الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D_R. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE.

Département de Génie Electrique.

Projet de Fin d'Etude

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en

Option : Électrotechnique-Réseaux électrique-

THEME:

Optimisations des paramètres dans les enroulements d'un transformateur triphasé en régime BF : Application d'PSO Basée sur l'analyse de l'impédance.

Proposé et dirigé par,

Dr. GASMI A
Mlle. BOUKIRAT Samia

Préparé et présenté par,

M. ZIANI Sid Ahmed
M. MEZIOUD Hamza

Année Universitaire

2020/2021

Remerciements

Ava tout, nous remercions ACLAH le tout puissant de nous avoir donné courage, patience et force durant toutes ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons à exprimer notre remerciement et notre gratitude a Notre encadreur

Mme: BOUKIRAT Samia pour la confiance qu'elle nous a prodigué pour la Direction de ce travail, sans cesser de nous encourager et de nous pousser vers les horizons de recherche.

Nos remerciements sont également adressés aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Enfin nous remercions aussi toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la rédaction de ce travail. Nous vous remercions de la collection.

Dédicace

Je dédié ce mémoire

aux êtres les plus chers à mon

cœur, mon Père, ma Mère, qu'ont toujours cru en moi et encouragées.

A mon frère : Midou,

A mes sœurs,

A toute mes familles,

A tous mes amis(Dochka,Bilal Cherifi,Yakoub,walid,Rini),

A tous mes collèges(Brahim,Merwan,Hamza Mezioud /Khamouch/bouchou,Djdili Med,Hichem,Rachid),

A tous mes professeurs.

Sid Ahmed

Dédicace

Je dédié ce mémoire

aux êtres les plus chers à mon

cœur, mon Père, ma Mère, qu'ont toujours cru en moi et encouragées.

A mon cousin : Fateh,

A mes sœurs,

A mes frères,

A toute mes familles,

A tous mes amis,

A tous mes professeurs.

Hamza

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى الحصول على معلومات اللفة النموذجية المستخدمة في التردد المنخفض لطراز لمحول ثلاثي الطور باستخدام خوارزمية PSO، وتطبيقها أثناء تفسير نتائج تردد منخفض من محاكاة FRA. النموذج

الذي نعتبره الأكثر ملائمة لدراستنا هو أنه بناء على تقدير لفه من خلال خلية RLC. لأنه يحتوي تماما على دراسة

منخفضة التردد. تم إجراء المحاكاة تحت برنامج MATLAB

الكلمات المفتاحية : الدراسة, اللفة, التردد المنخفض, لطرازπ , لمحول ثلاثي الطور, خوارزمية PSO محاكاة FRA,

خلية RLC, برنامج MATLAB.

Résumé :

Cette étude a pour objectif d'obtention des paramètres de l'enroulement d'un modèle de base utilisé en basse fréquence du modèle π du transformateur triphasé en utilisant l'algorithme de PSO, et son application lors de l'interprétation des résultats de basse fréquence des simulations de la FRA.

Le modèle que nous avons considéré comme le plus adapté à notre étude est celui basé sur la discrétisation de l'enroulement par une cellule RLC. Pour il contient parfaitement à une étude en basse fréquences.

La simulation a été réalisée sous logiciel MATLAB.

Mots clés : étude, l'enroulement, basse fréquence, modèle π, transformateur triphasé, l'algorithme de PSO, simulations de la FRA, cellule RLC, logiciel MATLAB.

Abstract:

This study aims to obtain the parameters of the winding of a base model used in low frequency of the three-phase transformer model π using the PSO algorithm, and its application during the interpretation of the results of bass Frequency of FRA simulations.

The model we considered as the most suitable for our study is that based on the discretization of the winding by a RLC cell. For it perfectly contains a low frequency study.

The simulation was performed under MATLAB software

Key Word: study, the winding, low frequency, three-phase transformer, model π, PSO algorithm, FRA simulations, RLC cell, MATLAB software.

Table des matières

Introduction générale.....Error! Bookmark not defined.

Chapitre I Généralités et concepts de base sur le transformateur triphasé

I.1. Introduction : **3**

I.2. Définition du transformateur :..... **3**

I.3. Principe de fonctionnement :. **4**

I.4. Le transformateur triphasé :..... **4**

I.4.1. Définition du transformateur triphasé :.....**4**

I.4.2. Constitution : **5**

I.4.2.1. Partie active :..... *5*

I.4.2.2. Circuit magnétique : *5*

I.4.2.3.Enroulements : *6*

I.4.3. Différents modes de couplages d'un transformateur triphasé : **7**

I.4.3.1. Connexion en étoile (Y) : *7*

I.4.3.2.Connexion en triangle(Δ) : *8*

I.4.3.3. Connexion Zigzag :..... *9*

I.4.4. Couplages normales d'un transformateur triphasé :.....**10**

I.4.5. Choix du couplage : **10**

I.5. Défauts internes au transformateur : **11**

A. diélectrique :.....**11**

B. Electriques: **11**

C. Electromagnétique : **12**

D. Thermiques : **13**

E. Mécanique : **14**

I.6. Techniques de diagnostic défauts dans les transformateurs : **14**

I.6.1. Analyse d'huile : **14**

I.6.2. Mesures diélectriques: **15**

I.6.3. Analyse des furanes : **15**

I.6.4. Mesures électriques : **15**

I.6.4.1. Mesure du courant d'excitation: 15
I.6.4.2. Mesure de rapport de transformation : 15
I.6.4.3. Mesure de la résistance d'enroulements: 16
I.6.4.4. Mesure de la réactance de fuite : 16
I.7. Conclusion : **16**

Chapitre II: Modélisation fréquentielle du transformateur, FRA et technique de PSO

II.1. Introduction : **17**
II.2 L'Analyse de la réponse en fréquence (FRA) : **17**
II.2.1. Définition :. **17**
II.2.2. Buts de la FRA : **18**
II.2.3. Utilisation des tests FRA :. **18**
II.2.4. Détection de défaut par FRA:. **18**
II.2.5. Principe de la méthode :. **19**
II.3.Principaux modèles des transformateurs de puissance : **20**
II.3.1 Modèle de LEON : **21**
II.3.2 Modélisation par inductances propres et mutuelles: **22**
II.3.3 Modèle de Chimklai : **23**
II.3.4 Modèle d'Andrieu : **24**
II.3.5 Modèle de Morched : **25**
ne convient pas aux études internes du transformateur. **26**
II.3.6. Modèle en T du transformateur : **26**
II.3.7 Modèle en π du transformateur : **28**
II.4.Optimisation d'Essaim de Particules (PSO) : **28**
II.4.1. L'optimisation par essaim particulaire : **29**
II.4.1.1. Définition de la méthode : 29
II.4.1.2. Formalisation : 30
II.4.1.3. Le critère d'arrêt : 31
II.5 Conclusion : **32**

Chapitre III : Simulation d'un transformateur triphasé : application de PSO basée sur l'analyse de l'impédance.

III.1.Introduction : 33

III.2 Buts: 33

III.3 Modèle considéré (circuit équivalent) : 33

III.4 Méthodologie de calcul des paramètres : 35

III.4.1 Calcul des paramètres : 35

III.4.2 Calcul des impédances Zu, Zv et Zw par simulation : 35

III.4.3 Estimation des paramètres du modèle RLC pour chaque phase : 39

III.4.4 Calcul de l'admittance de chaque cellule RLC parallèle : 40

III.5 Optimisation d'Essaim de Particules (PSO) : 44

III.5.1 Configuration de la méthode : 45

III.5.2 Le coefficient d'inertie : 45

III.5.3 Le facteur de constriction : 46

III.5.4 La notion du voisinage : 46

III.5.5 Proposition d'une approche de parallélisassions de la méthode PSO : 47

III.5.6 Le critère d'arrêt : 48

III.5.7 Les étapes de l'algorithme : 49

III.5.8 L'algorithme de PSO : 50

III.5.9 Résultats de simulation : 52

III.5.10 Résultats expérimentaux : 54

III.6. Conclusion : 55

Conclusion général: 56

Listes des figures

N°=figure	Intitulé	Page
Chapitre I :		
Figure(I.1):	Schéma de principe d'un transformateur.	4
Figure(I.2):	Transformateur triphasé.	5
Figure(I.3):	Différents types de circuit magnétique.	6
Figure(I.4):	Enroulement triphasé d'un transformateur**.**	6
Figure(I.5):	Couplage étoile-étoile.	7
Figure(I.6):	Diagramme étoile-étoile.	8
Figure(I.7):	Couplage étoile- triangle.	8
Figure(I.8):	Diagramme étoile- triangle.	9
Figure(I.9):	Couplage Zigzag.	9
Figure(I.10):	Diagramme Zigzag.	10
Figure(I.11):	Traces d'amorçage suite d'une perte partielle d'isolement.	11
Figure(I.12):	Points chauds dus aux mauvais contacts.	12
Figure(I.13):	Courant d'appel ou de magnétisation.	13
Figure(I.14):	Traces d'échauffements.	13
Chapitre II :		
Figure(II.1):	Modèle d'un enroulement de transformateur.	19
Figure(II.2):	Principe de la FRA.	20
Figure(II.3):	Circuit de Foster en série.	21
Figure(II.4):	Modèle de Cauer pour le noyau de fer.	22
Figure(II.5):	Modèle équivalent d'un enroulement de transformateur étudié.	23
Figure(II.6):	Modèle du transformateur de Chimklai. - circuit d'origine. (a) - circuit simplifié (b)	24
Figure(II.7):	Modèle d'Andrieu.	24
Figure(II.8):	Circuit équivalent de Zcc.	25
Figure(II.9):	Schéma équivalent du transformateur en vue de traitement par EMTP. a) Coupe transversale du transformateur.	

b) Circuit équivalent. 25

Figure(II.10): Modèle en T étendu du transformateur à trois enroulements pour enroulements empilés. 26

Figure(II.11): Modèle en T étendu du transformateur à trois enroulements pour enroulements entrelacés 27

Figure(II.12): Modèle de transformateur simple à trois enroulements. 27

Figure(II.13): Structure de modèle d'un quadripôle. 28

Figure(II.14): Circuit équivalent de l'impédance de chacun des phases. 28

Figure(II.15): Groupe de : (a) oiseux, (b) poissons, (c) fourmis, (d) abeilles. 29

Figure(II.16): Déplacement d'une particule. 30

Figure(II.17): Différents types de topologies pour un essaim de particules. 31

Chapitre III :

Figure(III.1): Modèle en π simplifié d'un transformateur triphasé. 33

Figure(III.2): Modèle de noyau de transformateur représenté par trois impédances ZU, ZV et ZW contenant les caractéristiques de chaque phase. 35

Figure(III.3): Modèle d'un transformateur triphasé représenté par trois impédances. 36

Figure(III.4): Courbes de réponse en fréquence obtenue par l'estimation correspondant phase U. 37

Figure(III.5): Courbes de réponse en fréquence obtenue par l'estimation correspondant phase V. 38

Figure(III.6): Courbes de réponse en fréquence obtenue par l'estimation correspondant phase W. 39

Figure(III.7) Modèle de circuit d'une branche de noyau de transformateur. 40

Figure(III.8): Courbes de réponse en fréquence obtenue par simulation correspondant phase U. 42

Figure(III.9): Courbes de réponse en fréquence obtenue par simulation correspondant phase V. 43

Figure(III.10): Courbes de réponse en fréquence obtenue par simulation correspondant phase W. 44

Figure(III.11): Organigramme de l'algorithme de PSO. 48

Figure(III.12): Les courbes de la réponse Zu estimée et la réponse optimisée par le PSO en fonction de la fréquence. 52

Figure(III.13): Les courbes de la réponse Zv estimée et la réponse optimisée par le PSO en fonction de la fréquence. 53

Figure(III.14): Les courbes de la réponse Zw estimée et la réponse optimisée par le PSO en fonction de la fréquence. 53

Liste de tableaux

N°=tableau	Intitulé	Page
Tableau. III.1.	L’algorithme de cellule RLC.	41
Tableau.III.2.	L’algorithme de la méthode PSO.	50
Tableau.III.3.	Les valeurs des paramètres RLC.	54

NOTATION

BT : Basse tension.

HT : Haut tension .

FRA : Technique d'analyse de la réponse en fréquence.

PSO : Optimisation d'Essaim de Particules.

EMTP: Programme des transitoires électromagnétiques (Electromagnetic Transients program).

RESEL : Ingénieurs d'Etude et de Recherche de l'Electricité (Engineers of Study and Research of the Electricity).

kV: kilo - Volt.

nF: Nano-Farad.

KΩ: Kilo-ohm.

Hz: Hertz.

H: Henry.

HF: Haute Fréquence.

BF : Basse fréquence.

Φ: Le flux principal.

Cg : Capacité shunt [F]

Cs : Capacité série.

r : Résistance.

L : L'inductance propre.

M1N : Représenté les inductances mutuelles.

X : La position dans l'espace de recherche.

V : La vitesse ;

Pb : La position de la meilleure solution par laquelle elle est passée ;

Pg : La position de la meilleure solution connue de tout l'essaim ;

f (Pb) : La valeur de fitness de sa meilleure solution ;

f (Pg) : La valeur de fitness de la meilleure solution connue de tout l'essaim.

$\mathbf{Z_m}$: Impédance mesurer

$\mathfrak{R}$: Reluctance magnétique**.**

C : capacité d'isolation (F).

ω : La pulsation (rd/s).

Introduction général

Introduction générale

L'énergie électrique est un produit d'intérêt capital pour tout développement de la société d'aujourd'hui, le transformateur est considéré comme l'élément indispensable dans le réseau de transport et de distribution d'électricité.

La distribution de l'énergie électrique se fait en triphasé et est plus économique d'où la nécessite d'utiliser des transformateurs à de mode, élévateur juste à la sortie de centrale de production et autre mode abaisseur avant chaque point de consommation.

Le transformateur électrique est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement, grâce à lui, l'étude du transformateur triphasé nous aidera également à comprendre le fonctionnement d'un grand nombre des machines telles que moteurs d'induction, alternateurs.. etc. En effet, pour modifier la tension d'un système triphasé on peut choisir d'utiliser:

- Soit 3 transformateurs monophasés identiques.
- Soit un seul transformateur triphasé.

La méthode des diagnostics consiste à la détection d'un changement anormal dans le comportement ou dans l'état d'un système et dans la localisation de sa cause. Elle repose sur la connaissance d'un modèle capable d'écrire le fonctionnement du système à surveiller.

L'interprétation de la FRA basée sur la modélisation de circuit du transformateur pour le but de représenter le comportement d'un transformateur sur toute la gamme de fréquence.

La modélisation du transformateur basée sur la variété de types des modèles, utilisent des paramètres de réseau équivalent (RLC).

L'algorithme de PSO a été introduit et développé pour les problèmes d'optimisation continue. C'est un algorithme qui permet de trouver l'optimum d'une fonction en un temps de traitement raisonnable.

Introduction générale

Les systèmes de diagnostic peuvent être mise en œuvre en cours d'exploitation (en ligne) ou pendant les phases normales d'arrêt d'exploitation. En cours d'exploitation, le but est de garantir la sécurité et la continuité de service et d'enregistrer les événements utiles pour la maintenance curative ou le retour d'expérience. En arrêt d'exploitation (hors ligne), l'objectif est d'évaluer le degré de vieillissement de certains éléments, de décider d'une opération de maintenance préventive ou curative.

Le contenu de cette thèse est structuré en trois chapitres présentés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons une vue générale sur le transformateur triphasé, les composants de base, les défauts internes du transformateur triphasé, nous traitons également les techniques de diagnostic par l'analyse d'huile, l'analyse des furanes, la mesure diélectrique et la mesure électrique.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'analyse de la réponse en fréquence (FRA), les principaux modèles des transformateurs de puissance ainsi que l'optimisation d'essaim de particules (PSO).

L'obtention des paramètres du modèle π du transformateur en utilisant l'algorithme de PSO fera l'objet du troisième chapitre.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui évaluera l'ensemble des résultats obtenus et nous proposerons des perspectives des futures pour ce travail.

Chapitre I :
Généralités et concepts de base sur le transformateur triphasé .

I.1. Introduction :

Les transformateurs de puissance sont des constituants essentiels de tous les réseaux de transport et de distribution d'électricité. L'apparition d'un défaut dans le système provoque la circulation de forts courants de court-circuit dans le transformateur, induisant des champs parasites dans celui-ci. Ces champs parasites produisent des forces axiales et radiales sur les enroulements du transformateur.

La structure mécanique et les enroulements du transformateur sont donc soumis à de fortes sollicitations mécaniques. Un transformateur peut aussi être soumis à des contraintes pendant son transport et son installation ainsi que par suite des variations cycliques de la température ambiante. Les contraintes imposées aux transformateurs de puissance peuvent entraîner des déformations mécaniques ou des défauts dans leurs enroulements et leurs noyaux magnétiques.

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

Dans ce chapitre, nous avons inclus les composants de base du transformateur et mentionné les techniques de diagnostic par l'analyse d'huile, mesure diélectrique et mesure électrique.

I.2. Définition du 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. [1].

Dans un transformateur, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que constitue la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés. Ceci permet de réaliser un isolement galvanique entre les deux circuit.[2]

I.3. Principe de fonctionnement : [3].

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

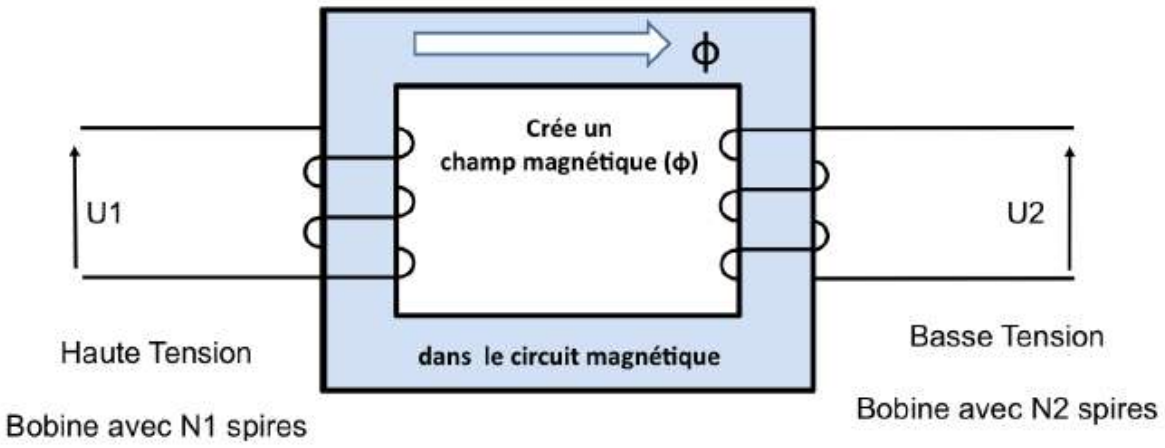


Figure I.1 : Schéma de principe d'un transformateur.

I.4. Le transformateur triphasé :

I.4.1. Définition du transformateur triphasé :

Le transformateur triphasé utilise les effets de l'induction magnétique. Ses deux enroulements embrassent un flux magnétique commun. L'enroulement primaire, alimenté par une source de courant alternatif, engendre un flux d'induction dans le circuit magnétique.

