

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



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département Ingénierie des Systèmes Electriques

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme master académique

Domaine

Sciences Techniques

Filière

Génie électrique

Spécialité

Electrotechnique Option Machines électriques

Etude et protection du transformateur de puissance (protection différentielle)

Présenté par : Laskri Bilal

encadré par :

Hanouti Imad

Mr: fellag. s

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciement

Nous remercions dieu tout puissant de nous avoir accordé santé, courage et patience pour accomplir ce travail

*Nous adressons nos vifs et sincères remerciements à notre promoteur 'Mr **Fellag. S** pour nous avoir encadre et conseillé tout ou long de notre travail*

*Nous désirons exprimer nos gratitudes remerciements à notre encadreuse **Tarzi.Y** qui nous a été une aide précieuse au sein de l'entreprise **SONALGAZ** Sans oublier l'ensemble du personnel de cet établissement qui a accepté de répondre à nos questions avec gentillesse.*

NOUS tenons à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

A tous nos professeurs qui nous ont fourni et transmis leurs savoirs

NOUS tenons à remercier toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à L'élaboration de ce travail.

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 sœurs : et à mon cher frère kouki

A ma petite princesse Dania ;

A mes oncles et mes tantes paternels et maternels en particulier

Djamel, Karime, Toufik, Salim, Amar

A mes meilleurs amis équipe de choc : Fares, lotfi, amar

A mes amis Sofiane, Nabil, hakime, badis, bilal, redouane

A mes camarades de classe

A tous mes enseignants et à toute la promotion Master 2 ME

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

MERCI A TOUS

Hanouti.I

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 sœurs : et à mes chers frères

A ma petite princesse Imane ;

A mes oncles et mes tantes paternels et maternels en particulier

A mes meilleurs amis équipe de choc : Oussama, Youcef, hamza

A mes amis, Imad, rami,

A mes camarades de classe

A ma future femme khalida

A tous mes enseignants et à toute la promotion Master 2 ME

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

MERCI A TOUS

Laskri. B

Sommaire

Chapitre I : présentation de la central de CAP-DJINET

I-1 Introduction	1
I-2 Implantation de la centrale (situation géométrique)	3
I-3 Superficie.....	3
I-4 Description	3
I-5 Historique	4
I-6 Principe de fonctionnement	4
I-7 Poste d'eau.....	8
I-7-1 Condenseur.....	8
I-7-1-1 Caractéristiques du condenseur.....	8
I-7-2 Les pompes.....	9
I-7-2-1 Pompes d'extraction.....	9
I-7-2-2 Caractéristiques des pompes d'extraction.....	9
I-7-2-3 Pompes d'alimentation.....	9
I-7-2-4 Caractéristiques des pompes d'alimentation	10
I-7-3 Bâche alimentaire.....	10
I-7-3-1 Caractéristiques de la bâche alimentaire.....	11
I-7-4 Réchauffeurs bas pression (BP).....	11
I-7-5 Réchauffeurs haute pression (HP).....	12

I-7-6 Dégazeur.....	12
I-8 Chaudière (générateur de vapeur)	12
I-8-1 Ses caractéristiques principales sont.....	13
I-8-2 Principe de fonctionnement.....	13
I-8-3 La chambre de combustion.....	14
I-8-4 Les brûleurs.....	14
I-8-5 Le réservoir du générateur de vapeur (ballon).....	14
I-9 Turbine de centrale cap djenet.....	14
I-9-1 Caractéristiques de la turbine.....	16
I-10 Les Réfrigérants.....	17
I-10-1 Réfrigérants d'été (Réfrigérants d'eau d'extraction)	17
I-10-2 Réfrigérants d'hydrogène.....	17
I-11 Alternateur.....	18
I-11-1 Caractéristiques de l'alternateur.....	18
I-12 La partie électrique de la centrale thermique de cap djenat	19
I-12-1 Transformateur principal.....	19
I-12-2 Transformateur de secondaire.....	20
I-12-3 Transformateur de réseau.....	22
I-13 Salle de commande centralisée	23

Chapitre II :étude théorique sur les transformateurs

II-1 Introduction.....	25
II-2 Définition du transformateur	25
II-3 Les Différents Types de transformateurs	26

II-3-A-Transformateurs de mesure	26
II-3-A-1 Il existe deux types de transformateurs de mesures	27
II-3-B-Transformateurs de puissance	28
II-3-C autotransformateurs	28
II-4 Modes de refroidissement des transformateurs	29
II-4-1 Refroidissement dans l'air	29
II-4-2 Refroidissement naturel dans l'huile	29
II-4-3 Refroidissement par radiateur d'huile	30
II-4-4 Refroidissement avec hydro réfrigérant	31
II-5 constitution de transformateur	31
II-5-1 Partie active	32
II-5-1-1 circuit magnétique	32
II-5-1-2 les enroulements	32
II-5-2 Partie constructive	34
II-5-2-1 La cuve	34
II-5-2-2 Le couvercle	35
II-5-2-3 Les Traversées	35
II-6 Principe de fonctionnement	36
II-6-A Fonctionnement de transformateur	37
II-6-A-1 L'essai à vide	37
II-6-A-2 Essai en court-circuit	37
II-6-A-2-1 Intérêt de l'essai en court-circuit	37
II-6-A-3 Essai en charge	37
II-7 choix de couplage	38
II-7-1 Couplage étoile – étoile	38
II-7-2 couplage triangle – étoile	39
II-7-3 couplage étoile-zigzag	39
II-8 Symbole	40
II-9 Utilisation.....	40
II-10 Puissances des transformateurs	41
II-11 Conclusion	41

Chapitre III: protection du transformateur de puissance

III-1 Introduction	42
III-2 Définition	42
III-3 Eléments du dispositif de protection.....	42
III-4 protection électrique :	42
III-4-1 Protection externe	43
III-4-2 Protection interne.....	43
III-5 Les types des protections	43
III-5-1 Protection surintensité	44
III-5-1-1 Introduction	44
III-5-1-2 Relais de protection.....	44
III-5-1-3 Relais d'intensité	44
III-5-1-4 L'intensité nominale	44
III-5-1-5 I 'intensité du réglage	44
III-5-2 Protection surcharge thermique	44
III-5-3 Protection des surtensions	45
III-5-3-1 Les éclateurs	45
III-5-3-2 Les parafoudres	46
III-5-4 Protection de masse cuve	46
III-5-5 Température d'huile	47
III-5-6 Protection différentielle	48
III-5-7 Buchholz	49
III-5-7-1 Introduction :	49
III-5-7-2 Fonctionnement	50
III-5-7-3 Relais Buchholz	50
III-6 Conclusion :	51

Chapitre IV : protection différentielle du transformateur de puissance

IV-1 Introduction	52
IV-2 Protection déférentielle	52

IV-3 Critères de base de la protection différentielle	53
IV-3-1 Fiabilité.....	53
IV-3-2 Sélectivité.....	53
IV-3-3 Sensibilité	53
IV-3-4 Vitesse	54
IV-3-5 Simplicité	54
IV-4 Les composantes principales de la protection différentielle	54
IV-4-1 Conducteur.....	54
IV-4-2 Disjoncteur	54
IV-4-3 Relais Différentiels.....	55
IV-5 Les défauts de transformateur de puissance	55
IV-5-1 Les défauts externes	55
IV-5-2 Les défauts interne	56
IV-6 Modélisation de la protection différentielle par Matlab	56
IV-6-1 Modélisation de la protection différentielle.....	57
IV-6 -2 Défaut externe.....	60
IV-6 -3 Défaut interne	63
IV-6 -4 Défaut interne en court-circuit.....	66
IV-6 -5 Modèle de saturation (Signifie le courant excédentaire dans le primaire).....	70
IV-7 Conclusion.....	73

Liste des figures

Chapitre I

Figure (I-1) : Centrale de cap-djenat.....	3
Figure (I-2) : Situation géométrique de centrale de cap –djénat.....	4
Figure (I-3) schéma de fonctionnement de centrale ras-djenet.....	8
Figure (I-4) : Bâche Alimentaire	12
Figure (I-5) : Vue de face d'un réchauffeur.....	12
Figure (I-6) : Corps haut pression HP.....	15
Figure (I-7) : Corps moyenne pression MP.....	16
Figure (I-8) : Corps basse pression BP.....	16
Figure (I-9) : Alternateur de centrale cap-djenat.....	19
Figure (I-10) : Transformateur principal TP.....	20
Figure (I-11) : Transformateur secondaire de cap-djenat.....	22
Figure (I-12) : Salle de commande.....	24

Chapitre II

Figure(II-1) : Transformateurs de puissance.....	26
--	----

Figure (II-2) : Transformateur de mesure immergé a bain d'huile au sol.....	27
Figure(II-3) : transformateur immergé dans l'huile.....	30
Figure (II-4) : refroidissements par radiateur d'huile	30
Figure (II-5) : refroidissement avec hydro réfrigérant.....	31
Figure (II-6) : circuit magnétique de transformateurs.....	32
Figure (II-7) : l'enroulement de transformateur	33
Figure (II-8) : cuve de transformateur.....	34
Figure (II-9) : Remplacement d'une traversée.....	36
Figure (II-10) : couplage Y-Y.....	39
Figure (II-11) : diagramme vectoriel	39
Figure(II-12) :couplageY-Z	40
Figure (II-13) : diagramme vectoriel.....	40
Figure (II-14) : symbole d'un transformateur	40
Figure (II-15) : Transformateur élévateur de tension 220 V / 4500 V provenant d'un four à micro-ondes.....	41

Chapitre III

Figure :(III-1) Parafoudre.....	46
Figure : (III-2) éclateur	46
Figure :(III-3) Masse cuve.....	47
Figure :(III-4) Schéma de protection différentiel.....	49
Figure (III-5) la vue externe Relai Buchholz	49
Figure :(III-6) Relai Buchholz.....	51

Chapitre IV

Figure (IV.1) : Le schéma de principe de la protection différentielle pour le transformateur de puissance (Y-Y).....	52
Figure (IV.2) : défaut externe	55
Figure (IV.3) : défaut interne.....	56
Figure (IV.4) : Diagramme de connexion de relais différentiel simple (fonctionnement normal)...	57
Figure (IV.5) : Diagramme schématique du différentiel simple Relais.....	58
Figure (IV.6) : Courant primaire du transformateur de puissance (aucun défaut)	58
Figure (IV.7) : Courant secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut)	59
Figure (IV.8) : Graphe représenté la différence de courant entre le primaire et secondaire (aucun défaut) dans une phase.....	59
Figure (IV.9) : Modèle de défaut externe.....	60
Figure (IV.10) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut externe)	61
Figure (IV.11) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut externe)	61
Figure (IV.12) : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.....	62
Figure (IV.13) : Graphe représenté la différence courant entre le primaire et secondaire (défaut externe)	62
Figure (IV.14) : Modèle de défaut interne.....	63
Figure (IV.15) Courant primaire du transformateur de puissance (défaut interne)	64
Figure (IV.16) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut interne)	64
Figure (IV.17) : Graphe représenté la différence entre le courant primaire et secondaire (défaut interne)	65
Figure (IV.18) : Modèle de défaut interne(court-circuit)	66
Figure (IV.19) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut interne en court-circuit)	66

Figure (IV.20) Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut interne en court-circuit)	67
Figure (IV.21) : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.....	67
Figure (IV.22) : Graphe représenté la déférence curant entre le primaire et secondaire (défaut interne en court-circuit)	68
Figure (IV.23) : Signal d’ouverture le disjoncteur (défaut interne en court-circuit)	68
Figure (IV.24) : Système normal avec noyau saturable.....	69
Figure (IV.25) : Paramètres de bloc du transformateur de puissance saturable.....	70
0Figure (IV.26) : Courant primaire du transformateur de puissance (noyau saturable)	70
Figure (IV.27) Courant secondaire du transformateur de puissance (noyau saturable)	71
Figure (IV.28) : Graphe représenté la déférence curant entre le primaire et secondaire (noyau saturable)	71
Figure (IV.29) : : Signal d’ouverture le disjoncteur (noyau saturable)	73

Listes des symboles

M.W : Méga Watt.

K.M : Kilo Mètre.

B.P : Basse Pression.

H.P : Haute Pression.

M.P : Moyenne Pression.

M.V.A : Méga Volt Ampère.

Y_nD : couplage étoile triangle avec neutre.

Y.D : couplage étoile triangle.

T.P : Transformateur puissance.

A.C : courant alternative.

T.T : Transformateur de tension.

T.C : transformateur de courant.

N_1 : nombre de spire primaire.

N_2 : Nombre de spire secondaire.

U_1 : Tension primaire.

U_2 : Tension secondaire.

U_{cc} : Tension de court-circuit.

U_{1n} : Tension nominal primaire.

U_{2n} : Tension nominale secondaire.

P_j : Perte joule.

Y.Y : couplage étoile-étoile.

Y.D : couplage étoile triangle.

Y.Z : étoile-zigzag.

H.T : Haute Tension.

F_1 : Flotteur 1.

F_2 : Flotteur 2.

I_p : courant primaire.

I_s : courant secondaire.

U_{20} : tension secondaire à vide.

Introduction Générale

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement non seulement de point de vue quantitative mais aussi qualitative. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre de centrales électriques, de lignes, de transformateurs etc., ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel.

Cette énergie ne se consomme pas directement, donc pour brancher un récepteur sur une source d'énergie électrique, il faut avant tout vérifier si la tension de la source correspond à celle du récepteur, sinon cela pose un problème d'adaptation de tension. Dans le cas de non égalité des tensions (source, abonné), il est nécessaire d'insérer un appareil d'adaptation des tensions. Ce dernier aura comme tension d'entrée celle de la centrale de production (ou du réseau) et comme tension de sortie celle d'abonné de distribution (ou du réseau de transport) : c'est le transformateur de puissance.

Un transformateur électrique (parfois abrégé en « transfo ») est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement.

Pour que les installations électriques puissent fonctionner normalement permettant ainsi d'assurer la continuité de service, il faut les doter des systèmes de protection.

Chaque système de protection a pour rôle de surveillance en permanence de l'état de tout le réseau électrique, et d'assurer la mise hors service de tout équipement qui devient le siège d'un défaut électrique, et tout défaut doit donc être identifié immédiatement.

La protection différentielle est une technique conceptuelle simple. Elle est basée sur la comparaison des courants d'entrée et les sorties d'un transformateur, si n'importe quel déséquilibre se trouve entre les courants primaires et secondaires le relai déclenche le disjoncteur primaire et met le transformateur de puissance hors service.

Dans ce travail nous présenterons l'aspect théorique du point de vue électrique des transformateurs et leurs protections par les relais différentielles.

Le mémoire est organisé comme suit :

Dans le chapitre I en présent la centrale thermique de CAP DJINET.

Dans le chapitre II en présente l'étude théorique de transformateur de puissance.

Dans le chapitre III en présent les différentes protections de transformateur de puissance.

Dans le chapitre IV en présente la protection différentielle de transformateur puissance.

En fin le travail se termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I

*Présentation de la
centrale de CAP
DJINET*

I-1 Introduction :

La centrale thermique de CAP-DJINET est située à la bordure de la mer à 75 km à l'est d'Alger, dans la wilaya de Boumerdes. Elle s'étend sur une surface de 35 hectares, sa construction a été entamée en 1981 par la société allemande SIEMENS.

L'unité de CAP-DJINET est une station de production d'électricité à partir du gaz naturel de HASSI R'MEL acheminé par gazoduc et en cas de problème d'alimentation avec le gaz le secours est assuré par du fuel-oil domestique stocké dans deux (02) réservoirs de 10 000m³ chacun.

La centrale thermique de CAP-DJINET se compose de quatre tranches thermiques à vapeur d'une puissance nominale unitaire de 176MW. Sa puissance totale installée est de 704MW, et la puissance fournie au réseau est de 672MW, et la consommation totale des auxiliaires des 4 tranches et des auxiliaires communs est de 32MW.

Cette centrale comprend quatre tranches chaque tranche thermique est constituée de :



Figure (I-1) : Centrale de CAP-DJINET

I-2 Implantation de la centrale (situation géométrique) :

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) : Situation géométrique de centrale de CAP-DJINET

I-3 Superficie : 35 hectares.

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

- Proximité de la mer.
- Proximité 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.

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 s'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 d'écrire 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 :

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

Chaudière

- Energie chimique → Energie calorifique

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

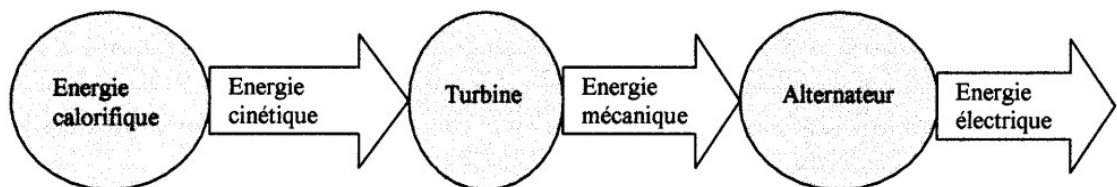
Turbine

- _____ Energie calorifique → Energie mécanique

3. Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Alternateur

- Energie mécanique → Energie électrique



La centrale thermique de RAS-DJINET fonctionne avec circuit fermé de circulation d'eau et de 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 $3 \times 261,6 \text{ m}^3/\text{h}$), 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 à température plus élevée, l'eau chaude monte dans les tubes jusqu'à l'évaporation, la vapeur est 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 augmente 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 refoule dans le condenseur pour refroidir ce dernier et sa course en retournant vers la mer.

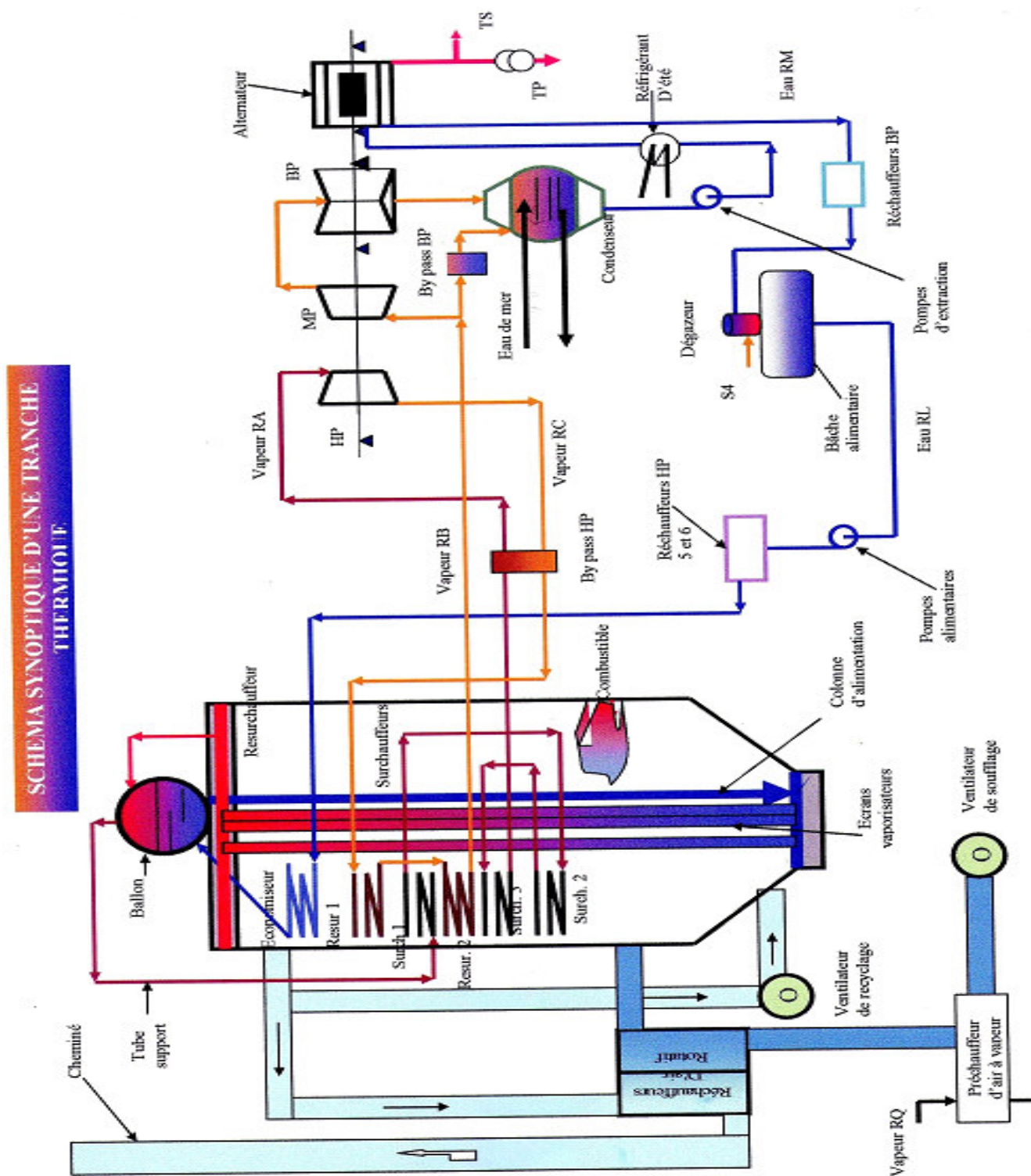


Figure (I-3) : schéma de fonctionnement de centrale CAP-DJINET

I-7 Poste d'eau :

I-7-1 Condenseur :

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

Les principales fonctions de condenseur sont :

-assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuée du corps (BP) de la turbine et de réintroduire du 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).

