الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Yahia Farés De Médéa
FACULTE DE LA TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique



MÉMOIRE DE PROJET FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MASTER

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

SPÉCIALITÉ: RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

Thème :

Diagnostic d'un transformateur en ligne

Proposé et dirigé par :

M. Houassine hamza

Préparé et présenté par :

Rouibah Tayeb

Hamdaoui Abd el hamid

Anné Universitaire 2016-2017

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier tout d'abord, Allah, le tout puissant qui nous a donné le courage et la force de réaliser ce modeste travail.

Nous ne saurions finir sans exprimer nos vifs remerciements à l'endroit de toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de notre promoteur Mr. HOUASSINE Hamza. Pour avoir accepté de nous encadrer et d'avoir eu la gentillesse de lire et corriger ce travail.

Nous remercions les membres du jury pour la pertinence de leurs remarques avisées, qui vont permettre l'amélioration de la qualité du manuscrit et l'essor vers de nouvelles Perspectives.

Enfin, nous remercions l'ensemble des étudiants du département de Génie électrique et d'informatique.

DÉDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents pour leur encouragement durant la

Période de mes études,

Toute ma famille,

Tous les camarades du groupe de commande et réseaux

Électrique et groupe génie civile et biologie,

Tous mes amis,

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation, depuis le

Primaire à ce jour, en particulier : HOUASSINE HAMZA

Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment.



TAYEB ROUIBAH

DÉDICACE

Ce modeste travail, je le dédie : A ma mère mon soutien ultime et absolu.

A mon père, qui m'a inculqué les valeurs éthiques ;

A toute la famille ***Hamdaoui****, parce que les liens du sang sont sacrés ;*

A mes ami(e)s, acolytes et camarades de promo ;

A tous ceux qui souhaitent mon bonheur ;

A tous ceux qui ont cru et continuent de croire en moi ;

Et enfin a ***TAMANRASSET****.*

Hamdaoui Abd El Hamid, THE GHOST

الملخص :

هذه المذكرة تتمثل في تشخيص الاعطاب التي تصيب المحولات الكهربائية حلال عملية استغلالها .

هذا التشخيص يرتكز على العلاقة بين انخفاض التوتر الثنائي والتيار في ثنائي المحول ,هذه العلاقة جد حساسة لأي تغير في حمولة المحول أو في خصائص المحول بذاته هذه الطريقة قد جربت واثبتت على المحول .

مفتاح الكلمات: المحول الكهربائي, تشخيص, فرق التوتر ,دالة $\Delta V_2=f(I_2)$.

Résumé :

Ce mémoire est une étude de diagnostic de défaillances dans les enroulements du transformateur en plein régime de fonctionnement. Ce diagnostic est réalisé par l'intermédiaire de la caractéristique $\Delta V_2=f(I_2)$ qui est traduite par des cycles sensibles à toute variation de charge et de paramètres du transformateur. La méthode a été testée et validée sur un transformateur de laboratoire.

Mots clé : Transformateur, diagnostic, chute de tension, fonction $\Delta V_2=f(I_2)$.

Abstract :

This memory is a diagnostic study of failures in transformer windings at full operating speed. This diagnosis is made via the caracteristic $\Delta V_2 = f(I_2)$ Which is translated by cycles sensitive to any variation in load and parameters of the transformer. The method was tested and validated on laboratory transformer.

Key Word: transformer, Diagnosis, Fall of voltage, function $\Delta V_2=f(I_2)$.

Table des matières

LISTES DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Transformateur.

I.1.Introduction 1
I.2.Les Principaux éléments des transformateurs 1
I.3.Le principe de fonctionnement 1
I.4. Transformateur triphasé 3
I.4.1. Grandeurs caractéristiques d'un transformateur triphasé 3
I.4.2.Constitution du transformateur triphasé 4
I.4.3. Différents modes de couplages d'un transformateur triphasé 5
I.4.3.1. Connexion en étoile (Y) 5
I.4.3.2.Connexion en triangle(Δ) 5
I.4.3.3. Connexion Zigzag 5
I.5.Couplages normales d'un transformateur triphasé 6
I.5.1. Choix du couplage 6
I.6. Transformateurs spéciaux 6
I.6.1. Autotransformateur 7
I.6.2. Transformateur de tension (TT) 7
I.6.3. Transformateur de courant (TI) 8
I.7. Conclusion 9

Chapitre II: Les Défauts dans le transformateur.

Table des matières

II.1. Introduction 10
II.2. Défauts retenus dans cette étude 10
II.2.1. Défaut d'isolement de la partie active 10
II.2.2. Amorçage diélectrique entre spires 10
II.2.3. Court-circuit entre spires 10
II.2.4. Point chaud interne au transformateur 11
II.2.5. Coupure du circuit électrique 12
II.2.6 Défauts asymétriques 12
II.2.7 Transitoire sur Tension 12
II.3. Les mesures 12
II.3.1. Transformateur réel en charge 13
II .4Modélisation des transformateurs 15
II.4.1.Transformateur monophasé linéaire sans saturation 16
II.4.2.Transformateur monophasé avec saturation 17
II.5. Protections des transformateurs 17
II.5.1. Protections électriques 18
a.Protection « masse cuve »..... 18
b.Protection différentielle 18
c.Protections contre les surtensions..... 18
II.6. Conclusion 19

Chapitre III : Détection on line des defauts dans les transformateurs.

III.1. Introduction 20
III.2.Objectifs 20
III.3.Modélisation du transformateur 20
III.4.Mesures Expérimentales 21
III.5.Validation du modèle transformateur 23
III.6.Transformateur en charge 26
a.Charge résistive 28
b.Charge inductive 28

c.Charge capacitive.....29
III.7.2.Défaut de ruptur isolation dans l'enoulement BT et HT.....33
III.7.3.Comparaison entre les défauts résistifs HT et BT.....35
III.7.4.Comparaison entre les défauts résistifs HT et BT.....36
III.8. Conclusion.....37
Conclusion Générale
Référence

Listes des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Schéma de principe d'un transformateur…….2

Figure I.2 : Schéma électrique d'un transformateur……2

Figure I.3 : Circuit magnétique à 3 colonnes, transformateur triphasé à flux Liés…….4

Figure I.4 : Circuit magnétique à 3 colonnes, transformateur triphasé à flux indépendants…..4

Figure I.5 : Transformateur triphasé……...5

Figure I.6 : Autotransformateur……..7

Figure I.7 : Transformateur de tension……8

Figure I.8 : Transformateur de courant……...9

Chapitre II :

Figure II.1: Court-circuit entre spires 11

Figure II.2: Point chaud sur le sélecteur d'un régleur en charge 11

Figure II.3: Coupure suite à la fusion d'un Conducteur 12

Figure II.4:Schéma équivalent de transformateur 14

Figure II.5:Schéma équivalent de transformateur 14

Figure II.6:Modèle sans saturation 16

Figure II.7: Modèle avec pertes fer, sans saturation 17

Figure II.8 : Modèle avec saturation.....17

Chapitre III :

Figure III.1 :le modele de transformateur de cet étude.....21

Figure.III.2 : Schéma des essais pour la détermination de transformateur 21

Figure.III.3 : Banc d'essai Expérimental.....22

Figure.III.4. : La variation de l'impédance en fonction de la fréquence 23

Figure .III.5 :Validation de Transformateur à vide 24

Figure.III.6 : les tension de transformateur à vide.....25

Figure.III.7 : le courant de transformateur à vide.....25

Figure.III.8 :Transformateur en charge 27

Figure.III.9 : Impact sur cycle ΔV2-I2 pour facteur de puissance 1 28

Figure.III.10 : Impact sur cycle ΔV2-I2 pour facteur de puissance 0.8 Ar 29

Figure.III.11: Impact sur cycle ΔV2-I2 pour facteur de puissance 0.8 Av 30

Figure.III.12 : Effet d'un défaut résistif RBT sur le cycle ΔV2-I2.....31

Figure.III.13 : Effet d'un défaut résistif RHT sur le cycle ΔV2-I2.....32

Figure.III.14 : Effet d'un défaut de rupture RBT sur le cycle ΔV2-I2 33

Figure.III.15 : Effet d'un défaut de rupture RHT sur le cycle ΔV2-I2 34

Figure.III.16 : La comparaison d'un défaut résistif R HT et RBT sur le cycle ΔV2-I2 35

Figure.III.17 : La comparaison d'un défaut de rupture R HT et RBT sur le cycle ΔV2-I2.....36

Liste des tableaux

Tableau. I.1 : Les éléments d’un transformateur……...4

Introduction générale

Introduction générale

Les transformateurs sont des appareils électriques largement utilisés dans l'industrie de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique, ainsi que dans beaucoup d'autres secteurs fonctionnant avec l'énergie électrique.

Les transformateurs de puissance sont des liaisons essentielles au sein de tout réseau de transmission ou de distribution. Les défauts du transformateur en service ne causent pas seulement des pannes prolongées, mais des réparations coûteuses et des blessures graves ou mortelles peuvent en résulter. La majorité des transformateurs actuellement en service dans le monde ont été installés avant 1980 et, en conséquence, le gros de la population approche ou a déjà dépassé sa durée de vie de conception, ce qui augmente la probabilité de défaillance du transformateur [1]. Cela pose un risque important pour les services publics et d'autres intervenants du réseau électrique, car l'impact d'une panne de transformateur en service peut être catastrophique. Les forces mécaniques auxquelles un transformateur est exposé lors de défauts, de transitoires de commutation et d'autres événements du système entraînent l'application de forces magnétiques sur les enroulements. Si ces forces dépassent la capacité de résistance du transformateur, une déformation de l'enroulement peut se produire.

La perte de pression de serrage due à la dégradation de l'isolant causée par le vieillissement peut également entraîner des dommages mécaniques aux enroulements du transformateur. Bien qu'avec seulement des dommages d'enroulement mineurs, le transformateur est encore capable de fonctionner normalement, sa capacité à résister aux fautes est considérablement réduite ce qui rend essentiel de détecter une déformation d'enroulement même légère le plus tôt possible. On s'attend à ce que les transformateurs survivent à un certain nombre de défauts de court-circuit sans défaillance, mais une fois qu'une déformation importante de l'enroulement est produite [2], La probabilité de survivre à d'autres courts-circuits est fortement réduite en raison des contraintes électromagnétiques localement accrues. De plus, toute réduction du serrage de l'enroulement due au retrait de l'isolant provoqué par le vieillissement augmentera également la probabilité de défaillance en réduisant la résistance mécanique des ensembles d'enroulement [3]. La déformation de l'enroulement peut prendre plusieurs formes, y compris le flambement radial, l'inclinaison des

conducteurs, le serrage en spirale et l'effondrement des supports d'extrémité d'enroulement qui sont difficiles à détecter en utilisant des techniques d'essai traditionnelles [4].

Afin de mener à terme notre travail, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres.

- Le premier chapitre est consacré à une présentation de quelques généralités sur les transformateurs de puissance.
- Les défauts qui peuvent avoir lieu dans les enroulements du transformateur ainsi que les différentes mesures nécessaires pour l'opération de diagnostic sont présentés dans le second chapitre.
- Le troisième chapitre portera sur la modélisation du transformateur en régime de fonctionnement conventionnel. Le modèle adopté sera validé expérimentalement et en suite il sera exploité pour une étude de diagnostic on line du transformateur.

Ainsi nous terminons notre travail par une conclusion générale regroupant l'essentiel des résultats obtenus ainsi que des perspectives pour ce travail.

Chapitre I :
Les transformateur

I.1.Introduction :

Le transformateur est un appareil électrique très simple, mais il n'en constitue pas moins l'un plus utiles. Le transformateur permet de modifier la tension et le courant dans un circuit électrique. Grâce à lui, l'énergie électrique peut être transportée à grade distance de façon économique et distribuée dans les usines et les maisons.

L'étude du transformateur nous aidera également à comprendre le fonctionnement d'un grand nombre de machines telles que moteurs d'induction, alternateurs, compensateurs synchrones, etc., car ces machines utilisent aussi le principe de l'induction électromagnétique. C'est pourquoi nous recommandons au lecteur de porter une attention à ce chapitre.

Nous établirons d'abord quelques concepts de base, pour ensuite procéder l'analyse du transformateur. Connaissant les propriétés fondamentales du transformateur, nous les appliquerons à l'étude des transformateurs utilisés en pratique [5].

I.2.Les Principaux éléments des transformateurs :

D'une manière générale, un transformateur est constitué d'un circuit magnétique feuilleté et d'un ensemble de 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 des transformateurs se distinguent suivant la disposition géométrique de leurs constituants, de la forme de leur circuit magnétique et du type de refroidissement.

I.3.Le principe de fonctionnement :

[6]

En vertu la loi de Faraday, lorsque 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 $(d\varphi/dt)$ et au nombre de spire due 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 spire du primaire et de la tension appliquée. Ce flux induit dans l'enroulement secondaire une tension proportionnelle au nombre de spire de 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 suivant.

