels, son circuit magnétique fermé (le Prototype de 1884 comportait un circuit magnétique ouvert, d'où un bien médiocre rendement) est constitué d'une multitude des fils de fer annonçant le circuit feuillu a

tôles isolées

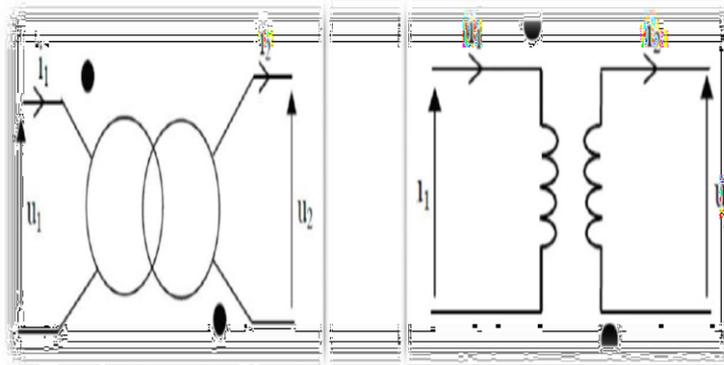


Figure II.1 : schéma du transformateur

II.3 Définition de transformateur

Le transformateur est une machine électrique statique destinée à transformer une tension et un courant alternatifs en une autre tension et courant alternatifs de même fréquence, et d'amplitudes généralement différentes selon les besoins d'utilisation. Comme on peut l'appeler convertisseur statique à induction qui comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, inductivement couplés et destiné à la conversion, par l'intermédiaire de l'induction électromagnétique, des paramètres (Tension, intensité de courant, fréquence, nombre de phases) de l'énergie électrique à courant alternatif. [5]

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 (200kV et 400kV et Plus Entre phases), puis d'abaisser ensuite cette tension, étape par étape pour alimenter les réseaux de distribution régionaux et locaux jusqu'à la tension d'alimentation domestique.



Figure II.2 : Transformateur monophasé.



Figure II.3 : transformateur triphasé

II.3.1 Symbole de transformateur

Les bornes sont homologues, repérées par des points sur le schéma, si i_1 entrant par l'une et i_2 entrant par l'autre créent dans le circuit magnétique des champs magnétiques de même sens.

II.3.2 Schéma équivalent

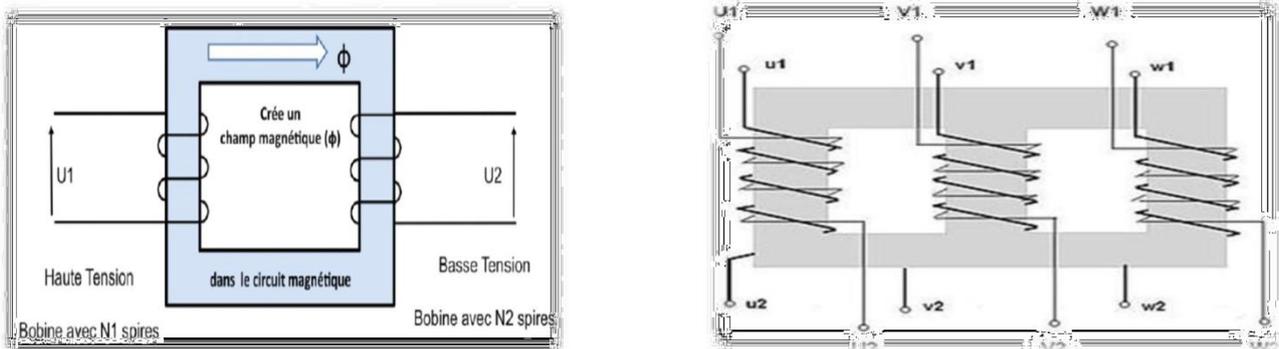


Figure II.4 : Schéma d'un transformateur monophasé et Symbole d'un transformateur triphasé de type colonne.

II.3.3 Principe de fonctionnement

Un transformateur comprend essentiellement deux circuits électriques montés sur un circuit magnétique, l'un des circuits électriques dit enroulement primaire comporte N_1 spires étant raccordé à une source de tension alternatif U_1 , le courant I_1 qui traverse cet enroulement donne naissance à un flux ϕ_m dans le circuit magnétique. Ce flux induit une force électromotrice dans le deuxième enroulement dit « enroulement secondaire » de N_2 spires aux bornes duquel apparaît une tension U_2 .

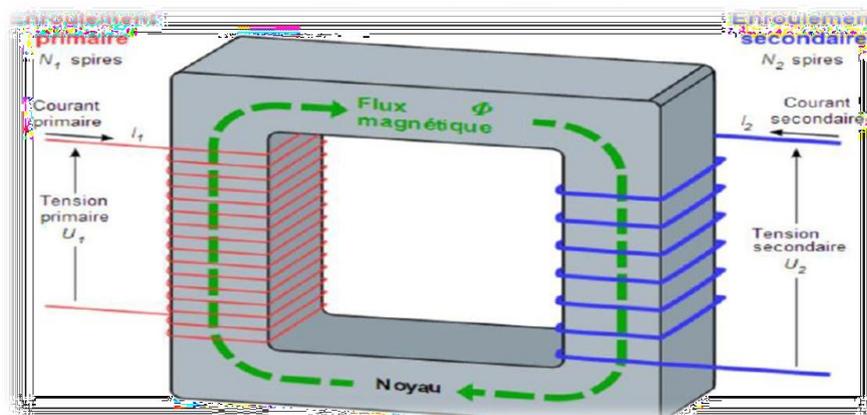


Figure II.5 : Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance.

II.3.4 Différent types de fonctionnement

II.3.4.1 Fonctionnement à vide

Le fonctionnement à vide consiste à appliquer la tension nominale en gardent le secondaire à vide. La mesure du courant, de la puissance et de la tension permet la détermination des paramètres et pertes fer ($I_2=0$).

II.3.4.2 Fonctionnement en court-circuit

Le fonctionnement en court-circuit permet la détermination des paramètres et pertes joule, consiste à appliquer la tension réduite (valeur minimale) au primaire en gardent le secondaire en court-circuit. Puis on augmente la tension primaire jusqu'à ce que le courant secondaire atteigne sa valeur nominale. On mesure le courant et la puissance de court-circuit.



Figure II.6: Fonctionnement à vide et Fonctionnement en court-circuit.

Rendement

Le rendement de transformateur par définition égale le rapport de la puissance fournie par le secondaire sur la puissance absorbée au primaire.

$$\eta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{\text{puissance fournie par le secondaire}}{\text{puissance au primaire}}$$

II.4 Différents types de transformateur

II.4.1 Transformateur de puissance

Un transformateur de puissance est un composant électrique haute-tension essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la commission 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 la puissance électrique ». 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 zig-zag.

II.4.2 Transformateur de contrôle

Les transformateurs de commande et contrôle sont généralement utilisés dans des circuits électroniques qui nécessitent une tension constante ou de courant constant avec une puissance faible ou volt - ampère attribuée.



Figure II.7 : Transformateur de contrôle et Transformateur de puissance.

II.4.3 Autotransformateur

L'autotransformateur est généralement utilisé dans les applications de faible puissance lorsqu'une tension variable est requise. C'est un type spécial de transformateur de puissance.

Il se compose d'un seul enroulement. Par le long de l'enroulement. Dans ce type de transformateur particulier, il n'y a pas d'isolation électrique entre le primaire et le secondaire.

La conséquence est qu'une partie du bobinage est traversé par le secondaire car le secondaire est une partie de l'enroulement primaire. Le courant alimentant le transformateur parcourt le primaire en totalité et une dérivation à un point donné de celui-ci détermine le seul courant du primaire alors que l'autre partie est traversée par le courant du primaire moins celui du secondaire ; la section du bobinage doit être adaptée à ces courants atypiques pour un transformateur.

Le rapport entre la tension d'entrée et la tension de sortie est identique à celui d'un transformateur à enroulements primaire et secondaire isolés entre eux.

II.4.4 Transformateur d'isolement

C'est un transformateur qui crée une isolation galvanique entre son primaire et son secondaire, ils servent à assurer la sécurité d'une installation en protégeant des électrocutions par exemple. La séparation galvanique permet aussi d'éliminer une partie du bruit électrique, ce qui est utile pour certains appareils électroniques sensibles. La composante continue du courant est en effet bloquée par un transformateur.

Ce type est largement utilisé dans les blocs opératoires, chaque salle du bloc est équipée de son propre transformateur d'isolement, pour éviter qu'un défaut dans un bloc n'affecte les autres.



Figure II.8 : Autotransformateur et transformateur d'isolement.

II.4.5 Transformateur de potentiel

Transformateur de potentiel (TP) baisse la tension d'un circuit à une valeur faible qui peut être efficacement et en toute sécurité utilisé pour le fonctionnement des instruments de mesure et de protection tels que voltmètres, wattmètres et relais.

II.4.6 Transformateur de courant

Transformateur de courant (TC) baisse le courant d'un circuit à une valeur inférieure et utilisé dans les mêmes types d'équipements comme un transformateur de potentiel. Cela se fait par la construction de la bobine secondaire constitué d'un grand nombre de spires de fil autour de la bobine primaire, qui ne contient que quelques spires de fil. De cette manière, les mesures des valeurs élevées de courant peuvent être obtenues.

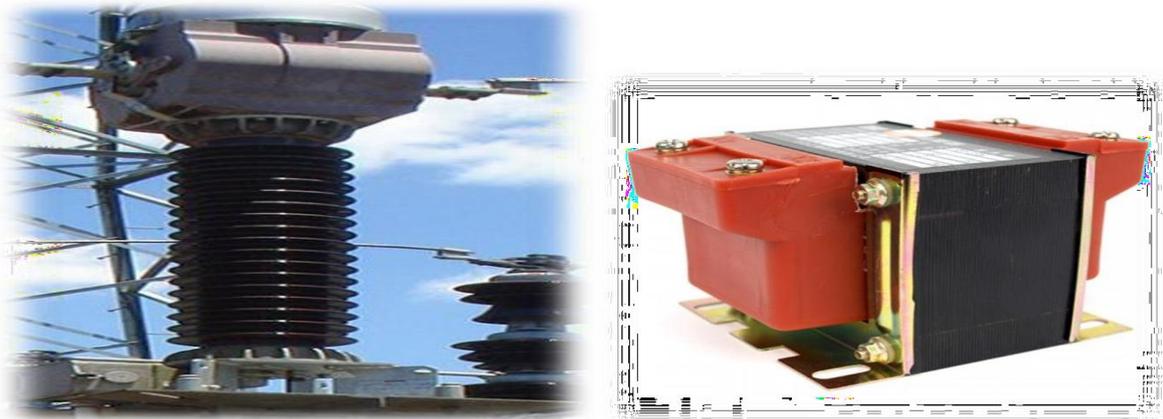


Figure II.9 : Transformateur de courant et Transformateur de potentiel.

II.4.7 Transformateur de distribution

Les transformateurs de distribution sont des transformateurs utilisés pour fournir des quantités d'énergies relativement faibles aux clients. Ils sont utilisés à la fin du système de distribution dès l'installation électrique.



Figure II.10 : Transformateur de distribution.

II.5 Utilisations

Les transformateurs sont des appareils très employés dans les réseaux électriques et les applications industriels. [6]

- ✓ La sortie des centrales électriques,
- ✓ Transport d'énergie électrique
- ✓ Distribution d'énergie électrique
- ✓ Les applications industrielles (transformateur de four et sous-station ferroviaires). Un transformateur peut assurer deux fonctions

- :
- ✓ Elever ou abaisser une tension alternative monophasée ou triphasée,
 - ✓ Assurer l'isolation entre deux réseaux électriques (isolation galvanique entre deux réseaux électriques).

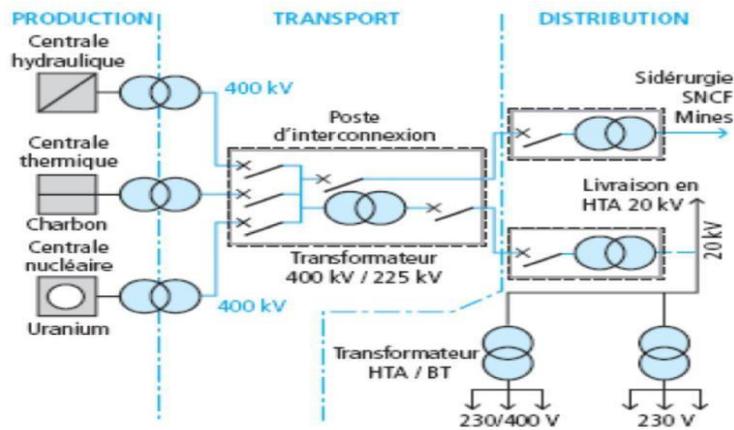


Figure II.11 : Emplacement d'un transformateur dans le réseau électrique.

II.6 Choix de couplage

Le groupe de couplage désigne l'association des couplages des enroulements choisis pour la haute tension et pour la basse tension. L'enroulement haute tension d'un transformateur triphasé de nombre de spires N_1 peut être connecté en étoile (symbole Y) ou en triangle (symbole D). L'enroulement basse tension avec un nombre de spires N_2 peut être connecté en étoile (y), en triangle (d) ou en zigzag (z). Les systèmes des tensions du primaire et du secondaire d'un transformateur triphasé sont en général déphasés avec un angle Θ . Comme cet angle est multiple de $\pi/6$, on définit l'indice horaire par : $I = \Theta / (\pi/6)$.

Les couplages qui sont particulièrement utilisés en pratique ce sont couplages normalisés : Y y 0, d y 11, y z 11.

Pour représenter le schéma d'un transformateur triphasé, on fait les conventions suivantes : A, B, C les bornes de la haute tension, a, b, c les bornes de la basse tension.

II.6.1 Couplage étoile-étoile

Pour le couplage étoile - étoile, les tensions aux bornes des bobines du primaire et du secondaire de la même colonne sont des tensions simples. Ce qui permet de construire le diagramme vectoriel. Le déphasage Θ de basse tension par rapport à la haute tension est nul, ce qui donne un indice horaire $I=0$.

II.6.2 Couplage triangle-étoile

Pour le couplage triangle - étoile la tension aux bornes d'une phase du primaire est une tension composée, alors que la tension aux bornes de la phase correspondante du secondaire est une

tension simple. Le rapport de transformation est $m = \sqrt{3} \cdot (N_2/N_1)$. Le déphasage entre les tensions primaires et le secondaire est de $(-\pi/6)$, ce que vent dire l'indice horaire est I=11

II.6.3 Couplage étoile-zigzag

Pour Le couplage étoile zigzag, la tension aux bornes d'une phase du primaire est une tension simple alors qu'une tension aux bornes d'une phase du secondaire est la somme des deux tensions aux bornes de demi-bobines ce que permet de construire le diagramme vectoriel. . Le rapport de transformation est $m = \sqrt{3} \cdot (N_2/N_1)$. Le déphasage Θ entre les tensions est de $(-\pi/6)$, ce que vent dire l'indice horaire est I= 11.

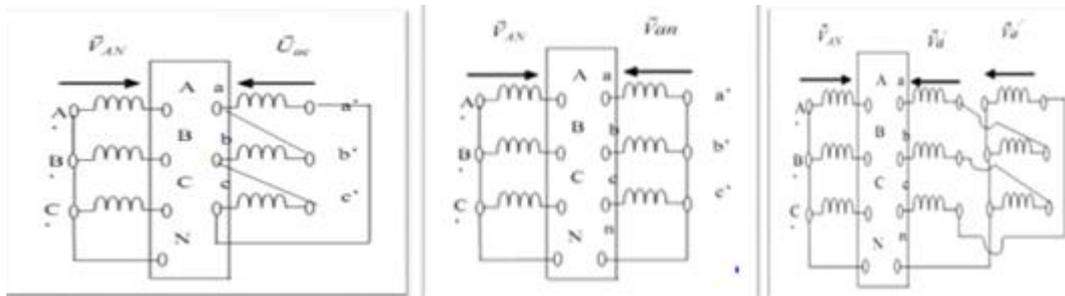


Figure II.12 : Couplage triangle et étoile et étoile-étoile et étoile-zigzag

II.7 Technologies de construction de transformateur de puissance.

II.7.1 Partie active : La partie active d'un transformateur est définie comme le circuit magnétique et les enroulements.

II.7.2 Circuit magnétique : Le rôle du circuit magnétique est de canaliser le flux magnétique produit par l'excitation de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire.

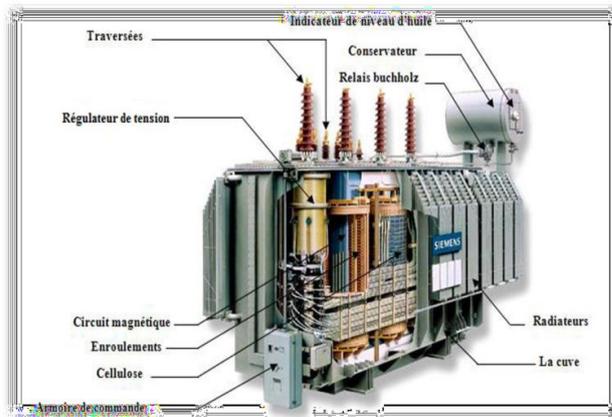


Figure II.13 : Vue intérieure d'un transformateur, type colonne.

Le noyau se compose d'un empilage de tôles ferromagnétique de haute perméabilité et à grains orientés, isolées électriquement entre elles. Il doit être conçu de façon à réduire les pertes par courant de Foucault et par hystérésis qui se produisent lors de la variation périodique du flux magnétique. Afin de minimiser les pertes on procède à

- ✓ l'emploi d'acier magnétique doux ayant une petite surface du cycle d'hystérésis et de faible perte par hystérésis,

Suivant la forme du circuit magnétique on distingue deux dispositions principales qui sont

Type cuirassé : Pour ce type de transformateur, le circuit magnétique entoure complètement l'enroulement des deux côtés. Ces transformateurs sont utilisés principalement au sein des réseaux de transport et de distribution, ou les surtensions transitoires sont fréquentes.