-dégazer également le condensât des réchauffeurs (BP).

-recevoir des différentes purges et de la vapeur de contournement (by-pass BP).

I-7-1-1 Caractéristiques du condenseur :

- Pression dans le condenseur : 0,07 bar absolue.
- Capacité du puits entrée/sortie : eau de mer 6° à 8°C.
- Surface d'échange : 10101 m²
- Masse de condenseur à vide : 258,5 tonnes.
- Matériau de tube : titans.
- Vitesse de l'eau dans les tubes : 1,8 m/s.
- Débit vapeur : 98,25 kg/s.
- Débit d'eau de refroidissement : 6500 kg/s (eau de mer).
- Nombre de tubes : 14850.
- Longueur des tubes : 11490 mm
- La température de sortie : 32,9°C.

- La pression de sortie : 0,05 bars.

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 :

- Aspirant 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'eau manque 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 (moyen 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-4) : 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-5) : 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.
- Un réchauffeur rotatif d'air de combustion, sert à réchauffer l'air de combustion par récupération de chaleur des fumées.

I-8-1 Ses caractéristiques principales sont :

- 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 246 C°
- Température de sortie de fumée 118C°
- Température dans le foyer 900 C°

I-8-2 Principe de fonctionnement :

Le premier élément traversé par l'eau d'alimentation afin d'augmenter sa température est l'économiseur, ensuite 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

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 rigidement.

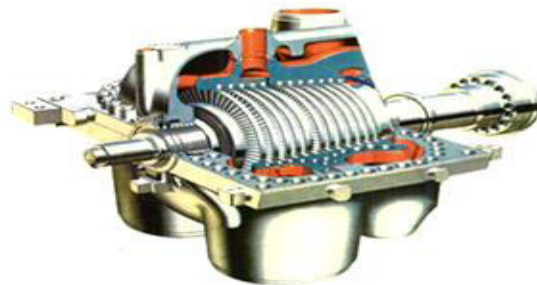
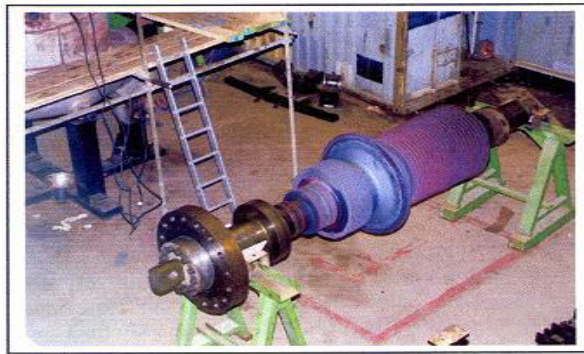


Figure (I-6) : Corps haut pression HP

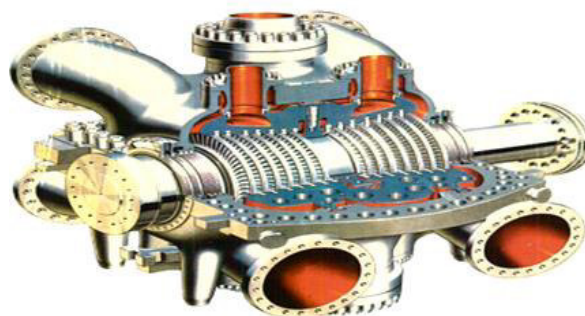
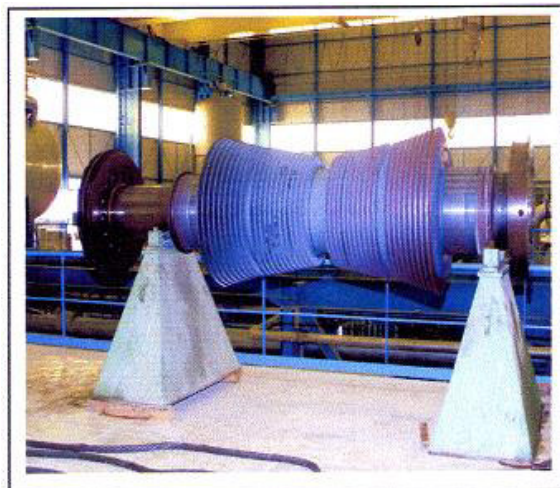


Figure (I-7) : Corp moyenne pression MP

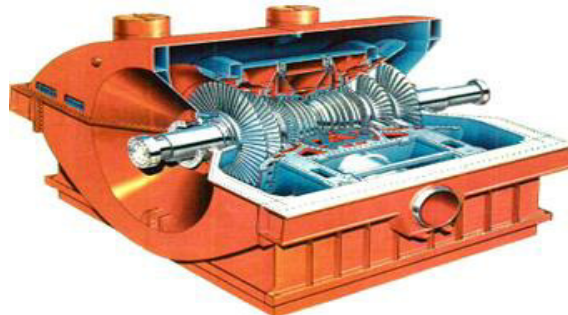


Figure (I-8) : Corps basse pression BP

I-9-1 Caractéristiques de la turbine :

- Longueur : 16,125 m.
- Largeur : 13 m.
- Poids : 500.10^3 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 haute pression (HP₆).

- A l'entrée du corps : Pression : 138 bars.

Température : 540°C.

-A la sortie du corps : Pression : 40 bars.

Température : 357°C.

-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.

- A la sortie du corps : Pression : 5,52 bar.

Température : 282°C.

- Le soutirage S5 alimente le réchauffeur haute 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 conduite.

- 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 (H_2) ($4 \times 25\%$) sont logés horizontalement à l'intérieur de l'enveloppe de l'alternateur. C'est des échangeurs par surface qui refroidissent l' H_2 chaud par la méthode des courants croisés. L'échange de chaleur entre l' H_2 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-9) : 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).



Figure(I-10) : Transformateur principal

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-11) : 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 côté 6.3KV. Ses données caractéristiques sont les suivantes :

*Puissance nominale :

-sans ventilateurs(ONAN) 14 MVA.

-avec ventilateurs(ONAF) 20 MVA.

* Rapport de transformation : $6.3 \text{ K V} \pm 9\% / 6.3 \text{ K V}$.

*Commutateur de réglage en charge : pour la mise au point de la transformation coté haute tension (19 positions $15.5 \text{ KV} \pm 9\%$), 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.

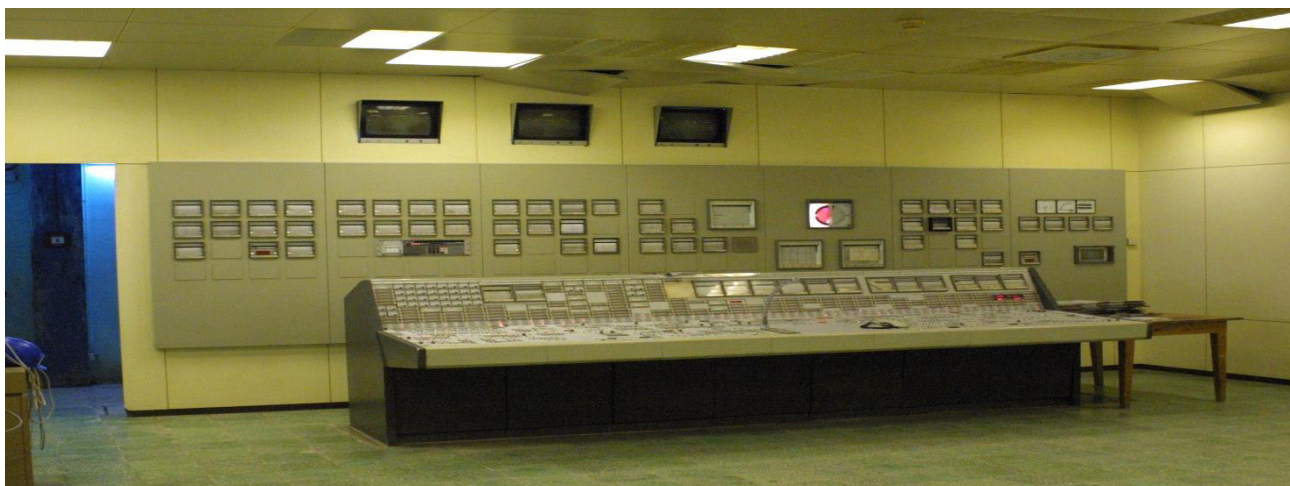


Figure (I-12) : Salle de commande

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 savoir les réservoirs, le condenseur, les pompes (extractrice, alimentaire), bache de conditionnement, le réchauffeur basse et haute pression, le dégazeur, la chaudière, la chambre de combustion, les brûleurs, le réservoir du générateur de vapeur, la turbine, les réfrigérants, l'alternateur et les transformateurs, dont chacun de ces composants possède ses propres caractéristiques, ses tâches et rôles bien déterminés dans la chaîne de production et bien sûr générés par une commande centralisée afin d'assurer le taux de production de cette centrale.

CHAPITRE II

*Étude théorique sur les
transformateurs*

II-1 Introduction :

Ce sont des appareils statiques à induction, destinés à transformation un système de courant alternatif en un autre système de courant alternatif d'intensité et de tension différentes

L'énergie électrique généralement fournie par les alternateurs triphasés.

Cette tension est trop basse lorsqu'il s'agit de transporter à plusieurs centaines de kilomètres une puissance important

Pour réduire les pertes ohmiques dans ligne on a intérêt à élever la tension et à diminuer l'intensité

Les transformateurs statiques, dont aucun organe n'est mobile, ont pour rôle de modifier les constantes de l'alternateur (tension et intensité).

Ils se construisent soit en monophasé, soit en polyphasé, en fonction de leur utilisation.

Un transformateur est dit (élevateur) lorsqu'il fournit au secondaire une tension plus élevée que celle qu'il reçoit au primaire. Il dit (abaisseur) dans le cas contraire les lignes à très haute tension sont alimentées par des transformateurs éleveurs, dont la tension secondaire normalisée est de 150, 225, 400 ou 750 kV.

II-2 Définition du transformateur : [1]

Transformateur de puissance : est un appareil statique à deux enroulements ou plus qui, par induction électromagnétique, transforme un système de tension et de courant alternatif en un autre système de tension et de courant de valeurs généralement différentes à la même fréquence dans le but de transmettre de la puissance électrique.

Les transformateurs sont réversibles et permettent, soit l'élévation, soit l'abaissement de la tension, d'où la possibilité de choisir la meilleure tension pour la production, le transport, la distribution, l'utilisation de l'énergie électrique, et de passer facilement de l'une à l'autre.

Un transformateur électrique permet donc de faire transiter la puissance électrique en courant alternatif (AC) depuis la centrale de production d'électricité jusqu'à son utilisateur final avec un minimum de pertes, à différents niveaux de tensions.



Figure(II-1) : Transformateurs de puissance

II-3 Les Différents Types de transformateurs : [15]

II-3-A-Transformateurs de mesure :

Les transformateurs de mesure font l'interface entre le réseau électrique et un appareil de mesure. La puissance disponible au secondaire est définie suivant les besoins de l'appareil de mesure.

II-3-A-1 Il existe deux types de transformateurs de mesures :



Figure(II-2) : Transformateur de mesure immergé a bain d'huile au sol

II-3-A-1-1 Transformateurs de tension TT :

Un transformateur de tension est un transformateur fonctionnant pratiquement à vide, destiné à ramener une haute tension ou (moyenne-tension) à une valeur admissible pour un appareil de mesure ou un système de protection.

II-3-A-1-2 Transformateurs de courant TC :

Un transformateur de courant est un transformateur fonctionnant pratiquement en court-circuit (CC) destiné à ramener un courant important à une valeur admissible pour un appareil de mesure. Le secondaire est dimensionné normalement pour un courant nominal de 1 ou 5.

II-3-B-Transformateurs de puissance :

Il existe différents types des transformateurs, mais nous intéresserons à l'étude des transformateurs de puissances de réseaux électriques car ils présentent le plus grand intérêt dans le développement de l'interconnexion des réseaux.

Du point de vue construction, deux principales technologies sont distinguées, à savoir les transformateurs à colonnes et les transformateurs cuirassés. Ces deux types de transformateurs sont encore aujourd'hui les plus employés.

La puissance des transformateurs varie de quelques KVA à plusieurs centaines de MVA. Les tensions d'usage commencent, quant à elles, à quelques centaines de volts, sur les réseaux de distribution, pour atteindre plusieurs centaines de kilovolts en sortie des centres de production. Le choix d'un type de transformateur sur cette large gamme dépend non seulement des contraintes électriques, mécaniques et thermiques, mais également des problèmes d'encombrements et économiques. Toutefois, la majorité des équipements commercialisés concernent des transformateurs à colonnes, de distribution et d'une puissance allant de quelques dizaines à quelques centaines de KVA.

II-3-C autotransformateurs : [2]

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 d'enroulement.

Dans ce type de transformateur particulier, il n'y a pas d'isolation électrique entre le primaire et la sortie du secondaire. La conséquence est qu'une partie du bobinage est traversé par 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 courants 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 Modes de refroidissement des transformateurs : [14]

Lors de son fonctionnement, un transformateur est le siège de pertes d'énergie, dont la plus grande partie est localisés dans deux éléments principaux :

****Le circuit magnétique ou elles sont causées par la variation du flux alternatif dans les tôles magnétiques, et dépendent de l'induction, c'est-à-dire de la tension appliquée,**

****Dans les enroulements ou elles sont dues en grande partie à l'effet joule, mais aussi de courants de Foucault, et dépendent du courant, c'est-à-dire de la charge.**

La présence des pertes exige réchauffement donc une diminution de rendement, pour cette raison, il est nécessaire de refroidir les transformateurs des grosses puissances, afin d'éviter la détérioration des vernis isolants. Ce refroidissement peut se faire de différentes façons :

II-4-1 Refroidissement dans l'air :

Dans les transformateurs de faible puissance et à basse tension, le refroidissement est assuré par la circulation naturelle de l'air environnant. L'enveloppe métallique de ces transformateurs est munie d'ouvertures permettant le libre passage de l'air (Fig. I. 22.a). Si l'on désire un refroidissement plus énergique, on peut souffler de l'air à l'intérieur de l'enveloppe métallique à l'aide d'un ventilateur.

II-4-2 Refroidissement naturel dans l'huile :

Les transformateurs de distribution baignent dans une cuve contenant de l'huile minérale (Figure II-3). L'huile assure le transport de la chaleur provenant du noyau et des enroulements jusqu'à la paroi de la cuve ; de là, la chaleur est ensuite cédée à l'air extérieur. De plus, l'huile assure un isolement meilleur que l'air et elle protège les enroulements contre l'humidité de l'air. L'humidité a pour effet d'accélérer l'oxydation des isolants soumis aux hautes tensions.



Figure(II-3) : transformateur immergé dans l'huile

II-4-3 Refroidissement par radiateur d'huile :

Pour les grandes puissances, on augmente la surface de rayonnement de la cuve en disposant des radiateurs autour de celle-ci (Figure II-4). L'huile s'échauffe dans le transformateur, monte dans la cuve et circule de haut en bas dans les tubes extérieurs où elle se refroidit. On facilite la dissipation de la chaleur en assurant la ventilation forcée des radiateurs eux-mêmes. de puissants ventilateurs, disposés autour des radiateurs, produisent les courants d'air nécessaires.

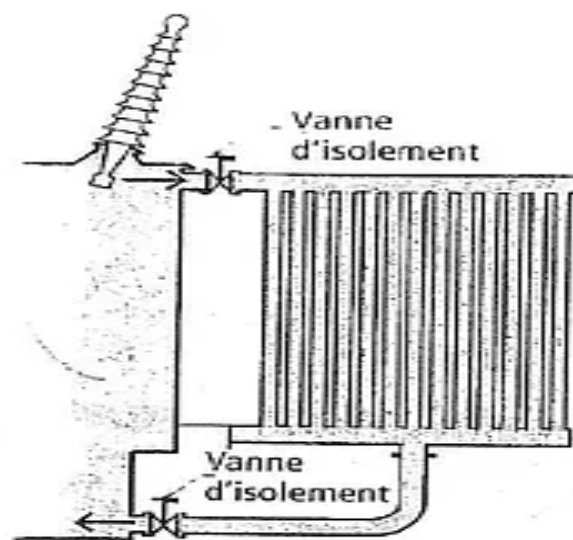


Figure (II-4) : refroidissements par radiateur d'huile

II-4-4 Refroidissement avec hydro réfrigérant :

La circulation de l'huile s'effectue dans une cuve contenant des tubes à l'intérieur desquels circule de l'eau froide.

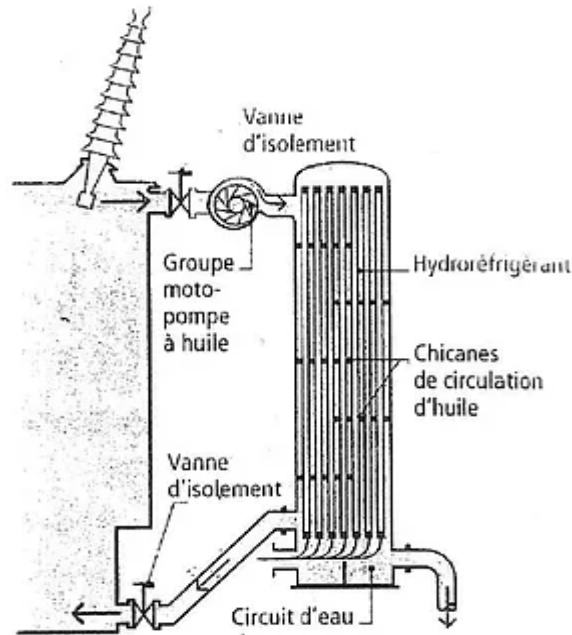


Figure (II-5) : refroidissement avec hydro réfrigérant

II-5 constitution de transformateur :

Un transformateur est constitué d'un circuit magnétique, composé de tôles empilées les unes sur les autres. Sur une colonne de ce circuit magnétique est placé un enroulement réalisé par des spires de fils conducteur. Ce bobinage est appelé enroulement primaire du transformateur. Un second enroulement est bobiné sur le circuit magnétique, il est appelé enroulement secondaire du transformateur. La tension secondaire à vide est proportionnelle à la tension du primaire.

Le transformateur est une machine d'induction qui comporte deux parties essentielles :

- Partie active constituée par : le circuit magnétique et les enroulements primaire et secondaire.
- Partie constructive formée : de la cuve, du couvercle et des traversées.

II-5-1 Partie active :

Les composantes actives du transformateur assurant la conversion du courant sont le circuit magnétique et les enroulements.

En matière de conception électromécanique des appareils de grandes puissances, on rencontre principalement les technologies suivantes :

II-5-1-1 circuit magnétique : [3]

Le circuit magnétique d'un transformateur est soumis à un champ magnétique variable au cours du temps. Pour les transformateurs reliés au secteur de distribution, cette fréquence est de 50 ou 60 hertz. Le circuit magnétique est le plus souvent feuilleté pour diminuer les pertes par courants de Foucault, qui dépendent de l'amplitude du signal et de sa fréquence. Pour les transformateurs les plus courants, les tôles empilées ont la forme de E et de I, donnant la possibilité ainsi de glisser une bobine au sein des fenêtres du circuit magnétique ainsi constitué. Les circuits magnétiques des transformateurs « haut de gamme » ont la forme d'un tore. Le bobinage des tores étant plus délicat, le prix des transformateurs toroïdaux est nettement plus élevé.