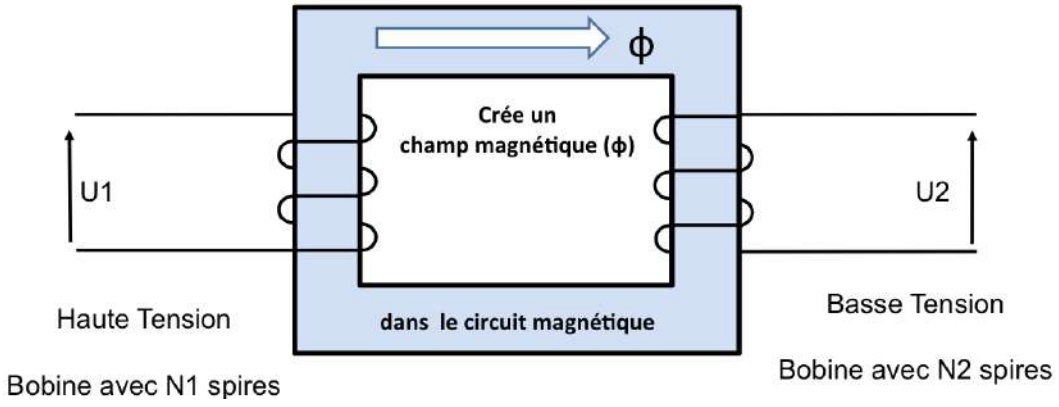


Figure I.1 : Schéma de principe d'un transformateur.

Un transformateur monophasé, peut être modélisé électriquement comme suivant.

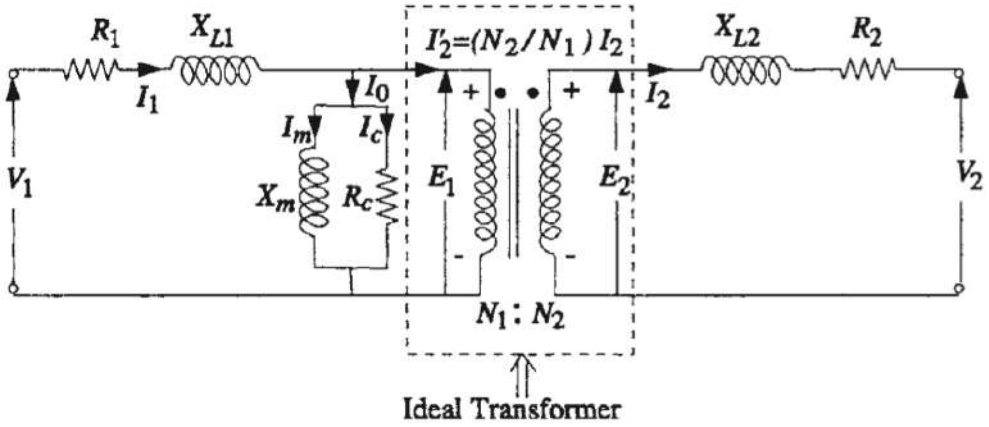


Figure I.2 : Schéma électrique d'un transformateur.

Avec :

V_1 et V_2	Les tensions primaire et secondaire
I_1 et I_2	Les courants primaire et secondaire
I_0	Le courant à vide
E_1 et E_2	Les tensions à vide idéales primaire et secondaire
N_1 et N_2	Nombre de spires des enroulements primaire et secondaire
R_1 et R_2	Les résistances des enroulements primaire et

	secondaire
X_1 et X_2	Les inductances des enroulements primaire et secondaire
R_c	Les pertes fer
X_m	Réactance magnétisante

Tableau. I.1 : Les éléments d'un transformateur.

I.4. Transformateur triphasé :

En triphasé, on peut utiliser trois transformateurs monophasés identiques dont on groupe les primaires et les secondaires en étoile ou en triangle. Il est possible de disposer les enroulements sur le même circuit magnétique. Dans les deux cas, le rapport de transformation dépend des couplages utilisés et, en outre, un déphasage peut apparaître entre les tensions primaires et secondaires. Afin de simplifier la réalisation du circuit magnétique et de diminuer le volume occupé par le transformateur ainsi que la masse de fer utilisée, on réalise souvent des transformateurs triphasés à noyaux coplanaires possédant 3 colonnes. On dit qu'un tel transformateur est à flux liés .Pour réduire le couplage magnétique entre les trois colonnes, c'est-à-dire rendre indépendants les flux des trois transformateurs monophasés élémentaires, on peut ajouter des colonnes latérales.

I.4.1. Grandeurs caractéristiques d'un transformateur triphasé :

La plaque signalétique d'un transformateur triphasé porte, comme en monophasé, les valeurs nominales :

– de la puissance apparente utile S_{2n} ;
– des tensions primaires et secondaires composées, c'est à dire entre fils de ligne ; si le mode de connexion des enroulements n'est pas fixé on indiquera les valeurs nominales des tensions correspondant.



Figure I.3 : Circuit magnétique à 3 colonnes, transformateur triphasé à flux Liés.



Figure I.4 : Circuit magnétique à 3 colonnes, transformateur triphasé à flux indépendants.

I.4.2.Constitution du transformateur triphasé :

La figure (I.5) représente la constitution d'un transformateur triphasé.

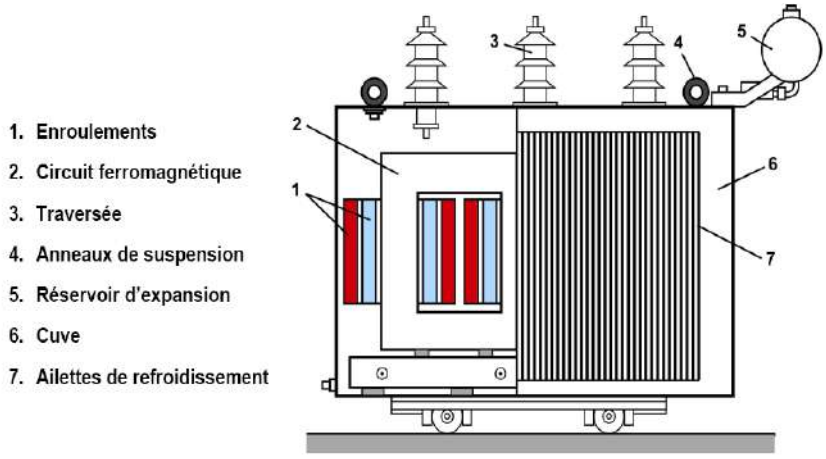


Figure I.5 : Transformateur triphasé.

I.4.3. Différents modes de couplages d'un transformateur triphasé :

Les deux enroulements d'un transformateur triphasé peuvent être connectés en :

- étoile (Y).

- triangle (Δ).

- zigzag (Z).

Des plus importants couplages sont les couplages en étoile et en triangle.

I.4.3.1. Connexion en étoile (Y) :

Pour connecter un enroulement triphasé en étoile, on réunit un point neutre commun :

-Soit les trois bornes d'entrée.

-soit les trois bornes de sortie.

Pour une connexion des enroulements en étoile les courants simple circulent directement sur la ligne on a alors :

$$I = J \qquad \text{(I.1)}$$

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad \text{(I.2)}$$

I.4.3.2.Connexion en triangle(Δ) :

Pour connecter un enroulement triphasé en triangle, il suffit de réunir la bonne d'entre de l'enroulement de phase à la bonne sortie de l'enroulement précédent, on a pour les courants :

$$I = \frac{I}{\sqrt{3}} \qquad \text{(I.3)}$$

$$V = U \qquad \text{(I.4)}$$

I.4.3.3. Connexion Zigzag :

Connexion des enroulements consistant en deux sections d'enroulement, la première section étant connectée en étoile et la seconde en série entre la première section et les bornes de ligne : les deux sections sont disposées de telle sorte que chaque phase de la deuxième

section soit enroulée sur une colonne du transformateur différente de celle de la première section à laquelle elle est connectée. Elle est représentée par la lettre Z.

I.5.Couplages normales d'un transformateur triphasé :

Il existe pratiquement six modes de couplages des enroulements d'un transformateur triphasé.

- étoile-étoile avec neutre Y/Y_0ou étoile sans neutre Y/Y

-étoile –triangle Y/ Δ

-étoile –zigzag Y/Z ou étoile –zigzag avec neutre Y/Z_0

-triangle-zigzag Δ/Z ou triangle-zigzag avec neutre Δ/Z_0

-triangle-étoile Δ/Y

-triangle-triangle Δ/Δ

Les plus utilisé sont :

-étoile-triangle Y/Δ : à la production entre alternateur et ligne de transport.

-étoile-étoile Y/Y : entre ligne de transport.

-triangle-étoile Δ/Y et étoile –zigzag Y/Z à la distribution avec neutre du secondaire.

I.5.1. Choix du couplage :

Aux très hautes tensions, on aura intérêt à choisir un couplage étoile pour que chaque bobine n'ait à supporter que :

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad \text{(I.5)}$$

Pour les très forts courants, on préférera le montage triangle où chaque enroulement n'est parcouru que par un courant d'intensité :

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}} \qquad \text{(I.6)}$$

I.6. Transformateurs spéciaux :

Dans les applications industrielles, on rencontre un grand nombre de transformateurs de construction spéciale. La plupart possèdent les propriétés de base que nous avons étudiée dans le chapitre précédent :

– La tension induite dans un enroulement est proportionnelle au nombre de spires.

– Lorsque le transformateur est en charge, les ampères-tours du primaire sont égaux aux ampères-tours du secondaire.

– Le courant absorbé à vide (courant d'excitation absorbé en permanence) est négligeable par rapport à la valeur du courant de pleine charge du primaire [7].

I.6.1. Autotransformateur :

On appelle autotransformateur, un transformateur composé d'un enroulement unique monté sur un circuit magnétique. Pour un autotransformateur abaisseur, par exemple, la haute tension est appliquée à l'enroulement complet et la basse tension est obtenue entre une extrémité de l'enroulement et une prise intermédiaire.

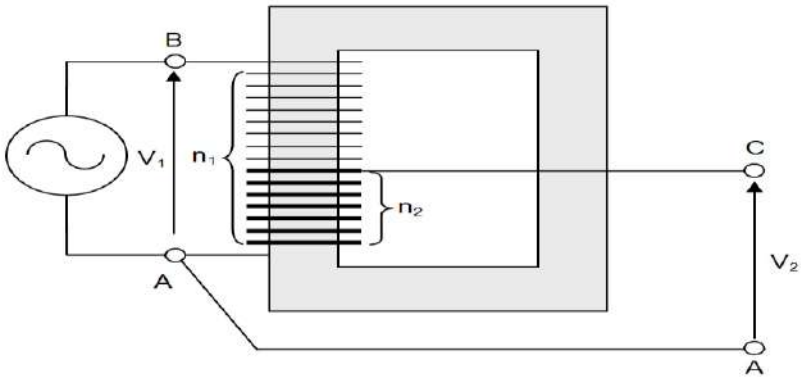


Figure I.6 : Autotransformateur.

I.6.2. Transformateur de tension (TT) :

Les transformateurs de tension sont utilisés sur les lignes à haute tension pour alimenter des appareils de mesure (voltmètre, wattmètre, etc.) ou de protection (relais). Ils servent à isoler ces appareils de la haute tension et à les alimenter à des tensions appropriées. Le rapport de transformation est choisi de façon que la tension secondaire soit d'une centaine de volts, ce qui permet l'utilisation d'instruments de fabrication courante pour la mesure de tension élevées.

Le primaire des transformateurs de tension est branché en parallèle avec le circuit dont on veut connaître la tension. Leur construction diffère très peu de celle des transformateurs conventionnels. Cependant, leur puissance nominale est généralement faible (inférieure à 500 VA) de sorte que le volume de l'isolation dépasse souvent celui du cuivre et de l'acier utilisé.

Les transformateurs de tension installés sur les lignes HT sont toujours raccordés entre une ligne et le neutre. Cela élimine la nécessité d'utiliser deux grosses bornes de porcelaine, une des deux extrémités de l'enroulement étant reliée à la terre. Par exemple, la figure (I.7) montre un transformateur utilisé sur une ligne à 140 kV, il comprend une grosse borne

(traversée) en porcelaine afin d'isoler la ligne haute tension du boitier qui est mis à la terre. Ce dernier enferme le transformateur proprement dit. Afin d'éviter le risque de choc électrique en touchant l'instrument de mesure ou un de ses fils de raccordement, un des fils de l'enroulement secondaire doit systématiquement être relié à la masse. En effet, même si le secondaire paraît isolé du primaire, la capacitance distribuée entre les enroulements effectue une connexion invisible qui peut mettre le secondaire à un potentiel très élevé par rapport au sol si ce dernier n'est pas raccordé à la masse figure (I.7).

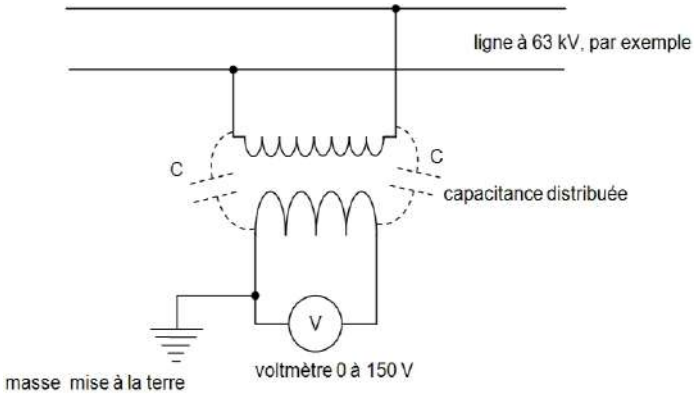


Figure I.7 : Transformateur de tension.