Pour cela des écrans sont utilisés afin de réduire les contraintes liées aux champs électriques dans les bobinages.

Type colonnes : Le transformateur à colonnes est constitué de deux enroulements concentriques par phase. Ces enroulements sont montés sur un noyau ferromagnétique qui se referme à ses extrémités via des culasses afin d'assurer une bonne canalisation du flux magnétique.

Dans cette technologie. Les enroulements qui entourent le circuit magnétique de manière à maximiser le couplage tout en minimisant le volume des conducteurs. Cette disposition plus simple que le précédent est utilisée pour les transformateurs de haute tension et les grandes puissances. Les enroulements peuvent être disposés sur un circuit magnétique trois colonnes (noyaux). Ce type de circuit magnétique est dit à flux force.

Si le déséquilibre est important. On utilise les transformateurs à quatre ou cinq colonnes. Dont trois sont bobinées et les autre servent au retour des flux.

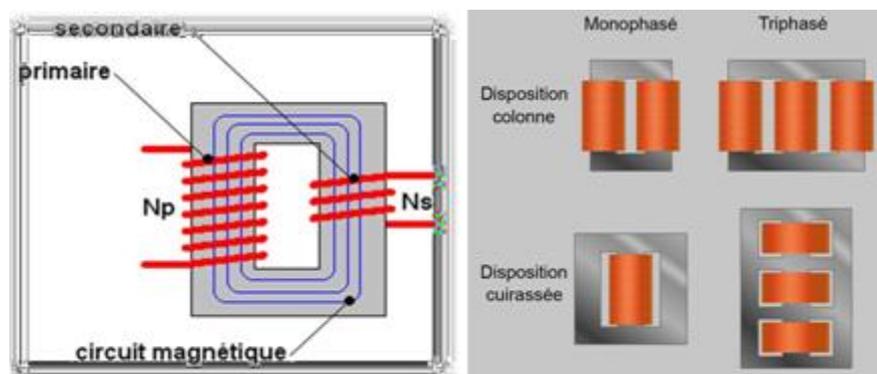


Figure II.14 : Circuit magnétique et circuit magnétique triphasé type cuirassé et type colonnes..

II.8 Enroulements

Les enroulements sont constitués des conducteurs transportant le courant ils sont enroulés autour des sections de l'âme, et ceux-ci doivent être correctement isolés, soutenus et refroidis à résister à des conditions d'exploitation et d'essai.

Le cuivre et l'aluminium sont les principaux matériaux utilisés pour la fonction les enroulements des transformateurs de puissance. Bien que l'aluminium soit plus léger et moins coûteux que le cuivre, une section transversale du conducteur en aluminium plus importante doit être utilisée pour transporter un courant avec une performance similaire à celle du cuivre. Le cuivre a une résistance mécanique plus élevée et il est utilisé presque exclusivement, sauf dans les gammes de plus petite taille, où des conducteurs en aluminium peuvent être tout à fait acceptables.



Figure II.15 : Enroulements.

II.9 Isolation

Dans la partie active d'un transformateur de puissance on trouve deux types d'isolation

II.9.1 Isolation cellulosique

Les matériaux isolants solides appliqués tels que le papier, compressé, le cylindre isolant et le carton sont faits à partir des matériaux cellulosiques qui constituent le meilleur compromis technico-économique de l'isolation du système imprégné dans les transformateurs de puissance.

II.9.2 Isolation liquide

L'huile du transformateur est souvent une huile minérale qui est faite d'un mélange d'alcanes, de naphènes, et des hydrocarbures aromatiques, raffinés à partir du pétrole brut.

Les processus de raffinage pourraient inclure le traitement par l'acide, l'extraction par solvants, l'hydrotraitement, ou la combinaison de ces méthodes. Le raffinage lorsqu'il est parfaitement achevé, peut rapporter les caractéristiques de l'huile minérale aux spécifications exigées. Le rôle fondamental de l'huile est d'assurer l'isolation diélectrique et le refroidissement du transformateur. Les huiles modernes procurent plus de stabilité à la dégradation, et elles sont dépourvues de soufre corrosif.

Au plus, elles devraient avoir les caractéristiques suivantes :

- ✓ Point d'inflammabilité et de congélation bas,
- ✓ Rigidité électrique élevée, basse viscosité et bonne résistance à l'électrification statique.

II.10 Réservoir

Le réservoir comporte deux parties principales,

II.10.1 Réservoir

Le réservoir est fabriqué par assemblage et soudage des tôles d'acier pour être utilisé comme un récipient destiné à contenir l'assemblage de noyau et la bobine en même temps que l'huile isolante. Les cuves de transformateurs sont conçues pour sceller le transformateur de l'atmosphère extérieure.

II.10.2 Conservateur

Le réservoir principal est équipé d'un réservoir d'expansion (conservateur) qui permet l'expansion de l'huile pendant le fonctionnement. Le conservateur est conçu pour maintenir un vide total et peut être équipé d'une membrane en caoutchouc empêchant le contact direct entre l'huile et l'air.

II.10.3 Contrôle de la tension de réglage

Un changeur de prise est un dispositif monté sur les transformateurs de puissance pour la régulation de la tension de sortie à des niveaux requis. Ceci est normalement réalisé en changeant les rapports des transformateurs sur le système en modifiant le nombre de spires dans un enroulement primaire du transformateur approprié.

II.10.4 Douille

Une douille est un élément électrique qui permet à un conducteur à haute tension de passer en toute sécurité à travers une paroi métallique reliée à la terre ou à l'enveloppe. La douille est creuse, ce qui permet de connecter à ses deux extrémités, un autre équipement.

II.11 Système de refroidissement

Les pertes à vide et les pertes en charge sont les deux importantes causes de l'échauffement du transformateur. Ils sont pris en compte dans la modélisation thermique des transformateurs de puissance.

Les pertes à vide sont dues à de l'hystérésis et aux courants de Foucault dans le noyau du transformateur, et ces pertes sont présentes à chaque fois que le transformateur est mis sous tension. La perte d'hystérésis est due aux aimants élémentaires dans le matériau aligner avec le champ magnétique alternatif.

Les pertes en charge sont la source la plus importante de l'échauffement du transformateur constitué par la perte de cuivre due à la résistance de l'enroulement et du perte en charge due aux courants de Foucault dans les autres parties de la structure du transformateur.

Tous ces facteurs sont pris en compte dans les calculs de la performance du transformateur thermique.

II.11.1 Modes de refroidissement

Le refroidissement d'un transformateur de puissance est assuré par l'un des modes suivants:

- Huile liquide isolant, liquide synthétique isolant non inflammable, Gaz, Eau, Air.
- Les types de circulation pour le fluide de refroidissement et leurs symboles sont naturels et Forcé.

Chaque méthode de refroidissement du transformateur est identifiée par quatre symboles. La première lettre représente le type de l'agent de refroidissement en contact avec l'enroulement la seconde lettre représente le type de circulation pour le fluide de refroidissement, la troisième lettre représente le milieu de refroidissement qui est en contact avec le système de refroidissement externe et le quatrième symbole représente le type de circulation pour le milieu extérieur.

II.12 Transformateurs immergés

En général, les transformateurs sont de type à bain d'huile. L'huile utilisée à cette fin est un minéral, ce qui assure une meilleure isolation, en plus le refroidissement.

- **Bain d'huile refroidi Air naturelle « ONAN »**

Dans ce cas, l'ensemble de noyau d'enroulement est immergé dans l'huile. Le refroidissement est obtenu par circulation d'huile sous la tête thermique naturelle seulement.

Dans les grands transformateurs la zone de surface du réservoir seul n'est pas suffisante

pour la dissipation de la chaleur produite par les pertes. Une surface additionnelle est obtenue avec la disposition de radiateurs.

- **Bain d'huile Air souffle « ONAF »**

Dans ce cas, la circulation de l'air est obtenue par les fans. Il devient possible de réduire la taille du transformateur pour la même cote, et par conséquent d'économiser des coûts.

- **Bain d'huile refroidi par eau « ONWN »**

Dans ce cas le serpentin de refroidissement interne est utilisé à travers lequel l'eau peut s'écouler apparemment, ce système de refroidissement suppose la fourniture gratuite de l'eau. Ce type de refroidissement a été utilisé dans les modèles plus anciens.

- **Huile forcé Air souffle refroidi « OFAF »**

Ce système de refroidissement également la circulation de l'huile est forcée par une pompe. De plus les fans sont ajoutés à des radiateurs pour souffler l'air forcé.

- **Huile forcé à refroidissement par air naturel « OFAN »**

Dans ce procédé de refroidissement, la pompe est utilisée dans le circuit d'huile pour une meilleure circulation de l'huile.

- **Eau et Huile forcé et Refroidi « OFWF »**

Dans ce type de pompe de refroidissement est ajouté dans le circuit d'huile pour forcer la sa circulation, à travers un échangeur de chaleur séparé dans lequel l'eau peut s'écouler.

- **Transformateurs à air refroidi**

Ces transformateurs sont de très faible puissance (par exemple de 5 à 10 KVA) et sont refroidis par circulation d'air

- A. Air naturel (UN). B. Air forcé (AF).

II.13 Relais des Buchholz

Dans le domaine de la distribution et du transport de l'électricité, un relais Buchholz est un dispositif de sécurité monté sur les transformateurs de puissance à bain d'huile. Il est utilisé sur ce type de systèmes comme dispositif de protection sensible aux événements qui se produisent lors d'un défaut diélectrique (défaut d'isolement) à l'intérieur de l'équipement. [7]

Elle utilise le principe en raison des défauts l'huile dans le réservoir se décompose, générant des gaz. Le 70% de ces gaz est de l'hydrogène qui est léger et monte vers le haut vers conservateur à travers le tuyau partant. Les Relais Buchholz est connecté à la conduite comme est représenté sur

la Figure en raison du gaz recueilli dans la partie supérieure du relais Buchholz; le relais fonctionne et donne alarme.

II.13.1 Cuve

La constitution de la cuve de transformateurs est liée aux calculs thermiques, généralement elle est fabriquée en acier.

La cuve sert à la protection de la partie active du transformateur, elle est ajourée pour permettre la circulation naturelle de l'air autour du transformateur elle assure plusieurs rôles tels que :

- ✓ Réservoir d'huile,
- ✓ Assurer la résistance en court-circuit,
- ✓ Maintenir à l'intérieur de la cuve la majorité du flux de fuite produit par le courant dans les enroulements.

II.13.2 Traversées

Les traversées isolantes ont pour but d'assurer la liaison électrique entre les extrémités des enroulements primaire et secondaire, d'une part, et les lignes d'arrivée et de départ, d'autre part, à travers le couvercle d'où le nom de traversées. Leurs fonctions sont principalement l'isolement du champ électrique et une fixation étanche et robuste sur le couvercle.

Il existe plusieurs types de traversée. Pour les tensions jusqu'à quelques dizaines de kV le corps des traversées est généralement constitué d'un bloc unique de porcelaine qui est un matériau isolant.



Figure II.16 : Connexion de relais de Buchholz, cuve et Traversées d'un transformateur de puissance.

II.14 Puissance des transformateurs. [8]

Puissance active (W)..... $P_a = \sqrt{3}.U.I.\cos \alpha$

Puissance réactive (VAR)..... $P_R = \sqrt{3}.U.I.\sin \alpha$

Puissance apparente (VA)..... $S = \sqrt{3}.U.I$

II.15 Conclusion

Au cours de cette section, nous avons abordé certaines notions générales concernant les transformateurs. Nous avons également fourni un aperçu des composants clés qui les composent, ainsi que de leur rôle et de leur importance dans cette machine statique.

**Chapitre III:
Maintenance de transformateur
de puissance**

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps, les notions des maintenance puis les concepts de la maintenance appliquée à l'étude des transformateurs de puissance, en citant les différents défauts qui peuvent survenir durant son service, ainsi que l'introduction sur le diagnostic de défaut et les démarches de diagnostic sur un transformateur.

En deuxième partie de ce chapitre, on va présenter une base théorique sur la maintenance préventive dans notre transformateur d'huile de l'entreprise de cap Djanet

III.2 Définition de la maintenance

Selon la norme européenne NF EN 13306 X 60-319, La maintenance est définie comme étant : «Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise».

«Maintenir: c'est effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration...etc.), qui permettant de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production ».

La maintenance a pour but :

- ✓ ·Le maintien du capital machine.
- ✓ ·La suppression des arrêts et des chutes de production (garantir la capacité de livraison).
- ✓ ·L'amélioration de la sécurité et la protection de l'environnement.

De cette définition, il est possible de concevoir plusieurs concepts de très grandes importances regroupées de la sorte :

III.3 Concepts de la maintenance

Parmi ces concepts deux sont particulièrement fondamentaux : MAINTENIR et RETABLIR, le premier concerne la maintenance préventive et le deuxième la maintenance corrective.

Ces deux types de maintenance sont à l'origine de la stratégie globale de la maintenance dans une entreprise.

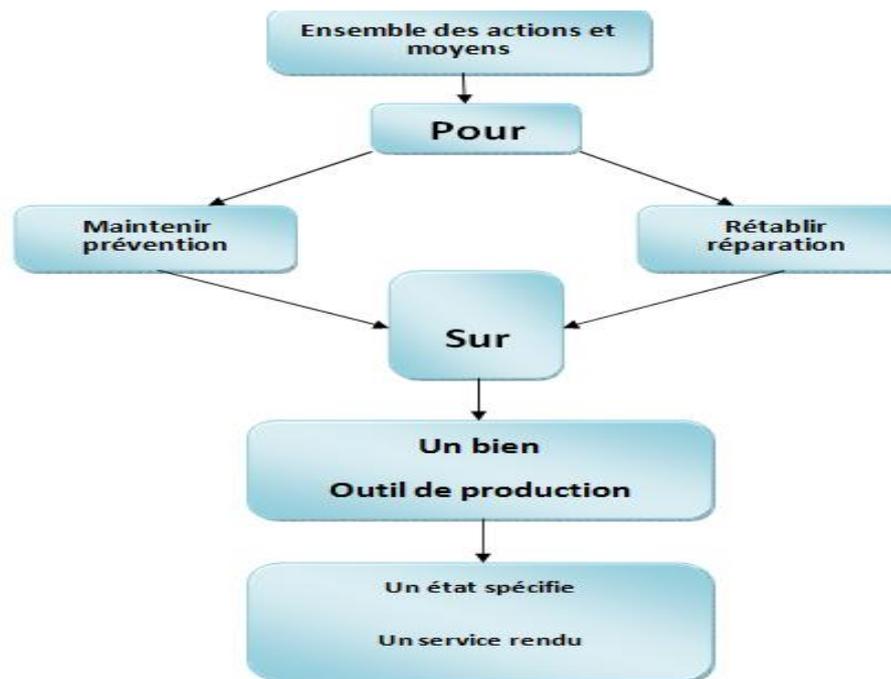


Figure III.1 : Les concepts de la maintenance.

III.4 Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

- Objectifs financiers
 - Optimisation du coût de la maintenance.
 - Entretenir les installations avec un minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- Objectifs opérationnels
 - Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
 - Assurer la disponibilité maximale de l'équipement
 - Augmenter la durée de vie des équipements.
 - Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.
 - Augmenter le rendement des équipements

III.5 .Les types de la maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut donc être informé d'une part des objectifs de la direction et des enjeux de l'entreprise, et d'autre part il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

Le diagramme suivant synthétise les méthodes et types de maintenance :

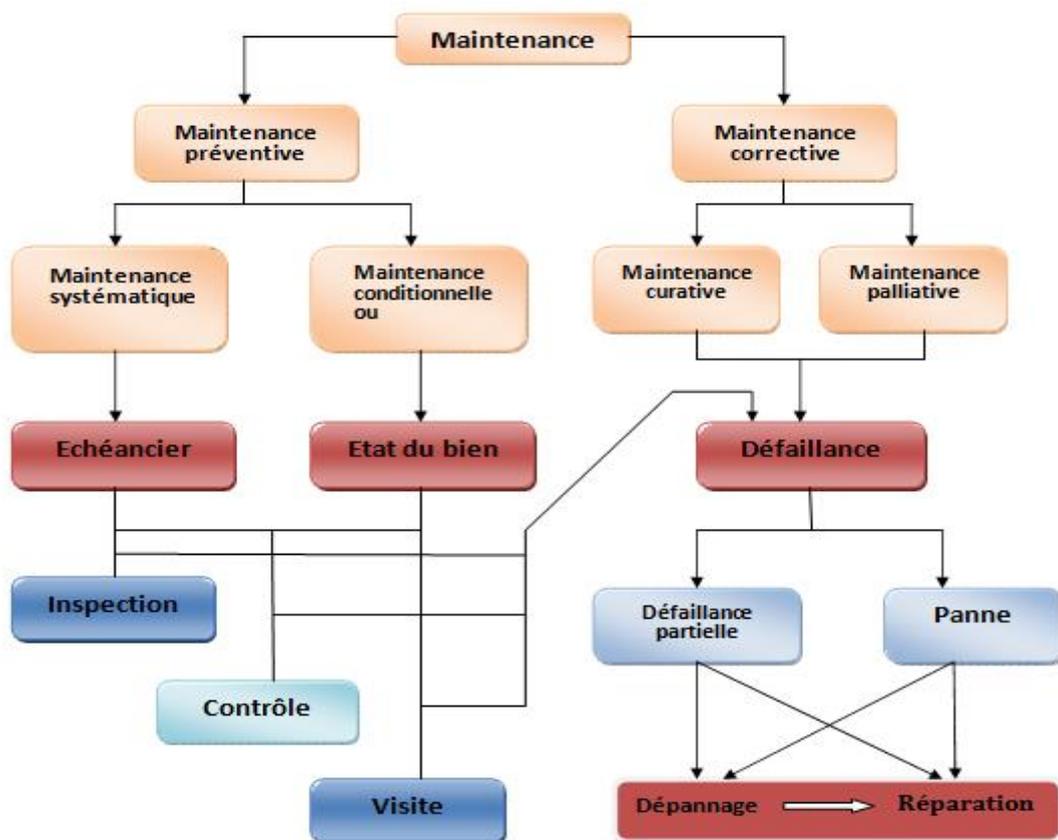


Figure III.2 : Diagramme des types de maintenance.