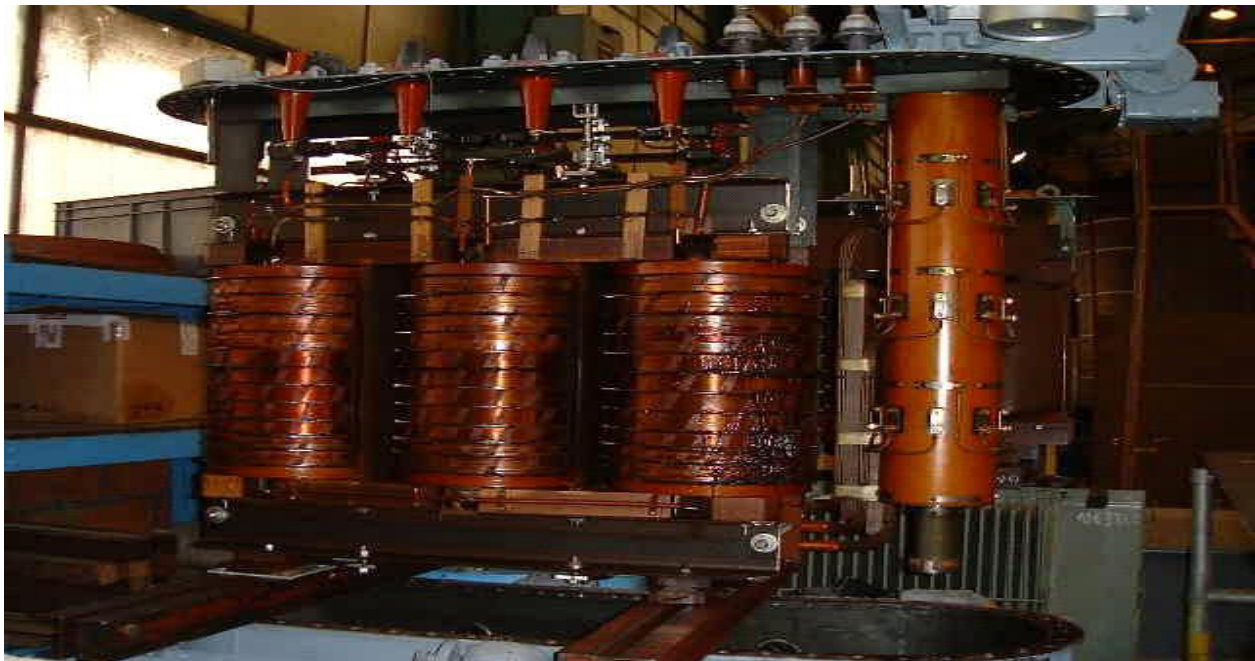


Figure (II-6) : circuit magnétique de transformateurs

II-5-1-2 les enroulements : [3]

Les enroulements sont généralement concentriques pour minimiser les fuites de flux.

Le conducteur électrique utilisé dépend des applications, mais le cuivre est le matériau de choix pour l'ensemble des applications à fortes puissances. Les fils électriques de chaque tour doivent être isolés les uns des autres pour que le courant circule dans chaque tour. Pour des petites puissances, il suffit d'utiliser des conducteurs magnétiques émaillés pour assurer cette isolation ; dans les applications à plus fortes puissances on entoure les conducteurs de papier diélectrique imprégné d'huile minérale. Pour les plus fortes puissances on utilise des conducteurs multibrins pour limiter l'effet de peau mais aussi les pertes par courants de foucault.

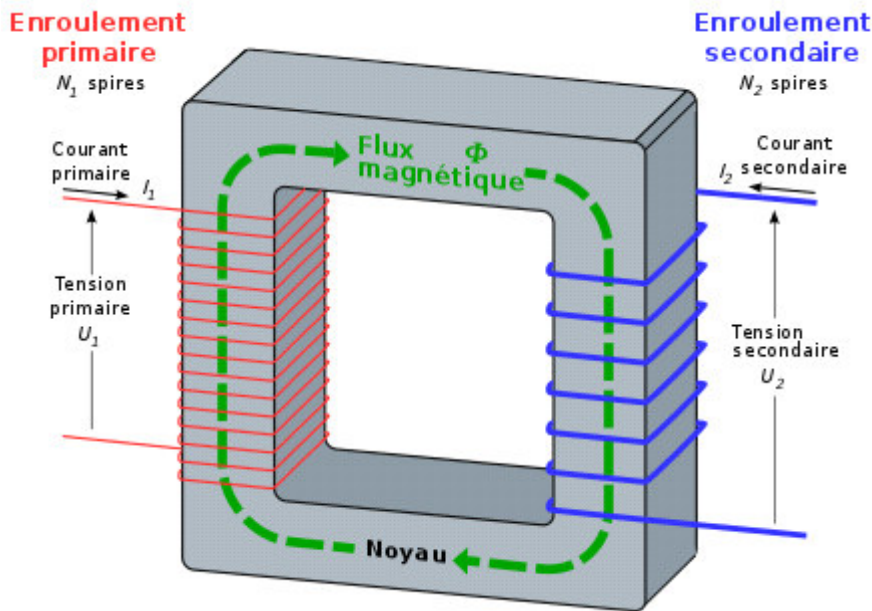


Figure (II-7) : l'enroulement de transformateur

II-5-1-2-1 enroulement primaire :

Le rôle de l'enroulement primaire est la création du champ alternatif. La tension à laquelle il est élevé et l'intensité de courant qui le parcourt est faible, ce qui impose une section faible et un nombre de spires important.

II-5-1-2-2 enroulement secondaire :

Le rôle de l'enroulement secondaire est la production du courant induit, celui-ci se caractérise par une forte intensité. Cette caractéristique impose une section des conducteurs relativement importante et un nombre de spires limité.

II-5-2 Partie constructive :

En plus de la partie active, le transformateur comprend une série d'éléments mécaniques appelées pièces constructives, destinée à la fixation et au refroidissement de la partie active et au branchement des enroulements sur le réseau électrique, elles se résument ainsi

II-5-2-1 La cuve :

En plus de son rôle de réservoir au liquide diélectrique, la cuve assure le maintien mécanique du circuit magnétique et des enroulements. Elle épouse naturellement le contour de la partie active et minimise ainsi le volume d'huile donc également les coûts et la masse du transformateur.



Figure (II-8) : cuve de transformateur

Enfin, à la base de celui-ci des shunts magnétiques permettent de canaliser partiellement les flux de fuites.

La cuve est équipée de divers dispositifs dont les crochets, les galets, les vannes par ailleurs elle doit répondre aux exigences suivantes :

- Résistance mécanique et rigidité nécessaire pour éviter toute déformation sous l'effet du poids de la partie active, de l'huile et des charges.

- Bonne étanchéité.

- Grande surface de contact avec l'air pour faciliter le refroidissement, le type de cuves qui nous parait la mieux adaptée est la cuve à ailettes.

II-5-2-2 Le couvercle :

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

II-5-2-3 Les Traversées :

Les enroulements sont reliés aux circuits à travers les traversées qui permettent le passage des conducteurs à travers le couvercle. Ce sont des tubes isolants en porcelaines fixés sur le couvercle, leurs formes et leurs dimensions sont très variées, elles sont fonction de la tension, la puissance et l'utilisation du transformateur.



Figure (II-9) : Remplacement d'une traversée

II-6 Principe de fonctionnement : [12]

Un transformateur comprend essentiellement deux circuits électriques couplés sur un circuit magnétique commun constitué par un empilage de tôle.

L'un des circuits électriques dit enroulement primaire de N_1 spire étant raccordé à une source de courant alternatif U_1 un courant I_0 traverse cet enroulement et donne naissance à un flux Φ_m dans circuit magnétique, ce flux induit une force électromotrice dans le deuxième enroulement dit enroulement secondaire de N_2 spires au borne du quel apparaît une tension U_2 .

II-6-A Fonctionnement de transformateur :

II-6-A-1 L'essai à vide :

Un transformateur est dit à vide lorsque son côté primaire est connecté à une source (au réseau), et son côté secondaire est fermé sur un voltmètre de très grande impédance interne.

$$U_2 = Z_2 I_2 \quad I_2 = U_2 / Z_2$$

II-6-A-1-1 Intérêt de l'essai à vide :

L'essai à vide d'un transformateur sert à pour l'intérêt de le déterminer le rapport de transformation K . $K = U_{20} / U_1$

II-6-A-1-2 Les pertes fer :

Pertes dans le fer dépendent du flux circulant dans le circuit magnétique, ce flux étant pratiquement indépendant de la charge du transformateur, il en sera de même des pertes.

Les pertes dans le Fer sont de deux sortes :

- les pertes par courant de Foucault.
- les pertes par hystérésis.

II-6-A-2 Essai en court-circuit :

Un transformateur est de fonctionnement en régime de court-circuit, lorsque son côté primaire est connecté à une source et son côté secondaire est fermé à un ampèremètre possédant une impédance interne très faible.

II-6-A-2-1 Intérêt de l'essai en court-circuit :

L'essai en court-circuit d'un transformateur permet de déterminer :

II-6-A-2-2 La tension primaire de court-circuit :

$$U_{cc} = (5 \div 10) \% U_{In}$$

II-6-A-2-3 Les pertes de cuivre :

$$P_J = R_1 \cdot I_{1cc}^2 + R_2 \cdot I_{2n}^2$$

II-6-A-3 Essai en charge :

Un transformateur est dit fonctionnement en charge lorsque son primaire est connecté à une source (réseau) et son secondaire est fermé sur une charge.

II-6-A-3-1 Intérêt de l'essai en charge :

L'essai en charge d'un transformateur permet de déterminer son rendement.

II-7 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.

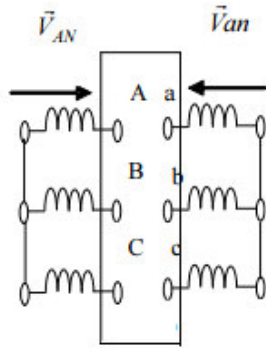
Pour représenter le schéma d'un transformateur triphasé, on fait les conventions suivantes :

A, B, C les bornes de la haute tension,

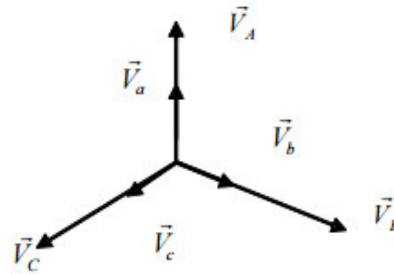
a,b,c les bornes de la basse tension.

II-7-1 Couplage étoile – étoile : [3]

Pour le couplage étoile - étoile, les tensions aux bornes des bobines du primaire et du secondaire de la même colonne sont des tensions simples (Fig. II-10). Ce qui permet de construire le diagramme vectoriel (Fig. II-11). Le déphasage θ de basse tension par rapport à la haute tension est nul, ce qui donne un indice horaire $I = 0$.



Figure(II-10) : couplage Y-Y



figure(II-11) : diagramme vectoriel

II-7-2 couplage triangle – étoile : [3]

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 (Fig. / 16.A). Le rapport de transformation est $m = \sqrt{3} \cdot (N_2/N_1)$. Le déphasage θ entre les tensions primaires et le secondaire est de $(-\pi/6)$, ce que veut dire l'indice horaire est I = 11.

II-7-3 couplage étoile-zigzag : [4]

Pour le couplage étoile zigzag (Figure II-12), 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 (Figure II-13). 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 veut dire l'indice horaire est I = 11.

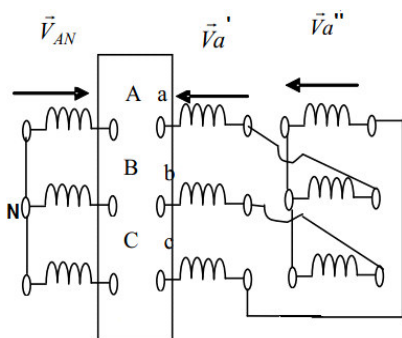


Figure (II-12) : couplage Y-Z

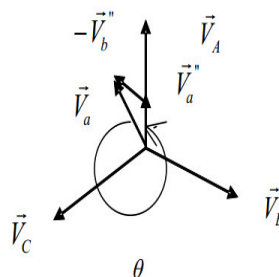


figure (II-13) : diagramme vectoriel

II-8 Symbole :

On trouve deux symboles. Sur celui de la (Figure II-14), les trois barres verticales symbolisent le noyau magnétique qui permet à l'énergie magnétique de passer du bobinage primaire au bobinage secondaire.

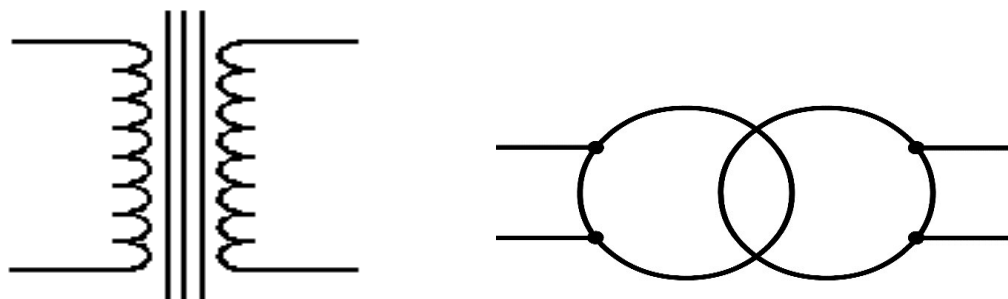


Figure (II-14) : symbole d'un transformateur

II-9 Utilisation : [13]

Il ne pourrait pas y avoir de transport d'énergie électrique à grande distance sans transformateurs. Grâce aux transformateurs élévateurs de tension, on transporte des volts plutôt que des ampères, limitant les pertes d'énergie à quelque pour cent. D'autres transformateurs abaissent la tension pour que celle-ci ne soit plus aussi dangereuse pour l'utilisateur. Les transformateurs sont réalisés en toutes puissances et tensions, de quelques VA et à basse tension pour l'alimentation de circuits électroniques à quelques centaines de MVA et de kV pour l'alimentation ou le couplage des réseaux de transport de l'énergie électrique. Le transformateur est également utilisé comme adaptateur d'impédance en électronique.

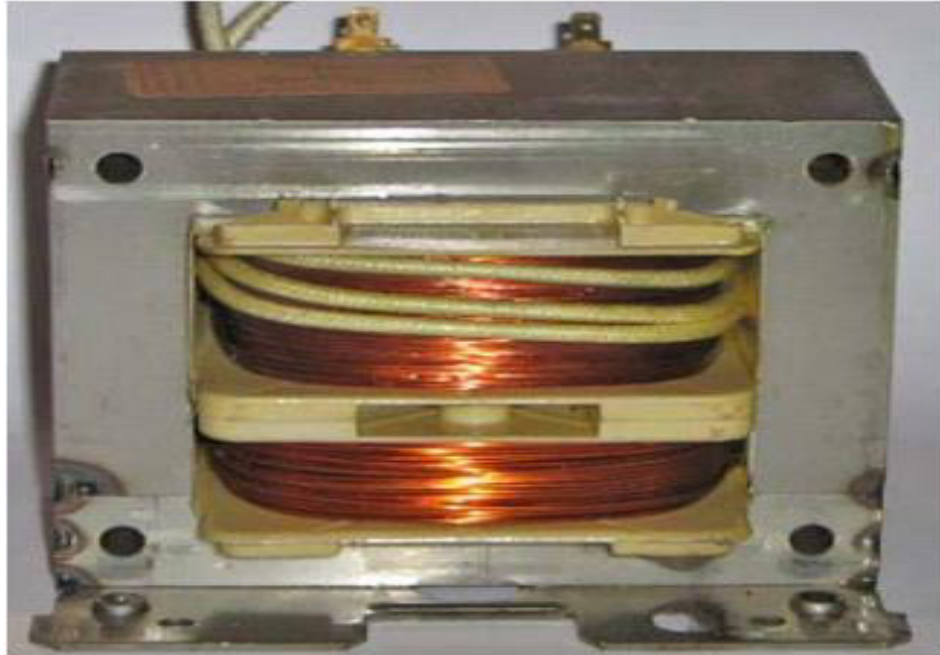


Figure (II-15) : Transformateur élévateur de tension 220 V / 4500 V provenant d'un four à micro-ondes.

II-10 Puissances des transformateurs :

Par définition $\cos\varphi$ est le facteur de puissance.

Puissance active(W) : $P=\sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$

Puissance réactive (VAR) : $P=\sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$

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

II-11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné quelques rappels théoriques sur les transformateurs. Un intérêt particulier a été accordé au transformateur de puissance. En effet le transformateur joue un rôle très important, élément essentiel de réseau électrique est d'acheminer l'énergie électrique de son point de production jusqu'à son point de consommation, et aussi l'élément le plus critique dans le système de transport d'électricité.

CHAPITRE III

Protection du transformateur de puissance

III-1 Introduction :

Le transformateur joue un rôle très important dans les systèmes d'énergie électrique par conséquent, la continuité de fonctionnement du transformateur est une importance vitale pour assurer la fiabilité du système d'alimentation.

III-2 Définition : [5]

La protection est une question à traiter du point de vue économique, en considérant la probabilité d'un type de défaut, les conséquences de sa manifestation éventuelle (perte de production, coût de remise en état, dommage au matériel) et le coût de l'efficacité de la ou des protections destinées à l'empêcher ou à le limiter. En effet on distingue plusieurs types de protection des transformateurs de puissance.

III-3 Eléments du dispositif de protection : [6]

Le dispositif de la protection électrique se compose des éléments suivants :

- relais (comparateur).
- relais auxiliaire temporisation, signalisation, alarme.
- transformateur de courant ou de tension (capteur).
- source d'alimentation secondaire.
- disjoncteur.
- conducteurs de connexion, fusibles et bornes de vérification.

III-4 protection électrique : [7]

La protection électrique peut être considérée comme une sentinelle permanente de tout le réseau électrique y compris centrales et consommateurs. Le rôle de la protection électrique est de détecter l'existence de tout défaut électrique et de mettre automatiquement hors circuit l'élément du réseau ou équipements devenus défectueux. En liaison avec l'emplacement du défaut on distingue

III-4-1 Protection externe :

C'est la protection d'une installation contre les contraintes anormales dont l'origine est extérieure. A cette installation, elles provoquent un déclenchement partiel. Installation séparée de réseau accidenté mais restant sous tensions.

III-4-2 Protection interne :

En cas d'avarie de matériel cette protection limite les conséquences de ces avaries en isolant la partie de l'installation où le défaut s'est produit.

Ces protections provoquent un déclenchement total. L'installation protégée se trouve isolée de toute source de courant.

III-5 Les types des protections : [6]

N°	Types de protection
1	Protection contre sur intensité
2	Protection de surcharge thermique
3	Protection surtension
4	Protection masse cuve
5	Température d'huile
6	Protection différentielle
7	Protection Buchholz

III-5-1 Protection surintensité [8]

III-5-1-1 Introduction :

La protection contre les surintensités consiste à installer un dispositif de protection dans le circuit à protéger, destinée à interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse une valeur donnée.

Après un temps déterminé, s'il s'agit d'une surcharge pourront être supportée pendant un certain temps par les conducteurs du circuit.

Coupure pratiquement instantanée, s'il s'agit d'un court-circuit. Les dispositifs assurant la protection contre les surintensités sont essentiellement les relais et les fusibles, ces derniers ne sont pas utilisés en haute tension (H T).

III-5-1-2 Relais de protection :

Les relais agissent électriquement dans le circuit de commande de l'appareil chargé pendant le courant anormal qu'ils ont détecté.

III-5-1-3 Relais d'intensité :

Sont des appareils qui réagissent en fonction de l'intensité du courant passe dans le circuit qu'il surveille.

III-5-1-4 L'intensité nominale :

Ou calibre I_n d'un relais et l'intensité normale pour laquelle il est prévu, et qui est indiquée sur la plaque de l'appareil.

III-5-1-5 L'intensité du réglage :

On I_s est l'intensité maximale qui peut traverser le relais - en régime continu sans provoquer le déclenchement de l'appareil, elle est en général réglable et donnée en fonction de I_n

III-5-2 Protection surcharge thermique :

La durée de service que l'on peut attendre d'un transformateur dépend essentiellement du type de ses isolants, or la plupart de ceux-ci sont exactement sensibles à la température à laquelle ils sont soumis et se détériorent d'autant plus rapidement qu'ils sont portés plus longtemps à base

de papier ou de Cotton épargnes d'huile. Surtout employés dans les transformateurs, se situe aux environs de 110 à 115 C°.

Comme par ailleurs, l'énergie calorifique à dissiper et par suite réchauffement du transformateur augmentent à peu près comme le carré de I intensité, on conçoit que des surcharges même faibles mais prolongées, puissent à la longue endommager le transformateur

Ce relais, parcouru par le courant qui traverse le transformateur possède une caractéristique en température qui est l'image de la. Température si l'échauffement est excessif, la protection émet une alarme qui va permettre à l'exploitant de baisser la charge sur cette transformateur ligne. [6]

III-5-3 Protection des surtensions :

Deux moyens de protection contre les surtensions sont utilisés de manière large :

III-5-3-1 Les éclateurs :

Sont les dispositifs les moins coûteux et les plus rustiques. Ils sont utilisés exclusivement sur les réseaux aériens.