I.6.3. Transformateur de courant (TI) :

Les transformateurs de courant sont utilisés pour ramener à une valeur facilement mesurable les courants intenses des lignes à haute ou à basse tension. Ils servent également à isoler les appareils de mesure ou de protection des lignes à haute tension .Le primaire de ces transformateurs sont monté en série avec la ligne dont on veut mesurer l'intensité. Ces transformateurs étant employés seulement à des fins de mesure et de protection, leur puissance sera faible, de l'ordre de 15 à 200 VA. Le courant nominal secondaire est généralement compris entre 1 et 5 A. L'emploi des transformateurs de courant sur les lignes à haute tension est indispensable pour des raisons de sécurité. Une ligne à 200 kV peut n'être parcourue que par une intensité de 40 A parfaitement mesurable par un ampèremètre de 0-50 A ; mais personne ne pourrait approcher l'instrument sans subir une électrisation fatale. Il est essentiel que l'instrument soit isolé de la haute tension au moyen d'un transformateur. Comme dans le cas d'un transformateur de tension, on doit toujours raccorder un des fils secondaires à la masse.

On ne doit jamais ouvrir le secondaire d'un transformateur TI, lorsque le primaire est alimenté. S'il est nécessaire de retirer un instrument raccordé au secondaire, il faut auparavant

mettre le secondaire en court-circuit et ensuite retirer l'instrument, ou encore, ce qui est souvent plus facile à réaliser, court-circuiter le primaire. Si on ouvre le circuit secondaire d'un TI, le courant dans le primaire continue à circuler, inchangé, car celui-ci ne dépend que de la charge du réseau. Les ampères-tours du primaire ne sont plus compensés par ceux du secondaire, il se produit une saturation du circuit magnétique. Lorsque le courant I_1 primaire croît et décroît pendant la première alternance, le flux croît et décroît également, mais il demeure constant, au niveau de saturationφ_S pendant quasiment toute l'alternance. Le même phénomène se produit lors de l'alternance négative.



Figure I.8 : Transformateur de courant.

I.7. Conclusion :

Ce chapitre est consacré à une présentation de quelques généralités sur les transformateurs en évoquant leur principe de fonctionnement et leur construction et quelques types de transformateurs rencontrés dans les installations électrique.

Chapitre II :
Les Défauts dans le transformateur

II.1. Introduction :

Ce chapitre consiste en la présentation des notions nécessaires pour réaliser la détection et la localisation de défauts des transformateurs de puissance.

Toutes les informations présentées dans ce chapitre pouvant être significatives d'un ou plusieurs défauts, elles seront corrélées entre elles pour réaliser un diagnostic.

II.2. Défauts dans les enroulements du transformateur :

II.2.1. Défaut d'isolement de la partie active :

Le défaut d'isolement de la partie active est caractérisé par la perte, ou la très forte diminution, d'isolement d'un circuit électrique par rapport à son environnement, dont il doit être normalement isolé.

Typiquement ce cas est rencontré dans les situations suivantes :

- Amorçage entre enroulements normalement isolés entre eux.
- Amorçage entre la masse (la cuve ou le circuit-magnétique typiquement) et un enroulement, une connexion ou une traversée [8].

II.2.2. Amorçage diélectrique entre spires :

C'est un amorçage entre spires d'un même enroulement, sans que les conducteurs soient mis en court-circuit entre eux . L'isolant entre ces spires est donc dégradé, voire détruit, localement [8].

II.2.3. Court-circuit entre spires :

Le court-circuit entre spires est caractérisé par le contact électrique anormal entre des spires d'un même enroulement qui devraient être normalement isolées entre elles.

Cela arrive souvent suite à un amorçage diélectrique entre spires entretenu, ou le déchirement du papier isolant suite à une déformation mécanique violente des enroulements.

Ce défaut peut aller jusqu'à la fusion du cuivre des conducteurs, et l'ouverture du circuit électrique dans certains cas [8].



Figure II.1: Court-circuit entre spires.

II.2.4. Point chaud interne au transformateur :

Un point chaud est caractérisé par l'échauffement local interne d'une connexion précise du .

Après une coloration sombre, les points chauds peuvent classiquement former des morceaux solides de carbone, qui sont conducteurs.

Typiquement les points chauds peuvent venir de mauvais contacts du circuit électrique chauffant alors anormalement, comme sur des connexions au niveau des brasures, ou sur des contacts mobiles du régleur en charge , ou du régleur hors tension. Ils peuvent être aussi provoqués par des courants de Foucault induits anormaux circulant dans des pièces non prévues pour cela, qui chauffent alors anormalement, comme : des tôles du circuit magnétique ou des isolants en défaut de la partie active, hors enroulements[8].



Figure II.2: Point chaud sur le sélecteur d'un régleur en charge.

II.2.5. Coupure du circuit électrique :

La plupart des cas de coupure d'un circuit électrique sont le résultat d'un défaut interne, suite à :

- un amorçage de puissance entre spires, qui les fusionne et coupe le conducteur.
- un point chaud qui dégénère, au niveau des brasures des connexions internes, pouvant aller du débrasage jusqu'à la fusion du contact.
- un mauvais alignement d'un régleur.



Figure II.3: Coupure suite à la fusion d'un Conducteur.

II.2.6 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[9].

II.2.7 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 [9].

II.3. Les Mesures :

En fonctionnement normal, sans défauts, les grandeurs électriques du transformateur ne doivent pas évoluer dans le temps, et il en va de même pour les mesures électriques qui leurs sont associées.

Dans le cadre du diagnostic, les mesures les plus intéressantes sont celles dont les résultats variantes fonction de l'état, ou des défauts, du transformateur. Elles donnent donc une image de ses composants internes et sont principalement présentées ci-après.

Les mesures, en général, sont réalisées dans les contextes suivants :

- Essais de réception d'un transformateur, neuf ou réparé, pour valider son fonctionnement.

Plusieurs mesures sont alors réalisées, en particulier des essais hauts tension.

- Recherche de défauts, pour localiser le ou les problèmes internes. Souvent l'analyse d'huile est la première mesure réalisée, les essais suivants, souvent basse tension, étant ciblés par un expert.
- Caractérisation d'état dans le cadre d'une maintenance. Les mesures sont ciblées par un expert, pour évaluer l'état d'un appareil sur certains points précis.

Les mesures réalisées durant l'exploitation peuvent être comparées à celles faites lorsque les appareils étaient neufs, celles-ci sont alors utiles pour le diagnostic .

Les mesures brutes ont communément peu d'intérêt en tant que valeurs propres, c'est leurs interprétations, généralement par un expert, qui sont intéressantes [10].

II.3.1. Transformateur réel en charge :

Lorsque les courants sont importants, on doit tenir compte des chutes de tension dans les résistances ohmiques des enroulements primaires et secondaires et dans les inductances de fuites.

Le courant magnétisant et les pertes fer restent liés au flux.

Le schéma équivalent traduit les équations complètes.

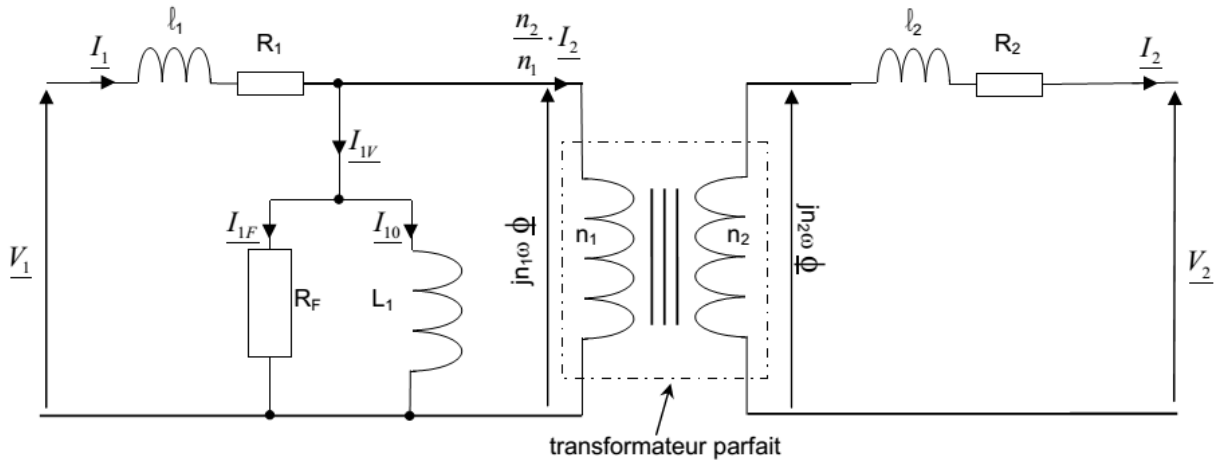


Figure II.4: Schéma équivalent de transformateur.

$V_1 = (R_1 + jwl_1)\, I_1 + jn_1 w\phi$ (II.1)

$V_2 = -(R_2 + jwl_2)\, I_2 + jn_2 w$ (II.2)

$I_1 = (\frac{n2}{n1}) * I_2 + I_{1v} = (\frac{n2}{n1}) * I_2 + I_{10} + I_{1F}$ (II.3)

Le schéma équivalent comporte un transformateur parfait alimenté par les tensions fictives $jn_1 w\phi$et $jn_2 w\phi$ .En pratique, la chute de tension dans R_1et $jl_1 w$est faible devantV_1, aussi, pour le calcul du courantI_{1V}, lui-même faible, il est inutile d'en tenir compte. On obtient alors un schéma plus simple et suffisamment précis :

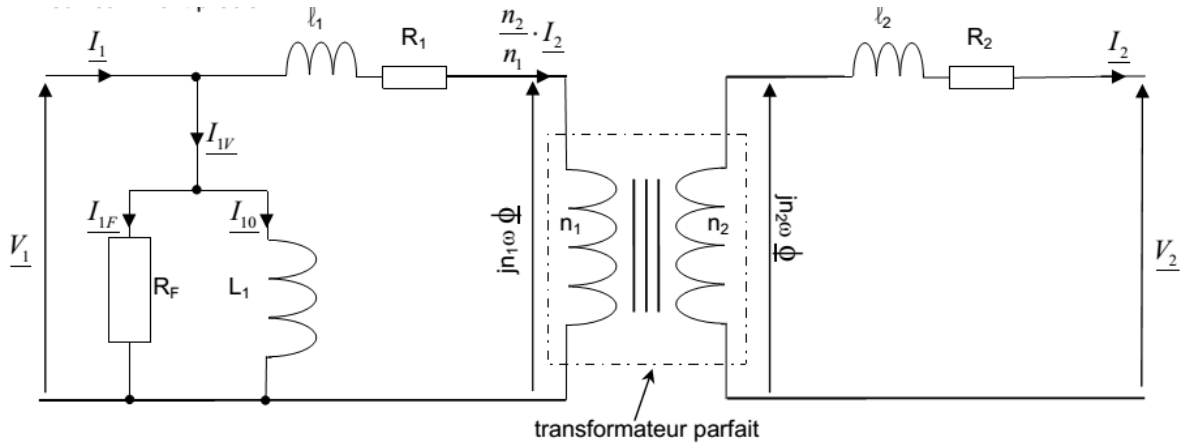


Figure II.5: Schéma équivalent de transformateur.

On peut enfin réduire ce schéma en utilisant le théorème de transfert d'impédance :

$V_1 = E_1 + Z_1 I_1$ (II.4)

$E_1 = \frac{n_1}{n_2} * E_2$ (II.5)

$\frac{Z_1}{Z_2} = (\frac{n_1}{n_2})^2$ (II.6)

Grâce à l'équation, on peut ramener R_1et $l_1$au secondaire en les multipliant par $(n_1/n_2)^2$et en les regroupant avec R_2etl_2 ; on pose :

R_s=R_2+$(\frac{n_2}{n_1})^2 * l_1$

$l_s = l_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 * l_1$

R_s : Résistance des enroulements ramenée au secondaire.

l_s: Inductance de fuites ramenée au secondaire.

II .4Modélisation des transformateurs :

Comme pour tout composant d'un réseau électrique, sa modélisation dépend du type de phénomène à étudier, c'est-à-dire de la gamme de fréquences concernée. Il est connu que l'impédance des composantes inductives augmente avec la fréquence, alors que, inversement, l'impédance des composantes capacitives diminue avec la fréquence :

$Z_{l=W*L}$ (II.7)

$Z_{c=\frac{1}{W*C}}$ (II.8)

Ainsi, avec l'augmentation de la fréquence considérée, l'importance des composantes inductives s'amenuise et celle des composantes capacitives croît. Autrement dit, à basse fréquence, $Z_C$est très grand, le composant capacitif peut être considéré comme un circuit ouvert [11].

II.4.1.Transformateur monophasé linéaire sans saturation :

Un transformateur présente un comportement non linéaire dû principalement à la caractéristique de l'inductance. Lorsque le fonctionnement du transformateur se situe dans la zone linéaire de cette caractéristique, alors la modélisation devient simple. Celle-ci se traduit par un schéma équivalent (figure II.6) où l'on représente ses impédances linéaires et son rapport de transformation.