III.6 Méthodes de maintenance

III.6.1 .Maintenance corrective

Selon la norme européenne NF EN 13306 X 60-319,c'est une maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

Elle correspond à une attitude passive d'attente de la panne ou de l'incident ; la réaction consiste alors à éliminer le défaut, grâce à un dépannage ou une réparation.

La défaillance peut être partielle, la fonction du matériel est lors altérée ;ou bien la défaillance est totale, à ce moment le matériel complètement à l'arrêt (panne).

III.6.1.1 La maintenance palliative

Est un ensemble d'activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement une fonction ou partie d'une fonction, elle est appelée couramment dépannage.

III.6.1.2 la maintenance curative

Est un ensemble d'activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Les activités pouvant être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

III.6.2 Maintenance préventive

Selon la norme européenne NF EN 13306 X 60-319, c'est une maintenance effectuée avant l'apparition de la défaillance, selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation de service rendu.

C'est une intervention de maintenance prévue et programmée périodiquement, cette période est déterminée soit par le constructeur soit par l'utilisateur.

La maintenance préventive s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme importants pour l'entreprise.

Il convient donc d'organiser un système de maintenance visant à minimiser les pannes probables.

Il existe deux formes de maintenance préventive :

III.6.2.1 La maintenance préventive systématique

La maintenance préventive systématique se définit comme «une maintenance effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps ou du nombre d'unité d'usage» (extrait de la norme européenne NF EN 13306 X 60-319).

C'est l'ensemble des visites systématiques effectuées préventivement, préparées et programmées avant la date probable d'apparition d'une défaillance. Attendre que la machine tombe en panne pour la réparer semble être a priori la solution la plus mauvaise, c'est pourquoi certains utilisateurs choisissent la maintenance systématique périodique.

III.6.2.2 La maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle se définit comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostique, information d'un capteur, mesure d'une usure) révélateur de l'état de dégradation du bien» (extrait de la norme européenne NF EN 13306 X 60-319).

C'est un synonyme de la maintenance en condition « selon l'état » ou prédictive, terme réservé à l'usage aux machines tournantes.

Cette forme de la maintenance permet d'assurer le suivi continu du matériel en service dans le but de prévenir les défaillances attendues. La maintenance conditionnelle est liée à l'état de la machine.

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

III.7 Avantages et inconvénients

Maintenance préventive systématique

Les tâches sont planifiées, les immobilisations sont planifiées et les coûts sont très élevés.

Maintenance préventive conditionnelle

Les tâches ne sont pas planifiées, les coûts sont les plus faibles et les immobilisations sont les plus faibles.

Maintenance corrective

Les coûts sont les plus élevés, les délais d'intervention ne sont pas planifiés et les immobilisations sont plus importantes.

III.8 Critères de choix de la maintenance

Le choix de la politique d'entretien est l'analyse technique aboutissant à la meilleure politique d'entretien à un matériel quelconque tout en tenant compte de ses moyens humains et matériel disponibles, l'importance et le rôle de ce matériel, la sécurité du matériel et de personnel, La technologie du matériel.

III.9 Les 05 niveaux de la maintenance [9]

Les interventions de maintenance peuvent être classées par ordre croissant de complexité (selon norme X60-000 de 2002) :

Niveau 1 : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.

2eme niveau : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple.

3eme niveau : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.

4eme Niveau : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.

5eme niveau : Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.

III.10 Opérations de maintenance préventive

Les termes définis sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

✓ Inspection : Pour les transformateurs, l'inspection peut comporter : l'examen minutieux des fondations, de l'état extérieur des cuves, des fuites éventuelles, de l'état des isolants, etc.

✓ Contrôle : Pour les transformateurs le contrôle peut comporter : l'examen du niveau de l'huile, de l'état des surfaces des corps isolants, de l'état des relais Buchholz, de l'état de fonctionnement des équipements de protection et de commutation, etc.

✓ Visite (de maintenance) : Pour les transformateurs les visites peuvent comporter les mêmes opérations que pour le contrôle, si elles sont planifiées dans le temps

III.11 Opérations de maintenance corrective

Si les opérations de la maintenance préventive aboutissent à des actions correctives, ou, si un bien tombe en panne, on procède à des opérations de maintenance corrective. La maintenance corrective, selon les conditions, peut s'exprimer en deux activités :

➤ Dépannage : Action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement, au moins provisoirement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coût et de qualité, et dans ce cas sera suivi d'une réparation.

➤ Réparation : Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

III.12 Notions sur le transformateur de puissance de cap Djanet

La durée de service du transformateur bain d'huile est essentiellement déterminée par l'état du système d'isolation. Des matériaux ayant un bon comportement en longue durée, des conceptions avec une répartition aussi homogène que possible de la température et une protection contre des influences extérieures telles qu'oxygène et humidité créent les conditions préalables à cet effet.

La qualité obtenue à l'usine et lors de la mise en place doit autant que possible être maintenue lors de l'exploitation.



Figure III.3: Transformateur principal

N°	Designation	Unite	Valeur
01	Puissance apparent	MVA	220
02	Tension nominal HT	kV	235 □ 2x2,5 %
03	Tension nominal MT	kV	15,55
04	Tension de court-circuit	%	10
05	Courant nominal HT	A	515
06	Courant nominal MT	A	8195
07	Fréquence nominal	HZ	50
08	Type de refroidissement		ODAF
09	Poids Total	Tonnes	246
10	Type de régleur		à vide

Tableau III.1: Caractéristiques du Transformateur principal de la centrale de cap Djanet

III.13 Défaits dans les transformateurs

Les transformateurs sont dimensionnés pour résister aux contraintes de fonctionnement ; Conformément aux normes en vigueur. Certaines contraintes pourraient être à l'origine des Dysfonctionnements qui impacteraient non seulement les performances, mais aussi la durée de vie des transformateurs.

Un défaut peut résulter d'un court-circuit ou d'un circuit ouvert au niveau du bobinage Primaire ou secondaire. Un court-circuit provoque une augmentation de la température à l'intérieur de transformateur, ce qui conduit à la détérioration des isolants des conducteurs.

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

Le transformateur est donc déséquilibré de manière générale, sont distingués sur un transformateur, des défauts externes et des défauts internes :

- Les défauts externes : surviennent sur les dispositifs en liaison directe avec le transformateur. Généralement, des protections sont prévues pour l'endommagement du transformateur. Les défauts externes sont :
- Les surtensions et des surexcitations causées par les manœuvres sur les lignes et les

Générateurs.

- Les court-circuits sur les lignes ou entre ligne et terre
- Les surcharges, relatives à la sollicitation du transformateur
- Les surtensions transitoires créées par des conditions atmosphériques particulières
- Les défauts internes : s'observent sur les composants du transformateur, qui pour la plupart nécessite une analyse particulière afin d'être détectée. On peut citer :
- Les points chauds : échauffement anormal observé sur les dispositifs actifs du transformateur, ils se trouvent généralement sur les régulateurs ;
- Les court-circuits internes, entre spires, entre enroulements ou entre enroulements et noyau magnétique ou cuve.
- Les fuites d'huile : Le transformateur possède de nombreux joints en caoutchouc, typiquement en bas de cuve, à la base des bornes, aux raccords de la réfrigération. Dans le temps, ces joints peuvent se dégrader, se durcir, et provoquer des fuites;
- La dégradation de l'isolation : En fonctionnement, l'isolation du transformateur est soumise aux contraintes électriques, thermiques, mécaniques et environnementales. Le papier et l'huile interagissent pour produire des composés extractibles et utilisés dans le diagnostic des défauts

III.14 Diagnostic de défaut

Le diagnostic est une tâche hautement cognitive l'objectif visé par le diagnostic, consiste à déterminer les causes d'un dysfonctionnement à partir d'observation et de symptômes constatés, les principaux enjeux du diagnostic de défaut consiste à :

- Identifier et cibler les défauts et les dégâts éventuels.
- Identifier les causes de ces défauts, lorsque cela est possible.
- Estimer les risques inhérents à ces défauts.

III.15 Démarches de diagnostic sur un transformateur

La démarche de diagnostic sur un transformateur se déroule selon l'acheminement des étapes suivantes:

Observation : on obtient des données diverses sur un cas considéré.

Diagnostic : c'est la reconnaissance/détection d'un état de défaut suivant un processus dédié, par comparaison avec des fonctionnements en état normal ou anormal.

Localisation de défauts : en repartant de l'étape 1, et demandant plus d'informations par des questions et/ou des essais, on réitère le processus jusqu'à ce que le défaut soit identifié, ou l'absence de défaut confirmée.

Remise en état : du système avec des propositions pour aller dans ce sens.

Un exemple d'un cas réel, cette démarche se traduit par :

III.15.1 Observation

- Un exploitant appelle avec un problème ou une question sur un transformateur. Il est la première source d'information sur le transformateur et son environnement.
- L'interlocuteur de l'exploitant organise les informations fournies utiles pour le diagnostic. Ce seront les premières entrées du processus itératif qui suit.

III.15.2 Diagnostic

Un expert fait la synthèse des informations disponibles et émet des hypothèses sur le(s) défaut(s) le(s) plus probable(s).

III.15.3 Localisation de défauts

L'expert, s'il a des doutes, préconise des mesures complémentaires pour mieux localiser le défaut, ou infirmer sa présence, sans décuver le transformateur dans la mesure du possible. Les étapes 2 et 3 sont répétées jusqu'à atteindre une confiance suffisante dans le diagnostic établi.

III.15.4 Remise en état

Une fois le diagnostic posé, l'expert propose les actions nécessaires pour rétablir le fonctionnement normal du transformateur

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

La méthodologie de diagnostic mise en œuvre ici a prouvé son efficacité, mais repose entièrement sur l'expert. Or l'expertise en Algérie, est difficile et longue à acquérir, cela est dû à plusieurs facteurs, à savoirs: le nombre d'experts techniques est faible ou inexistant, une seule entreprise de conception et de fabrication de transformateurs est disponible et les modules d'enseignement des matières de maintenance et de fiabilité au sein des universités manquent de pratiques et d'application.

Dans ce contexte, un outil systématique d'aide au diagnostic, formalisant l'interprétation des informations et résultats de mesure, et en particulier les liens logiques récurrents qui peuvent l'être à l'avantage notable de faciliter le travail de l'expert.

III.16 Classification des défaillances en fonction de leur manifestation

III.16.1 Défaillance progressive : C'est la défaillance due à une évolution progressive des caractéristiques d'un bien. Ces défaillances concernent principalement le domaine mécanique. Ce type peut être repéré par un contrôle antérieur. Elle peut être évitée par la mise en place d'une maintenance spécifique.

III.16.2 Défaillance soudaine : C'est la défaillance brutale due à une évolution quasi instantanée des caractéristiques d'un bien. La soudaineté de l'apparition de ces défaillances rend impossible une anticipation pour une intervention avant manifestation.

III.17 Classification des défaillances en fonction de leur amplitude

III.17.1 Défaillance partielle : C'est la défaillance résultante de déviation d'une ou des caractéristiques au delà des limites spécifiées mais telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requise.

III.17.2 Défaillance complète : C'est la défaillance résultante de déviation d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiques telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complété de la fonction requise.

III.18 Défaillance intermittente

Ces défaillances résultent d'une perte de certaines des fonctions pour une très courte durée dans le temps. Le bloc fonctionnel retrouve ses performances d'opération tout de suite après la défaillance. (Exemple : défaut de connexion électrique.).

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

Les défaillances catastrophiques correspondent aux défaillances soudaines et complètes, alors que les défaillances dégradées correspondent aux défaillances partielles et progressives.

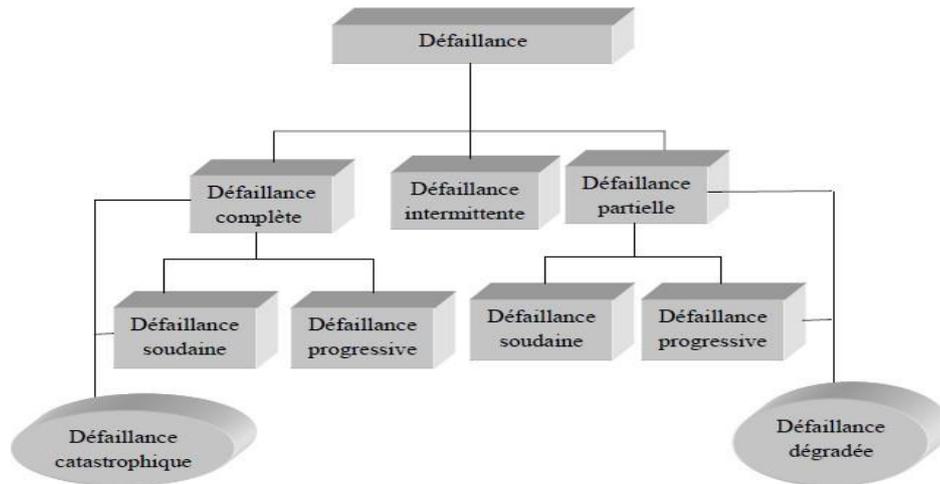


Figure III.4 : Classification des défaillances

III.19 Mode de défaillances des transformateurs

Le transformateur de puissance est un appareil relativement fiable. Sa durée de vie est de l'ordre de trente ans, dans des conditions normales d'exploitation. Les pannes importantes sont rares mais souvent problématiques, en particulier par rapport à l'indisponibilité du matériel. Un transformateur est dimensionné pour résister à ses contraintes de fonctionnement nominales dans le temps. Des écarts liés à des perturbations vont engendrer le stress des différents composants fonctionnels, entamant son potentiel de vie (Figure III.2). La répétition de ces événements engendrera par phénomène d'avalanche une destruction d'autant plus rapide. Ces contraintes peuvent être caractérisées par l'équation suivante :

$$\text{Taux de fatigue} = \Sigma (\text{écart} \times \text{temps de perturbation}) + \text{vieillesse naturelle}.$$

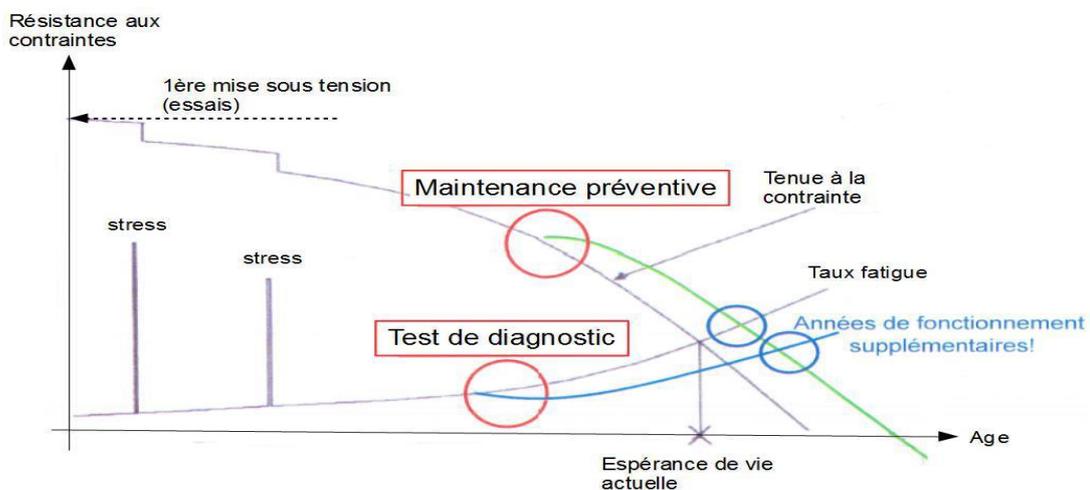


Figure III.5 : Durée de vie d'un transformateur

La défaillance du transformateur de puissance peut être attribuée à des défaillances thermiques,

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

diélectriques, mécanique. :

III.19.1 Mode de défaillance diélectrique

Lors de surtensions sur le réseau, comme des chocs de foudre ou de manœuvre de disjoncteurs par exemple, les modes de défaillances diélectriques entraînent la perte d'isolement développant un amorçage des pièces sous tension :

- entre elles, comme entre enroulements ou entre spires (Figure avec la masse, comme l'amorçage d'une traversée ou d'un enroulement à la cuve ou au circuit magnétiques décharges partielles au sein d'un isolant, classiquement solide dans les transformateurs. Ce sont des micro-décharges locales qui tendent à se propager dans le temps.

III.19.1 Mode de défaillance électrique

Lorsque les contacts se dégradent dans le temps, ils laissent passer le courant sur une surface de passage effective réduite par rapport à la construction originale. En conséquence la densité de courant locale augmente ce qui peut créer des points chauds dus à des échauffements anormaux sur les éléments suivants : Connexions dans certains changeurs de prises en charge, en particulier les contacts mobiles de l'inverseur s'ils sont peu manipulés, alors qu'ils voient passer en permanence le courant de charge du transformateur (Figure)

Connexions des changeurs de prise hors tension. Les contacts mobiles sur les positions en service qui ne sont pas manipulés durant des années peuvent se dégrader avec le temps.