L'enroulement secondaire embrasse ce flux et devient le siège d'une f.é.m. induite. Celle-ci induira en son sein un courant alternatif qui alimentera le récepteur de l'énergie électrique branché à ses bornes. Le flux principal **Φ** crée dans les enroulements des forces électromotrices :

$$\mathbf{e1} = -\mathbf{n1}(\mathbf{d\Phi}/\mathbf{dt}) \qquad \text{(I.1)}$$

$$\boldsymbol{e}\mathbf{2} = -\mathbf{n2}(\mathbf{d\Phi}/\mathbf{dt}) \qquad \text{(I.2)}$$

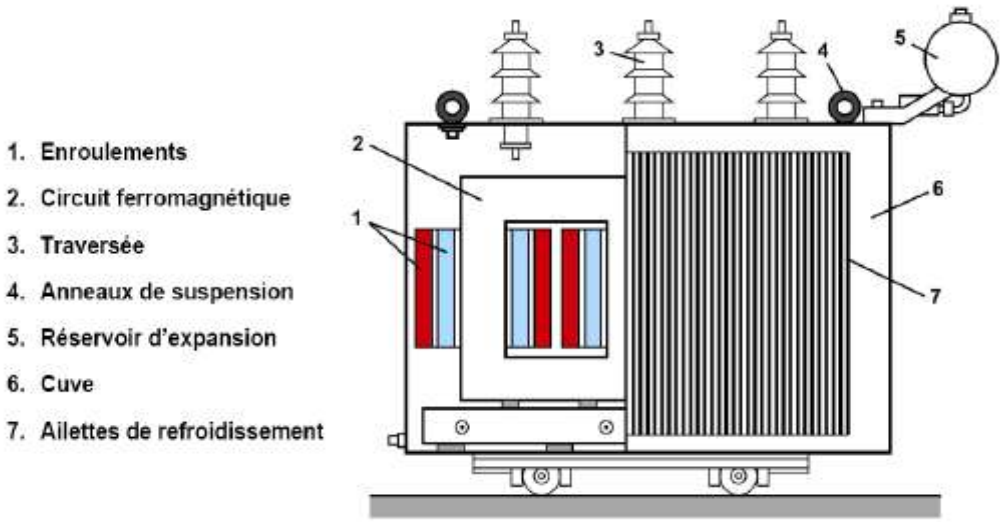


Figure I.2 : Transformateur triphasé.

I.4.2. Constitution :

Le transformateur de puissance comporte deux parties essentielles :

- La partie active
- La partie constructive

I.4.2.1. Partie active :

Elle joue un rôle fondamental dans la conversion de l'énergie électrique. Elle est constituée d'un circuit magnétique (noyau) et deux enroulements (primaire et secondaire).

I.4.2.2. Circuit magnétique :

Le circuit magnétique est constitué par empilage de tôles de fer silicium (0,8 à 3,5 % de silicium) à grains orientés, de faible épaisseur (0,3 à 0,35 mm), isolées entre elles. Son rôle essentiel est la canalisation du flux magnétique. La structure de sa section droite en gradins lui confère une forme circulaire semblable à celle des bobines afin de réduire les fuites magnétiques d'une part, et de présenter une bonne résistance mécanique aux efforts électrodynamiques de court-circuit d'autre part.

Les circuits magnétiques sont toujours des assemblages de tôles fines disposées dans un même plan, parallèlement et perpendiculaire les unes aux autres. La fonction principale des circuits magnétiques est de canaliser le flux magnétique et sert comme support aux enroulements.

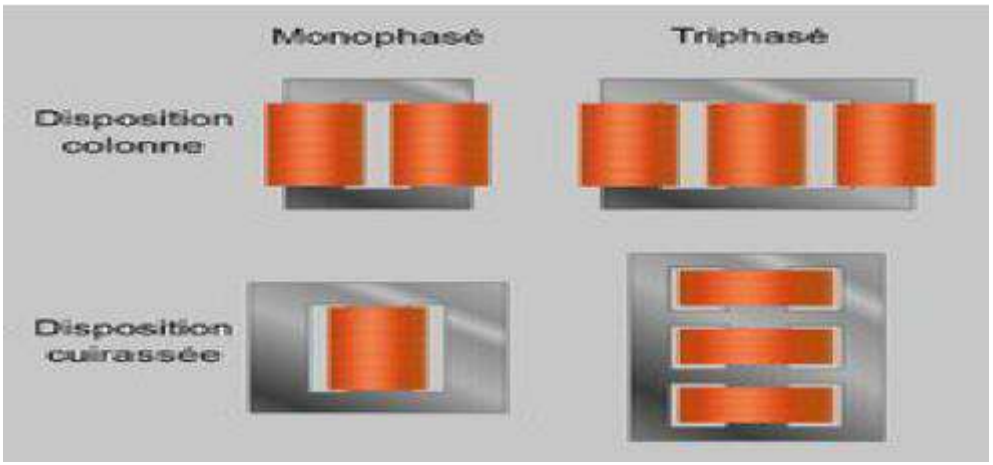


Figure I.3 : Différents types de circuit magnétique.

I.4.2.3.Enroulements :

Le transformateur comporte deux enroulement (primaire et secondaire) montés sur le colonnes du circuit magnétique qui sert de support.

Le primaire (enroulement HT) destiné à la création d'un champ alternatif sinusoïdal et le secondaire à la création d'un courant induit par la variation du flux généré par le champ alternatif.

Le primaire se comporte comme un récepteur, par contre le secondaire comme un générateur, il diffère du primaire par le nombre de spires.

Les enroulements sont réalisé à partir de conducteur en cuivre de forme circulaire ou rectangulaire selon la valeur de la tension.



Figure I.4: Enroulement triphasé d'un transformateur**.**

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

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

1. Étoile (Y).
2. Triangle (Δ).
3. 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 :

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

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad \text{(I.4)}$$

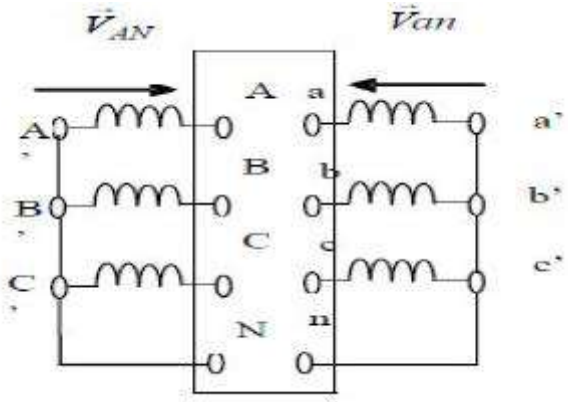


Figure I.5 : Couplage étoile-étoile.

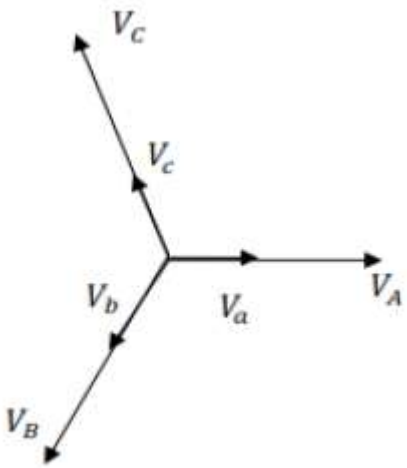


Figure I.6 : Diagramme étoile-étoile.

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 :

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

$$V = U \qquad \text{(I.6)}$$

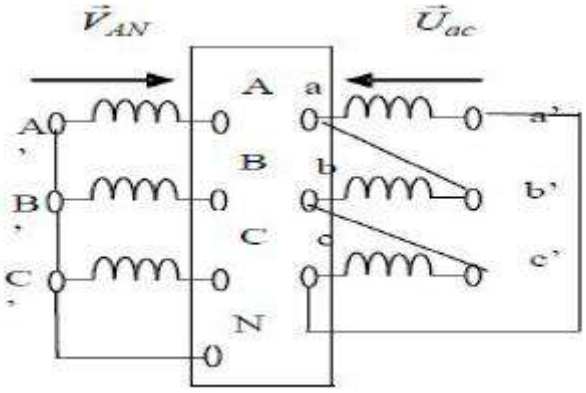


Figure I.7 : Couplage étoile- triangle.

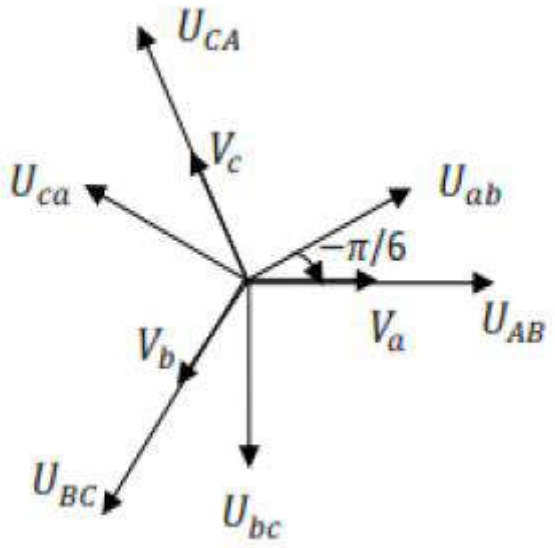
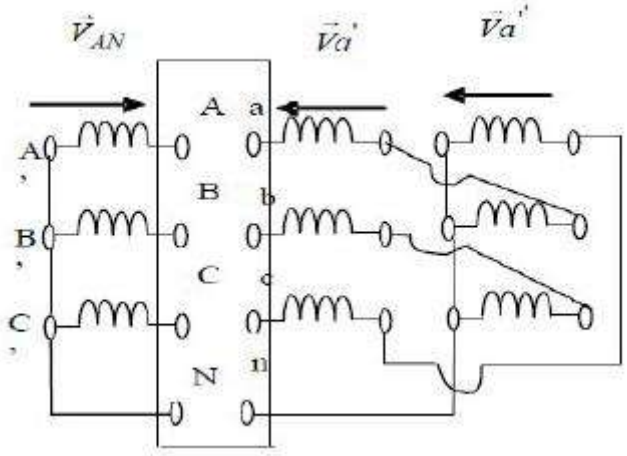


Figure I.8 : Diagramme étoile- triangle.

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.



FigureI.9: Couplage Zigzag .

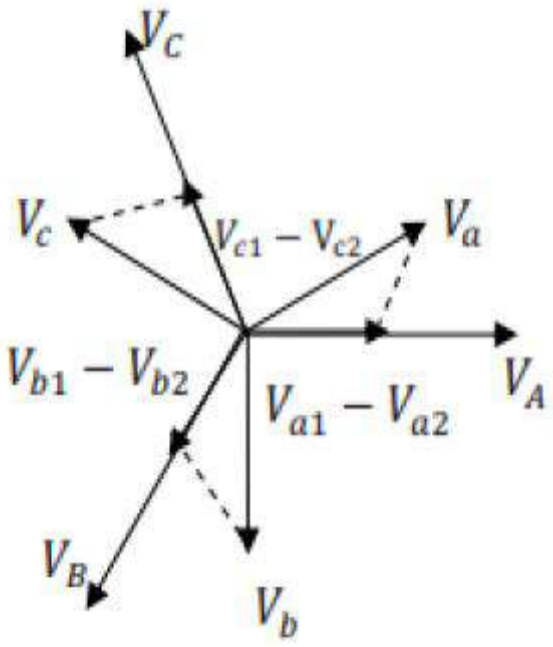


Figure I.10 : Diagramme Zigzag.

I.4.4. Couplages normales d'un transformateur triphasé :

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

- ➔ étoile-étoile avec neutre Y/Y0ou étoile sans neutre Y/Y
- ➔ étoile –triangle Y/ Δ
- ➔ étoile –zigzag Y/Z ou étoile –zigzag avec neutre Y/Z0
- ➔ triangle-zigzag Δ/Z ou triangle-zigzag avec neutre Δ/Z0
- ➔ triangle-étoile Δ/Y
- ➔ triangle-triangle Δ/Δ

Les plus utilisé sont :

a) étoile-triangle Y/Δ : à la production entre alternateur et ligne de transport.
b) étoile-étoile Y/Y : entre ligne de transport.
c) triangle-étoile Δ/Y et étoile –zigzag Y/Z à la distribution avec neutre du secondaire.

I.4.5. Choix du couplage :

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

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad (I.7)$$

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

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}} \qquad \text{(I.8)}$$

Auteurs 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.

I.5. Défauts internes au transformateur :

Ils peuvent être de nature très diverses :

A. diélectrique :

Amorçage entre enroulement ou entre pièces sous tension et la masse, décharge partielle.



Figure I.11 : Traces d'amorçage suite d'une perte partielle d'isolement.

B. Electriques:

Mauvais contact dans les connexions.

Les défauts typiques qui affectent la fiabilité à court terme dans le circuit de courant sont :

- La surchauffe d'isolation des connexions et des conducteurs lors d'un court-circuit.

- La surchauffe des connexions de traversée BT avec menace d'un court circuit à la terre.
- La surchauffe des contacts (mobile et fixe) du régleur en charge lors d'un court-circuit entre les phases.

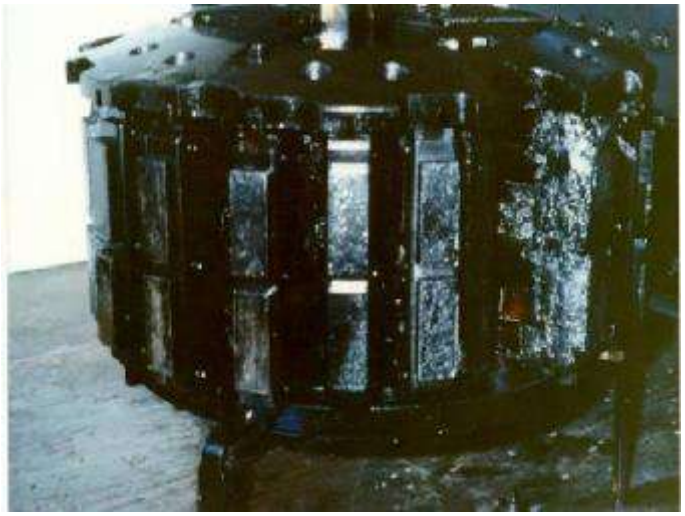


Figure I.12 : Points chauds dus aux mauvais contacts.

C. Electromagnétique :

Courants de Foucault circulant dans le circuit magnétique, les pièces de serrage, cuve ... etc.

Parmi les défauts de ce type on trouve les courants appelés communément INRUSH CURRENT , ou les courants de magnétisation qui sont considéré comment des courants de court circuit , qui se produisent à la première mise en service du transformateur et qui peuvent atteindre 12 fois du courant nominal. [4]**.**

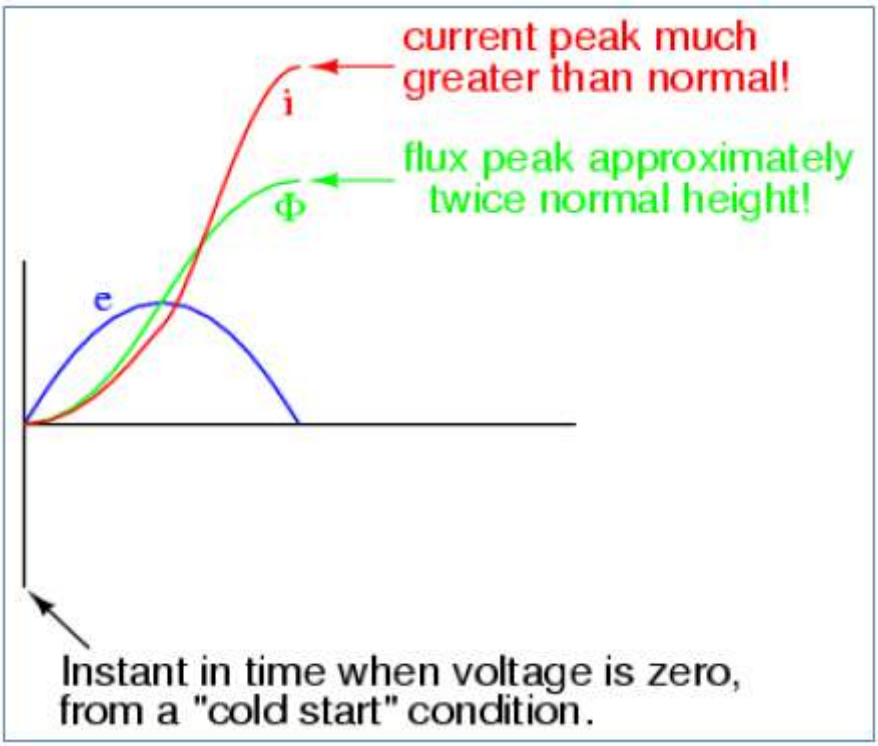


Figure I.13 : Courant d'appel ou de magnétisation.

D. Thermiques :

Echauffement anormal, point chaud, vieillissement thermique, pollution de l 'huile.

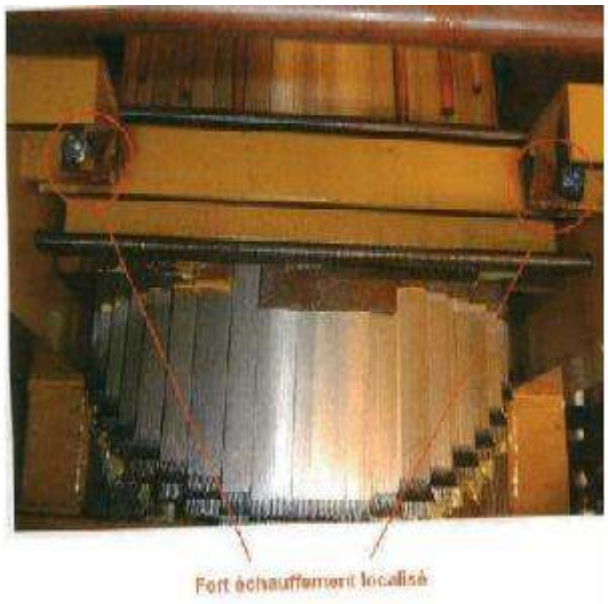


Figure I.14 : Traces d'échauffements.

E. Mécanique :

Vibration, fuites, fonctionnement défectueux du changeur de prises. L'expérience a montré que plus de 90% des modes de défaillance mécanique ont été associés avec la déformation circonférentielle des enroulements internes. Comme, il a été confirmé également que le transformateur peut survivre pendant des années avec cette anomalie jusqu'au relâchement dans son isolation.

La déformation circonférentielle des enroulements provoque des changements parfois très remarqués dans le diamètre des spires et des enroulements, ce qui changera la dimension du canal de fuite. Ces changements mécaniques sont souvent diagnostiqués par des méthodes modernes telles que l'analyse par réponse fréquentielle(FRA).[5]

I.6. Techniques de diagnostic défauts dans les transformateurs :

L'utilisation des techniques de diagnostic, a une grande utilité car elle permet d'évaluer l'état des composants du transformateur et de programmer des activités préventives ou rectificatives, de manière à faciliter la programmation des travaux et réduire les temps d'indisponibilité.

Dans ce cadre, les actions de diagnostic effectuées SONELGAZ-GRTE sur les transformateurs de puissances sont :

I.6.1. Analyse d'huile : [6][7]

Le fonctionnement dans de bonnes conditions des transformateurs, dépend dans une large mesure de la qualité des huiles minérales isolantes utilisées. Les caractéristiques des huiles se dégradent par l'effet de la contamination, de l'humidité et du vieillissement.

