

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique
Département d'Electrotechnique



Mémoire

de fin d'études

En vue de l'obtention

du diplôme de Master Professionnel

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Thème

*Modélisation dynamique d'un
transformateur*

Proposé et dirigé par:

M^r. A. DICHE

Étudié par :

M^{elle}. Larabi Samiha

M^{elle}. Moussaoui Djouher

Promotion : 2011/2012



Remerciement

En premier, nous tenons à remercier le dieu qui nous a donné le courage pour faire ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre promoteur M^r DICHE.A qui nous a aidé et orienté pendant toute cette étude.

Nous remercions particulièrement M^r S.REZGUI pour l'aide qui nous a fournie afin de mener ce travail à terme.

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous font l'honneur de juger ce travail

Enfin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à élaborer ce modeste travail.



Created with

 **nitro**^{PDF} professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional



Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes très chers parents qui mon soutenu pendant tout mon cursus d'études

A mes chères frères Samir et Tarik

A ma chère sœur Rima

A ma chère sœur Kahina et sont époux Farid et leurs petites enfants Asma, moumouh

A mes très chères amies Khalida, Lynda.B, fatma Lynda.D, Kamilia, Drifa, Djamila, Madiha, zazie, lyes, said.

A mon très cher redouane

Amon binôme Djouher et sa famille

Aoute la promotion ETH 2012

Tous ceux qui j'ai connu durant mon cycle d'étude

Samiha



Created with

 **nitro**PDF professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional



Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A la mémoire de ma maman qui est toujours présente dans mon cœur et que dieu la garde dans son vaste paradis.inchallah

A mon très cher père qui m'a soutenu pendant tout mon cursus d'études

A Ouardia qui ma apporté le soutient et le confort.

A mon très chers frère Madjid.

Mon frère Hacene sa femme Malika et leurs petit coucou Eliane

A mes chères sœurs Soraya, Rima.

A, mes sœurs Aida et Sabrine et leurs époux Youcef et Djamel et leurs familles

Amon très chère fiancé Ahmed, mes beaux parentes papa Ali, maman Zhor, yama Ouiza et belles sœurs Radia, Chafia et Yasmina et beaux frères Rabah, Mohamed Rida sa femme Naima

Amon binôme Samiha et sa famille

A mes très chères amies Khalida, Lynda.B, fadhma Lynda.D, Kamilia, Dhrifa, Djamila, Madiha, Zazie, Nora, Dahbia, Rabiha,Lyes et Said

Aoute la promotion ETH 2012

Tous ceux qui j'ai connu durant mon cycle d'étude



Djouher

Created with

 **nitro**PDF[®] professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

Sommaire

Created with

 **nitro**^{PDF} professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

Chapitre I :

Généralité sur les transformateurs triphasés

Introduction.....	(1)
I.1. Principe	(1)
I.2.Définition.....	(1)
I.3.Représentation schématique.....	(2)
I.4.Les principaux types de transformateur	(2)
I.5.Description.....	(3)
I.5.1. Constitution d'un transformateur	(3)
I.5.1.1. Partie active	(3)
I.5.1.1.a. Circuit magnétique	(3)
I.5.1.1. b. Les enroulements.....	(4)
I.5.1.2.Partie constructive.....	(5)
I.5.1.2.a .La cuve.....	(5)
I.5.1.2.b. Le couvercle.....	(6)
I.5.1.2.c. Les traversées.....	(6)
I.5.2.Couplage des enroulements.....	(6)
I.5.3.Isolement.....	(7)
I.5.3.1 Isolement des conducteurs.....	(7)
I.5.3.2.Isolement des bobines.....	(7)
I.6.Principe de fonctionnement	(8)
I.7.Equation générales de fonctionnement.....	(8)
I.8. Usage.....	(9)

I.9. Grandeurs caractéristiques des transformateurs.....	(11)
I.9.a. Repérage des bornes.....	(11)
I.9.b. Grandeurs nominales.....	(11)
I.9.c. Rapport de transformation.....	(11)
I.9.d. Indice horaire.....	(11)
I.10. Différents modes de couplages.....	(12)
I.10.1. Couplage étoile-étoile.....	(13)
I.10.2 Couplage triangle-étoile	(14)
I.10.3 couplages étoile-zigzag.....	(15)
I.11. Condition de mise en parallèle de deux transformateurs triphasés.....	(17)
a) Repérage des bornes.....	(17)
b) Démarche à suivre.....	(17)
I.12. Les essais d'un transformateur triphasé.....	(18)
a) Vérification des sens de bobinage et de schéma des connexions.....	(18)
b) Essai à vide et mesure du rapport de transformation m	(18)
c) Essai en court-circuit.....	(19)
d) Epreuves diélectriques.....	(19)
e) Essai à pleine charge.....	(19)
f) Essai de tenus en court-circuit.....	(19)
Conclusion.....	