- Connexion entre le cuivre des enroulements et une connexion interne, comme pour les prises de réglage ou les connexions qui passent dans les traversées.

Ces différentes connexions sont brasées, serties ou boulonnées, et suivant la qualité du contact et les conditions d'exploitation, certains de ces raccords peuvent chauffer anormalement Un point chaud très avancé sur un contact boulonné est visible sur la figure ().



Figure III.6 : Amorce entre spires et point chaud du sélecteur du régulateur en charge

III.19.3 Mode de défaillance Mécanique : La dégradation des isolants solides de la partie

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

active, ou le déplacement du circuit magnétique sont dus aux importants chocs du transformateur lors du transport Ceci entraîne :

- ✓ Des points chauds sur des régleurs de prises si ceux-ci sont mécaniquement mal alignés.
- ✓ La diminution de distances diélectriques, dues au déplacement interne massif d'un circuit magnétique de plusieurs centimètres, suite à un choc mécanique comme lors de la chute d'un transformateur.
- ✓ Des dégradations d'isolants internes dues à des vibrations anormales, elles mêmes dues à un manque de serrage interne à la construction, ou suite à des chocs importants.
- ✓ Les fuites de joints mécaniquement trop serrés et/ou chauffés (Figure(III.6)) lors de leur installation puis leur exploitation.

III.19.4 Mode de défaillance thermique

Les surcharges et les points chauds sont principalement des perturbations thermiques anormales. Ces modes de défaillances ont pour effet le vieillissement, des papiers isolants, et la dégradation de leurs propriétés diélectriques. Accélèrent le vieillissement

Par exemple dans la figure (III.8) toute la bobine est noircie de l'intérieur à cause d'un fonctionnement à des températures excessives.



Figure III.7: Effort électrodynamique franc, Joint de traversée écrasé et échauffement excessif d'un enroulement

III.19.5 Le mode de défaillance chimique

Ce mode de défaillance est lié aux réactions chimiques agressant les éléments du transformateur. Elles sont activées par des sources de contamination extérieures, et ont pour effet principal de réduire la qualité des diélectriques :

➤ **D'origine liquide par la présence d'eau de provenance externe** issue de l'humidité atmosphérique. Elle pénètre dans le transformateur par des faiblesses dans les jointures par ruissellement, ou sous forme de vapeur par aspiration. Ce phénomène se produit lors de l'arrêt prolongé d'une machine. La baisse des températures et des pressions internes créent une contraction des matériaux de la structure, et une baisse du volume de liquide. Des jointures alors vieilles par différentes agressions (météorologique, mécanique, thermique), favorisent la pénétration d'eau et d'autres éléments polluants, dans le transformateur et les traversées.

➤ **D'origine liquide par la présence d'eau de provenance interne** : En raison d'un mauvais séchage lors de la phase d'imprégnation, et par la présence de particules d'eau dans les isolants solides tels que la cellulose (3% de la masse du transformateur). Elle va s'extraire par diffusion moléculaire à travers la matière, ou bien par hydrolyse (dépolymérisation). L'hydrolyse résulte d'une combinaison de l'eau avec l'acide, en produisant des particules hydrogénées. Cette réaction initie un phénomène d'avalanche puisque : l'eau provoque la dépolymérisation qui produit de l'eau... ; et une accélération du vieillissement de la cellulose. L'eau réduit non seulement la tenue diélectrique du transformateur, mais accélère également la défragmentation moléculaire des matériaux isolants, ce qui se matérialise par une désagrégation des plastiques et résines, et la présence de furanes issue de la décomposition de la cellulose.

L'huile a une capacité d'absorption de l'eau très faible. Évaluer la teneur en eau d'un transformateur, c'est évaluer son état de vieillissement, et l'état des isolants cellulosiques.

III.19.5 Défauts électromagnétiques

En cas de mises à la masse en plusieurs points du circuit magnétique (Fig.) ou des éléments métalliques de serrage de la partie active, on peut avoir comme défauts typiquement des points chauds dus à :

- ✓ **des courants de Foucault induits**, anormalement importants;
- ✓ **des dégradations d'isolants internes** dus à ces courants de Foucault anormaux.

III.20 Sources des défaillances du transformateur

Les conséquences des défauts latents à l'intérieur du transformateur de puissance sont souvent remarquables, et aussi être considérée comme un évènement non désiré qui se produit, entraînant ainsi la rupture de service d'une ou de plusieurs fonctions du transformateur.

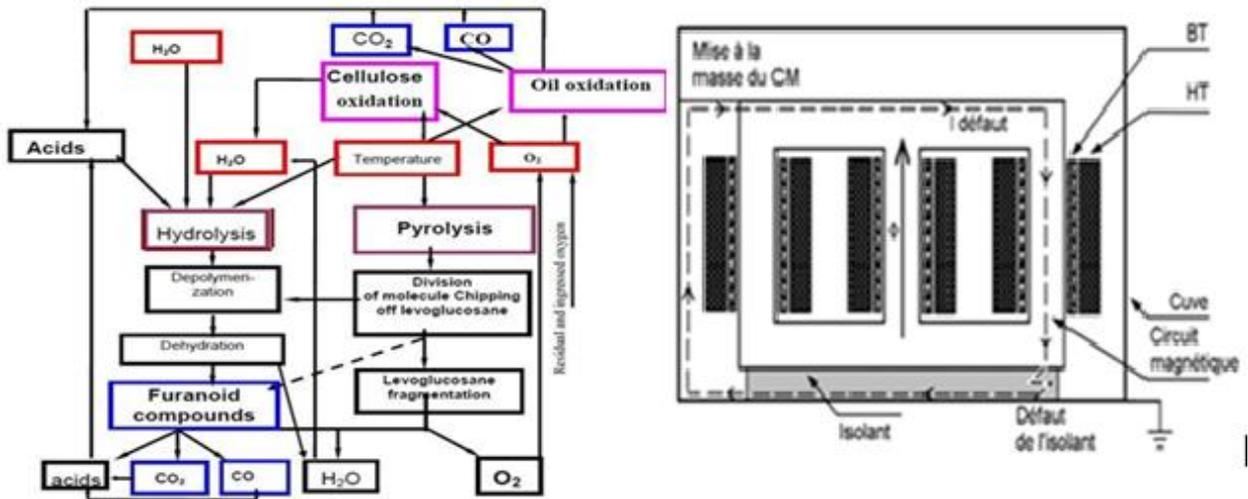


Figure III.8 : Dégradation de la cellulose des isolants et schéma d'une boucle de courant de défaut avec le circuit magnétique

Le transformateur étant un système complexe, constitué d'un ensemble de composantes ; la défaillance de certaines composantes va entraîner celle du transformateur. Soumis à des contraintes d'exploitation, les défaillances pouvant survenir sont multiples.

L'étude des modes de défaillance consiste à déterminer les effets physiques des sollicitations extérieures exceptionnelles, sur les éléments constitutifs de la machine.

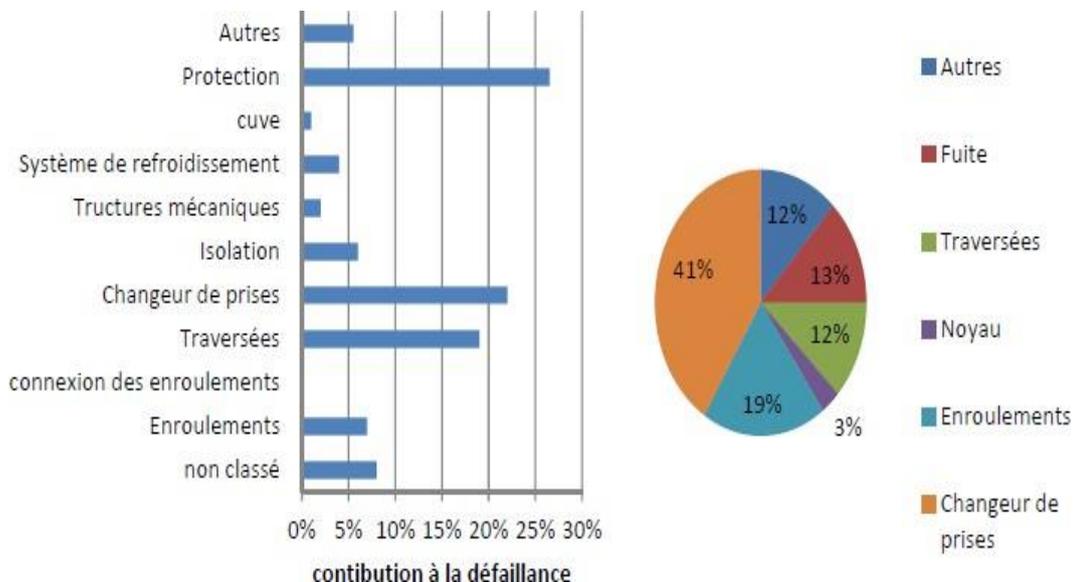


Figure III.9 : Statistiques de défaillances pour les différents composants de transformateurs

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

III.21 Maintenance préventive dans cas de la centrale thermique cap Djanet [10]

Maintenance préventive de transformateur à bain d'huile

III.21.1 Refroidissement

Le système de refroidissement du transformateur est du type ODAF. Refroidissement par circulation forcée d'huile ODAF 3+1 (réserve) radiateurs huile-air (3 ventilateurs Et 1 pompe chacun) type 307/40/4,5/1-ERV-FE 93/1

Puissance frigorifique293 kW ; Quantité d'huile...115m³ ; Débit d'air... 15.9 m³/s

Température d'entrée de l'huile...78,5°C ; Température de sortie de l'huile73,2°C

III.21.2 Ventilateur

type H10/ZO,75/900/18/3 VZ

Fabr.Witt&Sohn

Puissance absorbée.....2,5kW,

Régime.....950 tr/mn

Tension nominale Y/A220/380 V

Débit d'air.....5,57 m³/L

III.21.3 Pompe à circulation d'huile

Type SO 125 fabr.SCAI-Milan

Débit (température d'huile 50°C).....115m³/h

Hauteur de refoulement (température d'huile 50°C).... 1 m

Puissance absorbée (température d'huile 50°C).....4,8 KW

Régime.....1450 tr/mn ; Tension nominale..... 220/380 V, 50 Hz

III.21.4 Moteur pour ventilateur Type CEI A132 M1A-6

Puissance absorbée à 45°C.....2,34 KW

Puissance connectée.....3,03 kVa

Régime750 tr/mn

Tension nominale.....220/380 V, 50 Hz

Les contrôles indiqués ci-dessous constituent des directives pour la conduite de l'exploitation et assurent, à condition que les recommandations soient mises en pratique de façon conséquente, les conditions nécessaires pour le maintien de la qualité.

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

III.22 Désignation des opérations

Intervention	Manœuvres	Périodicité	Classe	Supervision	Eqp	Description équipements
Inspection du transformateur principal	<p>1. Huile diélectrique:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesure de la rigidité diélectrique(écart de 2 mm).doit être >50. - Mesure de facteur de dissipation 100°C (doit être 5.0 et à 25°C doit être 0.5). - Mesure de la tension interrassiale (mN/m) ASTM D971(doit être égale à 32). - Mesure d'indice d'acidité KOH/g (doit être égale à 0.1). - Mesure de la Teneur en eau (mg/kg °C à 50°C).(doit être égale à 10 ou inférieur). <p>2. Changeur de prise hors charge:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier le fonctionnement. - Vérifier si présence de fuites d'huile. <p>3.Armoire de commande:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faire fonctionner tous les relais et lampes afin de vérifier leur bon état de marche, et leur conformité au schéma électrique. <p>4. Aspect extérieur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier l'absence de fuite, de rouille et de corrosion sur la cuve et ses accessoires. -Vérifier l'état de toutes les connexions. 	1 An	1	2	10BAT 20BAT 30BAT 40BAT	Transformateur principal

Intervention	Manœuvres	Périodicité	Classe	Supervision	Eqp	Description équipement
Inspection du transformateur principal	<p>1. Moto ventilateur et motopompe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesure de la résistance d'isolement doit être > 2MΩ. - Inspection du bruit anormal et vibration. <p>2. Dessiccateur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier la décoloration du silicagel dans l'des sicateur due à l'humidité de l'air. Dès que les 2/3 du silicate virent au rose, le remplacer. 	06 mois	1	2	10BAT 20BAT 30BAT 40 BAT	Transformateur principal du groupe

Chapitre III : maintenance de transformateur de puissance

Intervention	Manœuvres	Périodicité	Classe	Supervision	Eqp	Description équipements
Inspection du transformateur principal	<p>1. Isolation des enroulements:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesure de la résistance d'isolement entre les enroulements et entre les enroulements et la terre avec un testeur d'isolement Megger de 2000 V.(Température d'huile à 30°C, la résistance d'isolement doit être > 200MΩ). <p>2. Traversée:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de l'échauffement. - Vérifier si présence de fuites d'huile. - Vérifier le niveau d'huile. - Contrôler l'encrassement et vérifier qu'elle ne soit pas endommagée. <p>3. Relais de protection:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inspection visuelle. - Vérifier le fonctionnement et la résistance d'isolement du thermomètre, de la jauge du niveau d'huile, de l'indicateur de circulation d'huile, du détecteur de gaz, du relais, de la soupape, du manomètre, etc...(Isolement > 2MΩ), <p>4. Armoire de commande:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier l'étanchéité et Remplacer le joint avec un joint neuf. - Vérifier le serrage de toutes les connexions. - Mesure de la résistance d'isolement qui doit être > 2MΩ. 	3 Ans	1	2	10BAT 20BAT 30BAT 40 BAT	Transformateur principal

III-23 Gestion de la maintenance des transformateurs

Pendant la vie du transformateur, un ensemble d'informations concernant les événements opérationnels de son utilisation doit être collecté, analysé et utilisé. Une organisation qui exige une minutie particulière doit être élaborée pour faciliter la prise de décision. La maintenance des transformateurs est donc une activité assez structurée qui suit un processus bien établi. Ce processus s'intègre dans la gestion de la maintenance et se résume en quatre étapes comme le présente la figure 4. À ces quatre étapes de planification, d'organisation, d'exécution et d'enregistrement des données, il est associé une phase de retour d'information pour l'optimisation de la maintenance du transformateur.

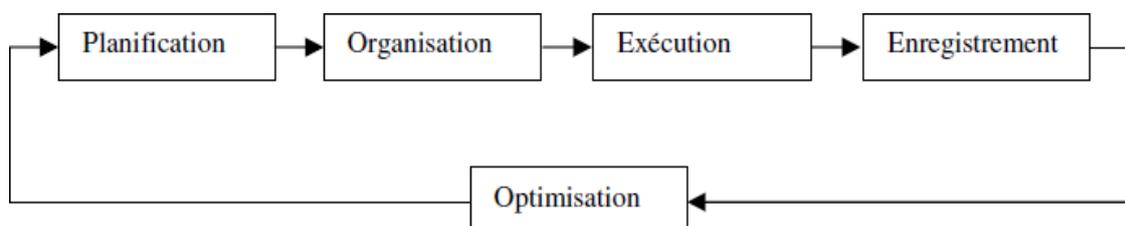


Figure III.10 Processus de maintenance

III.25 Entretien et révision

- a) Contrôle du niveau d'huile
- b) Prélèvement d'un échantillon d'huile en haut, au milieu et en bas
- c) Contrôle de la qualité d'huile
- d) Préparation de l'huile (d'après le résultat de l'analyse de l'échantillon d'huile)
- e) Contrôle de dessiccateur au silice-gel
- f) Réactivation du gel de silice ou échange
- g) Contrôle des appareils de protection et de surveillance ainsi que de la signalisation. Le relais Buchholz peut se contrôler à l'aide de la pompe à air fournie.
- h) Contrôle de l'armoire de commande
- i) Contrôle du courant d'huile aux indicateurs du courant d'huile.
- j) Contrôle de la température de l'huile
- k) Contrôle des moteurs de ventilateurs et de pompes
- l) Nettoyage du radiateur.
- m) Nettoyage du transformateur, en particulier des isolateurs de traversée.
- n) Nettoyer les endroits rouillés.
- o) Contrôle de l'étanchéité à l'huile du transformateur entier.
- p) Interrupteur à prises, sans tension, en toutes les positions.