L'impédance linéaire est composée, pour chaque enroulement, d'une inductance modélisant le flux magnétique de fuite et d'une résistance modélisant les pertes par effet Joule et les pertes supplémentaires [11]. Il faut aussi ajouter une branche parallèle pour représenter l'inductance de magnétisation. On a donc le schéma classique suivant :

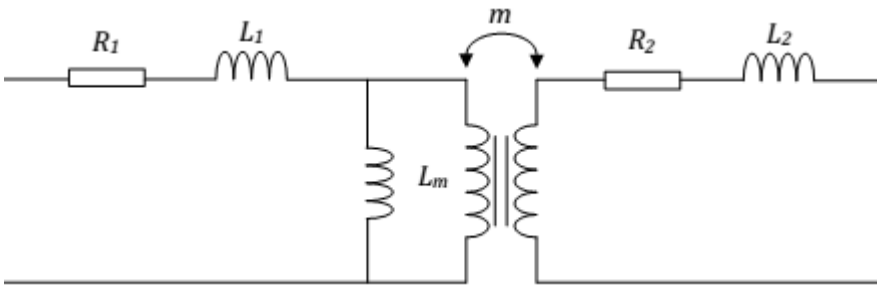


Figure II.6: Modèle sans saturation.

Avec :

R_1, L_1 : Résistance et inductance de l'enroulement primaire.

R_2, L_2: Résistance et inductance de l'enroulement secondaire.

L_m : Inductance de magnétisation du circuit magnétique.

Il existe éventuellement des pertes à vide, nous pouvons les représenter au moyen d'une résistance R_m en parallèle (figure II.7):

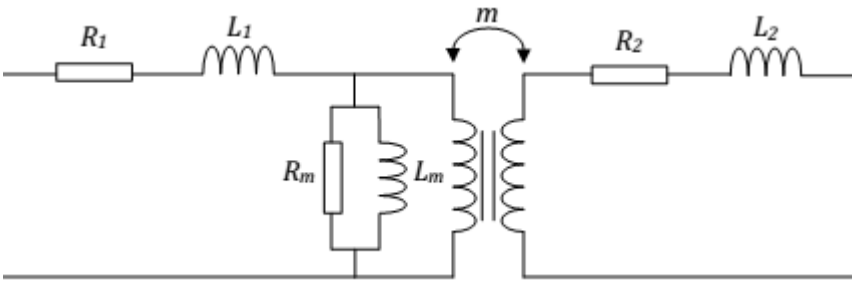


Figure II.7: Modèle avec pertes fer, sans saturation.

R_m : Résistance qui représente les pertes fer dans le circuit magnétique.

II.4.2.Transformateur monophasé avec saturation :

Dans ce modèle l'inductance L_m est remplacée par une inductance non linéaire dont la caractéristique de saturation est donnée par une courbe du flux dans le noyau en fonction du courant magnétisant inductif (Figure. II.8) [11].

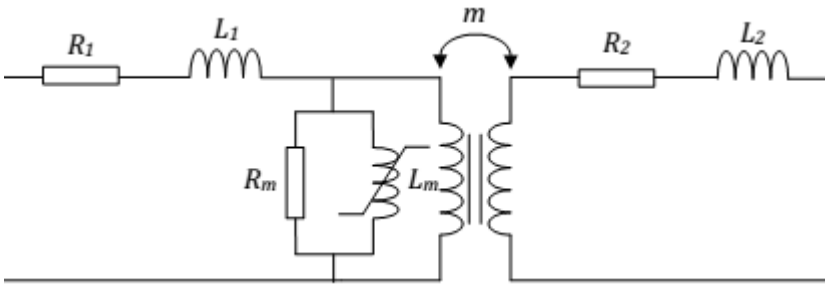


Figure II.8 : Modèle avec saturation.

II.5. Protections des transformateurs :

La protection des transformateurs a une triple mission :

- protéger le transformateur contre les perturbations extérieures, courts-circuits, surtensions, surcharges.

- préserver les réseaux connectés et l'environnement des effets des défauts se produisant dans le transformateur ;

- surveiller le fonctionnement du transformateur, avertir d'une évolution dangereuse et limiter les dégâts en cas d'avarie [8].

Trois types de protections sont généralement mises en œuvre. En voici une liste non exhaustive :

II.5.1. Protections électriques [8] :

Protection par maximum d'intensité (Imax) Des relais reliés à des transformateurs de courant (équivalents d'un ampèremètre en haute tension) déclenchent le transformateur suite à une surintensité temporaire, fixée selon un seuil.

a. Protection « masse cuve » :

Très souvent en France, la cuve est isolée du sol par des plaques isolantes au niveau de ses galets, et est mise en un unique point à la terre. Si un courant de défaut passe du circuit électrique à la masse à l'intérieur du transformateur, celui-ci sera drainé inévitablement par cette connexion unique de mise à la masse de la cuve. Sur celle-ci se trouve alors un transformateur de courant, appelé couramment « TI masse-cuve » qui au-delà d'une certaine valeur de courant, de défaut donc, déclenche alors le transformateur.

b. Protection différentielle :

Elle compare les courants entrant et sortant du transformateur, et décèle ainsi les courts-circuits internes .

c. Protections contre les surtensions :

Pour se protéger des surtensions sont souvent mis en place : soit des éclateurs sur les traversées, soit des parafoudres à l'extérieur, voire dans certains cas à l'intérieur, du transformateur.

II.6. Conclusion :

Dans ce chapitre ont été présentées les informations suivantes, considérées comme utiles :

- les défauts retenus dans cette étude.
- les mesures classiques de recherche de défaut, et leurs interprétations en général, et pour l'outil de diagnostic développé par la suite.

Chapitr III
Détection on line des defauts dans les transformateurs

III.1. Introduction :

Ce chapitre est subdivisé en deux partées, dont la première est consacrrée au calcul des paramètres du modèle adopté pour un transformateur monophasé et la seconde est consacrée à la detection de défauts dans le transformateur en plein régime de charge .

III.2.Objectifs :

- Présentation du modèle adopté pour le transformateur monophasé.
- Validation du modèle adopté.
- Exploitation du modèle pour un diagnostic en pleine régime de charge.

III.3.Modélisation du transformateur :

Le modèle adopté pour le transformateur est donné sur la figure III.1,dans ce modèle les deux enroulements HT et BT sont représentés repectivement par leurs résestance (R_H, R_B),inductances de fuites (L_H, L_B) et par leur capacités(C_H, C_B) ainsi que les inductances mutuelles M_{HB}et les capacités C_{HB} liant le primaire au secondaire.

Les paramètres de ce circuit sont :

L_H : inductances de fuit haut tension. R_H: résestance de haut tension.

L_B: Inductances de fuit base tension. R_B: Résestance de base tension.

M_{HB}: Inductances mutuelles haut et base tension. C_{gH}: Capacité shunt de haut tension.

C_{gB}: Capacité shunt de base tension.

Le choix est porté sur ce modèle, car il traduit le comportement électromagnétique interne du transformateur ce qui réponde aux exigences de notre problématique de diagnostic de défaillance.

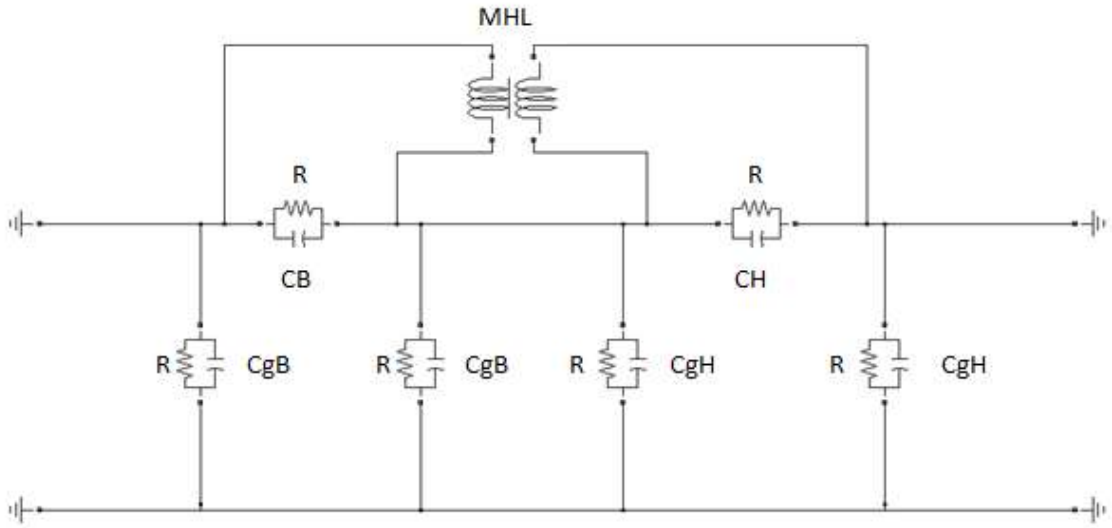


Figure III.1 :le modele de transformateur de cet étude.

III.4.Mesures Expérimentales:

Le transformateur testé est un transformateur monophasé de puissance 300VA-230 /115V-50Hz.

Afin de déterminer les paramètres du schéma équivalent du transformateur étudié certaines mesures sont nécessaires.

Les mesures réalisées sont les suivantes :

-Un test fréquentiel dans une plage de 20Hz à1MHz en utilise un RLC-mètre.

Les figures (III.2) et (III.3) respectivement le banc d'essai et schéma de montage réalisé du transformateur monophasé.

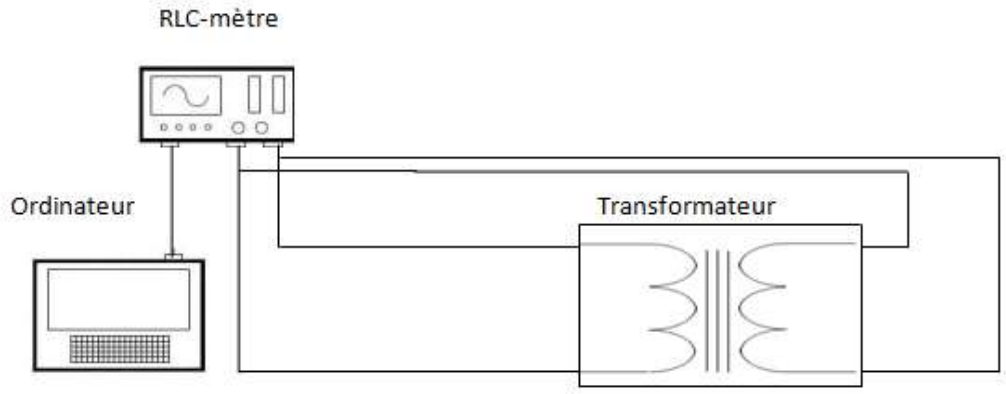


Figure.III.2 : Schéma des essais pour la détermination des paramètres d'un transformateur.

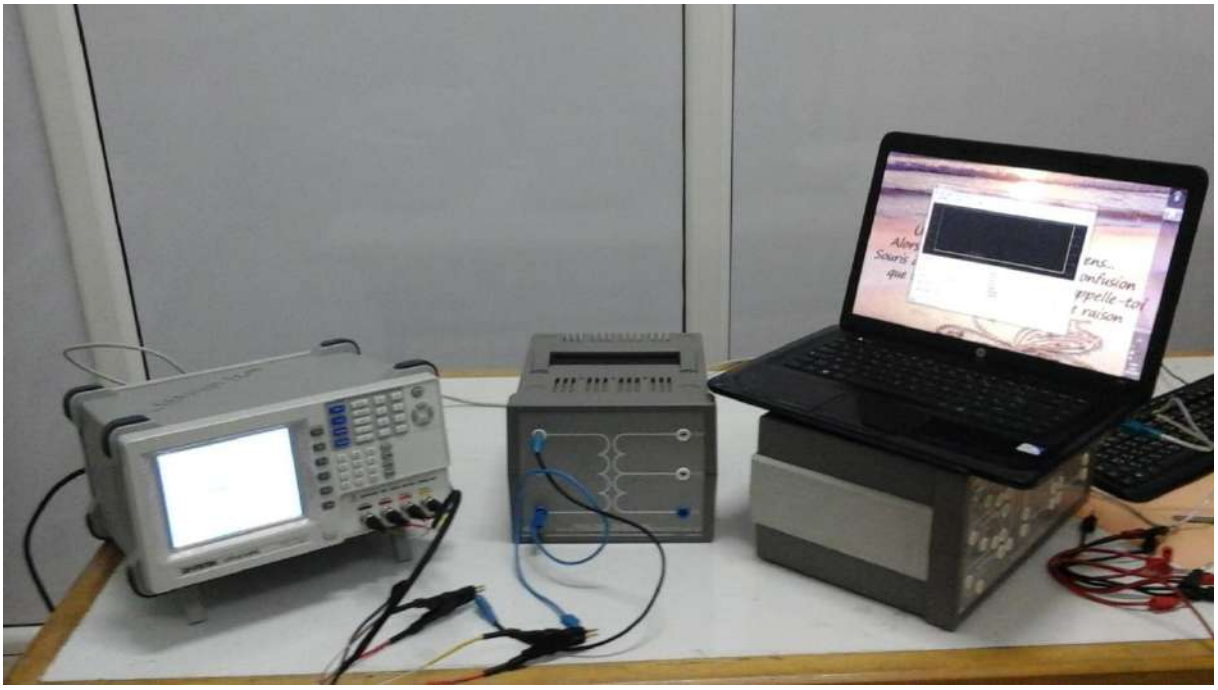


Figure.III.3 : Banc d'essai Expérimental.

-Des mesures spécifiques sont réalisées sur le transformateur test pour déterminer :

-La matrice des inductances.

- Les différentes capacités du schéma équivalent.

