



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université d'EL-Oued
Faculté des Sciences et de Technologie

Mémoire de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et de Technologie
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

**Modélisation et Simulation de la Protection Différentielle
d'un Transformateur de Puissance**

Dirigé par:

Mr: MIDA Dris

Réalisé par:

BEBOUKHA Abd Errazzak
GHILANI Moussa

Soutenu 23-24 Juin 2014

Dédicace

Je dédie ce travail à ma mère et mon père pour ses encouragements et ses prières tout au long de mes études, et nous plantent l'amour de science.

Je le dédie à mes frères et sœurs, et je les remercie pour leurs encouragements et leurs aides ainsi que toute ma grande famille.

A tous mes amis sans citer les noms.

BEBBOUKHA

Abderrazzak

Dédicace

Je dédie ce travail à ma mère et mon père pour ses encouragements et ses prières tout au long de mes études, et nous plantent l'amour de science.

Je le dédie à mes frères et sœurs, et je les remercie pour leurs encouragements et leurs aides ainsi que toute ma grande famille.

A tous mes amis sans citer les noms.

GHILANI Massa

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant clément et miséricordieux de m'avoir soigné et aidé.

Nous tenons, avant tout, à exprimer nos profondes gratitude à monsieur MIDA Dris, enseignant à l'université D'El-Oued qui a assumé la direction de ce travail. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de nos reconnaissances pour son dévouement, sa patience sa disponibilité, ses conseils et son aide constant qu'il nous apportés tout au long de ce travail.

Nous remercions vivement aux président et membres du jury pour avoir bien voulu accepter de faire partie du jury de soutenance.

Qu'ils trouvent ici l'expression de nos gratitude respect.

Nous adressons nos vifs remerciements à tous les enseignants de l'université D'El-Oued qui ont contribués à nos formations durant toutes nos études.

Nous tenons également à remercier tous nos collègues des études pour leurs soutiens et leur motivation.

Que tous nos amis sans exception, ils sont nombreux, nous ne pouvons tous les citer mais nous ne les oublions.

Enfin, que toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, soient chaleureusement remerciées.

BEBBOURHA

GHILAIN

Sommaire

	page
<i>Dédicace</i>	<i>II</i>
<i>Remerciements</i>	<i>IV</i>
<i>Liste de figure</i>	<i>IX</i>
<i>Liste de tableau</i>	<i>XIII</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>XIV</i>

Chapitre I: Transformateur de puissance

<i>I.1 Introduction</i>	<i>2</i>
<i>I.2 Définition de transformateur</i>	<i>2</i>
<i>I.3 Principaux éléments des transformateurs</i>	<i>3</i>
<i>I.4 Types des Transformateurs</i>	<i>5</i>
<i>I.4.1 Transformateur de puissance</i>	<i>6</i>
<i>I.4.2 Transformateur de contrôle</i>	<i>7</i>
<i>I.4.3 Autotransformateur</i>	<i>7</i>
<i>I.4.4 Transformateur d'isolement</i>	<i>8</i>
<i>I.4.5 Transformateur de potentiel</i>	<i>8</i>
<i>I.4.6 Transformateur de courant</i>	<i>8</i>
<i>I.4.7 Transformateur de distribution</i>	<i>8</i>
<i>I.5 Construction et description du transformateur de puissance</i>	<i>8</i>
<i>I.5.1 Transformateur de base</i>	<i>8</i>
<i>I.5.2 L'enroulement</i>	<i>11</i>
<i>I.5.3 Réservoir</i>	<i>13</i>
<i>I.5.4 Contrôle de la tension de réglage</i>	<i>14</i>
<i>I.5.5 Douille</i>	<i>14</i>
<i>I.5.6 Système de refroidissement</i>	<i>14</i>
<i>I.5.7 Huiles isolantes</i>	<i>16</i>
<i>I.5.8 Relais des Buchholz</i>	<i>17</i>

<i>I.6 Défauts et conditions anormales sur les transformateurs de puissance.....</i>	<i>20</i>
1.6.1 Court-Circuit interne entre les trois phases à la terre.....	20
1.6.2 Court-Circuit interne sur un enroulement de phase.....	20
1.6.3 Coupe en circuit a la terre.....	20
1.6.4 Court-circuit externe.....	20
1.6.5 Transitoire sur Tension.....	21
1.6.6 Décomposent en isolant entre la Basse et Haute Tension des enroulements.....	21
1.6.7 Courant d'appel.....	21
1.6.8 Au cours de charge.....	22
<i>I.7 Types de systèmes de protections pour les transformateurs de puissance.....</i>	<i>22</i>
<i>I.8 Test</i>	<i>22</i>

Chapitre II: protection différentielle

<i>II.1 Introduction.....</i>	<i>26</i>
<i>II.2 protection différentielle.....</i>	<i>26</i>
11.2.1 Conditions de base de la protection différentiel.....	27
11.2.2 Les composantes principales de la protection différentielle.....	28
<i>II.3 types de relais différentiels.....</i>	<i>28</i>
11.3.1 Relais différentiels de courant.....	28
11.3.2 Relai de faisceau décentré ou Relai différentiel de pourcentage.....	30
<i>II.4 La protection différentielle de Pourcentage pour le transformateur.....</i>	<i>33</i>
11.4.1 Protection de Merz-Price pour le transformateur d'Étoile-triangle.....	33
11.4.2 Protection de Merz-Price pour le transformateur d'Étoile-étoile.....	35
11.4.3 Les protection différentielle avec l'état normal (aucun défaut)	36
11.4.4 Protection de différentielle avec conditions anormales (Défaut interne).....	37
<i>II.5 Caractéristique multi pente.....</i>	<i>39</i>
<i>II.6 Réglage des relais différentiels.....</i>	<i>40</i>
11.6.1 Réglage utilise le circuit de bobine (réglage de base).....	40
11.6.2 Réglage de circuit retenant de bobine (valeur maximale).....	40
<i>II.7 Applications de la protection différentielle.....</i>	<i>41</i>

Chapitre III: Calcul des protections différentielles

III.1. Introduction.....	44
III-2 Problèmes dans la protection différentielle (défis à la protection différentielle de transformateur).....	44
III.2.1 Différence dans des longueurs de fil pilote	44
III.2.2 Erreurs de rapport de TC pendant les court-circuit.....	44
III.2.3 Saturation des circuits magnétiques de T. C pendant l'état de court-circuit.....	45
III.2.4 Taux -change à la suite du changement de taraudage (Tap - Modification).....	45
III.2.5 Courants dans un transformateur Δ - λ (détail des courants de phase).....	45
III.2.6 Sources de ordre-Zéro.....	48
III.2.7 Magnétisation Courant d'appel.....	54
III.2.7.1 Méthodes de minimiser l'effet de courants d'appel.....	58
III.2.7.2 Solutions de relais au problème l'courant d'appel.....	58
III.2.8 Surexcitation de transformateur.....	65
III.3 Calculs de protection différentiels.....	68
III.3.1 Introduction.....	68
III.3.2 Paramètres de sous-station.....	68
III.3.2.1 Paramètres de système.....	68
III.3.2.2 Paramètres de transformateur.....	68
III.3.2.3 Régleur en Paramètres	68
III.3.3 Calculs de protection différentiels pour le transformateur.....	73
III.3.3.1 Sélection des transformateurs de courant.....	73
III.3.3.2 Protection différentiel de pourcentage	74

Chapitre VI: Protection différentielle utilisant le MATLAB

IV.1 Introduction.....	78
IV.2 Pièces de système Matlab.....	78
IV.2.1 Environnement de développement.....	78
IV.2.2 La bibliothèque de fonction mathématique de Matlab.....	79

IV.2.3	La langue de Matlab	79
IV.2.4	Matlab Graphiques.....	79
IV.2.5	L'Application Programme Interface de Matlab (API).....	79
IV.3	Le simulation	79
IV.4	Modélisation de la protection différentielle par Matlab.....	80
IV.4.1	Fonctionnement normal.....	80
IV.4.2	Défauts externes.....	82
IV.4.3	Défauts internes.....	84
IV.4.3.1	Défaut Triphasé interne.....	84
IV.4.3.2	Défaut Monophasé interne	88
IV.4.3.3	Défaut triphasé interne de court-circuit	90
IV.4.4	Appel condition de courant.....	92
	Conclusion générale.....	93
	Référence.....	94

Liste de figure

Chapitre I : Transformateur de puissance	page
fig (I.1) circuits magnétiques et électriques liés	3
fig (I.2) Schéma de monophasé base - formes de construction.....	8
fig (I.3) Schéma de trois phases principales formes de construction.....	9
fig (I.4) Schéma de monophasé Shell-forme de construction.....	10
fig (I.5) Enroulements de la couche.....	11
fig (I.6) disque d'enroulement.....	12
Fig (I.7) Connexion de relais de Buchholz	16
Fig (I.8): Buchholz construction de relais.....	17
Fig (I.9) L'état d'équilibre des flux et courant et la tension de magnétisation.....	21
Fig (I.10) : Illustration du courant magnétisant d'appel	22
Fig (I.11) : Courant passager typique d'appel en commutant dans un transformateur à l'instant où $E=0$	22
 Chapitre II : Protection différentielle	
Fig (II.1) : Le schéma de principe de la protection différentielle pour le transformateur de Puissance (Δ - λ)	26
Fig (II.2) : Relai différentiel défaut externe.....	29
Fig (II.3): défaut interne.....	29
Fig (II.4): relai de faisceau décentré.....	30
Fig (II.5) : Circuit simple de relai de faisceau décentré	31
Fig (II.6) : Caractéristique de fonctionnement de relai de faisceau décentré.....	32
Fig (II.7) : Augmentation dans la caractéristique de pente.....	32
Fig (II.8) : Relai différentiel d'équilibre de tension.....	33
Fig (II.9) : Connexions de transformateur de courant.....	34

Fig (II.10) : protection de Transformateur de puissance de Merz-Price (λ - Δ).....	35
Fig (II.11) : Protection de Merz-Price pour le transformateur de puissance de (λ - λ).....	36
Fig (II.12) : Défaut externe (protection différentielle impartiale).....	37
Fig (II.13) : Défaut interne (protection différentielle impartiale).....	38
Fig (II.14) : Multi caractéristique du Pente du relai différentiel.....	39
Fig (II.15) : Réglage des relais différentiels du pourcentage.....	41
 Chapitre III: Calcul des protections différentielles	
Fig (III.1) L'erreur entre I_{ct1} et I_{ct2}	45
Fig (III.2) Courants dans un transformateur Δ - λ	46
Fig (III.3) schéma de principe pour la compensation traditionnelle.....	47
Fig (III.4) le réseau homopolaire pour Δ	49
Fig (III.5) direct, inverse, et homopolaire sous S.C. externe.....	49
Fig (III.6) le transformateur du Δ/λ avec une banque fondante s'est relié au côté de Δ	50
Fig (III.7) flux composante de séquence pour défaut à la terre.....	51
Fig (III.8) Double Δ relié par TC auxiliaire.....	52
Fig (III.9) doubles- Δ connexions d'application de homopolaire.....	52
Fig (III.10) : TC auxiliaire relié comme piège de homopolaire.....	53
Fig (III.11) : Accomplissez la connexion nulle d'application d'ordre de piégé.....	53
Fig (III.12) le cycle d'hystérésis du noyau.....	54
Fig (III.13) Courbes de v , $d'I$, et de Φ	55
Fig (III.14) courant typique d'appel.....	56
Fig (III.15) Dérivation de la forme d'onde actuelle du courant d'appel de la courbe de Saturation d'excitation	57
Fig (III.16) : forme d'onde typique de courant d'appel. (A) théorique; (B) les courants réels en enroulements λ connectés; (C) les courants réels en enroulements Δ -connectés.....	59
Fig (III.17) Seconde harmonique par l'analyse de la forme d'onde.....	60
Fig (III.18) Circuit de base de relais avec contrainte d'harmonique	61

Fig (III.19) Circuit de base de relais de blocage des harmoniques.....	62
Fig (III.20) Pourcentage partial et relais décentré composant de transductor de C.C pour la protection de transformateur.....	63
Fig (III.21) : la méthode bloquant C.C.....	64
Fig (III.22) : la méthode bloquant C.C (DCBL utilisés).....	64
Fig (III.23) : la méthode bloquant C.C (DCBL n'est pas utilisés).....	65
Fig (III.24) : Le courant d'excitation obtenue à partir de teste un transformateur en laboratoire.....	66
Fig (III.25) : Courant d'excitation harmonique.....	67
Fig (III.26) Circuit équivalent du réseau.....	69
Fig (III.27) Composante directe (RSP).....	69
Fig (III.28) Circuit équivalent de Thevenin pour le composante directe.....	69
Fig (III.29) Le composante inverse (RSN).....	70
Fig (III.30) Circuit équivalent de Thevenin pour le composante inverse.....	70
Fig (III.31) Le composante homopolaire (RSZ).....	70
Fig (III.32) circuit équivalent de Thevenin pour le composante homopolaire (RSZ).....	71
Fig (III.33) : Connexions du T C. SUR le transformateur de puissance.....	73
Fig (III.34) : Triphasé pour rectifier le défaut : (1) le défaut est dans la zone protégé (2) le défaut est extérieur la zone protégée.....	74
Fig (III.35) Défaut entre phases : (1) le défaut est dans la zone protégée, (2) le défaut est extérieur la zone protégée.....	75
 Chapitre IV: Protection différentielle utilisant le MATLAB	
Fig (IV.1) : Modèle de fonctionnement normal.....	80
Fig (IV.2) : Courant primaire du transformateur de puissance (aucun défaut).....	81
Fig (IV.3) : Courant secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).....	81
Fig (IV.4) : Courant de T.C pour la phase A (aucun défaut).....	82
Fig (IV.5) : Modèle de défaut externe	82

Fig (IV.6) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.ext).....	83
Fig (IV.7) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.ext).....	83
Fig (IV.8) : Courant de T.C pour la phase A (défaut.ext).....	84
Fig (IV.9) : Modèle de défaut interne (3Ph-à la terre).....	85
Fig (IV.10) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.int) (3Ph- à la terre).....	85
Fig (IV.11) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.int) (3Ph- à la terre).....	86
Fig (IV.12) : 3 formes d'onde actuelles de phase dans T.C1 (défaut.int) (3Ph- à la terre).....	86
Fig (IV.13) : Défaut courant de T.C pour la phase (défaut.int) (3Ph- à la terre).....	87
Fig (IV.14) : Modèle interne de défaut (1Ph- à la terre).....	87
Fig (IV.15) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.int) (1Ph- à la terre).....	88
Fig (IV.16) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.int) (1Ph- à la terre).....	88
Fig (IV.17) : Courant de C.T pour la phase A (défaut.int) (1Ph- à la terre).....	89
Fig (IV.18) : Modèle interne de défaut (CC.3Ph).....	89
Fig (IV.19) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.int) (CC.3Ph).....	90
Fig (IV.20) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.int) (CC.3Ph).....	90
Fig (IV.21) : Modèle de courant d'appel.....	91
Fig (IV.22) : Courant d'appel pour la phase A (aucun défaut).....	91
Fig (IV.23) : Courant de T.C pour la phase A (état d'appel).....	92

Liste de Tableau

Chapitre I : Transformateur de puissance	page
Tableau I.1 : Essais type.....	23
Tableau (I.2) : Essais spéciaux.....	23
Tableau (I.3) : Essais individuels de série.....	24
 Chapitre III: Calcul des protections différentielles	
Tableau (III.1) : Amplitude d'harmoniques dans une forme d'onde magnétisante typique de courant d'appel.....	59
Tableau (III.2) : Les harmoniques les plus significatifs comme pourcentage du courant nominal.....	67

Introduction Générale

La modélisation des transformateurs de puissance à traditionnellement occupé beaucoup d'attention durant des années, pour leur importances dans les systèmes de puissance, le grand intérêt porté à l'étude de ces dernier ont permit de réaliser un développement remarquable dans le domaine de la conversion, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. La compréhension des phénomènes électromagnétiques qui régissent leur fonctionnement et la détermination des différentes pertes et les paramètres électriques constitue une étape déterminante pour une meilleure exploitation de ces dispositifs. Ce qui permet également de prédire sont comportement aux différentes contraintes pour éviter sa détérioration, et élargir sa durée de vie en vue de minimiser son coût d'exploitation.

Le transformateur est un appareil statique à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courants variables en un ou plusieurs systèmes de courants variables, d'intensité et de tension généralement différents, mais de même fréquence. Cet appareil n'effectue donc qu'un transfert d'énergie par voie électromagnétique. Il comporte deux enroulements montés sur un circuit magnétique feuilleté, l'un est dit "Primaire" reçoit de la puissance active de la source et l'autre dit "Secondaire" fournit de la puissance active au circuit d'utilisation. Le transformateur peut fonctionner en abaisseur ou en élévateur. Le transformateur est un élément important dans les systèmes de transport et de distribution dans les réseaux électriques.

Une protection différentielle est une protection électrique qui consiste à comparer le courant entrant et le courant sortant d'un appareil. Si les deux sont différents, la protection conclut à une fuite à l'intérieur de l'appareil et commande son retrait du réseau électrique, on parle de « déclenchement ». La protection différentielle est une protection très répandue. Elle sert à protéger en particulier les jeux de barres, les générateurs et les transformateurs.

Un transformateur de puissance est un important dispositif ou partie d'un réseau, tant du point de vue de sa fonction que de son prix élevé. De ce fait, sa disponibilité est très importante pour éviter des pertes de production dues à des pannes. La fiabilité du transformateur pourra être accrue par une bonne protection et supervision. Le prix de des relais de protection est négligeable, comparé au prix du transformateur et au coût des dommages dus aux défauts.

La protection doit être fiable et rapide afin de déconnecter le transformateur le plus rapidement possible, dans les délais, pour limiter les conséquences.

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

À cet effet notre étude est composée de quatre chapitre:

Dans le chapitre I, nous étudions le principe de fonctionnement du transformateur, la construction, le principal type de transformateur, et finalement les essais des transformateur.

Dans le chapitre II, nous étudions la protection différentielle, sa définition et principe de fonctionnement et le composant principal de la protection différentielle, on parle de protection différentiel de pourcentage et nous donnons deux exemples, pour le transformateur étoile-triangle, et le transformateur étoile-étoile.

Dans le chapitre III, nous introduisons les problèmes de la protection différentielle et ses solutions, comme le courant d'appel et le déphasage entre les courants dans les côtés primaire et secondaire du transformateur, et finalement nous faisons des calculs de défauts, par exemple, défaut triphasé à la terre et entre deux phase

Enfin dans le chapitre IV, nous faisons une simulation de la protection différentielle du transformateur de puissance en utilisant l'enroulement MATLAB en appliquant les différents défauts possibles .

CHAPITRE I

Transformateur de puissance

I.1 Introduction

Les centrales électriques étant souvent éloignées du consommateur, le rôle du transformateur, est d'acheminer l'énergie électrique de son point de production jusqu'à son point de consommation. Les défauts qui peuvent affecter les transformateurs sont de différentes catégories (internes, externes).

Pour obtenir une connaissance de l'état des équipements et d'adopter les solutions les plus adéquates qui garantissent le fonctionnement correct des transformateurs, il est nécessaire d'effectuer périodiquement des inspections et des travaux de réparation.

Dans ce qui suit, une étude théorique détaillée de transformateur ainsi que les contraintes et les moyens de protection seront présentés.

I.2 définition de transformateur

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

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

Seuls les transformateurs de puissance permettent, très économiquement, de minimiser les pertes en ligne, en assurant le transport de l'énergie à longue distance sous tension élevée (200kV et 400kV et plus entre phases)[1], puis d'abaisser ensuite cette tension, étape par étape pour alimenter les réseaux de distribution régionaux et locaux jusqu'à la tension d'alimentation domestique.

La compréhension des phénomènes électromagnétiques qui régissent le fonctionnement des transformateurs et la détermination de ses pertes, constitue une étape déterminante pour l'exploitation optimale de ces appareils et également pour leur conception. La modélisation des transformateurs est une tâche très difficile due à l'introduction des caractéristiques du noyau magnétique tel que la saturation, l'hystérésis et les pertes par courants de Foucault aussi bien que de sa topologie et la configuration de ses enroulements. Ainsi, une variété de méthodes pour sa modélisation et analyse de son comportement pour différents états opérationnels ont été développées. On peut distinguer deux approches de modélisation :

- Approche locale orientée vers le calcul numérique ou bien semi-analytique.

- Approche globale orientée vers le calcul analytique basé sur un schéma équivalent électrique ou magnétique (réseau de réluctances).

I.3 principaux éléments des transformateurs

D'une manière générale, un transformateur est constitué d'un circuit magnétique feuilleté et d'un ensemble des bobines séparées par des écrans électrostatiques qui entourent des noyaux magnétiques. Chaque bobine formant le milieu conducteur est organisée en paquets de spires et chaque spire étant constituée de brins élémentaires. Les différents types de transformateurs se distinguent suivant la disposition géométrique de leurs constituants et la forme de leur circuit magnétique et du type de refroidissement.

➤ Principe de fonctionnement

En vertu de la loi de Faraday, lorsqu'un flux d'induction magnétique variable Φ circule dans le circuit magnétique, il induit dans chacun des enroulements une force électromotrice proportionnelle dans le temps aux taux de changement ($d\Phi/dt$) et au nombre de spire que comporte cet enroulement.

Lorsque le primaire est alimenté par une source alternative, il circule dans le circuit magnétique un flux également alternatif dont l'amplitude dépend du nombre de spires du primaire et de tension appliquée. Ce flux induit dans l'enroulement secondaire une tension proportionnelle au nombre de spires du secondaire. La fermeture du secondaire sur une charge provoque la circulation du courant secondaire.

Le noyau magnétique fournit un chemin de canalisation de flux magnétique tel que montré par la figure (I.1)

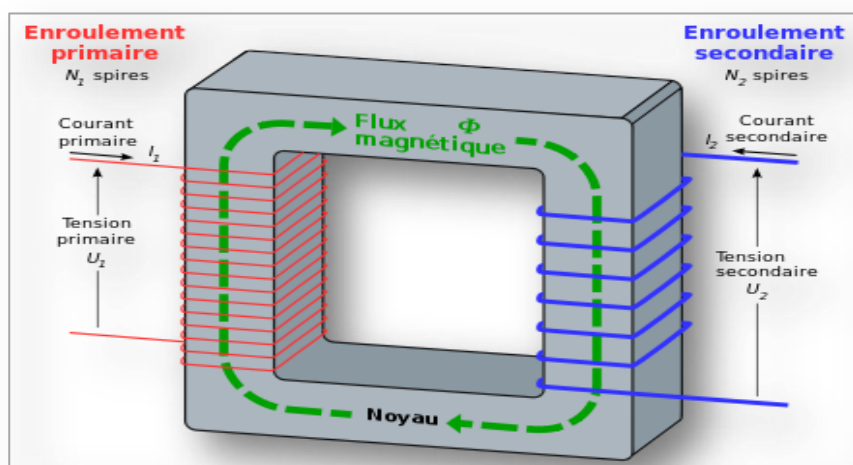


fig.(I.1) circuit électromagnétique simple

La figure (I.1) montre un simple transformateur ion deux enroulement, que le nombre de spires de l'enroulement primaire soit N_1 et tel que tours dans l'enroulement secondaire soit N_2 [2].

Un transformateur idéal ou parfait est un transformateur virtuel sans aucune perte. Il est utilisé pour modéliser les transformateurs réels. Ces derniers sont considérés comme une association d'un transformateur parfait et de diverses impédances. Dans le cas où toutes les pertes et les fuites de flux sont négligées, le rapport du nombre des spires primaires sur le nombre de spires secondaires détermine le rapport de transformation du transformateur.

Supposons qu'il existe un flux dans le noyau, qui relie les deux enroulements est une fonction sinusoïdale du temps.

$$\phi = \phi_{\max} \sin \omega t \quad (\text{I.1})$$

Ensuite, la tension induite dans l'enroulement primaire à un instant quelconque par le flux est la suivante:

$$e_{pri} = -n_p \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{I.2})$$

$$e_{pri} = -n_p \omega \phi_{\max} \cos \omega t \quad (\text{I.3})$$

Où :

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Par conséquent:

$$e_{pri} = -2\pi \cdot f \cdot n_p \phi_{\max} \cos \omega t$$

Et la valeur efficace de cette tension est:

$$E_{Pri} = 4.44 \cdot f \cdot n_p \cdot AB_{\max} \quad (\text{I.4})$$

$$E_{Pri} = \frac{2\pi \cdot f}{\sqrt{2}} n_p \phi_{\max} \quad (\text{I.5})$$

Où :

f : fréquence

A: Aire de la section de circuit magnétique

B max: densité de flux maximale dans le noyau

$$E_{Sec} = 4.44 f \cdot n_s A B_{\max} \quad (\text{I.6})$$

Par fonction E_{pri} / E_{sec} :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{n_p}{n_s} = k \quad (\text{I.7})$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{n_p}{n_s} = k \quad (\text{I.8})$$

$$V_p \times I_p = V_s \times I_s = V.A \quad (\text{I.9})$$

$$n_p \times I_p = n_s \times I_s = A.T \quad (\text{I.10})$$

k est appelé rapport de transformation.

I.4 Types des Transformateurs

I.4.1 Transformateur de puissance

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

On retrouve les transformateurs de puissance dans différents types d'applications : dans les réseaux de transport, de distribution électriques, dans les usines en amont de fours électriques notamment et dans les trains. Chacun répondant à des contraintes et des usages très différents. La CEI divise les transformateurs de puissance en trois catégories en fonction de la puissance apparente : jusqu'à 2500 kVA en triphasé ou 833 kVA en monophasé on parle de « transformateur de distribution », au-delà et jusqu'à 100 MVA en triphasé (33,3 MVA en monophasé) « transformateur de moyenne puissance », au-delà de 100 MVA « transformateur de grande puissance ». Les transformateurs de distribution sont très nombreux dans le monde, et ceux de grande puissance sont moins utilisés[3].

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

la fabrication du transformateur par une phase de test, qui vérifie aussi la qualité de l'ensemble.

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

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

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

1.4.2 Transformateur de contrôle

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

1.4.3 Autotransformateur

L'autotransformateur est généralement utilisé dans les applications de faible puissance lorsqu'une tension variable est requise. C'est un type spécial de transformateur de puissance. Il se compose d'un seul enroulement. Par le long de d'enroulement.

Dans ce type de transformateur particulier, il n'ya pas d'isolation électrique entre le primaire et le 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.

1.4.4 transformateur d'isolement

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

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

1.4.5 Transformateur de potentiel

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

1.4.6 Transformateur de courant

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

1.4.7 transformateur de distribution

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

1.5 Construction et description du transformateur de puissance

1.5.1 Transformateur de base

Le noyau, qui fournit le chemin magnétique pour canaliser des rigoles le flux, se compose des bandes minces en acier à haute teneur, appelées les stratifications, qui sont électriquement séparées par un revêtement mince d'isolant. Les bandes peuvent être empilées ou blessure avec les enroulements construite intégralement autour du noyau ou construite séparément et être assemblée autour des sections de noyau. L'acier de noyau peut être chaud ou laminé à froid l'épaisseur s'étend de 0,23 millimètres à 0,36 millimètres. La section transversale de noyau peut-être circulaire ou rectangulaire. Des noyaux rectangulaires sont employés pour

de plus petites estimations et en tant que transformateurs auxiliaires utilisés dans un transformateur de puissance. Les noyaux rectangulaires emploient une largeur simple d'acier de bande, alors que les noyaux circulairesemploient une combinaison de différentes largeurs de bande pour rapprocher une section transversale circulaire. . Le type de l'acier et de disposition dépend de l'estimation de transformateur par rapport aux facteurs de coût tels que le travail et la représentation. Il y a deux types de base de construction de noyau utilisés dans des transformateurs de puissance : forme de noyau et forme de coquille[3].

Dans la construction la forme de noyau; il ya un chemin simple pour le circuit magnétique les Figure (I.2) montre un schéma d'un noyau monophasé, avec les flèches montrant le chemin magnétique. Pour des applications monophasées, les enroulements sont typiquement divisés sur les deux jambes de noyau comme montrés. Dans des applications triphasées, les enroulements d'une phase particulière sont typiquement sur la même jambe de noyau, comme illustrés dans la figure (I.3) les enroulements sont distincts construits du noyau et placés sur leurs jambes respectives de noyau pendant l'assemblée de noyau.

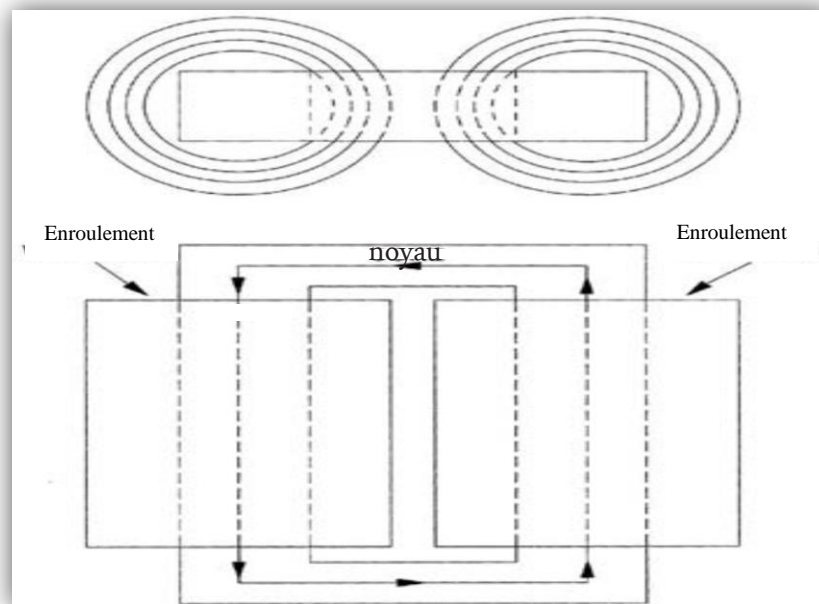


fig.(I.2) Schéma de base monophasé - formes de construction.

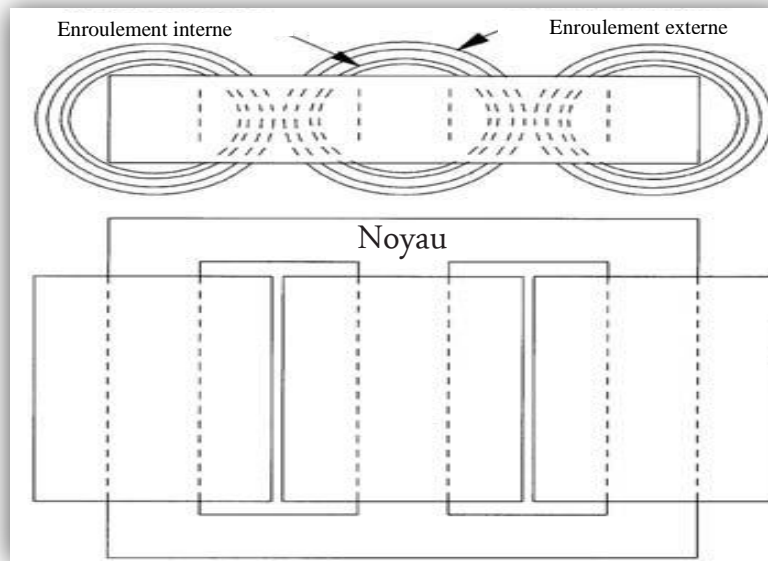


fig.(I.3) Schéma de trois phases principales formes de construction

Dans la forme-coquille de construction, le noyau fournit plusieurs chemins pour le circuit magnétique. Figure (I.4) est une représentation schématique d'une coque en forme de noyau monophasé, avec les deux chemins magnétiques est illustrés. Le noyau est généralement empilé directement autour des enroulements, qui sont généralement des enroulements de type " crêpe ", bien que certaines applications sont tels que le noyau et les enroulements sont assemblés similaire à la forme de base. En raison des avantages en court-circuit et la performance transitoire de tension, les formes de coquillages ont tendance à être utilisé plus fréquemment dans les plus grands transformateurs, où les conditions peuvent être plus graves. Les variations de la construction triphasée de la forme-coquille incluent cinq - et des noyaux sept-à jambes, selon la taille et l'application.

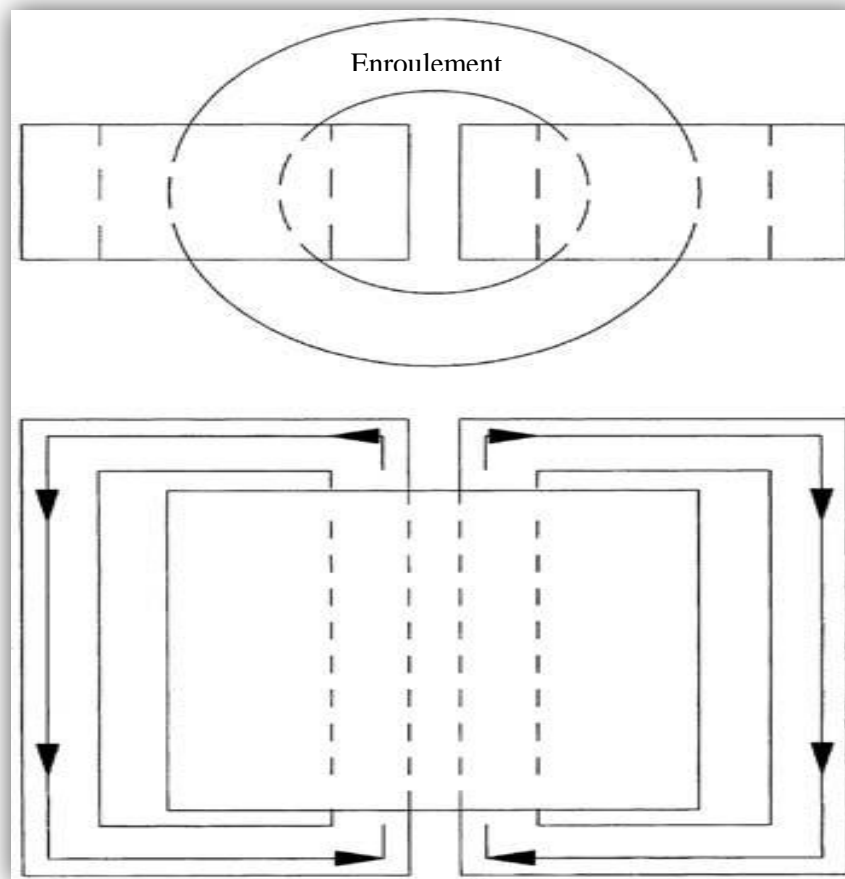


fig.(I.4) Schéma de monophasé la forme-coquille de construction.

1.5. 2 L'enroulement

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

Le Cuivre et l'aluminium sont les principaux matériaux utilisés pour la fonction les enroulements des transformateurs de puissance[4]. Bien que l'aluminium est plus léger et moins coûteux que le cuivre, une section transversale du conducteur en aluminium plus importante doit être utilisé pour transporter un courant avec une performance similaire à celle du cuivre. Le cuivre a une résistance mécanique plus élevée et il est utilisé presque exclusivement, sauf dans les gammes de plus petite taille, où des conducteurs en aluminium peuvent être tout à fait acceptables.