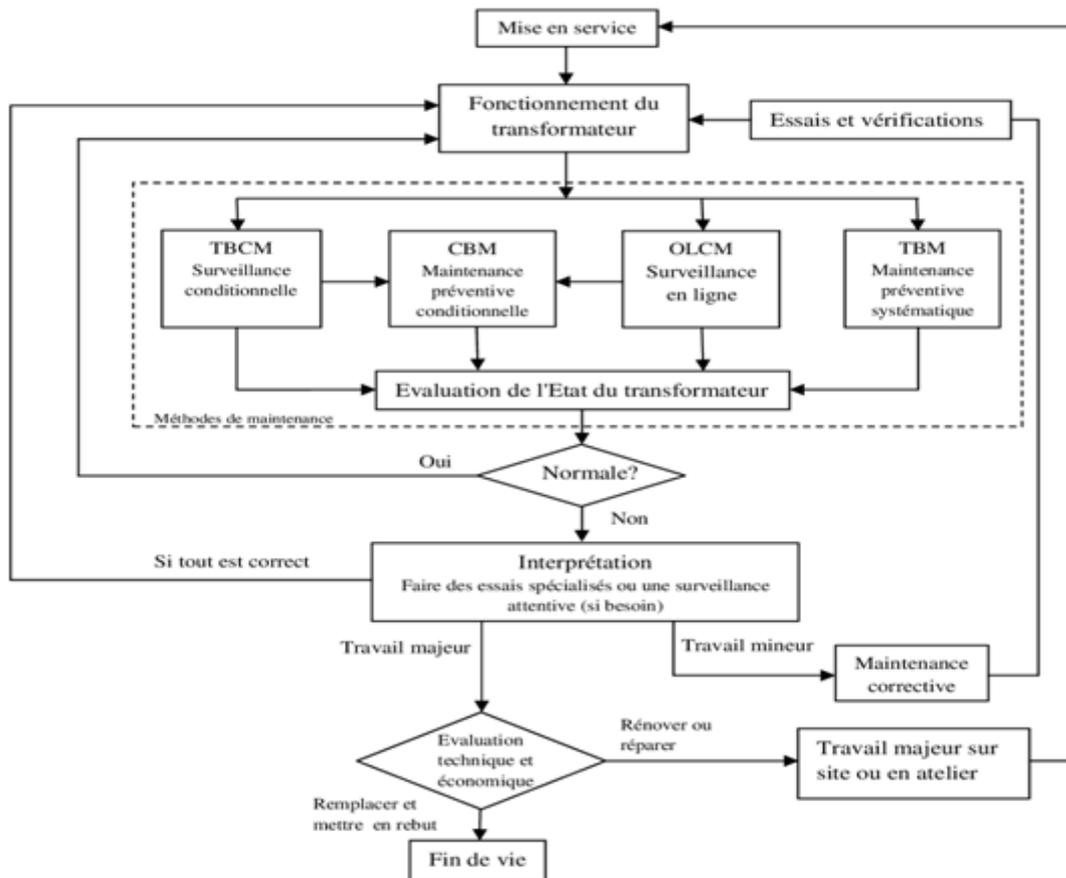


Figure III.11 : Opérations et cycle de maintenance du transformateur

III.26 Conclusion

Ce chapitre actuel nous a permis d'aborder plusieurs notions de la maintenance industrielle, telles que les différents types de maintenance, l'étude de différentes techniques de diagnostic, ainsi que les démarches suivies pour détecter les défauts présents dans les transformateurs de puissance. Nous avons également examiné les principaux défauts pouvant survenir et les méthodes de surveillance et de contrôle d'un transformateur de puissance. Enfin, nous avons réalisé une étude sur la maintenance préventive des transformateurs d'huile 220/15.5Kv, en prenant comme cas d'étude l'entreprise Cap Djenat.

Chapitre IV: Protection du transformateur de puissance

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV.1 Introduction

Le transformateur joue un rôle crucial dans les systèmes d'énergie électrique en assurant la conversion et la transmission de l'électricité à travers le réseau. Cependant, les dysfonctionnements peuvent avoir un impact sur son fonctionnement, et étant donné son coût élevé, il est essentiel de maintenir sa disponibilité pour garantir la fiabilité du système électrique et éviter des pertes de protection résultant de pannes.

IV. 2 La protection du transformateur

La question des protections électriques implique une analyse économique, prenant en compte la probabilité d'un défaut, ainsi que les conséquences potentielles de sa survenance, telles que des pertes de production, des coûts de réparation ou des dommages matériels. [11]

IV. 3 Les différents types de protection

- Protection technologiques.
- Protection électriques.
- Autre protection.

IV.3.1 Protection Technologiques

- Température d'huile.
- Température d'enroulement.
- Buchholz.
- Surpression.
- Niveau d'huile.

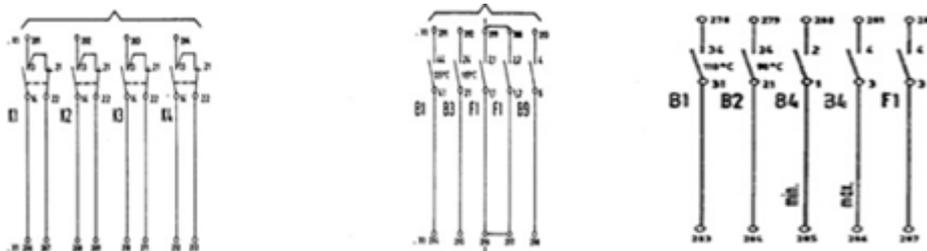


Figure IV.1: Signalisation de service, déclenchement des instruments de contrôle et Schéma de protection technologique

K1-K4 : Contacteur-protecteur du réfrigérant 1- 4.

B1 : Thermomètre à contact pour la température d'enroulement.

B2, B3 : Thermomètre à contact pour la température d'huile.

B4 : Indicateur magnétique de niveau d'huile. B9 : Soupape de sureté.

F1 : Protection Buchholz.

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV.3.2 Relais Buchholz

Dans le domaine de la distribution et du transport de l'électricité, un relais buchholz est un dispositif de sécurité monté sur les transformateurs de puissance à bain d'huile. Il est utilisé sur ce type de système comme dispositif de protection sensible aux événements qui se produisent lors d'un défaut d'isolement à l'intérieur de l'équipement.

Elle est utilisé le principe en raison des défauts l'huile dans le réservoir se décompose, les relais buchholz est connecte a la conduite, en raison de gaz recueilli dans la partie supérieure du relais buchholz, le relais fonctionne et donne alarme [12]



Figure IV.2 : Relais buchholz.

IV.3.2.1 Fonctionnement

Il existe plusieurs types de défauts internes tels que des défauts d'isolement, mauvais contacts de commutation, chauffage central, des joints défectueux. Qui peut se produire, il est monté dans la tuyauterie entre la cuve et le conservateur. Sa fonction est de signaler les défauts internes de l'appareil protégé et la perte de liquide d'isolement déclenchant ainsi une impulsion d'alarme ou d'arrêt.

Lorsque le défaut se produit la décomposition de l'huile dans les principales mises en chantier de réservoir en raison de laquelle les gaz sont générés. Le composant majeur de ces gaz est l'hydrogène, l'hydrogène tente de se lever vers le conservateur

mais sur son chemin il est accumulé dans la partie supérieure du relais Buchholz. A travers le passage du gaz est empêché par la soupape à clapet. Lorsque le gaz est accumulé dans le boîtier de la partie supérieure, le niveau d'huile à l'intérieur du boîtier tombe. En raison de laquelle le flotteur creux s'incline et ferme les contacts de l'interrupteur à mercure qui s'y rattachent. Ceci complète le circuit d'alarme pour déclencher une alarme.

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV. 4 En cas de problème fonctionnement

- A) Problème léger (accumulation de gaz).....Alarme.
- B) Problème persistant (accumulation de gaz) Déclenchement.
- C) Manque d'huile (niveau bas).....Déclenchement
- D) Problème grave (sortie d'huile).....Déclenchement.

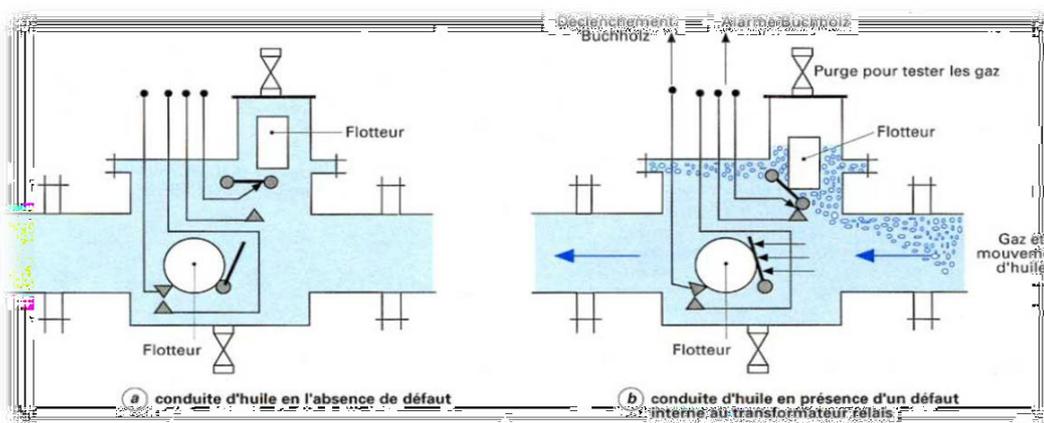


Figure IV.3 : Schéma de protection buchholz

IV. 5 Soupape de surpression

Les soupapes de décompression Qualitrol de la série 208-60 assurent au maximum la protection des réservoirs de transformateur remplis de liquide d'isolation ou de refroidissement. Si un court-circuit se produit dans un transformateur rempli d'un liquide réfrigérant et créera en peu de temps une surpression considérable dans le réservoir. Si cette surpression ne peut s'éliminer d'as les quelques millisecondes qui suivant, le réservoir de transformateur explosera et le liquide surchauffé ou même de l'huile brulante seront projetées sur une grande étendue. Il est par conséquent indispensable de prévoir un dispositif de protection. Cet appareil doit évacuer rapidement toute surpression et être prêt a fonctionner a nouveau sans autre réglage desla disparition du court circuit. La soupape de décompression Qualitrol décèle rapidement une surpression subite et l'imine aussitôt. Le temps d'ouverture est de 2 millisecondes.

IV. 5.1 Montage de la soupape

Les soupapes de décompression Qualitrol sont généralement montées en position horizontale a la partie la plus haute du réservoir. Tout autre endroit ou position est position est possible, soit verticalement soit a la partie inférieur du réservoir, mais il y a lieu dans se cas deveiller a limité la

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

quantité de liquide dont le poids pourrait agir sur la soupape pour que la tige indicatrice puisse sortir complètement, sinon elle pourrait endommager la diaphragme.

IV. 5.2 Pression

Dans la plupart des cas la pression est de $0,7 \text{ kg/cm}^2$. Autre pressions sur demande.



Figure IV.4 : Soupape de surpression

IV. 6 Thermostat pour température d'enroulement et d'huile

Cet instrument est conçu pour l'indication de la température de l'huile ou de l'enroulement dans les transformateurs. Il est muni de deux, trois ou quatre contacts pour le contrôle et la protection. Le thermomètre est construit pour le montage à l'extérieur en climat tropical comme en climat arctique. Tous ses composants ont été traités en surface ou sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion.

Les échauffements se produisant sur les parties sous tension, la mesure ne peut généralement pas être effectuée directement sur ces points. La faible vitesse de variation des températures pour les courants dans le domaine de la surcharge, du fait de l'inertie thermique du transformateur, permet de considérer que la mesure reste représentative. Le cas d'une élévation rapide de température des enroulements est normalement géré par une détection de surintensité.

Les capteurs de température du noyau et de l'huile servent également à la signalisation à distance. Le thermostat muni de 1 ou de 2 seuils permet soit l'alarme soit le déclenchement de l'alimentation du transformateur au-delà d'une certaine température de consigne de l'huile.



Figure IV.5: Thermostat pour température d'enroulement et d'huile.

IV.7 Commande des réfrigérants

L'alimentation des moteurs des ventilateurs et des pompes en 3×380 v, 50 Hz se fait à partir d'une armoire de commande montée sur le transformateur, dans laquelle se trouvent aussitous les appareils nécessaires pour la commande. Chaque réfrigérant (3 ventilateurs et 1 pompe) est commuté par un contacteur-interrupteur K1 – K4 et Q1 – Q16. Avec un commutateur sélecteur S1, on peut présélectionner lesquels des réfrigérants de doivent être branchés par le sectionneur de puissance de l'installation, et quel réfrigérant reste en réserve.

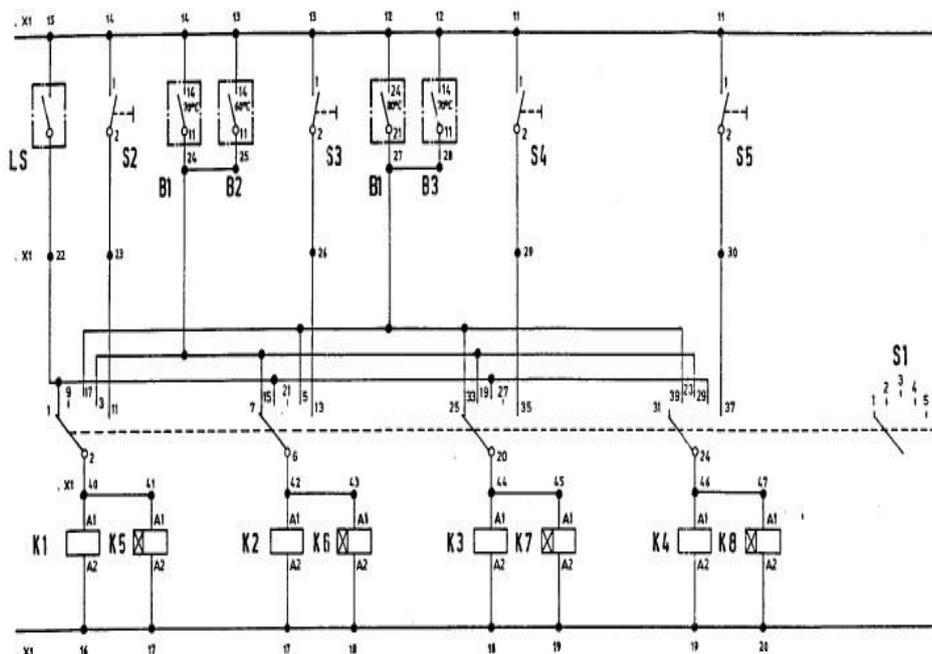


Figure IV.6: Schéma de commande des réfrigérants

IV. 8 Indicateur magnétique de niveau d'huile

L'indicateur de niveau d'huile magnétique sert à indiquer le niveau d'huile dans le conservateur d'huile de transformateur moyennant une aiguille. Si le niveau d'huile descend au-dessous du niveau admissible minimum, un micro-rupteur intégré ferme ou ouvre un contact suivant l'alimentation par circuit normalement ouvert ou la communication à courant continu requises et actionne un dispositif de signalisation prévu dans le poste de commande. Sur demande du client, l'appareil peut aussi être muni d'un 2^e contact qui signale le niveau d'huile maximum.

IV. 8.1 Fonctionnement

Le tuyau vertical est relié au vase d'expansion par une conduite de raccordement. Le liquide se trouve donc toujours à un même niveau dans le récipient et dans le tuyau. Le flotteur creux contient un système magnétique qui agit d'une part sur les ailes magnétiques de la barre de signalisation et d'autre part sur le commutateur magnétique.

Les forces magnétiques orientent les ailes de manière telle que leur position ne peut être modifiée que par le flotteur. La position est stable et ne peut pas être modifiée par des secousses. Ce qui signifie que tout niveau d'huile se relève immédiatement et nettement sur les ailes renversées ; il peut être signalé par la pose de commutateurs magnétiques. [13]

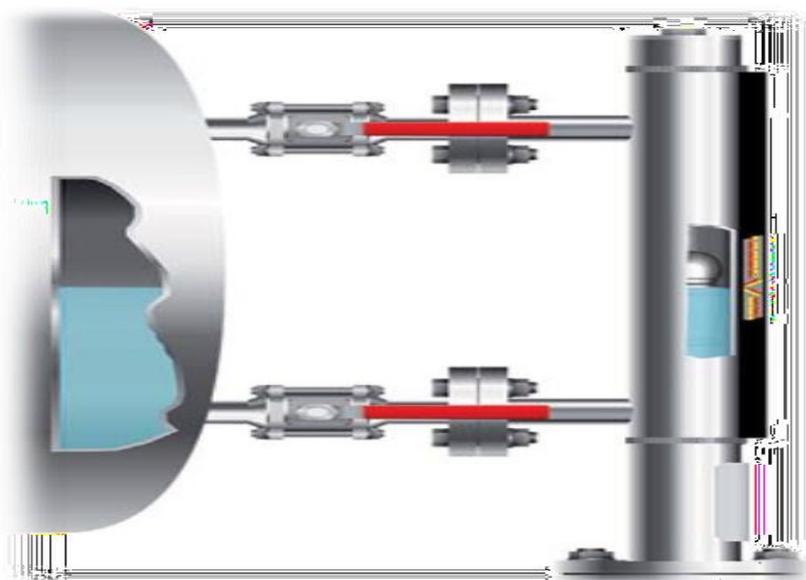


Figure IV.7: Indicateur magnétique de niveau d'huile

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV. 9 Protection Electrique

- Protection sur intensité. - Protection surcharge thermique. -Protection différentielle.

IV.9.1 Protections électrique et valeurs limites des transformateurs TP

Protection	Valeur de déclenchement	Temporization	Action
Protection différentielle	$0.4 I_n$ avec : $I_n=1A$	Inst	A-B-D-F-G-H-I
Protection Surintensité	$1.25 I_n$ Avec : $I_n=1A$	4.2 s	A-B-F-G-H-I
Protection surcharge thermique	$21 I_n$ Avec : $I_n=1A$	48 s	B-F-G-I

Tableau : Protections électrique et valeurs limites des transformateurs TP.

IV. 10 Matrice de déclenchement

La matrice de déclenchement est un distributeur à barres croisées dont les lignes sont les entrées (signaux de protection) et les colonnes sont les sorties (ordres de déclenchement). Les ordres de déclenchement sont de 30 au maximum. La matrice est librement programmable. Toutes les protections électriques, Alternateur, TP et TS constituent les lignes de la matrice (entrées).