L'huile isolante est l'un des élément les plus importants dans un transformateur qui nécessite une surveillance et un entretien car sa fonction est d'assurer l'isolation et le refroidissement de celui-ci.

L'huile est un fluide qui pénètre dans toutes les parties internes du transformateur, sa circulation permet l'évacuation de la chaleur produite par les enroulements, par convection à travers la cuve du transformateur.

La connaissance de l'état de l'huile et des gaz qui peuvent être dilués dans ce dernier est d'une importance fondamentale pour assurer un bon fonctionnement des transformateurs, il est par conséquent nécessaire d'effectuer une vérification régulière de l'état de l'huile.

I.6.2. Mesures diélectriques:[8]

Les isolants électriques des équipements sont soumis à un vieillissement donnant lieu à une perte progressive de leurs caractéristiques diélectriques pouvant être la cause des défauts du transformateur.

L'objectif des mesures diélectriques est de décaler d'éventuelle dégradations dans l'isolement du transformateur afin de pouvoir intervenir avant la survenu d'un incident due à une avarie.

La condition d'isolement est un facteur essentiel de la fiabilité opérationnelle des transformateurs.

I.6.3. Analyse des furanes : [9]

La dégradation des matériaux cellulosiques constituant l'isolation solide des enroulements du transformateur conduit à la des dérivées furaniques, leurs présence dans les huiles du transformateur est un bon outil de diagnostic de l'état de l'isolation de ce dernier.

Les composés furaniques sont générés quand la cellulose est décomposée thermiquement, par conséquent un contenu élevé de composés furaniques indique un haute degré de dégradation du papier isolant.

I.6.4. Mesures électriques :

Les mesures électriques effectuées sur les transformateurs sont:

I.6.4.1. Mesure du courant d'excitation:[6]

La technique d'essai consiste à injecter une tension alternative de valeur réduite (jusqu'à 12KV), De différents niveaux, et réaliser une mesure du courant de magnétisation, en observant s'ils existent une non linéarité dans les valeurs observées qui identifient des problèmes déviations indiquent des courts-circuits entre spires, un circuit ouvert, des problèmes de connexion ou un défaut dans le régleur.

Les mesures sont effectuées :

- A la mise en service
- Lors d'un entretien détaillé.
- En cas d'une défaillance.
- Après une réparation. potentiels dans le noyau.

I.6.4.2. Mesure de rapport de transformation : [9][6]

Il consiste à mesurer les rapports de transformation dans les différentes prises du régleur et les comparer avec les valeurs de conception pour valider les connexions intérieures.

Des La technique d'essai consiste à injecter des tensions alternes dans le bobinage haut tension, en mesurant les tensions résultantes dans les autres.

I.6.4.3. Mesure de la résistance d'enroulements:[9]

La mesure de la résistance a pour objectif de déterminer l'existante des déviations sur les valeurs de conception des résistances dans chaque bobinages. Entre autre cette mesure détermine les pertes par effet joule dans les enroulements et les connexions. La mesure est effectuée par l'application du courant continu sur le bobinage, en mesurant ensuite la chute de tension par conséquent sa résistance. En prenant le soin de relever la température des enroulements afin de pouvoir ramener les valeurs mesurées vers des valeurs à la température référence.

I.6.4.4. Mesure de la réactance de fuite :

La mesure de la réactance de fuite ou impédance de court-circuit, permet par comparaison aux valeurs des mesures lors des essais en usine du transformateur de détecter des changements très importants (›±50%) qui devrait amenée à des investigations plus importantes ; un circuit ouvert ou des courts-circuits entre spires, ou entre enroulement et cuve.

I.7. Conclusion :

Le transformateur est un organe très sensible aux déférentes conditions d'exploitations, dans ce chapitre nous avons donné une vue générale sur le transformateur triphasé , sa constitution et leurs différentes avaries qui peuvent l'affecter ainsi que les déférentes méthodes des diagnostics de pannes dans les transformateur.

Chapitre II :
Modélisation fréquentielle du transformateur, FRA et technique de PSO

II.1. Introduction :

En régime fréquentiel, le transformateur est considéré comme un réseau complexe des éléments RLC, qui est représenté par trois éléments, des résistances, des inductances et des condensateurs. Les trois éléments sont utilisés pour représenter la résistance des enroulements de cuivre, l'inductance des bobines d'enroulement et la capacité des couches d'isolation entre spires et entre les bobinages, entre un enroulement et un noyau, entre un noyau et la cuve, et encore entre la cuve et un enroulement.

Les méta-heuristiques, sont des méthodes d'optimisation permettant d'obtenir une valeur approchée de la solution optimale en un temps raisonnable. Elles ont pour objectif la résolution d'un ensemble de problèmes dans différents domaines sans avoir à modifier le principe de base de l'algorithme de la méthode. Un intérêt particulier est apporté à la méthode d'optimisation approchée PSO.

Nous présentons dans ce chapitre les méthodes FRA et PSO, ainsi que les différents modèles du transformateur de puissance.

II.2 L'Analyse de la réponse en fréquence (FRA) : (4)

L'objectif principal de la FRA est de déterminer comment l'impédance d'un transformateur d'essai se comporte sur une gamme de fréquences appliquées. Les propriétés réactives d'un transformateur d'essai dépendent des changements de fréquence.

II.2.1. Définition : [10].

L'Analyse de la réponse en fréquence (FRA) est un outil qui peut donner une indication du mouvement du noyau ou d'enroulement dans les transformateurs. Ceci est fait en effectuant une mesure simple, tout en regardant a quel point un enroulement de transformateur peut transmettre un signal de basse tension qui varie en fréquence. Lés changements de la réponse en fréquence mesuré par des techniques FRA peuvent indiquer un changement physique à l'intérieur du transformateur, dont la cause doit être ensuite identifiée et analysé.

La FRA est généralement appliquée à un réseau complexe d'éléments passifs. Un transformateur est considéré comme un réseau complexe de composants RLC, qui est représenté par trois types d'éléments, des résistances, d'inducteurs et des condensateurs.

Comme un réseau de distribution contient un nombre infini de petits composants RLC, Les trois éléments sont utilisés pour représenter la résistance des enroulements de cuivre, l'inductance des bobines d'enroulement et la capacité des couches d'isolation entre les bobines

,entre un enroulement et un noyau, entre un noyau et la cuve, et encore entre la cuve et un enroulement, etc.

II.2.2. Buts de la FRA :

Le but de la mesure FRA est la détection de:

- ➔ Déformations de la géométrie des enroulements(Axiales et radiales)
- ➔ Connexions internes interrompues.
- ➔ Enroulements déformés "Buckling".
- ➔ Enroulements ouverts ou en court-circuit.
- ➔ Défaut sur le circuit magnétique (tôles en court-circuit).
- ➔ Défaut de mise à terre du noyau.
- ➔ Défaut de connexions des barrières.

II.2.3. Utilisation des tests FRA : [11], [12].

Les applications typiques de la mesure de l'Analyse de la réponse en fréquence (FRA)sont:

- Contrôle du transformateur après le test en court-circuit.
- Vérification de l'intégrité des transformateurs après un transport.
- Evaluation de l'état d'un transformateur ayant été soumise à des courants de défaut transitoires élevés.
- Mesures de diagnostic de routine.
- Diagnostic consécutif à une alarme du transformateur ou un déclenchement de protection.
- Test consécutif à des changements significatifs des valeurs contrôlées en ligne (ex :gaz dissous).
- Inspection approfondie consécutive à l'observation de résultats de tests inhabituels ;
- Après un séisme.
- Recherches scientifiques.

II.2.4. Détection de défaut par FRA: [13].

L'approche FRA est capable de détecter un certain nombre d'état de défauts, à la fois mécanique et électrique.

Le principal rôle de FRA est de détecter des défauts mécaniques, qui ne peuvent être détectés par d'autres mesures. Les principaux défauts détectés par FRA sont :

- ➔ La déformation d'un enroulement (axiale et radiale).
- ➔ Le mouvement et déplacement d'enroulement haute et basse tension.

- ➔ L'effondrement partiel d'un enroulement.
- ➔ Mouvement du circuit magnétique.
- ➔ Rupture de spires et desserrage de l'enroulement de la culasse.
- ➔ Court-circuit ou circuit ouvert d'enroulement.
- ➔ Mauvaise connexion de prise de terre de la cuve du transformateur.
- ➔ Problèmes de connexion interne.

Cependant, La mesure par FRA est souvent la seule méthode qui peut détecter les mouvements axiaux d'enroulements. Elle détecte également les mouvements radiaux, qui peuvent être aussi vérifiés par les essais de réactance de fuite. Il est utile de mettre en corrélation les deux méthodes pour augmenter la précision du résultat. Cela est également vrai pour les autres défauts, notamment mécanique.

II.2.5. Principe de la méthode : [10], [11], [14].

Un transformateur comprend un grand nombre de capacitances, d'inductance et de résistances donc un circuit très complexe comme schématisé dans la figure(II.1) qui génère une empreinte digitale ou une signature unique lorsque des signaux sont injectés à des fréquences discrètes, et que des réponses sont représentées sous forme de courbe.

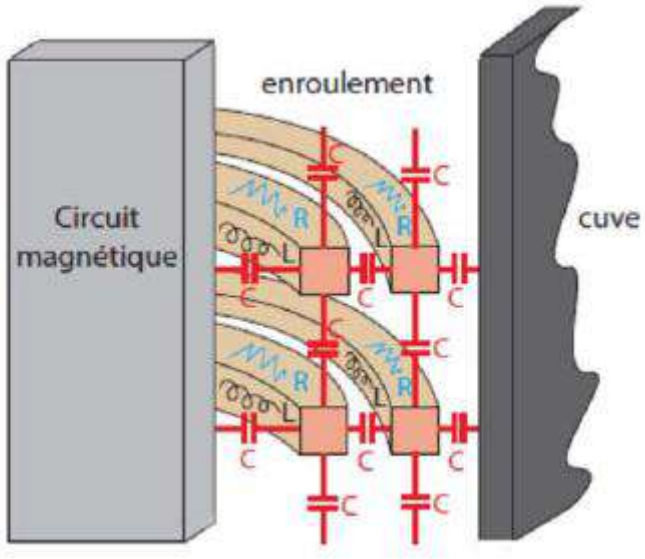


Figure II .1 : Modèle d'un enroulement de transformateur.

Il existe une relation directe entre la configuration géométrique des enroulements et le circuit magnétique à l'intérieur du transformateur de puissance et la distribution des éléments qui le composent tels que : résistances, inductances et capacitances. Ce réseau RLC peut être identifié par des fonctions de transfert dépendant de la fréquence. Or le changement dans la configuration géométrique engendre la variation de l'impédance du réseau et de ce fait

déplace la fonction de transfert. Les changements dans la fonction de transfert vont révéler un grand rang de modes de défaillance.

Donc, l'approche FRA permet la détection des changements dans la fonction de transfert d'un enroulement individuel à l'intérieur du transformateur de puissance et par conséquent, indique un mouvement ou une distorsion dans le circuit magnétique et les enroulements de ce dernier. La capacitance est déterminée en fonction de la distance entre les conducteurs.

Les mouvements dans l'enroulement seront donc déterminés en fonction des capacitances et modifieront ainsi la forme de la courbe.

Le principe de fonctionnement est d'injecter un signal d'excitation électrique sur l'un des enroulements et de mesurer le signal de réponse sur une large plage de fréquence (Méthode de balayage en fréquence). Le rapport de ces deux signaux donne la réponse exigée. ce rapport s'appelle la fonction de transfert du transformateur à partir du quel la grandeur et la phase peuvent être obtenues Figure (II.2).

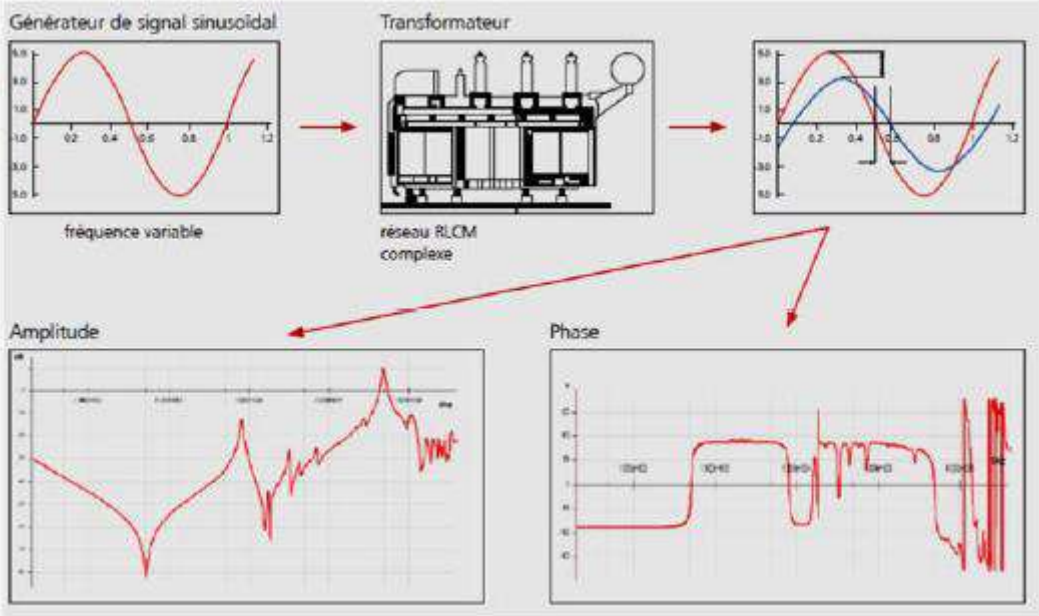


Figure II.2 : Principe de la FRA.

II.3.Principaux modèles des transformateurs de puissance :

La modélisation des transformateurs de puissance, en régimes Hautes Fréquences (HF), et sous onde de choc, par un procédé expérimental (mesures), quoique précis, est relativement longue à mettre en œuvre et coûteux. C'est pourquoi on lui préfère le second modèle, plus souple, qui utilise un schéma électrique équivalent, avec des paramètres

concentrés ou repartis. La précision des résultats et le coût de la modélisation sont liés au modèle choisi, ainsi qu'au degré de raffinement du schéma équivalent. Ce paragraphe décrit les différents types de modèles mathématiques existants dans la littérature [15].

II.3.1 Modèle de LEON :

Dans leurs travaux, LEON et SEMLYEH**,** ont présenté le développement d'un modèle du transformateur de puissance en haute fréquence. Ce modèle permet de modéliser en détail les enroulements et le noyau. Pour les enroulements, les éléments suivants sont calculés [16] [17]:

- Une matrice d'inductances de fuite entre les paires de spires (ou sections/galettes).
- Une matrice de capacités entre spires (ou sections/galettes) et entre les spires et les masses.
- Une matrice de résistance, qui dépend de la fréquence et qui tient compte des courants de Foucault.

Pour chaque colonne du circuit magnétique du transformateur, un système de trois matrices est calculé et puis transformé sous forme d'une équation d'état. Ensuite un circuit de Foster en série (Figure II.3) sera élaboré à partir de cette équation pour approximer la caractéristique de l'enroulement sur chaque colonne.

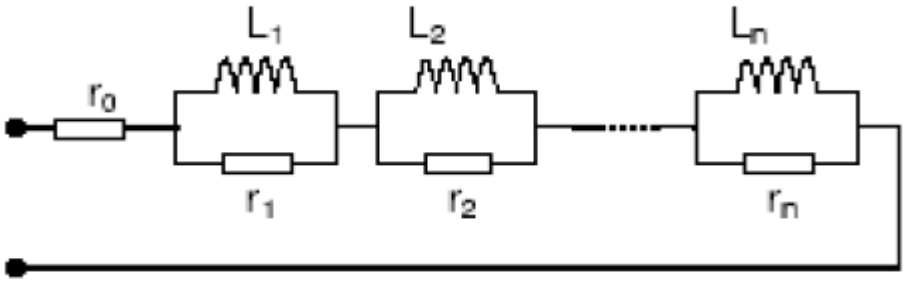


Figure II.3 : Circuit de Foster en série.

Pour le noyau, l'effet des courants de Foucault est modélisé par un circuit de Cauer, (Figure 4) :

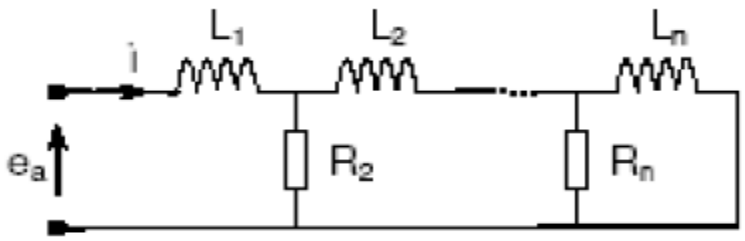


Figure II.4 : Modèle de Cauer pour le noyau de fer.

Ce modèle, qui ne tient pas compte de l'inductance mutuelle dans l'air entre les enroulements, permet quand même de modéliser le transformateur par un circuit équivalent. Pourtant, il est encore assez compliqué en raison des calculs analytiques et des transformations en circuit équivalent.

II.3.2 Modélisation par inductances propres et mutuelles:

Heller et Veverka [18] ont montré que le comportement d'un enroulement soumis à une onde de choc est assimilable à celui d'un système de condensateurs, de résistances, et d'inductances. C'est le principe du modèle de transformateur de puissance basé sur les inductances propres et mutuelles. Selon l'étude envisagée, c'est-à-dire selon qu'on s'intéresse au phénomène de propagation, ou aux modes de résonance du transformateur, ces paramètres peuvent être répartis ou concentrés.

Cette approche peut être plus ou moins précise, et plus ou moins coûteuse en temps de calcul, suivant le degré de raffinement atteint dans la représentation des enroulements.

Le transformateur est discrétisé par spires, par galette, ou encore par groupement de spires, que l'on appellera éléments ou spires équivalentes (Figure 5).

Au point de vue inductif, chaque élément est représenté par son inductance propre. Cette dernière est couplée à toutes les autres inductances, par des inductances mutuelles. Entre les éléments, il existe des capacités de couplages, et pour chaque élément est représenté par son inductance propre. Cette dernière est couplée à toutes les autres inductances, par des inductances mutuelles. Entre les éléments, il existe des capacités de couplages, et pour chaque élément, une capacité par rapport à la masse.

Les éléments de ce modèle sont calculés, en fonction des caractéristiques géométriques et diélectriques du bobinage, ainsi que des caractéristiques géométriques et magnétiques du noyau magnétique [19].

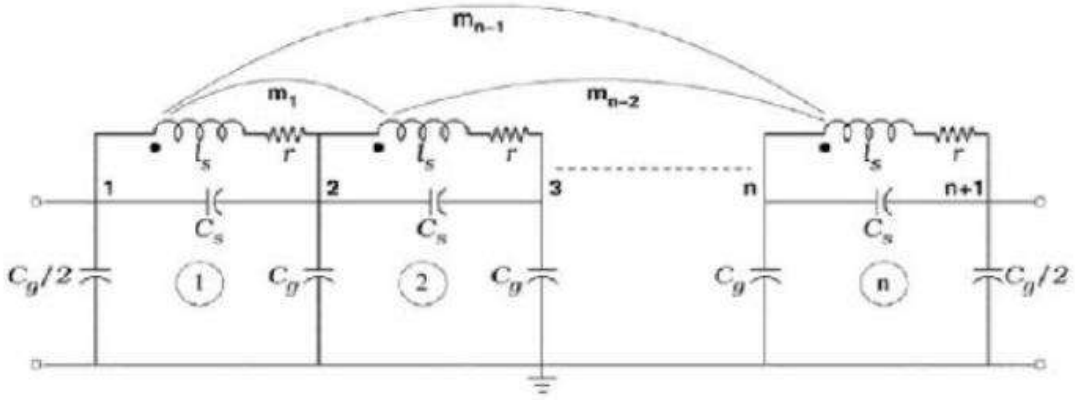


Figure II.5 : Modèle équivalent d'un enroulement de transformateur étudié.