Offrent une protection plus performante, mais pour un coût notablement plus élevé

Les éclateurs sont constitués essentiellement par deux électrodes dans Pair, l'une reliées au conducteur à protéger et l'autre reliée à la terre, l'intervalle étant réglé pour amorcer si les surtensions du réseau dépassent le niveau de protection.

La forme des éclateurs peut être très variable suivant le cas.

Il peut s'agir simplement de deux tiges placées l'une en face de l'autre. C'est le cas particulier des éclateurs de protection montée sur les traversées des transformateurs hautes

Tensions.

Il peut s'agir d'éclateur à cornes tels ceux utilisées sur les réseaux 20KV. Les éclateurs dits anti-oiseaux sont constitués de deux cornes destinées à provoquer un allongement de Parc, entre lesquelles est placée une tige verticale empêchant un oiseau de court-circuiter les deux cornes.

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

III-5-3-2 Les parafoudres :

Sont des appareils conçus pour écouler une onde de courant lorsque la surtension arrive à leurs bornes, maintenant ainsi la surtension dans certaines limites. Ils limitent eux-mêmes l'amplitude du courant, que le réseau continu de débiter à travers eux après le passage de l'onde de surtension, sans que. Généralement, les disjoncteurs de ce réseau aient à fonctionner.



Figure (III-1) Parafoudre



figure (III-2) éclateur

III-5-4 Protection de masse cuve :

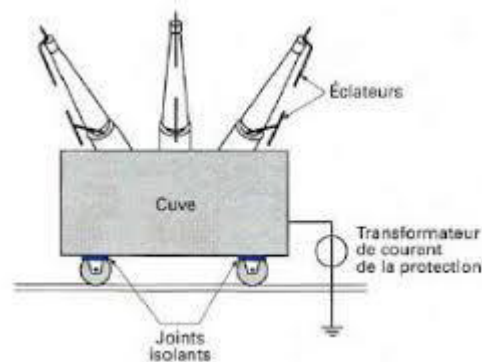
Contrairement à la protection différentielle la protection de masse comme son nom l'indique n'est susceptible de déceler que les courts circuits à la masse Elle n'en connaît pas moins aujourd'hui une très grande vague due principalement à son extrême simplicité.

Elle repose, en effet uniquement sur la détection au moyen d'un dispositif approprié, du courant auquel donne naissance dans la connections de mise à L'intérieur ou sur cette dernière d'un court-circuit A la masse (court-circuit entre un enroulement et la masse, contournement ou claquage d'une borne).

Le dispositif de détection ne comporte d'ailleurs qu'un relais à maximum d'intensité instantané alimenté par le secondaire d'un transformateur d'intensité dont le primaire est monté en série avec la connexion de mise à la terre de la cure.

Dans les postes où toutes les terres ne sont pas interconnectées, il y a lieu de prendre certaines précautions dans le choix de la terre à laquelle on raccorde cette connexion, afin d'éviter d'une part, que les déclenchements intempestifs ne puissent se produire pour des défauts extérieurs au transformateur.

Protection de masse cure_ est le seuil de fonctionnement choisi à 5 % de courant de défaut monophasé $I_s = 5\%$ de I défaut au primaire du transformateur (coté HT). Dans cette protection l'action est instantanée $I_R = 0.05 \times I$ canon.



Figure(III-3) : Masse cuve

III-5-5 Température d'huile : [9]

Le contrôle de la température des enroulements est l'action la plus pertinente car c'est la température qui génère le vieillissement des isolants.

Toutefois, 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 des 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.

Pour les transformateurs de type immergés, c'est généralement la température de l'huile qui est prise comme indication. En effet, le liquide diélectrique intervient comme réfrigérant vis à vis des enroulements et tend à homogénéiser la température à l'intérieur du transformateur. Cette

mesure de température peut être réalisée par un thermostat capable de fournir de manière autonome une information sur un contact de sortie. Eventuellement, deux seuils peuvent être utilisés pour définir un niveau d'alarme, entraînant par exemple des délestages ou un refroidissement forcé, et un niveau de déclenchement.

III-5-6 Protection différentielle :

Cette protection est appelée ainsi en raison de son principe de fonctionnement. La protection différentielle exige que les transformateurs de courant qui l'alimentaient aient des rapports de transformation et de couplage tel que les courants dans leurs secondaires soient de mêmes grandeurs et en phase lorsque le transformateur protégé fonctionne au régime assigné. Elle est destinée à protéger la totalité du transformateur.

La protection différentielle est basée sur la comparaison des courants d'entrée et les sorties d'un transformateur. On installe des deux côtés l'élément protégé des transformateurs de courants (TC).

On choisit les transformateurs 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 situés à l'extérieur de la zone protégé le courant déséquilibré circulera à travers l'enroulement de relais.

$$I_{des} = I_p - I_s = I_r$$

Défaut à l'intérieur de l'élément, les courants aux deux extrémités sont à l'origine de l'existence d'un courant différentiel circulant dans le relais en régime de fonctionnement à vide ou en charge d'un transformateur

- Le rapport du transformateur.
- Le couplage des enroulements.
- Le courant à vide.

Avec tous ces paramètres il est impossible d'obtenir un courant différentiel nul ; et c'est la raison pour laquelle on adapte des protections différentielles à pourcentage sur les transformateurs, le courant différentiel limite de transformateur peut être réglé entre 20 et 50% de I_n de protection.

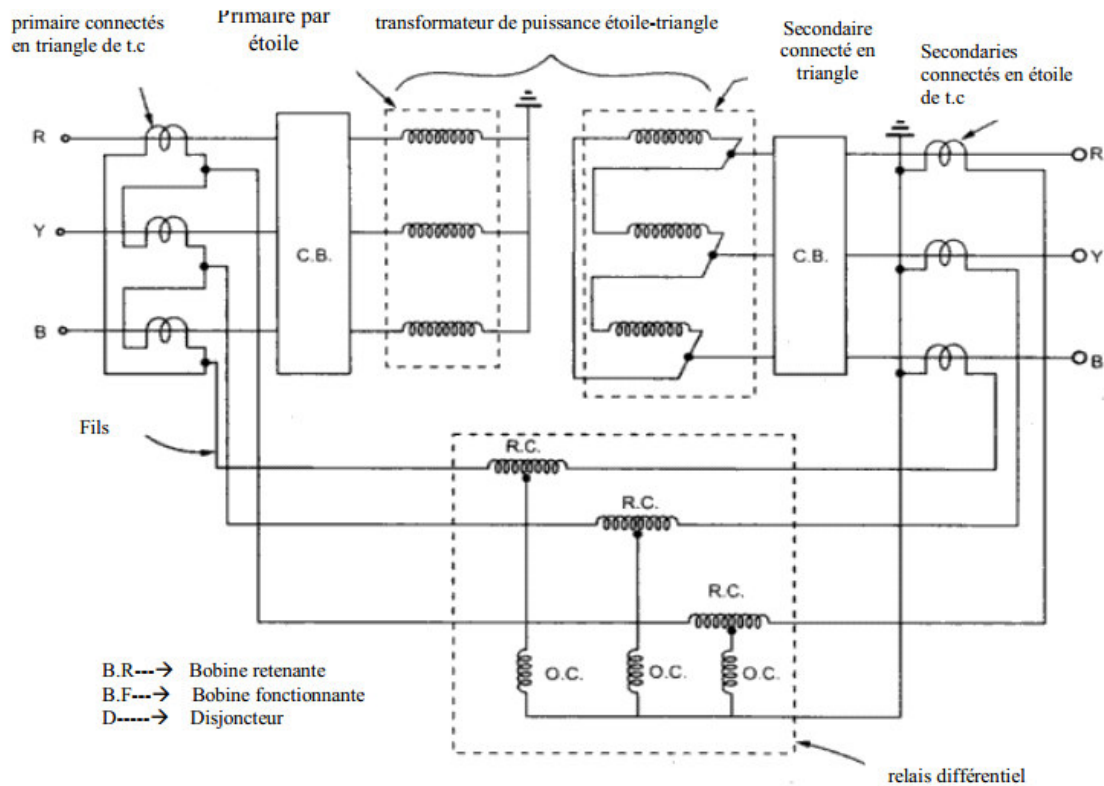


Figure (III-4) Schéma de protection différentiel

III-5-7 Buchholz :

III-5-7-1 Introduction :

La protection Buchholz est basée sur la détection des gaz produits par la vaporisation et la décomposition de l'huile sous l'action des arcs ou d'un échauffement anormal d'une partie quelconque du transformateur



Figure (III-5) la vue externe Relai Buchholz

III-5-7-2 Fonctionnement :

La protection Buchholz est donc par son principe qu'un court-circuit entre spires ou à la masse. Cette protection réagit au dégagement des gaz provoqués par l'arc électrique à l'intérieur de la cuve d'un transformateur dont le volume est supérieur à celui de l'huile décomposée. Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve et du vers le conservateur d'huile.

Si l'on intercale, sur la canalisation reliant la cuve au conservateur, un relais spécial, appelé relais Buchholz, on a la possibilité de déceler le dégagement gazeux et de donner une alarme ou un déclenchement.

III-5-7-3 Relais Buchholz :

Le relais Buchholz est un simple boîtier contenant deux flotteurs F1 et F2 pouvant pivoter autour d'un axe, chaque flotteur porte une ampoule à mercure capable par basculement de fermer un circuit de commande l'un des flotteurs (F1) réalise une signalisation d'alarme tandis que l'autre (F2) provoque le déclenchement d'un appareil de protection.

Ce relais comporte à deux stades :

1^{er} Stade :

Si le défaut est moins grave, la quantité de gaz ainsi produite est faible. Elle est recueillie en un point haut des relais et agit sur le flotteur supérieur qui s'incline jusqu'à la fermeture des contacts qui actionnent une alarme.

2^{ème} Stade :

Si le défaut est grave, il se produit un violent mouvement d'huile sous l'action combinée du mouvement d'huile et de gaz, le 2ème flotteur bascule et ferme des contacts qui provoquent le déclenchement total (mise hors tension de transformateur).

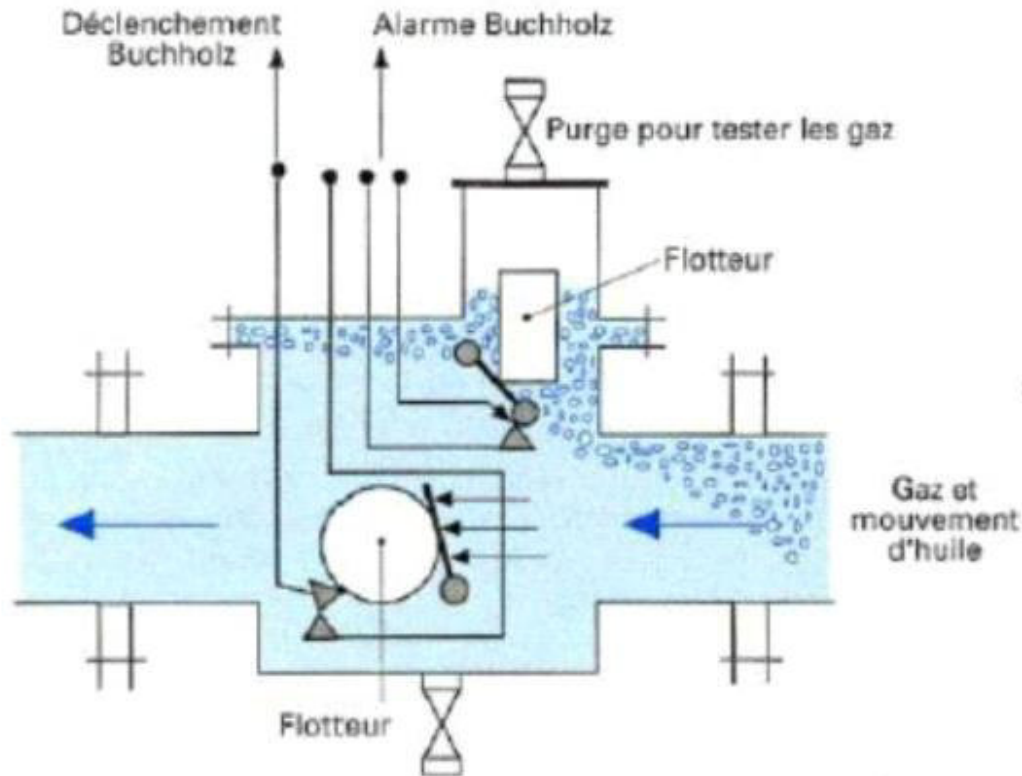


Figure (III-6) Relai Buchholz

III-6 Conclusion :

Dans le but d'avoir un bon fonctionnement du processus des composants de la centrale, ainsi d'éviter toute ambiguïté ou défaut lors de la mise en marche des machines, une certaine sécurité est assurée par le biais des éléments de protection de toute types. Qu'elle soit externe ou interne, en assurant les différents types de protection existant dans la centrale, pour le maintien de l'intensité électrique, la surcharge thermique, la tension et la masse cuve (court-circuit) entre phase, température d'huile, protection différentielle aussi la protection Buchholz. Ces types se réunissent tous et chaque type à son niveau d'intervention et signale de déclenchement, par lequel sert à minimiser les défauts et les dégâts humains et matériels lors d'un fonctionnement anormal.

CHAPITRE IV

Protection différentielle du transformateur de puissance

IV-1 Introduction : [10]

La protection différentielle est une technique conceptuelle simple. Le rôle de relai différentiel est de comparer les deux courants secondaires et primaires du transformateur de puissance, si n'importe quel déséquilibre se trouve entre les courants primaires et secondaires le relai déclenche le disjoncteur primaire et met le transformateur de puissance hors service.

Dans ce chapitre nous étudierons la protection différentielle des Transformateurs de puissance.

IV-2 Protection différentielle :

La Protection différentielle, c'est un type de protection qui compare les courants entrants et sortant la zone protégée et fonctionne quand la différence entre ces courants dépasse une grandeur prédéterminée, la figure (IV.1) montre le schéma de principe de la protection différentielle pour le transformateur de puissance.

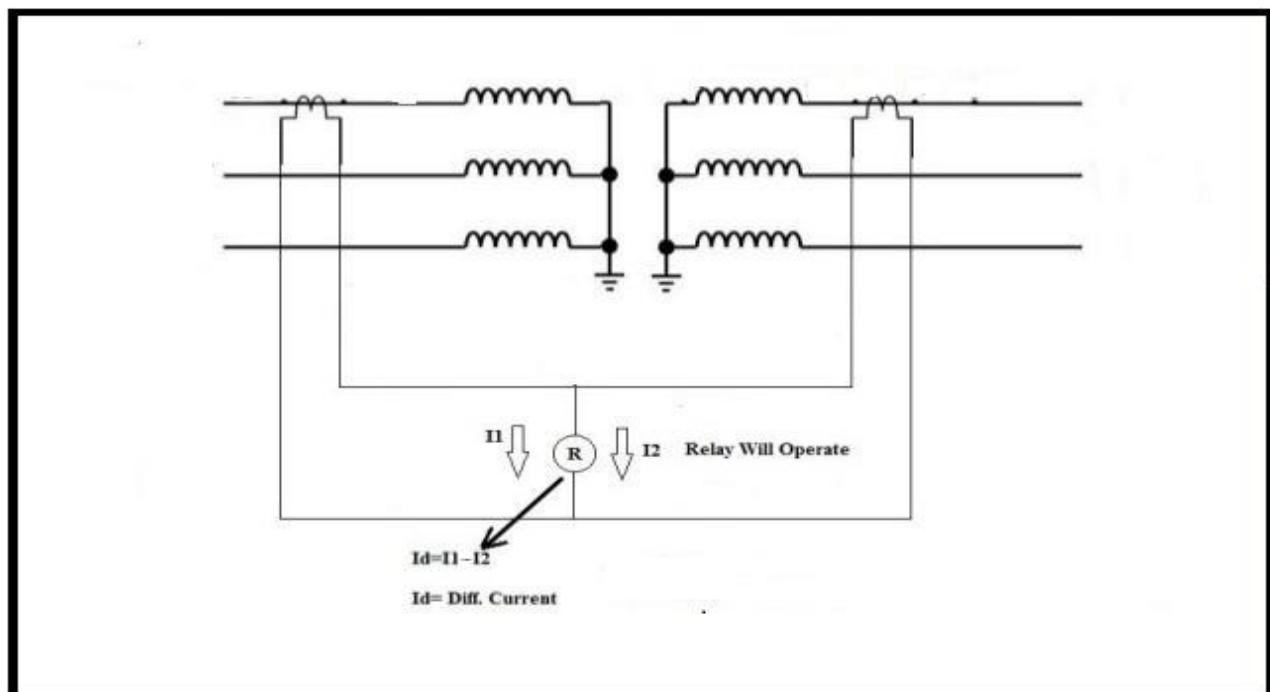


Figure (IV.1) : Le schéma de principe de la protection différentielle pour le transformateur de puissance (Y-Y)

IV-3 Critères de base de la protection différentielle : [11]

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

IV-3-1 Fiabilité :

Elle peut être défini comme la capacité de fonctionnement du système de protection quand le défaut se produit sur le système. Il y a deux aspects différents, le premier est la fiabilité du système de protection qui signifie que le système de protection doit fonctionner dans des conditions de panne (disponibilité). Le second est la sécurité qui signifie que le système de protection ne doit pas fonctionner dans les conditions normales ou à l'existence d'un défaut 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 commandes.

E- Approvisionnements de puissance auxiliaire.

IV-3-2 Sélectivité :

C'est la capacité du système de protection 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-3-3 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-3-4 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 et pour fournir la stabilité pour le système d'alimentation.

IV-3-5 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'entretien supplémentaire.

IV-3-6 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 l'équipement protégé par la protection inexacte.

IV-4 Les composantes principales de la protection différentielle :

Les composantes principales de la protection différentielle sont :

IV-4-1 Conducteur :

Ces sont les fils qui reliaient les transformateurs de courant aux relai différentiel.

IV-4-2 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-4-3 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.

IV-5 Les défauts de transformateur de puissance :

Ilya deux type de défaut :

IV-5-1 Les défauts externes :

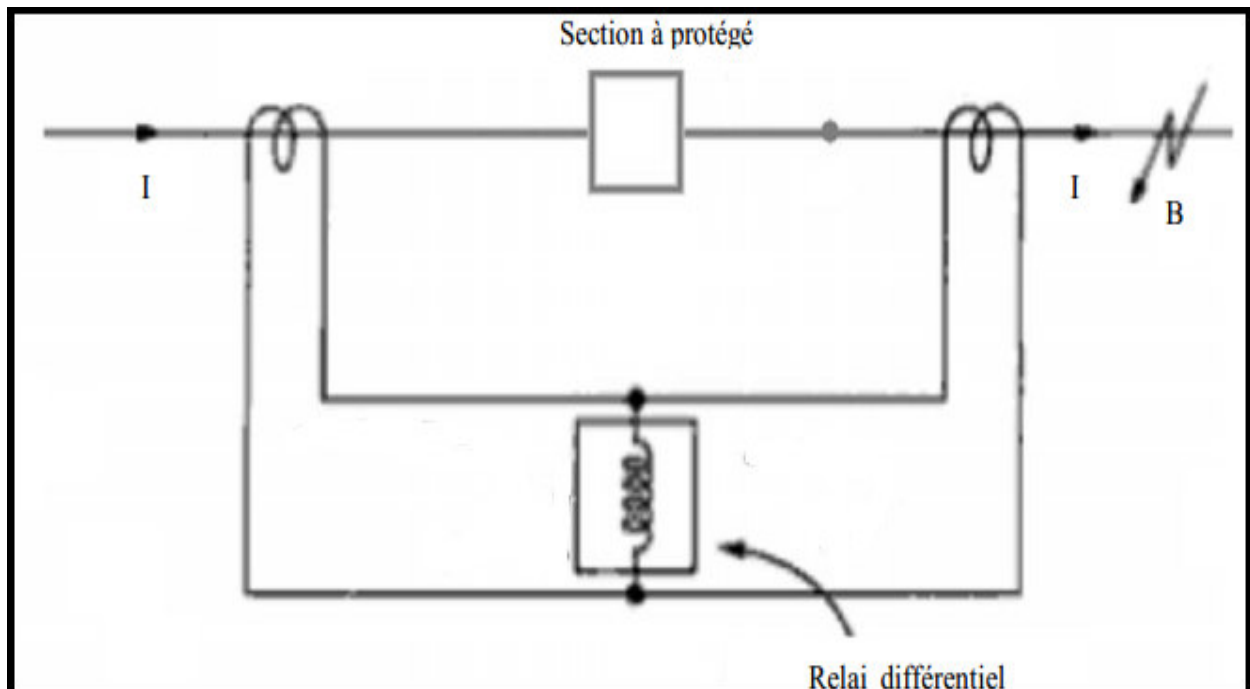


Figure (IV.2) : défaut externe

Les défauts externes se situent de dehors de la zone protégée tels qu'ils apparaissent sur la figure Au-dessus au point B.