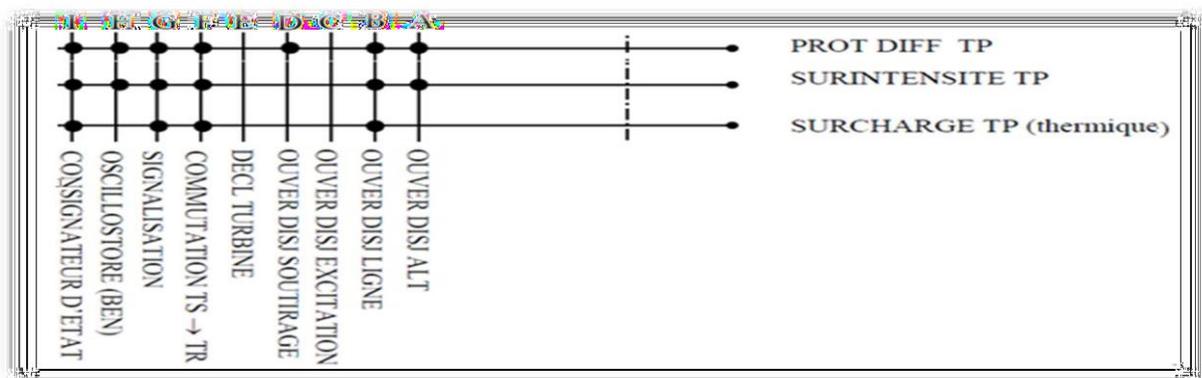


Figure IV.8 : Matrice de déclenchement.

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV. 11 Protection sur intensité

Le transformateur de puissance sera en général protégé par deux protections à maximum de courant, protection coté haute tension (HTB) et protection coté moyenne tension(HTA).

IV. 11.1 Protection max de courant côte HTB

C'est une protection contre les surcharges du transformateur et constitue, dans les limites de son réglage, une réserve aux protections maximum de courant coté HTA, un seuil d'intervention à temps constant, et devra être réglée comme suit :

$$\text{Réglage} = 1.25 I_{n1} \qquad \text{Temps} = 4.2 \text{ sec}$$

Où, I_{n1} : est le courant nominal du transformateur côté HT.

IV.11.2 Protection max de courant côté HTA

C'est une protection contre les surcharges du transformateur et constitue, dans les limites de son réglage, une réserve aux protections de ligne MT.

Elle sera à un seuil d'intervention à temps constant, et devra être réglée comme suit :

$$\text{Réglage} = 1.25 I_{n2} \qquad \text{Temps} = 4.2 \text{ sec}$$

Où, I_{n2} : Est le courant nominal du transformateur côté HT.

Le choix du temps d'intervention est déterminé aussi bien par l'impératif d'assurer la sélectivité avec la protection de la ligne MT que par la nécessité de permettre la surcharge du transformateur durant d'un court laps du temps, suffisant à l'accomplissement des transferts de charge.

IV. 12 Protection Thermique

Il est utilisé pour protéger le transformateur de puissance contre les surcharges. Pour détecter l'existence d'une surcharge, elle fait une estimation de l'échauffement des bobines primaire et secondaire à protéger à partir de la mesure du courant.

La durée de service que l'on peut attendre d'un transformateur dépend essentiellement du tenu de ses isolants, or la plupart de ceux-ci sont exactement sensibles a la température a laquelle ils sont soumis et se détériorent d'autant plus rapidement qu'ils sont portés plus longtemps a base de papier ou de coton épargnes d'huile, surtout employés dans le transformateurs, se situe aux environs de 110a 115 °C.

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

L'énergie calorifique à dissiper et par suite réchauffement du transformateur augmentent a peu après comme la carré de l'intensité, on conçoit que des surcharges même faibles mais prolongées, puissent a la longue endommager de transformateur.

Ce relais, par couru par le courant qui traverse le transformateur possède une caractéristique en température qui est l'image, température si l'échauffement est excessif, la protection émet une alarme après une déclanchement qui va permettre a l'exploitant de baisser la charge sur cette transformateur de puissance.

La protection détermine l'échauffement E des transformateurs à partir d'un modèle thermique défini par l'équation différentielle suivante :

$$r \cdot \frac{dr}{dt} + E = \left(\frac{I}{m} \right)^2$$

Avec

E : Echauffement. τ : Constante de temps thermique du transformateur et égale à 48s.

In: Courant nominal et égale à 1A. I : Courant efficace égale à 21 In.

IV. 13 Protection différentielle

La protection différentielle est une technique conceptuelle simple, et la protection différentielle est basée sur la comparaison de la somme de courants d'entrée et la somme de courants sortis d'un transformateur. On installe des deux cotes l'élément protégé des transformateurs de courant.

L'écart de ces courants ne doit pas dépasser une valeur $I_0=0.4 I_n$ pendant un temps supérieur à t_0 , au-delà il ya déclenchement. Cette protection à une sélectivité absolue, il lui est demande plus d'être très stable vis-à-vis des défauts extérieurs. [14]

Cette protection s'utilise :

- 1- Pour détecter des courants de défaut inférieurs au courant nominal.
- 2- Pour déclencher instantanément puisque la sélectivité est basée sur la détection et non sur la temporisation.

On choisit les transformateur du courant et on fait la connexion de tel sort que les courants primaires soient égaux au courant secondaire. Le relais ne fonctionne pas pour des défauts situes a l'extérieur de la zone protégé le courant déséquilibré circulera a travers l'enroulement de relais.

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV. 13.1 Condition de base de la protection différentielle

Les conditions de base du système de protection différentielle sont comme suivent :

IV.13.1.1 Fiabilité

Elle peut être définie comme la capacité de fonctionnement du système de protection quand le défaut se produit sur le système. Ici nous avons deux aspects différents, le premier est la fiabilité (ou disponibilité) du système de protection qui signifie que le système de protection doit fonctionner dans des conditions de panne.

Le second est la sécurité qui signifie que le système de protection ne doit pas fonctionner dans les conditions normales où le défaut est externe. La fiabilité peut être réalisée en choisissant les composants fiables pour toute la chaîne à savoir :

- A. Transformateur.
- B. Relais protecteurs.
- C. Câblage du système de protection.
- D. Circuits de commande.
- E. Approvisionnements de puissance auxiliaire.

IV.13.1.2 Sélectivité

C'est la capacité du système de protéger et d'isoler seulement la partie défectueuse de sorte que la pièce restante reliée toujours au système selon cette condition que le système d'alimentation continuera la fourniture d'énergie à toutes les parties saines du système.

IV.13.1.2 Sensibilité

C'est la capacité du système de protection de détecter la réponse à tout défaut à un point quelconque sur la zone protégée dans toutes les conditions de fonctionnement.

IV.13.1.3 Vitesse

Le système de protection doit se déclencher pour les défauts instantanément (c.-à-d sans retard de temps) sur tout pour les courants graves de court-circuit. Pour réduire au minimum les dommages dans le système d'alimentation. Pour fournir la stabilité pour le système d'alimentation.

IV.13.1.4 Simplicité

Un système de relais protecteur devrait être maintenu simple et direct tout en accomplissant ses buts prévus. Chaque unité ou composant supplémentaire, peuvent offrir l'amélioration de la protection mais n'est pas nécessairement à la base des conditions de protection. Chaque addition fournit une source possible de problème et d'entretiensupplémentaire.

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

IV.13.1.5 Économie

Il est fondamental qu'il faut obtenir une protection maximale pour un coût minimum. Le système qui à coût de protection minimum peut ne pas être le plus fiable ; en outre, il peut entraîner de plus grandes difficultés dans l'installation et l'opération, aussi bien que des coûts de maintenance plus élevés. Des coûts de protection sont considérés haute une fois qu'il devrait être évalué à l'encontre du coût élevé de l'équipement qu'ils se protègent, et du coût d'une panne ou d'un équipement protégé par la protection inexacte.

Les composantes principales de la protection différentielle sont :

IV.13.1.6 Transformateur de Courant (T.C)

C'est est un transformateur d'instrument qui est particulièrement conçu pour refléter exactement les images des courants primaire et secondaire, dans des dispositifs régulateurs, des relais de contrôle, et des relais de protection, où son courant de sortie évalué est (A) pour des systèmes de distribution et (1A) pour des systèmes de transport.

IV.13.1.7 Conducteur

Ce sont les fils qui reliaient les transformateurs de courant aux relais différentie.

IV.13.1.8 Disjoncteur

C'est un dispositif de déclenchement utilisé pour l'interruption de l'écoulement du courant pour actionner des parties du système (commutation) en conditions normales ou en conditions de pannes.

IV.13.1.9 Relais Différentiels C'est un type de relais qui compare le courant du côté primaire et du côté secondaire du transformateur de puissance ou de n'importe quel dispositif protégé.

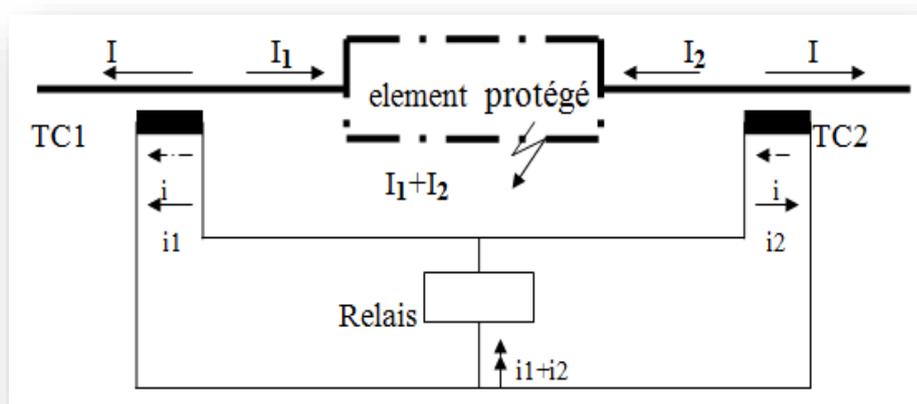


Figure IV.9: Schéma de principe de la protection différentielle.

IV.14 Défaut interne et externe dans la protection différentielle

- Un courant de déclenchement ou différentielle :

$$I_{\text{deff}} = I_1 - I_2$$

- Un courant de stabilisation :

$$I_{\text{stab}} = I_1 + I_2$$

Les secondaires du transformateurs de courant sont reliés en série ainsi les courants induits sont égaux. Supposons qu'il y a un défaut externe est service au point (b). Les courantsaux secondaires resteront égaux, aucun courant ne traverse la bobine d'opération du relais.

Par conséquent le relais sera inopérant. Ainsi le relais ne peut pas fonctionner s'il y a un défaut externe.

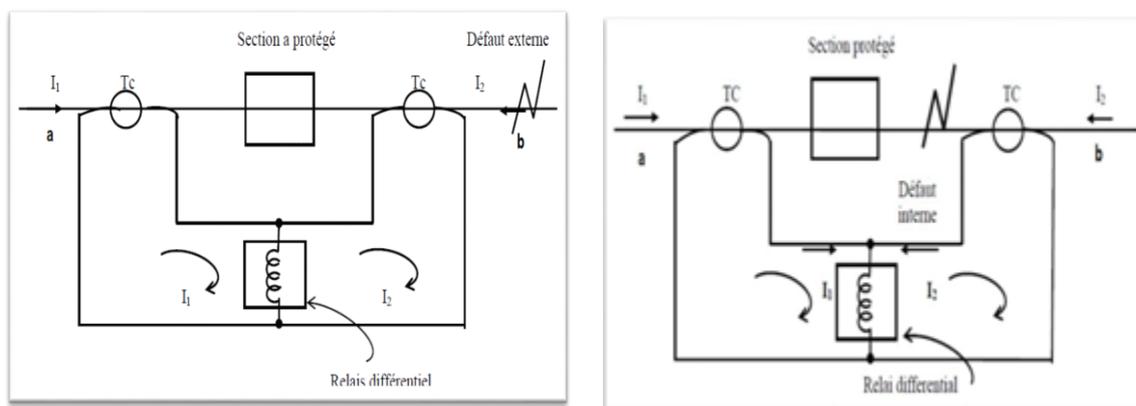


Figure IV . 1 0 : Relais différentiel défaut externe et Relais différentiel défaut interne.

Le courant qui traverse les deux côtés des secondaires des T.C ne sont pas égaux. Le courant traversant la bobine du relais est maintenant (I_1+I_2) , ce fonctionnement à cause du relais.

IV.15 Protection contre les surtensions

Pour se protéger des surtensions sont souvent mises en place : Soit des éclateurs sur les traversées, soit des parafoudres à l'extérieur. Le rôle des parafoudres et des éclateurs de protection est de protéger le transformateur contre les surtensions excessives dont l'origine peut être :

-Soit les manœuvres de disjoncteurs dans des circonstances particulières, Soit les coups de foudre en ligne ou un défaut d'isolement en ligne.

IV.15.1 Eclateur

Est un dispositif simple constitué de deux électrodes l'air. La limitation de tension auxbornes est

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

effectuée par l'amorçage d'intervalle d'air. La forme des éclateurs peut être très variable suivant le cas. Il peut s'agir d'éclateur à cornes tels ceux utilisés sur les réseaux 20KV.

Il peut s'agir, pour les lignes de transports à haute tension de dispositifs plus élaborés, les électrodes d'amorçage étant complétées par les anneaux destinés à éliminer les effluves d'effet courant.

IV.15.2 Parafoudres

Permettent de se débarrasser de ce comportement néfaste car ils présentent un comportement réversible. Ce sont des résistances fortement non linéaires qui présentent une diminution importante de leur résistance interne au-dessus d'une certaine valeur de tension aux bornes.

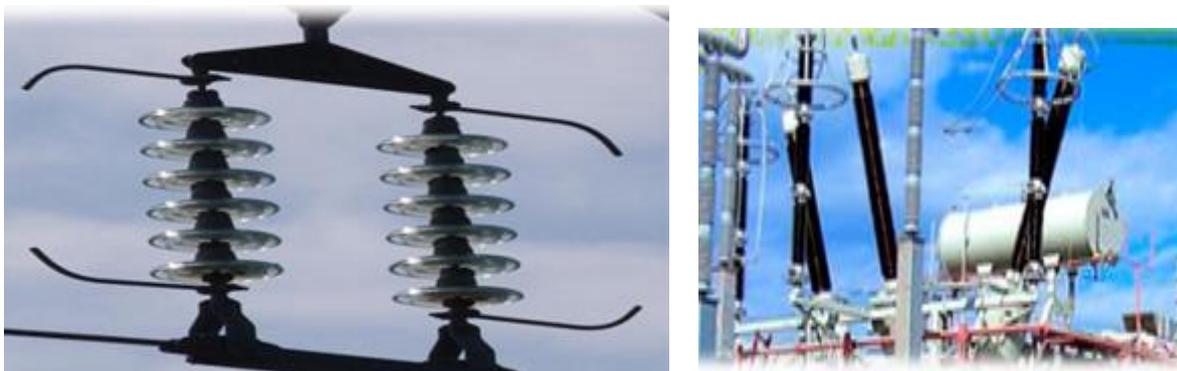


Figure IV.11: Photo d'éclateur et Photo de parafoudre installé sur transformateur.

IV.15.3 Câbles de garde

Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre, et en évitant le foudroiement des conducteurs. Les câbles de garde ne conduisent pas le courant, ils sont en général réalisés en acier. Au contraire du câble d'acier on place parfois un câble fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant.

IV. 15.4 Protection masse cuve

Une protection rapide, détectant les défauts internes au transformateur, est constituée par le relai de détection de défaut à la masse de cuve. Pour se faire, la cuve du transformateur, ses accessoires, ainsi que ses circuits auxiliaires très souvent la cuve est isolée du sol par des plaques isolantes au niveau de ses galets, et est mise en un unique point à la terre. Si un courant de défaut passe du circuit électrique (Enroulement, connexion) à la masse à l'intérieur du transformateur, celui-ci sera drainé inévitablement par cette connexion unique de mise à la masse de la cuve. Sur celle-ci se trouve alors un transformateur de courant, appelé couramment «TI masse-cuve » qui au-delà d'une certaine valeur de courant, de défaut donc, déclenche alors le transformateur (déclenchement instantané aux disjoncteurs primaires et secondaires du transformateur).

Chapitre IV : protection du transformateur de puissance

Une protection de cuve sera prévue contre les défauts a la terre qui se produisent a l'intérieur du transformateur. La cuve du transformateur doit être isolée de la terre.



Figure IV.12: Masse cuve.

IV.15.5 Protections incendie

Des protections incendie constituées de billes thermo fusibles liées à un contact peuvent être placées sur la cuve, pour en cas de feu déclencher une alarme et/ou un système d'extinction d'incendie. [15]



Figure IV.13 : Photo des protections incendie installé sur transformateur.

IV.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons jugé essentiel de fournir des informations détaillées sur les divers composants qui constituent un système de protection. Ces composants revêtent une grande importance et une sensibilité accrue, et il est primordial de les sélectionner et de les régler soigneusement pour garantir une protection efficace contre les différentes anomalies pouvant survenir sur le transformateur de puissance.

Chapitre V:
Protection différentiel du transformateur
de puissance

Chapitre V : protection différentiel du transformateur de puissance

v.1 Introduction

La protection différentielle est la partie principale dans la protection de transformateur, Notre objectif dans ce chapitre est de comprendre mieux son fonctionnement pour les différents cas de fonctionnements. Les courts circuits sont les défauts majeurs qui affectent le transformateur, et en résultent un courant élevé, la protection comporte des mécanismes permettant de détecter et d'isoler tous les défauts à l'intérieur de transformateur.

V.2 Modélisation de la protection différentielle par MATLAB

Dans cette partie un modèle de simulation d'une protection différentielle pour un transformateur (15,5/220KV) a été exécuté pour les cas suivants :

- Fonctionnement normal.
- Défauts externes.
- Défauts internes. [16]

V.3 Les composants de système

Cette approche a été réalisée grâce à l'environnement MATLAB qui nous a permis de simuler les systèmes de puissance dans les différents modes de fonctionnement pour avoir une approche et analyser les phénomènes physiques correspondant à ces systèmes. Simulink est un programme de Matlab pour la simulation des systèmes, c'est une plate-forme de simulation multi-domaine des systèmes dynamiques, dans laquelle la définition des modèles se fait par schémas bloc (diagramme structurel). Il met en évidence la structure du système et permet de visualiser les interactions entre les différentes grandeurs internes et externes, Simulink possède une interface graphique pour visualiser les résultats sous forme graphiques ou de valeurs numériques. Le système simulé est constitué de :

- Source de tension triphasée qui représente l'alternateur (18.5KV)
- Le transformateur élévateur (15.5/235 KV ,220 MVA), représente le transformateur étudié.
- Deux disjoncteurs triphasés commandés en amont et en aval de transformateur.
- Outil de mesure de courant et de tension.
- relais différentielle.
- Une charge (R, L, C) représente la consommation nominale.