Les résultats de mesure sont :

$$MHL=\begin{bmatrix} L_{SB} & M \\ M & L_{SH} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 727{,}16.10^{-6} & 0{,}9012.10^{-12} \\ 0{,}901210^{-12} & 0{,}54.10^{-4} \end{bmatrix}$$

$C_{HB=}$223,82 pf

Cg_{B}=4,185nf

$Cg_{H=}$6,883nf

$R_{HB=}{}^{1}/_{0{,}97*10^{-6}\Omega}$

$Rg_{B=}{}^{1}/_{0{,}97*10^{-3}\Omega}$

$Rg_{H=}{}^{1}/_{0{,}41*10^{-3}\Omega}$

La variation de l'impédance en fonction de la fréquence est donnée par la figure suivant :

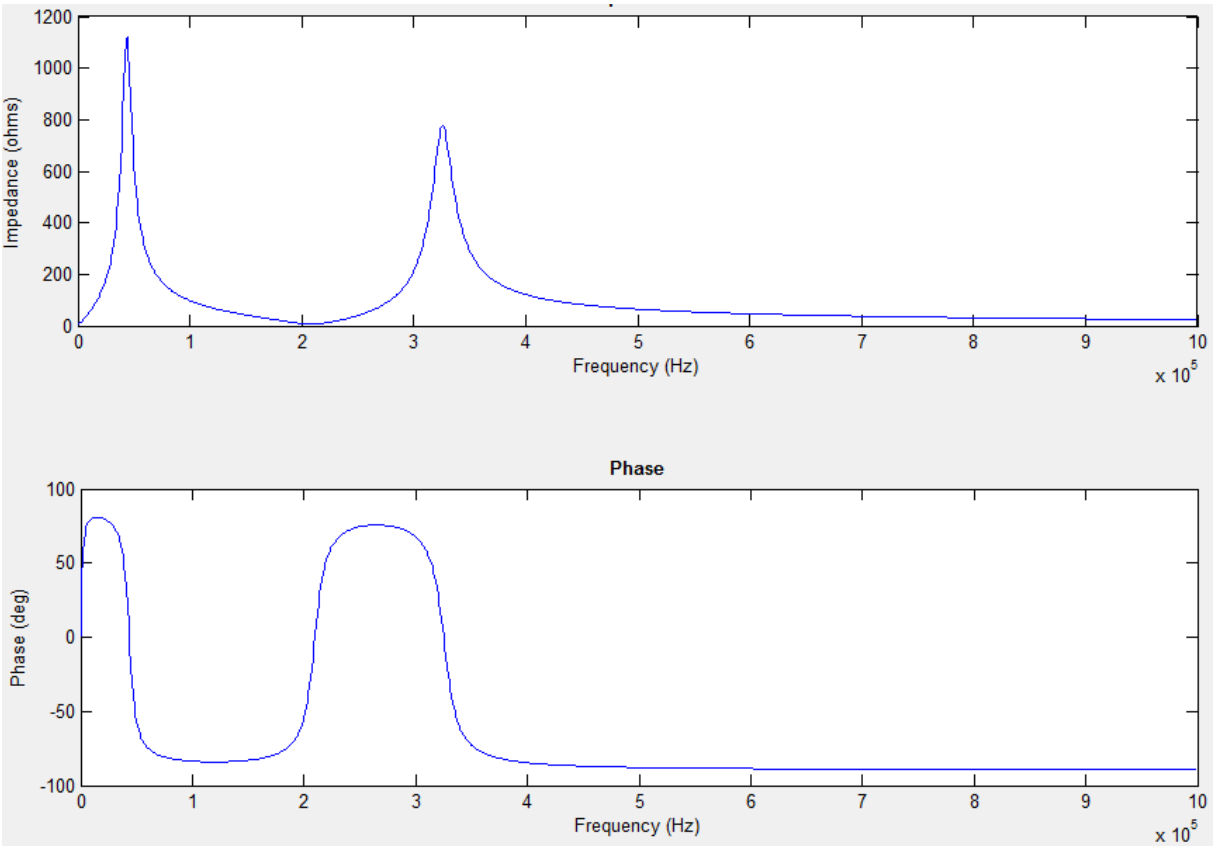


Figure.III.4. : La variation de l'impédance en fonction de la fréquence.

III.5.Validation du modèle transformateur:

Les valeurs experimontales des differents paramètres du modèle sont introduites dans modèle simulink du transformateur .

Une validation du modèle a été réalisée sur un transformateur à vide.

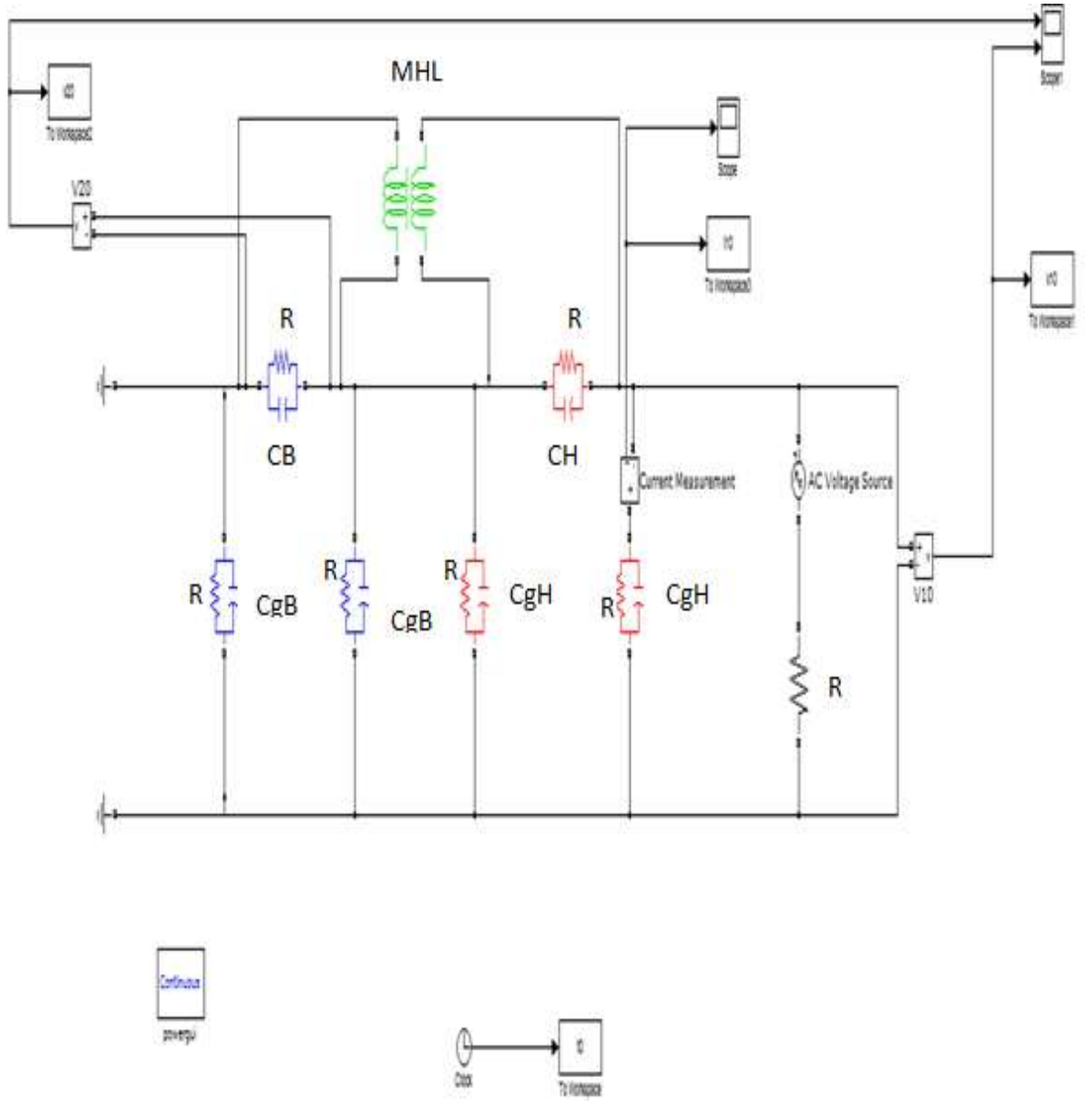


Figure .III.5 : Validation de Transformateur à vide.

Les allures des tension primaire et secondaire ainsi que le courant à vide au primaire du transformateur sont allustrées dans les figure III.6 et III.7.

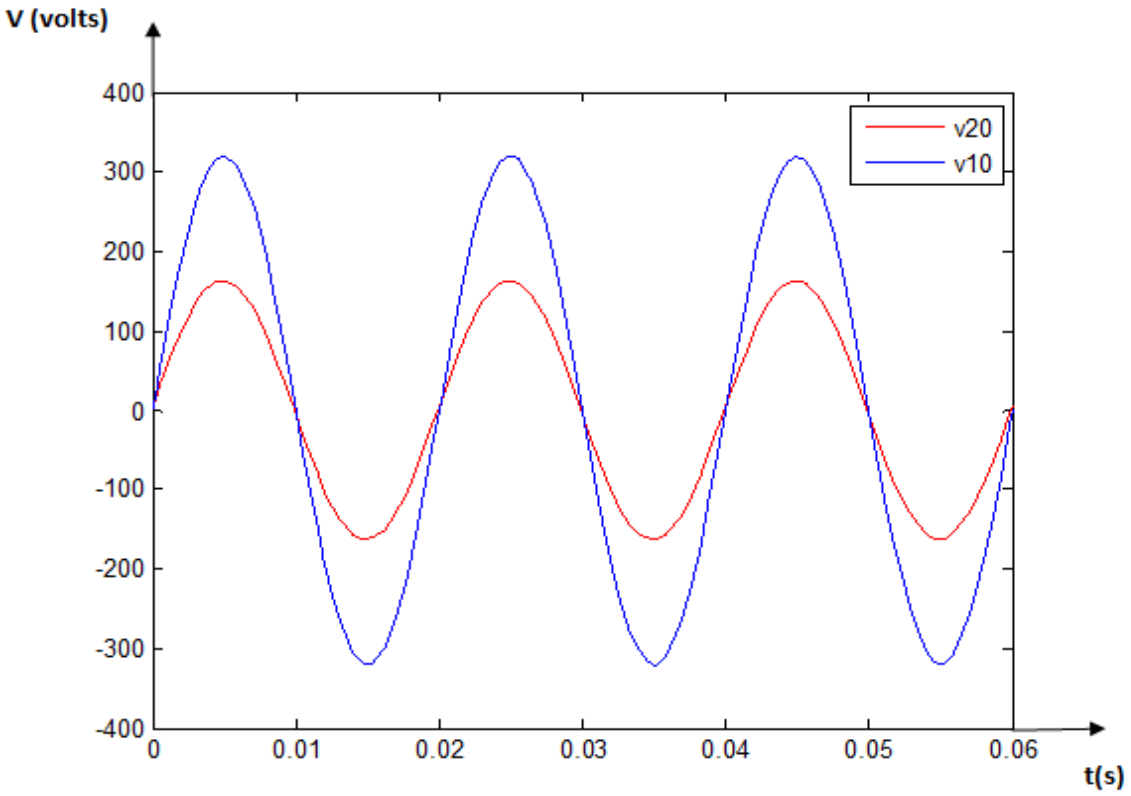


Figure.III.6 : les tension de transformateur à vide .

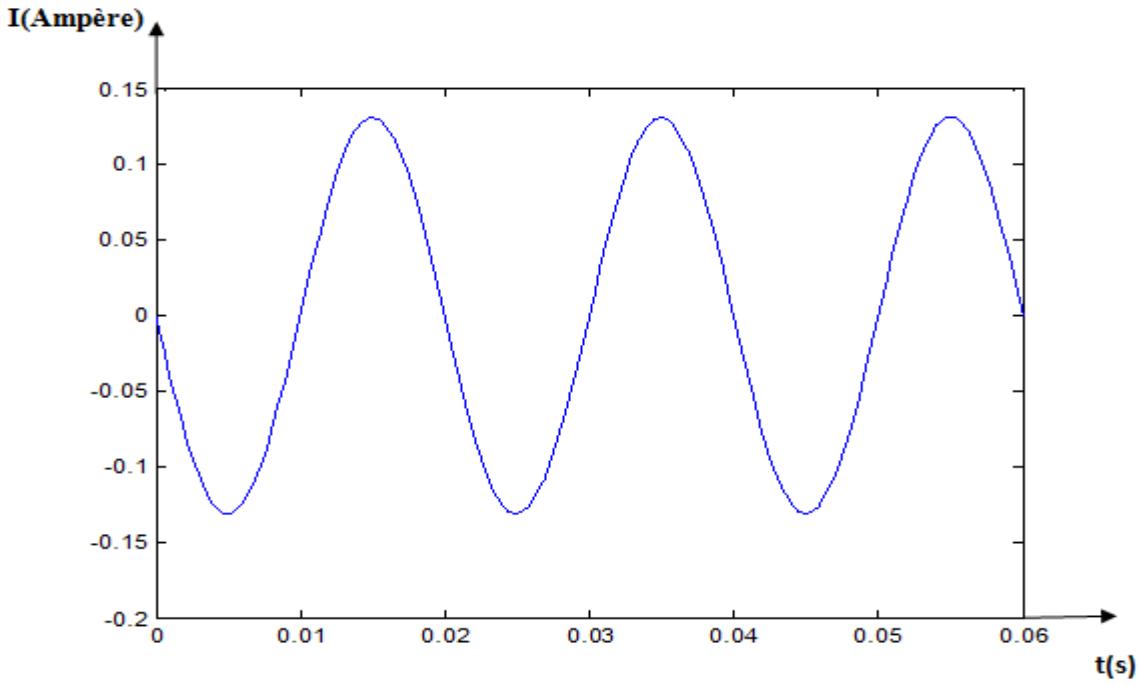


Figure.III.7 : le courant de transformateur à vide .