Avec :

Cs : capacité série.

Cg : capacité shunt.

r : résistance.

L : l'inductance propre.

M1N : représenté les inductances mutuelles.

II.3.3 Modèle de Chimklai :

Dans ce modèle, les auteurs ont proposé une méthode simple pour modéliser un transformateur de puissance [20]. Ce modèle (Figure 12) se base sur le modèle classique (à 50Hz) du transformateur.

Ensuite pour modéliser le transformateur en HF, les capacités et les circuits R, L, C, sont synthétisés par les mesures et ajoutés dans le circuit du modèle classique. En effet, chaque circuit rajouté représente un phénomène qui se produit en HF. Les capacités représentent les phénomènes électrostatiques de l'enroulement, les circuits R, L, C, représentent les phénomènes magnétiques dans le noyau de fer…etc.

Cette idée est la base pour établir plusieurs modèles qui sont développés par la suite. Cette méthode de modélisation d'un transformateur est à la fois très simple et efficace.

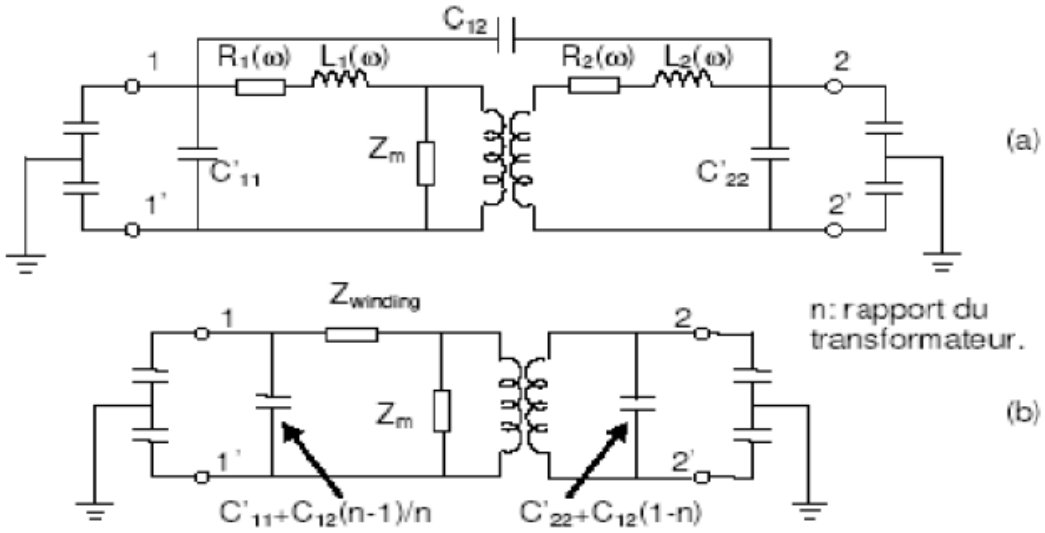


Figure II.6 : Modèle du transformateur de Chimklai.
- circuit d'origine. (a)
- circuit simplifié (b).

II.3.4 Modèle d'Andrieu :

C'est un modèle de transformateur de distribution triphasée à deux enroulements par des principes comme dans le modèle de Chimklai (Figure II.7).Pour modéliser un transformateur en HF, les phénomènes suivants sont pris en compte [21]:

- Les capacités.
- Les résonances dans l'enroulement HT.
- L'impédance de l'enroulement de BT, dépendant de la fréquence (Zcc).

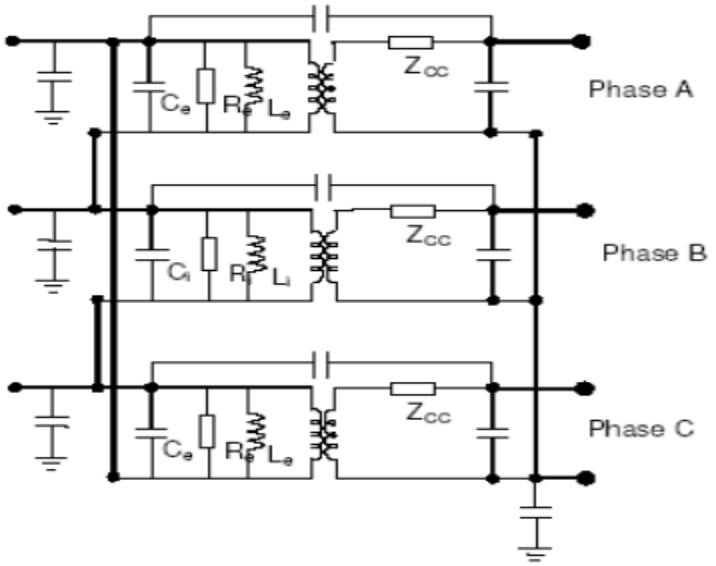


Figure II.7 : Modèle d'Andrieu.

Le circuit équivalent de l'impédance Zcc est montré dans la figure II.2 :

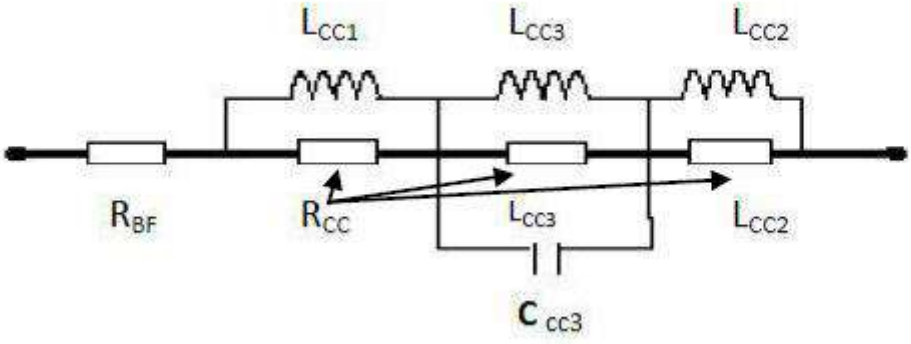


Figure II.8 : Circuit équivalent de Zcc.

II.3.5 Modèle de Morched :

Ce modèle est utilisé dans EMTP (Programme des transitoires électromagnétiques) pour étudier les comportements des réseaux électriques, en régime transitoire. Il est utilisé commuent standard dans les études temporelles et fréquentielles. L'utilisation de ce code de calcul, pour modéliser un transformateur consiste à représenter ce dernier par un schéma électrique équivalent, comprenant [19] [22]:

- Des transformateurs parfaits
- Une branche magnétisante saturable modélisant le noyau de fer
- Des inductances de fuite des groupes (galettes, couches, ou bobines)
- es résistances des enroulements, et des capacités de couplage

La figure II.9, illustre un exemple de schéma équivalent d'un transformateur de type cuirassé, avec trois galettes, en vue de traitement par le code de calcul EMTP [19].

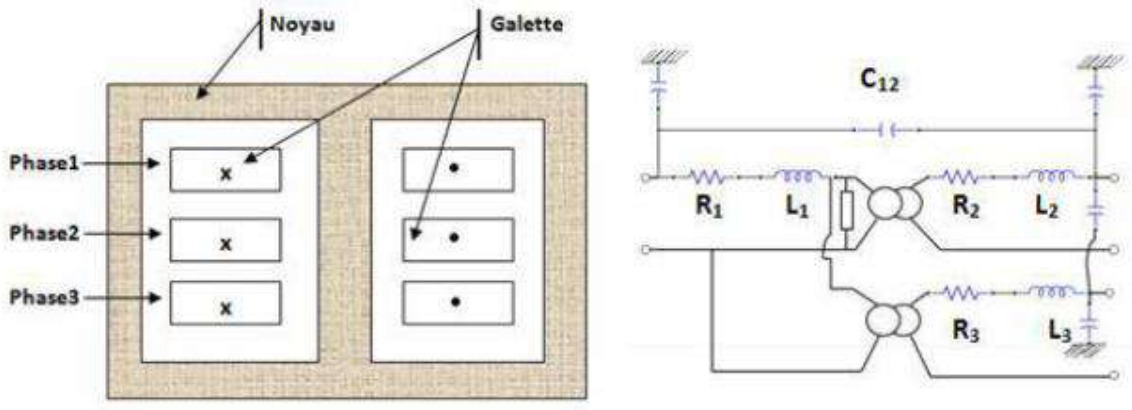


Figure II.9 : Schéma équivalent du transformateur en vue de traitement par EMTP.
a) Coupe transversale du transformateur.
b) Circuit équivalent.

L'avantage d'utilisation du modèle EMTP est qu'on peut effectuer des études d'interaction du transformateur avec le réseau dans des configurations quasi-réelles, et traite tous les éléments linéaires et non linéaires tels que les parafoudres [23]. Cependant, ce modèle ne convient pas aux études internes du transformateur [19].

II.3.6. Modèle en T du transformateur :

Le modèle en T étendu est présenté pour un transformateur à trois enroulements empilés primaire-secondaire-secondaire (voir la Figure. 10 pour la structure physique). Pour une telle structure, un inducteur couplé existe entre les deux secondaires comme indiqué. Le modèle de la figure 11 devient la figure 10 lorsque les enroulements sont entrelacés secondaire-primaire-secondaire, auquel cas l'action inductance couplée est nulle plus présent, et le transformateur peut être représenté par fuites et actions du transformateur uniquement [24].

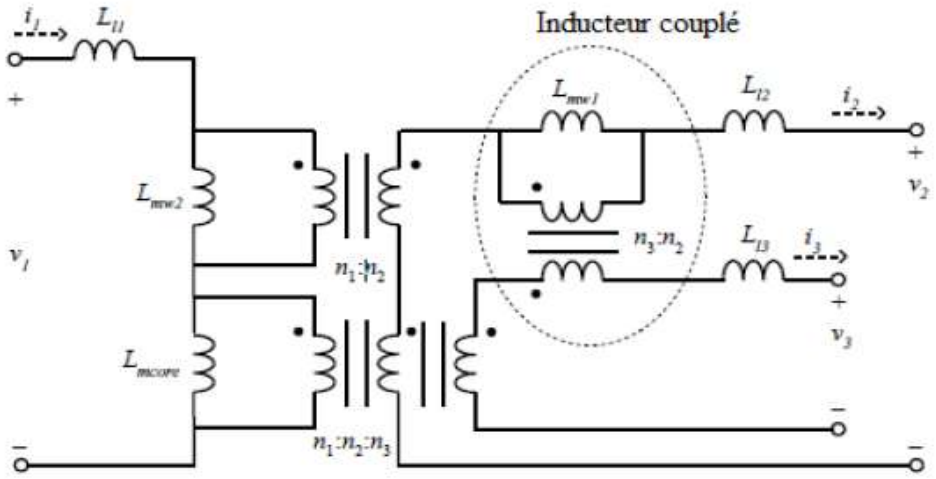


Figure II.10 : Modèle en T étendu du transformateur à trois enroulements pour enroulements empilés.

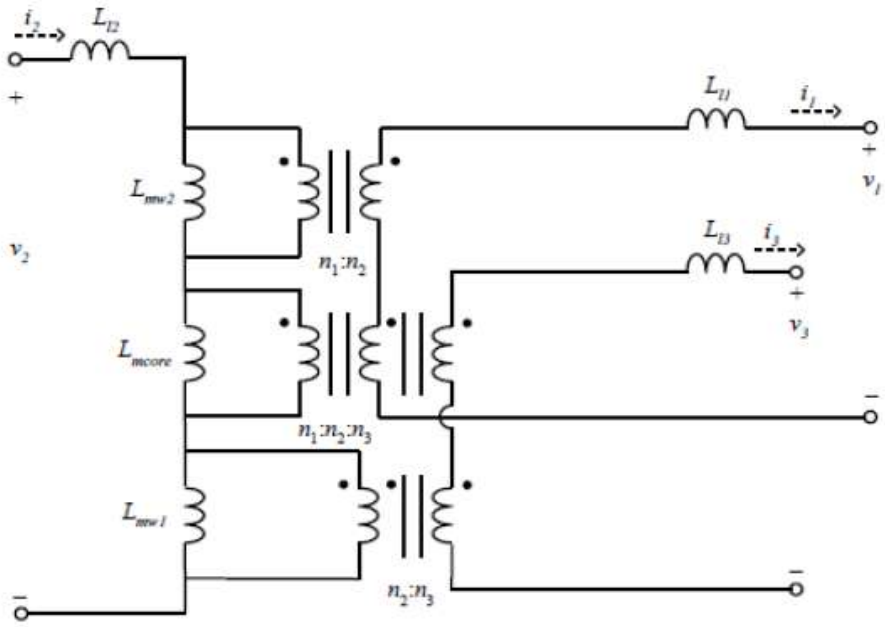


Figure II.11 : Modèle en T étendu du transformateur à trois enroulements pour enroulements entrelacés.

Le modèle T étendu présente de nombreux avantages par rapport aux autres modèles. Premièrement, un avantage du modèle en T étendu est qu'il identifie clairement les couplages mutuels du transformateur et de l'inductance couplée dans le transformateur et les associe à des espaces physiques dans le transformateur. Il est facile de démontrer que les couplages mutuels secondaire-secondaire exclusifs affectent le couplage croisé, en plus des impacts plus évidents sur le couplage croisé causés par les couplages mutuels communs aux enroulements primaire et secondaire et des inductances de fuite discrètes [24].

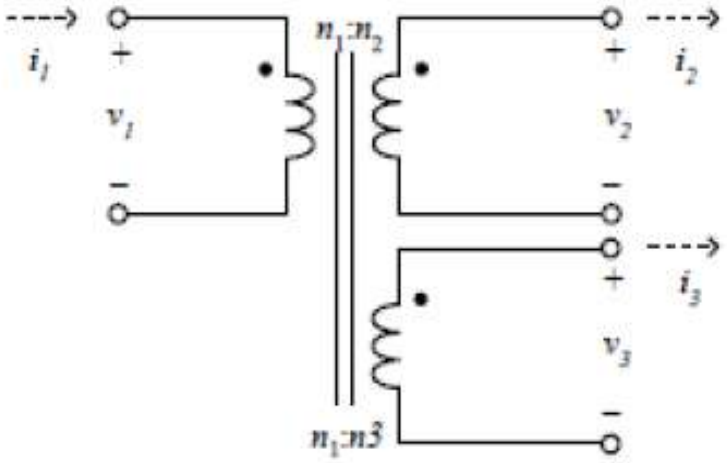


Figure II.12 : Modèle de transformateur simple à trois enroulements.

II.3.7 Modèle en π du transformateur :

La structure de ce modèle est basée sur la théorie du quadripôle en $\boldsymbol{\pi}$. Elle établit la correspondance entre les différentes impédances qui peuvent être mesurées entre les bornes d'entrée et de la sortie d'une phase du transformateur, les impédances obtenues sont exploitées pour construire un modèle en $\boldsymbol{\pi}$du transformateur illustré dans la figure 13.[25]

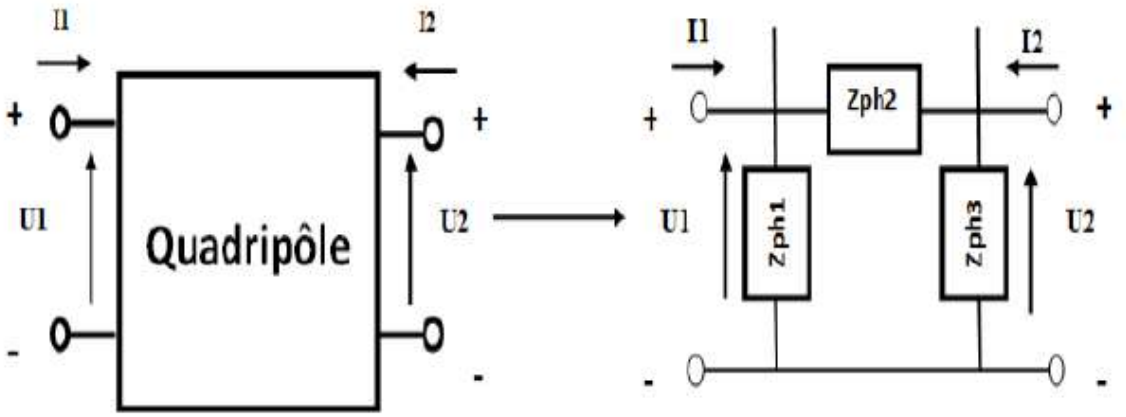


Figure II.13 : Structure de modèle d'un quadripôle.

Le circuit équivalent de l'impédance de chacun des phases est montré dans la figure 14

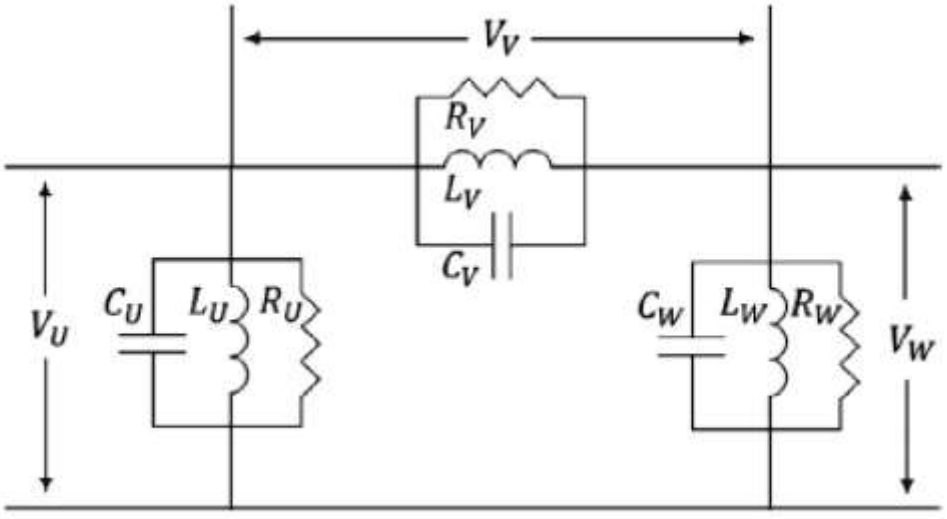


Figure II.14 : Circuit équivalent de l'impédance de chacun des phases.

II.4.Optimisation d'Essaim de Particules (PSO) :

La méthode PSO est une méta-heuristique qui permet de trouver l'optimum d'une fonction en un temps de traitement raisonnable, sauf pour les instances de grande taille où le calcul scientifique est intensif ce qui nécessite un temps de calcul considérable. L'utilisation de modèles parallèles appropriés diminue le temps de calcul et donne des résultats plus

satisfaisants que les autres modèles [26], [27]. La convergence prématurée de la méthode, est aussi un point primordial sur lequel plusieurs chercheurs ont mené leurs études et ont proposé plusieurs versions. [28], [29], [30], [31].