V.4 LA SIMULATION

V.4.1 Fonctionnement Normal

Ce cas est montré sur la Figure; le modèle de relais différentielle est détaillé dans le schéma bloc, la protection différentielle ne fonctionne pas.

Pour : Courant mesuré $I_{abc}(p) = \text{Courant mesuré } I_{abc}(s)$ Id= zéro.

Les formes d'ordre de courant sont montrées dans les Figures Les formes d'ordre de tension sont

Chapitre V : protection différentiel du transformateur de puissance

montrées dans les Figures [17]

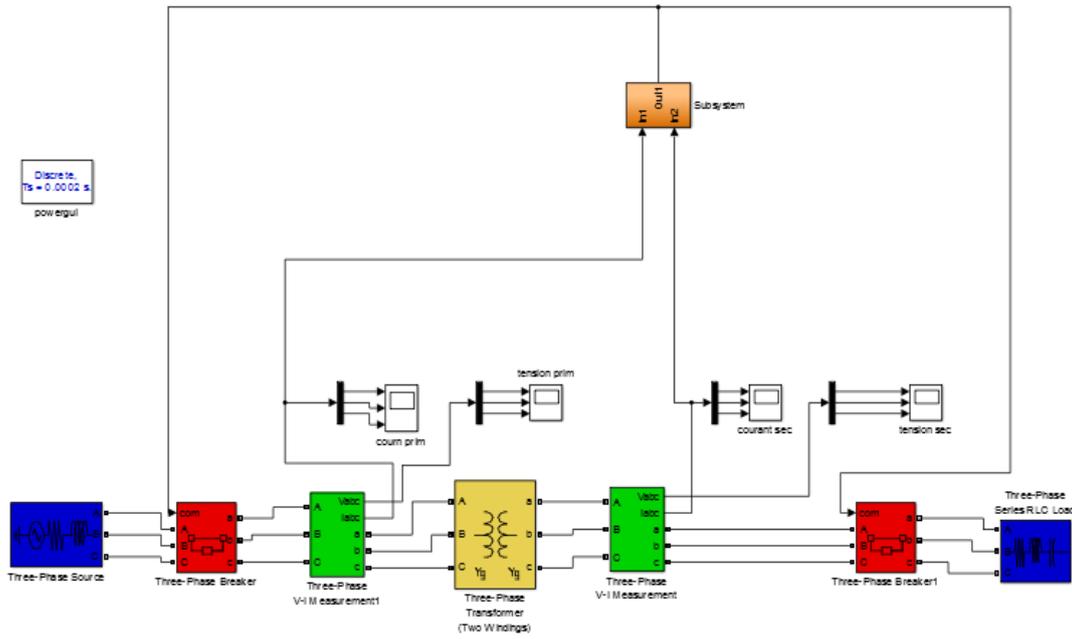


Figure V.1 : Diagramme de de relais différentiel simple (fonctionnement normal)

Le model des relais différentiels

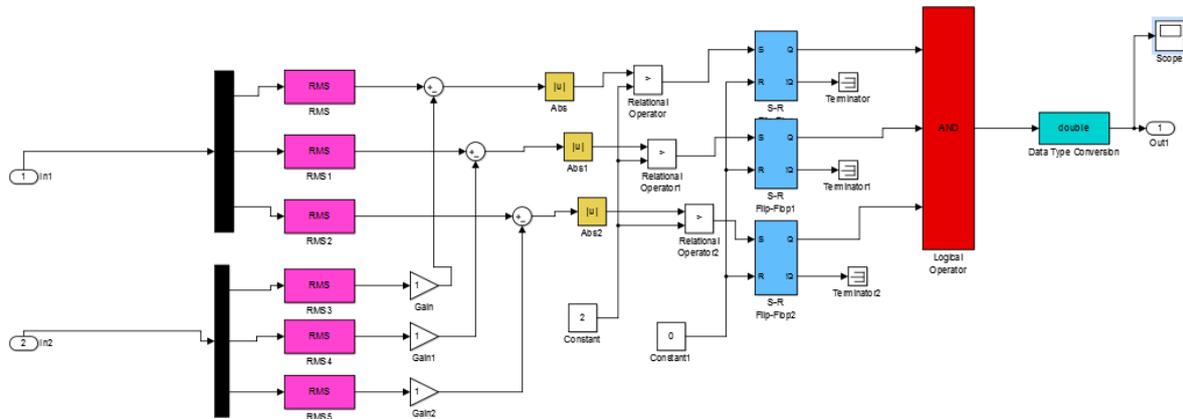


Figure V.2 : Diagramme schématique du différentiel simple Relais

La différence entre les valeurs absolues des deux courants primaire et secondaire est utilisée pour générer un signal de déclenchement.

Opérateurs relationnels, les opérateurs logiques sont utilisés pour modéliser le transformateur schéma de relais différentiel. La sortie de ce différentiel est alors envoyée au disjoncteur. [17]

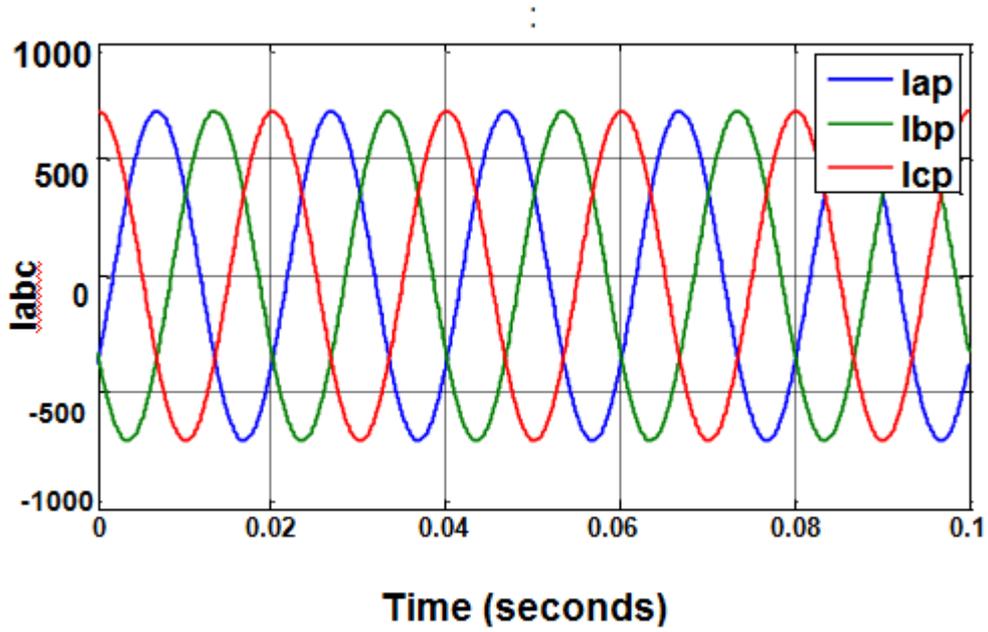


Figure V.3 : Courant primaire (phase a, b, c) (aucun défaut).

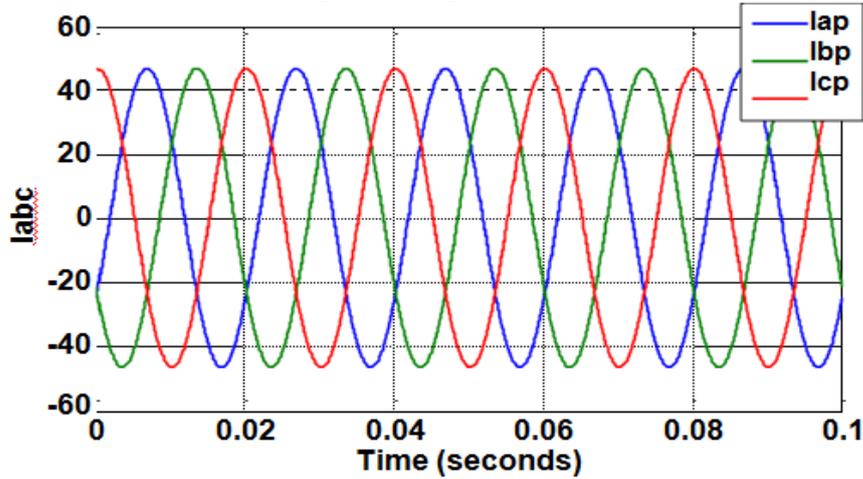


Figure V.4 : Courant secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

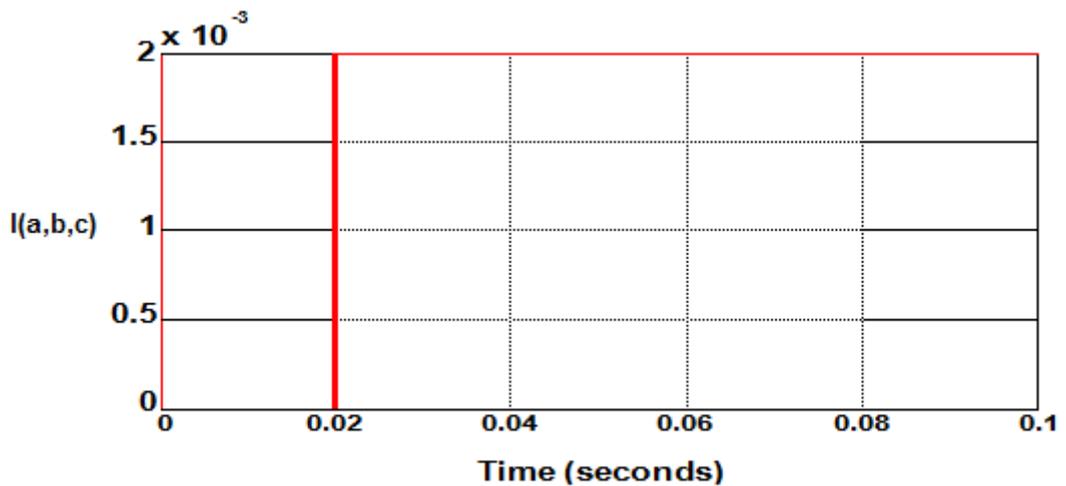


Figure V.5 : Courant différentielle

Grphe représenté la déférence de courant entre le primaire et secondaire (aucun défaut)

Chapitre V : protection différentiel du transformateur de puissance

Dans une phase

Commentaire

Dans le fonctionnement normal les courants primaire et secondaire sont dans les valeurs nominales le courant différentiel est presque nulle après la compensation d'amplitude, aucun défaut à affecté le transformateur les disjoncteurs sont fermé.

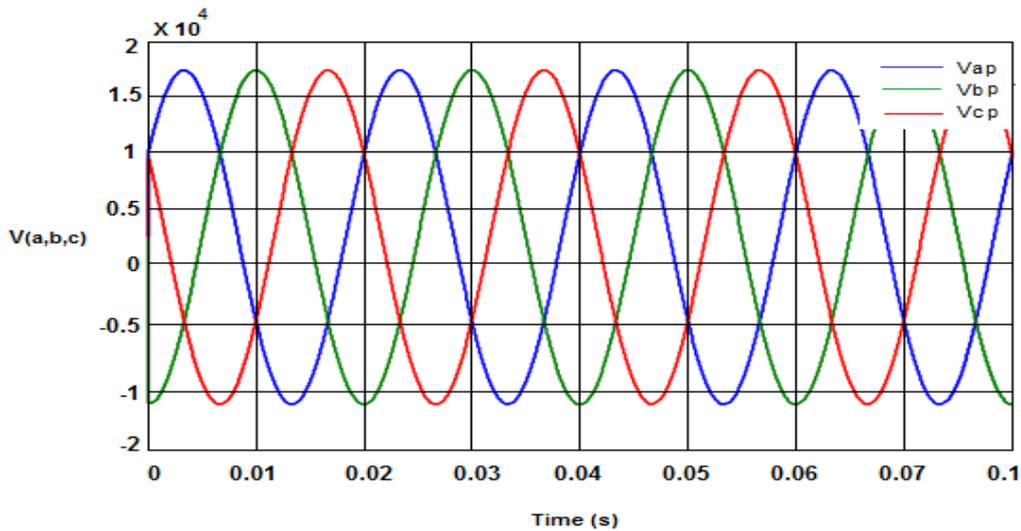


Figure V.5 : Tension primaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

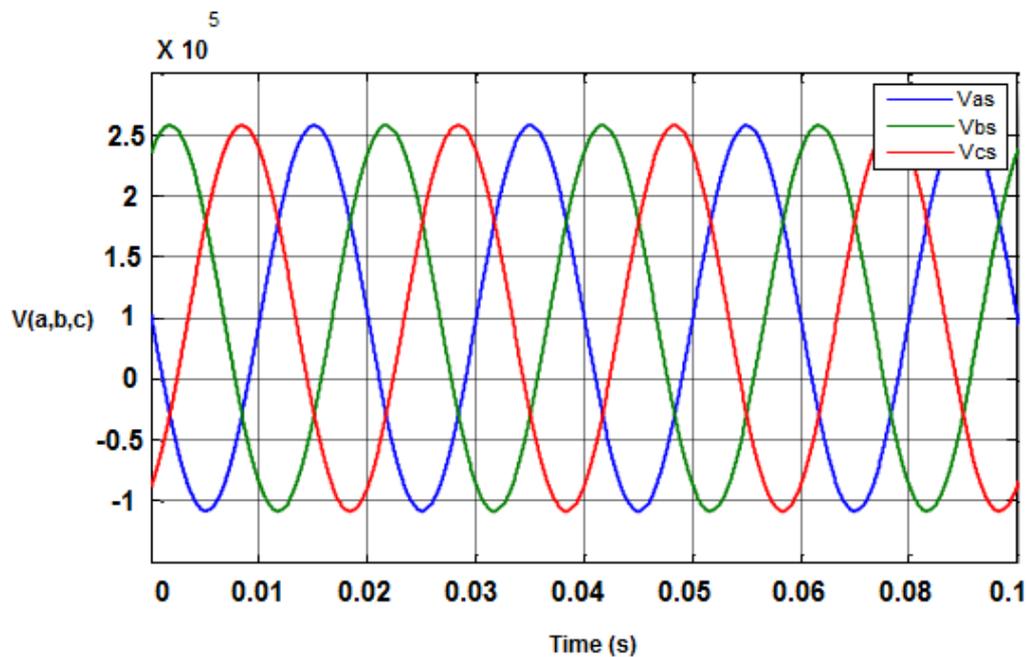


Figure V.6 : Tension secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

V.4.2 Défaut externe :

Ce cas est montré dans la figure, la protection différentielle ne fonctionne pas. Les formes d'onde sont montrées dans la figure v.8

Chapitre V : protection différentiel du transformateur de puissance

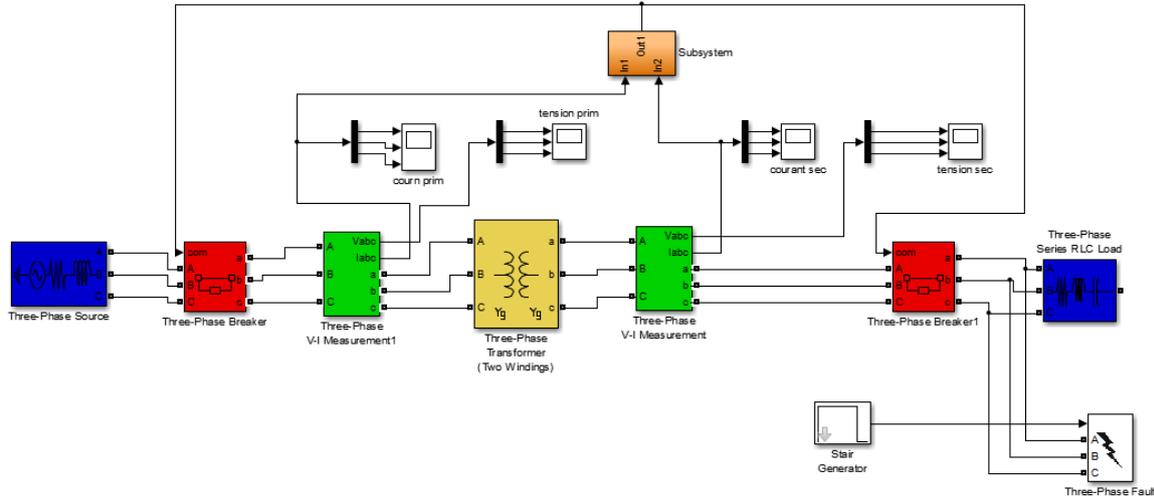


Figure V.7 : Modèle de défaut 3Ph externe

On applique maintenant un défaut à l'extérieur de la zone protégé, soit en amont ou en aval de transformateur, le défaut est appliqué pendant $t= 0.05s$ a $t=0.1$

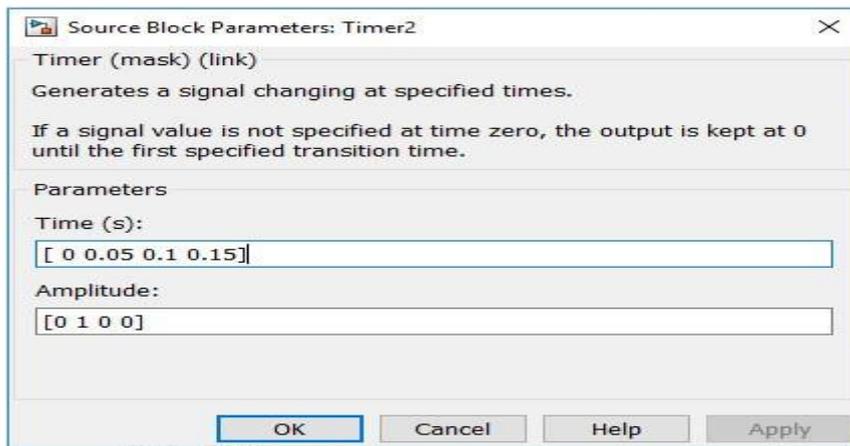


Figure V.8 : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.