IV-5-2 Les défauts interne :

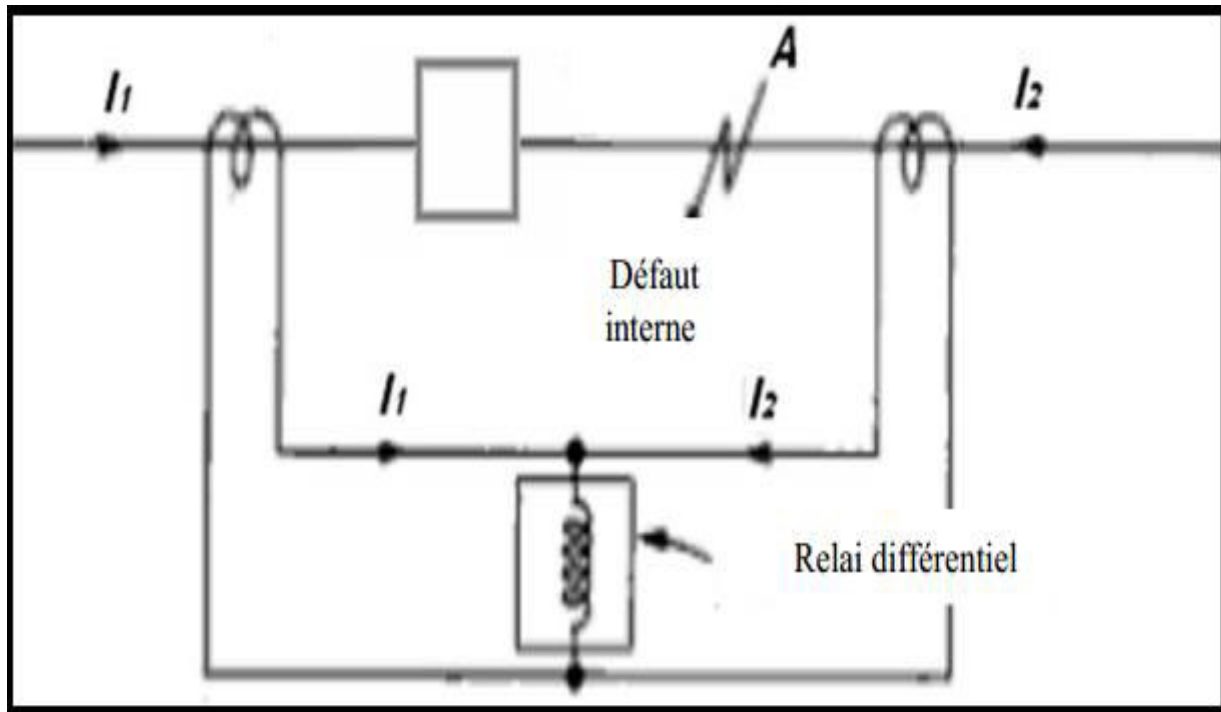


Figure (IV.3) : défaut interne

Le défaut interne se situent à l'intérieur de la zone protégée tels qu'ils apparaissent sur la figure Au-dessus au point A.

IV-6 Modélisation de la protection différentielle par Matlab :

Dans cette partie A un modèle de simulation d'une protection différentielle pour un transformateur de centrale électrique de cap-djinet (15.5/235KV) a été exécuté pour les cas suivants :

A-Fonctionnement normal.

B-Défauts externes.

C-Défaut internes

D-Défauts interne en court-circuit.

E-Modèle de saturation.

IV-6-1 Modélisation de la protection différentielle :

Un relais différentiel fonctionne sur le principe de Différence de courants du côté primaire et secondaire. La figure (IV.4) montre un différentiel relais qui donne un Signal de déclenchement au circuit disjoncteur (CB) lorsque la différence de courant sur le côté primaire et le côté secondaire du transformateur de puissance sont supérieurs à la limite prescrite.

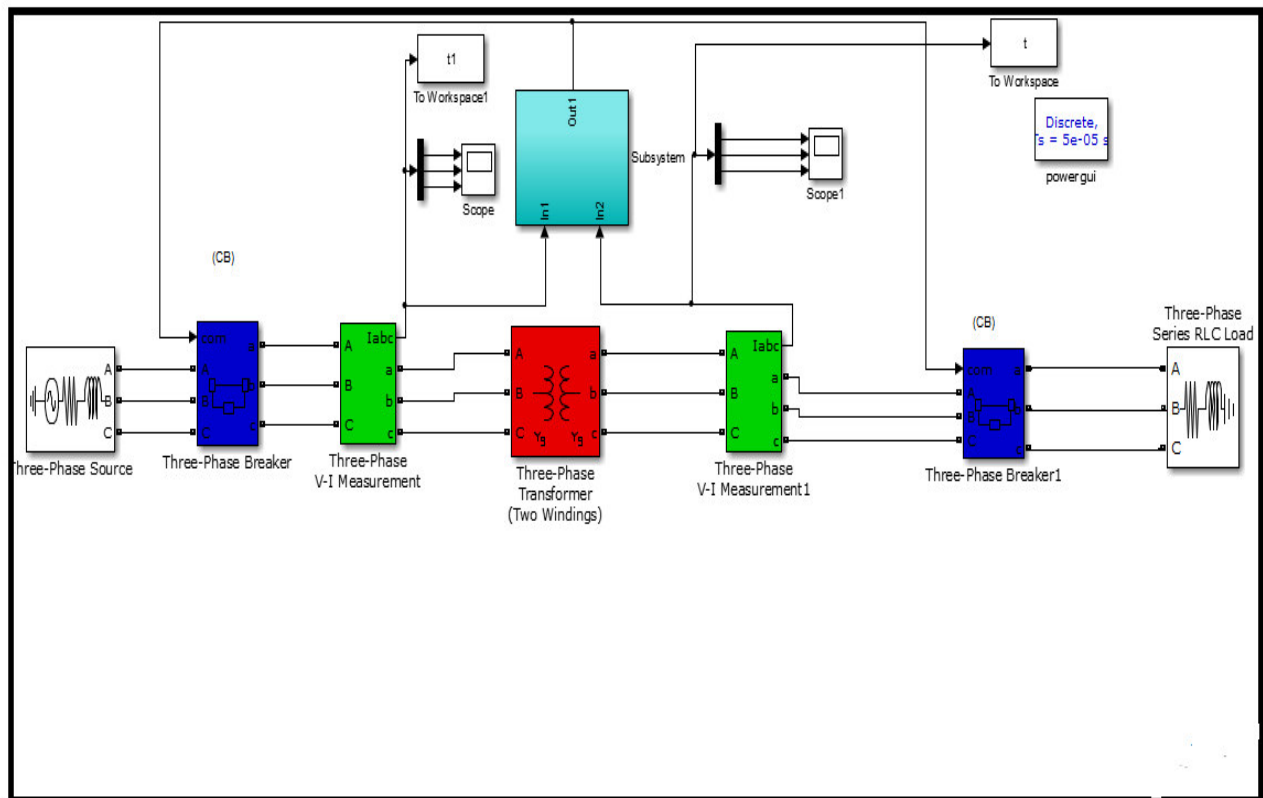


Figure (IV.4) : Diagramme de connexion de relais différentiel simple (fonctionnement normal)

La différence entre les valeurs absolues des deux courants primaire et secondaire est utilisés 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.

Le model des relais différentiels est détaillé Dans le schéma bloc (IV.5).

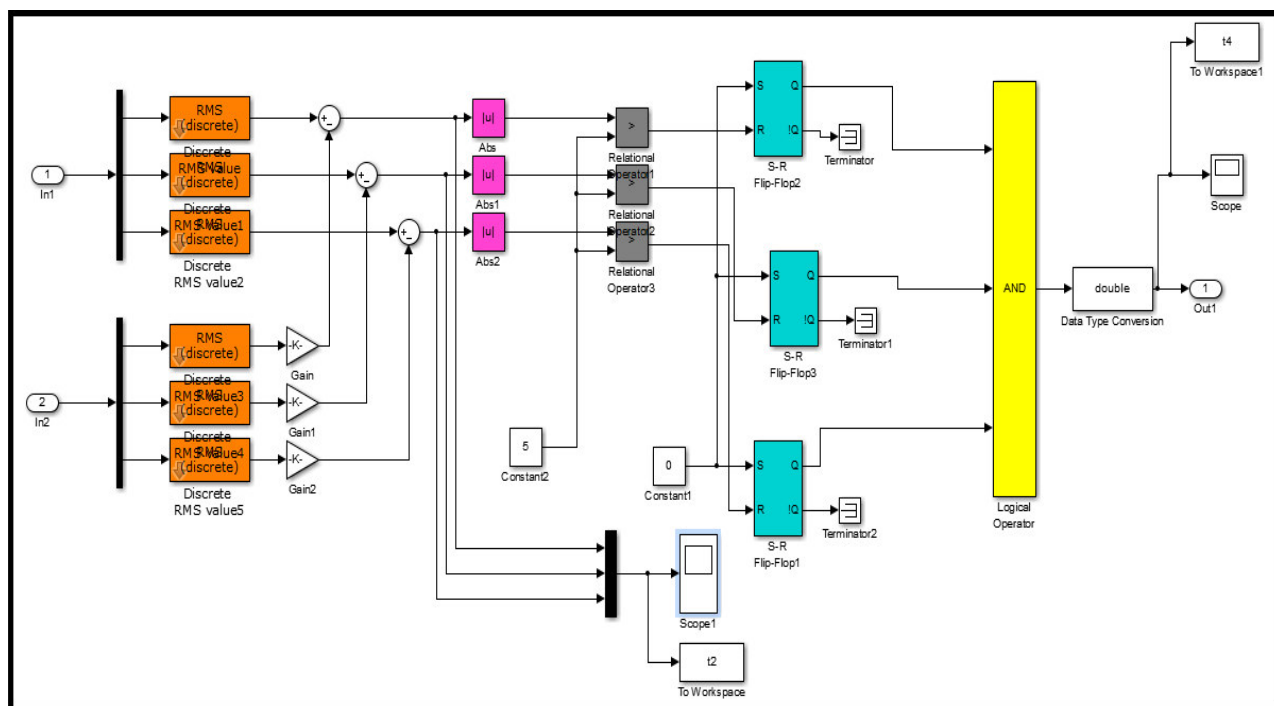


Figure (IV.5) : Diagramme schématique du différentiel simple Relais

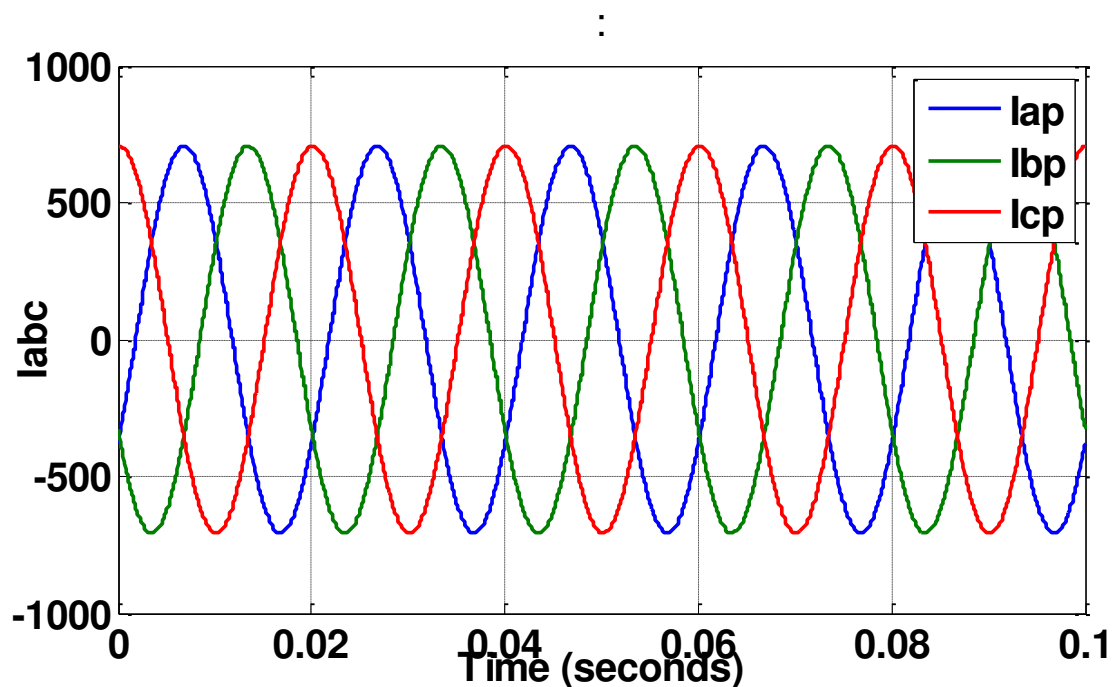


Figure (IV.6) : Courant primaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

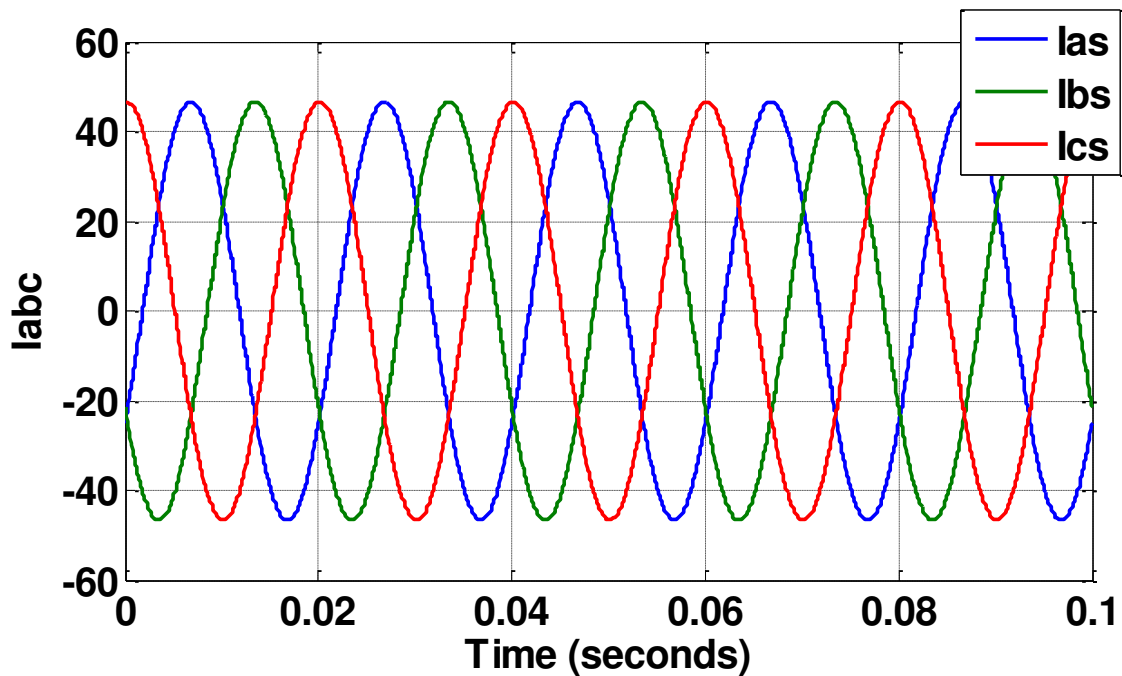


Figure (IV.7) : Courant secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

Dans le cas (fonctionnement normal) la différence de courant entre le primaire et secondaire très petit donc négligeable.

La figure (IV.8) montre un fonctionnement normal pour une différence de $I_p - I_s = 0.002$. La protection différentielle ne fonctionne pas, parce que la différence ne dépasse pas la valeur maximale admissible entre le premier et secondaire.

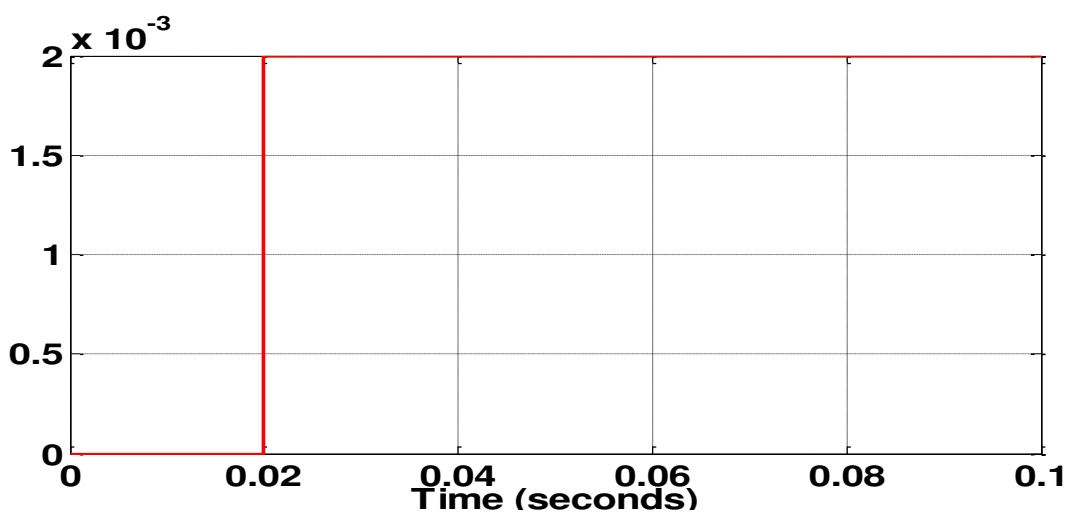


Figure (IV.8) : Graphe représenté la différence de courant entre le primaire et secondaire (aucun défaut) dans une phase.

IV-6 -2 Défaut externe :

Ce cas est montré dans la figure (IV.9), la protection différentielle ne fonctionne pas.

Les formes d'onde sont montrées dans le figure (IV.10) et figure (IV.11).