D'après les resultats obtenus, on remarque bien que les tensions au primaire et secondaire et le courant primaire, corespondant bien au fonctionnement à vide réel du transformateur testé ce qui valide le modèle proposé.

III.6.Transformateur en charge :

L'objectif de cette partie est de montrer la relation entre la chute de tension secondaire et le courant debité, afin d'utiliser cette approche pour le diagnostic de défaillances du transformateur. Par ailleurs, toute variation paramétrique du transformateur induit une variation dans la fonction $\Delta V_2=f(I_2)$.

$$V_2(t) = V_{2max}\ \sin(\omega t) \qquad \text{(III.1)}$$

$$V_1(t) = V_{1max}\ \sin(\omega t + \varphi) \qquad \text{(III.2)}$$

$$x=i_2(t)=I_{m2}\ \sin(\omega t + \varphi) \qquad \text{(III.3)}$$

$$y=V_1 - V_{2=}V_m\ \{\sin(\omega t + \varphi) - \sin(\omega t)\} \qquad \text{(III.4)}$$

$$y = V_m * \cos(\omega t + \frac{\delta}{2})\cos(\frac{\delta}{2})$$

$$\omega t = \sin^{-1}(\frac{x}{I_{m2}}) + \varphi = \cos^{-1}\left(\frac{y}{2V_m \cos\delta}\right) - \frac{\delta}{2} \qquad \text{(III.5)}$$

$$[\cos^{-1} * \frac{y}{2V_m \cos\delta} - \sin^{-1} * \frac{x}{I_{m2}}]=(\varphi+\frac{\delta}{2})$$

$$\sin\left[\cos^{-1}\frac{y}{2V_m \cos\delta} - \sin^{-1}\frac{x}{I_{m2}}\right] = \sin\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right)$$

$$\sin\left[\cos^{-1}\frac{y}{2V_m \cos\delta} - \sin^{-1}\frac{x}{I_{m2}}\right] * \cos(\sin^{-1}\frac{x}{I_{m2}}) - \cos(\cos^{-1}\frac{y}{2V_m \cos\delta})*\sin(\sin^{-1}\frac{x}{I_{m2}}) = \sin\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right)$$

$$\frac{\sqrt{(2V_m \cos\delta)^2 - y^2}}{(2V_m \cos\delta)} * \frac{\sqrt{I^2_{m-x^2}}}{I_{m2}} - \frac{y}{2V_m \cos\delta} * \frac{x}{I_{m2}} = \sin\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right)$$

$$\sqrt{\left[(2V_m \cos\delta)^2 - y^2\right] * I^2_{m-x^2}}=2V_m * I_{m2} * \cos\sin\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right) + xy$$

$$(2V_m * I_{m2} * \cos\delta)^2 * x^2 + 4V_m * I_{m2} * \cos\delta * \sin\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right) * xy + I_{m2}^2 * y^2$$

$$+ \left(2V_m * I_{m2} * \cos\delta * \sin\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right)\right)^2 - (2V_m * I_{m2} * \cos\delta)^2 = 0$$

$$B^2 - 4AC = 6I_{m2}^2 V_m^2 \left[\cos^2 * \sin^2\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right)\right] - \cos^2\delta = 16I_{m2}^2 V_m^2 * \cos^2\delta * \left[\sin^2(\varphi + \frac{\delta}{2} - 1\right]$$

$$=16I_{m2}^2 V_m^2 * \cos^2\delta * \cos^2\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right).$$

On remarque bien que l'équation obtenue $\Delta V_2=f(I_2)$ est une ellipse.

Différentes charges ont été appliquées au secondaire pour répresenter $\Delta V_2=f(I_2)$ fig III.8.

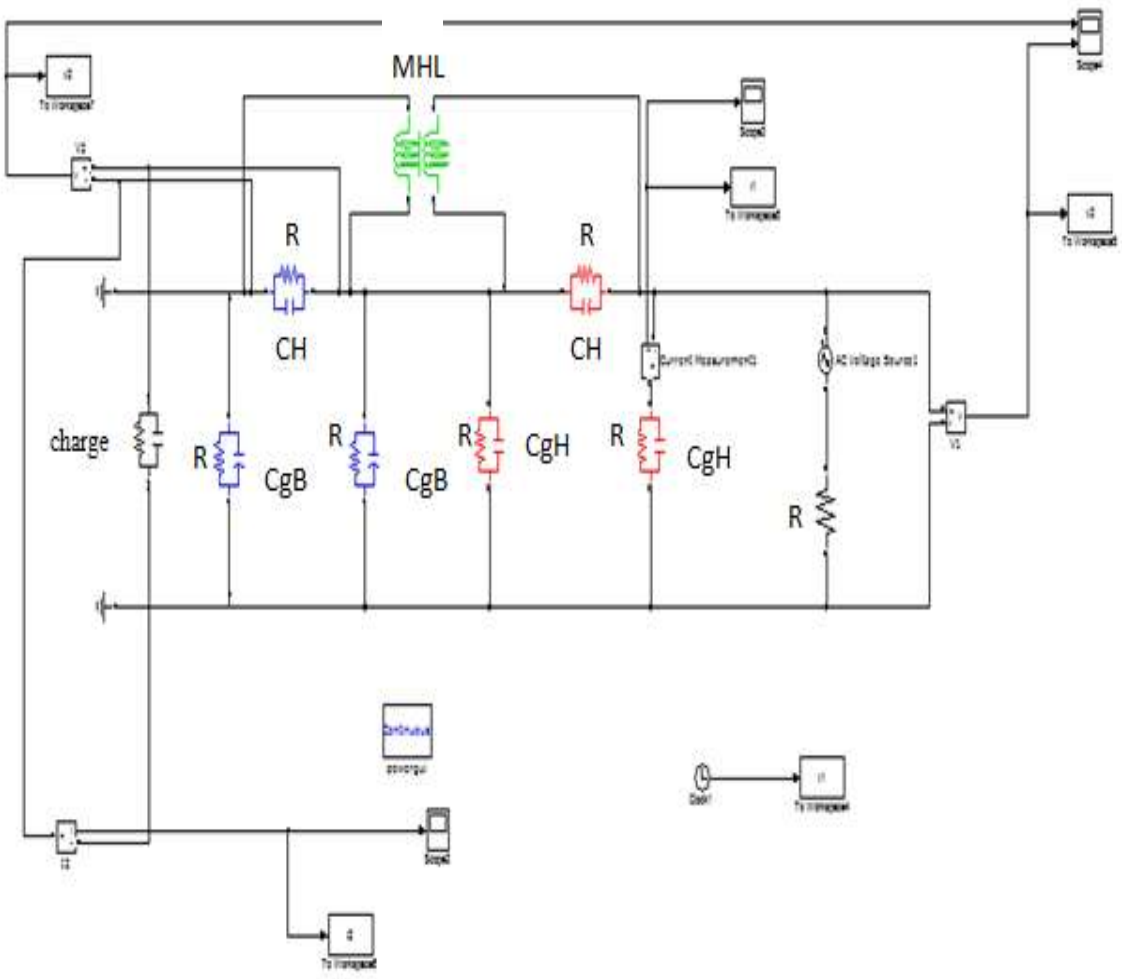


Figure.III.8 : Transformateur en charge.

a. Charge résistive :

Les allures obtenues pour des charges résistives variables sont donné dans la fig. III.9.

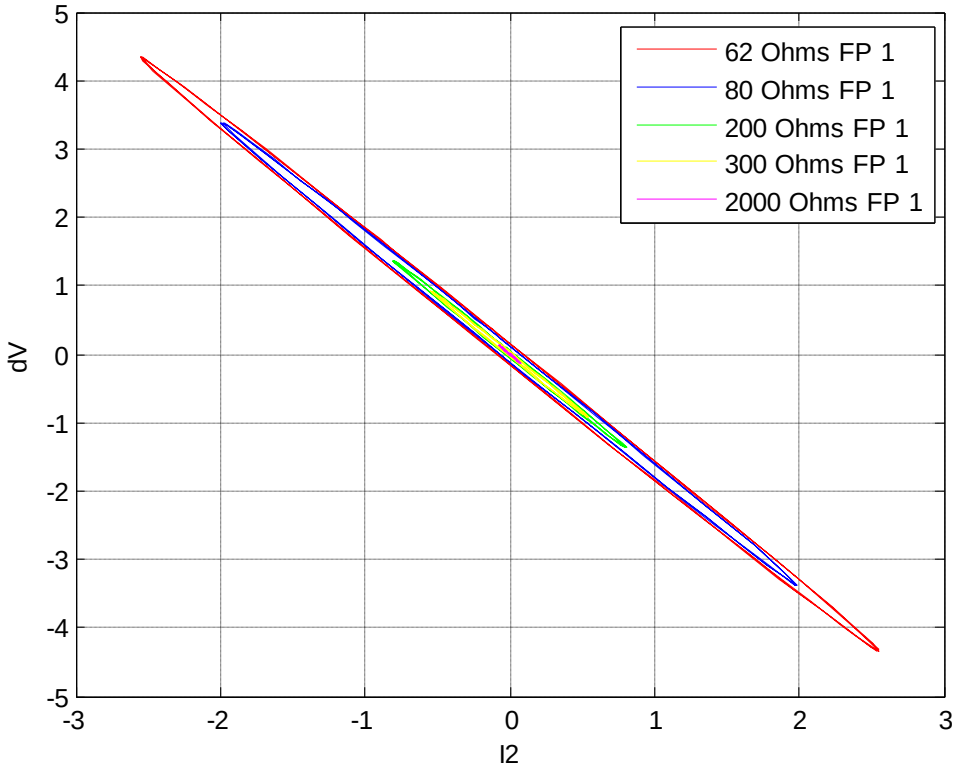


Figure.III.9 : Impact sur cycle ΔV_2-I_2 pour facteur de puissance 1.

b. Charge inductive :

Les allures $\Delta V_2=f(I_2)$ pour des charges inductives variables à facteur de puissance constant sont données par la fig III.10.

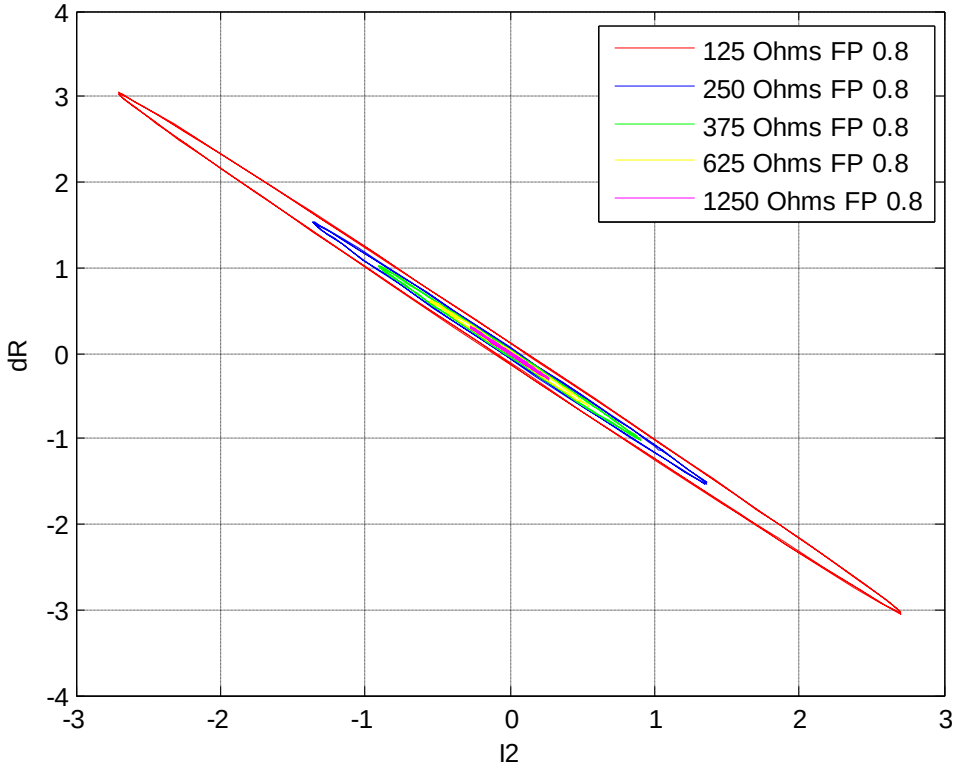


Figure.III.10 : Impact sur cycle ΔV_2-I_2 pour facteur de puissance 0.8 Ar.

c. Charge capacitive :

La fig. III.11 représente la dépendance $\Delta V_2=f(I_2)$ pour des charges capacitive variables à facteur de puissance 0,8 av.