Chapitre II :

Modélisation électrique et magnétique d'un transformateur

Introduction.....	(20)
II.1. Hypothèses simplificatrices.....	(20)
II.2. Modélisation du transformateur monophasé en régime de fonctionnement linéaire	(21)
II.2.1 Description.....	(21)
II.2.2. Transformateur monophasé à vide.....	(21)
II.2.2.1. Mise en équation du transformateur monophasé à vide	(21)
II.2.2.2. Le schéma équivalent.....	(23)
II.2.2.3. Implémentation du modèle de simulation	(23)
II.2.3. Transformateur monophasé en charge.....	(24)
II.2.3.1. Mise en équations du transformateur monophasé en charge.....	(24)
II.2.3.2. Schémas équivalents en charge.....	(26)
II.2.3.3. Implémentation du modèle de simulation.....	(27)
II.3. Application aux transformateurs triphasés.....	(29)
Conclusion.....	(31)

Chapitre III :

Résultats et applications

Introduction.....	(34)
III.1 Simulation des régimes transitoires dans les transformateurs.....	(34)
III.2. Etude comparative entre l'utilisation des valeurs efficaces et instantanées.....	(35)
III.3. Etude du transformateur triphasé en couplage Y-Y.....	(45)

III.4. Etude du transformateur triphasé en couplage D-y.....	(45)
III.5. Comparaison entre les deux couplages.....	(52)
III.6. Etude de l'effet de non alimentation d'une phase.....	(54)
III.7. Effet d'une composante continue additionnelle a la phase	(59)
Conclusion.....	

Introduction générale

Le transformateur est un composant fondamental en électrotechnique, son étude constitue l'un des piliers de cette discipline. Rappelons que le transformateur industriel a été inventé par Lucien Gaulard et John-Dixon Gibbs en 1831 et qu'il a eu un rôle décisif dans le développement de l'énergie électrique et plus particulièrement en courant alternatif. Son essor fut immédiat, les puissances réalisées augmentèrent très rapidement (quelques 100 kVA en 1900 et quelque MVA en 1910).

Nous sommes actuellement portés à utiliser, pour décrire le fonctionnement des transformateurs, des modèles électriques équivalents représentés par leurs équations. C'est l'objet du présent travail qui est la modélisation et simulation dynamique d'un transformateur triphasé.

Pour réaliser notre étude, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous traitons les généralités sur les transformateurs triphasés, le deuxième chapitre est consacré à la modélisation électrique et magnétique des transformateurs monophasé et triphasé en tenant compte de la saturation du circuit magnétique. Ceci en vue de l'étude du comportement transitoire des différentes grandeurs (tension, courant et flux).

Puis le troisième chapitre portera sur les applications et les résultats de simulation réalisée en exploitant le logiciel MATLAB/ SIMULINK.

Nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité sur les transformateurs triphasés

Introduction

Le transformateur est l'un des éléments les plus importants de ce domaine ; il a fait l'objet de nombreuses études ayant permis l'exploitation des différents paramètres et règles qui régissent son fonctionnement. C'est ainsi que l'on distingue plusieurs types, parmi lesquels le transformateur triphasé.

I-1 Principe [2]

On peut réaliser un système triphasé à l'aide des trois transformateurs monophasés identiques comme l'indique la **figure [I-1]** :

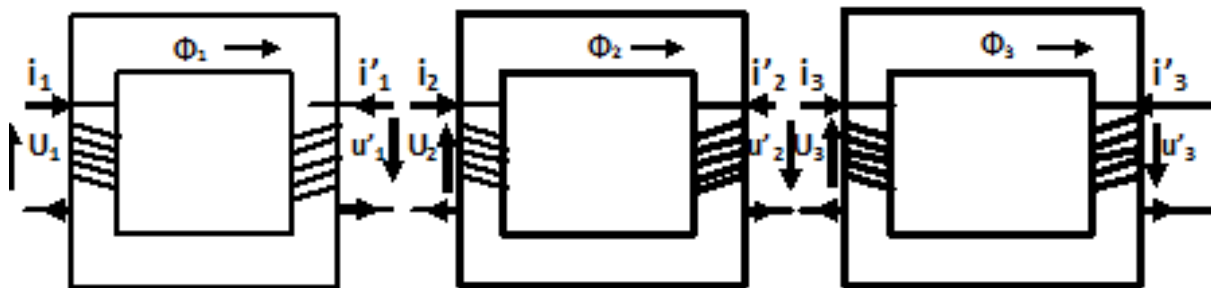


Figure [I-1]: Transformateur à phases indépendantes.

Les primaires de ces transformateurs seront alors groupés :

- Soit en étoile et donc alimentés par les tensions simples.
- Soit en triangle, les tensions seront alors les tensions composées du système triphasé.