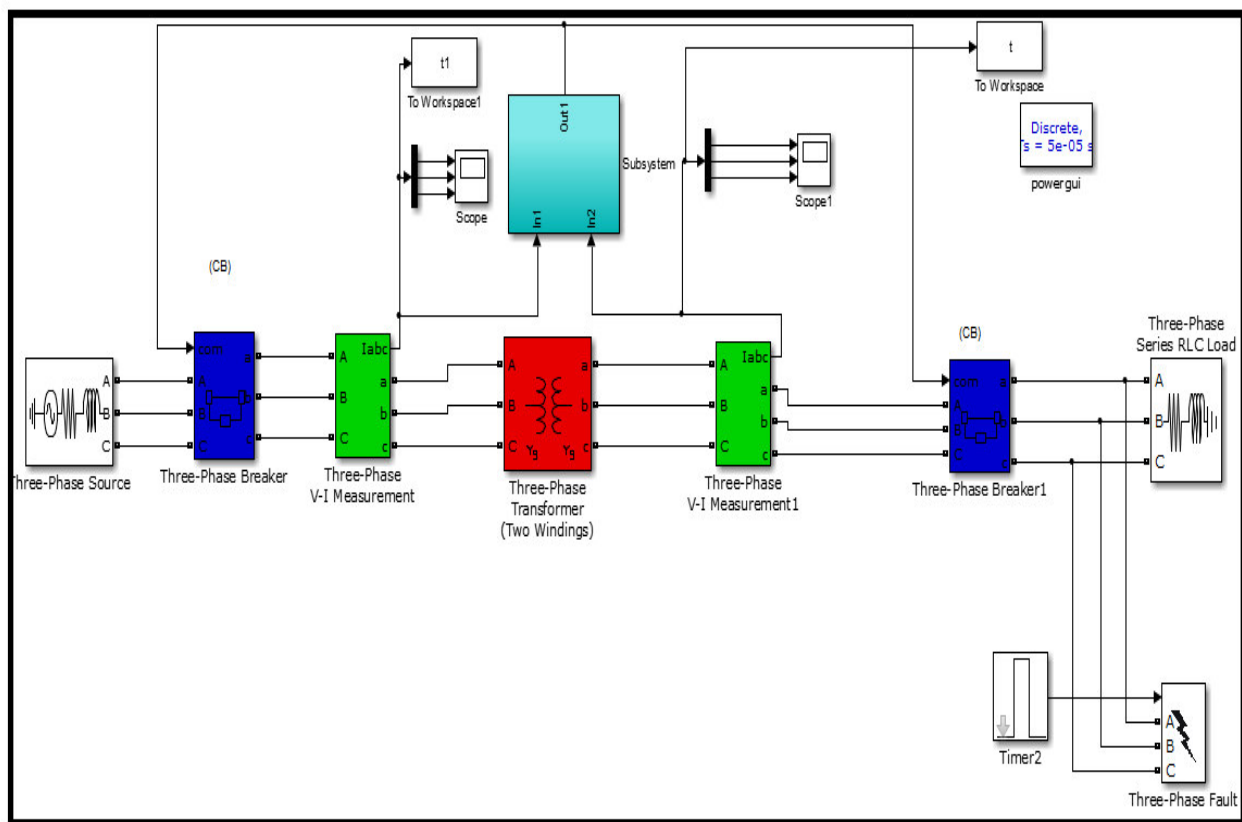


Figure (IV.9) : Modèle de défaut externe

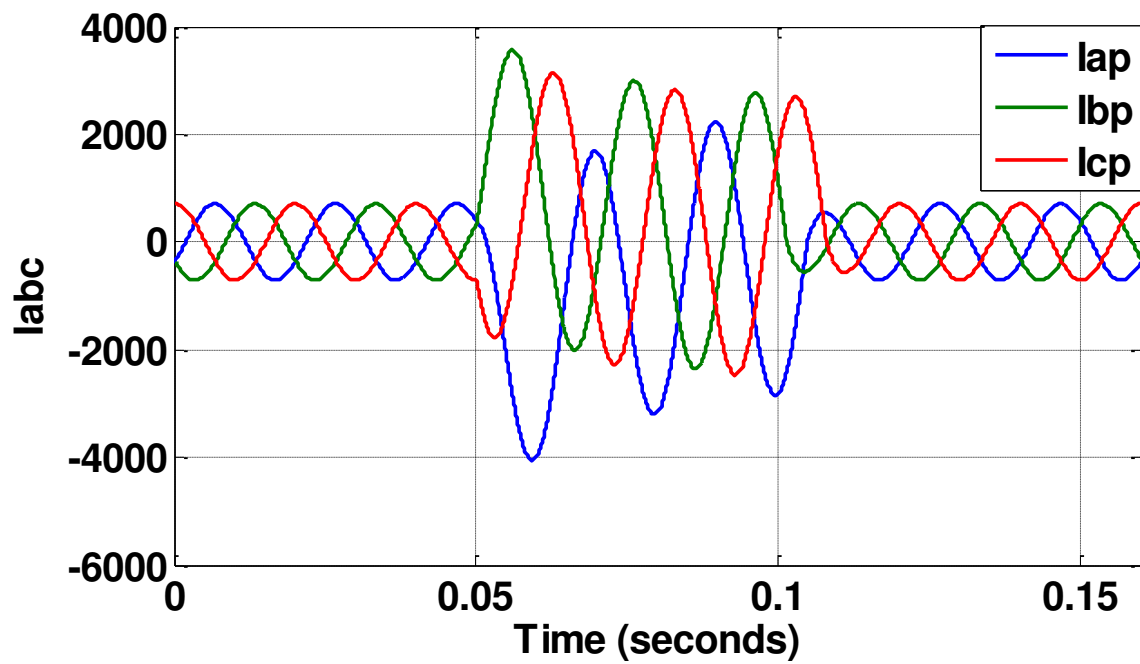


Figure (IV.10) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut externe)

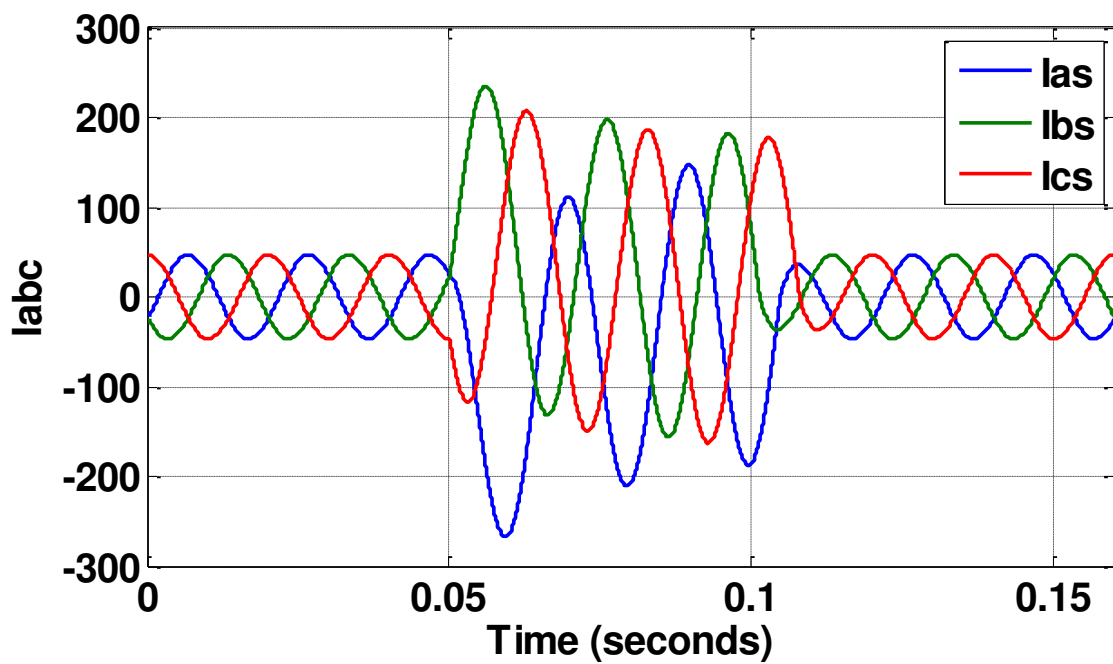


Figure (IV.11) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut externe)

Les forme des courants primaire et secondaire du transformateur de puissance resterons une charge lors d'un défaut externe ils sont altérés uniquement pendant une période transitoire du défaut de quelques millisecondes comme il semble dans la figure (IV.10) et figure (IV.11).

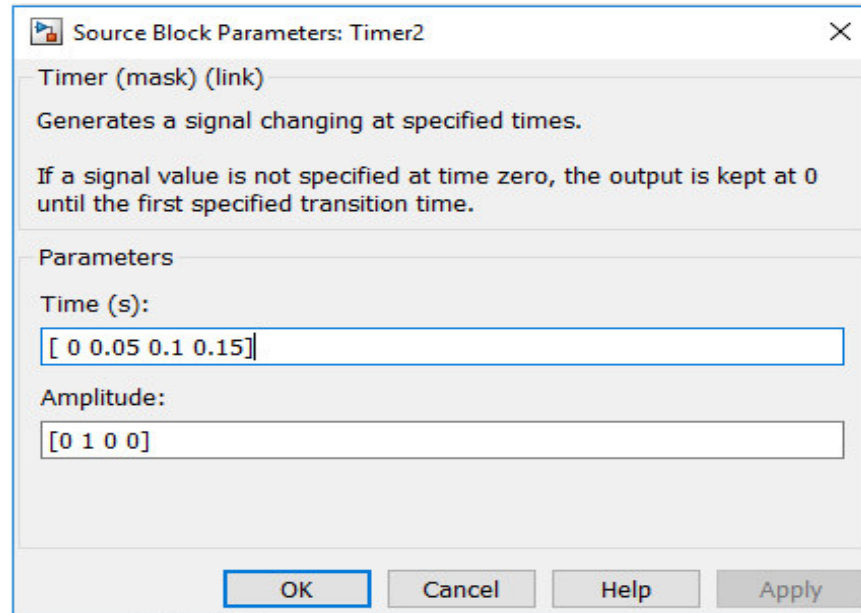


Figure (IV.12) : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.

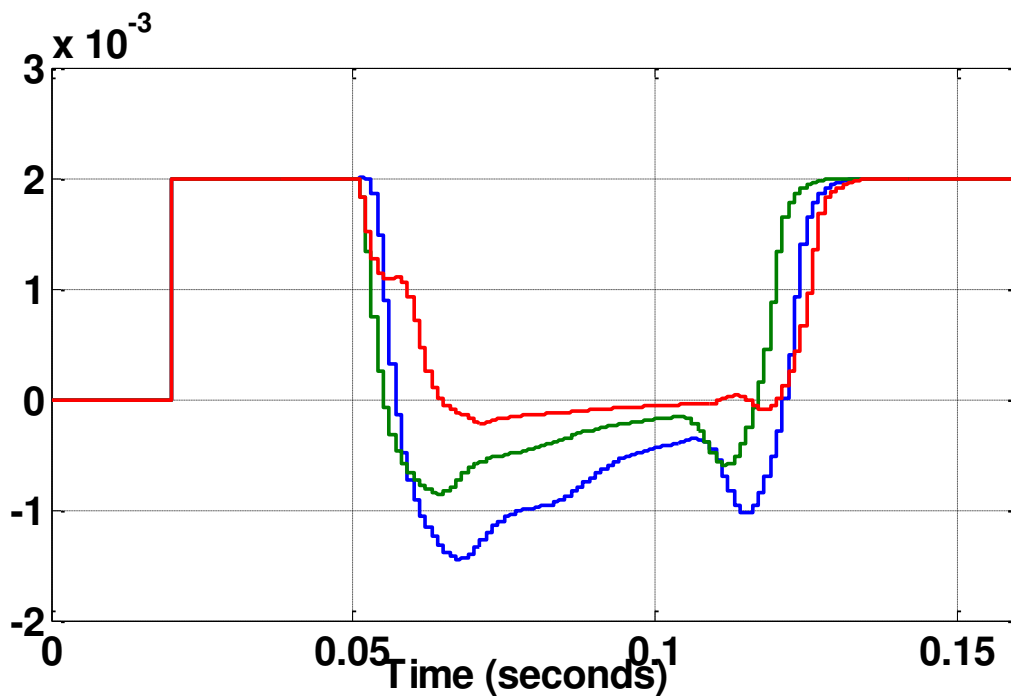


Figure (IV.13) : Graphe représenté la défférence curant entre le primaire et secondaire (défaut externe).

En remarque dans ce cas (défaut externe) une déformation d'allure dans la figure (IV.13) qui représenté la différence de courant entre le primaire et secondaire mais cette différence n'a pas dépassé la valeur admissible si la protection différentielle n'a pas fonctionné.

IV-6 -3 Défaut interne :

Le modèle de défaut interne est montré dans la figure (IV.14) Les formes d'onde sont montrées dans la figure (IV.15) et figure (IV.16).

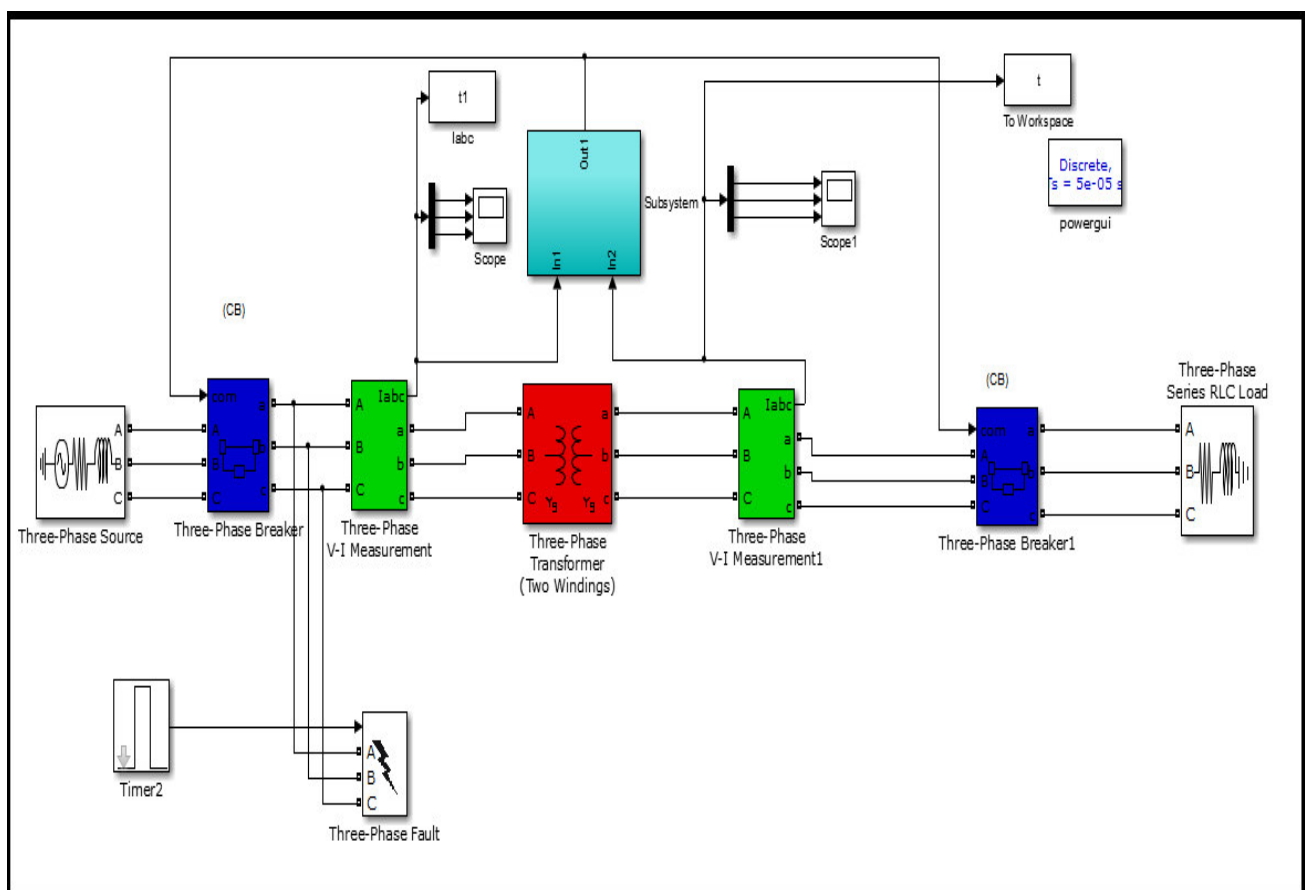


Figure (IV.14) : Modèle de défaut interne

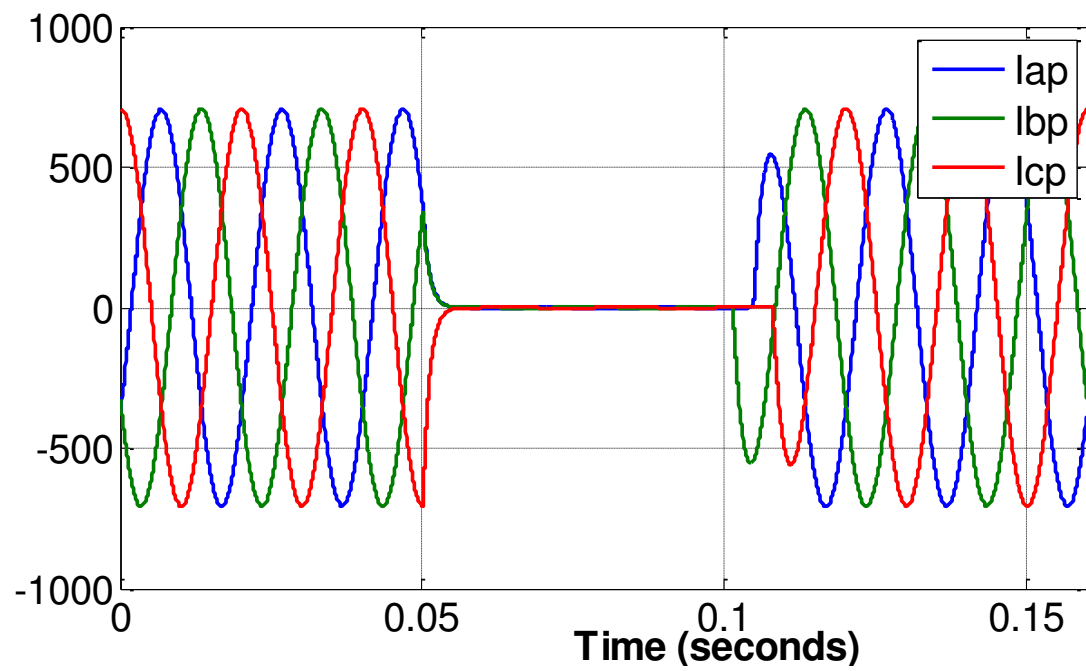


Figure (IV.15) Courant primaire du transformateur de puissance (défaut interne).

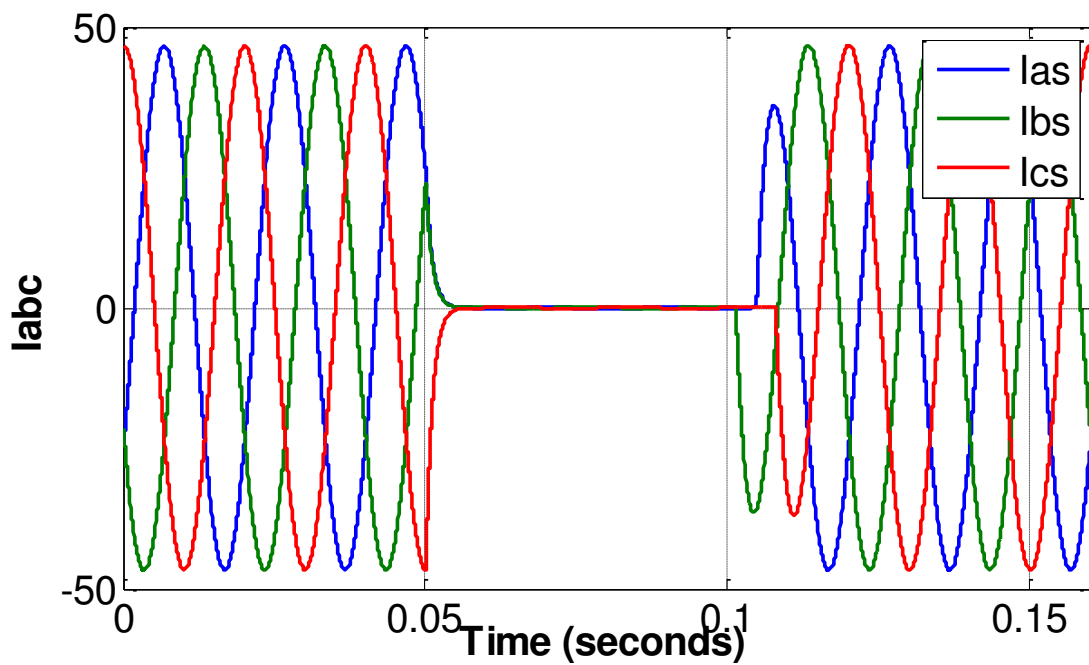


Figure (IV.16) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut interne).

Pour le défaut interne les courants primaire et secondaire t'on ver zéro après une période transitoire de quelque milliseconde, le relai différentiel met le transformateur en hors service, Lorsqu'il dépasse la période de défaut le transformateur redémarre.

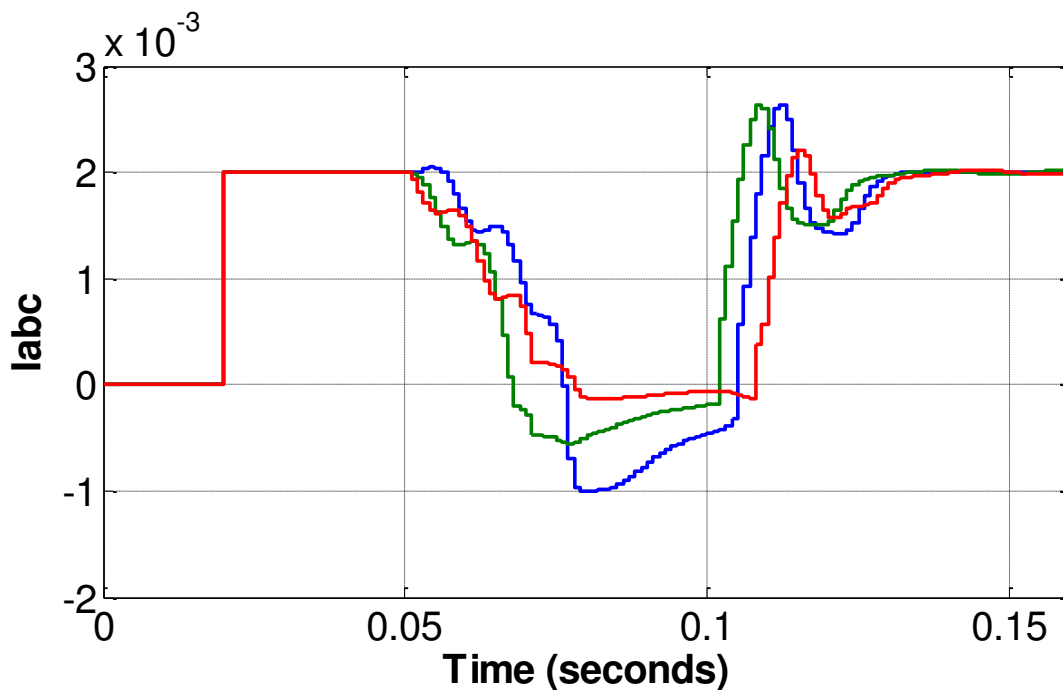


Figure (IV.17) : Graphe représenté la déférence entre le curant primaire et secondaire (défaut interne).