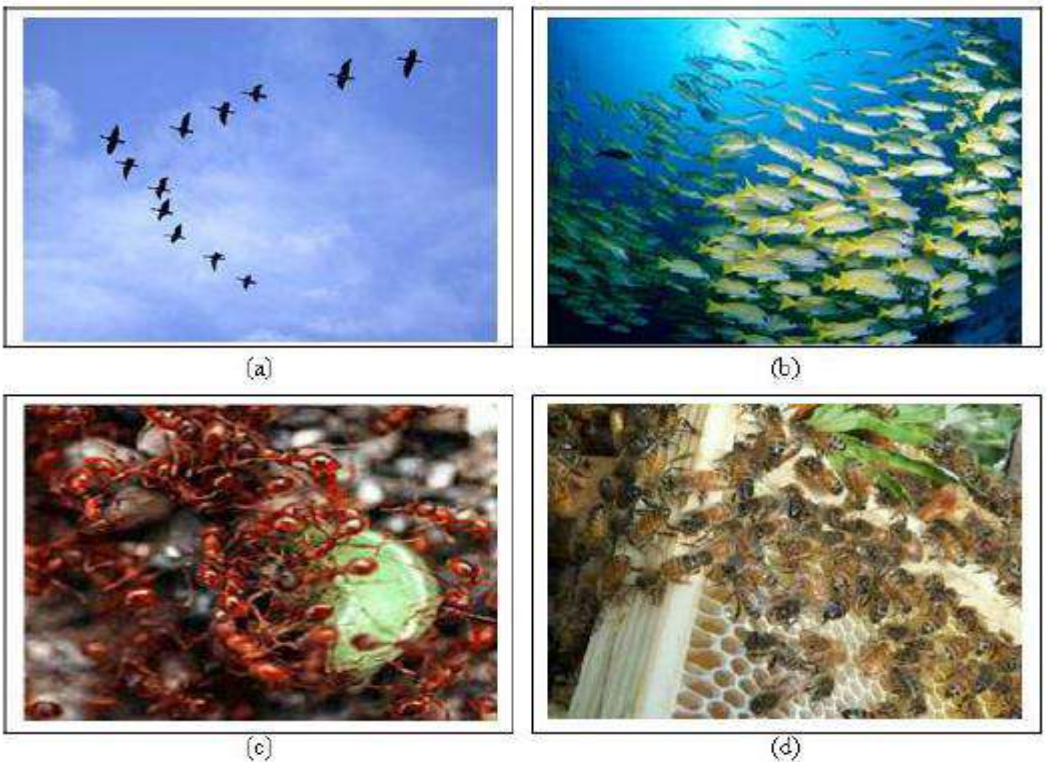


Figure II.15 : Groupe de : (a) oiseux, (b) poissons, (c) fourmis, (d) abeilles.

II.4.1. L'optimisation par essaim particulaire :

L'optimisation par essaim particulaire est basée sur les « interactions sociales » entres des « agents » appelés « particules », dans le but d'atteindre un objectif donné dans un espace de recherche commun où chaque particule à une certaine capacité de mémorisation et de traitement de l'information.

Cette méta-heuristique d'optimisation stochastique a été proposée en 1995 par James Kennedy socio-psychologue et Russell Eberhart ingénieur électricien.

II.4.1.1. Définition de la méthode :

Dans PSO le comportement social est modélisé par une équation mathématique permettant de guider les particules durant leur processus de déplacement [32]. Le déplacement d'une particule est influencé par trois composantes : la composante d'inertie, la composante cognitive et la composante sociale. Chacune de ces composantes reflète une partie de l'équation :[33]

1) La composante d'inertie : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement ;

2) La composante cognitive : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée ;

3) La composante sociale : la particule tend à se diriger vers le meilleur site atteint par ses voisines.

II.4.1.2. Formalisation :

Une particule i de l'essaim dans un espace de dimension D est caractérisée, à l'instant t, par :

– X : sa position dans l'espace de recherche ;

– V : sa vitesse ;

– Pb : la position de la meilleure solution par laquelle elle est passée ;

– Pg : la position de la meilleure solution connue de tout l'essaim ;

– f (Pb) : la valeur de fitness de sa meilleure solution ;

– f (Pg) : la valeur de fitness de la meilleure solution connue de tout l'essaim.

Le déplacement de la particule i entre les itérations t et t+1 se fait selon les deux équations (1) et (2) :[32] .

$$V(t+1) = V(t) + C1r1(Pb(t) - X(t)) + C2r2(Pg(t) - X(t)) \quad (1)$$

$$X(t+1) = X(t) + V(t+1) \quad (2)$$

– C1 et C2 : deux constantes qui représentent les coefficients d'accélération, elles peuvent être non constantes dans certains cas selon le problème d'optimisation posé ;

– r1 et r2 : deux nombres aléatoires tirés de l'intervalle [0,1].

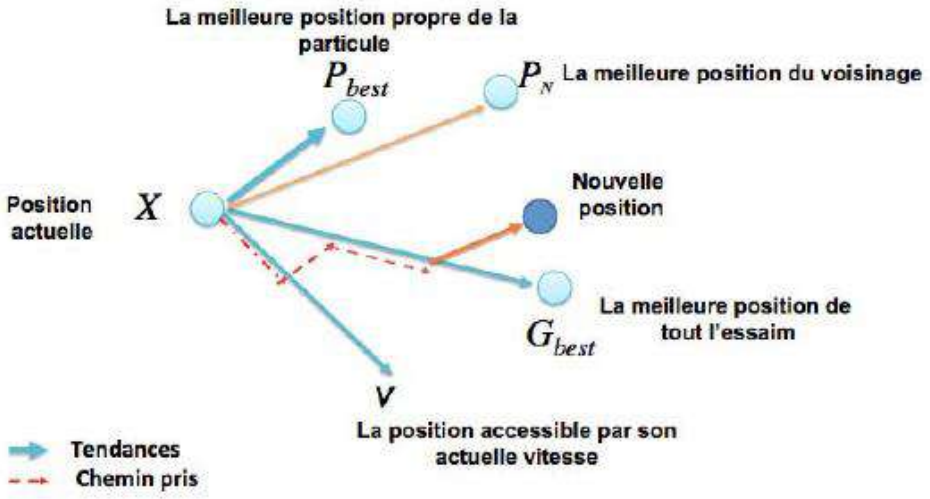


Figure II.16 : Déplacement d'une particule.

Le réseau de rapports entre toutes les particules est connu sous le nom de “la topologie de l’essaim”. Le choix d’une topologie du voisinage à une importance cruciale, plusieurs études de topologies ont été menées à ce propos [34], différentes combinaisons ont été proposées dont les plus utilisées sont susmentionnées ci-dessous [35] :

Topologie en anneau (figure 17(a)) : chaque particule est reliée à n particules, (généralement n = 3), chaque particule tend à se diriger vers la meilleure dans son voisinage locale .

Topologie en rayon (figure 17(b)) : la communication entre les particules est faite via une particule centrale, seule cette dernière ajuste sa position vers la meilleure, s’il y à amélioration de sa position, l’information est alors propagée à ses congénères.

Topologie en étoile (figure 17(c)) : chaque particule est reliée à toutes les autres, le réseau social est complet, i.e. L’optimum du voisinage est l’optimum global.

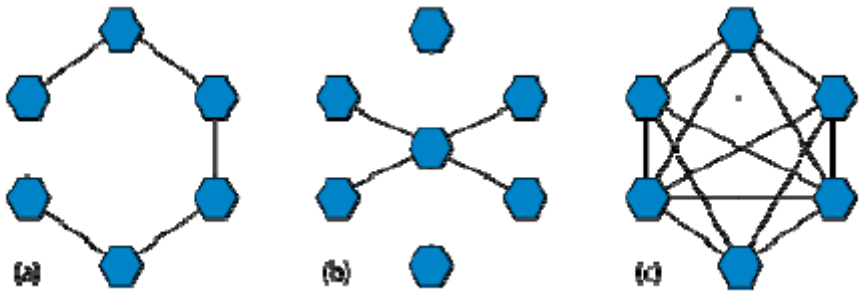


Figure II.17 : Différents types de topologies pour un essaim de particules.

II.4.1.3. Le critère d’arrêt :

Le critère d’arrêt diffère suivant le problème d’optimisation posé et les contraintes de l’utilisateur, il est fortement conseillé de doter l’algorithme d’une porte de sortie puisque la convergence vers la solution optimale globale n’est pas garantie dans tous les cas de figure même si les expériences dénotent la grande performance de la méthode. De ce fait plusieurs études ont été menées dans ce sens [36], différentes propositions ont eu lieu : l’algorithme doit alors s’exécuter tant que l’un des critères de convergence n’a pas été atteint cela peut être : le nombre maximum d’itérations ; l’optimum global est connu a priori, on peut définir une "précision acceptable". D’autres critères d’arrêt peuvent être utilisés selon le problème d’optimisation posé et des contraintes utilisateurs.

II.5 Conclusion :

Vu l'importance capitale du transformateur dans les réseaux électriques sa surveillance permanente est indispensable, ce chapitre est consacrée une méthode récente de l'Optimisation d'Essaim de Particules dans l'enroulement du transformateur qui est basée sur trouver l'optimum d'une fonction en un temps de traitement raisonnable.

Le modèle que nous avons jugé plus approprié à notre étude est celui basé sur La théorie du quadripôle, car il permet d'établir la correspondance entre les différentes impédances qui peuvent être mesurées entre les bornes d'entrée et la sortie d'une phase du transformateur, et les impédances constituant un quadripolaire de type. Le calcul des paramètres de ce modèle sera effectué en se moyennant de trois méthodes distinctes, et ceci fera l'objet de la première partie du prochain chapitre.

Chapitre III :

Simulation d’un transformateur triphasé : application de PSO basée sur l’analyse de l’impédance.

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre le modèle en π de l'enroulement d'un transformateur triphasé est exploité dans le but d'identifier les paramètres d'un modèle de base d'un transformateur de puissance en basses fréquences d'une part et d'autre l'optimisation de l'allure de la réponse en fréquence des différentes phases en basses fréquences (BF), en utilisant deux méthodes :

1. Méthode analytique d'estimation des paramètres.
2. Méthode de l'algorithme PSO.

III.2 Buts:

Les objectifs de ce chapitre sont présentés comme suit:

- Présentation des techniques de calcul des paramètres.
- Calcul des impédances Zphases , dans le but d'identifier les paramètres du modèle approprié à notre étude.
- Optimisation de la réponse en fréquence des différentes phases en basses fréquences (BF).

III.3 Modèle considéré (circuit équivalent) :

Le circuit équivalent (modèle en π de l'enroulement d'un transformateur triphasé en BF) à notre étude est constitué à d'une branche RLC en parallèle.

Le modèle illustré par la figure III.1 à pour objectif de fournir un outil de simulation et d'analyse au comportement du transformateur. Il est exploité dans le but de la détermination des valeurs des paramètres de chaque branche. Cet modèle est basé sur la mesure de la réponse fréquentielle de l'impédance du transformateur. Ce dernier est réalisé et simulé sous MATLAB Simulink, dans une gamme de fréquences variant de 0Hz à 2000Hz.

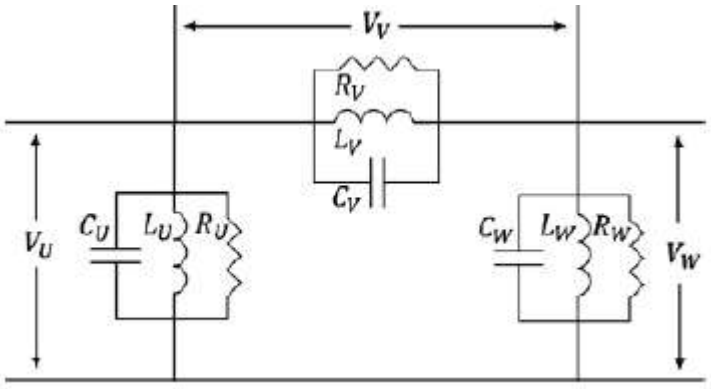


Figure III.1. Modèle en π simplifié d'un transformateur triphasé.

Les paramètres LU, LV et LW représentent les inductances de magnétisation des phases U, V et W respectivement telles exprimées par les équations (III.1 - III.3) où Ru, Rv et Rw sont les reluctances magnétiques et N1, N2 et N3 sont les nombres de spires sur chaque enroulement [36].

Les variations des paramètres LU, LV et LW peuvent indiquer des aimantations résiduelles, ou des défaillances associées au noyau magnétique [36].

$$L_U = \frac{N1^2}{R_U} \quad \text{(III.1)}$$

$$L_V = \frac{N_V^2}{R_V} \quad \text{(III.2)}$$

$$L_W = \frac{N_W^2}{R_W} \quad \text{(III.3)}$$

Les pertes fer peuvent être représentées en ajoutant les trois paramètres résistifs RU, RV et RW exprimées en (III.4- III.6) où VU, VV et VW sont les tensions d'essai et P0U, P0V et P0W sont les pertes fer [36].

Des variations dans les paramètres RU, RV et RW peuvent indiquer des problèmes associés au noyau magnétique [36].

$$R_U = \frac{V_U^2}{P_{0U}} \quad \text{(III.4)}$$

$$R_V = \frac{V_V^2}{P_{0V}} \quad \text{(III.5)}$$

$$R_W = \frac{V_W^2}{P_{0W}} \quad \text{(III.6)}$$

Enfin, le modèle en BF (Fig.III.1) est complété par l'addition des paramètres C représentant la capacité d'enroulement du chacune des phases [36].

Des variations dans les paramètres CU, CV et CW peuvent indiquer des problèmes tels que le mouvement global des enroulements [36].

III.4 Méthodologie de calcul des paramètres :

Dans le but de la détermination des valeurs des paramètres de chaque branche de notre schéma équivalent, on va suivre les étapes suivantes :

III.4.1 Calcul des paramètres :

Les effets des impédances ZU, ZV et ZW sont mélangés du fait du couplage magnétique lorsqu'une mesure de circuit ouvert de bout en bout est obtenue. Par exemple, l'impédance mesurée ZmU obtenue entre deux bornes de circuit (Figure III.1) est égale à la connexion en parallèle de ZU et (ZV + ZW). Dans ce cas, une variation de l'impédance ZmU mesurée peut être déduite de toute impédance ZU, ZV ou ZW, et l'emplacement précis de la phase défaillante n'est pas simple. Le même effet de couplage et le même inconvénient sont présents pour les impédances mesurées ZmV et ZmW [36].

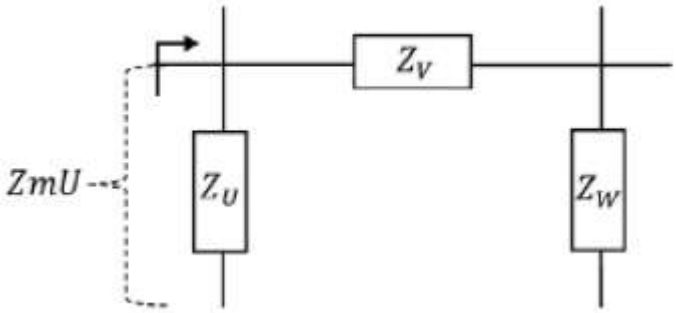


Figure III.2. Modèle de noyau de transformateur représenté par trois impédances ZU, ZV et ZW contenant les caractéristiques de chaque phase.

La solution consiste à obtenir les valeurs d'impédance des modèles ZU, ZV et ZW indépendamment des impédances mesurées ZmU, ZmV et ZmW, au moyen d'un algorithme mathématique. Tout d'abord, les équations (III.7-9) rapportent les impédances mesurées et modélisées comme suit [36].

III.4.2 Calcul des impédances Zu, Zv et Zw par simulation :

Le modèle de transformateur triphasé en basses fréquences résultant peut-être construit par trois impédances (Zu, Zv et Zw) connectées comme montré sur la figure III.2 [36] [38].

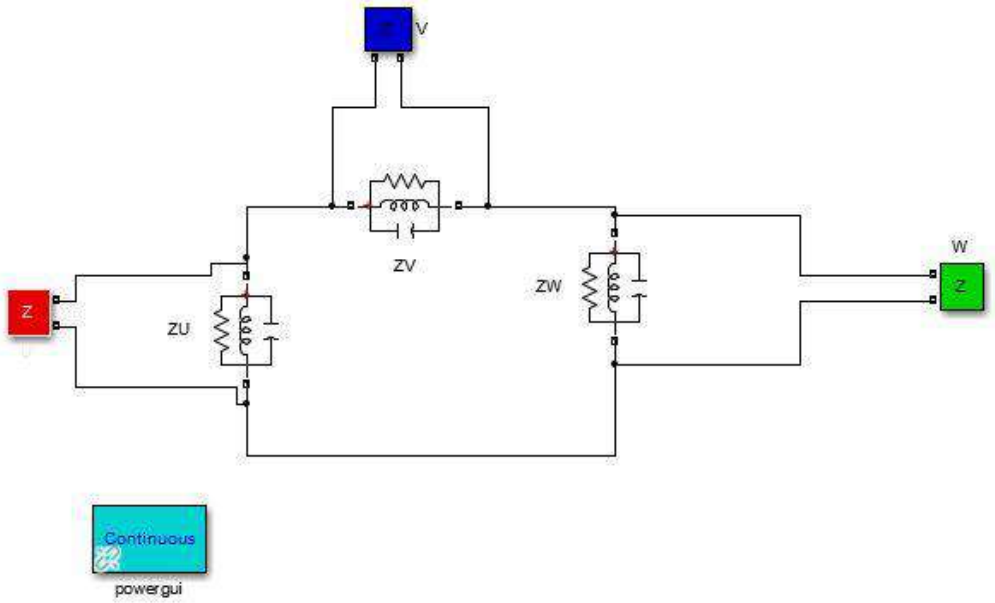


Figure III.3. Modèle d'un transformateur triphasé représenté par trois impédances.