➤ Types d'enroulement

1. Couche d'enroulement

Pour la basse tension, (moins de 10 kV), la technique d'enroulement utilisée est la technique d'enroulement de couche parfois appelé enroulement hélicoïdal ou barillet. Dans cette technique, les tours requis pour l'enroulement sont enroulés en une ou plusieurs couches concentriques, avec les spires de chaque couche étant enroulée côte à côte le long de la longueur axiale de la bobine jusqu'à ce que la couche est saturée.

Les conducteurs du bobinage sont ainsi isolés entre les spires, il y aura des épaisseurs minimales de l'isolation.

Les enroulements basse tension sont généralement enroulés de haut en bas, de bas en haut etc. en utilisant un conducteur continu, jusqu'à ce que toutes les couches sont complètes.

Les enroulements à haute tension, peuvent être enroulés dans le même sens, à condition que la tension entre les couches n'est pas trop grande, Pour réduire la contrainte de tension entre les couches, les enroulements haute tension sont souvent enroulés dans une seule direction, par exemple, de haut en bas. Lorsque la première couche d'enroulement est terminée, le conducteur d'enroulement est disposé de l'autre côté de la couche remplie de bas en haut et ensuite la couche suivante est enroulée, à nouveau de haut en bas. De cette manière, la contrainte de tension entre les couches est divisé par deux.

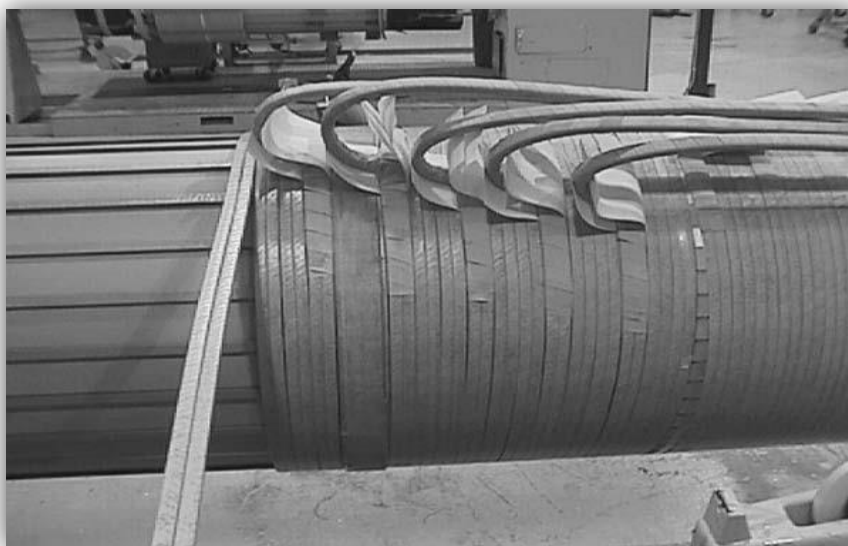


fig.(I.5) Enroulements de la couche

2. Disque d'enroulements

Dans le disque d'enroulement, le nombre requis de tours est enroulée dans un certain nombre de disques horizontaux stimulés le long de la longueur axiale de la bobine. Le conducteur est généralement rectangulaire en section transversale et les spires sont enroulées dans une direction radiale, l'une sur l'autre jusqu'à ce que le nombre requis de tours par disque est atteint.

Le conducteur est alors déplacé vers le disque suivant et le processus est répété jusqu'à ce que tous les virages ont été liquidées. Il existe un espace d'air, ou d'un conduit, entre chaque paire de disques. Le disque d'enroulement exige seulement l'isolation sur le conducteur lui-même, aucune isolation supplémentaire est nécessaire entre les couches, comme dans la couche d'enroulement.

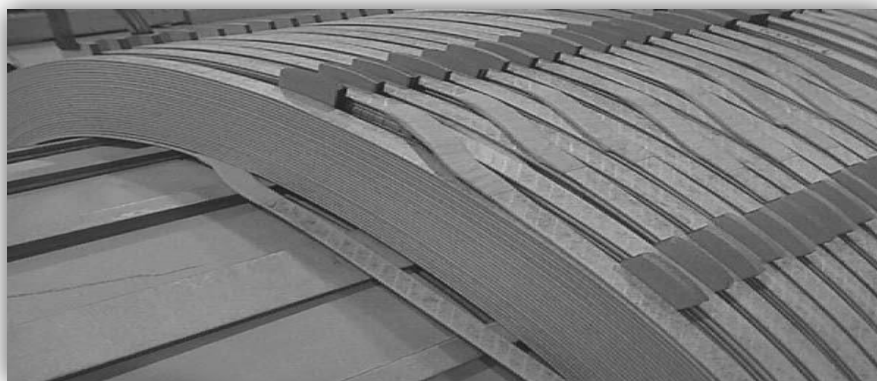


fig.(I.6) disque d'enroulement

1.5. 3 Réservoir

Le réservoir comporte deux parties principales:

1. Le réservoir

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

2. Conservateur

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

1.5. 4 Contrôle de la tension de réglage

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

1.5. 5 Douille

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

1.5. 6 Système de refroidissement

Les pertes à vide et les pertes en charge sont les deux importantes causes de l'échauffement du transformateur .Ils sont pris en compte dans la modélisation thermique des transformateurs de puissance. Les pertes à vide sont dues à de l'hystérésis et aux courants de Foucault dans le noyau du transformateur, et ces pertes sont présentes à chaque fois que le transformateur est mis sous tension. La perte d'hystérésis est dû aux aimants élémentaires dans le matériau aligner avec le champ magnétique alternatif[2].

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

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

Modes de refroidissement:

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

1. Huile liquide isolant [O].
2. Non inflammable liquide synthétique isolante [L].
3. Gaz [G].
4. eau [E].
5. Air [A].

Les types de circulation pour le fluide de refroidissement et leurs symboles sont:

- naturel [N].
- forcé [F].

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

1. Transformateurs immergés

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

1.1. bain d'huile refroidi Air naturelle (*Oil Natural Air Natural*) " ONAN"

Dans ce cas, l'ensemble de noyau d'enroulement est immergé dans l'huile. Le refroidissement est obtenu par circulation d'huile sous la tête thermique naturel seulement. Dans les grands transformateurs la zone de surface du réservoir seul n'est pas suffisante pour la dissipation de la chaleur produite par les pertes. une surface additionnelle est obtenue avec la disposition de radiateurs.

1.2 . Bain d'huile Air souffle (*Oil Natural Air Forced*) " ONAF"

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

1.3 . Bain d'huile refroidi par eau (*Oil Natural Water Natural*) " ONWN"

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

1.4 . Huile forcé Air souffle refroidi (*Oil Forced Air Forced*) - Type OFAF

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

1.5. Huile naturelle à refroidissement par air forcé (*Air forcé huile naturelle*) "OFAN"

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

1.6 . Eau et Huile forcé et Refroidi (*Oil Forced Water Forced*) " OFWF"

Dans ce type de pompe de refroidissement est ajouté dans le circuit d'huile pour forcé la sa circulation, à travers un échangeur de chaleur séparé dans lequel l'eau peut s'écouler [4].

2. Les transformateurs à air refroidi

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

- Air naturel (U_n).
- B. Air forcé (A_f).

1.5. 7 huiles isolantes

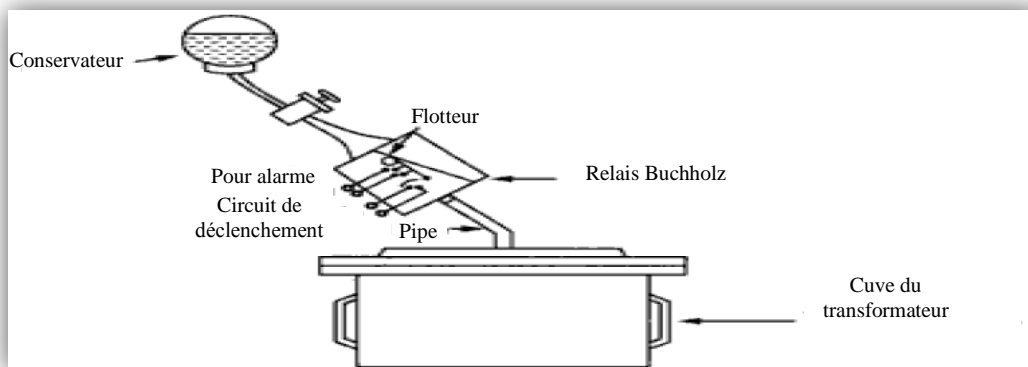
Dans les transformateurs, l'huile isolante fournit un support d'isolation, ainsi qu'un milieu de transfert de chaleur qui évacue la chaleur produite dans les enroulements et le noyau de fer. La résistance électrique et la durée de vie d'un transformateur dépendent principalement de la qualité de l'huile isolante, il est très important d'utiliser une huile isolante de qualité .et il doit généralement satisfaire aux exigences suivantes:

1. Fournir une résistance électrique élevée.
2. Permis un bon transfert de chaleur.
3. Avoir une faible viscosité d'huile à c'est à dire, avoir une plus grande fluidité.
4. Avoir un point d'écoulement bas - huile à faible point d'écoulement cessera de s'écouler seulement à de basses températures.
5. Avoir un point d'éclair élevé. qui caractérise sa tendance à s'évaporer. Lorsque l'huile se vaporise, il perd en volume, sa viscosité augmente, et un mélange explosif peut être formé avec l'air au-dessus de l'huile
6. Avoir une stabilité chimique pour assurer un service continu.

I.5. 8 Relais des Buchholz

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

Elle utilise le principe en raison des défauts l'huile dans le réservoir se décompose, générant des gaz. Le 70% de ces gaz est de l'hydrogène qui est léger et monte vers le haut vers conservateur à travers le tuyau partant. Les Relais Buchholz est connecté à la conduite comme est représenté sur la Figure (I.7) en raison du gaz recueilli dans la partie supérieure du relais Buchholz; le relais fonctionne et donne alarme.



Fig(I.7) Connexion de relais de Buchholz

I.5. 8.1 Construction:

Les caractéristiques de construction de relais de Buchholz sont présentés dans la figure (I.8) dans des conditions normales ; le relais de Buchholz est plein d'huile. Il se compose d'un boîtier moulé contenant un flotteur creux articulé. avec un interrupteur à mercure est fixé à un flotteur.

Le flotteur étant mis en rotation dans la partie supérieure du boîtier, une autre soupape à clapet à charnière est situé dans la partie inférieure qui se trouve directement dans le trajet de l'huile entre le réservoir et le conservateur. Un autre interrupteur à mercure est attaché à la soupape à clapet flotteur ferme le circuit d'alarme tandis que le clapet inférieur ferme le circuit de déclenchement en cas de défaut interne.

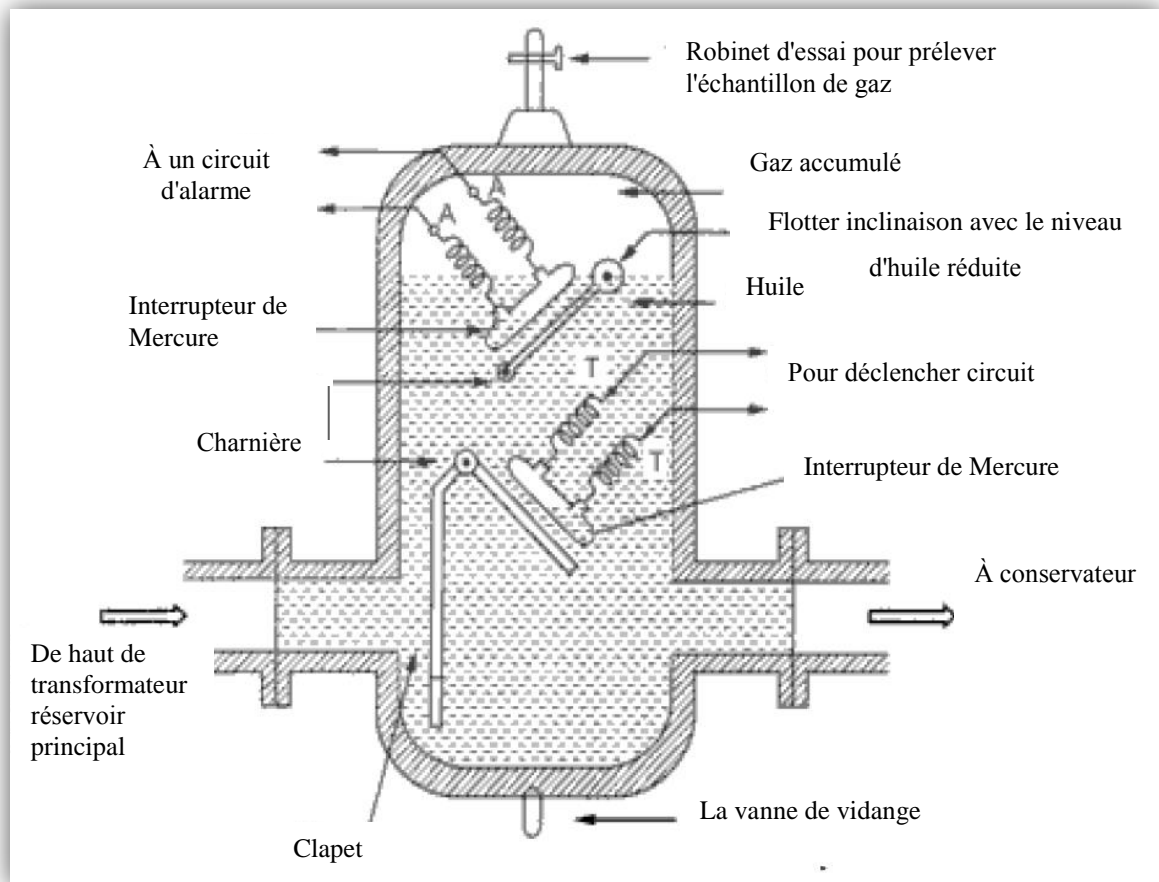


Fig (I.8): Connexion de relais de Buchholz

I.5. 8.2 Fonctionnement :

Il existe plusieurs types de défauts internes tels que des défauts d'isolation, chauffage central, mauvais contacts de commutation, des joints défectueux, etc. qui peut se produire. Lorsque le défaut se produit la décomposition de l'huile dans les principales mises en chantier de réservoir en raison de laquelle les gaz sont générés. Comme mentionné précédemment, le composant majeur de ces gaz est l'hydrogène. L'hydrogène tente de se lever vers le conservateur mais sur son chemin il est accumulé dans la partie supérieure du relais Buchholz. À travers le passage du gaz est empêché par la soupape à clapet.

Lorsque le gaz est accumulé dans le boîtier de la partie supérieure, le niveau d'huile à l'intérieur du boîtier tombe. En raison de laquelle le flotteur creux s'incline et ferme les contacts de l'interrupteur à mercure qui s'y rattachent. Ceci complète le circuit d'alarme pour déclencher une alarme.

I.5. 8.3 Avantage :

Parmis les avantages du relais Buchholz sont:

1 . Un relais de protection n'indique pas l'apparition du défaut. Il fonctionne en cas de défaut mais le relais Buchholz donne une indication de la faute au stade très précoce, en anticipant la faute et le fonctionnement du circuit d'alarme. Ainsi, le transformateur peut être mis hors service avant que tout type de dommage grave se produise.

2 . Une protection simple

I.5. 8.4 Limitations :

Parmis les différentes limites du relais Buchholz nous citons :

1. Il ne peut être utilisé que pour les transformateurs immergés dans l'huile de réservoirs de conservateurs.

2. Seuls les défauts en dessous du niveau d'huile sont détectés.

3. Le réglage des interrupteurs à mercure ne peut être maintenu trop sensible si non le relais peut fonctionner en raison de bulles, vibrations, tremblements de terre, et les chocs mécaniques etc.

4. Le relais est lent à opérer il a un temps de fonctionnement inférieure de 0,1 secondes et un temps moyen de 0,2 secondes.

I.5. 8.5 Applications :

Les défauts suivants des transformateurs peuvent être protégés par le relais Buchholz et il sont indiqués par une alarme:

1- Surchauffe locale

2- bulles d'air dans l'huile

3- Isolation du boulon

4- Tôles en court-circuit

5- Perte d'huile et la réduction du niveau d'huile dû à une fuite

6- Mauvais contacts électriques

7- Court-circuit entre phases

8- Court-circuit d'enroulement

9- Défauts à la terre

I.6 Défauts et conditions anormales sur les transformateurs de puissance

Dans tout système d'équipement, il ya beaucoup de problèmes et défauts qui ont causé par des erreurs artificielles, les erreurs humaines, chauffage, vieillissement, etc..

Nous citerons quelques - défauts importants qui se produisent :

1.6.1 Court-Circuit interne entre les trois phases à la terre

Ce défaut est un défaut symétrique, mais la valeur du courant est très élevé, et cette valeur dépend de certaines choses comme, la valeur de la tension avant et pendant le défaut , et l'emplacement de la faute.

1.6.2 Court-Circuit interne sur un enroulement de phase

Dans ce défaut, la valeur du courant est très élevé, de sorte que ce courant va produire une force électromagnétique qui peut endommager l'enroulement du transformateur, et qui peut provoquer une erreur de court-circuit.

1.6.3 Coupe en circuit a la terre

Tout le matériel électrique doit être relié à la terre, et le transformateur d'alimentation doit être connecté à la terre, à cause des électrons générés, si cet équipement n'est pas relié à la terre les électrons peuvent choquer certaines personnes qui travaille dans la station. Et si le corps du transformateur n'est pas relié à la terre, ou si le circuit de terre a été coupé, les électrons auraient déchargée par le corps du transformateur et qui va apparaître comme une voix de bruit dans le transformateur.

1.6.4 Court-circuit externe

Le court-circuit est arrivé sur le terminal de transformateur de puissance ou sur les circuits de ligne qui reliait sur le même jeu de barre et ces défauts sont classés dans les catégories suivantes:

1. Défauts symétriques

C'est les défauts électriques dangereux en raison du courant de court-circuit élevé, ce agit en tant que triphasé à la terre ou triphasé sans défauts à la terre.

2. Défauts asymétriques

Ces genres de défauts inclut les défauts suivent phase à la terre, deux phases, deux phases à la terre phase ouverte, quand ces défauts se sont produits un courant externe de court-circuit passeront dans le transformateur que ce courant sera plus que le courant évalué de transformateur qui causera une haute température dans les enroulements de transformateur.

1.6.5 Transitoire sur Tension

Les opérations de commutation et parafoudres, les déplacements ou les ondes transitoires, et ces vagues de tensions causées contraintes mécaniques, qui fait se briser dans le matériau d'isolation, donc faire un court-circuit. Limiteur de surtension utilisé pour protéger le transformateur de ces ondes.

1.6.6 Décomposent en isolant entre la Basse et Haute Tension des enroulements

Il a causé par l'éclair surtension ou la vibration naturelle sur l'isolant parce que l'ancienne de l'isolant.

1.6.7 Courant d'appel

Quand un transformateur est hors service, un flux résiduel demeure dans le noyau dû aux propriétés du matériel de noyau d'aimant. Le flux résiduel est de (50 à 90) % du flux de fonctionnement maximum, il dépendent du type d'acier de noyau. Quand la tension est réappliquée au transformateur. Afin de maintenir ce niveau de flux dans le noyau qui peut être bien dans la gamme de saturation de l'acier de noyau, le transformateur peut débiter un courant au dessus du courant nominale transformateur. Selon la conception de transformateur l'importance du courant d'appel (couse en service) actuelle peut être de 3,5 à 10 fois du courant nominale. La forme d'onde du courant d'appel est semblable à une onde sinusoïdale mais en grande partie de travers à la direction positive ou négative. Ce courant d'appel peut faire fonctionne des relais et des fusibles destinés à la protection du dans le système près du transformateur. Les approximations convenables du courant d'appel exigent les informations détaillées concernant la conception de transformateur, qui peut être fournie par le fabricant mais ne sont pas en général à la disposition de l'ingénieur technico commercial. Les valeurs réelles pour le courant d'appel dépendent de la forme de la tension-source, et les opérations de commutation se produisent[5].

Dans des conditions d'état stable normales, le courant magnétisant nécessaire pour produire le flux nécessaire est relativement faible, généralement moins de 1% de la valeur nominale voir la figure (I.9)

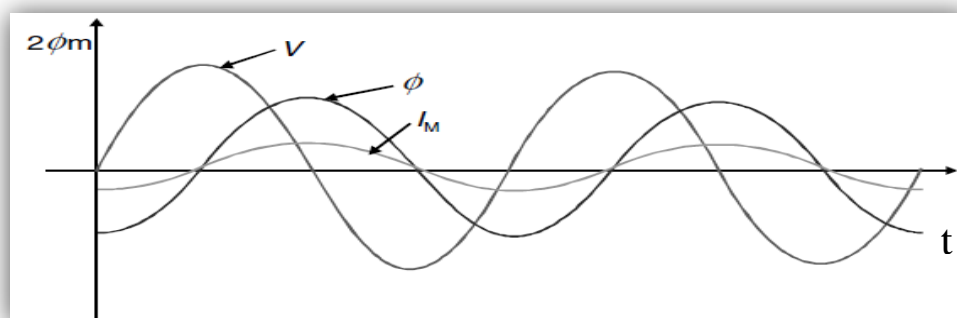


Fig (I.9) L'état d'équilibre des flux et courant et de la tension de magnétisation.

Cependant, si le transformateur active à une tension zéro puis la demande de flux pendant le cycle de tension de la première moitié peut être aussi haute que deux fois le flux maximum normal. Ceci fait circuler un courant unidirectionnel excessif, visé pendant que le courant magnétisant d'interrupteur voit figure (I.10).

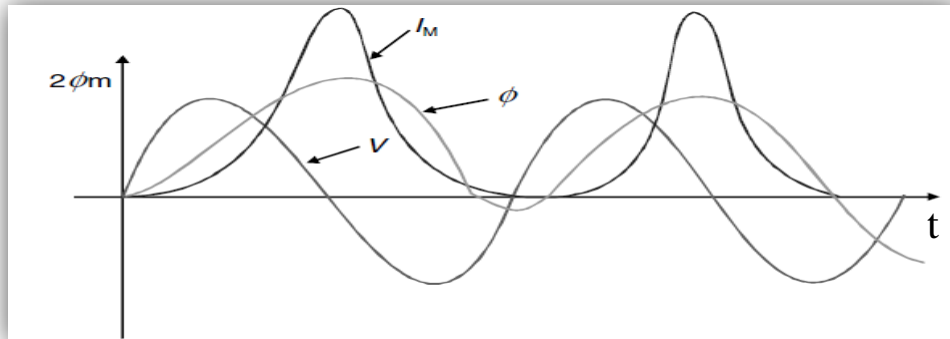


Fig (I.10) : Illustration du courant magnétisant d'interrupteur .

Une analyse de cette forme d'onde prouvera qu'elle contient une proportion élevée du deuxième harmonique et dure plusieurs cycles. Le flux résiduel peut augmenter le courant encore plus, la valeur de crête atteinte 2,8 fois de la valeur nominale [5] .

La caractéristique magnétisante est non linéaire, l'enveloppe de ce courant n'est pas strictement exponentielle. Dans certains cas, on l'a observé changer toujours jusqu'à 30 s après avoir branché voit figure (I.11). Il est donc important de se rendre compte de ce phénomène passager en considérant la protection différentielle des transformateurs, qui seront discutés plus tard.

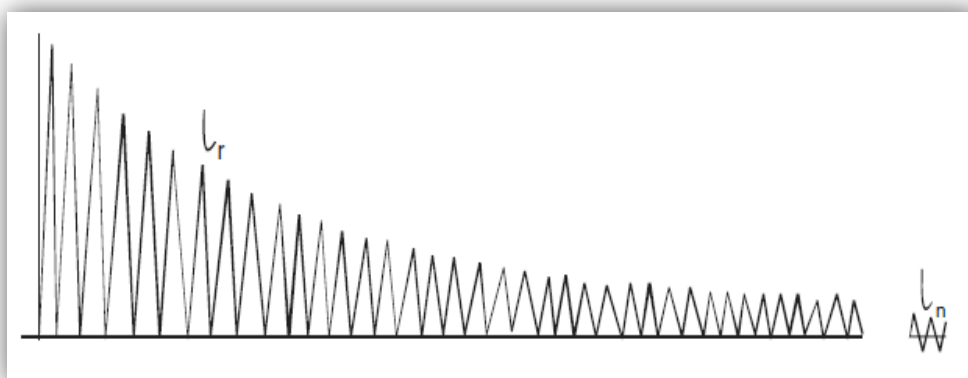


Fig (I.11) : appel de courant transitoire typique lors du passage dans un transformateur à l'instant où $E = 0$

1.6.8 Au cours de charge

La charge de plus de venir à la suite de déconnecter un des transformateurs de remorquage parallèles ou connecter d'autres charges, ce qui cause de plus en plus dans le transformateur de courant, la température du transformateur sera très élevée et cela peut provoquer décomposer en isolant.

Dans l'augmentation de la charge pendant une longue période, il faut déconnecter la charge de plus immédiatement, par déconnexion des charges des inutiles.

I.7 Types de systèmes de protections pour les transformateurs de puissance

- A. Protection différentielle c'est une protection principale pour le transformateur de puissance.
- B. Protection directionnelle. (Au-dessus du défaut de terre actuel et directionnel...).
- C. Protection de défaut de terre.
- D. Sous la fréquence ou au-dessus de la protection de fréquence.
- E. Sous la tension ou au-dessus de tension la protection.
- F. Protection de distance.

I.8 Test

Les transformateurs de puissance sont les éléments simples les plus chers, dans un système de transport HT qui sont conçus et exigés pour fonctionner pendant un long temps.

Par conséquent, il est essentiel d'examiner le transformateur pour détecter tous les défauts et déviations des valeurs évaluées et doit être capable de résister à différents types de défauts électriques aussi bien que de conditions défavorables mécaniques et atmosphériques.

Pour confirmer ceci ; le transformateur de puissance doit être examiné complètement à différentes étapes de la fabrication.

➤ Types d'essais

Les essais suivants sont faits :

- A. Essais type.
- B. Essais individuels de série.
- C. Essais spéciaux.
- D. Essais de mise en service

L'essai type est exécuté sur un transformateur simple du type spécifique et prévu pour confirmer la solidité de conception du transformateur.

L'essai individuel de série sont effectués par le fabricant sur tous les transformateurs avant expédition et les essais spéciaux sont effectués comme l'indique le tableaux suivants, ces essais doivent être faits en présence de l'ingénieur acheteur .

Les essais de mise en service sont effectués sur le site avec tout l'équipement associé et appareillage en place, avant de charger le transformateur.

Tableau I.1 : Essais type

<i>Articles</i>	<i>Objectif</i>
essai à hausse-Température	Pour mesurer la température d'huile et l'enroulement du transformateur
Essai type diélectrique (essai de tenue aux ondes de choc de foudre et de commutation, BIL)	Niveau d'isolation principale Pour certifier que le transformateur a été conçu et construit pour résister. aux niveaux spécifiques de l'isolation (BIL)

Tableau I.2 : Essais spéciaux

<i>Articles</i>	<i>Objectif</i>
Essai spécial diélectrique BIL	Pour certifier que le transformateur a été conçu et construit pour résister aux niveaux spécifiques d'isolation
Détermination de la terre d'enroulement de capacité, et entre les enroulements	pour mesure la capacité de transformateur
Mesure d'impédance d'ordre zéro de mesure sur le transformateur triphasé	Pour mesurer l'impédance d'ordre zéro de phase
Détermination de niveau sonore	Pour mesurer le niveau sonore provenant de pièce active du transformateur qui est transmis, par le fluide diélectrique ou les appuis de structure, à la coquille ou à d'autres fermes surfaces desquelles elle est rayonnée en tant que bruit aéroporté
Mesure du facteur de dissipation (tan d) de la capacité de système d'isolation	Pour déterminer le rapport de la puissance a absorbé dans l'isolation dans les watt mètre au produit de la tension efficace et le courant dans les volt-ampères quand essai sous une Tension sinusoïdale
Détermination de décharge partielle sur les transformateurs	Pour mesurer la tension d'influence par radio (RIV) produite par toute décharge partielle interne

Tableau I.3 : Essais individuels de série

<i>Articles</i>	<i>Objectif</i>
Essai de rapport de tension	mesurer le rapport de Tension entre les enroulements des transformateurs
Polarité	Pour déterminer la polarité (sous-marin. ou additif)
Essai de relation de phase	Pour déterminer l'écart angulaire et ordre de phase relatif
Mesures de résistance	la résistance mesuré de l'enroulement de transformateur
Essai à vide de perte	Pour mesurer la perte à vide à la tension d'excitation et à la fréquence spécifiques
Essai actuel passionnant	Pour mesurer le courant qui maintiennent l'excitation.de flux magnétique dans le noyau du transformateur
Perte de charge et essai d'impédance	Pour mesurer des pertes qui se produisent à la charge. comprenant les pertes joule requise pour circuler le courant évalué par un enroulement quand l'autre enroulement est mis en court-circuit
Induisez l'essai potentiel	Pour vérifier l'isolation tournez au tour et entre les couches de l'enroulement
Essai potentiel appliqué	Pour examiner la capacité de transformateurs de résister à l'application de la tension liée au niveau spécifique d'isolation (isolation entre l'enroulement- enroulement et enroulement - la terre
Essai d'huile	Pour déterminer la résistance diélectrique d'huile
Essai de résistance d'isolation	Pour déterminer la résistance d'isolation de différents enroulements à la terre ou entre différents enroulements
Essai d'étanchéité	Vérifiez la fuite du réservoir

CHAPITRE II

Protection différentielle

II.2.1 Conditions de base de la protection différentielle

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

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

Le second est la sécurité qui signifie que le système de protection ne doit pas fonctionner dans les conditions normales ou le défaut est externe[5].

La fiabilité peut être réalisée en choisissant les composants fiables pour toute la chaîne à savoir:

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

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.

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.

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.

- 1. Pour réduire au minimum les dommages dans le système d'alimentation.
- 2. Pour fournir la stabilité pour le système d'alimentation.

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.

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'ils 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[6].

II.2.2 Les composantes principales de la protection différentielle

Les composantes principales de la protection différentielle sont :

1. Transformateur de Courant (T.C) :

Il est transformateur d'instrument qui est particulièrement conçu pour refléter exactement les images des courants primaire et secondaire, dans des dispositifs régulateurs, des relais de contrôle, et des relais de protection, où son courant de sortie évalué est (5A) pour des systèmes de distribution et (1A) pour des systèmes de transport.

2. conducteur :

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

3. 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[8].

4. 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.

II.3 types de relais différentiels

Il y a divers types de relais différentiels :

- A. Relai différentiel de Courant
- B. Relai de faisceau décentré ou relai différentiel de pourcentage
- C. Relai différentiel d'équilibre de tension

II.3.1 Relais différentiels de courant

La plupart de cette genre de relai différentiel comprenant des:

1. relai .
2. Deux transformateurs de courant ; ce qui relié l'un de l'autre de côtés de la section à protéger ils sont de même rapport.

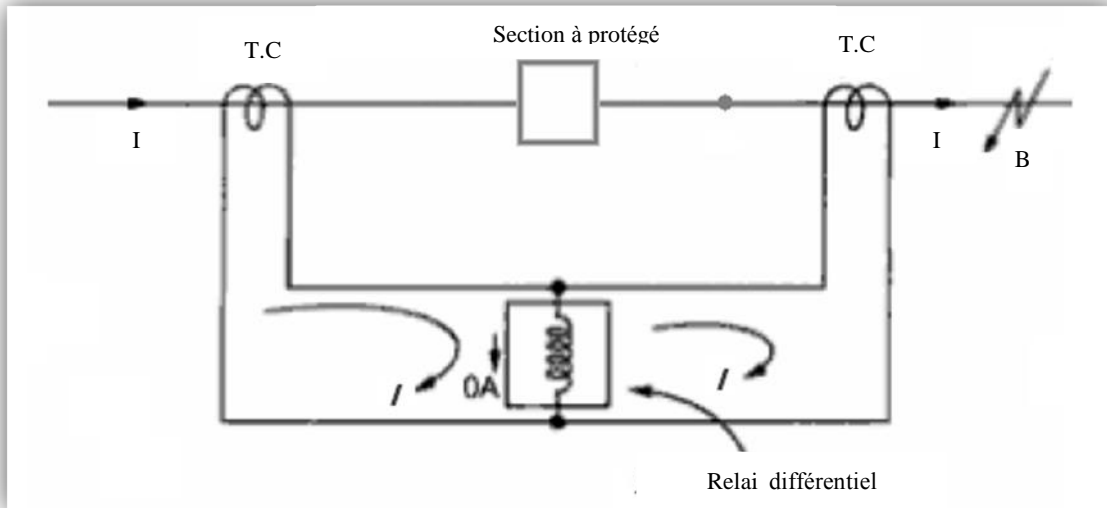


Fig (II.2) : Relai différentiel défaut externe.

Les secondaires de transformateurs de courant sont relié en série ainsi les courants induits sont égaux. Supposons qu'il ya un défaut externe est service au point (b). les courants au secondaires resterons égaux, aucun courant traverse La bobine d'opération du relai.

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

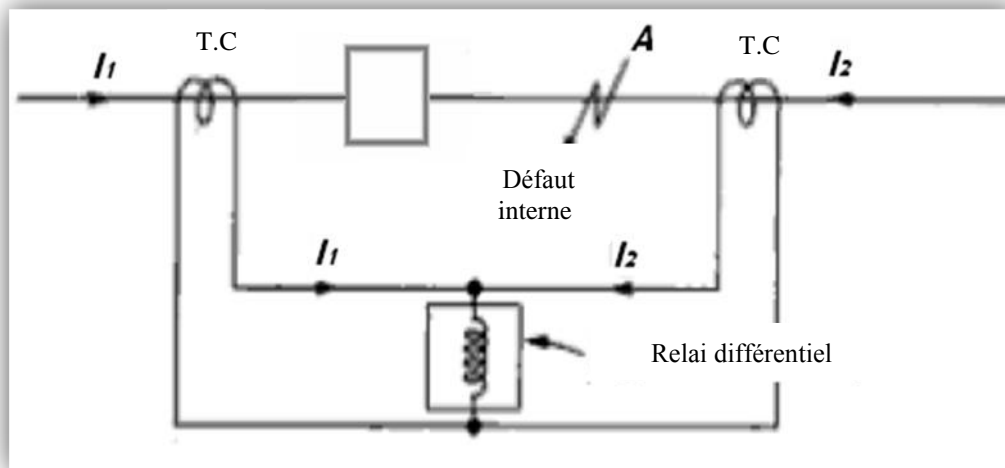


Fig (II.3): défaut interne

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

Les inconvénients de ce relai sont :

1. Les transformateurs de courant sont reliés par des câbles appelés des câblé pilote. L'impédance de tels câbles pilotes cause généralement une légère différence entre les courants aux extrémités de la section protégée. Un relais sensible peut fonctionner à une différence très petite dans les deux courants, bien qu'il n'y ait aucun défaut.
2. Dans des conditions de panne les transformateurs de courant peuvent être saturer et causer les courants secondaires inégaux. La différence entre les courants peut approcher la valeur de sélection pour causer l'opération inexacte de relai.
3. Sous des écoulements actuels lourds, la capacité de câble pilote peut causer le fonctionnement inexact du relai[7].

II.3.2 Relai de faisceau décentré ou Relai différentiel de pourcentage

Ce relai est conçu pour fonctionner au courant différentiel en termes de sa relation partielle avec le courant réel traversant le circuit protégé.