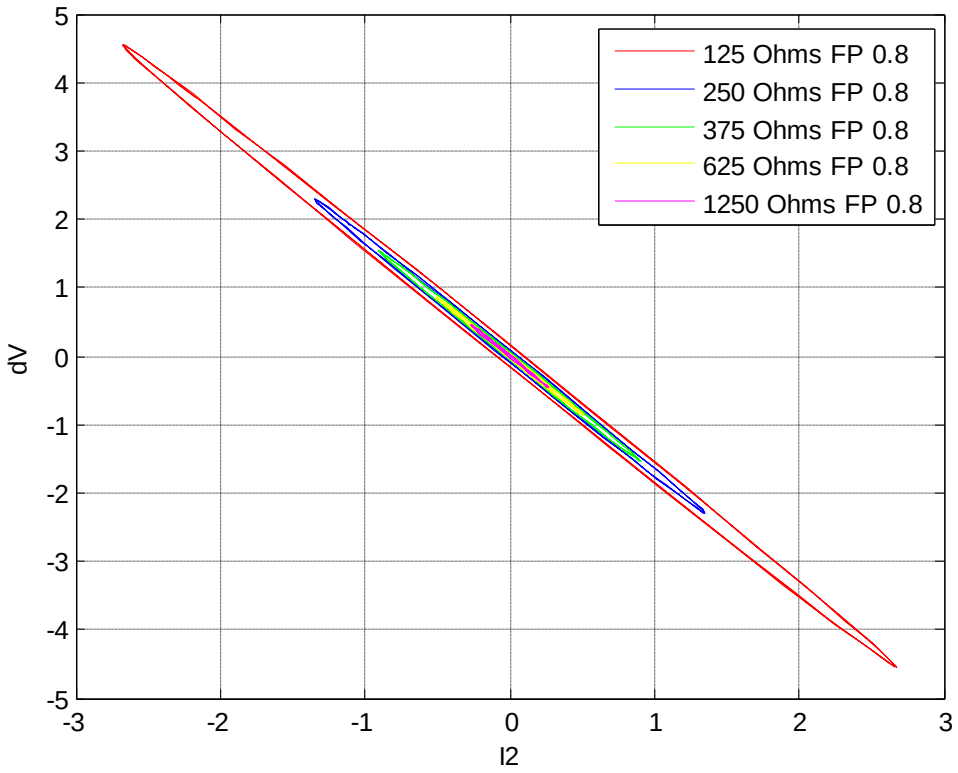


Figure.III.11: Impact sur cycle ΔV_2-I_2 pour facteur de puissance 0.8 Av.

D'après les resultats obtenue ,on a constaté que l'allure et l'aire du cycle $\Delta V_2=f(I_2)$ dépend de la charge alimentée par le secondaire du transformateur .

III.7.Détection des défauts :

L'objectif de cette partie est d'utiliser la caractéristique $\Delta V_2=f(I_2)$ pour une charge donnée comme une référence et de déterminer d'autre caractéristique $\Delta V_2=f(I_2)$ corespondant aux défauts introduits dans le modèle du transformateur .

III.7.1. Simulation des défauts résistifs :

Des défauts résistifs sont introduits dans les enroulements primaires (HT) et secondaire (BT) du transformateur. Les défauts sont simulés par des augmentations des résistances HT et BT. La figure 12 illustre les allures $\Delta V_2=f(I_2)$ obtenues pour les différents défauts resistifs introduits dans l'enroulement BT et comparées à celle obtenue d'un transformateur sain alimentant une charge inductif de facteur de puissance 0,8 ar.

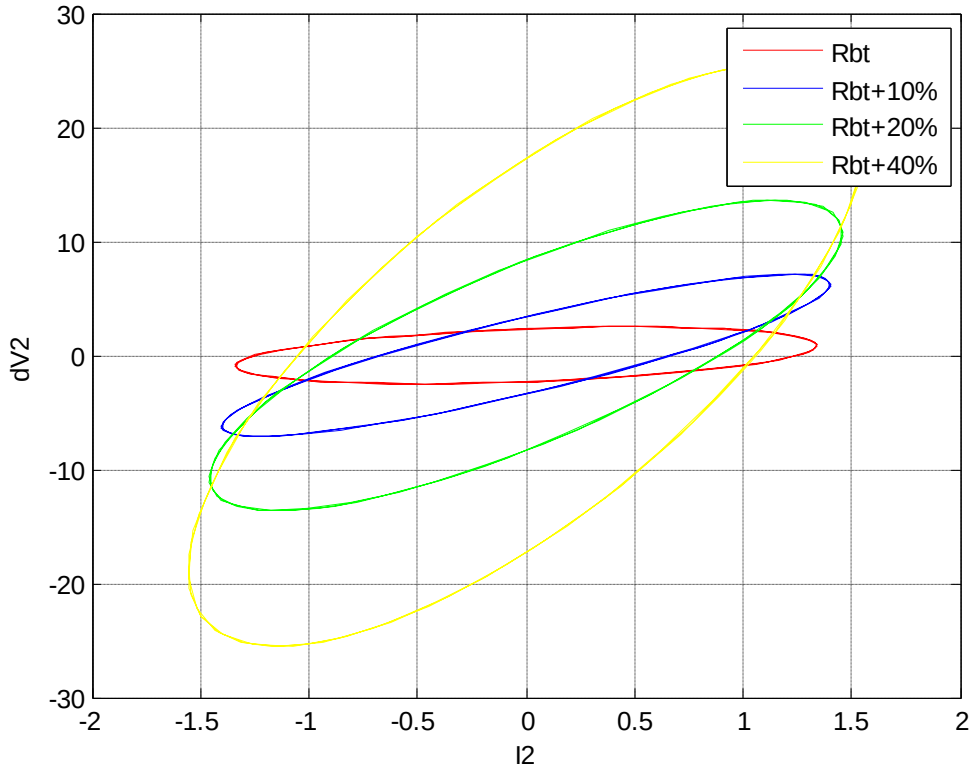


Figure.III.12 : Effet d'un défaut résistif R_{BT} sur le cycle ΔV_2-I_2.

D'après les résultats obtenus, on a constaté :

Une augmentation de l'aire du cycle $\Delta V_2(I_2)$ avec l'augmentation de la valeur de résistance de l'enroulement BT qui simule le défaut résistif dans cet enroulement.

Une orientation des cycles dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, la déviation par rapport au cycle d'un transformateur sain est d'autant plus grande avec la résistance de défaut qui augmente.

La figure ci-dessous illustre les allures $\Delta V_2(I_2)$ correspondantes à chacun des défauts résistifs introduit dans le bobinage HT comparées au l'allure du cycle de référence correspond à transformateur sain alimentant une charge inductive de facteur de puissance 0.8ar.

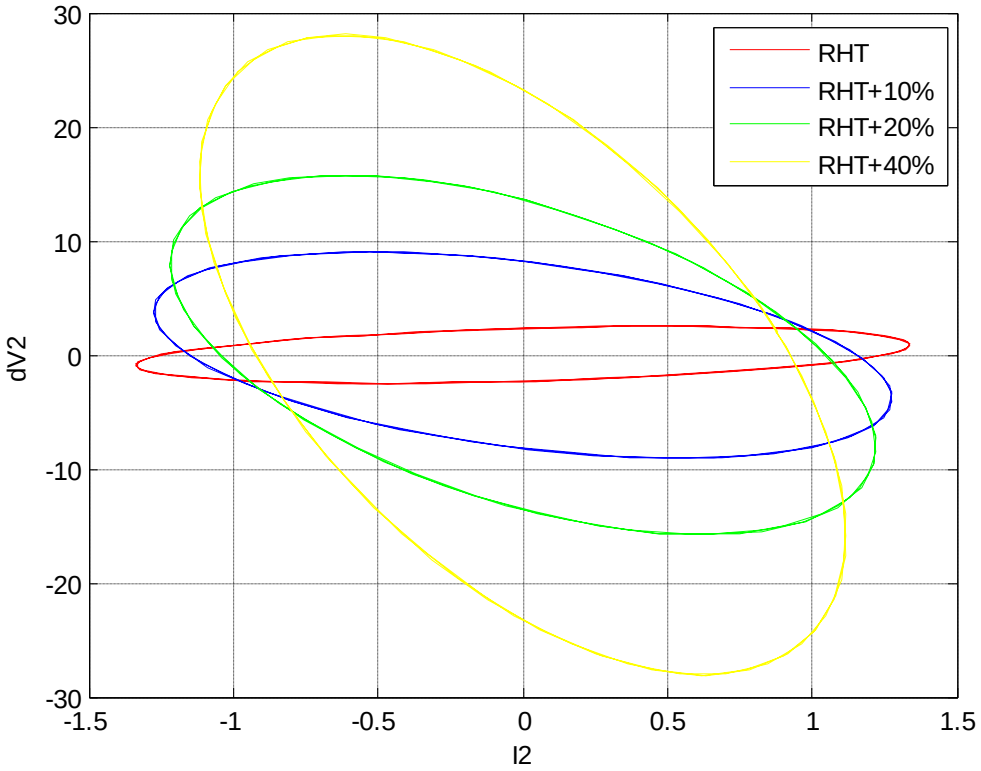


Figure.III.13 : Effet d'un défaut résistif R_{HT} sur le cycle ΔV_2-I_2.

D'après les résultats obtenus, on a constaté :

Une augmentation de l'aire du cycle $\Delta V_2(I_2)$ avec l'augmentation de la valeur de résistance de l'enroulement HT qui simule le défaut résistif dans cet enroulement.

Une orientation des cycles dans le même sens des aiguilles d'une montre, la déviation par rapport au cycle d'un transformateur sain est d'autant plus grande avec la résistance de défaut qui augmente.

III.7.2.Défaut de ruptur isolation dans l'enoulement BT et HT:

Le defaut de rupture d'isolation est simulé par l'introduction d'une faible resitance en parrallèle avec la capacité logitudinale des enrouements BT et HT du transformateur débitant sur une charge inductive de facteur de puissance 0.8 ar.

La figure ci-dessous illustre les allures $\Delta V_2(I_2)$ correspondantes à chacun des défauts de rupture isolation introduits dans le bobinage BT comparées au l'allure du cycle de référence qui correspond à transformateur sain alimentant une charge inductive.

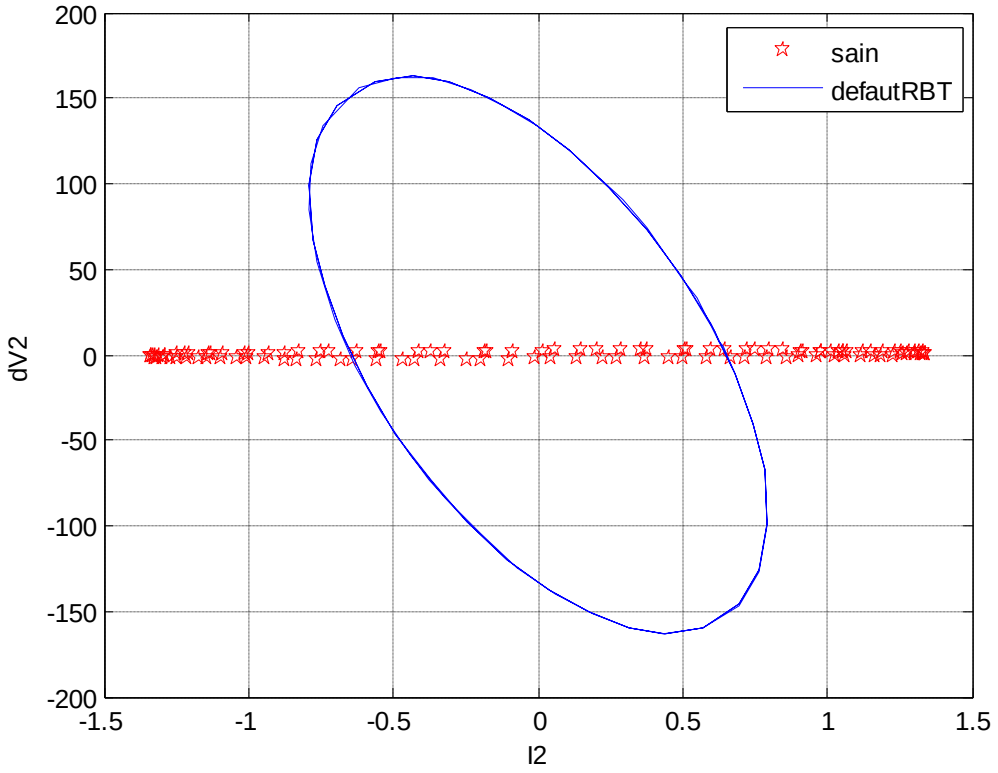


Figure.III.14 : Effet d'un défaut de rupture R_{BT} sur le cycle ΔV_2-I_2.

Une augmentation de l'aire du cycle $\Delta V_2(I_2)$ correspondant au défaut de rupture d'isolation est plus par rapport à celui correspondant au cas sain.

Une orientation du cycle de défaut dans le même sens des aiguilles d'une montre par rapport au cycle d'un transformateur sain.

La figure ci-dessous illustre les allures $\Delta V_2(I_2)$ correspondantes à chacun des défauts de rupture isolation introduits dans le bobinage HT comparées au l'allure du cycle de référence qui correspond à transformateur sain alimentant une charge inductive.