IV-6 -4 Défaut interne en court-circuit :

Le modèle interne de défaut en court-circuit est montré dans figure (IV.18) Les formes d'onde sont montrées dans le figure (IV.19) et figure (IV.20).

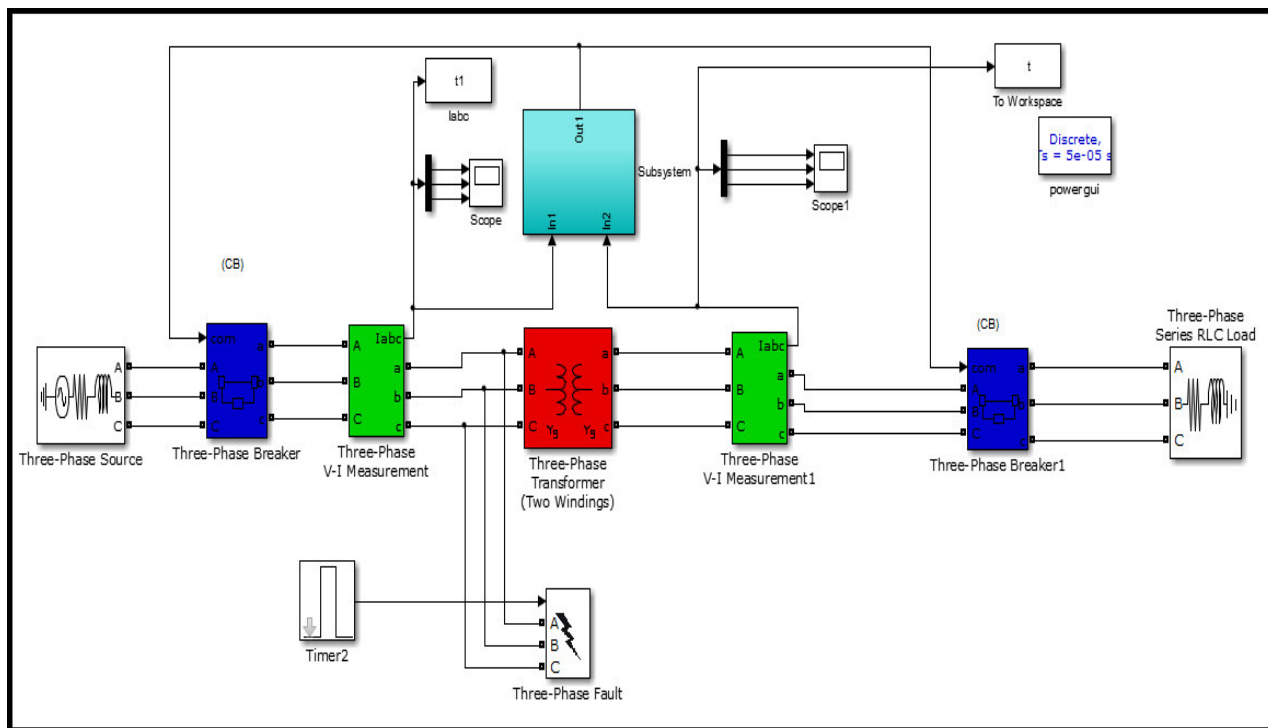


Figure (IV.18) : Modèle de défaut interne(court-circuit).

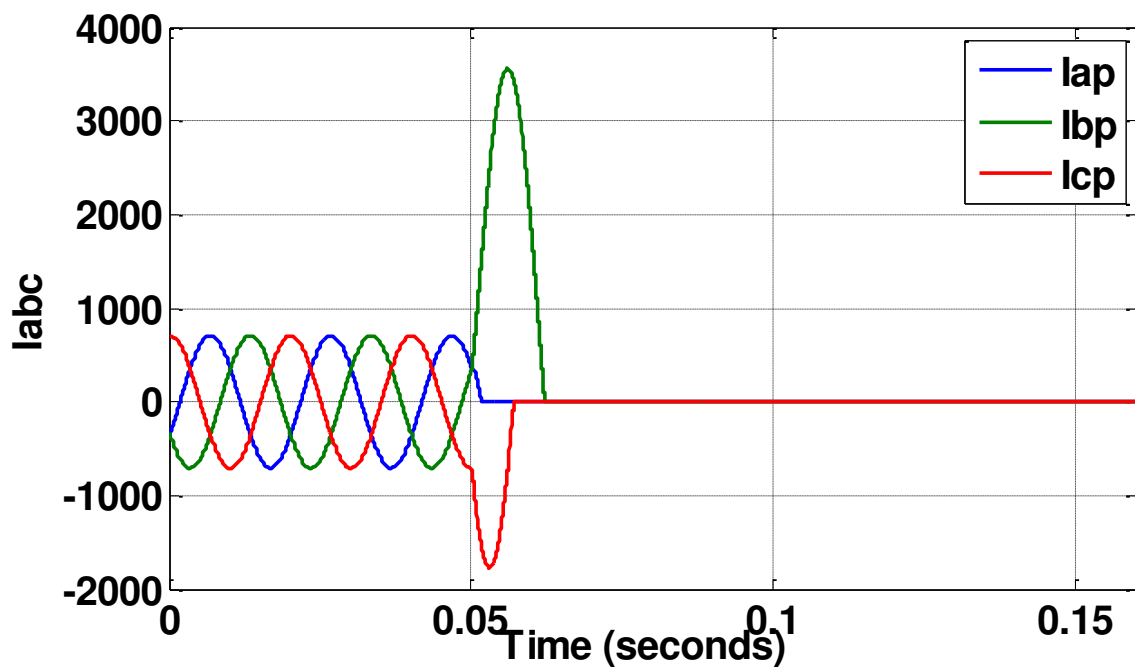


Figure (IV.19) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut interne en court-circuit)

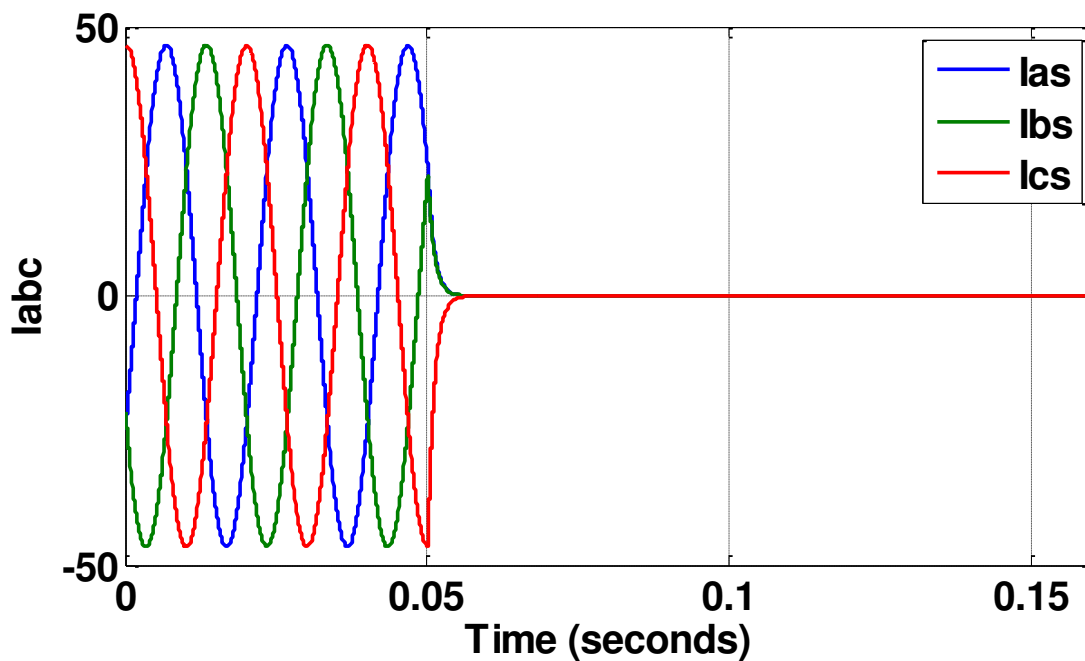


Figure (IV.20) Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut interne en court-circuit)

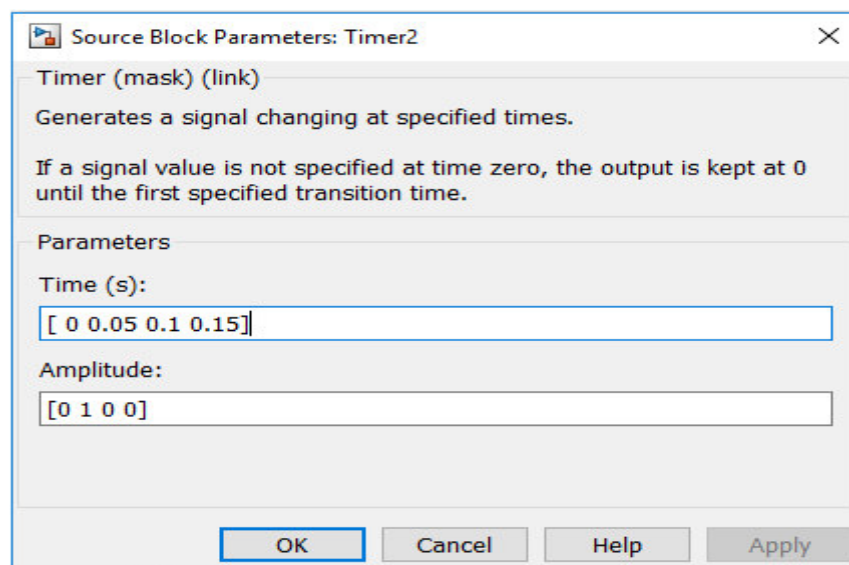


Figure (IV.21) : Paramètre de blocage du temporisateur de génération de défaut.

Pour le défaut interne en court-circuit le courant a augmenté en valeur comme vous voyons dans la figure (IV.19), sachez qu'en court-circuit la valeur de courant augmente, provoquer la création dans la limite prescrite dans le courant primaire et courant secondaire, le relai différentiel met le transformateur en hors service.

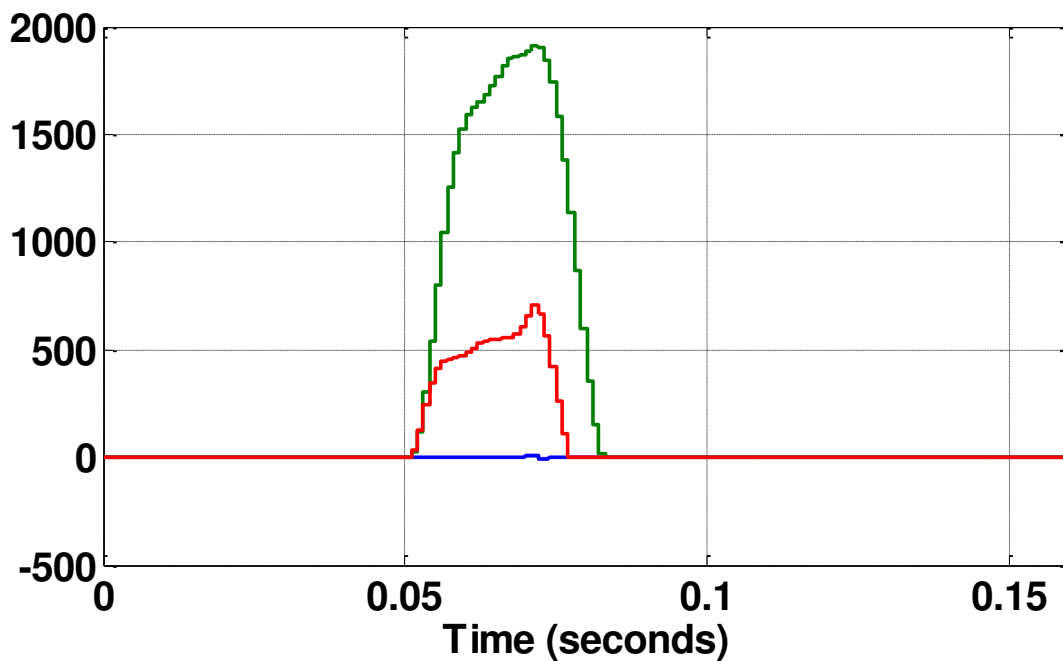


Figure (IV.22) : Graphe représenté la différence courant entre le primaire et secondaire (défaut interne en court-circuit).

Dans ce cas (défaut interne en court-circuit), la protection différentielle est fonctionnée, parce qu'il y a une différence de courant entre le côté primaire et côté secondaire.

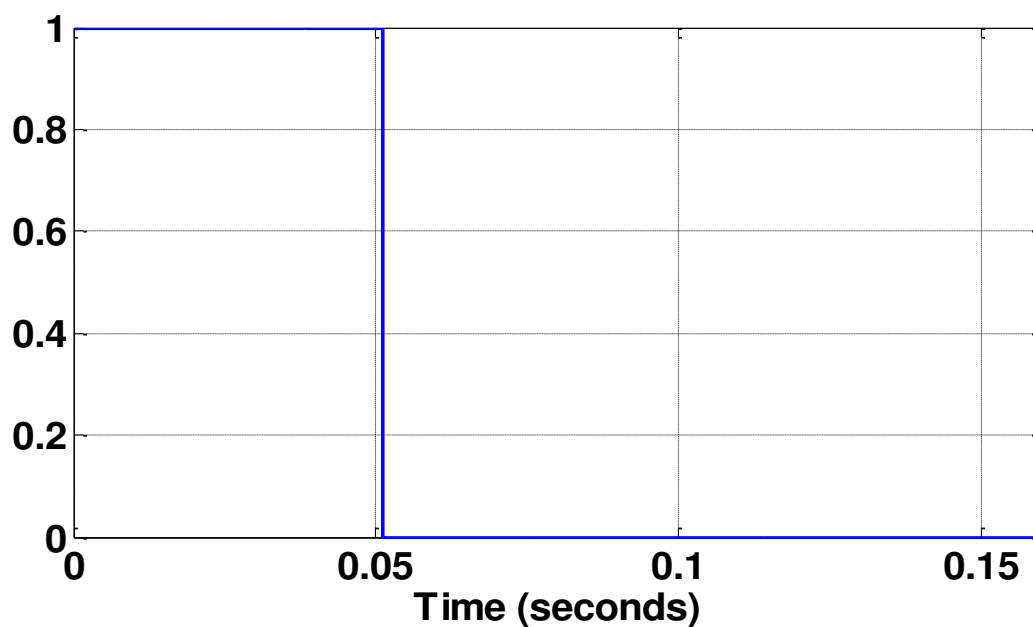


Figure (IV.23) : Signal d'ouverture le disjoncteur (défaut interne en court-circuit).

IV-6 -5 Modèle de saturation (Signifie le courant excédentaire dans le primaire) :

Le modèle de saturation de noyau est montré dans la figure (IV.24) Les formes d'onde sont montrées dans la figure (IV.26) et figure (IV.27).

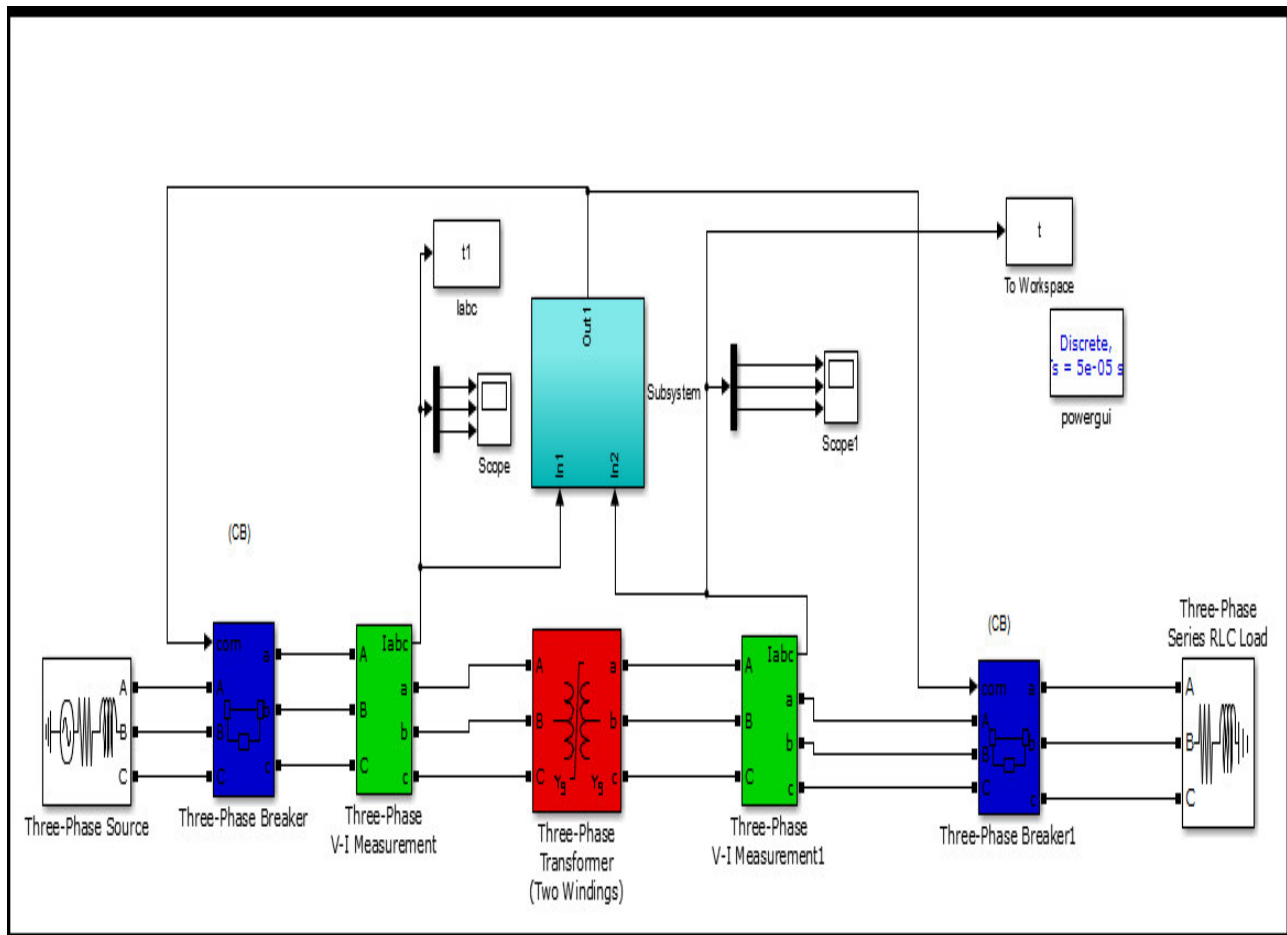


Figure (IV.24) : Système normal avec noyau saturable

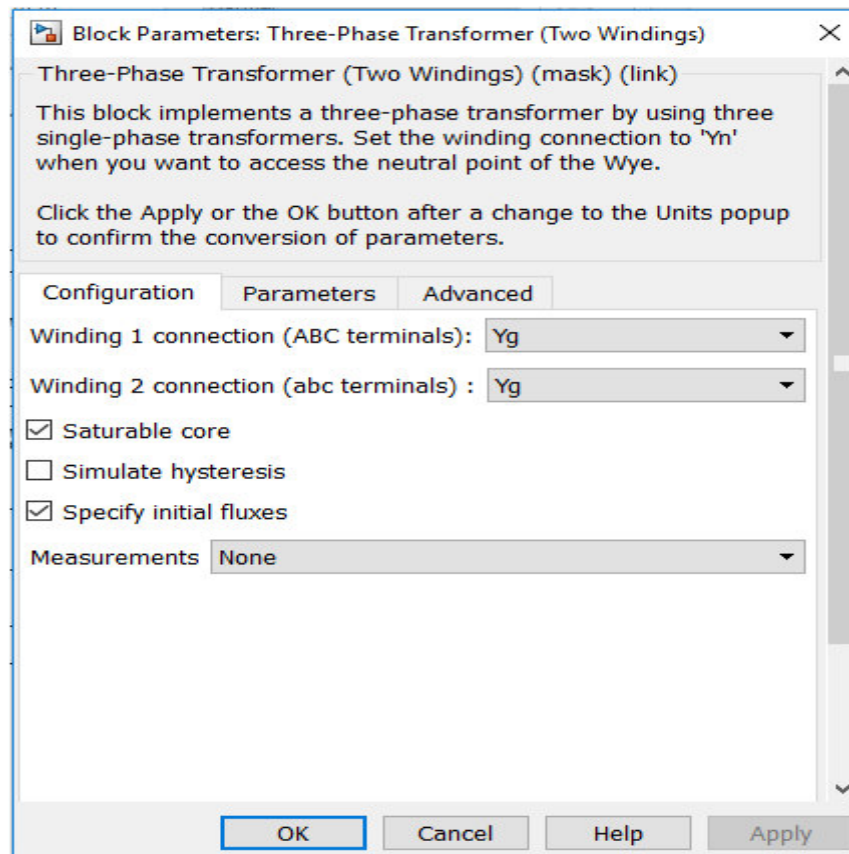


Figure (IV.25) : Paramètres de bloc du transformateur de puissance saturable.