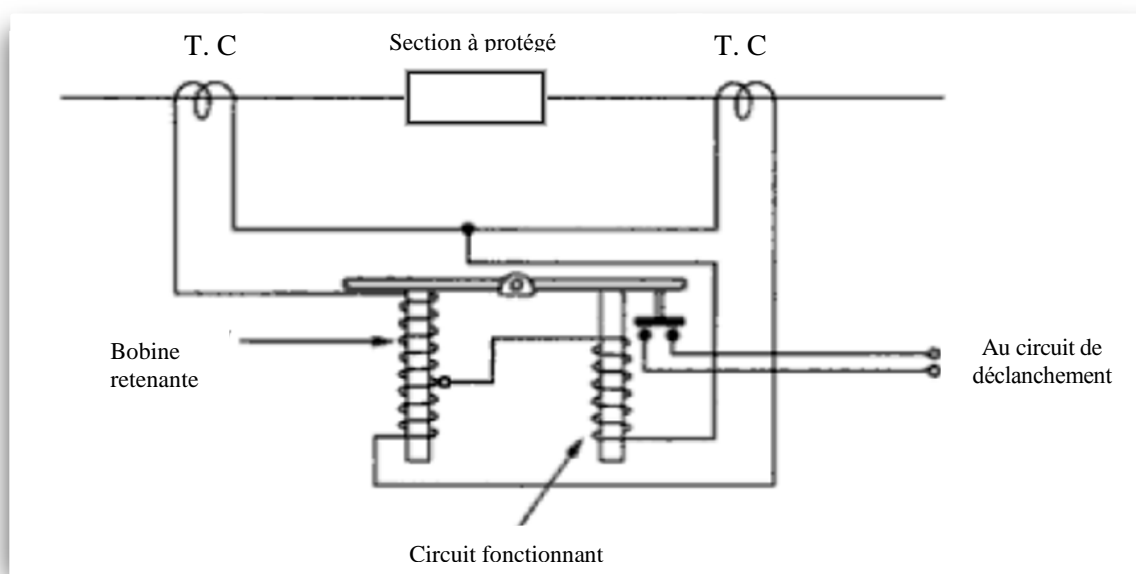


Fig (II.4): relai de faisceau décentré

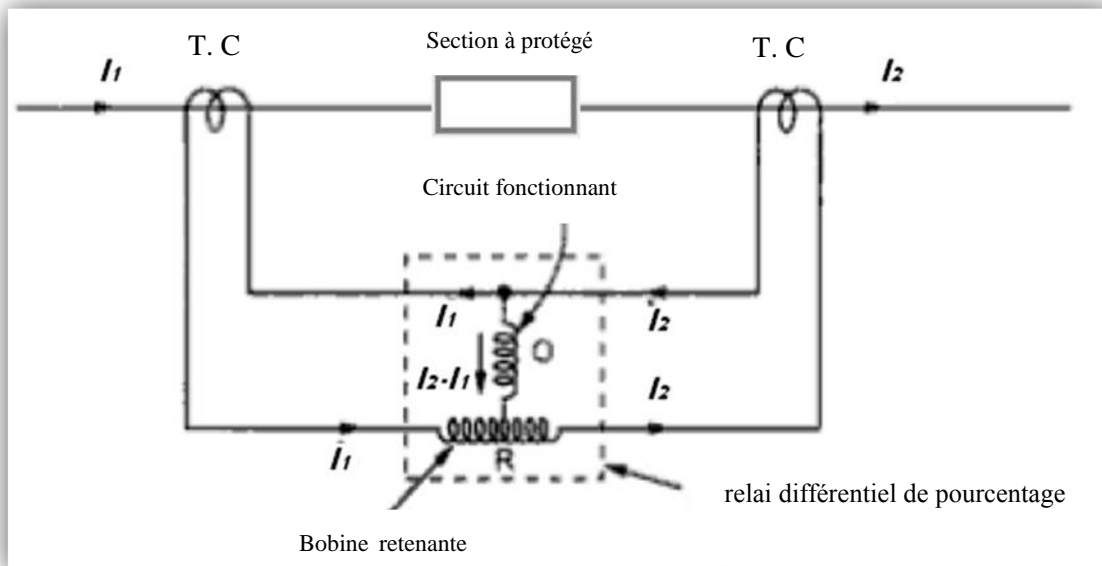


Fig (II.5) : Circuit simple de relai de faisceau décentré

L'opération de la bobine de fonctionnement (o) du relais porte un courant différentiel ($I_2 - I_1$)

tandis que la bobine retenante (r) porte le courant proportionnel à $(\frac{I_1 + I_2}{2})$ comme la bobine d'opération est reliée au point médian de la bobine retenante. Ceci peut être expliqué comme, (N : Nombre total des tours de la bobine retenante).

Si (I_1) traverse $(\frac{N}{2})$ des tours tandis que le courant (I_2) traverse $(\frac{N}{2})$.

$$\text{Tours d'ampère efficaces} = \frac{I_1 \cdot N}{2} + \frac{I_2 \cdot N}{2} = N(\frac{I_1 + I_2}{2})$$

Ainsi il peut supposer que le courant $(\frac{I_1 + I_2}{2})$ traverse les tours entiers de N la bobine retenante[8].

Sous la normale et par des conditions de charge, l'en raison produit par force polarisée de la bobine retenante est plus grand que la force d'opération produite en actionnant le relai de bobine par conséquent est inopérante. Quand le défaut interne se produit, la force d'opération devient plus que la force polarisée. En raison de ceci, le faisceau se déplace et les contacts de sont fermés pour ouvrir alors le disjoncteur.

les Caractéristiques de fonctionnement de ce type de relai sont montrées dans la figure (II.6) qu'il peut voir qu'excepté à de bas courants, les caractéristiques est une ligne droite. Ainsi, le rapport du courant différentiel d'opération au courant retenant de moyenne est un pourcentage fixe. Par conséquent, le nom de relais est un relai différentiel de pourcentage.

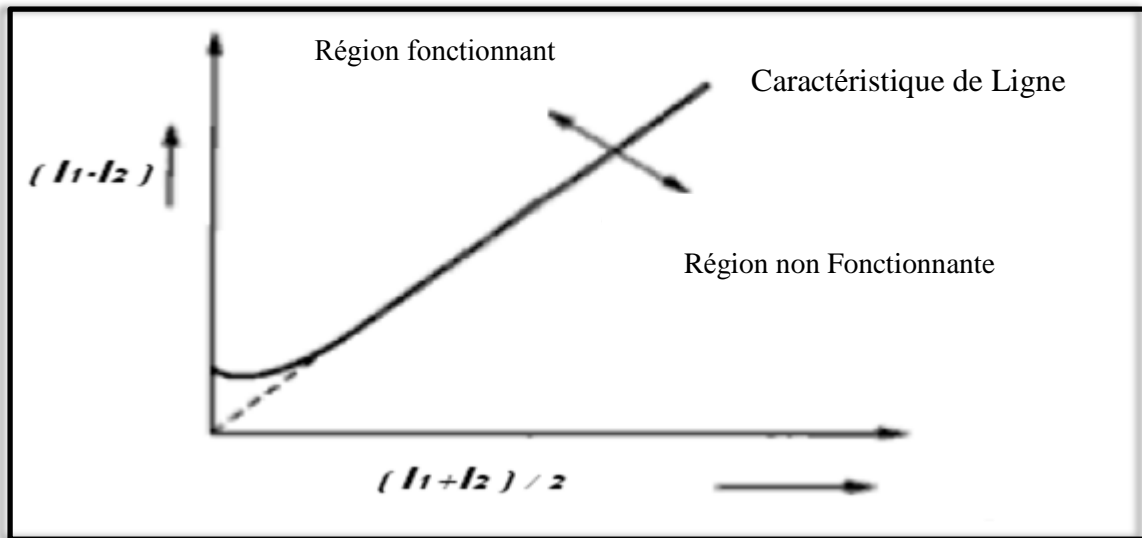


Fig (II.6) : Caractéristique de fonctionnement de relai de faisceau décentré.

Le relai avec des caractéristiques constantes de pente s'appelle le pourcentage de pente de relai différentiel constant.

pour quelques relais, la pente des caractéristique augmente avec augmentation du courant de court-circuit. Telles caractéristiques sont montrées dans figure (II.7)

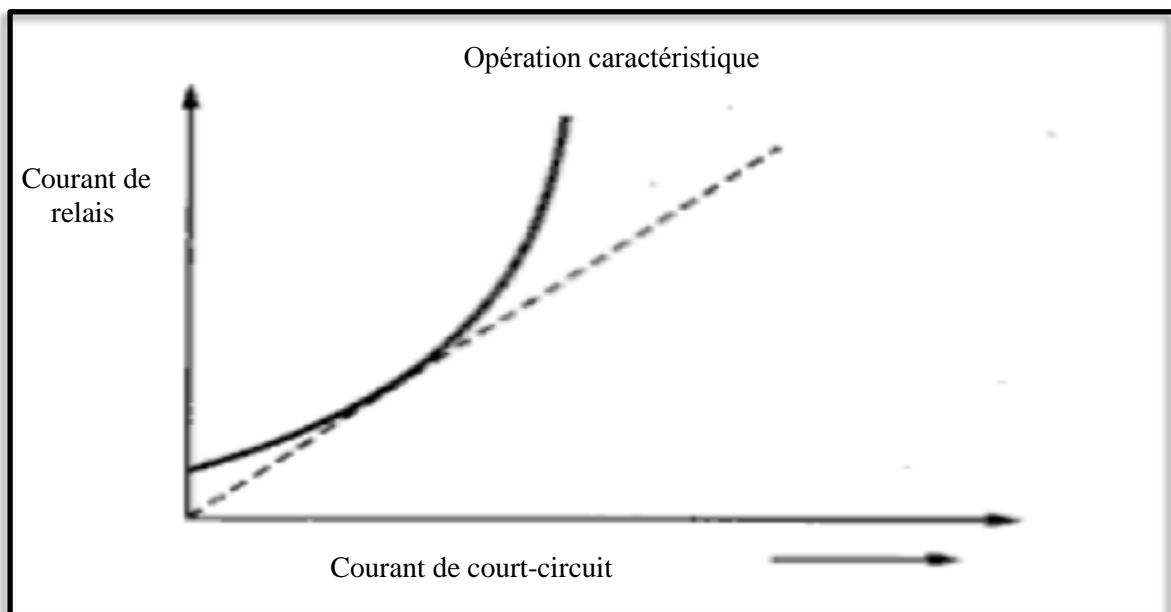


Fig (II.7) : Augmentation dans la caractéristique de pente.

De tels relais s'appellent les relais différentiels de pourcentage croissants de pente. Le fait important sur le type croissant de relai est que leurs coûts sont plus exigé. Dans la représentation de leurs transformateurs de courant. Le type constant relais de pente exigent la bonne exactitude dans la représentation des transformateurs de courant.

II.3.3 Le relai différentiel d'équilibre de tension

Errons le relai est l'image série du courant Secondarise de transformateur; ceci est montré à la figure (II.8)

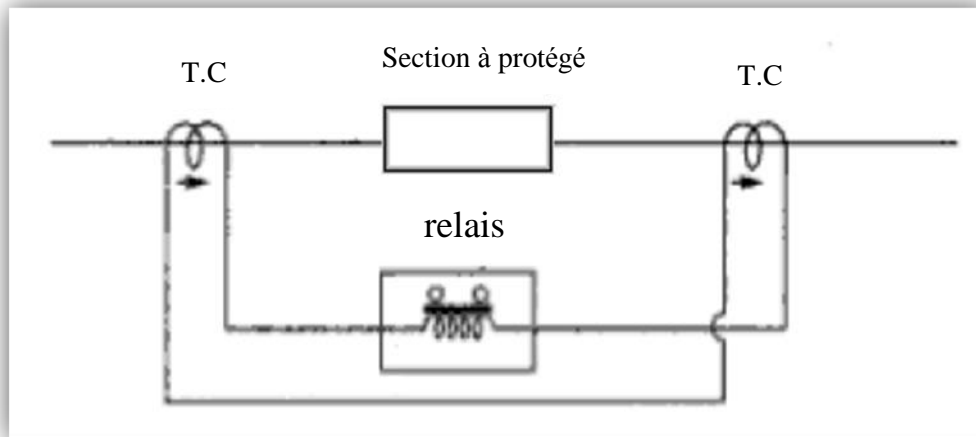


Fig (II.8) : Relai différentiel d'équilibre de tension.

Dans des conditions normales, le courant aux deux extrémités de la section à protéger sont égaux. Par conséquent, il n'y a aucune chute de tension à travers le relai pour faire couler le courant. Dans des conditions de défaut, les courants dans deux Secondaries des transformateurs de courant sont différents. Ceci cause une grande chute de tension à travers de relai. Ainsi l'équilibre de tension du circuit obtient est perturbé. Par conséquent le grand courant traverse le relai ce que provoque le fonctionnement du relais et l'ouverture de disjoncteur[9].

II.4 protection différentielle de Pourcentage pour le transformateur

La protection différentielle de pourcentage ou la protection de Merz-Price basée sur le principe actuel de circulation peut également être employée pour le transformateur. Ce système donne la protection contre les défauts entre phases et la phase au sol au transformateur de puissance.

Le Principe d'un tel plan de protection est la comparaison des courants entrant et sortant des extrémités d'un transformateur. de Vecteur différence de courant ($I_1 - I_2$) passe à travers la bobine tandis que le moyen actuel ($\frac{I_1 + I_2}{2}$) passe par la bobine retenante.

En état normal, les courants aux deux extrémités du transformateur est le même . le courant qui traverse la bobine d'opération et nulle le relai est inopérant. Mais quand il ya un défaut entre phases, cet équilibre est perturbé. la différence de courant traverse la bobine d'opération le relai fonctionne, et déclenche le disjoncteur.

Il y a certains aspects importants lesquels doit être pris en compte tout en employant une telle protection pour le transformateur de puissance. Ces points sont :

1. Dans le transformateur de puissance l'estimation de tension de l'enroulement est différente de sorte que le côté à haute tension ait à faible intensité tandis que le côté de basse tension a à forte intensité, pour compenser cette difficulté que le rapport actuel du T.C de chaque côté du transformateur sont différent, et ce rapport dépendent de :

A. Courant de ligne transformateur de puissance.

B. La connexion du T.C

2. Dans le transformateur de puissance il y a un déphasage entre les tensions induites dans le côté à haute tension et le côté de basse tension dans le transformateur connecté en triangle d'étoile et ainsi dans les lignes courants, pour compenser ceci, les secondaires du T.C du côté relié par étoile d'un transformateur de puissance sont reliés en triangle tandis que les secondaires de T.C de côté connecté en triangle d'un transformateur de puissance sont reliés en étoile suivant les indications de figure (II.9), de sorte que le courant résultant introduit dans les fils pilotes de l'un ou l'autre de côtés soient déplacés dans la phase par l'angle égal au déphasage entre les courants primaires et secondaires du transformateur de puissance.

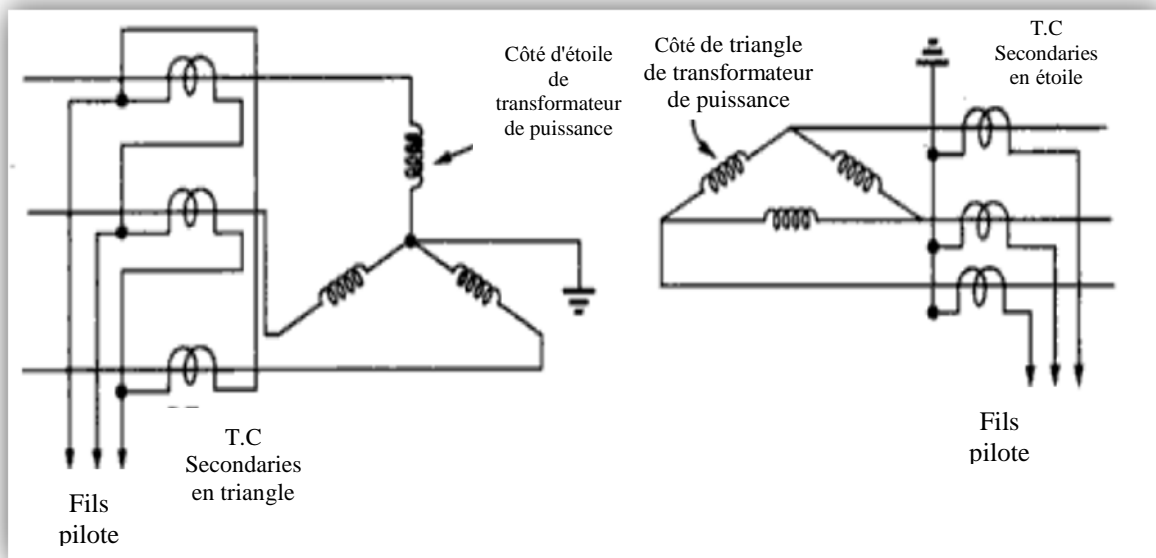


Fig (II.9) : Connexions de transformateur de courant

3. Les neutres des étoiles d'étoile de T.C. et de transformateur de puissance sont fondus.
4. En cas de transformateurs qui ont le commutateur de robinet ceci peut causer l'écoulement

du courant différentiel, de sorte que les tours de T.C des deux côtés du transformateur de puissance soient donnés en robinet pour l'ajustement.

5. Longueurs de différence des fils pilotes ; en raison de cette différence que l'état de déséquilibre peut résulter, cette différence peut être surmontée en reliant la résistance réglable en fils pilotes des deux côtés c'est la résistance s'appellent les résistances de équilibrage.

II.4.1 protection de Merz-Price pour le transformateur d'Étoile-triangle

Dans ce cas le primaire du transformateur de puissance est en étoile tandis que le secondaire est connecté en triangle. Par conséquent la différence de phase est compenser, les Secondarise de T.C. du côté primaire doivent être reliés en triangle tandis que le Secondaire de T. C. du côté en triangle doivent être reliés en étoile. Le point d'étoile du transformateur de puissance primaire aussi bien que les Secondaries de T.C. reliés par étoile doivent être fondus. Le schéma de circuit du plan est montré dans figure (II.10).

Les bobines retenante sont reliées à travers les enroulements secondaires de T.C. tandis que les bobines d'opération sont reliées entre les points de tapement sur les bobines retenante et tiennent le premier rôle le point de Secondaries de T.C.

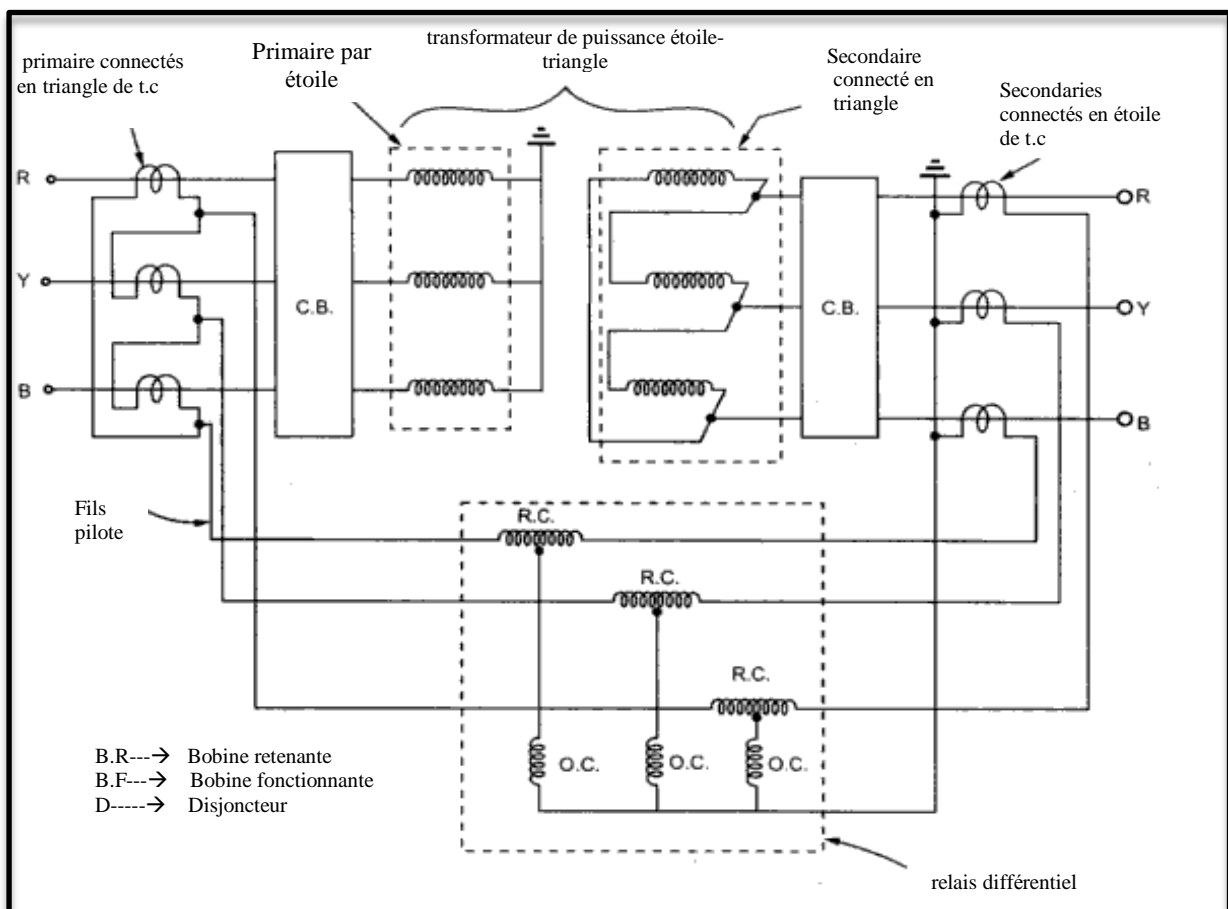


Fig (II.10) : protection de Transformateur de puissance de Merz-Price ($\lambda-\Delta$).

II.4.4 Protection de différentielle avec conditions anormales (Défaut interne)

Quand un défaut interne dans les enroulements de transformateur de puissance avoir naissance le réseau sera déséquilibré le relai différentiel fonctionne par le courant proportionnel à la différence entre le courant des deux côtés du transformateur de puissance se déclenche les disjoncteurs principaux de deux côtés du transformateur du puissance[10].

Les exigences fondamentales pour un fonctionnement de relais sont:

1. Le relai différentiel ne doit pas opérer la charge ou les défauts externes
2. Il doit opérer les défauts internes graves.
3. Le relai répondant à ces exigences est utilisé dans la protection de Merz-Price il est important de noter que :

A. Cet offre une protection contre des défauts de court-circuit entre les spires internes.

C'est parce que quand il ya défaut interne, le rapport du tour du transformateur de puissance devient affecté. le courant de deux côtés du transformateur de puissance deviennent différent. Ceci provoque un courant différentiel qui traverse le relais et le relais fonctionne.

B. La zone de la protection est pressant définie par la position du T.C qui entoure la zone protégée, donc le relais est très sélectif. Avec une sélectivité élevée, un relais différentiels peut se déclencher rapidement sans intervalle de temps .

Ce type de protection fonctionne avec le principe actuel de circulation et a deux cas :

1. Cas (1) : État normal ou court-circuit externe

Suivant les indications de figure (II.12), quand le défaut (F1) se produit :

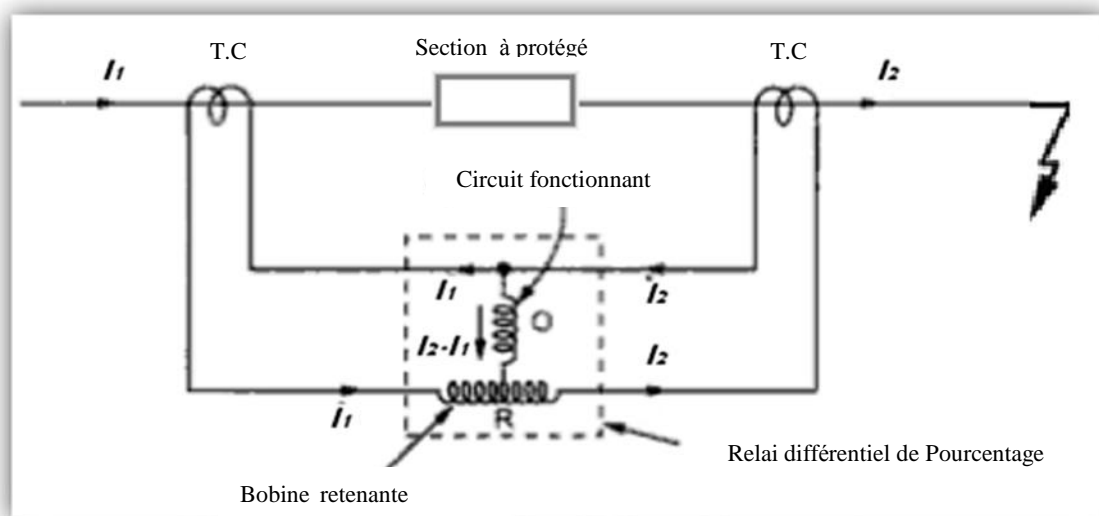


Fig (II.12) : Défaut externe (protection différentielle impartiale).

$$I_{op} = I_1 - I_2$$

$$I_{rest} = I_1 + I_2 / 2$$

\bar{I}_R : Courant retenante

\bar{I}_{1S} : Courant secondaire dans T.C.1

\bar{I}_{2S} : Courant secondaire dans T.C.2

I_{op} : Courant de fonctionnement de bobine

Le courant de bobine exigé pour se déclencher est pourcentage de la moyenne par les bobines de contrainte. Il est donné par : $I_{op} \geq K I_{rest}$

Là où K : La proportion du courant de bobine d'opération avec le courant de bobine de contrainte.

Par exemple si $k = 0,1$, le courant de bobine d'opération doit être plus de 10% du courant moyen de bobine de contrainte pour que le relais fonctionne.

Dans ce cas: $I_1 = I_2$

$I_{op} = \text{zero}$

$$I_{rest} = I_1 + I_2 / 2 = I_1$$

Tellement dans ce cas la protection ne fonctionne pas ($I_{op} < K I_{rest}$) parce que le défaut hors du secteur que nous le protégeons entre deux. T. C Mais la sensibilité sera diminuée.

2. Cas (2) : Défauts internes ou court-circuit interne

Suivant les indications de figure (II.13) :

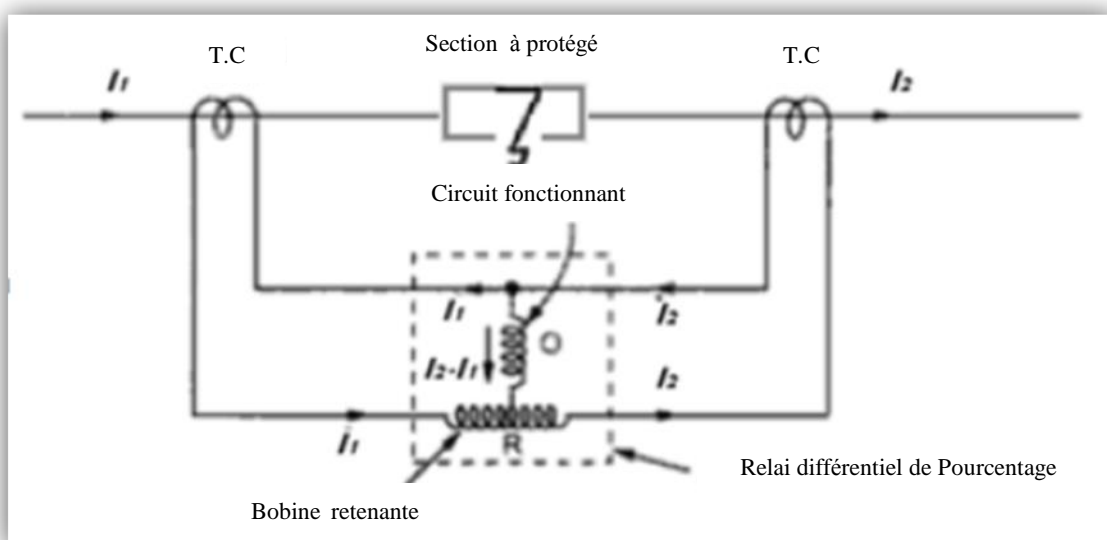


Fig (II.13) : Défaut interne (protection différentielle imparbiale).

Quand le défaut (F1) est produit, si : $I_2=0$

$$I_{op} = I_1 - I_2 = I_1$$

$$I_{rest} = I_1 + (I_2/2) = 0.5I_1$$

Ainsi ($I_{op} > K I_{rest}$), alors la protection fonctionne et le relai envoie un signal de déclenchement à C.B.1 et à C.B.2.

II.5 caractéristique multi pente

La courbe de la protection différentielle est montrée sur la figure (II.14) ; Puisque les erreurs de T C résultant de la saturation sont le plus susceptibles d'être un problème à forte intensité de la caractéristique, marqué la pente 2, qui fournit la contrainte accrue aux niveaux à forte intensité. La pente de contrainte, la pente 1, aux niveaux plus faible intensité où la représentation de T C est susceptible d'être linéaire peut être moins pour fournir la sensibilité améliorée aux défauts de bas niveau.

la caractéristique de pente marquée la pente 1 est exprimée en pourcentage. Ainsi, le courant de fonctionnement doit dépasser un certain pourcentage du courant de contrainte pour qu'un voyage se produise. Le trait horizontal représente la sensibilité minima.

C'est nécessaire pour traiter des erreurs aux importances très basses de fonctionnent et contrainte.

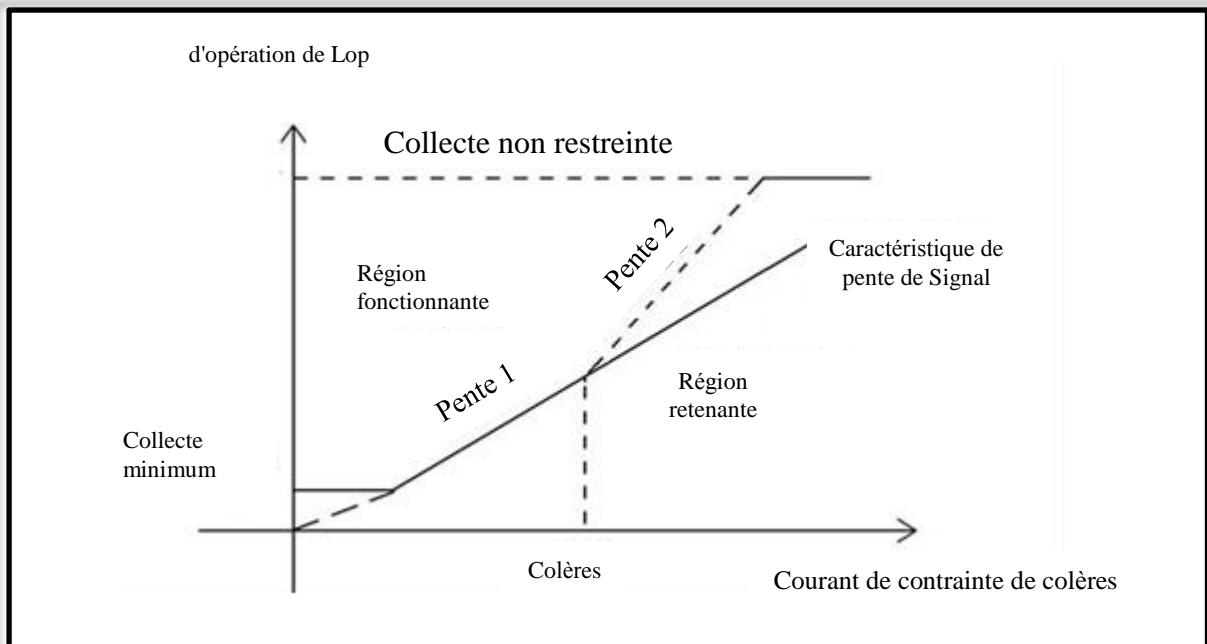


Fig (II.14) : Multi caractéristique du Pente du relai différentiel

Plusieurs facteurs entrent typiquement dans sélectionner réglage de pente de pourcentage de la pente 1. Ceux-ci sont :

- Disparité (mettez habituellement dedans un relai à zéro numérique).
- Gamme de commutateur de robinet de charge (en général 10 %).
- Commutateur de robinet à vide s'il peut être ajusté sans connaissance de l'ingénieur de relai (les 5 % typiques).
- Erreurs de mesure du relais (habituellement moins de 5 % dans le relai analogique).
- Erreurs de TC (1 % pour les défauts de bas niveau) (10 % ou pour plus grands défauts de haut niveau).
- Excitation de transformateur (en général 3 % – 4 %). Cette erreur n'est pas proportionnelle au chargement du transformateur, ainsi elle compense l'erreur verticalement sur la caractéristique.
- La transition à incliner 2 devrait être à un plus grand niveau que le fonctionnement normal.

II.6 Réglage des relais différentiels

Le relai différentiel a deux principe du réglage à savoir :

II.6.1 Réglage utilise le circuit de bobine (réglage de base)

Le pourcentage-réglage (réglage de base) du circuit de fonctionnement de bobine est défini comme rapport:

$$\text{Réglage de base \%} = \frac{I_m}{I_b} \times 100\% \quad (\text{II.1})$$

I_m : Le plus petit courant dans la bobine fonctionnante pour causer l'opération

I_b : Courant évalué de la bobine d'opération

(Quand le courant dans la bobine retenant est zéro)

II.6.2 Réglage de circuit retenant de bobine (valeur maximale)

Il est défini comme le rapport :

$$\text{Reprenez \%} = \frac{I_m}{I_b} \times 100\% \quad (\text{II.2})$$

I_M : Courant dans la bobine fonctionnante pour causer l'opération

I_r : Courant en retenante

$$\text{Reprenez \%} = ((I_1 - I_2) / (I_1 + I_2) / 2) * 100\% \quad (\text{II.3})$$

Tout en déterminant cet arrangement les facteurs à considérer incluent :

1. Erreurs de TC.
2. Robinet-changement.
3. Résistance des fils pilotes.
4. Stabilité pour les défauts traversants.

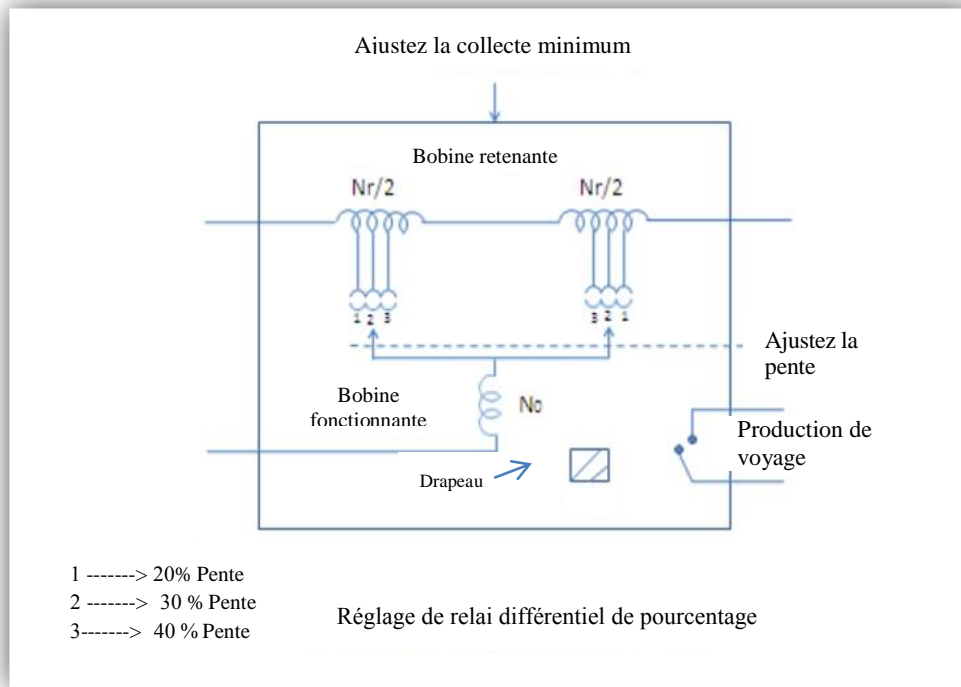


Fig (II.15) : Réglage des relais différentiels du pourcentage

La pente est réglée en tapant sur la bobine retenue. Les deux moitiés de la bobine de retenue doivent être exploitées d'une façon symétrique. Réglage de la prise en charge minimale de la bobine.