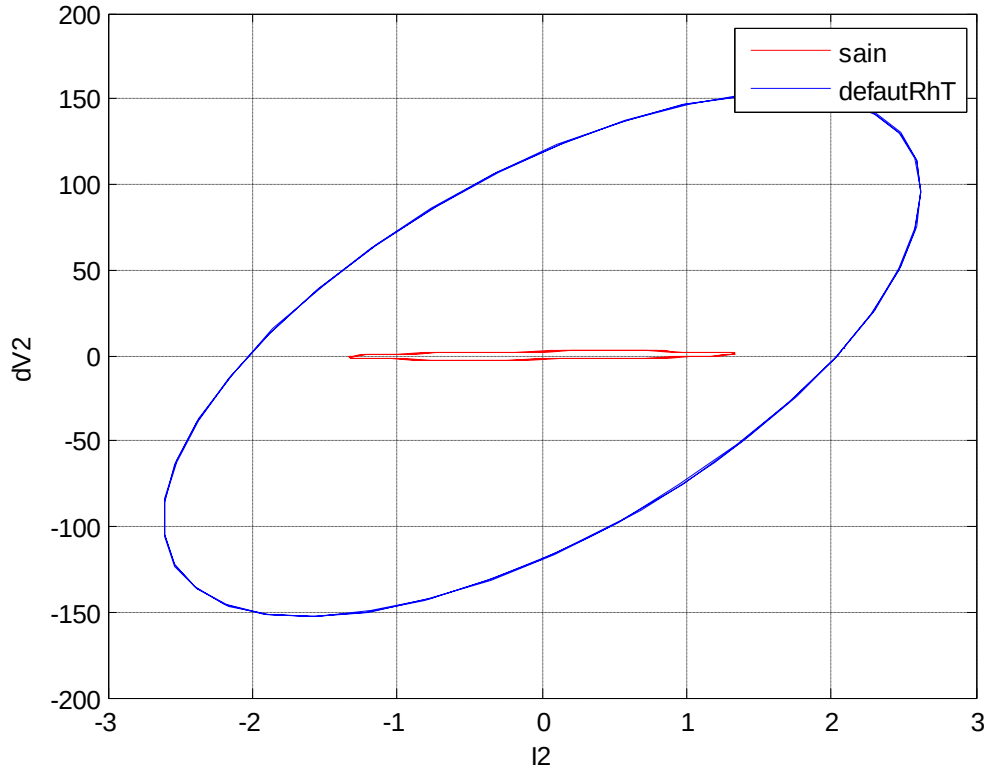


Figure.III.15 : Effet d'un défaut de rupture R_{HT} sur le cycle ΔV_2-I_2.

Une augmentation de l'aire du cycle $\Delta V_2(I_2)$ correspondant au défaut de rupture d'isolation est plus par rapport à celui correspondant au cas sain.

Une orientation du cycle de défaut dans le sens contraire des aiguilles d'une montre par rapport au cycle d'un transformateur sain.

III.7.3.Comparaison entre les défauts résistifs HT et BT :

La figure ci-dessous représente une comparaison des allures $\Delta V_2(I_2)$ correspondantes à chacun des défauts résistifs simulés par une augmentation de l'ordre de 10% des résistances HT et BT introduits dans les bobinages HT et BT, par rapport à l'allure du cycle de référence correspondant au transformateur sain alimentant une charge inductive de facteur de puissance 0.8ar.

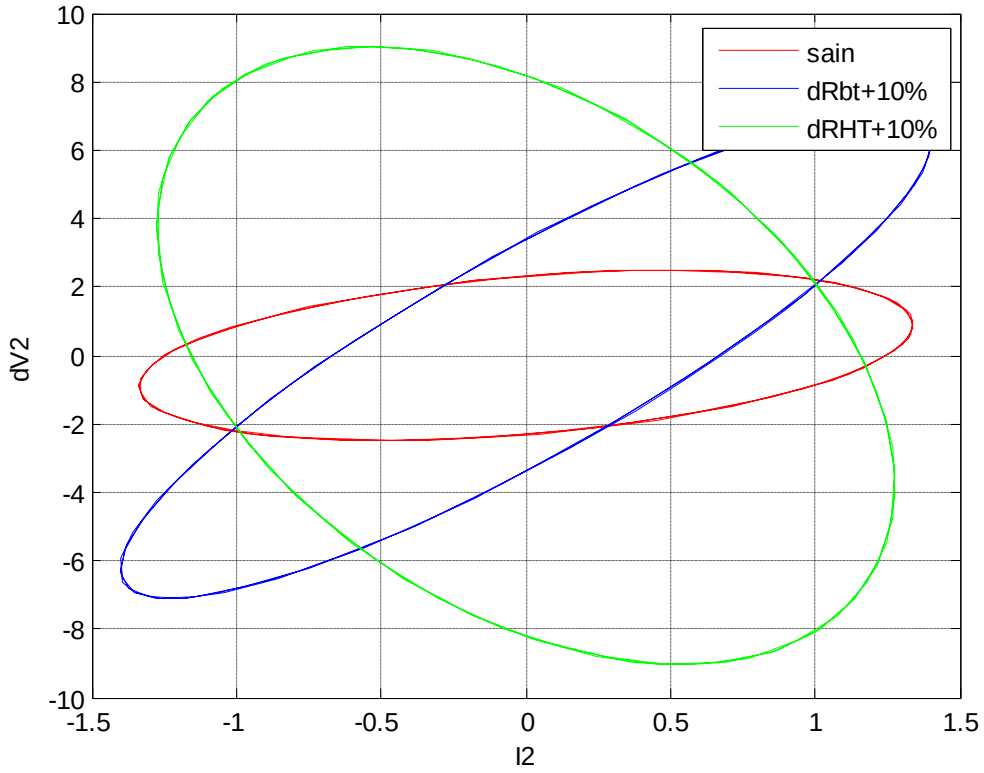


Figure.III.16 : La comparaison d'un défaut résistif R_{HT} et R_{BT} sur le cycle ΔV_2-I_2.

D'après cette comparaison, on peut facilement distinguer le défaut HT du défaut BT. En effet le cycle correspondant au défaut HT présente une aire plus grande que celle correspondant au cycle du défaut BT. L'orientation du cycle du défaut HT, par rapport au cycle du transformateur sain, est dans le sens trigonométrique à l'opposé de l'orientation du cycle correspondant au défaut BT.

III.7.4.Comparaison entre les défauts résistifs HT et BT :

La figures ci-dessous illustre la comparaison des allures $\Delta V_2(I_2)$ correspondantes à chacun des défauts rupture d'isolation simulés par l'insertion d'une résistance très faible en parallèle avec les capacités longitudinales HT et BT par rapport à l'allure du cycle de référence correspondant au transformateur sain alimentant une charge inductive de facteur de puissance 0.8ar.

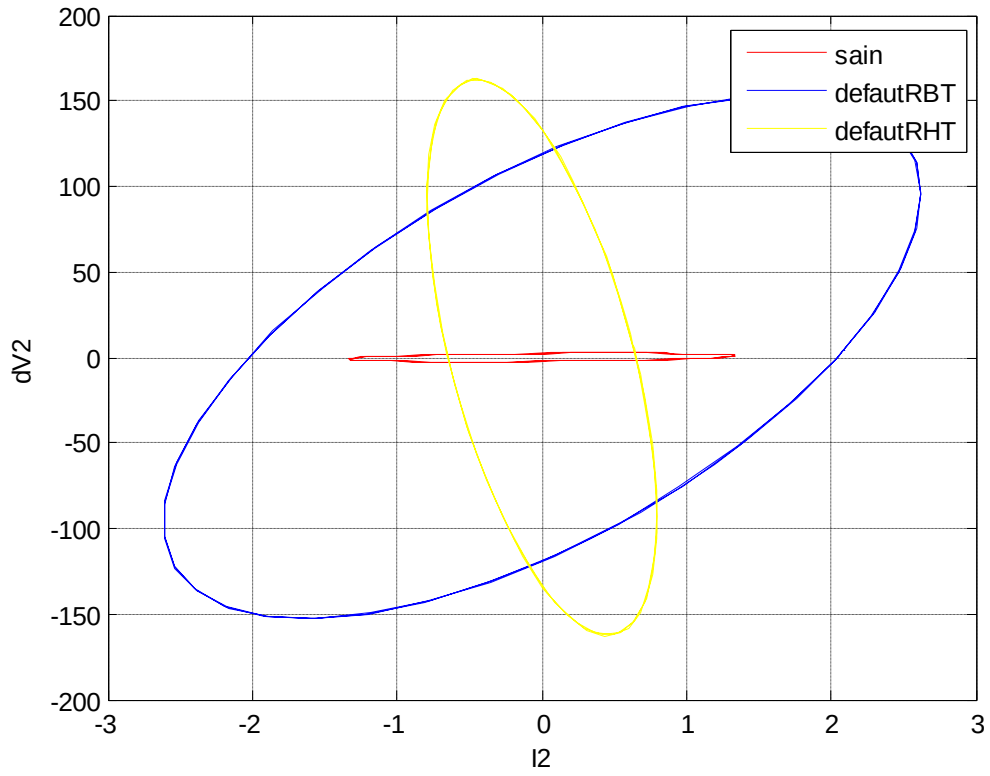


Figure.III.17 : La comparaison d'un défaut de rupture R_{HT} et R_{BT} sur le cycle ΔV_2-I_2.

D'après cette comparaison, on peut facilement distinguer le défaut HT du défaut BT. En effet le cycle correspondant au défaut BT présente une aire plus grande que celle correspondant au cycle du défaut HT. L'orientation du cycle du défaut HT, par rapport au cycle du transformateur sain, est dans le sens trigonométrique à l'opposé de l'orientation du cycle correspondant au défaut BT.

III.8. Conclusion :

D'après la modélisation et la simulation de transformateur monophasé, l'étude de diagnostic des défauts de transformateur peut être réalisée grâce à la caractéristique ΔV_2-I_2.

La comparaison entre les cycles ΔV_2-I_2 de transformateur sain et autre défectueux, est une technique qui peut être d'un apport considérable pour la classification et la localisation l'emplacement de défaut, lorsque le transformateur étudié en service.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le diagnostic et la détection des défauts mobilisent à ce jour beaucoup de chercheurs dans les différents domaines industriels. Les transformateurs ne font pas l'exception.
Dans ce travail, nous avons tout d'abord présenté, les notions fondamentales et cité les principales notions de base du transformateur. Cette étude est faite dans but de la modélisation, la simulation et le diagnostic des défauts du transformateur.

Avant qu'elle soit une réalisation technique, on peut faire la simulation et prévoir les résultats, en générale la simulation joue un rôle très important et nécessaire pour faire le diagnostic de transformateur.

L'objectif principal de l'étude menée dans le cadre de ce travail est la mise en œuvre d'une technique permettant un diagnostic de défaillances dans les enroulements du transformateur en plein régime de fonctionnement.

La technique repose sur la construction d'un diagramme traduisant la dépendance entre le courant secondaire et la différence de tension de sortie du transformateur en charge. Les lieux de la fonction $\Delta V_2=f(I_2)$ sont considérés comme l'empreinte digitale du transformateur. Toute défaillance mécanique, diélectrique ou électrique modifiera le cycle $\Delta V2=f(I2)$ d'une façon unique et donc une détection de défaut ainsi qu'un type de défaut peuvent être identifiés.
En tenant compte des résultats obtenus on peut tirer les conclusions suivantes :

- La forme et l'aire du cycle $\Delta V_2=f(I_2)$ dépand de la charge branchée au secondaire du transformateur.
- Pour une charge fixe, l'orientation et l'aire du cycle $\Delta V_2=f(I_2)$ dépend du défaut introduit.
- Les défauts du côté HT présentent des cycles plus larges comparativement à ceux traduisant des défauts du côté BT.
- Du point de vue général l'orientation des cycles des défauts du côté HT s'oriente en opposition avec ceux correspondant aux défauts introduits du côté BT.

Les résultats obtenus peuvent constitués un premier pour les travaux futurs dans le domaine du diagnostic on line des défaillances dans les enroulements du transormateur.

Référence bibliographique

[1] E. J. Figueroa, "Managing an Aging Fleet of Transformers," in 6th Southern africa Regional conference, Cigre 2009, 2009.

[2] An On-Line Technique to Detect Winding Deformation within Power Transformers

A. Abu-Siada Senior Lecturer, Curtin University

[3] S. M. Islam and G. Ledwich, "Locating transformer faults through sensitivity analysis of high frequency modeling using transfer function approach," in Electrical Insulation, 1996., Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on , 1996, pp. 38-41 vol.1.

[4] M. S. A. Minhas, J. P. Reynders, and P. J. De Klerk, "Failures in power system transformers and appropriate monitoring techniques," in High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No.467), 1999, pp. 94-97 vol.1.

[5] THEODORE WILDI. ELECTROTECHNIQUE – 3eme édition.

[6] Jean Sanchez. Aide au diagnostic de défauts des transformateurs de puissance. Autre. Université Grenoble Alpes, 2011.

[7] : BEBOUKHA Abd Errazzak ET GHILANI Moussa. Modélisation et simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance.
MASTER ACADEMIQUE. Université d'EL-Oued.

[8] Jean Sanchez. Aide au diagnostic de defauts des transformateurs de puissance. Autre. Universite Grenoble Alpes, 2011. Francais. <NNT : 2011GRENT031>. <tel-01017179>.

[9] T.Noda, H. Nakamoto, S.Yokoyama, ≪Accurate Modeling of Core-Type Distribution Transformers for Electromagnetic Transient Studies", IEEE Transaction on Power Delivery,Vol. 17, No. 4, Octobre 2002.

[10] Anthony F. Sleva, Protection Relay principale, 2009.

[11] V.COSTAN, convertisseurs parallèles entrelacés : Etude des Pertes Fer dans les transformatrices inter-cellules, Thèse de doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, Octobre 2007.