Les équations (III.7 - III.9) indiquent les impédances simulées et modélisées comme suit :

$$Z_{sU}=Z_U \parallel (Z_V+Z_W) = \frac{Z_U \times (Z_V+Z_W)}{Z_U \times Z_V \times Z_W} \quad \text{(III.7)}$$

$$Z_{sV} = Z_V \parallel (Z_U + Z_W) = \frac{Z_V \times (Z_U+Z_W)}{Z_U \times Z_V \times Z_W} \quad \text{(III.8)}$$

$$Z_{sW} = Z_W \parallel (Z_U+Z_V) = \frac{Z_W \times (Z_V+Z_U)}{Z_U \times Z_V \times Z_W} \quad \text{(III.9)}$$

Donc, le système d'équation des impédances ZU, ZV et ZW est donnée par les équations (III.10 - III.12) respectivement.

$$Z_U = \frac{Z_U^2+Z_V^2+Z_W^2}{2\times(Z_U-Z_V-Z_W)} - \frac{Z_U \times Z_V + Z_U \times Z_W + Z_V \times Z_W}{Z_U - Z_V - Z_W} \quad \text{(III.10)}$$

$$Z_V = \frac{Z_U^2+Z_V^2+Z_W^2}{2\times(Z_V-Z_U-Z_W)} - \frac{Z_U \times Z_V + Z_U \times Z_W + Z_V \times Z_W}{Z_V - Z_U - Z_W} \quad \text{(III.11)}$$

$$Z_W = \frac{Z_U^2+Z_V^2+Z_W^2}{2\times(Z_W-Z_U-Z_W)} - \frac{Z_U \times Z_V + Z_U \times Z_W + Z_V \times Z_W}{Z_W - Z_{U-Z_V}} \quad \text{(III.12)}$$

Les figures (III.3 - III.5), représentent respectivement les allures des impédances ZU, ZV et ZW calculées en fonction de la fréquence à partir des équations (III.10 - III.12) :

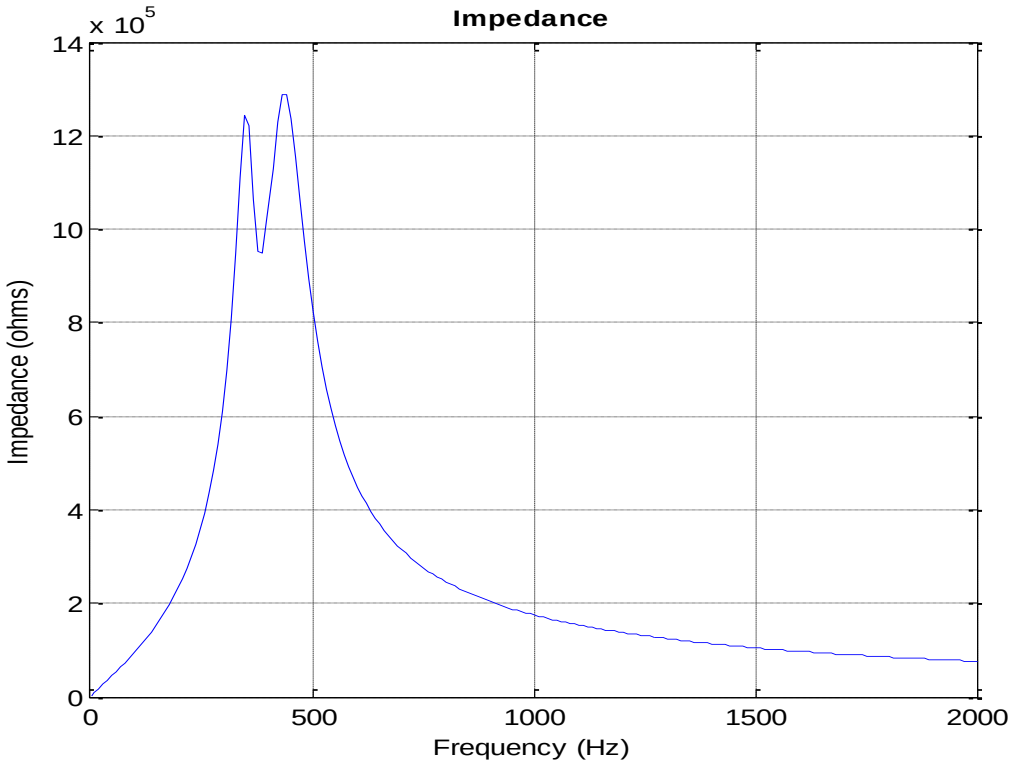


Figure III.4. Courbe de réponse en fréquence de la phase U.

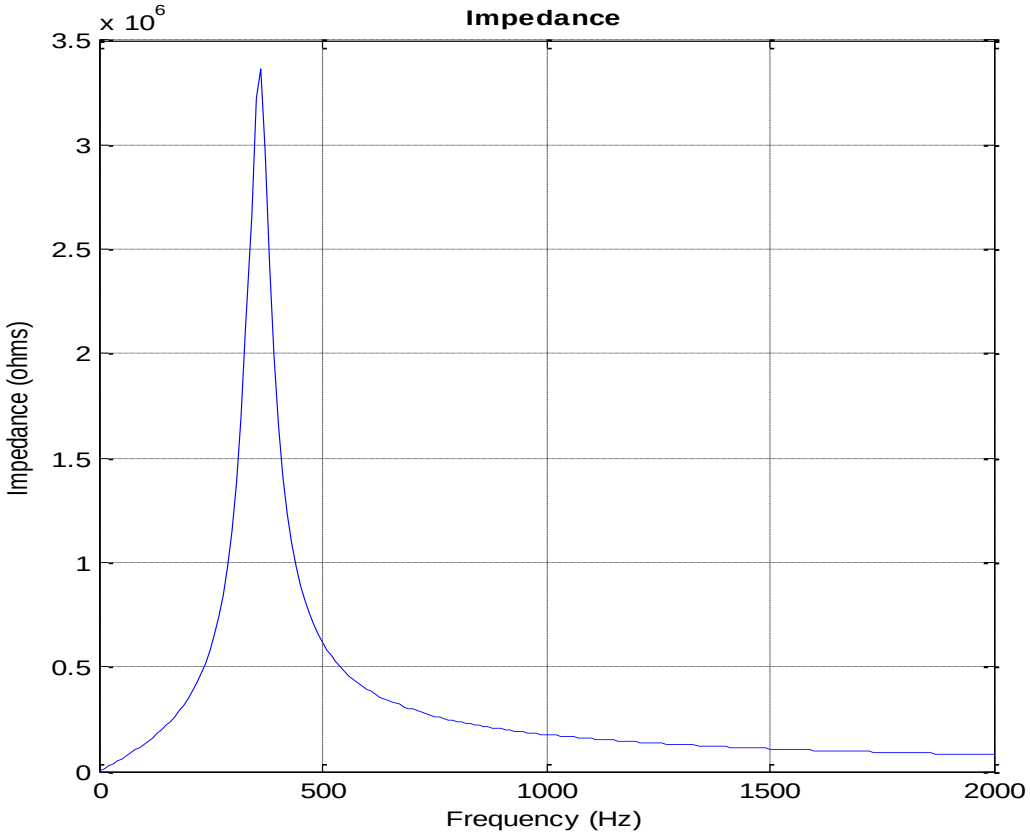


Figure III.5 Courbe de réponse en fréquence de la phase V.

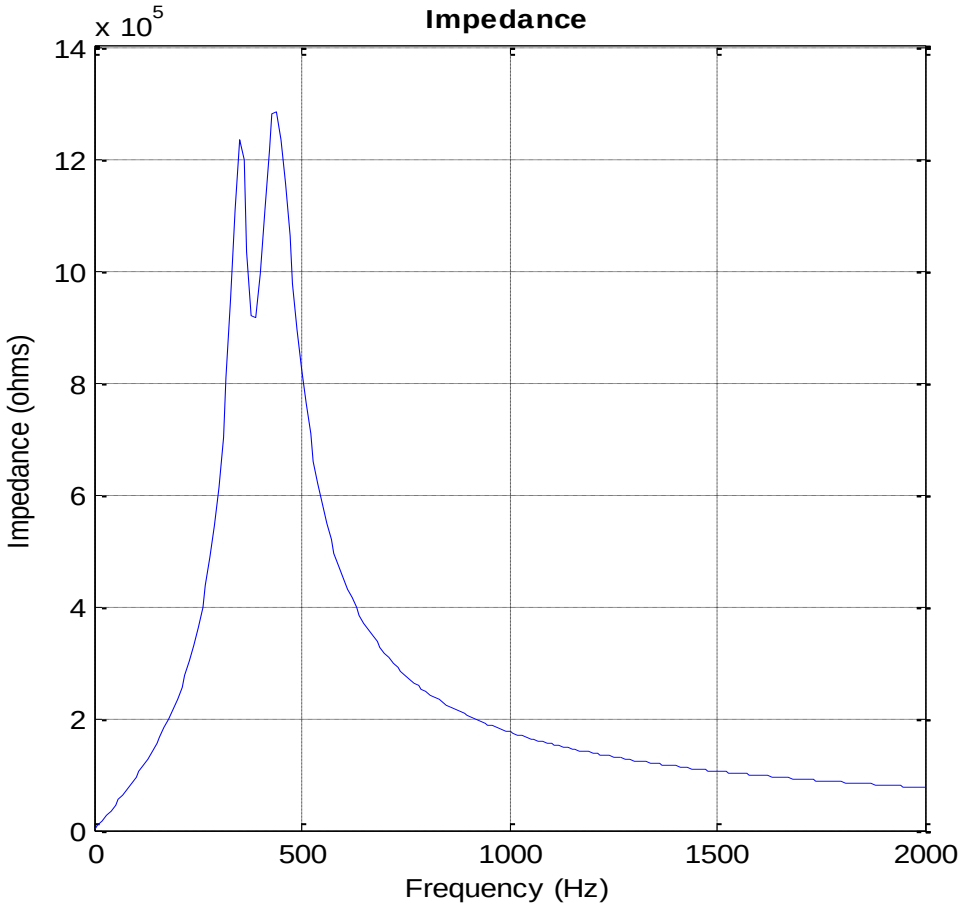


Figure III.6 : Courbe de réponse en fréquence de la phase W.

III.4.3 Estimation des paramètres du modèle RLC pour chaque phase :

Le pic de résonance de l'impédance du modèle est simulé par une seule branche RLC parallèle dans une bande passante donnée [35] [36].

La courbe de résonance est simulée par une branche RLC parallèle, où la pente positive est montrée par le comportement inductif de L, la pente négative est principalement représentée par le comportement capacitif C et le pic de résonance est la valeur du paramètre R, représenté sur la figure III.

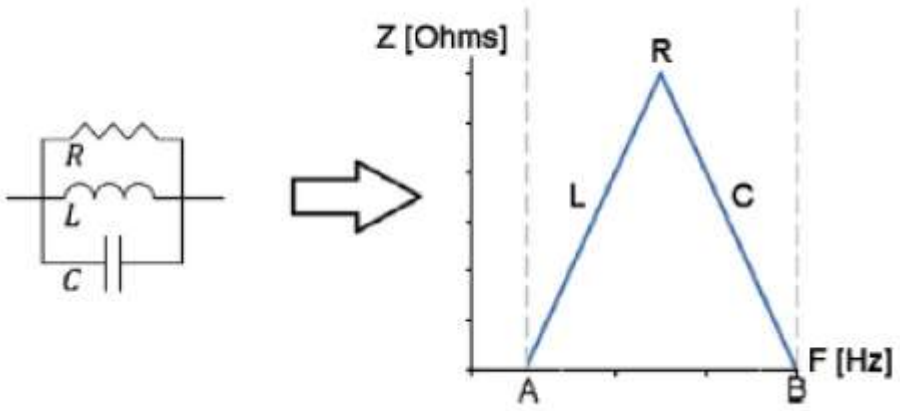


Figure III. 7 : Modèle de circuit d'une branche de noyau de transformateur.

Les paramètres RLC sont déterminés en utilisant les équations (III.13 - III.15).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{|Y^2|}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{G}{|Y^2|}} \qquad \text{(III.13)}$$

$$L = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{|Y^2|}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{\omega^2 \times |Y|^2} \times \sum_{i=1}^{m} \frac{\omega^2}{|Y|^2}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{B_X}{\omega^2 \times |Y|^2} \times \sum_{i=1}^{m} \frac{\omega^2}{|Y|^2}\right) - \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{|Y|^2} \times \sum_{i=1}^{m} \frac{B_X \times \omega}{|Y|^2}\right)} \qquad \text{(III.14)}$$

$$C = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{-B_X \times \omega}{|Y|^2} \times \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{\omega^2 \times |Y|^2}\right) + \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{|Y|^2} \times \sum_{i=1}^{m} \frac{B_X \times \omega}{|Y|^2}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{|Y|^2}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{\omega^2 \times |Y|^2} \times \sum_{i=1}^{m} \frac{\omega^2}{|Y|^2}\right)} \qquad \text{(III.15)}$$

III.4.4 Calcul de l'admittance de chaque cellule RLC parallèle :

La méthode d'estimation analytique commence à établir l'admittance caractéristique de chaque phase [36].

La fonction objective est alors définie par (III.16).

$$\frac{1}{Z_i} = Y_i = G_i + \mathrm{j} \times B_i \qquad \text{(III.16)}$$

Avec : $G_i = \frac{1}{R_i}$; $B_{Li} = \frac{1}{L_i}$; $B_i = \left(\omega_i \times C_i - \frac{B_{Li}}{\omega_i} \right)$

Où : **Gi** et **Bi** sont les parties réelle et imaginaire de la courbe d'admittance à chaque point de fréquence respectivement.

La fonction objective est présentée par le programme suivant :

Tableau.III.1 : L'algorithme de cellule RLC.

```
functionparametrosCelda=calcularRLC(Z,frec,Iinf,Isup)
frec=frec(Iinf:Isup)
Z=Z(Iinf:Isup)
w=2*pi*frec
Y=1./Z
G=real(Y)
S=imag(Y)
mod2=(abs(Y)).^2
t3=sum(1./mod2)
R=t3/(sum(G./mod2))
t1=sum((S.*w)./(mod2))
t2=sum((w.^2)./mod2)
t4=sum(S./(w.*mod2))
t5=sum(1./((w.^2).*(mod2)))
L=(t3^2-t5*t2)/(t4*t2-t3*t1)
C=(-t1*t5+t3*t4)/(t3^2-t5*t2)
parametrosCelda=[L,R,C]
end
function et=errorZ(Zph,Zcell,Iinf,Isup)

et=0;
for i=Iinf:2:Isup
e=(abs(Zph(i)-Zcell(i)))/(abs(Zcell(i)));
if e<0.1
et=et+e;
else
et=et+0.1;
end
```

```
end
et=et*100/i;
end
```

Les figures (III.8 - III.10), représentent respectivement les allures des impédances ZU, ZV et ZW estimées en fonction de la fréquence :

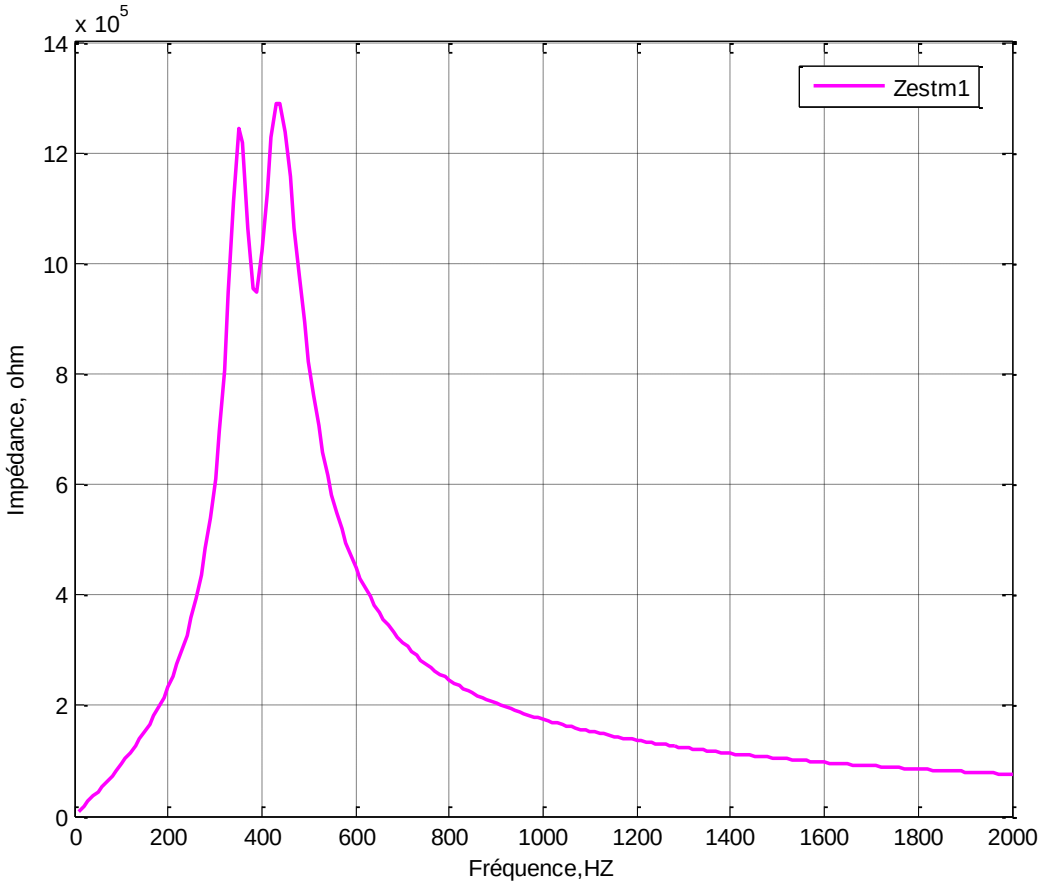


Figure III. 8 : Courbes de réponse en fréquence obtenue par l'estimation des équations (III.10 - III.12) du phase U.

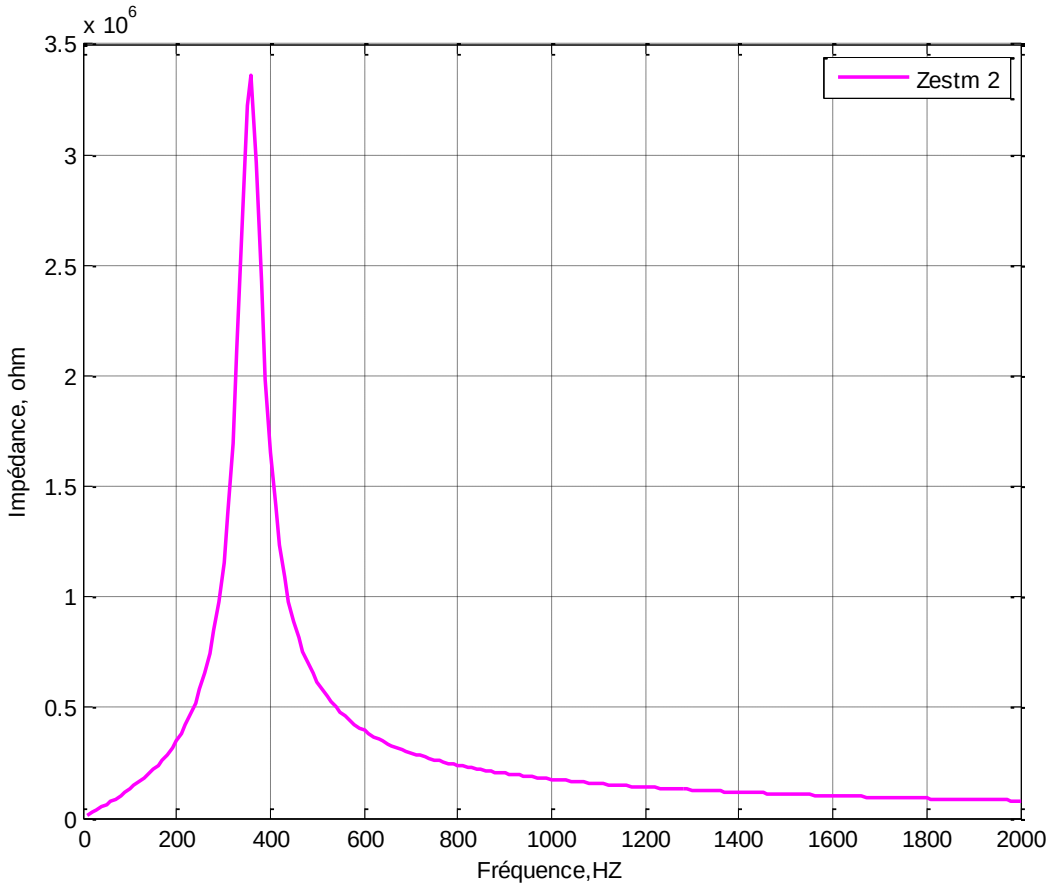


Figure III.9 : Courbes de réponse en fréquence obtenue par l'estimation des équations (III.10 - III.12) du phase V.