Ou ajustée en changeant la tension du ressort de retenue.

II.7 applications de la protection différentielle

1. Protection du générateur
2. Protection du Transformateur
3. Protection du conducteur (ligne de transport) contre les sur intensités.
4. Protection des grands moteurs.
5. Protection des zones des jeux de barres.

CHAPITRE III

Calcul des protections différentielles

III.1 Introduction

La protection différentielle convertit les courants primaires et secondaires en base commune et les compare est la différence entre ces courants est petite pendant le fonctionnement normal. Elle est également petite pour les défauts externes, mais elle est plus grande que la différence pour le fonctionnement normal.

Cependant, quand le défaut est interne dans un transformateur, la différence devient significative. La protection différentielle est alors basée sur le courant primaire et secondaire du transformateur pour l'opération idéale. Dans la pratique il ya beaucoup des problèmes et de conditions anormales, qui seront discutés dans ce chapitre. Également nous devons calculer un échantillon de réglage de la protection différentiel.

III-2 Problèmes dans la protection différentielle (défis la protection différentielle de transformateur)

Il ya beaucoup de défis pour à assurer la protection différentielle fiable et sûre quand la zone protégée inclut un transformateur de puissance. Nous discuterons chacune de ces derniers en détail :

III.2.1 *Différence dans des longueurs de fil pilote*

Les transformateurs de courant, les relais, et la machine à protéger sont situés à différents sites et normalement il n'est pas possible de relier la bobine de relais aux points équipotentiels. La difficulté est surmontée en reliant les résistances réglables en série aux fils pilotes. Ceux-ci sont ajustés sur le site pour obtenir les points équipotentiels[11].

III.2.2 *Erreurs de rapport de TC pendant les court-circuit*

Le transformateur de courant peut avoir rapport presque égal aux courant normal. Mais de court-circuit ; les courants primaires sont à très grands. Les erreurs de rapport des TC de chaque côté différent pendant ces états dus à :

- 1- La différence inhérente à TC caractéristique résultant de la différence en circuit magnétique des conditions de saturation etc.
- 2- Composants inégaux de C.C dans les courants court-circuit -.

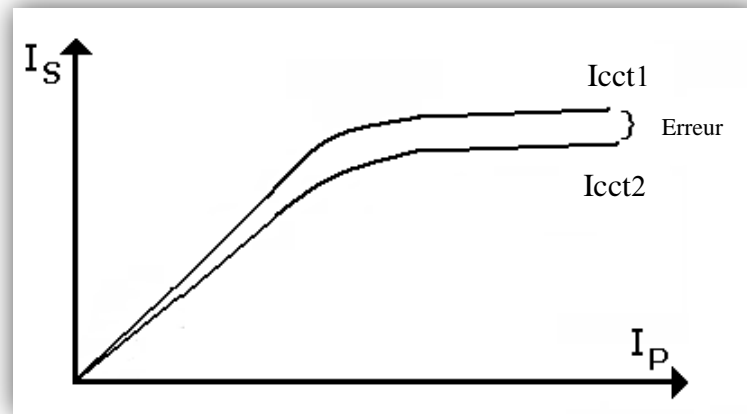


Fig (III.1) L'erreur entre I_{ct1} et I_{ct2}

III.2.3 Saturation des circuits magnétiques de T.C pendant l'état de court-circuit

En raison de ces causes que le relais peut fonctionner même pour un défaut externe. Le relais peut perdre sa stabilité pour les défauts traversants.

Pour surmonter cette difficulté, (Le relais différentiel de pourcentage) ou de (le relais différentiel décentré) est employé. Il s'agit essentiellement d'un relais de courant différentiel circulant avec la bobine de retenue supplémentaire. Le courant circulant dans la bobine de retenue est proportionnelle à $(I_1 + I_2) / 2$, et ce courant de retenue empêche l'opération en cas de défauts externes. Parce que, avec l'augmentation du courant, le couple de retenue augmente et $(I_1 - I_2)$ détermine une différence dans le rapport de TC ne suffit pas à provoquer le fonctionnement du relais.

III.2.4 Taux -change à la suite du changement de taraudage (Tap - Modification)

Tous les grands transformateurs de puissance modernes sont équipés de la vitesse de rapport de surcharge. Les rapports de TC ne s'assortissent pas de ce fait avec les nouveaux arrangements de robinet, ayant pour résultat le courant en fils pilotes même pendant l'état sain [12].

Cet aspect est pris en compte par le relais différentiel décentré.

III.2.5 Courants dans un transformateur Δ - λ (détail des courants de phase)

Rapport de transformateur de puissance:

$$TR = \frac{KV1}{KV2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$$

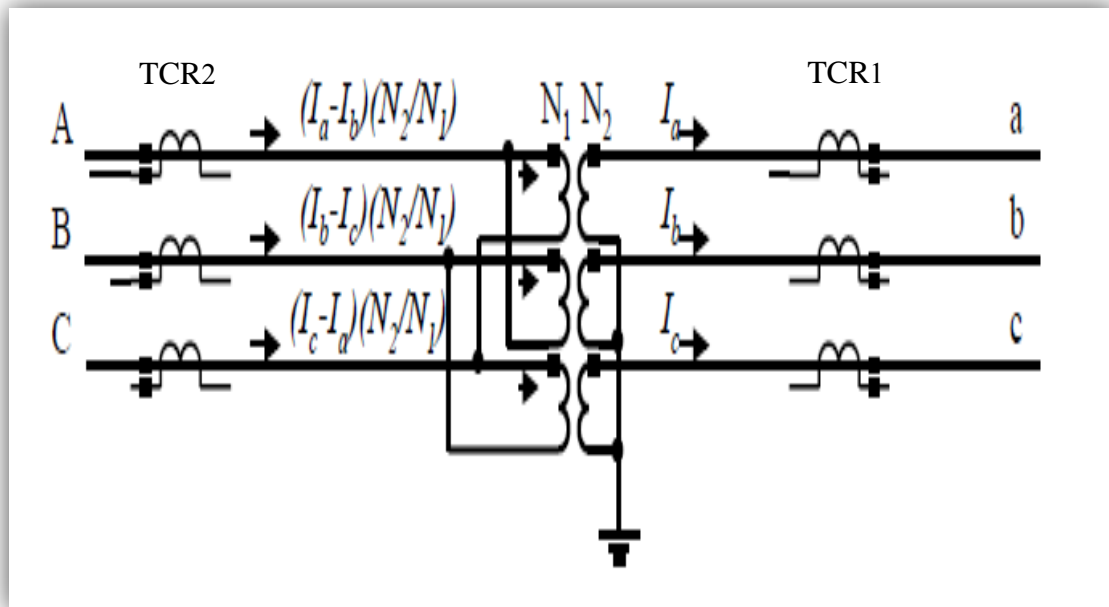


Fig (III.2) Courants dans un transformateur Δ - λ

Notez : $(\bar{I}_a - \bar{I}_b) = \sqrt{3}\bar{I}_a \angle 30^\circ$

Ceci montre la relation entre les courants dans chaque côté du transformateur de puissance. A noter que le rapport de transformation n'est pas le même que le rapport du transformateur. Il est la racine carrée de 3 facteurs. Notez aussi qu'il ya un décalage de phase de 30 degrés entre la basse tension et courants secondaires à haute tension.

Amplitude et phase Compensation de décalage

1. Compensation traditionnelle

Afin de surmonter ce problème, il a dû se connecter comme montré dans la figure (III.3) si nous connecter le TC au côté de Δ du transformateur de puissance par laquelle la connexion et sur le pourquoi côté du transformateur de puissance par connexion Δ du TC.

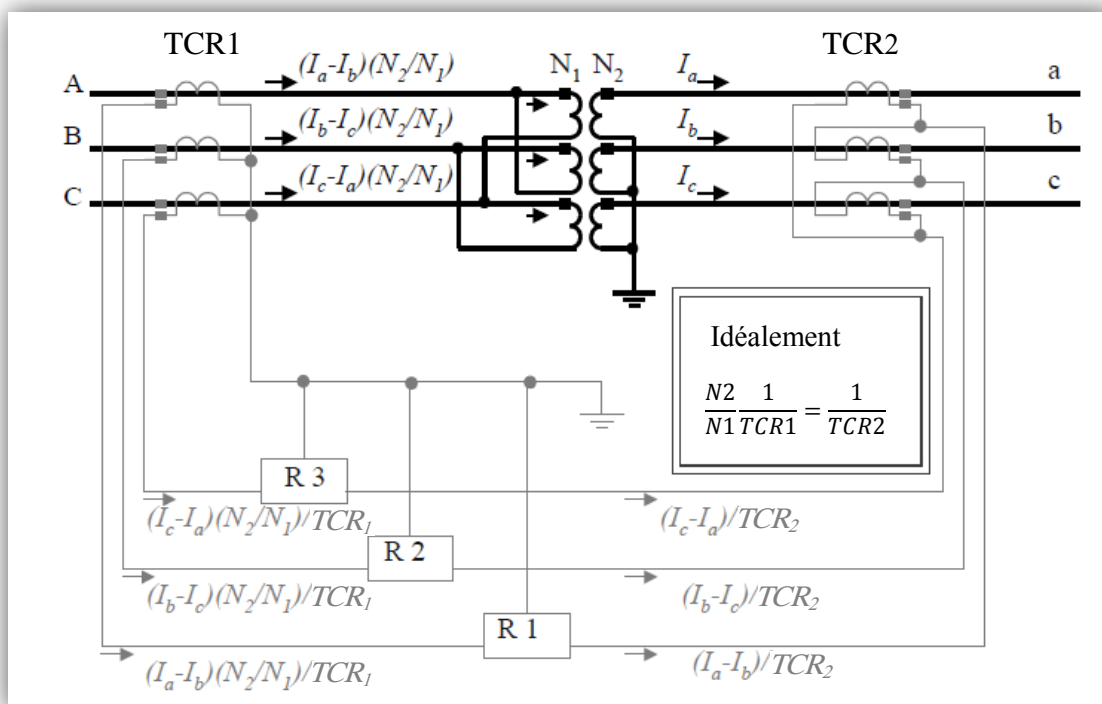


Fig (III.3) schéma de principe pour la compensation traditionnelle

Ceci montré comment les transformateurs de courant doivent être reliés quand des relais électromécaniques traditionnels sont utilisés[12].

Notez que, en plus à la connexion, il doit ya de certaines relations entre les rapports de transformateur de courant.

Relations entre TCR1 et TCR2

$$\frac{N2}{N1} \frac{1}{TCR1} = \frac{1}{TCR2} \Rightarrow$$

$$\frac{N1}{N2} TCR1 = TCR2 \Rightarrow$$

$$TCR2 = \sqrt{3} \frac{KV1}{KV2} TCR1$$

Relais traditionnels équipés de Multi-rapport fin interne TC auxiliaire pour compenser le courant différentiel en résultant.

Relais électromécaniques Disparité de calcul :

Quelques relais électromécaniques ont été conçus avec les transformateurs de courant auxiliaires internes avec des rapports multiples. Puis, à l'application de transformateur de deux-enroulement les robinets pour deux les auxiliaire de TC ont dû être ajustés.

$$\text{Disparité} = \frac{\left| \frac{|\bar{I}_1|}{TAP_1} - \frac{|\bar{I}_2|}{TAP_2} \right|}{MR} \cdot 100$$

$$MR = \min \left(\frac{|\bar{I}_1|}{TAP_1}, \frac{|\bar{I}_2|}{TAP_2} \right)$$

Supposez que nous appelons ces robinets TAP1 et TAP2. Si les rapports des courants I1 et I2 à TAP1 et à TAP2 étaient identiques, le relais compenserait la différence en raison de l'erreur inévitable résultant de l'utilisation de TC standard.

Généralement il ya une certaine déviation. qui s'appelle la disparité elle est calculée comme la différence en pourcent entre les deux rapports en ce qui concerne le plus petit rapport.

2. Compensation avec des relais Digital :

Dans des relais Digital il est facile de surmonter ce problème parce que les relais Digital effectuent la compensation d'intensité de courant et de déphasage intérieurement ainsi le programme de relais prend en considération les différences dans la phase et la grandeur entre le courant primaire et secondaire du transformateur de puissance et du transformateur de courant que tout l'utilisateur doit faire a placé le relais selon les caractéristiques protégées de transformateur et le relais font la compensation.

III.2.6 Sources d'ordre-Zéro

Une source au sol (enroulement au sol ou zig-zag de transformateur fondant la banque) dans la zone de la protection peut avoir comme conséquence actuel différentiel étant mesuré pendant les dés équilibres au sol L'exemple le plus courant est lorsque la zone de protection est d'environ un transformateur Δ mise à la terre λ . Si un défaut au sol ou un déséquilibre neutre se produit sur le système d'alimentation externe à la zone de côté de λ de la protection, les composants ordre-Zéro du courant traversent le neutre au sol et sont un composant de sortir actuel de la zone de la protection. Du côté de Δ , il n'ya aucun chemin pour que les composants de ordre-Zéro coulent et ils circulent à l'intérieur de l'enroulement Δ . Le résultat est que ce composant du courant n'est pas vu entrer dans la zone de la protection du côté Δ , et ceci cause un courant différentiel qui peut faire fonctionner le relais.

La solution est d'utiliser compensation Δ de déphasage sur le côté terre de la zone de protection pour bloquer les composantes homopolaires de se rendre à la protection différentielle.

À l'aide de la compensation Δ du côté λ du transformateur de puissance, les courants de homopolaires sont bloqués de l'écoulement dans la protection différentielle et circulent dans

le Δ de TC juste comme ils circulent dans le Δ du transformateur de puissance.

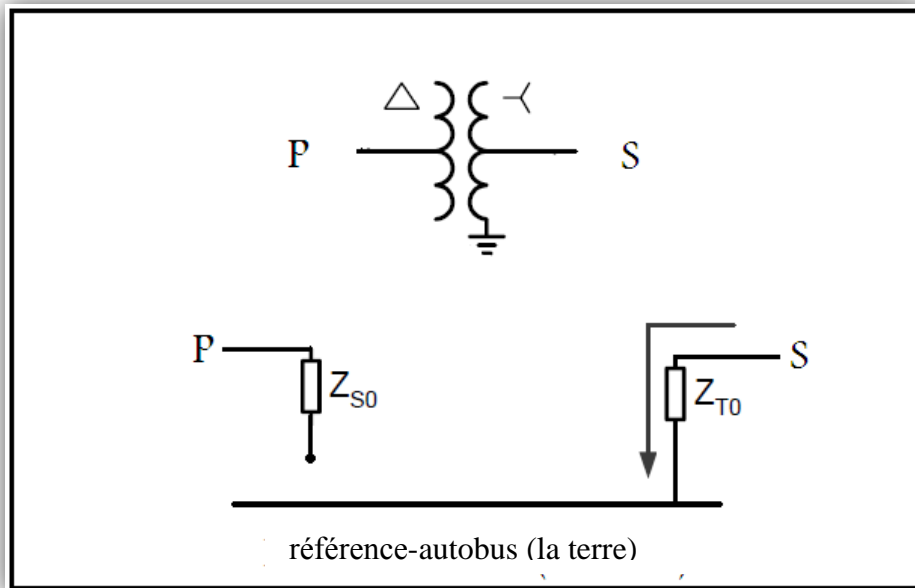


Fig (III.4) le réseau homopolaire pour Δ

Pour un transformateur du Δ/λ , il ya une discontinuité dans le réseau de homopolaire comme montré. Pour un défaut de la ligne-à-terre, les réseaux direct, inverse, et homopolaire sont reliés en série au moment du défaut. Pour cet exemple, le défaut à la terre externe en la zone de la protection.

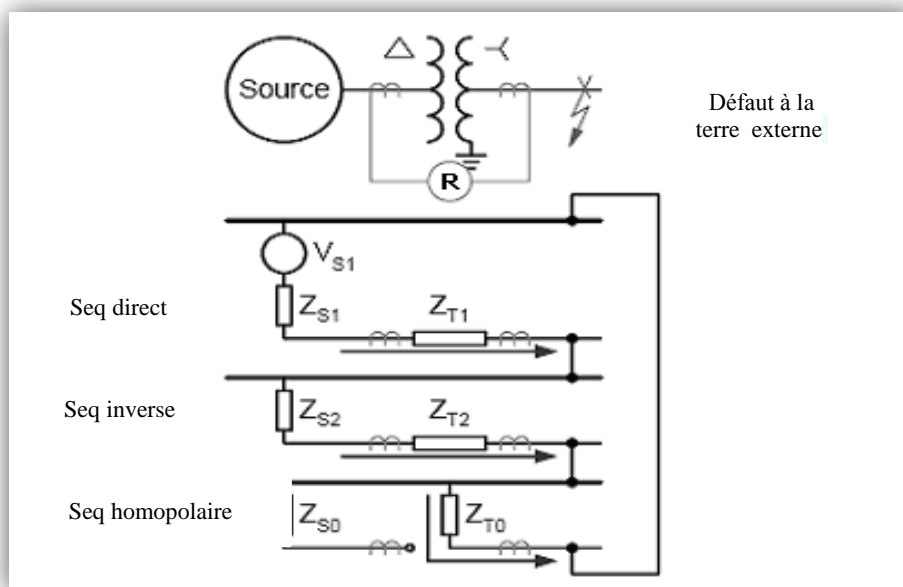


Fig (III.5) Les composants direct, inverse, et homopolaire sous C.C. externe

Pour un défaut à la terre externe, les composants direct, inverse de la zone de la protection, ayant pour résultat l'équilibre au différentiel pour ces composants (supposant que le déphasage a été correctement expliqué). Cependant, pour le composant de homopolaire

le courant sortant côté du transformateur n'est pas équilibré par rapport le courant du côté de Δ du transformateur. Si ceci n'est pas pris en compte, le relais différentiel observera le courant homopolaire comme un actionne et déclenche un défaut externe à la terre. En employant la compensation de Δ (qui est exigée pour compenser le déphasage) du côté la terre (de λ) du transformateur, les courants de homopolaire sont bloqués pour le relais différentiel.

Par exemple, considérons un transformateur du (Δ/λ) avec une banque fondante reliée au côté de Δ . Dans ce cas, la compensation homopolaire est exigée des deux côtés du transformateur mais la condition de compensation de déphasage force l'enroulement de Δ pour avoir la compensation de λ . Dans ce cas, il est nécessaire d'enlever le composant homopolaire du courant avant qu'elle atteigne l'élément différentiel.

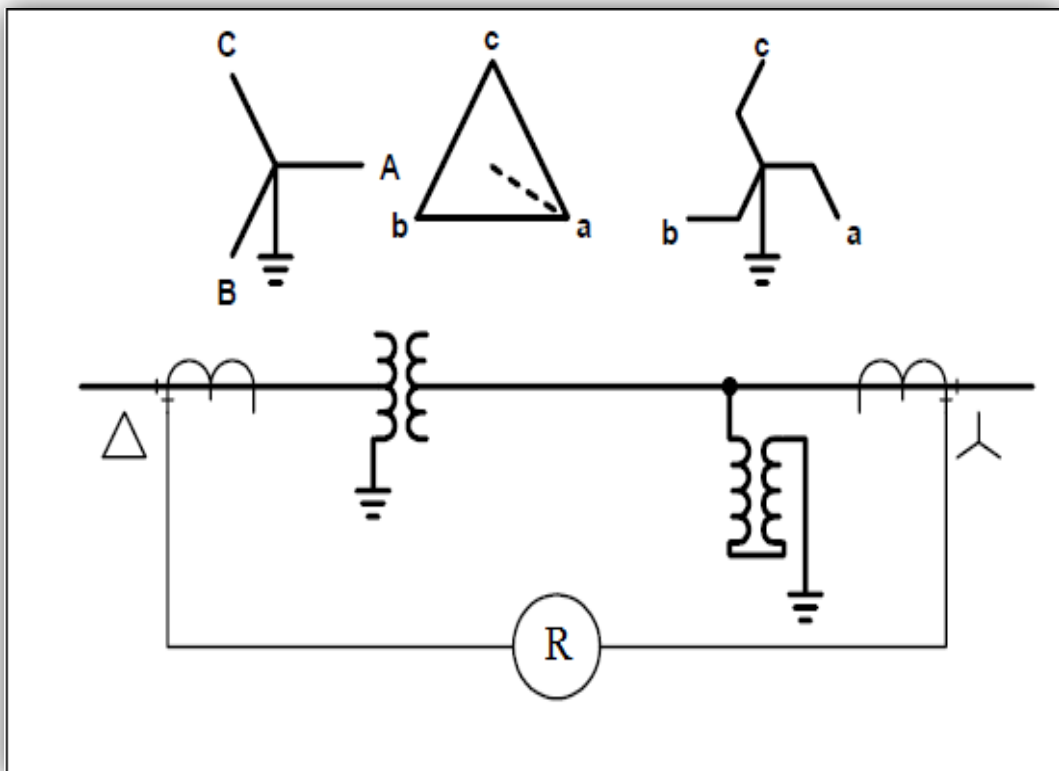


Fig (III.6) le transformateur du Δ/λ avec une banque fondante s'est relié au côté de Δ

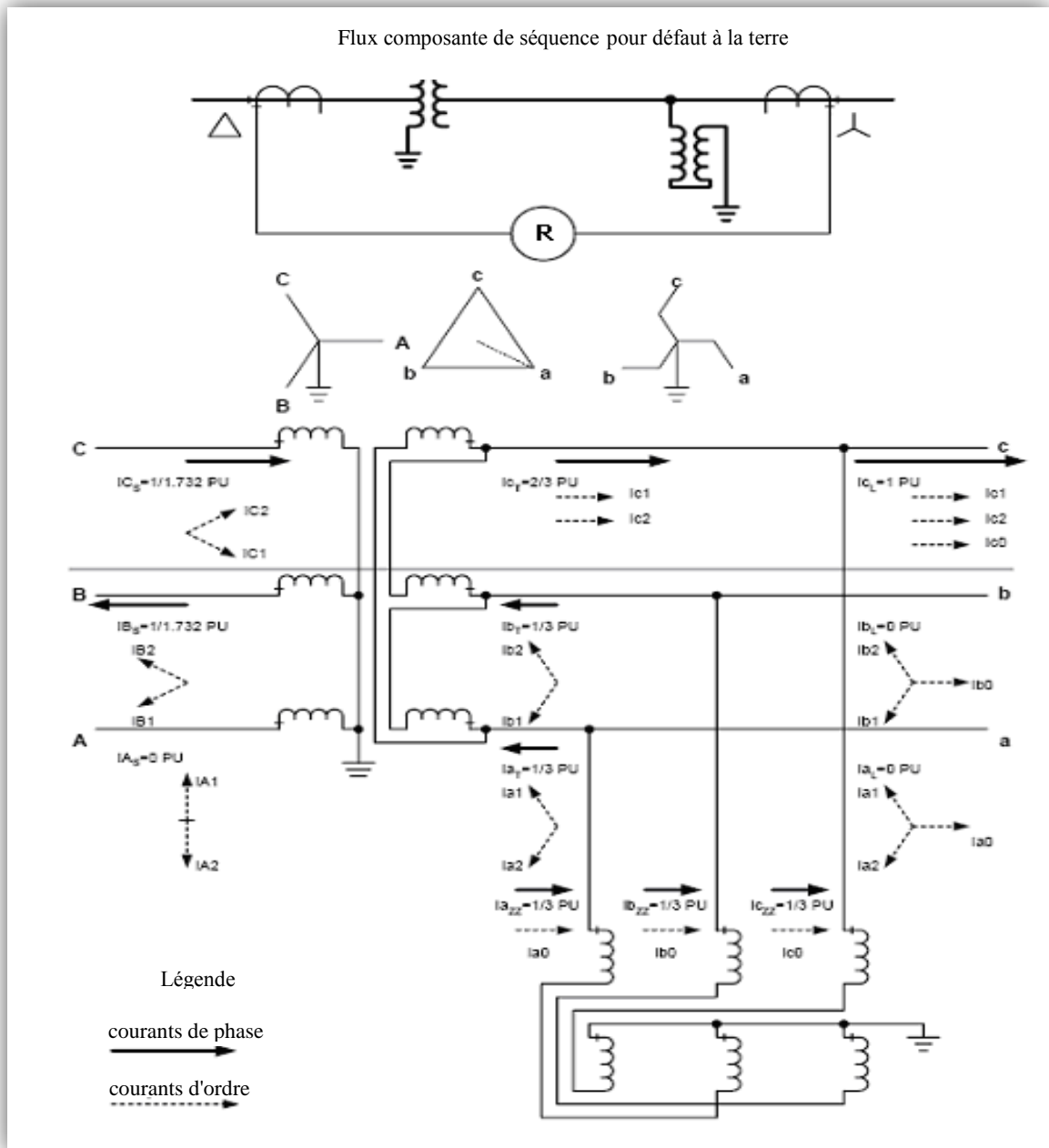


Fig (III.7) flux composante de séquence pour défaut à la terre

Pour surmonter cette difficulté la rémunération homopolaire est utilisé par les relais traditionnels deux façons :

- 1- Double Δ relié par TC auxiliaire
- 2- TC auxiliaire relié comme piège de homopolaire

1. Double Δ relié par TC auxiliaire

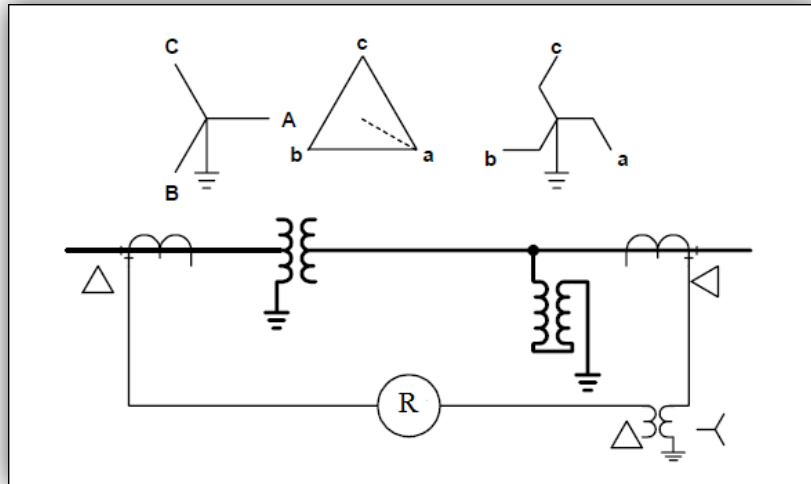


Fig (III.8) Double Δ relié par TC auxiliaire

Avec les relais différentiels traditionnels, le retrait du composant de homopolaire peut être accompli en reliant les deux ensembles de TC dans le Δ . Il est alors nécessaire d'installer un ensemble de TC auxiliaire relié dans le Δ pour présenter un déphasage opposition pour décommander le déphasage provoqué par la connexion de TC de Δ du côté d'enroulement de Δ .

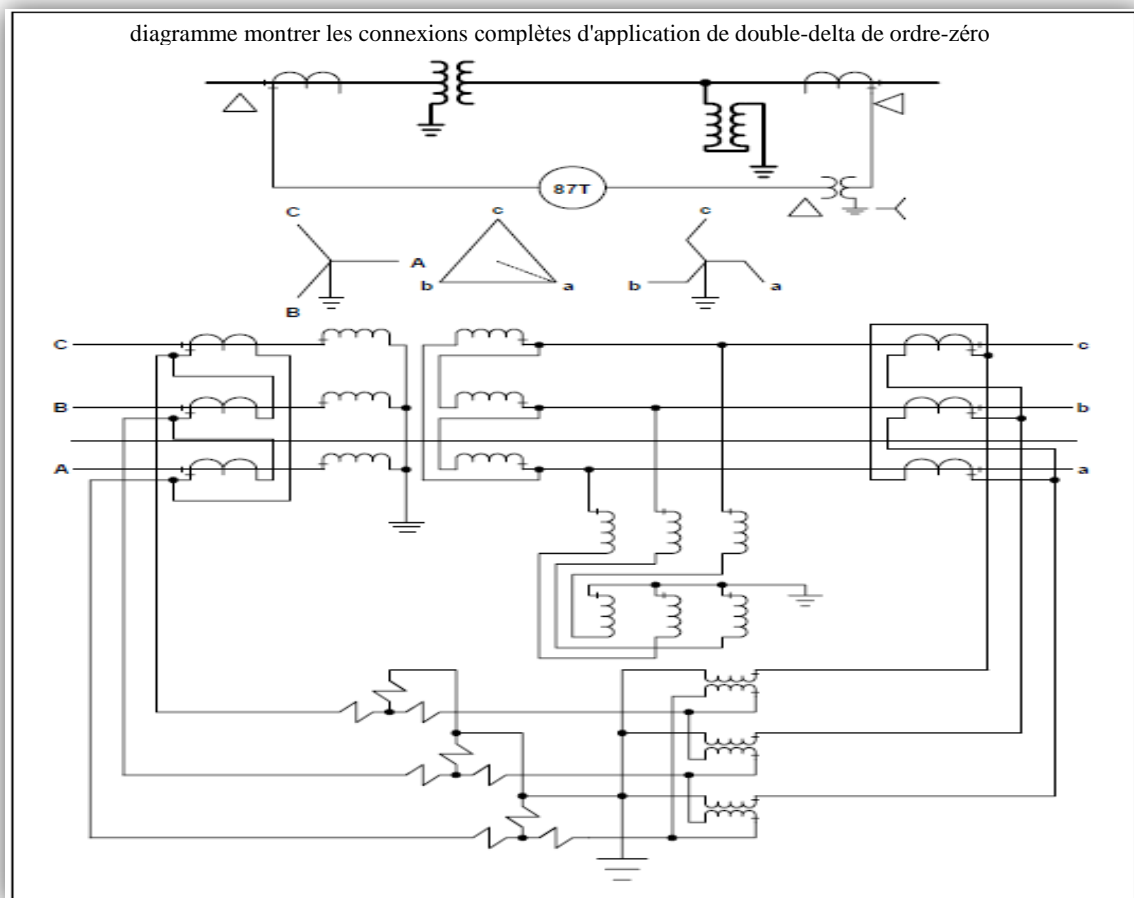


Fig (III.9) doubles- Δ connexions d'application de homopolaire.

2. TC auxiliaire relié comme piège de homopolaire

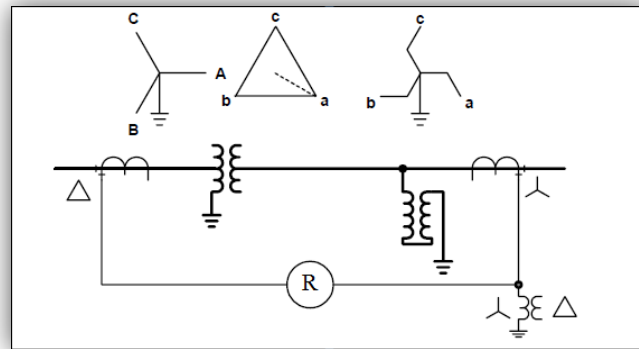


Fig (III.10) : TC auxiliaire relié comme piège de homopolaire

Alternativement, le retrait du composant de homopolaire peut être accompli en installant un piège de zéro-ordre utilisant TC auxiliaire pour manœuvrer le composant de homopolaire. C'est la méthode préférée parce que le courant au relais différentiel ne passe pas par le magnétique du TC auxiliaire, qui élimine la possibilité provoquée de un défaut par la dégradation des performances du TC auxiliaire[13].

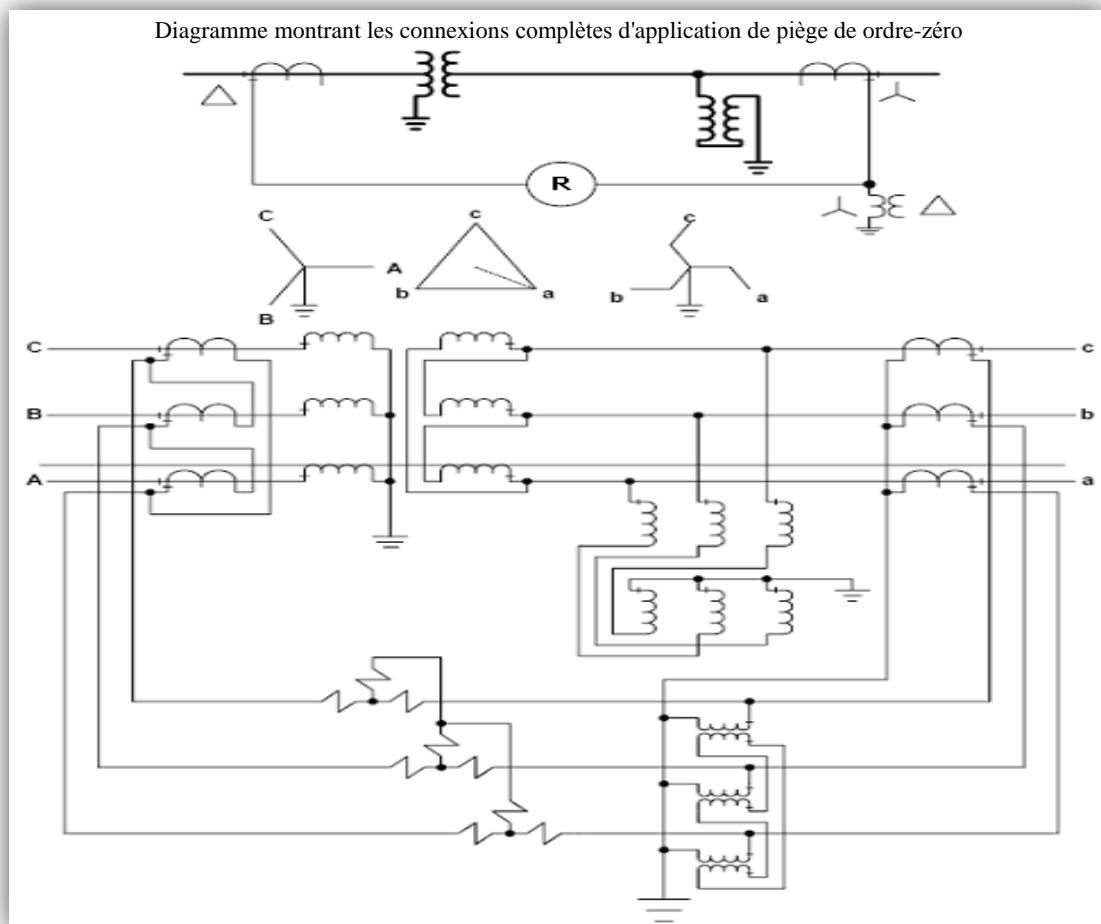


Fig (III.10) : Accomplissez la connexion nulle d'application d'ordre de piégé

III.2.7 Courant d'appel Magnétisation

L'une des principales préoccupations en matière de protection différentielle de cette composante particulière de systèmes d'énergie réside dans la discrimination précise et rapide entre le courant d'appel magnétisant et le courant différent des défauts internes. C'est parce que le courant d'appel de magnétisation, qui se produit au cours de la mise sous tension du transformateur, résulte généralement du courant de pleine charge et peut donc causer des mal-fonctionnement des relais. Une telle mauvaise opération de relais différentiels peut affecter à la fois la fiabilité et la stabilité de l'ensemble du système d'alimentation.