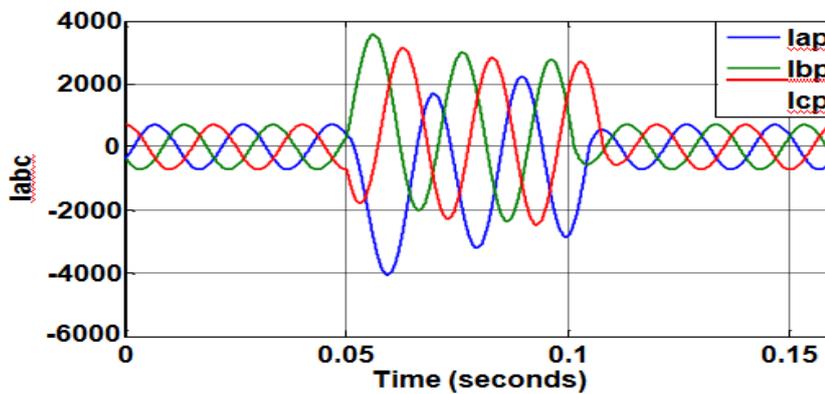


Figure V.9 : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut externe)

Chapitre V : protection différentiel du transformateur de puissance

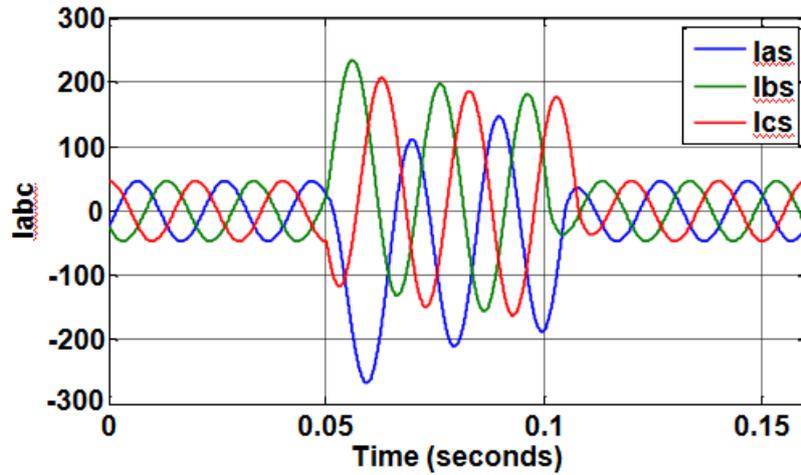


Figure V.10 : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut externe)

Les formes des courants primaires et secondaires du transformateur de puissance restent en charge lors d'un défaut externe, ils sont altérés uniquement pendant une période transitoire du défaut de quelques millisecondes comme montré sur les Figures. Le relais différentiel ne fonctionne pas même s'il y a une grande différence dans les amplitudes de courant montrées à la Figure

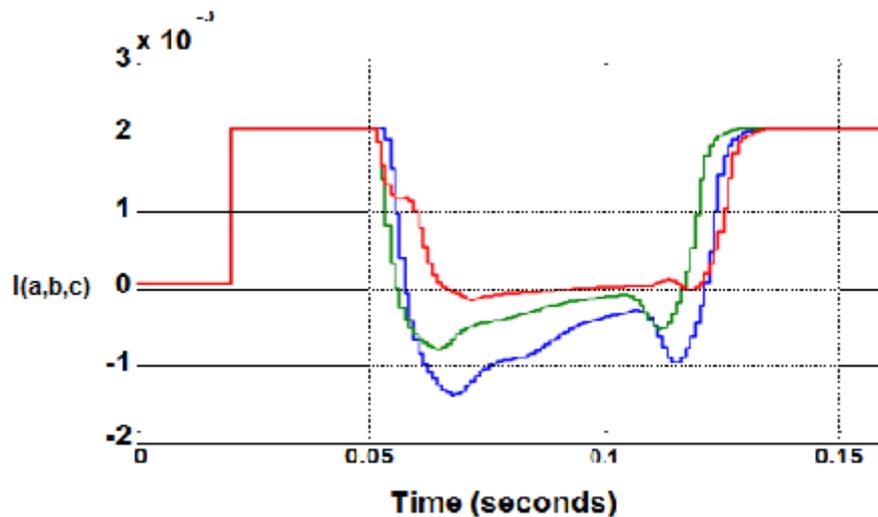


Figure V.11 : Courants différentiel.

V.4.3 Défaut interne :

Le modèle de défaut interne est montré dans la figure. Les formes d'onde sont montrées dans la figure

Chapitre V : protection différentiel du transformateur de puissance

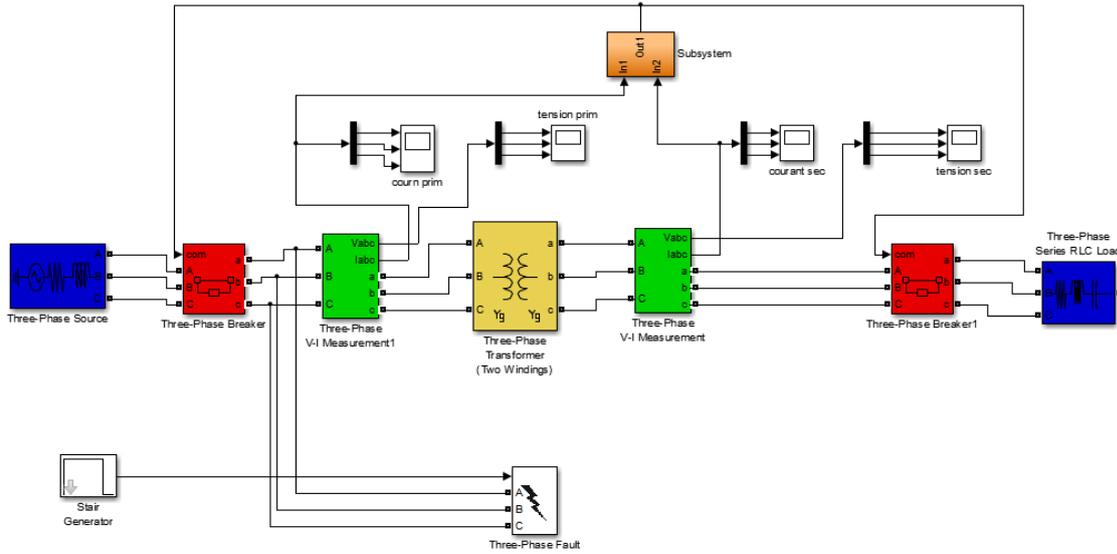


Figure V.12 : Modèle de défaut interne.

On applique un défaut interne dans le secondaire de transformateur à l'instant $t=0.05s$ et pour une durée de $0.05s$.

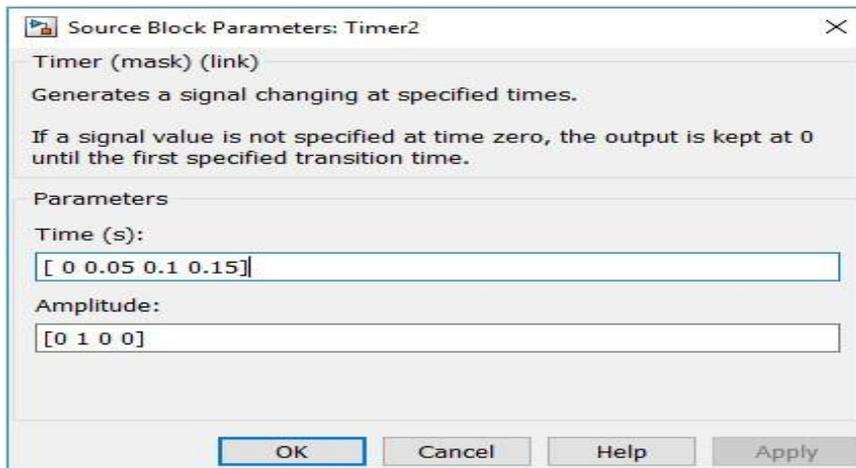


Figure V.13 : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.

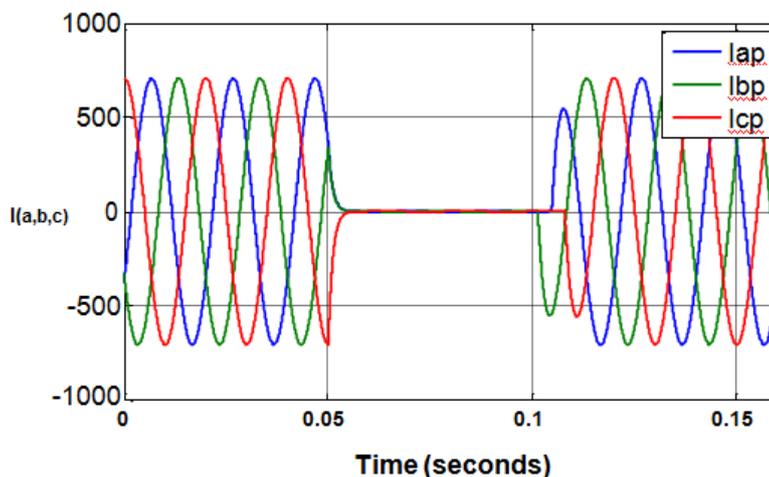


Figure V.14 : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut interne).

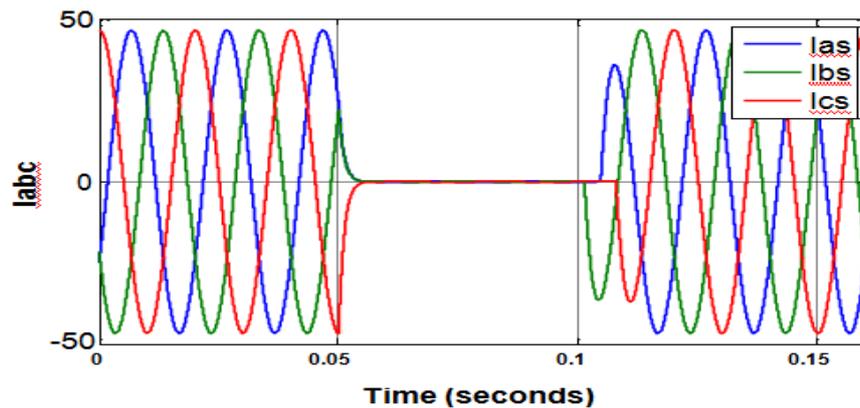


Figure V.15 : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut interne).

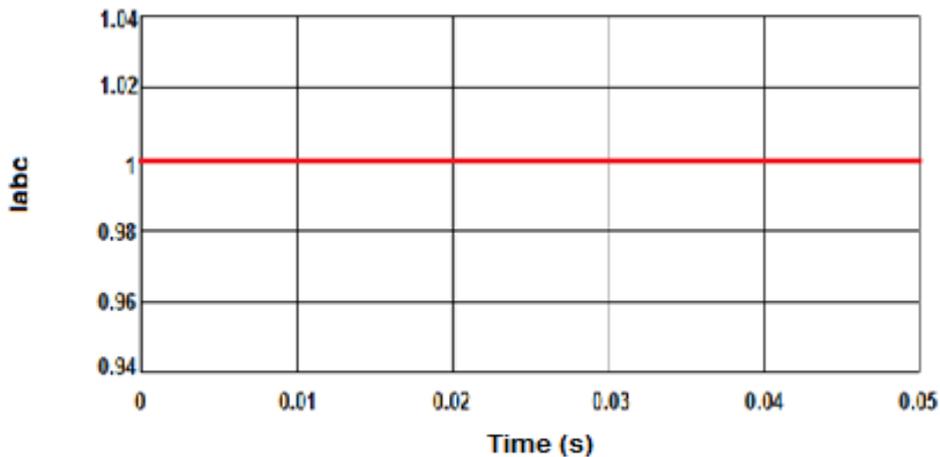


Figure V.16 : Différence de courant

Commentaire

Pour le défaut interne avec isolation les courants primaire et secondaire passeront au zéro après une période transitoire de quelque milliseconde le relai différentielle met le transformateur en hors service.

V.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé deux types de défauts possibles, qu'ils soient internes ou externes sur un réseau de transport à l'aide de l'environnement MATLAB.

Nous avons utilisé une protection différentielle pour protéger le transformateur de puissance sélectionné pour ce travail, qui fonctionne à une tension de 15,5 kV en entrée et 220 kV en sortie. Les résultats obtenus ont montré une performance satisfaisante et un fonctionnement correct du relais différentiel.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce projet nous a donné l'opportunité d'explorer le domaine de la transformation et de la distribution de l'énergie électrique, en mettant l'accent sur l'élément le plus important dans un poste de transformation, à savoir le transformateur de puissance. Notre étude porte sur la maintenance préventive et la protection des transformateurs de puissance.

Un dimensionnement adéquat des dispositifs de protection nécessite une bonne compréhension de leur fonctionnement théorique. Cette connaissance nous a permis d'établir une sélectivité entre les différentes protections choisies afin d'éviter des déclenchements inutiles.

Les transformateurs de puissance jouent un rôle crucial et indispensable dans le transport et la distribution de l'énergie. Ils sont soumis à diverses contraintes, ce qui exige une surveillance et un suivi réguliers.

Un transformateur défaillant peut entraîner des conséquences techniques, financières, commerciales et environnementales graves. Par conséquent, il est essentiel de mettre en place des mesures préventives telles que la détection et l'identification des défauts, ainsi que la protection adéquate du transformateur contre ces défauts.

La protection différentielle est l'un des moyens les plus efficaces pour protéger les transformateurs de puissance contre les défauts.

Dans notre travail, nous avons réussi à modéliser l'ensemble du système et à simuler avec succès, à l'aide de MATLAB, le comportement du système en présence de défauts. Grâce à ces résultats, nous avons pu comprendre l'importance de cette protection.

Nous espérons que le lecteur trouvera dans cette approche des informations complémentaires utiles pour l'étude et la protection des transformateurs de puissance.

Annexe

Nomenclature

Xeq	: Réactance équivalente.
N1	: Nombre des spires primaire.
N2	: Nombre des spires secondaire.
I1	: Courant primaire [Ampère].
I2	: Courant secondaire [Ampère].
U1	: Tension primaire [Volt].
U2	: Tension secondaire [Volt].
M	: Rapport de transformation.
H	: Rendement.
Y	: Couplage étoile.
D	: Couplage triangle.
Z	: Couplage zig zag.
θ	: Angle.
\emptyset	: Diamètre [millimètre].
Pa	: Puissance active [Mégawatt].
PR	: Puissance réactive [Méga volt ampère réactive].
S	: Puissance apparente [Méga volt ampère].
N	: Point neutre.
N I	: Non Identifié.
Cos (\emptyset)	: Facteur de puissance.
Req	: Résistance équivalente [Ohm].
Pcc	: Puissance en court-circuit [kilowatt].
Pj2	: Pertes joule au secondaire [kilowatt].
Pfer	: Pertes ferromagnétique [kilowatt].
HT	: Haute tension.
MT	: Moyen tension.
BT	: Bas tension.
HP	: Haute pression.
MP	: Moyen pression.

Références bibliographiques

- [1] KWU, Service de formation professionnel, Référence de la section 5501, Document interne de la centrale thermique de CAP-DJINET, 1984.
- [2] KWU, Service de formation professionnel, Référence de la section 5520, Document interne de la centrale thermique de CAP-DJINET, 1984.
- [3] KWU, Service de formation professionnel, Référence de la section 5512, Document interne de la centrale thermique de CAP-DJINET, 1984.
- [4] Yahiou Abdeghani, Contribution à l'étude et à l'analyse du régime transitoire dans les transformateurs de puissance : cas du courant d'appel, Mémoire de Magister, Département d'électrotechnique, Université de Sétif, 2012.
- [5] Mezari Naouel, Diagnostic des transformateurs de puissances, Mémoire de Magister, Département d'électrotechnique, Université de Tizi Ouzou, 2011.
- [6] Notice technique sur les centrales thermiques, Fascicule n° 21 le transformateur électricité de France.
- [7] James H. Harlow, Electric power transformer engineering, 2004
- [8] Pauwels international service, Formation générale sur les transformateurs de puissance GRTE, 2008.
- [9] Document réf, Maintenance : odt, 2010.
- [10] Gamme de maintenance centrale de cap djinet
- [11] Mr Zellagui Mohamed, Etude protection des réseaux électriques mt 30 & 10 kv, Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2010
- [12] Documentations de CAP-DJINET.
- [13] Documentation de SONALGAZ.
- [14] General Electric, power transformer protection relay T60..
- [15] Demane Ammar et Alili Abdelhak, Amélioration de la protection d'un transformateur de puissance, Mémoire de Master, Université de M'sila, 2018.
- [16] in power transformer,
<https://www.electrical4u.com/external-and-internal-faults-in-transformer>.
- [17] Djaouti Saad Allah Serradj Mohamed Etude de la protection d'un transformateur principal Mémoire de Magister Université SAAD DAHLAB de BLIDA.2017