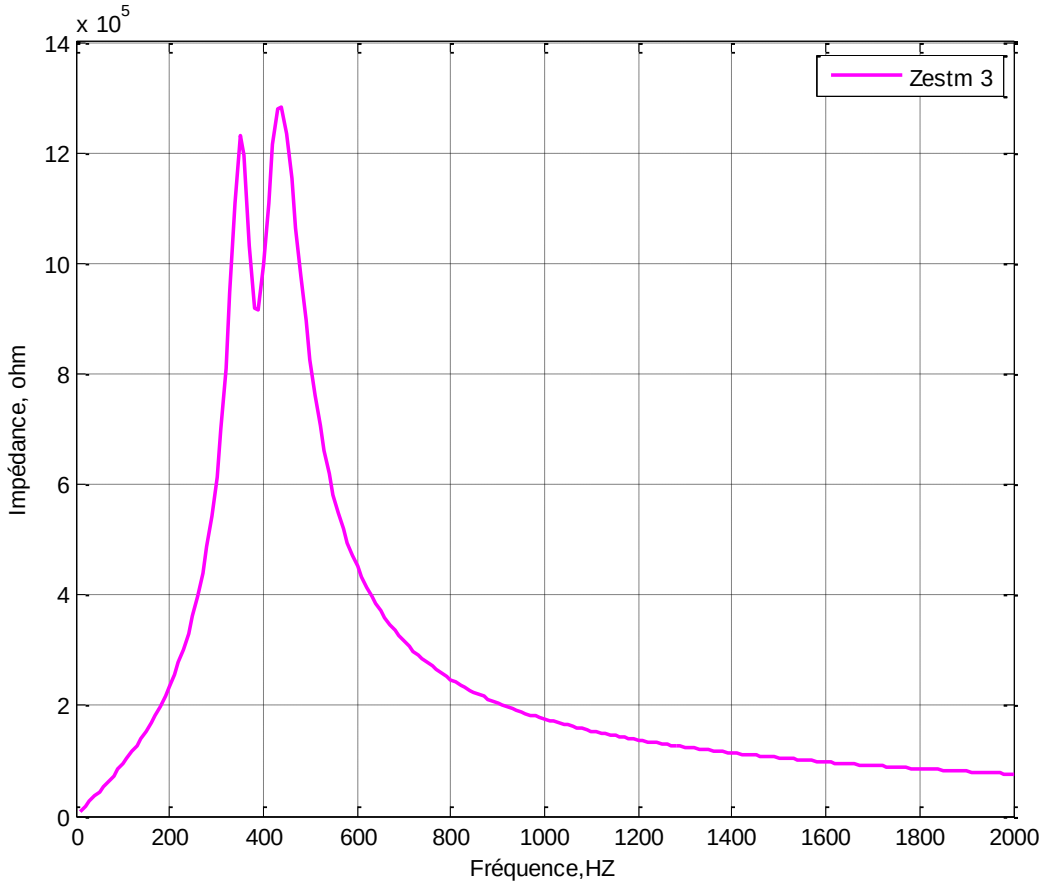


Figure III. 10 : Courbes de réponse en fréquence obtenue par l'estimation des équations (III.10 - III.12) du phase W.

III.5 Optimisation d'Essaim de Particules (PSO) :

L'optimisation d'essaim de particules (PSO) est une technique stochastique basée sur la Population d'optimisation développée par Dr. Eberhart et Dr. Kennedy en 1995, inspiré par le Comportement social des oiseaux s'assemblant ou le banc de poissons figure (III.2) [32].

PSO partage beaucoup de similitudes avec des techniques évolutionnaires de calcul telles que les algorithmes génétiques (AGs) [33]. PSO est initialisée avec une population des solutions aléatoires et recherche des optimums en mettant à jour des générations. Cependant, à la différence des AGs, PSO n'a aucun opérateur d'évolution tel que le croisement et la mutation.

Au PSO, les solutions potentielles, appelées les particules, volent par l'espace de problème en suivant les particules optimums courantes [33].

III.5.1 Configuration de la méthode :

Il existe plusieurs paramètres qui interviennent et influencent la performance de la méthode PSO. Le choix de ces paramètres reste critique et dépend généralement du problème posé mais a une grande influence sur la convergence de l'algorithme. Parmi les paramètres qui rentrent en ligne de compte citons :

– La dimension du problème ;

– Le nombre des particules ;

– La disposition des particules ;

– Les coefficients de confiance ;

– La vitesse maximale ;

– Le facteur d'inertie ;

– Le facteur de construction ;

– La notion du voisinage ;

– Le critère d'arrêt.

III.5.2 Le coefficient d'inertie :

Le coefficient d'inertie w a été introduit par […] pour contrôler l'influence de la direction de la particule sur le déplacement futur. Le but de l'introduction de ce paramètre est de réaliser un équilibre entre la recherche locale (exploitation) et la recherche globale (exploration). La formule (III.17) de calcul de la vitesse devient :

$$V(t+1) = wV(t) + C1r1(Pb(t) - X(t)) + C2r2(Pg(t) - X(t)) \qquad \text{(III.17)}$$

La valeur de w est généralement constante, mais peut être variable dans certains cas, une grande valeur de w est synonyme d'une grande amplitude de mouvement et donc d'exploration globale de l'espace de recherche. Les études menées par […] indiquent une meilleure convergence pour w entre 0.8 et 1.2.

La détermination de la meilleure valeur de ce paramètre pour chaque algorithme se fait à travers des expérimentations numériques. Dans [….], les auteurs ont proposé un coefficient d'inertie dynamique qui varie au cours du temps, et diminue linéairement au cours du processus de l'optimisation. Il commence par une valeur proche de 0.9 et descend linéairement pour arriver à 0.4.

III.5.3 Le facteur de constriction :

Le facteur de constriction k a été proposé par [32], dans le but d'améliorer la convergence de l'algorithme, de prévenir l'explosion de l'essaim et de contrôler la vitesse des particules afin d'échapper au problème de la divergence de l'essaim qui cause la convergence prématurée de l'algorithme. La formule de la vitesse III.18 devient alors :

$$V(t+1) = kV(t) + C1r1(Pb(t) - X(t)) + C2r2(Pg(t) - X(t)) \quad \text{(III.18)}$$

Ou :

$$k = \frac{2}{2 - a - \sqrt{\sigma^2 - 4^2}}$$

Et :

$$\sigma = \sigma 1 + \sigma 2 \geq 4.0$$

$$\sigma 1 = C1r1$$

$$\sigma 2 = C2r2$$

Selon d'autres études menées par [35], dans certains cas, le coefficient de constriction seul ne permet pas la convergence vers la solution optimale pour un nombre d'itérations donné. Pour résoudre ce problème, il peut être intéressant de fixer Vmax = Xmax en plus du coefficient de constriction, ce qui permet d'améliorer les performances globales de l'algorithme.

III.5.4 La notion du voisinage :

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Le voisinage d'une particule représente avec qui chacune des particules va pouvoir communiquer. Il existe deux principaux types de voisinages:

- ➔ Le voisinage géographique : ce type de voisinage représente la proximité géographique, c'est la notion la plus naturelle du voisinage pour les essaims particulaires, les voisins sont considérés comme les particules les plus proches. Cependant, à chaque itération, les nouveaux voisins doivent être recalculés à partir d'une distance prédéfinie dans l'espace de recherche. C'est donc un voisinage dynamique qu'il convient de définir et d'actualiser à chaque itération. C'est ce type de voisinage qui a été retenu dans notre approche.

➔ Le voisinage social : ce type de voisinage représente la proximité sociale, les voisinages ne sont plus l'expression de la distance mais l'expression de l'échange d'informations, les voisins sont définis à l'initialisation et ne sont pas modifiés par la suite. Une fois le réseau des connexions sociales établi, il n'y a pas besoin de le réactualiser. C'est donc un voisinage statique.

La modification de la formule de vitesse (1) est réalisée en utilisant un nouveau terme dans l'équation. Il a été introduit par [32] :

$$V(t+1) = V(t) + C1r1(Pb(t) - X(t)) + C2r2(Pg(t) - X(t)) + C3r3(Pn(t) - X(t)) \quad \text{(III.19)}$$

où :

Pn : la meilleure position du voisinage ;

C3 : le coefficient d'accélération, appelé aussi paramètre social ;

r3 : nombre aléatoire tiré de l'intervalle [0,1].

III.5.5 Proposition d'une approche de parallélisassions de la méthode PSO :

La particularité de l'approche consiste à profiter de la robustesse de l'algorithme PSO dans le choix du bon paramétrage, plus particulièrement la notion de voisinage dynamique, dans le but de créer la diversité dans la recherche et dans le partage de l'information pour une convergence plus optimale. Aussi bien le calcul parallèle qui permet d'accélérer les calculs afin d'avoir une solution optimale dans un temps de calcul optimisé.

La figure III.11 est une représentation de l'approche proposée.

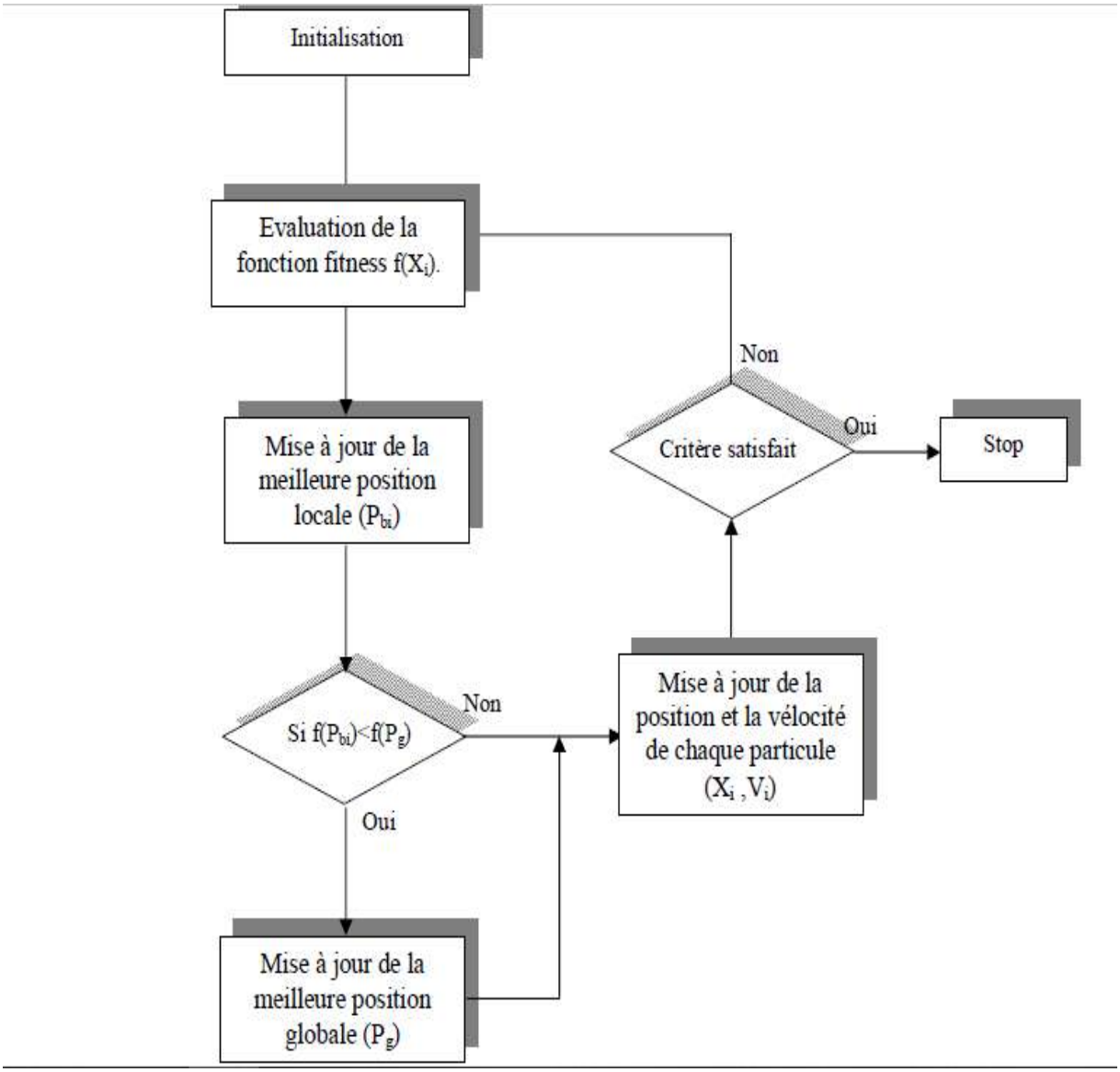


Figure III. 11 : Organigramme de l'algorithme de PSO.

III.5.6 Le critère d'arrêt :

Le choix d'un critère optimisé n'est généralement pas simple. Pour plus de diversité dans le programme, nous avons opté pour trois critères d'arrêt :

1) le nombre maximum d'itérations sans amélioration ;

2) une précision relative au rayon ;

3) une précision relative à la distance du Gbest.

En ce qui concerne le premier critère, nous spécifions un nombre d'itérations au bout duquel sans amélioration remarquable de la solution on arrête le programme.

Le deuxième critère est relatif à une valeur précisant le rayon minimal accepté, si cette valeur est atteinte alors l'exécution du programme s'arrête.

Le troisième critère concerne la valeur de la meilleure position de tout l'essaim, si la distance entre la valeur de la meilleure position à l'itération t et la meilleure position à l'itération t+1 est égale à une précision spécifiée, c'est à dire qu'il n'y a pas d'amélioration notable de la solution alors il y a arrêt des calculs.

Tous ces critères sont implémentés, paramétrables depuis l'interface utilisateur, et leurs valeurs varient selon le problème à optimiser. Dans notre cas, nous avons lancé les tests en utilisant ces trois critères, en changeant à chaque fois leurs valeurs, afin de trouver les valeurs les plus optimales à notre problématique. Après avoir trouvé cette combinaison de valeurs, on lance l'exécution et une fois l'un des critères est atteint, le programme s'arrête.

III.5.7 Les étapes de l'algorithme :

Les principales étapes de l'algorithme de notre approche sont les suivantes :

Étape 1 : Attribuer les particules pour l'ensemble de l'espace de recherche en générant leurs positions, vitesses et topologie de communication.

Étape 2 : Créer les voisinages via la valeur initiale du rayon.

Étape 3 : Diviser le traitement de l'algorithme PSO sur un ensemble de traitements : pour chaque traitement on attribue un thread.

Étape 4 : Attribuer les lots de particules aux threads .

Étape 5 : Lancer les traitements de tous les threads en parallèle pour une itération.

Étape 6: Mettre à jour les voisinages selon les nouvelles positions des particules et la nouvelle valeur du rayon s'il y a lieu.

Étape 7: Si le critère d'arrêt est satisfait, arrêter, sinon passer à l'étape 5.

Étape 8 : Le résultat est la meilleure solution obtenue parmi les threads.

III.5.8 L'algorithme de PSO :

Tableau.III.2 : L'algorithme de la méthode PSO .

```
Clc;
Clear all;
Format short;
Tic
Iterations=10;
Inertia= 1.0;
Correction_factor = 2.0;
Swarms=50;
W=2.*pi.*[10 20 ……. 2000];
%---------- Position initiale des essaims ----------%
Swarm=zeros(50,7);
Step=1;
For i= 1:swarms
   Swarm(step, 1:7)= i;
   Step=step + 1;
End
Swarm(:, 5)= 2 ;     % la valeurinitiale
Swarm(:, 7)= 1000 ;     % la valeurmaximale
Swarm(:, 5)= 0  ;       % Vitesseinitiale
Swarm(:, 6)= 300  ;       % Vitessemaximale
% ---------- Iteration ----------%
For iter=1:  iterations
   %------- position of swarms -----%
   For i= 1 : swarms
      Swarm(i, 1)=swarm(i, 1) + swarm(i, 5)/1.2;      % mettre jour la position u
      Swarm(i, 2)=swarm(i, 2) + swarm(i, 6)/1.2;      % mettre jour la position v
      U=swarm(i,1);
      V=swarm(i,2);
%       value=(u-20)^2+(v-10)^2;                  % fonction objective
       Value=((u.^2)-2.*(u.*u)./(2.*(v)));
```

```
      If value < swarm(i,7)                    % Toujoursvrai
        Swarm(i, 3)=swarm(i, 1);                % mettre jour la meilleure position de u
        Swarm(i, 4)=swarm(i, 2);                % mettre jour la meilleure position de v
        Swarm(i, 7)=value;                     % meilleurevaleurminimalemise jour
      End
   End
   [temp, gbest] = min(swarm(:,7));              % gbest position
   % ----- mise jour des vecteursvitesse ----------%
%    for i = 1: swarms
%     swarm(i, 5)= rand*inertia*swarm(i, 5)+ correction_factor*rand*(swarm(i, 3)-swarm(i,1))+
correction_factor*rand*(swarm(gbest,3)- swarm(i,1));     % u velocity parameters
%     swarm(i,6)= rand*inertia*swarm(i,6)+ correction_factor*rand*(swarm(i,4) -swarm(i,2))+
correction_factor*rand*(swarm(gbest,4)- swarm(i,2));     % v velocity parameters
%    end
Ini=0;
    For i = 1: swarms
ObjVal =  sqrt((1./swarm(i,1)).^2+ ((w*swarm(i,3))-(1./(w*swarm(i,2)))).^2) ;
Ini=ini+1 ;
    End
 Plot the swarms
Clf
Figure(1)
 Plot(swarm(:,1), swarms,'rx')     % dessin de mouvementsd'essaims
  %axis([-200 2000 -200 2000])
  Pause(0.1)
Legend('Z optimis (PSO)')
Grid on
Clf
Figure(2)
Plot(w./(2.*pi),abs(1./ObjVal),'bx','LineWidth',2)
 %axis([-200 2000 -200 2000])
 Pause(0.1)
Legend('Z optimis (PSO)')
Grid on

End
```

III.5.9 Résultats de simulation :

La comparaison des réponses fréquentielles d'un enroulement estimé par rapport à celles des réponses optimisées par l'algorithme PSO est illustrée sur les figures (III. 12- III. 14).