La magnétisation initiale en raison de la commutation d'un transformateur est considéré comme le cas le plus grave d'un appel. Lorsqu'un transformateur est désactivé (mise hors circuit), la tension de magnétisation est enlevée, le courant de magnétisation passe à zéro tandis que le flux suit le cycle d'hystérésis du noyau comme représenté sur la figure (III.12). Il en résulte un certain flux résidu laissé dans le noyau. par la suite, le transformateur est remis sous tension par une tension sinusoïdale alternative, le flux devient sinusoïdal mais polarisée par la rémanent. Le flux résiduel peut être aussi élevé de (80 à 90%) du flux nominal, et, par conséquent, il peut déplacer les trajectoires de flux de courant au-dessus du point de coude de la caractéristique résultante dans les deux grandes valeurs de crête et de fortes distorsions du courant magnétisation[14].

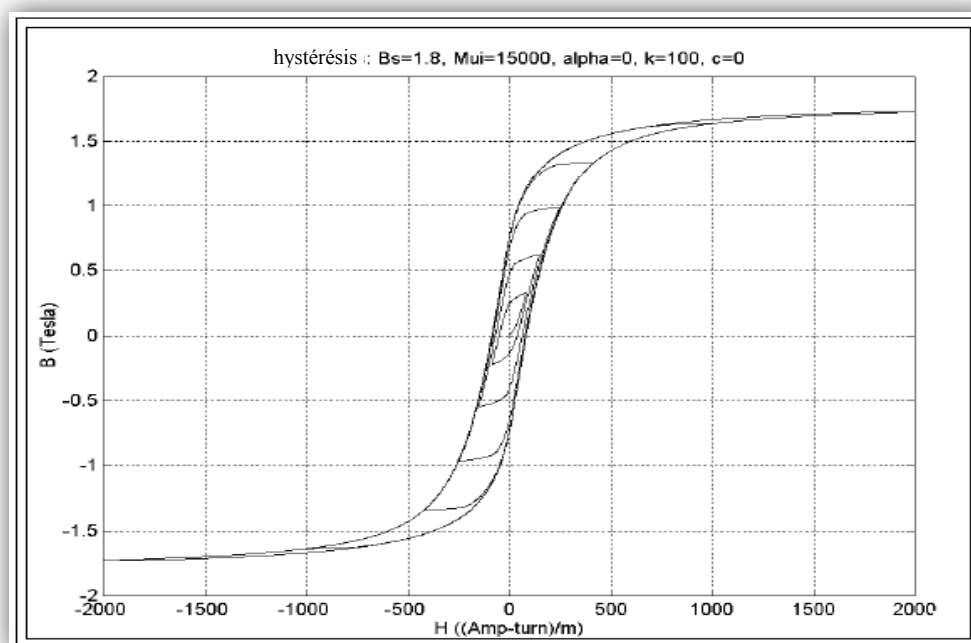


Fig (III.12) le cycle d'hystérésis du noyau

Appel magnétisante se produit dans un transformateur lorsque la polarité et l'ampleur du flux résiduel ne sont pas d'accord avec la polarité et l'ampleur du flux de l'état d'équilibre

(Φ_{ss}). L'excitation de transformateur est une cause typique des courants d'appel. Appel peut se produire quand un transformateur adjacent active. Appel de récupération se produit après un défaut grave, (particulièrement un défaut triphasé) qui a diminué la tension, est dégagée. Ce sont la tension, le flux, et les signaux actuels pendant une Appel magnétisante. Le transformateur active à zéro sur d'onde de tension avec le flux résiduel, La valeur Φ est le flux. Le courant passionnant augmente quand le flux atteint le point saturation.

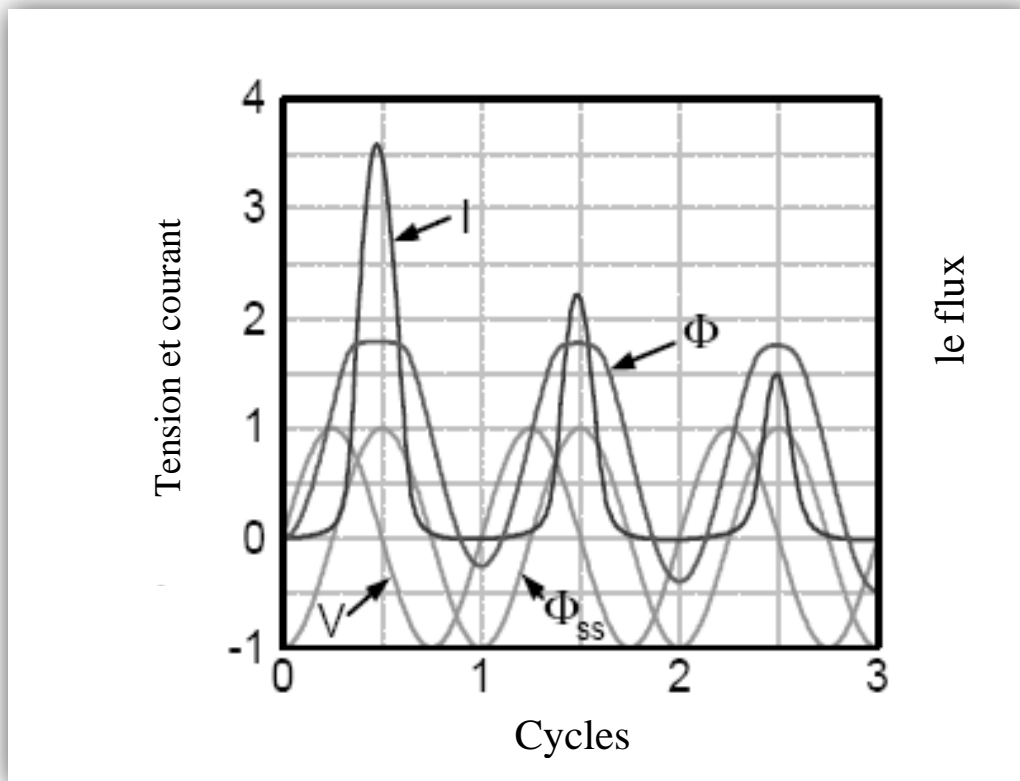


Fig (III.13) Courbes de v , dI , et de Φ

La figure (III.14) montre un courant typique d'appel. La forme d'onde affiche un grand et long composante de courant d'appel durable, est riche en harmoniques, assume de grandes valeurs de pointe au début (jusqu'à 3 fois la valeur nominale), décroît sensiblement au bout de quelques dixièmes de secondes, mais sa pleine décadence ne se produit qu'après plusieurs secondes (au niveau de l'excitation normale de 1-2% du courant nominal)

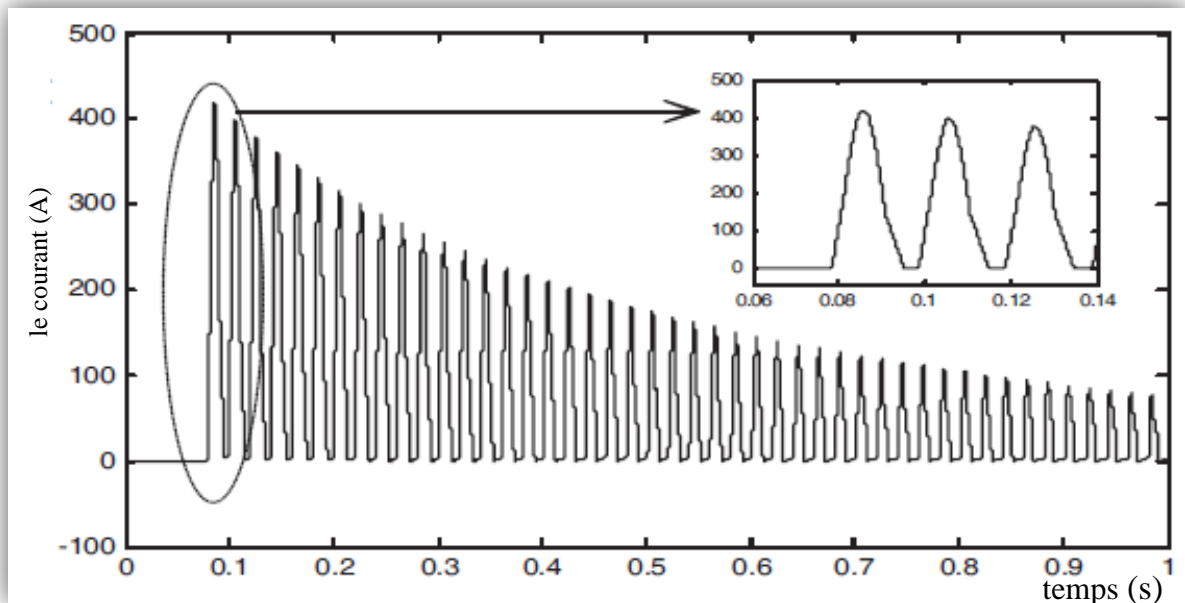


Fig (III.14) courant typique d'appel.

Il ya plusieurs facteurs qui commandent l'importance et la durée du courant magnétisant d'appel :

1. Taille du transformateur.
2. Force du système d'alimentation auquel le transformateur est relié.
3. Résistance dans le système à partir de la source équivalente au transformateur.
4. Type de fer utilisé dans le noyau de transformateur.
5. Histoire antérieure du transformateur et l'existence du flux résiduel.
6. Condition en d'excitation du transformateur :
 - A. Excitation initiale.
 - B. Excitation de récupération de mesure de défense.
 - C. Appel bienveillante dans des transformateurs parallèles.

Cependant, l'inductance n'est pas linéaire et la saturation peut lui a compté se produire puisque des transformateurs sont habituellement conçus pour fonctionner près de la zone de la courbe de saturation dans des conditions normales. La prise du flux deux fois à son maximum normal causera la saturation , exigeant un courant très grand. Même ce n'est pas le pire cas supposent que le transformateur active au zéro absolu sur la l'onde de tension avec un flux résiduel de Φ max.

Dans ce cas, la saturation sera encore plus grande. Des courants d'excitation aussi grande que 10 fois la normale ne sont pas inhabituelles pour une telle condition outre l'onde actuelle seront pleinement compensés de l'axe du temps. La façon dont la saturation provoque une

grave accumulation de courant d'excitation est illustré sur la figure (3.15), la courbe de saturation de gauche montre le courant d'excitation nécessaire pour fournir un niveau donné de flux. Pour chaque point sur l'onde de flux commençant à la valeur résiduelle de flux. Une valeur du courant peut être trouvée de la courbe de saturation et être tracée sur l'axe de temps[15].

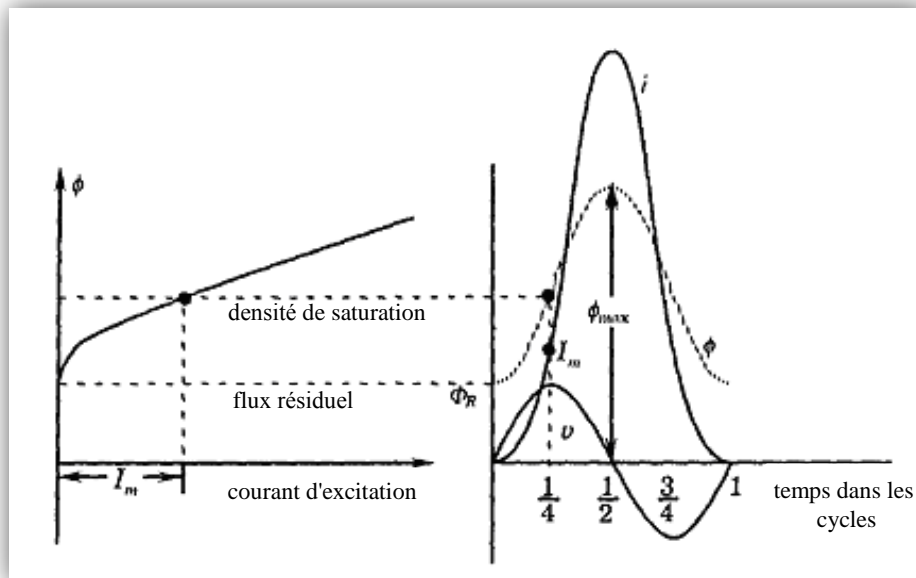


Fig (III.15) Dérivation de la forme d'onde actuelle du courant d'appel de la courbe de saturation d'excitation.

Ceci est illustré pour une valeur du courant marquée I_m , en traçant des différents points l'impulsion actuelle entièrement compensée montrée. Notez que la forme d'onde actuelle n'est pas sinusoïdale, mais il est une impulsion pointue avec la crête se produisant au flux maximum.

Le délabrement du courant d'excitation est rapide pour les premiers cycles, mais d'autre part se délabre très lentement. Plusieurs secondes sont exigées pour que le courant atteigne les niveaux nominaux. La constante de temps régissant ce délabrement n'est pas une constante (L/R), puisque l'inductance varie dû à saturation ainsi, la constante de temps est petit au début, puis elle augmente car la saturation est réduit. En outre, la constante de temps est une fonction de la taille du transformateur et peut varier de 10 seconde pour les petits transformateurs à 1 minute pour de grandes tailles La décroissance de courant d'excitation dépend aussi de la résistance vu en regardant dans le réseau d'alimentation. Si le transformateur est à proximité d'un générateur cette résistance sera très faible et le courant d'excitation va amortir très lentement. En outre, le courant sera toujours déformé dans sa

forme d'onde pendant une période prolongée, jusqu'à 30 minutes après l'excitation initiale. Pour le transformateur triphasé, chaque phase aura un courant d'excitation différent, depuis le point sur l'onde de tension à laquelle l'excitation est commencé est différente pour chacune des trois phases. Par exemple, si le transformateur activé quand la phase d'une tension est à sa crête, et sans le flux résiduel, puis mettent A en phase ne peut pas saturer du tout, mais la phase B saturera probablement avec une impulsion positive assez semblable à celui figure (III.15), et la phase C éprouvera une impulsion négative du grandeur à peu près identique comme phase B.

Les courants d'appel dépendent également du type de conception de noyau de transformateur le type de connexion triphasée, et le type d'acier, le type d'acier peut être très important, puis qu'on lui a montré que les ampères-tours magnétisants exigés pour l'acier laminé à froid des unités modernes sont beaucoup plus grands que pour des noyaux en acier laminés à chaud plus anciens. Le type de connexion de transformateur est également important, avec des enroulements de λ et Δ ont à différents résultats d'excitation.

III.2.7.1 Méthodes de minimiser l'effet de courants d'appel

Pour réduire au minimum l'effet du courant d'appel, nous emploierons la méthode suivante :

- 1- Nous devons utiliser un relais différentiel biaisé et de réglage (15-45)%.
- 2- Le délai pour l'égalité des relais (45) ms environ.
- 3- L'alimentation du relais par filtre pour éliminer l'effet des harmoniques (2ème et 3ème harmoniques) [16].

III.2.7.2 Solutions de relais au problème l'courant d'appel

Puisque le courant d'appel existe seulement du côté de source du transformateur, le courant d'appel apparaîtra dans le circuit différentiel et actionnera le relais. Il ya plusieurs solutions à ce problème, qui sont quelque peu complexes et chères :

1. Annulation même d'harmonique.
2. Harmonique de retenue
3. Blocage harmonique.
4. Blocage de résonance.
5. C.C. Bias.
6. C.C Block.

La théorie de courant d'appel magnétisant sur T.C est considérée en détail comme suivent :

1- Annulation harmonique

En raison de l'état saturé du fer du transformateur, la forme d'onde du courant d'appel est fortement déformée; figure (III.16) montre une forme d'onde typique pour appel maximum.

Les amplitudes des harmoniques, comparées au fondamental (100 %) sont comme suit :

Tableau (III.1) Amplitude d'harmoniques dans une forme d'onde magnétisante typique de courant d'appel

Composant	C.C	2 ^{ème} harmonique	3 ^{ème} harmonique	4 ^{ème} harmonique	5 ^{ème} harmonique	6 ^{ème} harmonique	7 ^{ème} harmonique
Valeur typique	55%	63%	26.8%	5.1%	4.1%	3.7%	2.4%

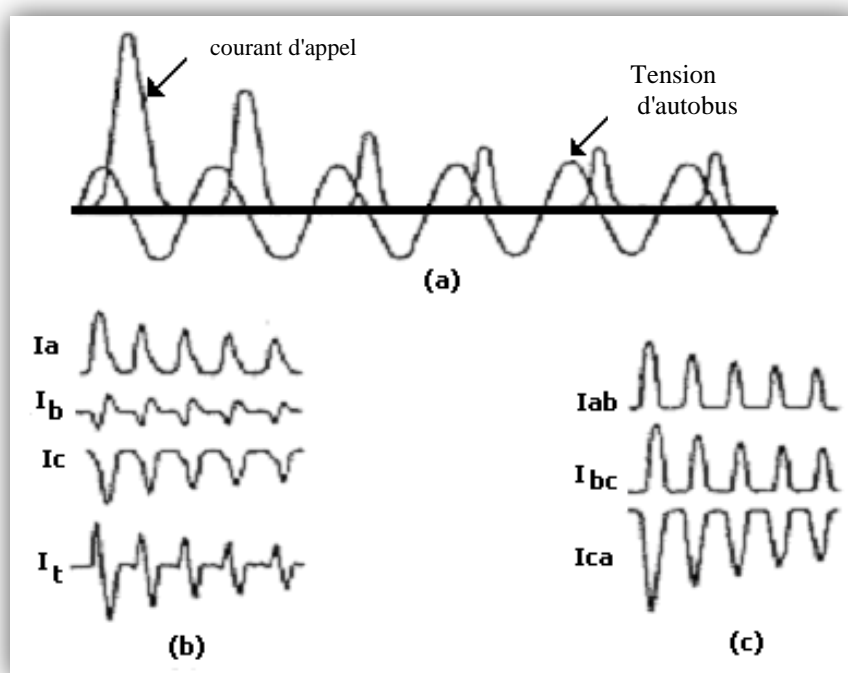


Fig (III.16) : forme d'onde typique de courant d'appel. (A) théorique; (B) les courants réels en enroulements connectés λ ; (C) les courants réels en enroulements connectés Δ .

Le composant de C.C varie entre 40% et 60%, le deuxième harmonique entre (30% 70%) le troisième harmonique entre (10% 30%). Les autres harmoniques sont progressivement moins, la gamme selon l'équipement dans le circuit, par exemple ondulation de dent d'un générateur.

Le troisième harmonique et ses multiples n'apparaissent pas dans les fils du TC puisque les composants circulent dans l'enroulement de Δ du transformateur. de TC relié par Δ du côté de λ les composants et même des harmoniques de C.C peuvent être décommandés dans le circuit de fonctionnement d'un relais de pont en redresseur et être ajoutés dans la contrainte. Ceci laisse seulement le 5^{ème}, le 7^{ème}, etc., qui peuvent être ignorés en raison de leur petite

amplitude ou être bloqués par un filtre approprié.

L'analyse de la forme d'onde indique qu'il y a une importante quantité de deuxième harmonique sous cette forme d'onde. Beaucoup de relais différentiels de transformateur emploient cette deuxième signature harmonique pour empêcher le relais de fonctionner. Figure (III.17) prouve que tant que le rapport du deuxième par rapport au principe fondamental dépasse un seuil, le relais bloquera le déclenchement de son élément sensible de différentiel.

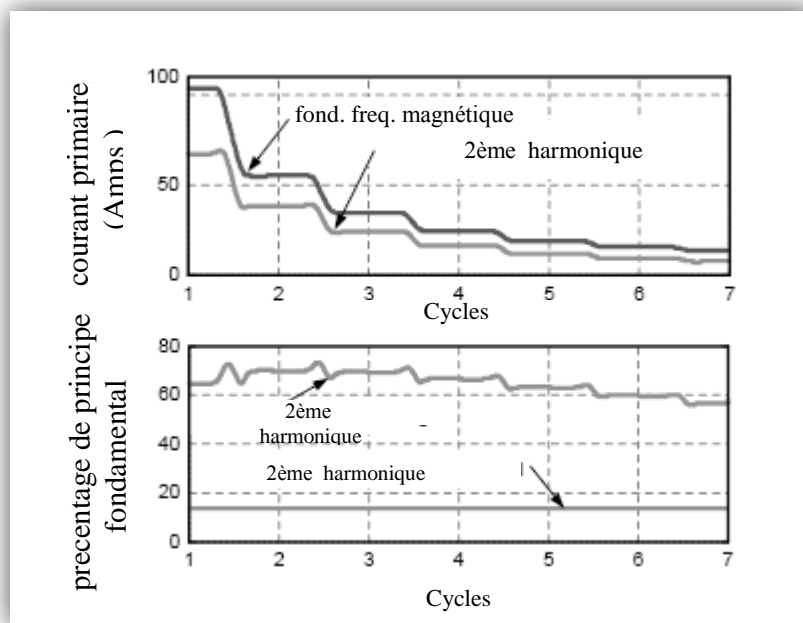


Fig (III.17) Seconde harmonique par l'analyse de la forme d'onde

2 - Contrainte harmonique

Une méthode populaire de fabrication des relais différentiels peu sensibles au courant magnétique d'appel est de filtrer des harmoniques du courant différentiel, les rectifier et ajouter la contrainte de pourcentage suivant les indications de figure (III.18).

La contrainte harmonique est obtenue à partir du circuit accordé X_C , X_L qui laisse passer seulement la fréquence fondamentale dans le circuit, le C.C et les harmoniques de fonctionnement étant détournés dans la bobine. Le relais est ajusté de sorte qu'il ne fonctionne pas quand la deuxième harmonique (retenir) dépasse 15 % du courant fondamental (opération). La collecte minimum est de 15% de l'estimation du TC et le délai de fonctionnement minimum est environ deux cycles.

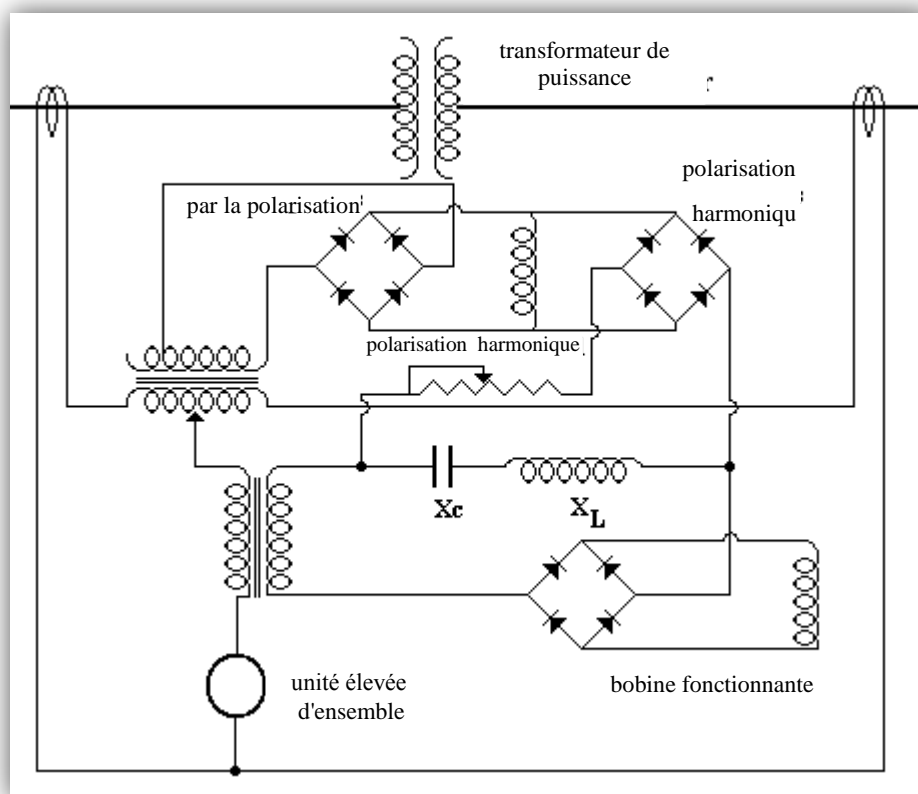


Fig (III.18) Circuit de base de relais avec contrainte d'harmonique

En raison du fait que la compensation de C.C et les composants harmoniques peuvent également être présents dans le courant de défaut, particulièrement si les de TC saturent, il est usuel de fournir un instantané au-dessus de l'unité actuelle dans le circuit différentiel, qui est placé au-dessus du courant maximum d'appel mais fonctionnera dans moins d'un cycle sur les défauts internes lourds, jeûnent de cette façon se déclenchant est assurément pour tous les fautes lourdes.

3- Blocage des harmoniques

Une alternative à la contrainte harmonique est de fournir un relais de blocage distinct dont les contacts sont en série avec ceux d'un relais différentiel décentré et qui fonctionne quand la deuxième harmonique est moins de 15% du fondamental, les figure (III.19) est un diagramme simplifié montrant le principe de base.

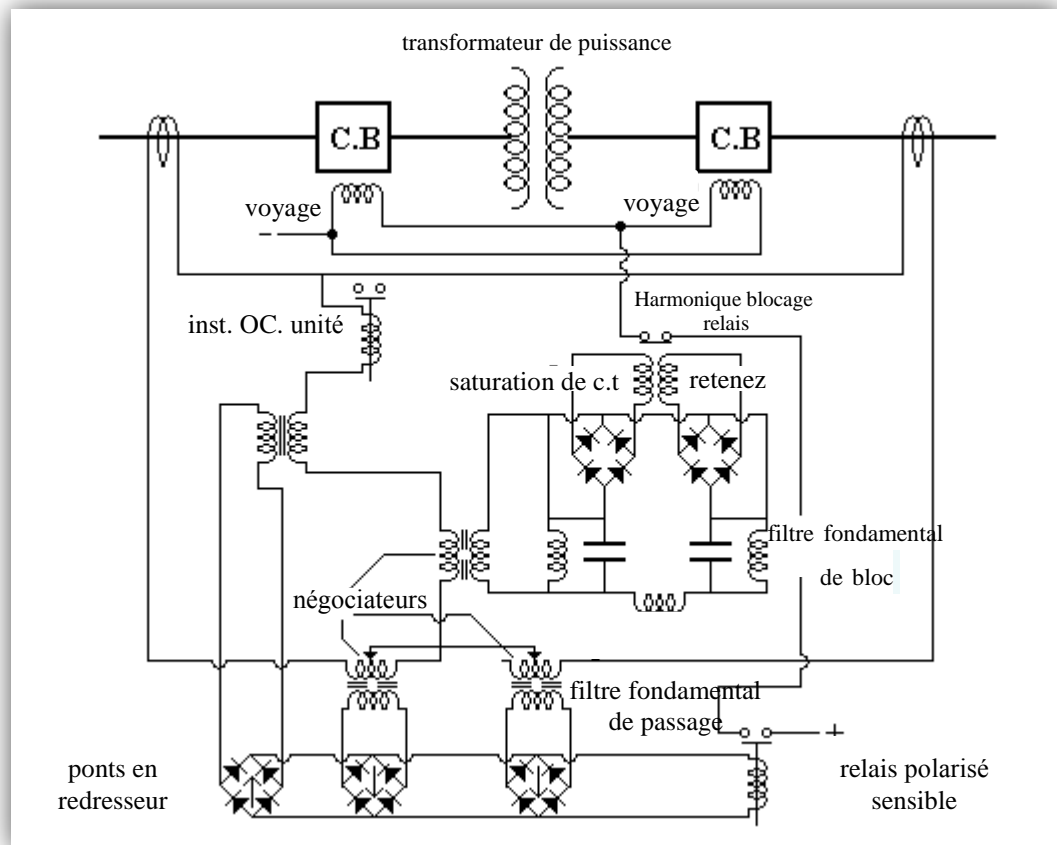


Fig (III.19) Circuit de base de relais de blocage des harmoniques.

4- Blocage de résonance

Cette méthode est semblable au blocage des harmoniques sauf que le relais de blocage est réglé à double fréquence de système et est fourni par un courant redressé à partir du circuit différentiel. Le courant d'appel du transformateur de puissance une fois redressé, donne le nombre d'impulsions de C.C par seconde qui correspondent à la fréquence de système relais bloque.

Pendant un défaut le courant aura une grande composante fondamentale qui, une fois redressé donne deux fois autant d'impulsions par seconde et le relais fonctionne, permettant de ce fait au relais différentiel de se déclencher.

5- régime de courant continu

La caractéristique d'un transformateur de courant fonctionnant en dérivation chargé, dans lequel les exploitation courant augmente linéairement avec l'augmentation de courant continu dans le circuit de commande pour une sortie de tension constante, a été utilisé dans ce relais, cette caractéristique donne un moyen commode d'obtenir pourcentage de polarisation à travers les défauts en redressant le courant à travers et de l'utiliser pour contrôler de manière linéaire la sortie de l'enroulement parcouru par le courant différentiel à partir de la même phase primaire AC.

La sortie de ce transformateur passe au deuxième conducteur, qui commande un relais de déclenchement. La composante continue du courant d'appel d'aimantation a été utilisée en tant que "auto-polarisation" sur le relais dans le même élément de transformateur. Lorsque le courant d'enclenchement magnétisant est symétrique et ne contient pas de composante continue, le relais est rendu stable par un "avance transversale" polarisation de la composante continue du courant d'appel dans une autre phase. A cet effet, un autre élément de transformateur a été incorporée, comme le montre la figure (III.20).

Ce type de protection est plus simple et moins cher que limitation d'harmonique, mais a la possibilité d'un déclenchement indésirable sur le courant d'appel qui peut survenir dans un transformateur triphasé, si le disjoncteur est fermé au moment de maximum de tension sur une phase. Le courant d'appel en résulte peut avoir aucune composante continue de bloquer le relais. Cette condition peut être surmontée à un sacrifice de la vitesse et de la sensibilité quand il est sur le fonctionnement courant de défaut interne décalage est exigé.

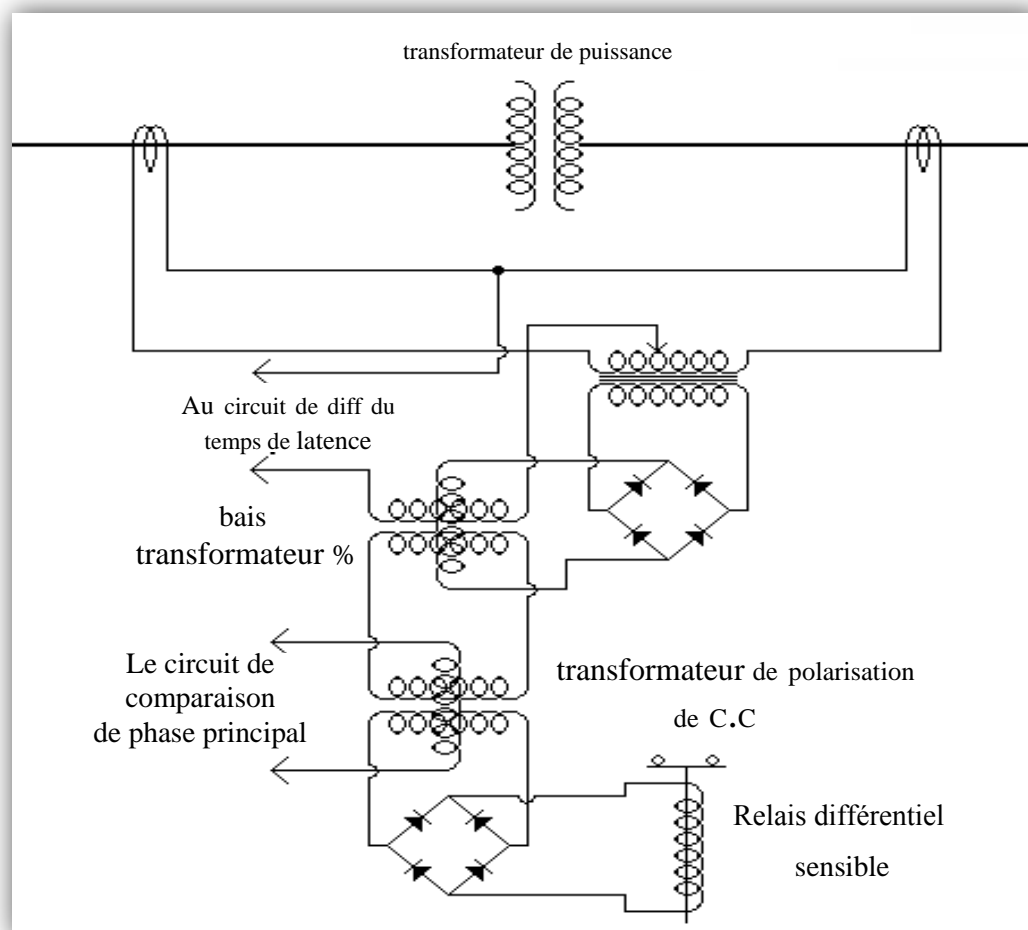


Fig (III.20) Pourcentage partiel et relais décentré composant de transformateur de C.C pour la protection de transformateur.

6- la méthode bloquant C la composante continue (C.C)

Une méthode bloquant(C.C) utilise la reconnaissance de la forme d'onde de deux courants différentiel en semi-cycles positifs et négatifs. La somme est ensuite calculée pour les deux semi-cycles, S+ et S-. Le rapport entre la somme minimale à la somme maximale, DCR est calculé. Si le rapport, DCR, est moins de 0,1, DCBL 1 affirme pour bloquer l'élément différentiel suivant les indications de figure (III.21). Les formes d'ondes qui sont sévèrement compensées produiront un résultat de blocage. La présence de la compensation de C.C dans le courant d'appel est un indicateur supplémentaire qui peut être employé pour garantir le degré de sécurité de relais pour des surcharges.