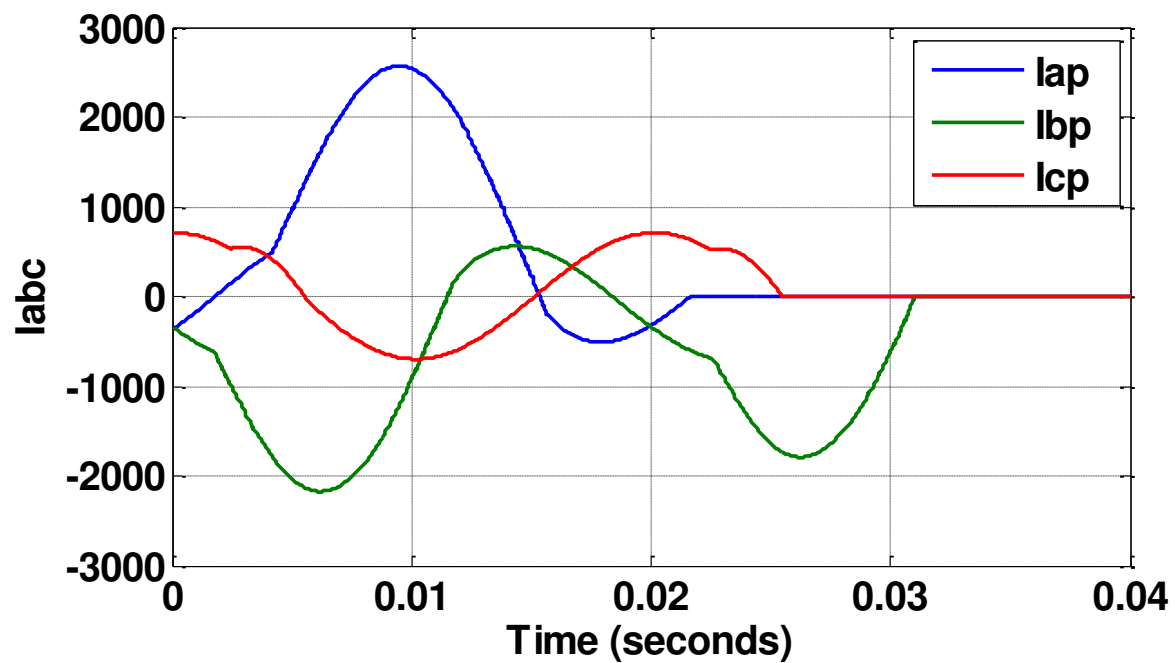


Figure (IV.26) : Courant primaire du transformateur de puissance (noyau saturable)

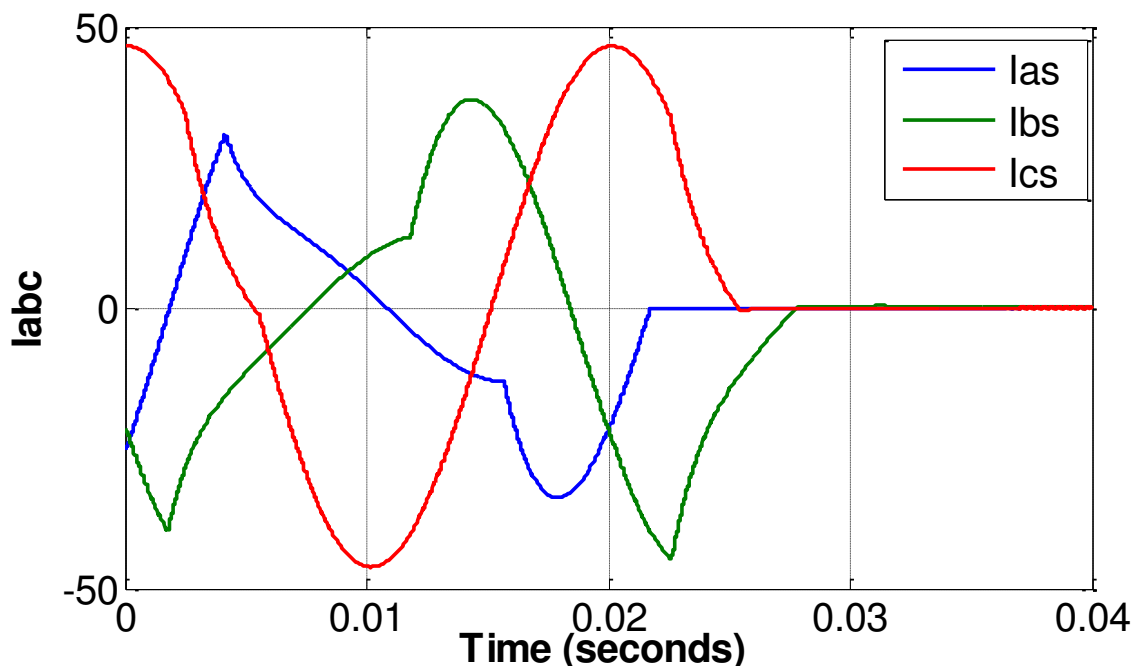


Figure (IV.27) Courant secondaire du transformateur de puissance (noyau saturable).

Pour le modèle (noyau saturable) en remarque qu'il y a une distorsion claire dans les graphes figure (IV.26) et figure (IV.27), et une augmentation de courant au niveau de cote primaire

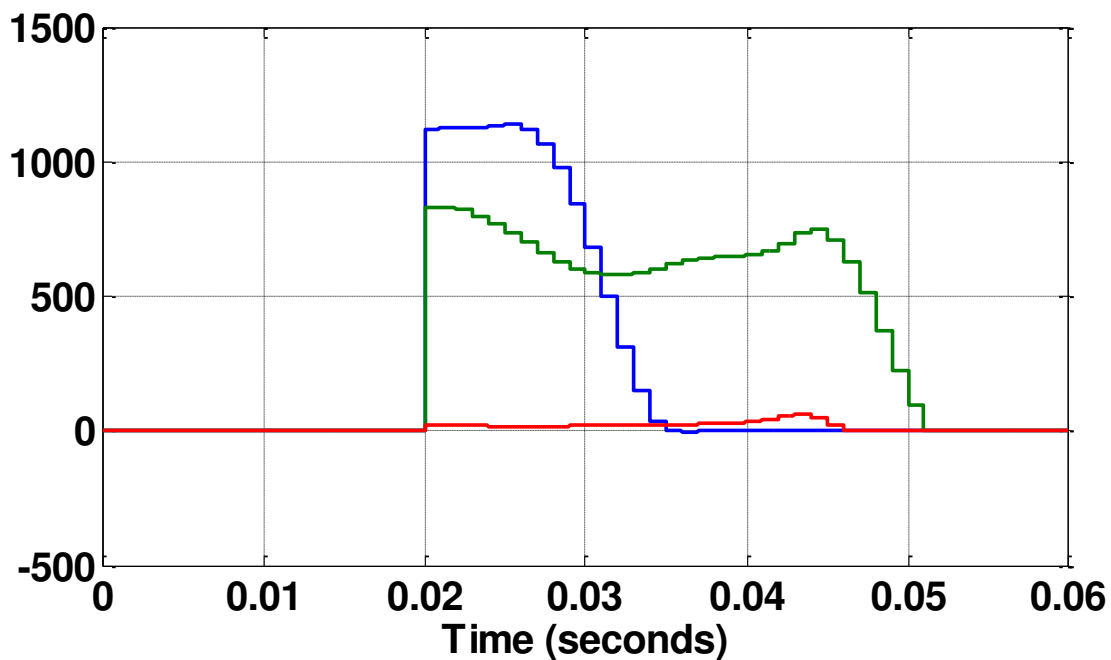


Figure (IV.28) : Graphe représenté la déference curant entre le primaire et secondaire (noyau saturable).

Dans le cas (noyau saturable), nous voyons qu'il y a une grande différence entre le primaire et le secondaire.

$$I_p - I_s = 1142 \text{ A}$$

Nous en concluons que la protection différentielle fonctionne et met le transformateur hors service.

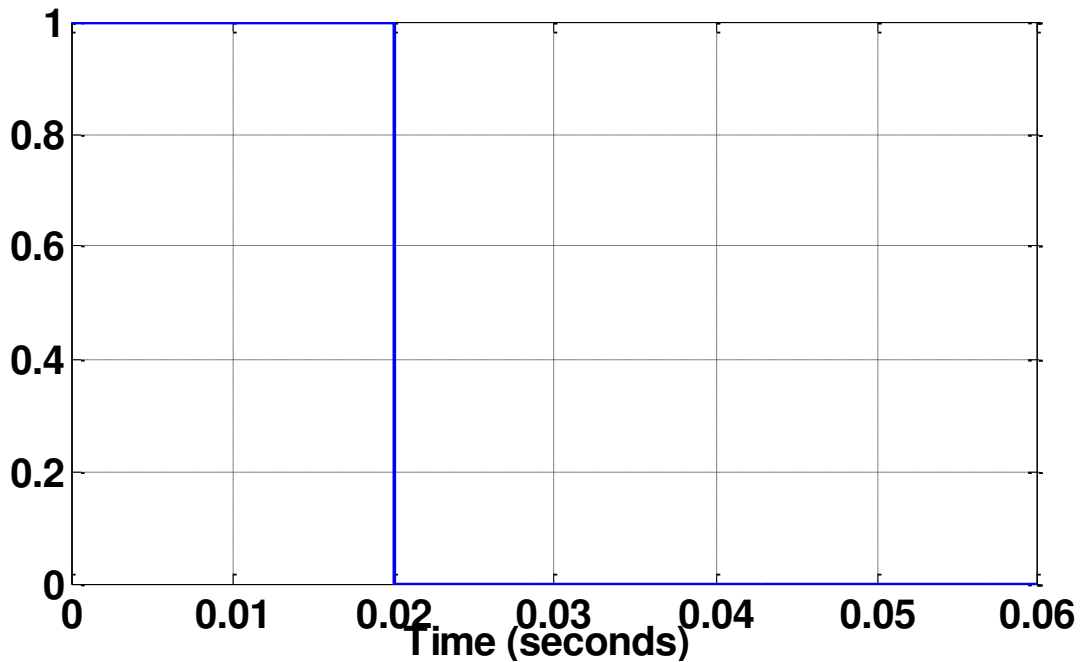


Figure (IV.29) : : Signal d'ouverture le disjoncteur (noyau saturable).

IV-7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié l'une des protections importantes du transformateur est la protection différentielle c'est l'un des moyens de protection les plus efficaces contre les défauts internes dans la zone protégée.

Ainsi notre étude est focalisée sur cette protection. Tous les défauts possibles qui peuvent survenir dans un réseau de transport ont été simulé sur l'environnement Matlab avec une protection différentielle qui protège le transformateur de puissance choisi dans ce travail (15.5/235kV). Le résultat obtenu montre une performance et un fonctionnement correct de relai différentiel.

Conclusion générale

Ce projet nous a offert l'opportunité de nous introduire dans le domaine de la transformation et de la distribution de l'énergie électrique, l'élément essentiel dans un poste de transformation étant le transformateur de puissance notre étude est naturellement axée sur l'étude et protection des transformateurs de puissance.

Un bon dimensionnement des éléments de protection passe par la connaissance de la théorie relative à leur fonctionnement, cette connaissance nous a permis d'établir une sélectivité des différentes protections pour lesquelles nous avons opté d'éviter les déclenchements intempestifs.

Les transformateurs de puissance sont des composants décisifs pour le transport et la distribution de l'énergie, Ils sont soumis à de nombreuses contraintes et nécessitent une surveillance et un suivi régulier.

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

La protection différentielle des transformateurs des puissances est l'une des moyens les plus efficaces de protection contre les défauts.

Dans notre travail nous avons étudié en détail le transformateur ainsi que le relai différentiel. Nous avons établi le model de l'ensemble et avec succès, sous l'environnement Matlab, simulé le comportement de système à l'existence de défauts. Via ces résultats nous avons pu assimiler l'importance de la dite protection.

En espérant que le lecteur aura trouvé dans cette approche un complément d'informations qui lui sera utile dans l'étude et la protection des transformateurs de puissance.

Bibliographie

[1] Mémoire de master ((Protection du transformateur principal de CAP DJINET par un relais numérique SIPROTEC 7UT613 de Siemens.)) réaliser par maifi Salah et cheriet Amal anees 2014 /2015 umbb.

[2] mémoire de fin d'étude ((modélisation et simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance)) réaliser par beboukha abd errazzak et ghilani moussa 2014 université d'el-oued.

[3] http://www.composelec.com/transformateur_electrique.php.

[4] mémoire fin d'étude ((modélisation et diagnostic de défauts des transformateurs de puissance)) réalisera par lammali Mourad 2013/2014 umbb

[5] Mémoire de magistère « diagnostic des transformateurs de puissance », présenté par MEZARINAOUEL, université de MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou.

[6] mémoire fin d'étude (étude de la protection d'un transformateur de puissance) réalisé par SABOUR AHMED et DAMOU ESSAID promotion 2003 université MHAMED BOUGRA Boumerdes.

[7] mémoire de fin d'étude (étude de la protection différentielle d'un transformateur de puissance) réalisé par AOUDIA RABAH et HATEB NOUREDDINE promotion 2010/2011 université de MHAMED BOUGRA de Boumerdes.

[8] mémoire fin d'étude (protection du transformateur principal CAP DJINET par un relais numérique 7UT613 de siemens) fch Boumerdes.

[9]
http://www.frigoristes.fr/getfile.php?att_id=2572&apli=forum_npbs&att_name=ct192.pdf .

[10] mémoire de fin d'étude ((modélisation et simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance)) réaliser par beboukha abd errazzak et ghilani moussa 2014 université d'el-oued.

[11] Anthony F. Sleva, *Protective Relay principle*, 2009

[12] : Jean Sanchez. « Aide au diagnostic de défauts des transformateurs de puissance ». Université de Grenoble, 2011. French.

[13]https://www.google.com/search?q=symbole+de+transformateur+de+puissance&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjh6L_Xs-TbAhVBxRQKHUTGDeUQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=3cOrnc_1eDfAnM.

[14] mémoire de fin d'étude ((modélisation et diagnostique des transformateurs de puissance)) réaliser par lammali mourad anne 2013 /2014.

[15] : mémoire de fin d'étude « étude de la protection différentielle d'un transformateur de puissance », réalisé par AOUDIA RABAH et HATEB NOUREDINE, promotion 2010/2011. Université de MHAMAED BOUGERA de Boumerdes.

Annexe

Tableau 1 : périodes des contrôles, essais et analyses sur les transformateurs de puissance.

	Nature des contrôle et analyses à réaliser	Périodicité	Etat du Transformateur
Analyse des huiles	Prélèvement des huiles pour analyses physico-chimiques : - Couleur et Aspect. - Indice d'acidité. - Tension de claquage. - Teneur en eau. - Facteur de dissipation (tgo). - Viscosité cinématique. - Point d'éclair. Stabilité à l'oxydation (*)	Trimestrielle (Chaque 03 mois) (1)	Sous tension
	Prélèvement des huiles pour analyses chromatographiques de gaz dissous.	Annuelle	Sous tension
	Prélèvement des huiles pour analyses chromatographique des dérivées furaniques (décomposition de l'isolation cellulosique)	2 ans (2)	Sous tension
Mesures Et essais Électriques	Mesures et contrôles électriques et diélectriques des transformateurs. - Contrôle de l'isolement des enroulements primaires et secondaires. - Mesures des résistances ohmiques des enroulements primaires et secondaires. - Mesure des rapports de transformation par prises et symbole de couplage. - Mesures des pertes diélectriques (Tangente Delta) du système d'isolation (huile et papier cellulosique) des transformateurs. - Détection des décharges partielles (DP). - Analyse par réponse fréquentielle (FRA)	Annuelle (1) (2)	Hors tension
	Traversées : - Vérification de la pression d'huile dans les traversées. - Vérification de l'étanchéité à l'huile	Hebdomadaire (Chaque semaine)	Sous tension

Contrôles Et Inspection Visuelle	- Vérification du niveau d'huile dans les traversées. - Nettoyage de la porcelaine. - Vérification des distances explosives de sûreté (éclateurs). - Vérification des connexions entre les traversées et les câbles de transport d'énergie (cote sortie transformateur)	Trimestrielle (Chaque 03 mois)	Hors tension
	- Mesure de l'isolement des traversées. - Mesures des pertes diélectriques (tangente delta) et les capacités des bornes. - Détection des décharges partielles (DP).	Annuelle (1) (2)	Hors tension

	Nature des contrôles et analyses à réaliser	Périodicité	Etat du transformateur
Contrôle Et Inspection Visuelle	Changeur de prises hors charge (à vide) : - Interconnexion de toutes les prises pour nettoyage des contacts de changeur de prises. - vérification du verrouillage. - Vérification de la résistance de contact par prises.	Annuelle (1) (3)	Hors tension
	Transformateurs de courant (bushing) : - Vérifie la filerie et l'état des connexions secondaires (serrage/rouille). - Vérifier l'absence de fuite d'huile au niveau du secondaire des bushings (boitier secondaire). - Mesures des paramètres électriques du TC.	Annuelle (1)	Hors tension
	Contrôle des dispositifs de protection : - Relais de Buchholz. - Protection différentielle. - Protection à maximum de courant. - Protection masse cuve. - Protection surcharge thermique.	Annuelle (1)	Hors tension
	Vérification des dispositifs de mesures (instruments) et accessoires : - Indicateurs des niveaux d'huile. - Thermomètre. - Des brides de raccordement des aéroréfrigérants aux cuves principales. - L'état du silicagel et l'absence de fissure au niveau du pot du dessiccateur.	Mensuelle	Sous tension Hors tension
	- Image thermique. - Soupape de suppression.	Annuelle (1)	Hors tension

	Thermographie : Contrôle thermiques et recherche des points chauds sur les connexions	Hebdomadaire (Chaque semaine)	Sous tension
	Contrôle du circuit d'incendie	Annuelle (1)	Hors tension

Algorithme de fonctionnement de bloc relai différentielle

P-D (A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , C_1 , C_2)

Debut

Etape RMS

$A_1 \leftarrow \text{RMS}(A_1);$

$A_2 \leftarrow \text{RMS}(A_2);$

$B_1 \leftarrow \text{RMS}(B_1);$

$B_2 \leftarrow \text{RMS}(B_2);$

$C_1 \leftarrow \text{RMS}(C_1);$

$C_2 \leftarrow \text{RMS}(C_2);$

Compare ABS

$R_1 \leftarrow \text{ABS}(\text{cmp}(A_1, A_2));$

$R_2 \leftarrow \text{ABS}(\text{cmp}(B_1, B_2));$

$R_3 \leftarrow \text{ABS}(\text{cmp}(C_1, C_2));$

Si $R > 1$ alors $R=1$; Si non $R=0$

Si ($R_1 > 1$) alors $R_1 \leftarrow 1$; Si non $R_1 \leftarrow 0$

Si ($R_2 > 1$) alors $R_2 \leftarrow 1$; Si non $R_2 \leftarrow 0$

Si ($R_3 > 1$) alors $R_3 \leftarrow 1$; SI non $R_3 \leftarrow 0$

Flip-flop R-S

$R_1 \leftarrow (R_1, 0);$

$R_2 \leftarrow (R_2, 0);$

$R_3 \leq (R_3, 0)$;

Si ($R_1=1$ et $R_2=1$ et $R_3=1$) alors retourne (1) ; Si non retourne (0) ;

Fin

Caractéristique technique de transformateurs

-Tension primaire	$V_p=15.5\text{kv}$
-Tension secondaire	$V_s=235\text{kv}$
-Puissance apparente	$S=1893\text{ MVA}$
-Courant primaire	$I_p= 705\text{ A}$
-Courant secondaire	$I_s=46.5\text{ A}$
-Facteur de puissance	$V_s / V_p = I_p / I_s = 15$
-Couplage	Etoile-étoile