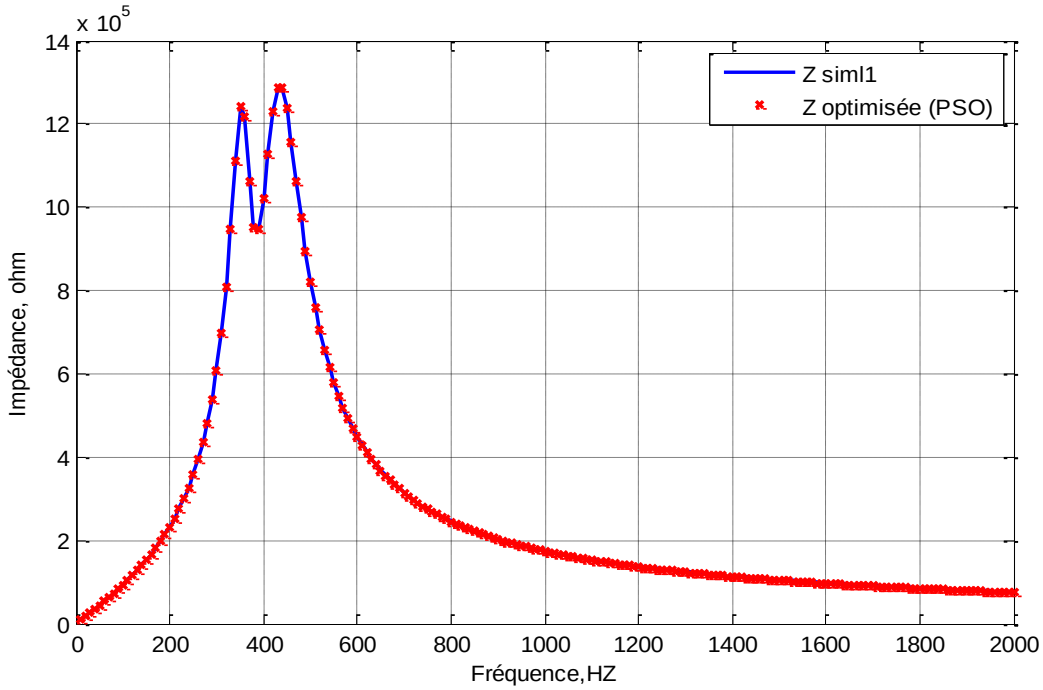


Figure III. 12 : Les courbes de la réponse Zu estimée et la réponse optimisée par le PSO en fonction de la fréquence.

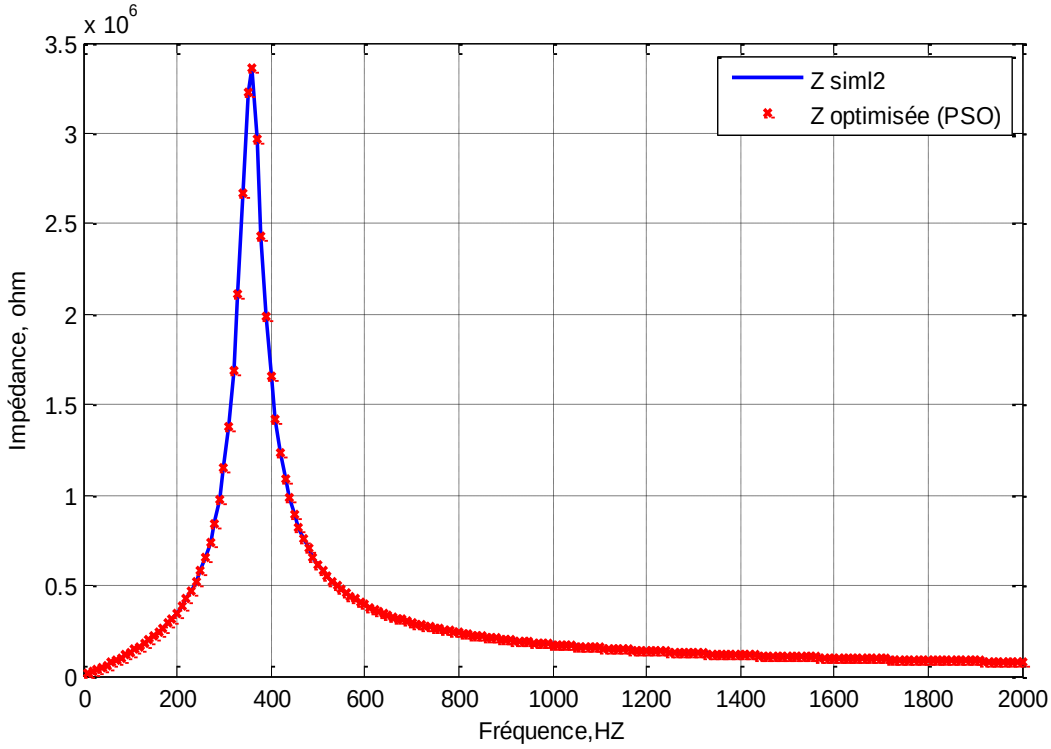


Figure III. 13 : Les courbes de la réponse Zv estimée et la réponse optimisée par le PSO en fonction de la fréquence.

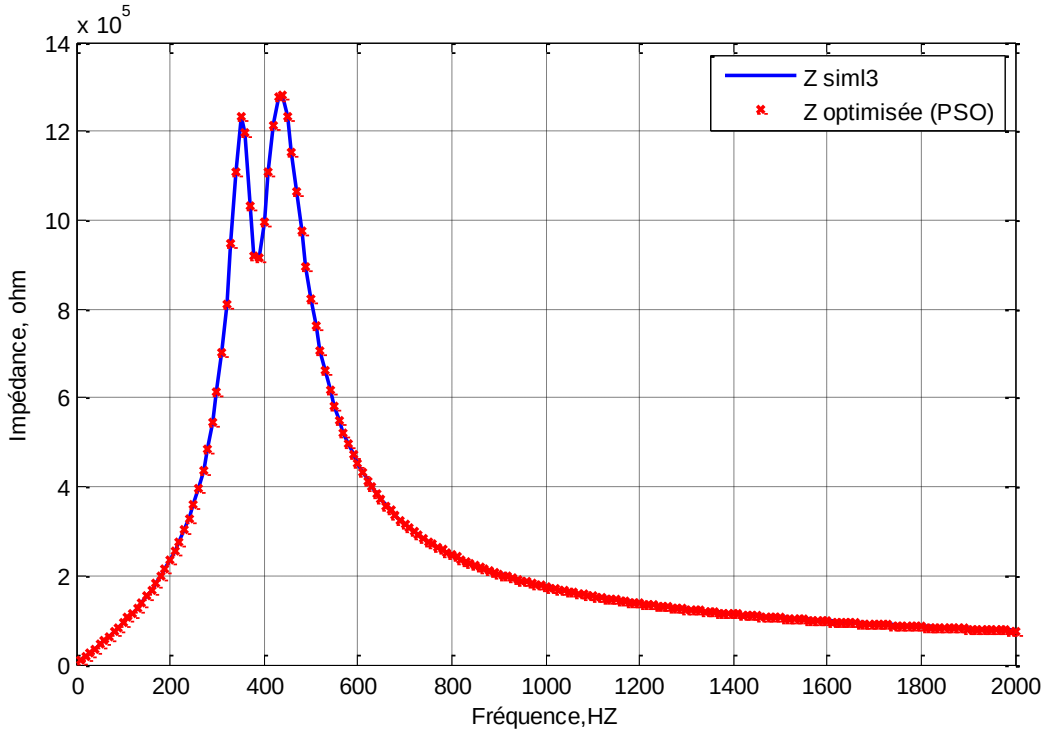


Figure III. 14 : Les courbes de la réponse Zw estimée et la réponse optimisée par le PSO en fonction de la fréquence.

III.5.10 Résultats expérimentaux :

Le tableau III.2 suivant présent les résultats obtenus en appliquant la méthode analytique d'estimation des paramètres et la méthode de l'algorithme PSO.

Tableau.III.3 : Les valeurs des paramètres RLC.

	ZU	**ZV**	**ZW**
Gamme de fréquence (Hz)	**[0 -2000]**	**[0 - 2000]**	**[0 -2000]**
Algorithme de calcul	Valeurs de modèle approprié		
R (MΩ)	2.4000	12.1240	2.3000
L (H)	183.1504	399.8045	185.3597
C (nF)	0.7452	0.6648	0.7356
Algorithme de calcul	L'algorithme d'estimation		
R (MΩ)	2.4000	12.1240	2.3000
L (H)	183.1504	399.8045	185.3597
C (nF)	0.7452	0.6648	0.7356
Algorithme de calcul	L'algorithme d'optimisation de PSO		
R (MΩ)	2.4000	12.1240	2.3000
L (H)	183.1504	399.8045	185.3597
C (nF)	0.7452	0.6648	0.7356

III.6. Conclusion :

Dans ce travail, on a étudié la modélisation et l'analyse fréquentielle dans les enroulements d'un transformateur triphasé en régime BF par l'utilisation de la méthode analytique d'estimation des paramètres et méthode de l'algorithme PSO.

D'après l'étude précédente, nous avons cités les points suivants :

- L'enroulement du transformateur peut être représenté en basse fréquence par une branche RLC .
- Les résultats obtenus par simulation en utilisant les deux méthodes différentes précédemment sont concordants aux valeurs du modèle approprié.
- Nous avons présenté aussi l'intérêt des informations que peut apporter et illustrer l'utilisation de la technique de PSO, dans le but de résoudre les problèmes liés au modélisation fréquentielle dans les enroulements d'un transformateur triphasé.

Conclusion Général

Conclusion général

Cet travail a pour objectif de l'Optimisations des paramètres dans les enroulements d'un transformateur triphasé en régime BF, qui est un élément très important dans les réseaux électriques.

Nous avons consacrés dans le premier chapitre une vue générale sur le transformateur triphasé, les composants de base, les défauts internes du transformateur triphasé, nous traitons également les techniques de diagnostic par l'analyse d'huile, l'analyse des furanes, la mesure diélectrique et la mesure électrique.

Dans le deuxième partie, on a défini la technique d'FRA et leur principe de fonctionnement et citez déférent types d'essais, et une recherche bibliographique sur les différents modèles du transformateur en régime fréquentiel. Puis on a défini la technique de PSO et leur principe de fonctionnement.

Le modèle que nous avons jugé c'est le modèle le plus adéquat pour notre étude est le modèle π qui basé sur la discrétisation de l'enroulement par une cellule RLC, Pour sa simplicité et pour il contient parfaitement à une étude en basse fréquences.

A fin de compléter notre projet de fin d'étude, nous avons optimisés au troisième chapitre l'allure de la réponse en fréquence des différentes phases en basses fréquences (BF) d'une part, d'autre part nous avons obtenus les paramètres du modèle π du transformateur en utilisant l'algorithme de PSO.

Finalement, pour des résultats précis on a utilisé la méthode d'optimisation d'Essaim de Particules (PSO), et obtenus les résultats désirés.

La simulation a été réalisée sous MATLAB, d'après les résultats obtenus, on a relevé les points suivants :

- Le modèle obtenu présente des avantages importants en matière de modalisation d'un transformateur triphasé par la technique de PSO basée sur l'analyse de l'impédance en basse fréquence.
- La méthode PSO est exploité pour calculer et trouver l'optimum d'une fonction en un temps de traitement raisonnable.

Références

Bibliographiques.

[1] **A. Bourgeois**, « Etude du phénomène d'électrisation par écoulement sur les cartons des transformateurs de puissance », PhD Thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2007.
[2] **B. Multon**, « Modèles électriques du transformateur électromagnétique », Rev. 3 E I, p. pp.31-36, déc. 1997.

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

[4] **ABB Power Transformer** : Transformateur de Puissance. Sétif, mai 2009
[5]**BOUCHAOUI LAHCENE** : DIAGNOSTIC DES TRANSFORMATEURPUISSANCE PAR LA METHODE D'ANALYSE DES GAS DISSOUS: APPLICATION DRESEAUX DE NEURONES. Thèse de Magister. université de Sétif . Thèse soutenue janvier 2010
[6]: **B.Gustavsen, A. Semlyen**. « Application of vector fitting to state equation representation of transformers for simulation of electromagnetic transients ». IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, July 1998.
[7] : **N.Aouchar , C.Bekhaled** « Application des systems hybrides neuro-flous au diagnostic des huiles de transformateur », Projet de fin d'études , Département Génie électrique, Ecole National Polytechnique, Alger ,2005.
[8]: **Xose M. L.F and Casimiro A.M**. « Computation method for transients in power transformer with lossy windings » IEEE Transactions on Magnetics, Vol. N.3, March 2009, pp 1863-1866.

[9] : **LEFEVRE.A**, «Contribution à la modélisation électrique, électromagnétique et thermique des transformateurs », Ecole Polytechnique de Nantes, 1998.
[10]: **Charles Sweeter, B.Sc., M.Sc. Dr. Tony McGrail**, 'Sweep Frequency Response Analysis Transformer Applications A Technical Paper from Doble Engineering' Version 1.0, 01/2003.

[11] : **Megger 'FRAX 101** Analyzeur de réponse de la fréquence de balayage' FRAX101_DS_fr_V01.
[12] : **Omicron électronique** 'FRA Analyzer Manuel d'utilisation' Référence –VESD0662 Version du manuel : FRA.FR, 2006.
[13] : **Gueller.B, Veverka.A,** «Processus impultionnelles dans les machines électriques», Energya, Moscou, 1973.

[14]: **Bergman, C. 'SFRA-** an application that creats cutomer value?' Thesis Département Electrical Enginnering Sweden, 2006.
[15] **M. KRATBI**, Seyf Eddine, « Analyse des défaillances dans les enroulements d'un transformateur triphasé,basée sur l'analyse de l'impedance du transformateur. UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA, A n n é e U n i v e r s i t i e s 2 0 1 5 - 2 0 1 6. ».
[16] **Boudraa, S**, « Analyse des gaz dissous dans les huiles des transformateurs en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle. 2005, Université de Batna 2. » .
[17] **J. KHOJA, A. DEMANE**, et **A. ALILI**, « Amélioration de la protection d'un transformateur de puissance ».
[18] « **Bergman, C., SFRA**–An application that creates customer value. The Electrical Engineering Program, spring, 2006. ».
[19] **A. Rakotomalala**, « Contribution à la modélisation des transformateurs de puissance en régimes hautes fréquences », PhD Thesis, Ecully, Ecole centrale de Lyon, 1996.
[20] « **M.jose Ignacio ANGUS GOMES**,diagnostic des transformateur de puissance ».
[21] **H. Houassine**, « Etudes des surtensions dans les blocs alternateur-transformateurs des centrales électriques », PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri, 2010.
[22] **A. Morched, L. Marti**, et **J. Ottevangers**, « A high frequency transformer model for the EMTP », IEEE Trans. Power Deliv., vol. 8, no 3, p. 1615–1626, 1993.
[23] **Dommel, H.W**., « Electromagnetic Transients Program : Reference Manual:(EMTP theory book). 1986 : Bonneville Power Administration. »
[24] **J. G. Hayes, N. O'Donovan**, et **M. G. Egan**, « The extended T model of the multiwinding transformer », in 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 04CH37551), 2004, vol. 3, p. 1812–1817.
[25] **Dr.CHADELI**, « « Représentation d'un réseau passif par un quadripôle, chapitre VI, les quadripôles passifs, cours d'électronique Général I _2ème année LMD Génie Electrique ». Université de YAHIA Fares de Médéa 2010.2013,2014. »
[26] **ZHOU Y., TAN Y**., GPU-Based Parallel Particle Swarm Optimization. In : Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, vol. (9), pp.1493–1500. 2009.
[27] **WAINTRAUB M., SCHIRRU R., PEREIRA C.**, Parallel Particle Swarm Optimization Algorithm in Nuclear Problems. In : International Nuclear Atlantic Conference – INAC. 2009.
[28] **TING T.-O., RAO M.V.C., LOO C.K., NGU S.-S.**, A New Class of Operators to Accelerate Particle Swarm Optimization. In : Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, vol. (4), pp. 2406–2410. 2003.

[29] **LIU H., ABRAHAM A., ZHANG W.**, A Fuzzy Adaptive Turbulent Particle Swarm Optimization. International Journal of Innovative Computing and Applications, vol. 1, n° 1, p. 39–47. 2007.
[30] **PAQUET U., ENGELBRECHT A.P.**, A New Particle Swarm Optimizer for Linearly Constrained Optimization. In : Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, vol. (1), pp. 227–233. 2003.
[31] **PARSOPOULOS K.E., PLAGIANAKOS V.P., MAGOULUS G.D., VRAHATIS M.N.**, Objective Function "Strectching" to Alleviate Convergence to Local Minima. Nonlinear Analysis, Theory, Methods and Applications, vol.47, n° 5, p. 3419–3424. 2001.
[32] **KENNEDY J., EBERHART R.**, "Particle Swarm Optimization," Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, IEEE Press, vol. 8, no. 3, pp. 1943–1948. 1995.
[33] **COOREN Y.**, Perfectionnement d'un algorithme adaptatif d'Optimisation par Essaim Particulaire. Applications en génie médical et en électronique. Thèse de Doctorat, Université de Paris 12 Val de Marne, France. 2008.
[34] **MENDES R.**, Population Topologies and Their Influence in Particle Swarm Performance. Thèse de doctorat. Université de Minho, Portugal, 2004.
© 2016 ISTE OpenScience – Published by ISTE Science Publishing, London, UK – openscience.fr
[35] **ELHAMI N.**, Contribution aux méthodes hybrides d'optimisation heuristiques : Distribution et application à l'interopérabilité des systèmes d'information. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V Rabat, Maroc & Université de Rouen, France, 2013.
[36] **ZIELINSKI K., LAUR R.**, Stopping Criteria for Differential Evolution in Constrained Single-Objective Optimization. In : Advanced in Differential Evolution, the series Studies in Computational Intelligence, vol. 143, pp.111-138 Springer, Berlin Heidelberg. 2008.

Annexes

Les valeurs des phases obtenu par programme MATLAB :

```
clc;
clearall;
phase1=[ 10,40……,-47.4710000000000];
phase2=[ 10,40……,-56.0530000000000];
phase3=[ 10,40……,-47.4440000000000];
Iinf=1;
Isup=200;
%phase 1
teta1=(pi/180)*phase1(3,:)
frec1=abs(phase1(1,:))
Zmes1=(phase1(2,:)).*(cos(teta1)+j*sin(teta1));
%phase 2
teta2=(pi/180)*phase2(3,:)
frec2=abs(phase2(1,:))
Zmes2=(phase2(2,:)).*(cos(teta2)+j*sin(teta2));
%phase 3
teta3=(pi/180)*phase3(3,:)
frec3=abs(phase3(1,:))
Zmes3=(phase3(2,:)).*(cos(teta3)+j*sin(teta3));
%%   calcule des imp Zph1,Zph2,Zph3 (méthode Analitique)  %%
%%%%%%%%%%%%%%%=======Zph1==========%%%%%%%%
Zph1=((Zmes1.^2+Zmes2.^2+Zmes3.^2)-
2.*(Zmes1.*Zmes2+Zmes1.*Zmes3+Zmes2.*Zmes3))./(2.*(Zmes1-
Zmes2-Zmes3))
%%%%%%%%%%%%%%%=======Zph2==========%%%%%%%%
Zph2=((Zmes1.^2+Zmes2.^2+Zmes3.^2)-
2.*(Zmes1.*Zmes2+Zmes1.*Zmes3+Zmes2.*Zmes3))./(2.*(Zmes2-
Zmes1-Zmes3))
%%%%%%%%%%%%%%%=======Zph3==========%%%%%%%%ù
Zph3=((Zmes1.^2+Zmes2.^2+Zmes3.^2)-
2.*(Zmes1.*Zmes2+Zmes1.*Zmes3+Zmes2.*Zmes3))./(2.*(Zmes3-
Zmes1-Zmes2))
figure(1)
```

```
plot(frec1,Zph1,'r',frec2,Zph2,'b*',frec3,Zph3,'k*')
ylabel('Impédance, ohm')
xlabel('Fréquence,HZ')
legend('Zph1','Zph2','Zph3' );
gridon
```