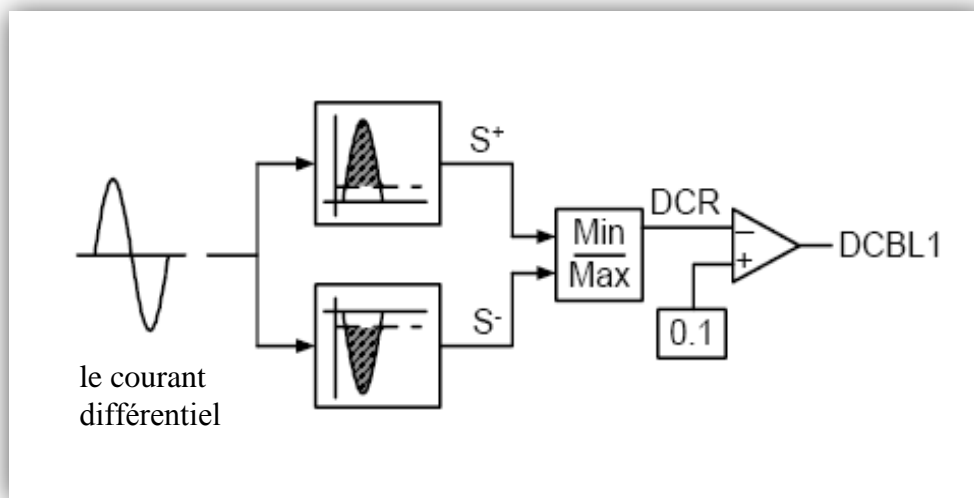


Fig (III.21) : la méthode bloquant C.C.

Elle est utilisée pour des formes d'onde décalées, qui caractérisent des courants de démarrage indépendamment de leur harmonique comme utilisé dans la figure (III.22).

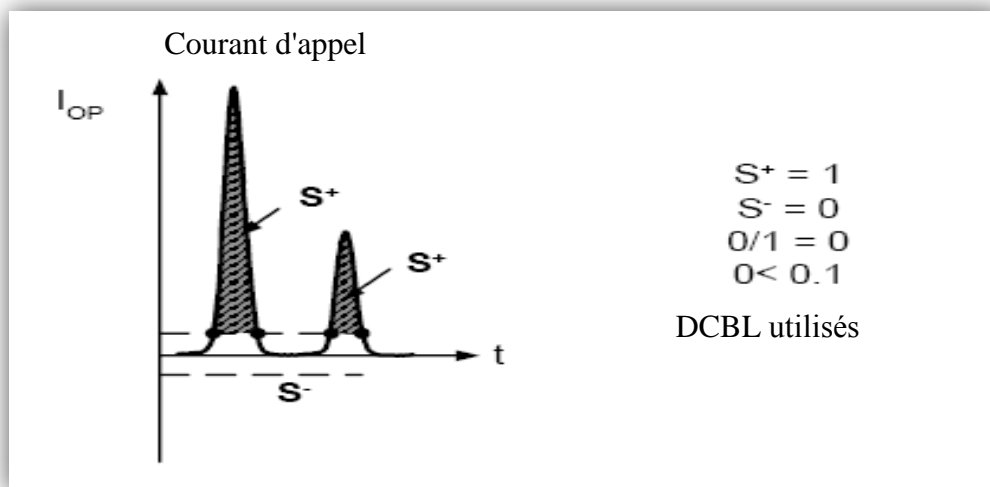


Fig (III.22) : la méthode bloquant C.C (DCBL utilisés).

Cette méthode n'est pas utilisée pour le courant de défaut interne produit dont les demi-cycles symétriques actionnent le courant suivant les indications de la figure (III.23). Ceci inclut les formes d'onde qui peuvent être faussées par la saturation symétrique de TC.

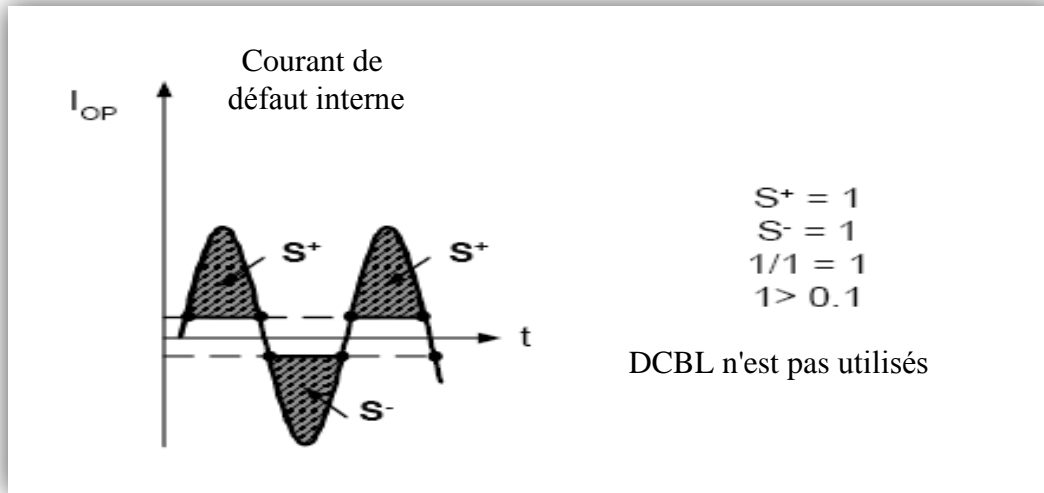


Fig (III.23) : la méthode bloquant C.C (DCBL n'est pas utilisé).

III.2.8 Surexcitation de transformateur

Le flux magnétique à l'intérieur du noyau de transformateur est directement proportionnel à la tension appliquée et inversement proportionnel à la fréquence de système. La surtension et ou la sous fréquence des conditions qui peuvent produire des niveaux de flux qui saturent le noyau de transformateur. Ces conditions de fonctionnement anormales peuvent exister dans n'importe quelle partie du système d'alimentation, ainsi n'importe quel transformateur peut être exposé à l'excitation. Au-dessus de l'excitation d'un transformateur de puissance est un cas typique de saturation. du noyau qui produit les harmoniques impairs dans le courant d'excitation. La troisième harmonique est le plus approprié à la détection en des conditions d'excitations mais la connexion Δ du TC ou la compensation de la connexion de Δ du relais différentiel filtre cet harmonique.

La sur excitation d'un transformateur cause l'échauffement des transformateur et augmente le courant, le bruit, et la vibration et peut endommager ci lui si.

Un transformateur sévèrement surexcité devrait être déconnecté pour éviter tous dommages. Puisqu'il est difficile, avec la protection différentielle, de commander la quantité d'excitation finie qu'un transformateur peut tolérer, la protection différentielle de transformateur se déclenchant pour un état fini d'excitation n'est pas souhaitable.

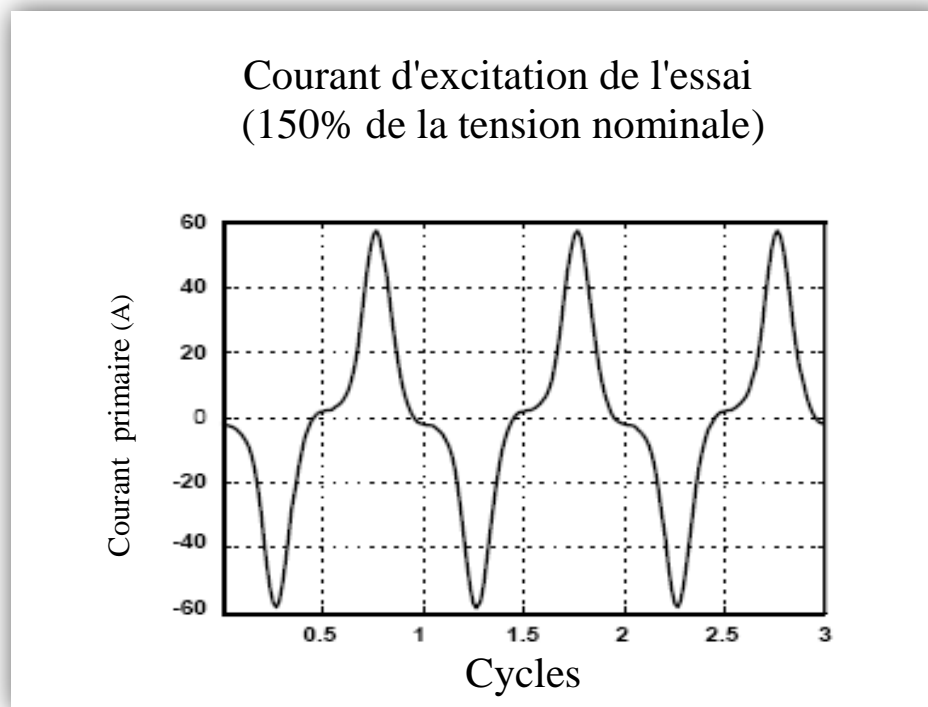


Fig (III.24) : Le courant d'excitation obtenu à partir de teste un transformateur en laboratoire.

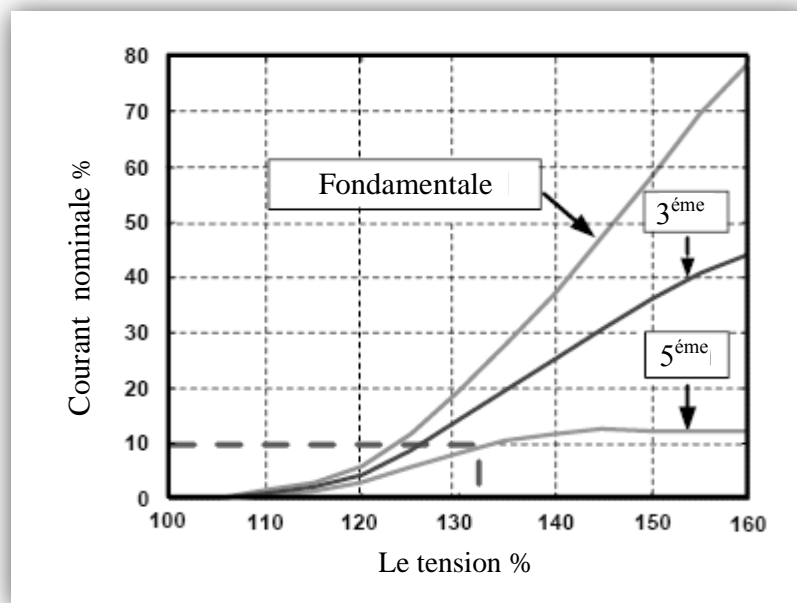
C'est le courant d'excitation obtenu à partir des essais d'un transformateur en laboratoire. Le courant correspond à une condition fini de tension de 150V de la tension nominale. Pour la comparaison, la valeur maximale du courant nominal de transformateur est 61,5A, et la valeur maximale du courant d'excitation est 57,3A. De la symétrie de la forme d'onde, il peut que le courant à des harmoniques impairs et cela est peut causer une fausse opération de la protection différentielle. La tableau (III.2) montre les harmoniques les plus significatifs en pourcentage du courant nominal. La troisième harmonique est la plus appropriée à la détection des condition de l'états d'excitation. Malheureusement, c'est une quantité dé homopolaire.

C'est-à-dire, la troisième harmonique peut être piégée dans la connexion de Δ de transformateur ou dans la compensation Δ de TC. Pour cette raison, nous employons la cinquième harmonique au lieu du troisième harmonique. Elle est toujours une quantité fiable pour la détection de l'état fini d'excitation. Mais, il exige un dispositif avec une sensibilité appropriée. La cinquième harmonique est de 11% du courant nominal.

Tab (III.2) : les harmoniques les plus significatifs comme pourcentage du courant nominal.

Composant de fréquence	Grandeur (ampères primaires)	Pourcentage de principe fondamental %	% de nominal
Fondamentale	22.5	100.0	52.0
Troisième	11.1	49.2	26.0
Cinquième	4.9	21.7	11.0
Septième	1.8	8.1	4.0

La figure (III.25) montre la fondamentale, la troisième et la cinquième harmoniques contenu sous forme de pourcentages du courant nominal et fondamentale pour différentes conditions de tension dans un transformateur de puissance typique. La cinquième harmonique apparaît pour des plus conduction de tension que 110% d'états finis de tension. À approximativement au-dessus à 133% de la tension, de la cinquième harmonique est de 10 % du courant nominal. Un seuil d'harmonique de 3% permettra au relais de détecter les conditions de tension de plus grands que 115%.

**Fig (III.25)** : Courant d'excitation harmonique.

III.3 Calculs de protection différentiels

III.3.1 Introduction

Les calculs et les réglages différentiels de les protection diffirentielle ont été faite pour un sons station qui content un transformateur de (132/33 KV).

III.3.2 paramètres de sous-station

III.3.2.1 Paramètres de système :

$$S_{\text{System (3Ph.S.C. niveau)}} = 6189 \text{ MVA.}$$

$$V_{\text{System}} = 132 \text{ KV.}$$

III.3.2.2 Paramètres de transformateur :

$$V_{\text{pri}} = 132 \text{ KV.}$$

$$V_{\text{sec}} = 33 \text{ KV.}$$

$$\text{Capacité} = 54 \text{ MVA.}$$

Groupe de vecteur : Ynd1.

Fréquence évaluée = 50Hz.

$$I_{\text{pri}} = 236 \text{ A.}$$

$$I_{\text{sec}} = 945 \text{ A.}$$

III.3.2.3 Régleur en Paramètres :

Variation : $+3 \times 1.67$; $-9 \times 1.67 \equiv 20\%$

Non de la position : 13.

Position normale : 4.

$V_{\text{Sh}} = 11\%$. (Selon le CEI 60075-5).

Les valeurs de base pour le transformateur 132/33 kV :

- *Afin de placer la protection différentielle pour ce transformateur :*
 1. Dessinez un circuit équivalent suivant les indications de figure (III.26).
 2. Dessinez la composante direct (RSP) la figure (III.27), la composante inverse (RSN) figure (III.29), et enfin le composante homopolaire (RSZ) figure (III.31).
 3. Trouvez le circuit équivalent de Thevenin pour chacune de figure du RSP, de RSN et RSZ la figure (III.28), la figure (III.30), la figure (III.32) consécutivement.
 4. Calculez l'impédance de système pour trouver des courants de court-circuit.

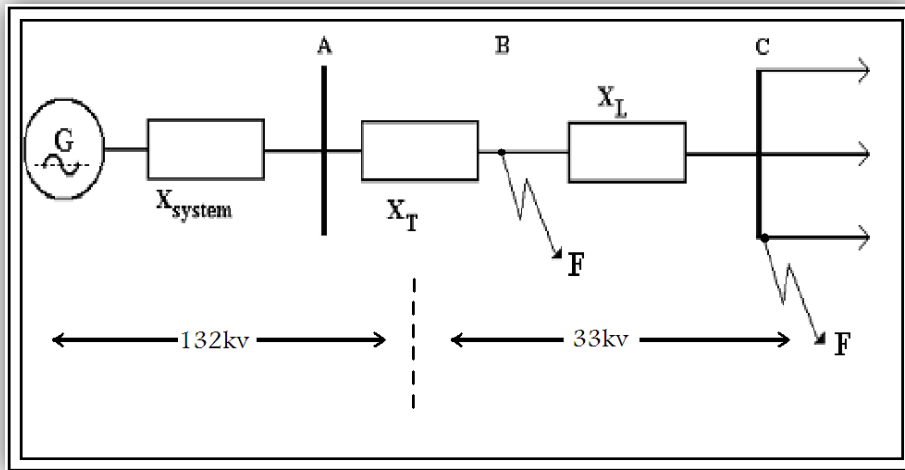


Fig (III.26) Circuit équivalent du réseau.

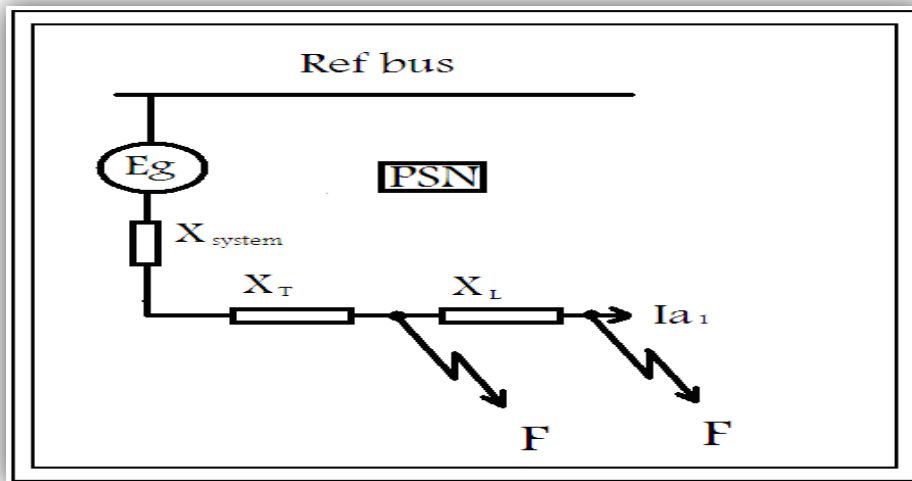


Fig (III.27) Composante directe (RSP).

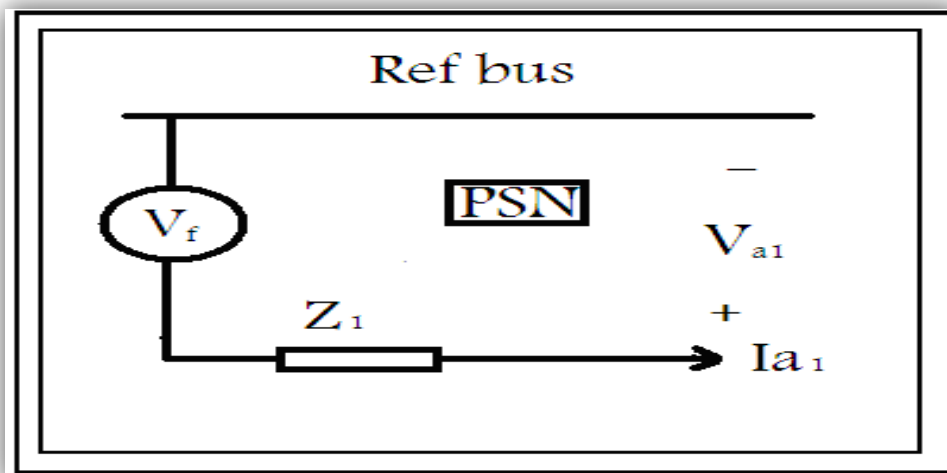


Fig (III.28) Circuit équivalent de Thevenin pour le composante directe

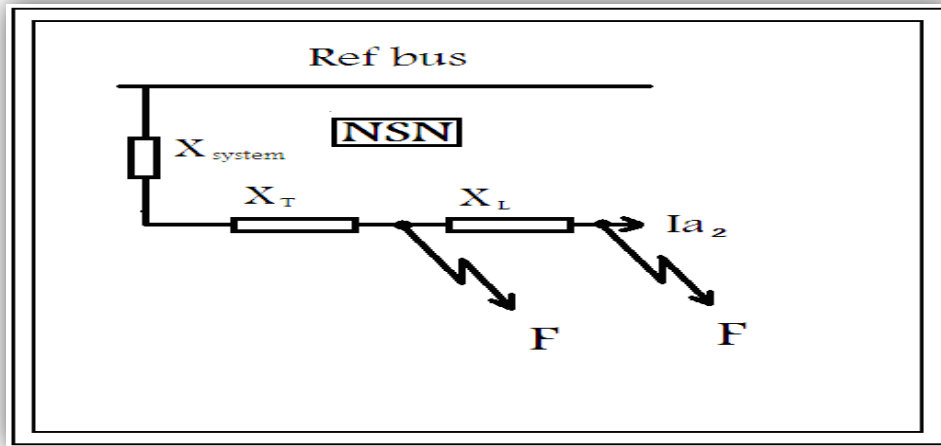


Fig (III.29) Le composante inverse (RSN)

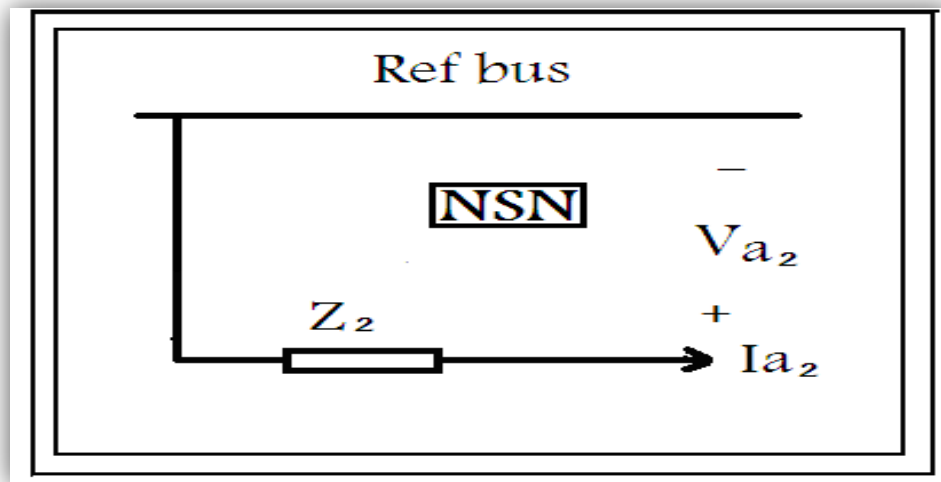


Fig (III.30) Circuit équivalent de Thevenin pour le composante inverse.

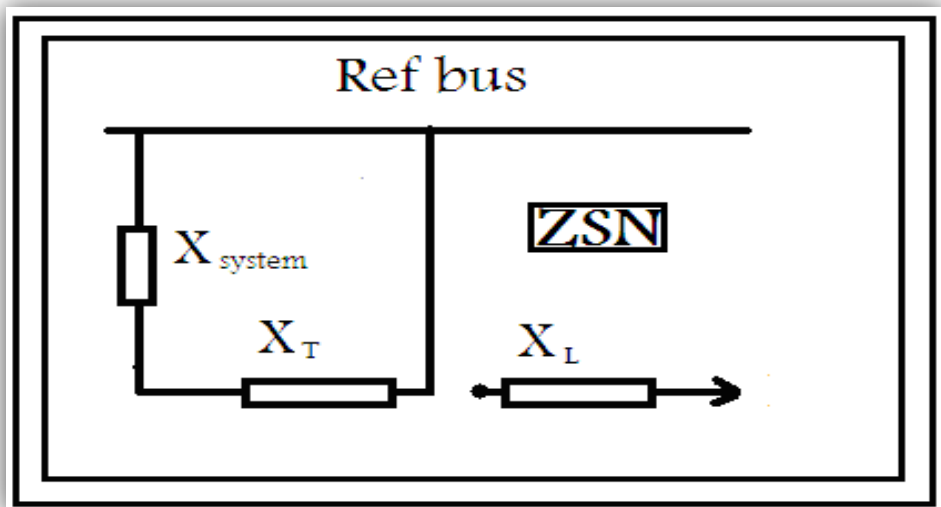


Fig (III.31) Le composante homopolaire (RSZ)

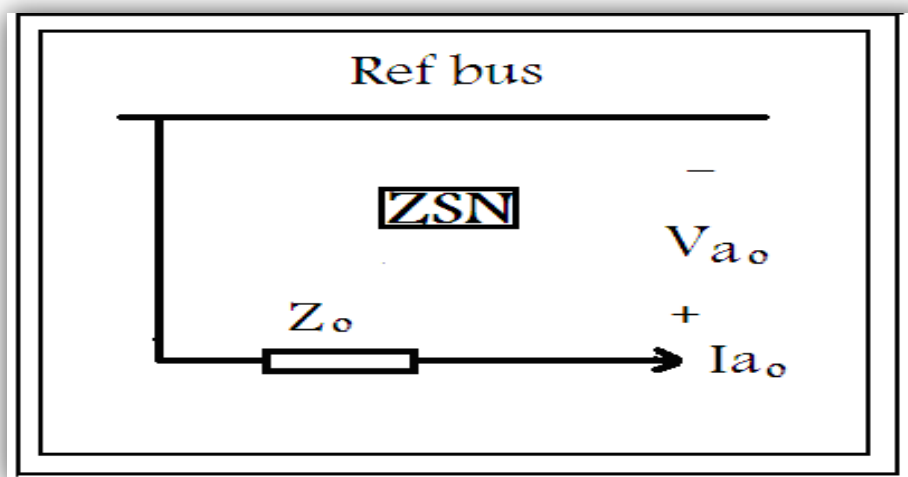


Fig (III.32) circuit équivalent de Thevenin pour le composante homopolaire (RSZ)

$S_b = 54 \text{ MVA.}$

$V_{b1} = 132 \text{ KV.}$

$V_{b2} = 33 \text{ KV.}$

$$I_{b1} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} * V_{b1}} = \frac{45 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 132 \times 10^3} = 236A \quad \text{III.1}$$

$$I_{b2} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} * V_{b2}} = \frac{45 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 33 \times 10^3} = 945A \quad \text{III.2}$$

La réactance inductive du système (X_{System}) en P.U :

$$X_{System} = \left(\frac{V^2_{System}}{S_{System}}\right) \times \left(\frac{S_{base}}{V^2_{base}}\right) = \frac{(132 \times 10^3)^2}{6189 \times 10^6} \times \frac{54 \times 10^6}{(132 \times 10^3)^2} = 0.0087 P.U. \quad \text{III.3}$$

Réactance inductive du transformateur (X_T) en P.U :

Nous considérons Vsh. Comme réactance inductive du transformateur ; parce que la tension de court-circuit considérée comme le rapport entre l'impédance de court-circuit de transformateur à l'impédance nominale[17].

$V_{sh} = 11\%$

$V_{sh} = X_T = 0.11 \text{ P.U.}$

Réactance inductive de câble (X_o) dans P.U :

$$X_L = 0.5 \Omega / Km * 0.5 Km * \frac{54}{33^2} = 0.0123 P.U. \quad \text{III.4}$$

Maintenant nous déterminerons le courant de défaut maximum pour le transformateur, nous trouvons le courant de défaut maximum triphasé nous mettons en court-circuit produit sur les terminaux du transformateur.

Nous trouvons des courants de court-circuit aux points représentés sur figure (3,26) :

1. Au point B

$$I_{f.pu} = I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{V}{j(X_{system} + X_T)} = \frac{1}{j(0.0087 + 0.11)} = -j8.424 \text{ p.u} \quad \text{III.5}$$

$$I_f = I_{f.pu} \times I_{b2} = -j8.424 \times 945 = 7961 \text{ A} \quad \text{III.6}$$

2. Au point C

$$I_{f.pu} = I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{V}{j(X_{system} + X_T + X_L)} = \frac{1}{j(0.0087 + 0.11 + 0.0123)} = -j7.65 \text{ p.u} \quad \text{III.7}$$

$$I_f = I_{f.pu} \times I_{b2} = -j7.65 \times 945 = 7230 \text{ A} \quad \text{III.8}$$

Nous observons que le courant maximum de court-circuit est au point B - sur des terminaux de transformateur - et cela semble raisonnable parce que la valeur de Z_1 est moins au point B et cela rend le courant de défaut plus grand au point B égale 7961 A.

Notez que nous trouvons que le courant de défaut triphasé à la plus grande valeur du courant dans le système d'alimentation[18].

Et pour trouver le courant de défaut minimum nous calculons le défaut (L-L) entre phases au point C :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} = \frac{V_f}{2Z_1} = \frac{V}{j2(X_{system} + X_T + X_L)} = \frac{1}{j2(0.0087 + 0.11 + 0.0123)} = -j3.82 \text{ p.u}$$

$$I_{f.pu} = a^2 I_{a1} + a I_{a2} = -j6.625 \text{ p.u}$$

$$I_f = I_{f.pu} \times I_{b2} = -j6.625 \times 945 = 6261 \text{ A}$$

Signe :

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$I_{a1} = -I_{a2}$$

III.3.3 Calculs de protection différentiels pour le transformateur

III.3.3.1 Sélection des transformateurs de courant

Les courants primaire et secondaire pour le transformateur sont :

$$I_{pri} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \times V_{N1}} = \frac{54 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 132 \times 10^3} = 236 A \tag{III.9}$$

$$I_{sec.} = \frac{S_N}{\sqrt{3} * V_{N2}} = \frac{54 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 33 \times 10^3} = 945 A \tag{III.10}$$

Nous relierons des TC du côté de Y du transformateur de puissance - côté primaire avec la connexion de Δ et nous relierons les TC du côté de Δ du transformateur de puissance - côté secondaire à la connexion de Y comme dans figure (III.33).

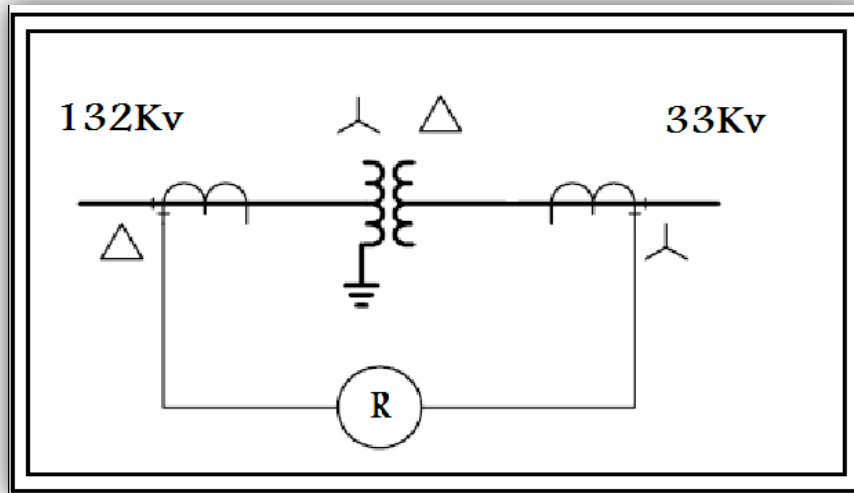


Fig (III.33) : Connexions du T.C SUR le transformateur de puissance

Le courant secondaire des transformateurs est 945 A, ainsi nous sélectionnons un T.C avec le rapport (950/1) pour le côté secondaire du transformateur de puissance.

Le courant primaire égale 236 A, pour un montage Δ le courant primaire sera:

$$I_{priL-L} = I_{priPh} \times \sqrt{3} = 236 \times \sqrt{3} = 408.76 A \tag{III.11}$$

Ainsi nous sélectionnons un T.C avec un rapport (410/1) pour le côté primaire du transformateur de puissance. Le courant de différentiel aux égales de conditions normales :

$$I_{DIF} = I_{secL-L}(T.C) - I_{priL-L}(T.C) \cong 0 A \tag{III.12}$$

III.3.3.2 Protection différentiel de pourcentage

Nous calculerons le courant d'opération en cas de courant de défaut maximum et minimum et déterminerons l'opération de la protection en ce qui concerne ces défauts :

- Défaut triphasé :

Dans ce cas nous examinerons l'opération du système de protection pour le courant de défaut maximum au point B

$$I_{f.s} = 7961A$$

$$I_{f.p} = I_{f.s} \times \frac{33}{132} = 1990.25$$

III.13

Ce défaut est montré dans figure (III.34)

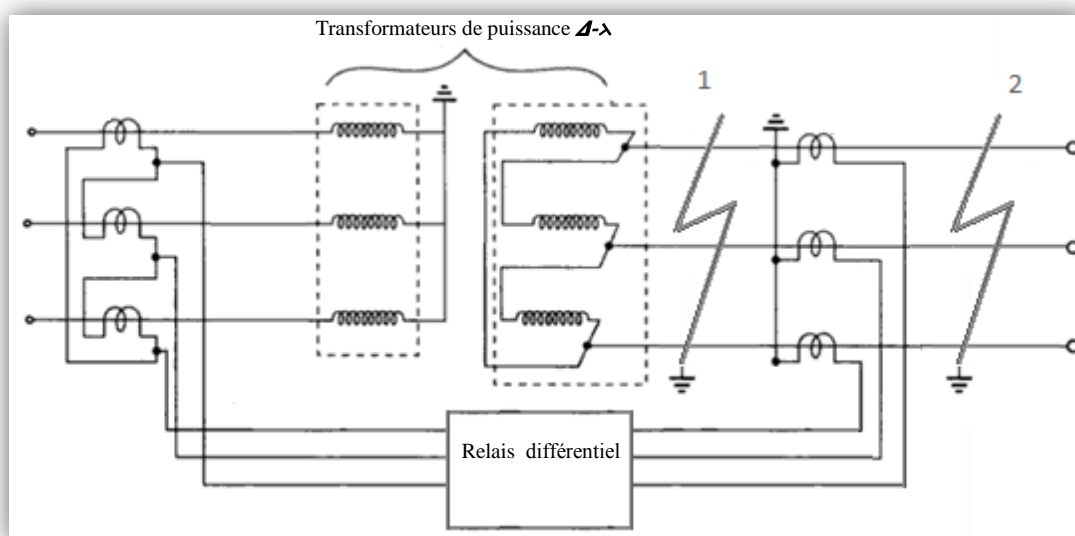


Fig (III.34) : Défaut triphasé à la terre : (1) le défaut est dans la zone protégée
(2) le défaut est à l'extérieur la zone protégée.

1- Si le défaut est dans la zone protégée :

$$I_{TC1} = \frac{1990.25 * \sqrt{3}}{410} = 8.407 \quad \text{III.14}$$

$$I_{TC2} = 0.0$$

$$I_{op} = I_{CT1} - I_{CT2} \quad \text{III.17}$$

$$I_{op} = 8.407$$

$$I_r = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} = 4.203 \quad \text{III.18}$$

$$I_{op} = K \times I_r \quad \text{III.19}$$

$$\frac{I_{op}}{I_r} = K$$

$$\frac{8.406}{4.203} = 2 > 25\%$$

Le relais fonctionne et envoyer un signal de déclanchement au disjoncteur pour ouvrir. dans le cas de transformateurs de puissance, le réglage de pourcentage est de basse l'ordre de 20% à 25% du valeur maximale .

2- Si le défaut est à l'extérieur de la zone protégée :

$$I_{CT1} = \frac{1990.25 * \sqrt{3}}{410} = 8.407$$

$$I_{CT2} = \frac{7961}{950} = 8.38$$

$$I_{op} = I_{CT1} - I_{CT2}$$

$$I_{op} = 0.027$$

$$I_r = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} = 8.3935$$

$$I_{op} = K \times I_r$$

$$\frac{I_{op}}{I_r} = K$$

$$\frac{0.027}{8.3935} = 0.0032 < 0.25$$

Le relais ne fonctionnera pas.

- Défaut phase à phase

Dans ce cas, nous allons tester le fonctionnement du système de protection pour le courant de défaut minimale au point B ; Ce défaut est montré dans figure (III.34)

$$I_{f.s} = 6894.4A$$

$$I_{f.p} = I_{f.s} \times \frac{33}{132} = 1723.6$$

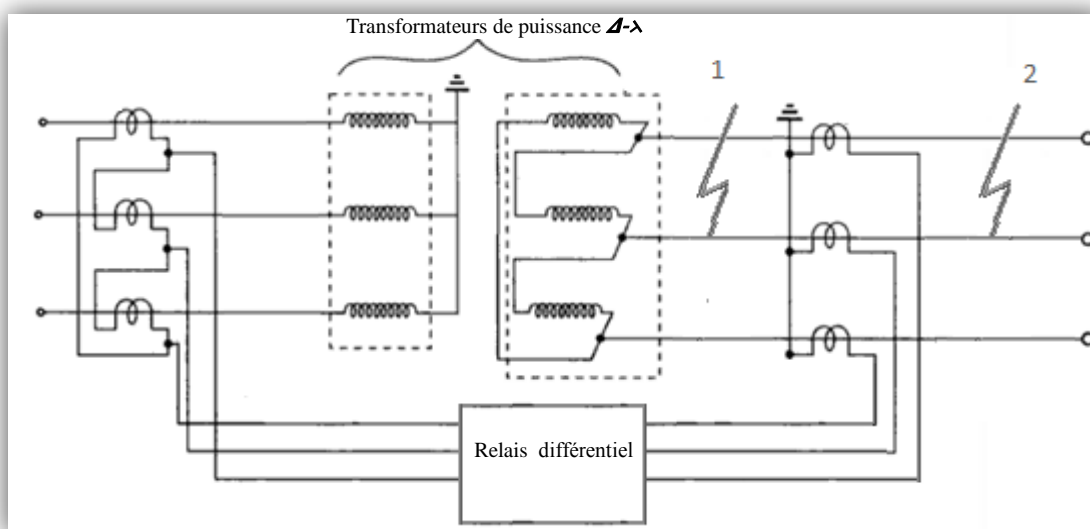


Fig (III.35) Défaut phase à phase: (1) le défaut est dans la zone protégée, (2) le défaut est extérieur la zone protégée

1- Si le défaut est dans la zone a protégée :

$$I_{CT1} = \frac{1723.6 * \sqrt{3}}{410} = 7.28$$

$$I_{CT2} = 0.0$$

$$I_{op} = I_{CT1} - I_{CT2}$$

$$I_{op} = 7.28$$

$$I_r = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} = 3.64$$

$$I_{op} = K \times I_r$$

$$\frac{I_{op}}{I_r} = K$$

$$\frac{7.28}{3.64} = 2 > 0.25$$

Le relais fonctionne et envoyé le signal de déclanchement aux disjoncteurs.

2- Si le défaut est à l'extérieur la zone protégée :

$$I_{CT1} = \frac{1723.6 * \sqrt{3}}{410} = 7.28$$

$$I_{CT2} = \frac{6894.4}{950} = 7.257 A$$

$$I_{op} = I_{CT1} - I_{CT2}$$

$$I_{op} = 0.023$$

$$I_r = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} = 7.2685$$

$$I_{op} = K \times I_r$$

$$\frac{I_{op}}{I_r} = K$$

$$\frac{0.023}{7.2685} = 0.00316 < 0.25$$

Le relais ne fonctionnera pas.

CHAPITRE IV

Protection différentielle utilisant le MATLAB

IV.1 Introduction

Le Matlab est un logiciel de calcul numérique produit par Math Works; Il est disponible sur plusieurs plate formes. Matlab est un langage simple et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices, d'où son nom. Pour le calcul numérique, Matlab est beaucoup plus concis que les "vieux" langages (C, Pascal, Fortran, Basic). Les utilisations typiques incluent : -

1. Maths et calcul
2. Développement d'algorithme
3. Simulation de modélisation, et prototypage
4. Exploration d'analyse de données, et visualisation
5. Graphiques scientifiques et techniques
6. Développement d'applications, compris l'utilisation d'interface graphique

Le Matlab est un système interactif dont l'élément de base de données est un tableau qui ne nécessite pas de dimensionnement. Cela vous permet de résoudre de nombreux problèmes informatiques techniques, en particulier ceux forme avec des matrices et vecteurs, en une fraction du temps.

Le Matlab a évolué sur une période de plusieurs années avec la participation de nombreux utilisateurs. Dans les environnements universitaires, il est l'outil pédagogique standard pour des cours d'initiation et de perfectionnement en mathématiques, en génie et en sciences. Dans l'industrie, Matlab est un outil de choix pour la recherche de haute productivité, de développement et d'analyse.

IV.2 Pièces de système Matlab

Le système Matlab se compose de cinq parties principales:

IV.2.1 Environnement de développement

C'est l'ensemble des outils et des installations qui vous aidez à utiliser les fonctions Matlab et des fichiers. Un grand nombre de ces outils sont des interfaces utilisation graphiques. Il comprend le bureau de Matlab et fenêtre de commande, un historique des commandes, un éditeur et débogueur, et les navigateurs de l'aide de visualisation, l'espace de travail, les fichiers et le chemin de recherche.

IV.2.2 La bibliothèque de fonction mathématique de Matlab

C'est une vaste collection d'algorithmes informatiques s'étendant des fonctions élémentaires comme la somme, sinus, cosinus, et l'arithmétique complexe, à des fonctions plus sophistiquées comme l'inverse de matrice, des valeurs propres de matrice, des fonctions Bessel, et transformée de Fourier.

IV.2.3 La langue de Matlab

C'est une langue de haut niveau de matrice/rangée avec des déclarations de flux de commande des fonctions, des structures de données, l'entrée-sortie, et des configurations de programmation orientée objet. Elle laisse chacun des deux « les débutants » pour créer rapidement des petits programmes, et « les professionnel » pour créer de grands et complexes programmes d'application.

IV.2.4 Matlab Graphiques

Le Matlab a les équipements étendus pour convertir des vecteurs et des matrices à de graphes, aussi bien qu'annoter et imprimer ces graphiques. Il inclut des fonctions de haut niveau pour la visualisation bidimensionnelle et tridimensionnelle de données, le traitement d'images, l'animation. Il inclut également des fonctions de bas niveau qui te permettent d'adapter entièrement l'aspect des graphiques aussi bien que d'établir aux besoins du client les interfaces utilisateur graphiques complètes sur les applications de Matlab.

IV.2.5 L'Application Programme Interface de Matlab (API)

Il s'agit d'une bibliothèque qui vous permet d'écrire C et Fortran programmes qui interagissent avec MATLAB. Il comprend des installations pour appeler des routines de Matlab (de liaison dynamique), appelant Matlab comme un moteur de calcul, et pour la lecture et l'écriture - MAT fichiers.

IV.3 Le simulation

Le simulation est un logiciel de modélisation système multi physique édité par l'entreprise américaine The MathWorks

Le simulation est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal. Simulink est intégré à MATLAB, fournissant ainsi un accès immédiat aux

nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation et d'analyse de données de MATLAB.

IV.4 Modélisation de la protection différentielle par Matlab

Dans cette partie A un modèle de simulation d'une protection différentielle pour un transformateur (132/33KV) a été exécuté pour les cas suivants :

1. Fonctionnement normal.
2. Défauts externes.
3. Défauts internes.
4. Courant de mise en service(d'appel).

IV.4.1 Fonctionnement normal

Ce cas est montré sur la figure (IV.1) ; la protection différentielle ne fonctionne pas.

Pour :

Courant T.C₁ = Courant T.C₂

$I_d \cong zero.$

Les formes d'ordre sont montrées dans le figure [(IV.2), (IV.3), et (IV.4)].

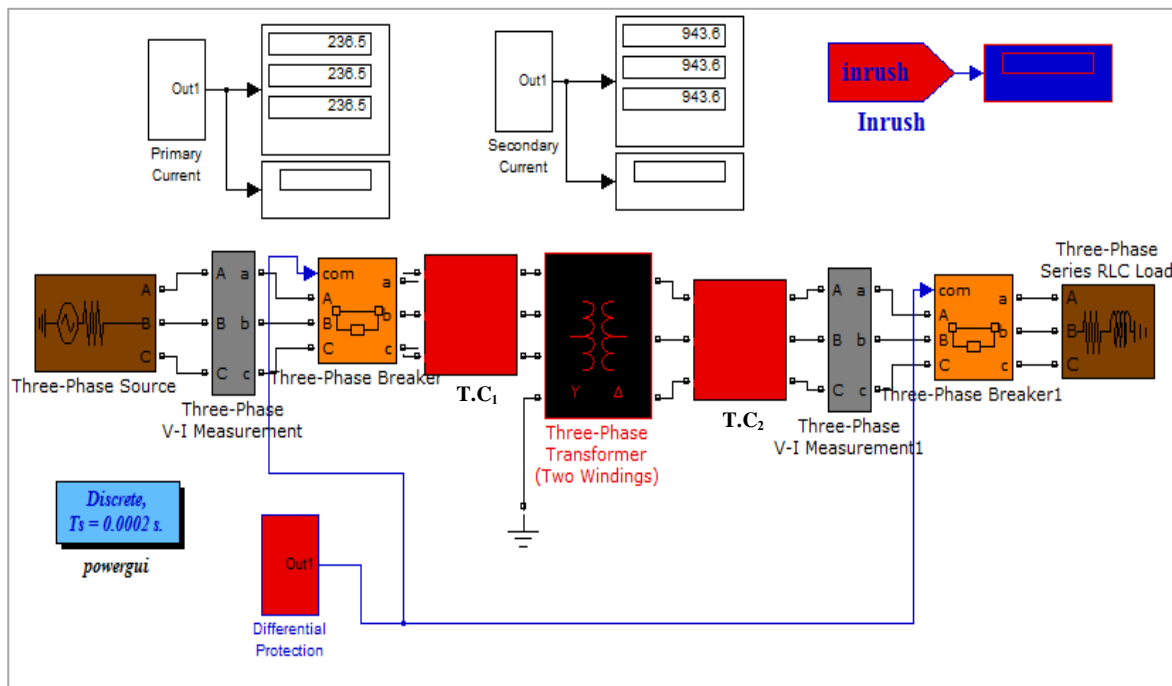


Fig (IV.1) : Modèle de fonctionnement normal.

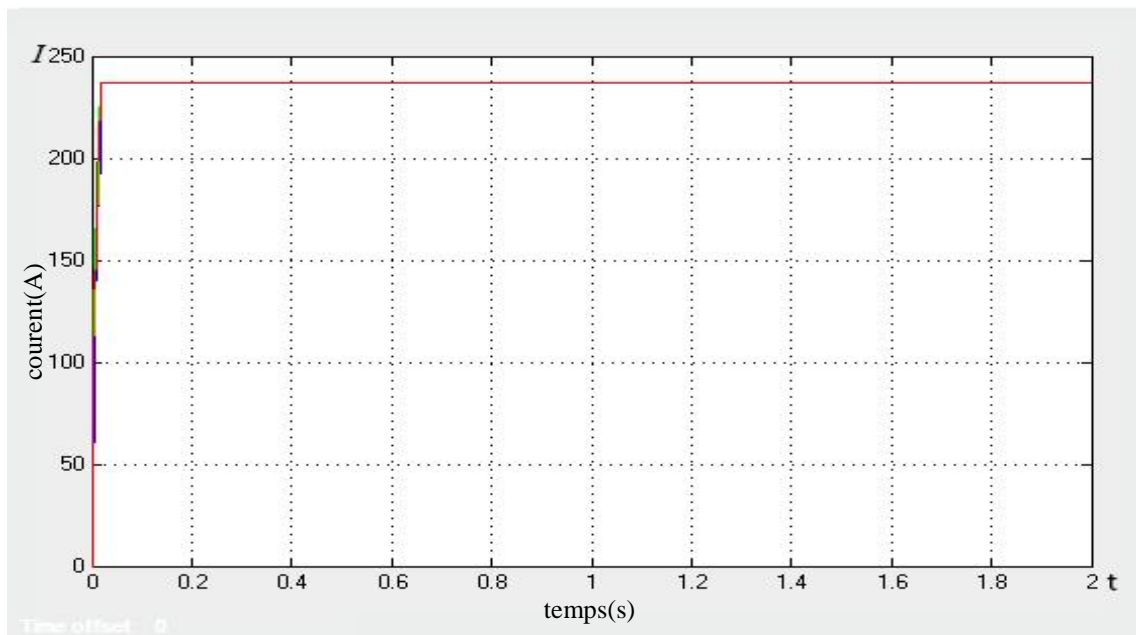


Fig (IV.2) : Courant primaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

La figure ce contre maître clairement que le courent primaire n'est pas altérer pan aucun défaut

IDEM que le courent primaire, et le courent secondaire n'est pas affecté pour aucun défaut

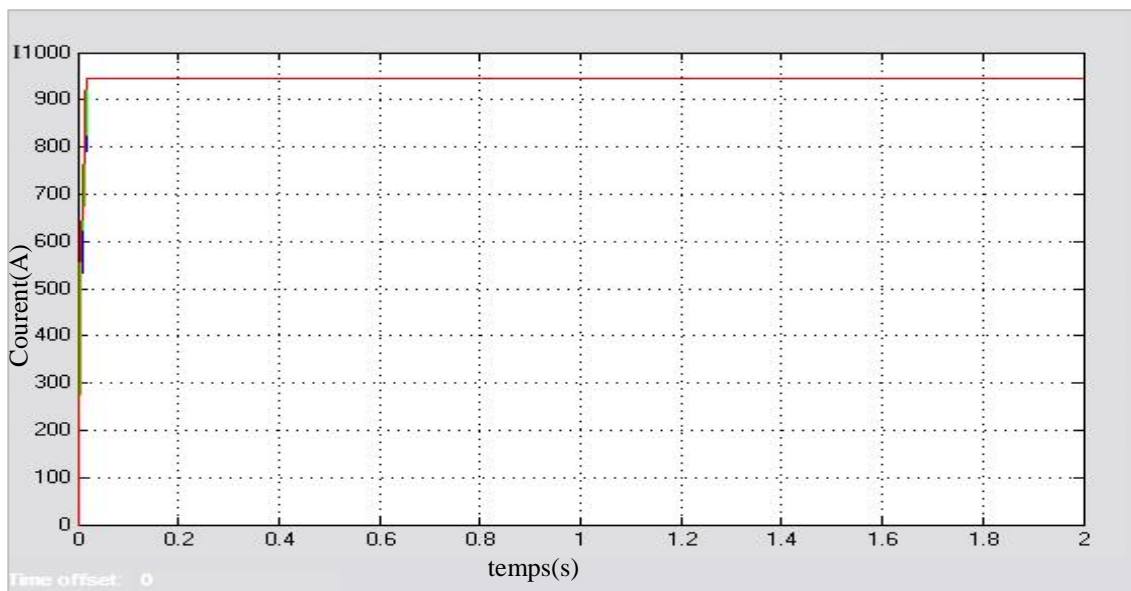


Fig (IV.3) : Courant secondaire du transformateur de puissance (aucun défaut).

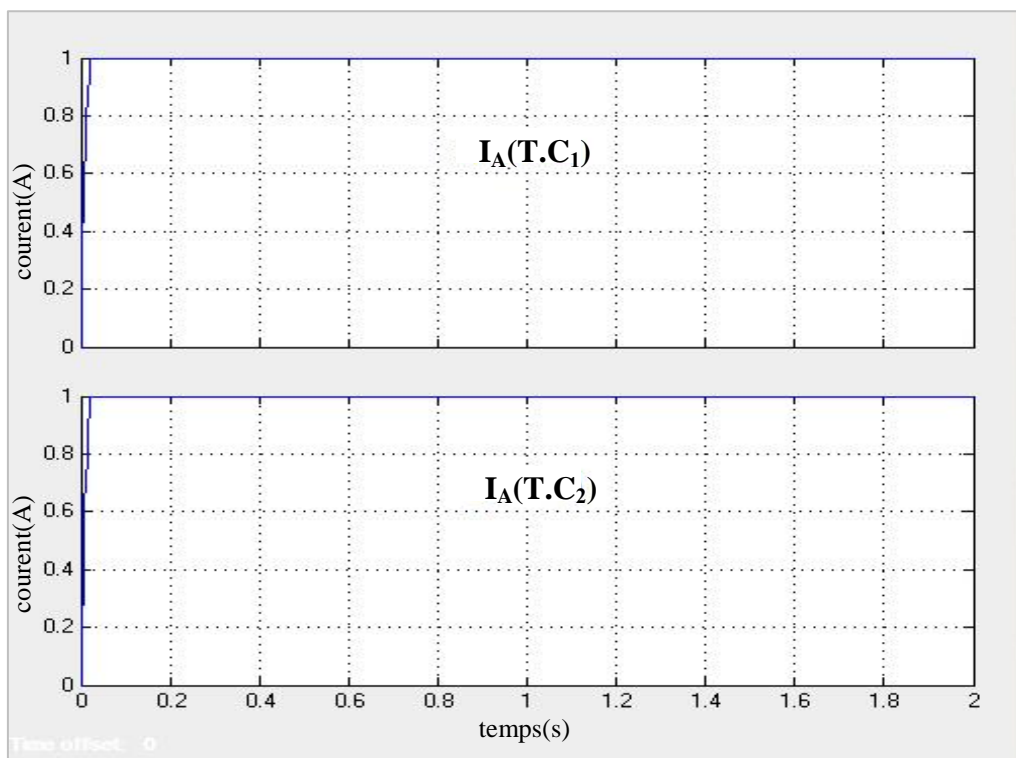


Fig (IV.4) : Courant de T.C pour la phase A (aucun défaut).

IV.4.2 Défauts externes

Ce cas est montré dans figure (IV.5), la protection différentielle ne fonctionne pas.

Pour : Courant T.C₁ = Courant T.C₂

$$I_d = I_{unb.}$$

Les formes d'onde sont montrées dans le figure [(IV.6), (IV.7), et (IV.8)].

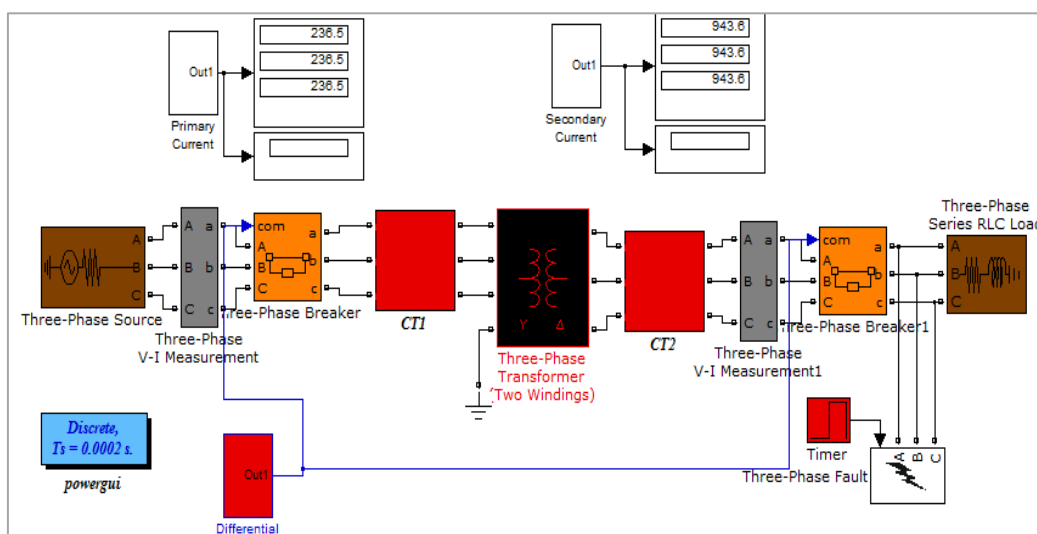


Fig (IV.5) : Modèle de défaut 3Ph externe .

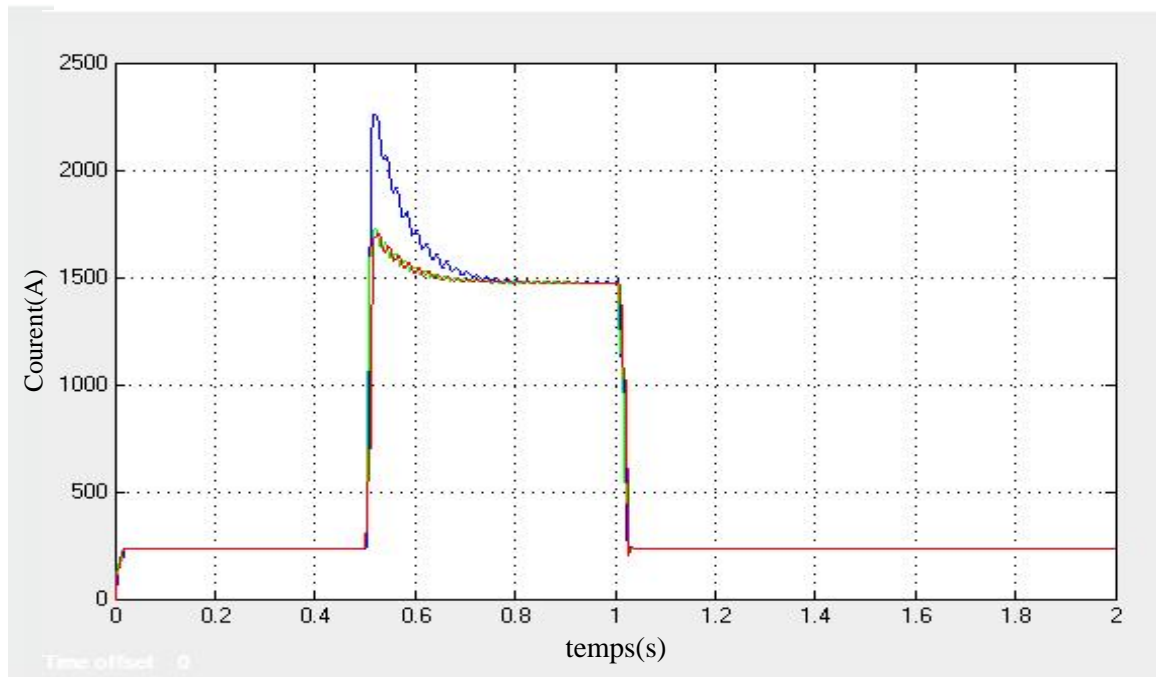


Fig (IV.6) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut 3Ph.ext)

Les formes des courants primaires et secondaires du transformateur de puissance resteront une charge lors d'un défaut externe ils sont altérés uniquement pendant une période transitoire du défaut de quelques millisecondes

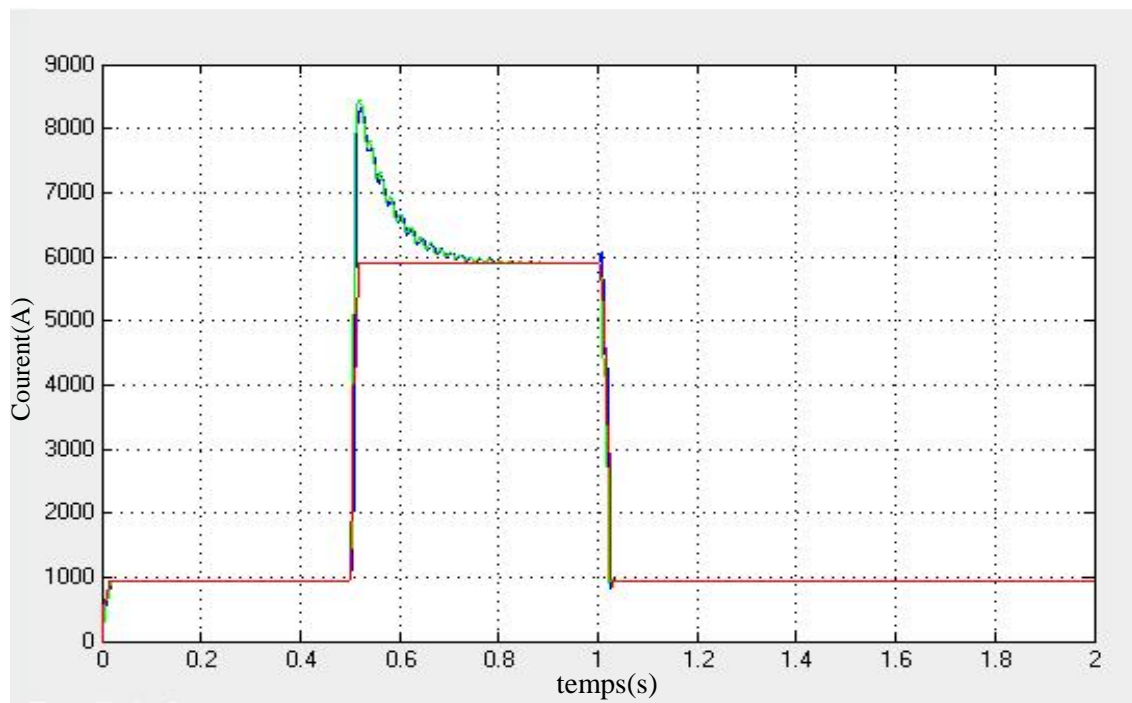


Fig (IV.7) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut 3Ph.ext)

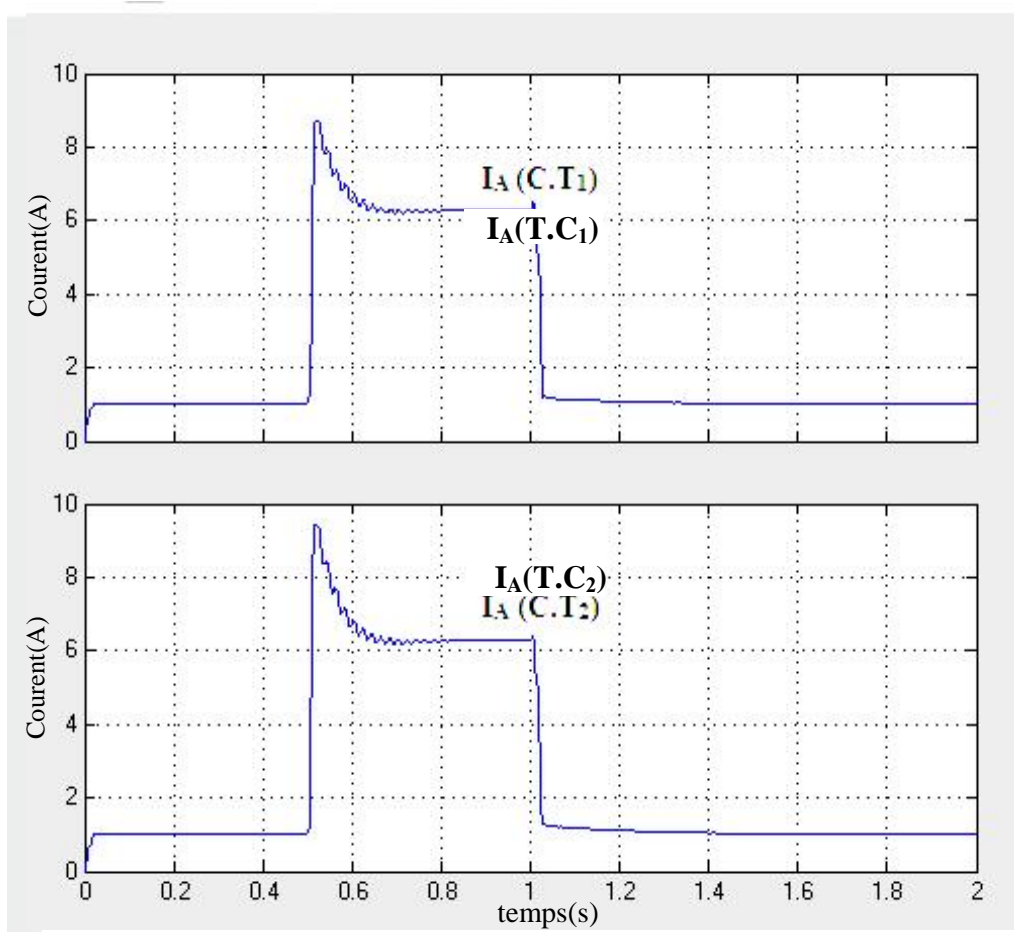


Fig (IV.8) : Courant de T.C pour la phase A (défaut.ext).

La figure (IV.8), prouve que la différence entre les courants dans T.C₁ et T.C₂ sont petite et moins que la sélection vers le haut du courant de la protection différentielle, et la protection ne fonctionnera pas.

IV.4.3 Défauts internes

Dans ce défaut nous discuterons 3 cas de défauts. Le modèle interne de défaut est montré dans la figure (IV.9) ; nous observons que la protection différentielle fonctionne.

Pour :

Un courant T.C₁ = I_d.

Un courant T.C₂ ≅ zero.

IV.4.3.1 Défaut Triphasé interne

Les formes d'onde sont montrées dans le figure [(IV.10), (IV.11), (IV.12),et (IV.13)]

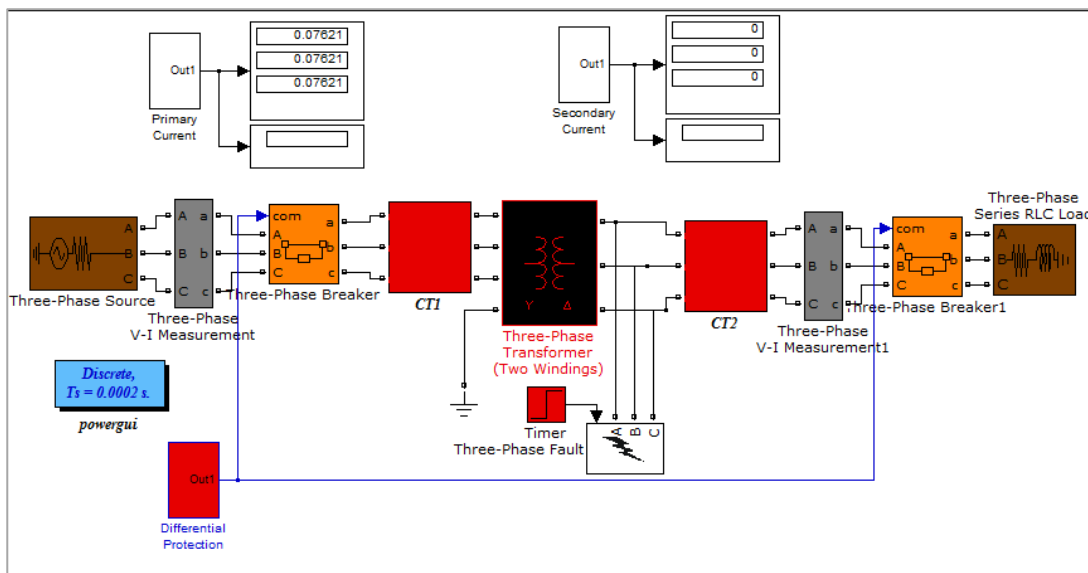


Fig (IV.9) : Modèle de défaut interne (3Ph-à la terre).

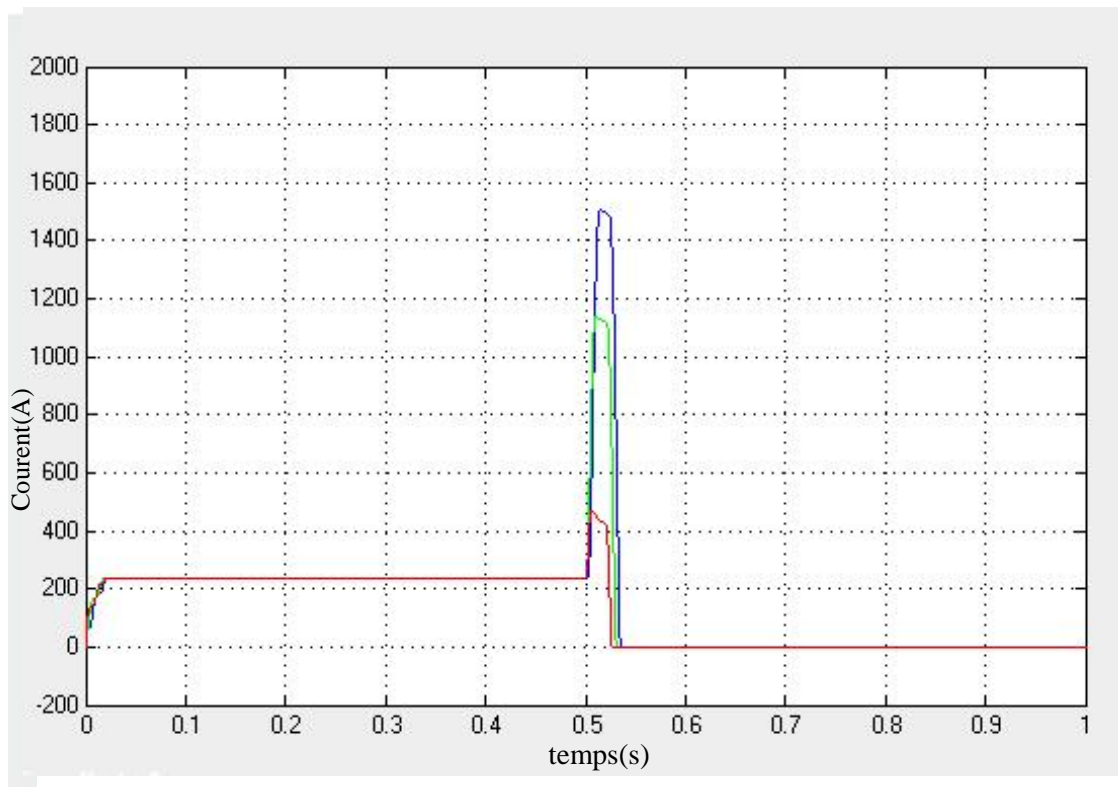


Fig (IV.10) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.int) (3Ph- à la terre).

Pour le défaut interne les courants primaire et secondaire passeront un zéro apis une période transitoire de quelque milliseconde le relai différentielle met le transformateur en hors service

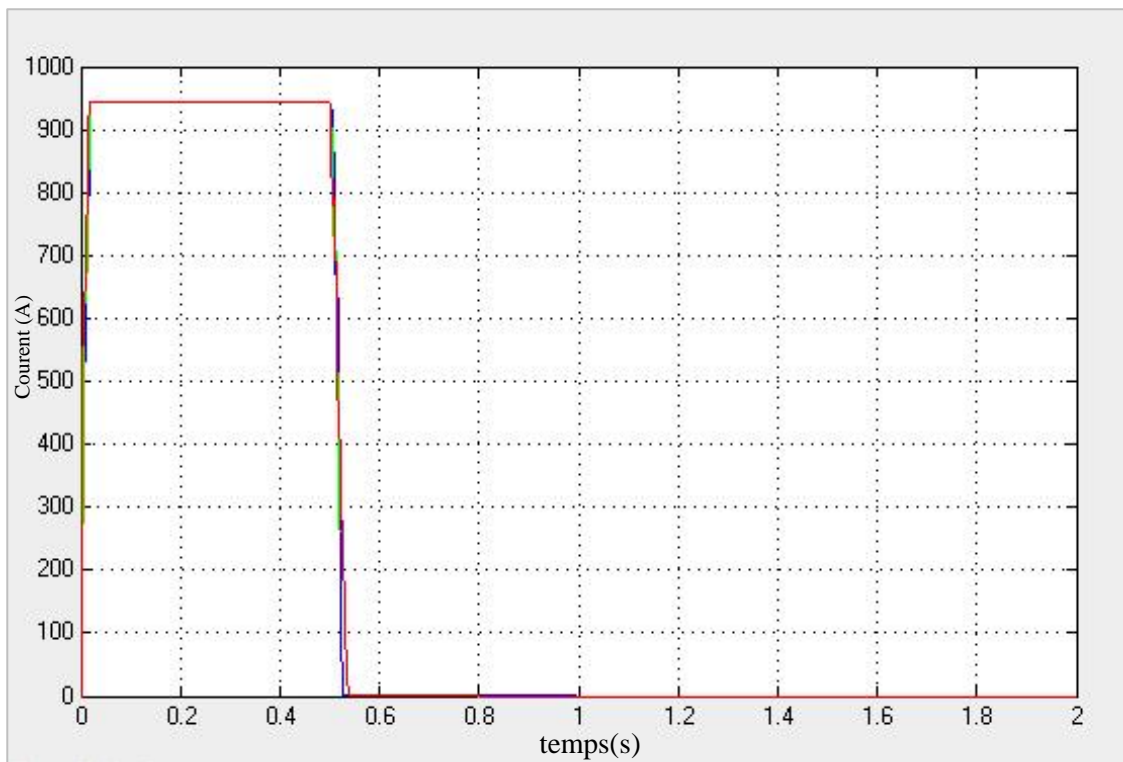


Fig (IV.11) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.int) (3Ph- à la terre).

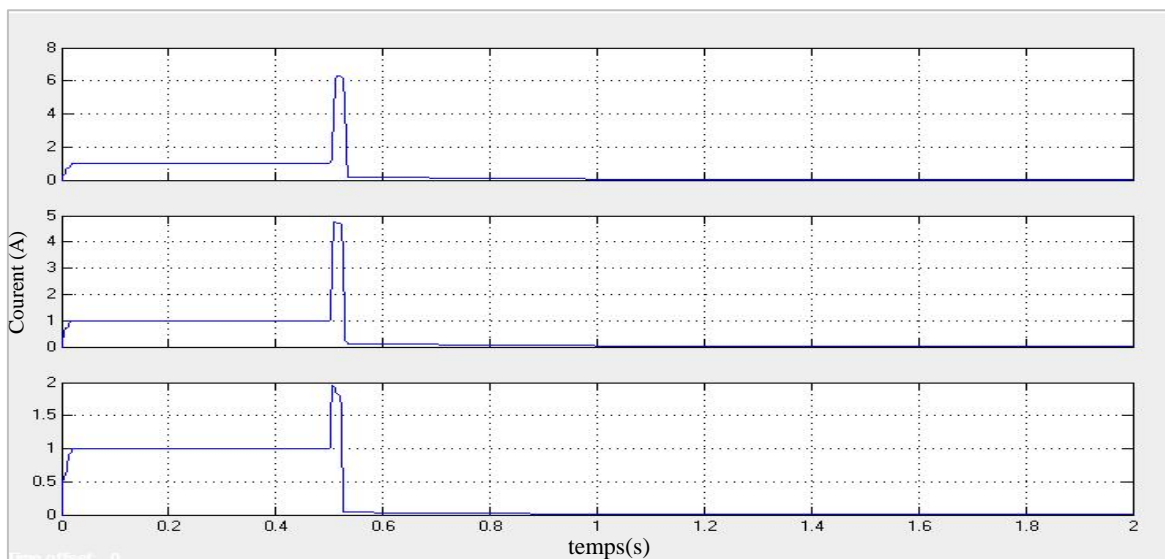


Fig (IV.12) : 3 formes d'onde de phase dans T.C1 (défaut.int) (3Ph- à la terre).

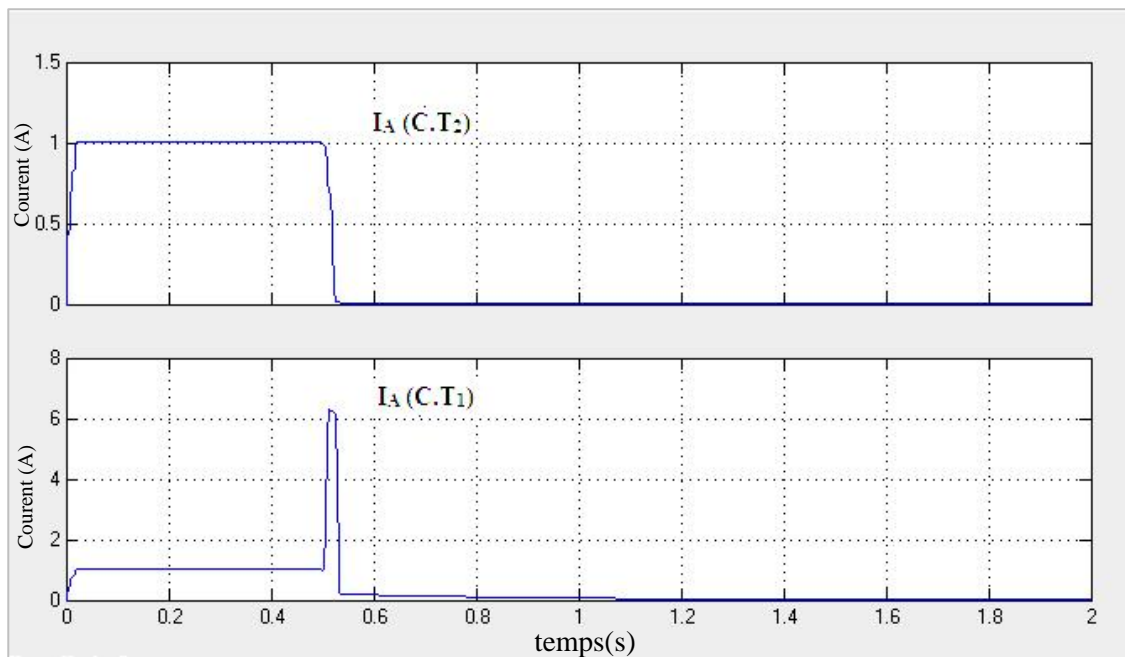


Fig (IV.13) : Défaut courant de T.C pour la phase (défaut.int) (3Ph- à la terre).

IV.4.3.2 Défaut Monophasé interne

Le monophasé interne pour rectifier le défaut (modèle de phase A) est montré l'in figure (IV.14)

Les formes d'onde sont montrées dans le figure [(IV.15), (IV.16),et (IV.17)]

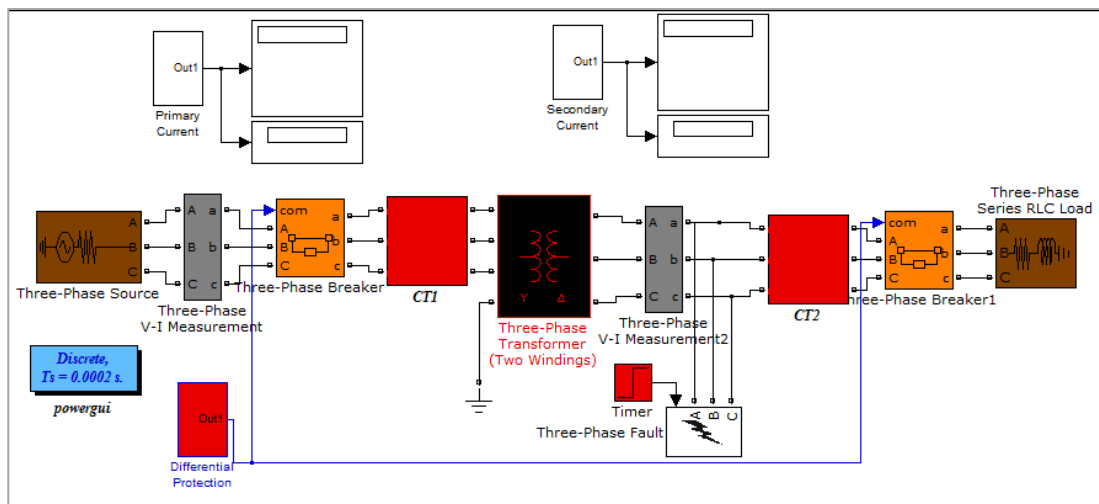


Fig (IV.14) : Modèle interne de défaut (1Ph- à la terre).

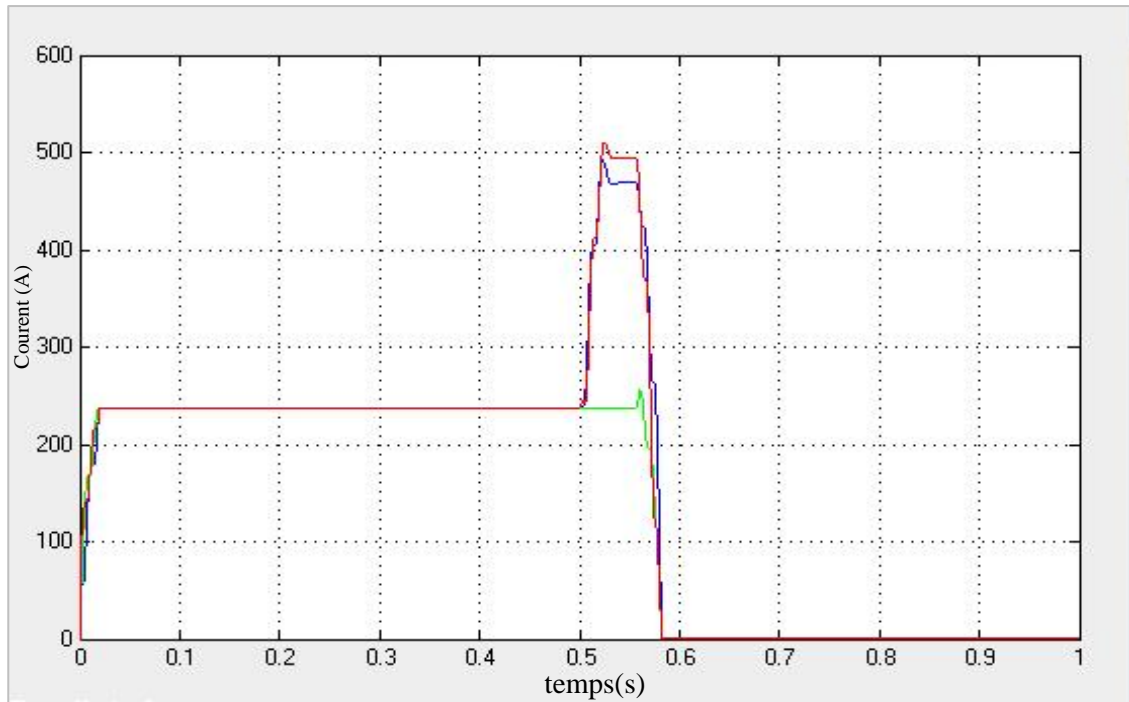


Fig (IV.15) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.int) (1Ph- à la terre).

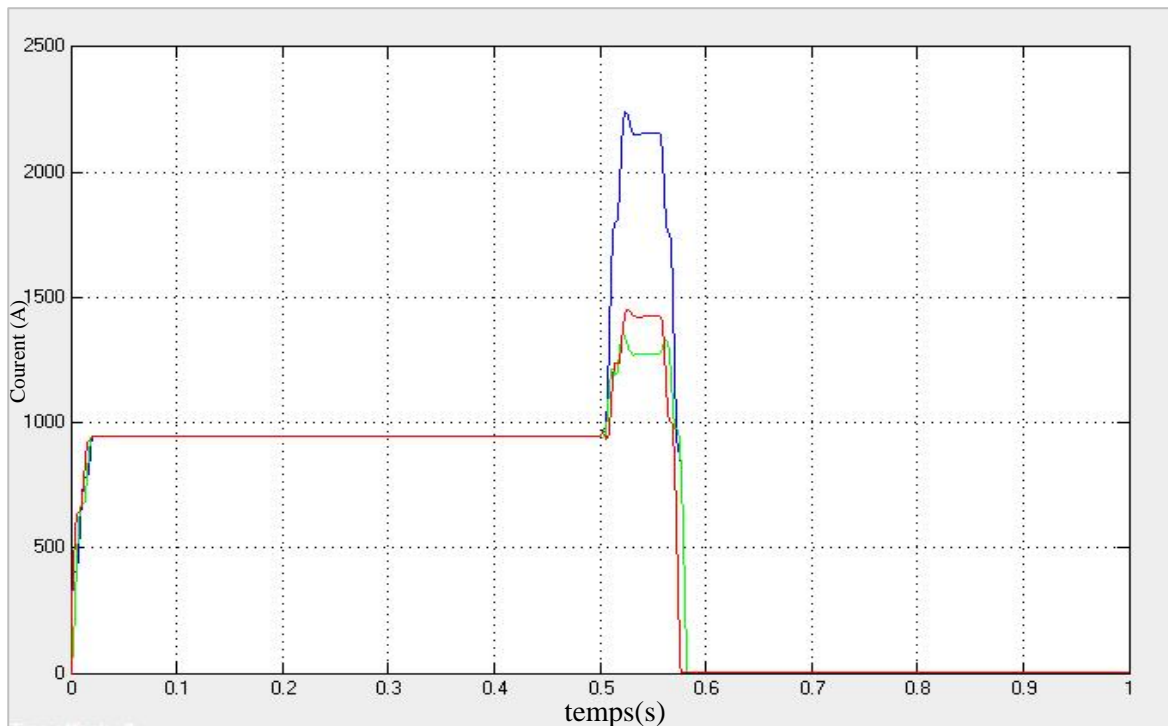


Fig (IV.16) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.int) (1Ph- à la terre).

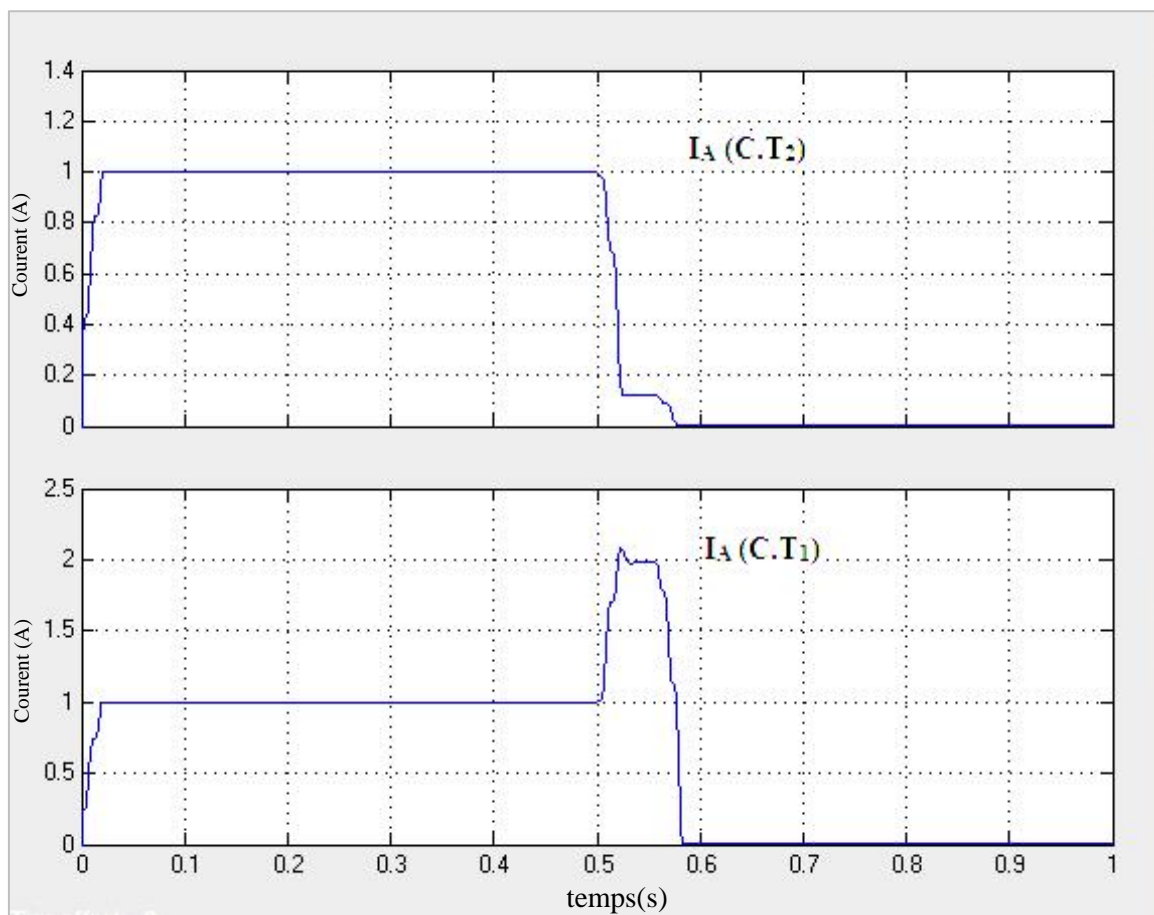


Fig (IV.17) : Courant de C.T pour la phase A (défaut.int) (1Ph- à la terre).

IV.4.3.3 Défaut triphasé interne de court-circuit

Le modèle triphasé interne de défaut de court-circuit est montré dans figure (IV.18). Les formes d'onde sont montrées dans la figure [(IV.19), et (IV.20)]

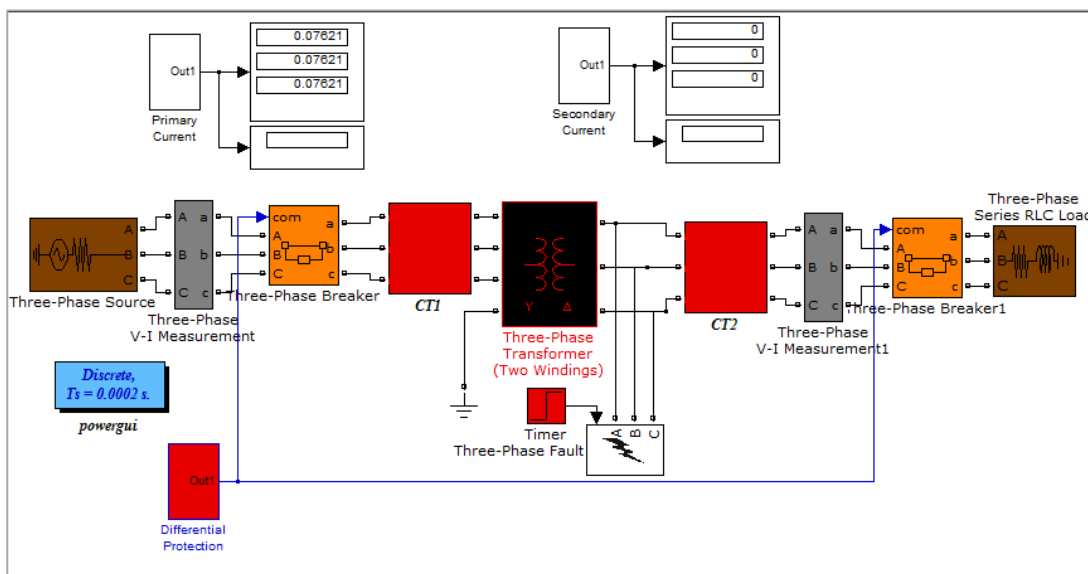


Fig (IV.18) : Modèle interne de défaut (CC.3Ph).

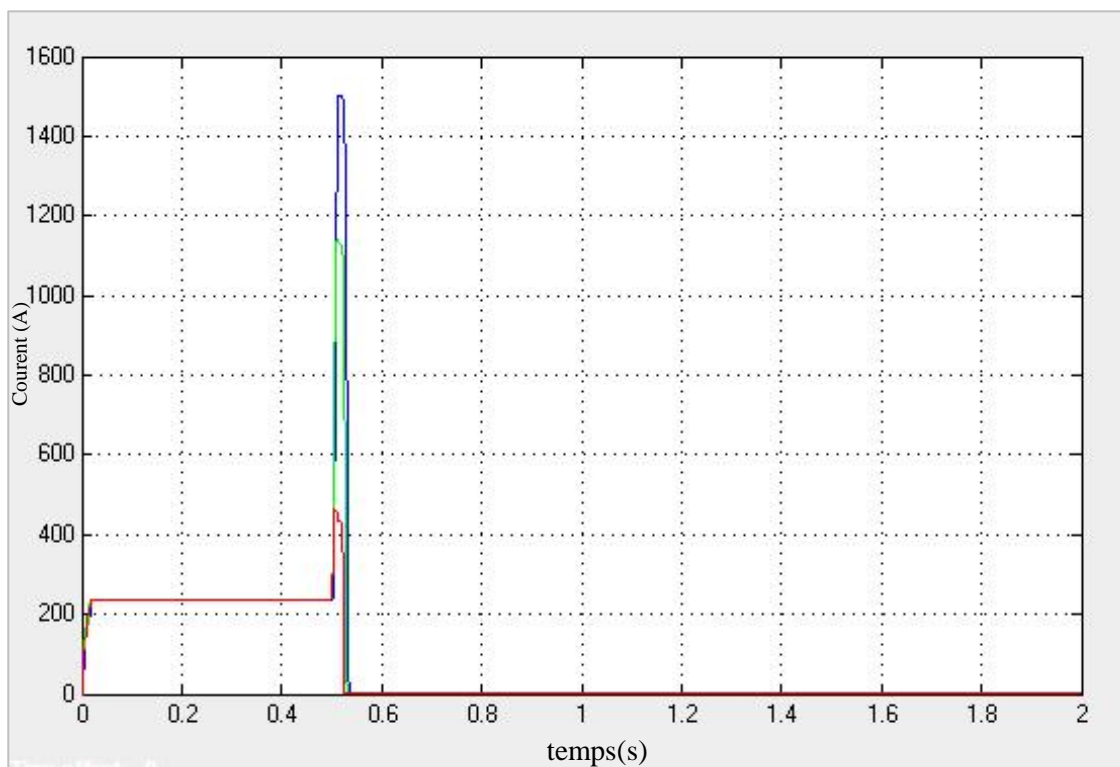


Fig (IV.19) : Courant primaire du transformateur de puissance (défaut.int) (CC.3Ph).

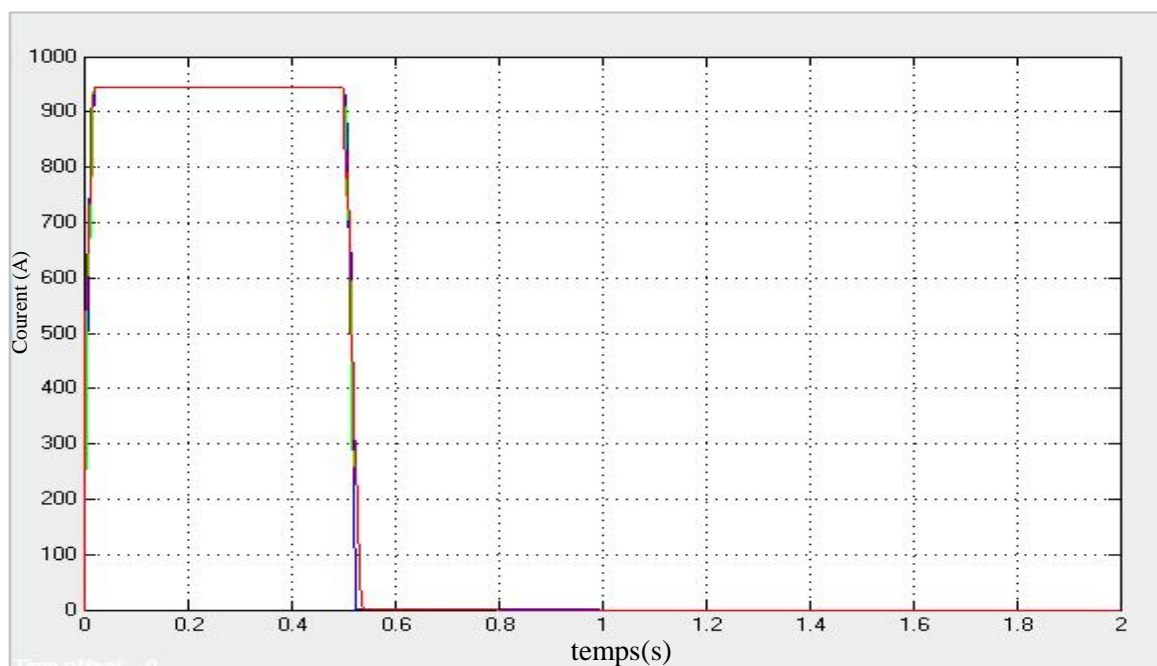


Fig (IV.20) : Courant secondaire du transformateur de puissance (défaut.int) (CC.3Ph).

IV.4.4 Appel condition de courant

Quand un transformateur active d'abord, une coupure sortant des écoulements pour établir le lien entre les conditions sortant avant que le transformateur active et les conditions dictées par des conditions équilibrées, qui est courant d'appel appelé par courant, et figure (IV.22)

montre le courant d'appel qui s'est produit dans le modèle.

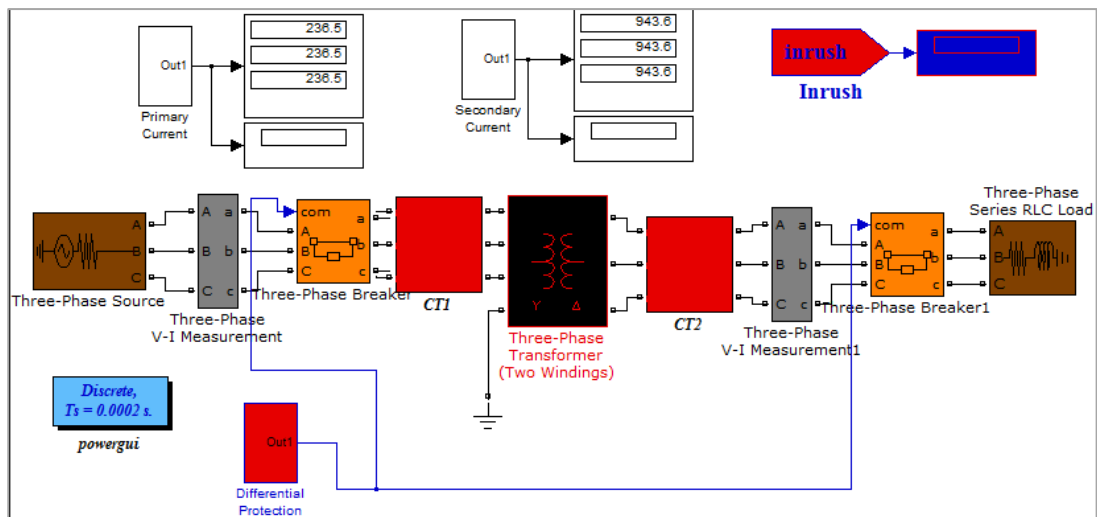


Fig (IV.21) : Modèle de courant d'appel.

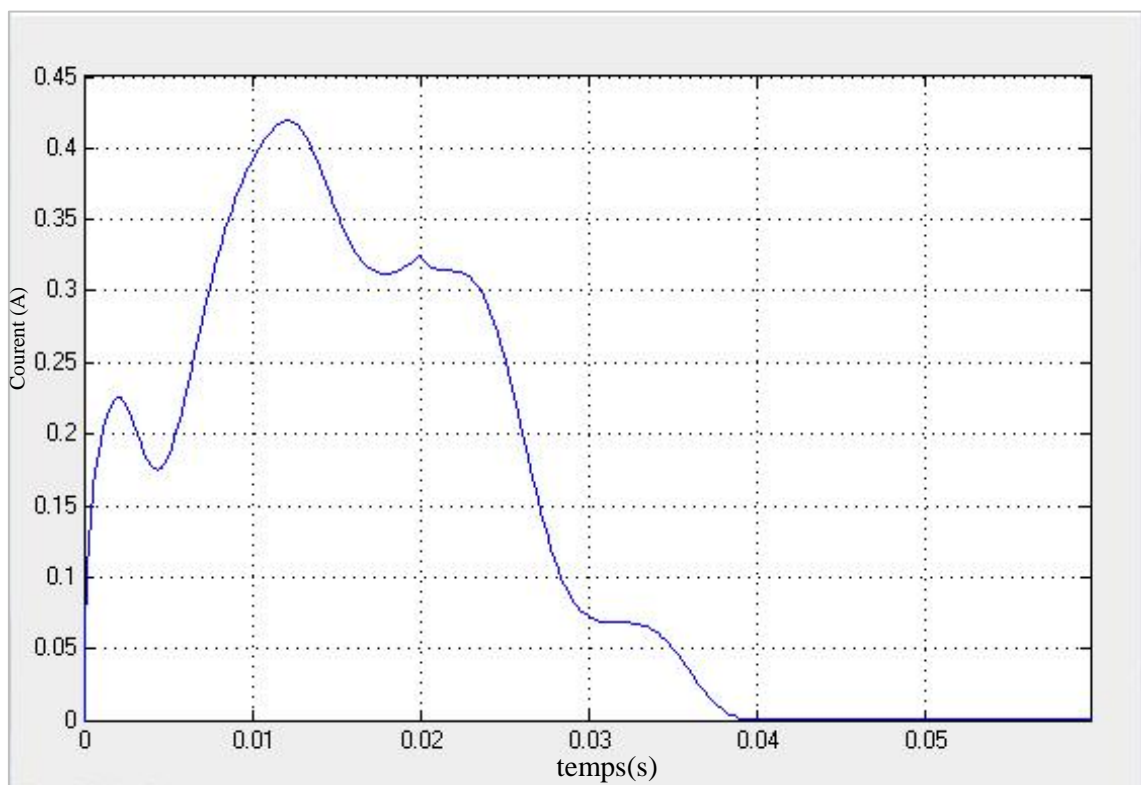


Fig (IV.22) : Courant d'appel pour la phase A (aucun défaut).

Dans ce cas (courant d'appel), la protection différentielle ne fonctionne pas, parce que la différence actuelle (suivant les indications de figure (IV.23)) est très petit et négligeable. Cela signifie qu'il n'y a aucun état défectueux, mais condition anormale.

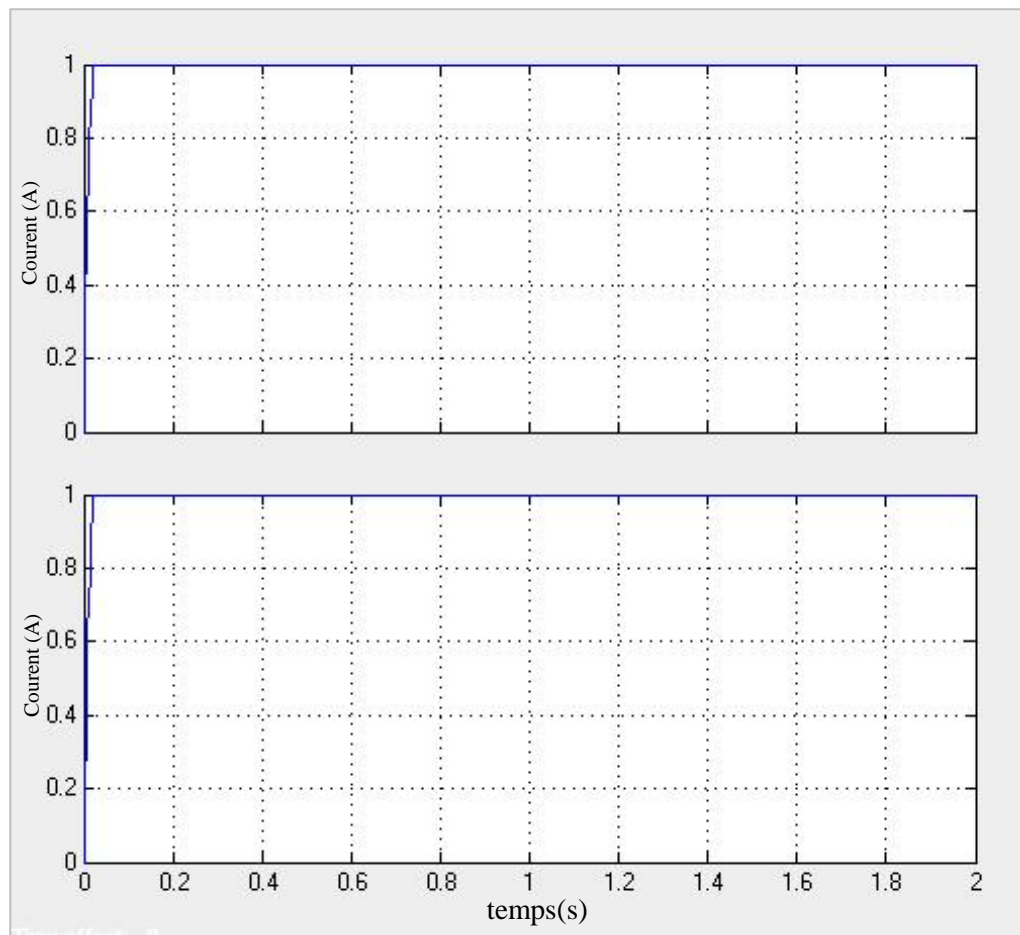


Fig (IV.23) : Courant de T.C pour la phase A (état d'appel)

Conclusion Générale

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

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

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

La protection différentielle des transformateurs des puissance et l'une des moyens les plus efficaces de protection contre les défauts interne à la zone protégée.

Ainsi notre étude est focalisée sur cette protection. Tous les défauts possibles qui peuvent survenir dans un réseaux de transport ont été simulé sur l'environnement Matlab avec une protection différentielle qui protège le transformateur de puissance choisi dans ce travail (132/33 kv). Les résultats obtenu montre une performance et une fonctionnement correcte de relai différentiel.

Comme perspective à notre travail nous suggérons l'application des méthodes d'intelligence artificielle pour la commande des moyens des protections des transformateurs de puissance.

Référence

- [1] B. R. Gupta , *Power system analysis and design* 3^{ed} 1998
- [2] J. Lewis Blackburn Thomas J. Domin, *Protective Relaying Principles & Applications* Third Edition, 2007.
- [3] U.A. Bakshi & M.V. Bakshi, *Protection & Switchgear*
- [4] [E.E.I-2008] Procès verbale de contrôle de transformateur, Entreprise Electro-industries (ex-ENEL Azzazga, Tizi-Ouzou).
- [5] Anthony F. Sleva, *Protective Relay principle*, 2009.
- [6] James H. Harlow ,*Electric Power Transformer Engineering*, 2004
- [7] [Rob-1999] Frederic Robert « *Modélisation et simulation de transformateurs pour alimentations à découpage* » Thèse de Doctoraten Sciences Appliquées Université Libre de Bruxelles, Août 1999.
- [8] Zoran Gajić *Differential Protection for Arbitrary Three Phase Power Transformers* 2008.
- [9] John J. Grainger and William D. Stevenson JR, *Power System Analysis*.
- [10] [Bah-1999] Bahmane Omar Chaouche Reda Chami Abdelhakim « *Processus de réalisation et calcul d'un transformateur* » mémoire de fin d'étude DEUA en électrotechnique Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [11] Gerhard Ziegler, *Numerical Differential Protection: Principles and Applications* 2011.
- [12] L.G. Hewitson, Mark Brown, and Ramesh Balakrishnan, *Practical power system protection*, 2004.
- [13] Description du réseau 225 kV EDF et des transformateurs utilisés à travers la coordination de l'isolement : [PDF] *Coordination des isolements du réseau 225 kV* EDF, sur le site norm.edf.fr.
- [14] L.Satish, Subrat K.Sahoo, « *Locating faults in a transformer winding: An experimental study* », Electric Power Systems Research 79 (2009)89-97.

- [15] Présenté à la faculté des sciences de l'ingénieur Département d'Electrotechnique
Magister En Electrotechnique « *diagnostic des transformateurs de puissance par la
méthode d'analyse des gas dissous: application des réseaux de neurones* »
- [16] SONELGAZ Doctrine de maintenance du réseau de transport, Cahier N°2 :
« *Les transformateurs de puissance* » GRTE, Région de transport de l'électricité d'Alger
08-09-2008.
- [17] [May-2006] Pierre Mayé « *Aide mémoire électrotechnique* » Dunod, Paris 2006
ISBN 210049578 X.
- [18] [Ahm-1992] Ahmad Ahmad « *Contribution a la modélisation des transformateurs
de puissance et de leur comportement en haute fréquence* » Ecole centrale de Lyon
Thèse de Doctorat en Génie Electrique 1992