De la même façon, les bobinages secondaires peuvent être couplés en étoile ou en triangle.

I-2 Définition [3]

Le transformateur est une machine statique qui permet de transformer une tension ou un courant d'une certaine fréquence en une autre tension ou un autre courant de même fréquence.

Cette machine effectue un transfert d'énergie électrique par voie électromagnétique

Le transformateur comporte deux enroulements, l'un dit primaire qui reçoit la puissance active de la source, l'autre dit secondaire qui restitue à son tour cette même puissance. Les enroulements sont montés sur un circuit magnétique feuilleté. Si la tension d'alimentation appliquée au primaire est plus basse que celle délivrée par le secondaire, le transformateur fonctionnera en élévateur, dans le cas contraire il fonctionnera en abaisseur.

I-3 Représentation schématique [2]

Les flux (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) dans les circuits magnétiques des transformateurs sont imposés par les tensions d'alimentation primaire et sont donc eux aussi équilibrées ($\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = 0$)

On peut donc a priori regrouper les trois transformateurs en un seul comportant trois colonnes, chacune de ces colonnes porte un bobinage primaire et un bobinage secondaire comme cela est représenté sur le schéma de principe donné sur la **figure [I-2]**.

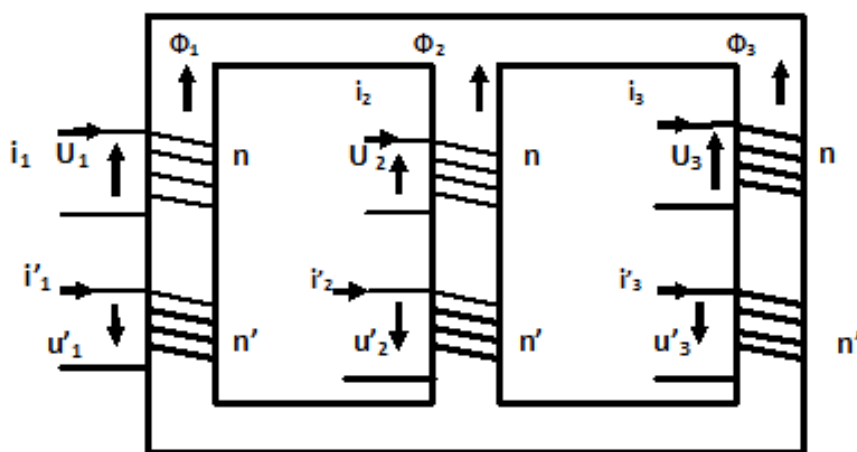


Figure [I-2]:schéma de principe de transformateur triphasé

I-4 Les principaux types de transformateur [5]

Les principaux types de transformateur les plus importants sont les suivants :

- Les transformateurs triphasés qui sont utilisés principalement dans la distribution Publique.

- Les transformateurs d'isolement destinés à créer un isolement électrique entre deux circuits pour des raisons bien souvent de sécurité ou de résolution des problèmes techniques.

- Les transformateurs d'essais destinés aux essais sous haute et très haute tensions.
- Les transformateurs de mesure de courant et de tension.
- Les autotransformateurs pour la mise en marche des moteurs à courant alternatif et le réglage de la tension aux bornes de récepteur de faible puissance.
- Les Transformateurs variables (variac, altermosta) qui sont une variété d'auto transformateurs puisque ils ne comportent qu'un seul bobinage. La dérivation de sortie du secondaire peut se déplacer grâce à un contact glissant sur les spires du primaire.

I-5 Description [5]

I-5-1 Constitution d'un transformateur

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

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

I-5-1-1 Partie active

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

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

Pour le circuit magnétique : les transformateurs peuvent être à colonnes ou cuirassés.

Pour les enroulements : les bobinages peuvent être en couches (concentriques) ou en galette (empilés).

I-5-1-1-a Circuit magnétique

Le circuit magnétique est un assemblage de tôles fines d'épaisseur moyenne de quelques dixièmes de millimètres disposé dans un même plan parallèlement et perpendiculairement les unes aux autres.

La fonction principale du circuit magnétique est de canaliser de flux magnétique produit par l'enroulement primaire pour qu'il y ait un trajet minimal et un facteur de couplage maximal avec l'enroulement secondaire et sert comme support aux enroulements.

Pour une meilleure efficacité, la tôle du circuit magnétique doit :

- ✓ Etre fabriquée en matériau ferromagnétique à haute perméabilité pour une transformation suffisamment efficace de l'énergie électrique.
- ✓ Etre isolé pour diminuer les courants de Foucault.
- ✓ Etre à gain orientés pour avoir une perméabilité plus élevées dans la direction du flux.

I-5-1-1-b Les enroulements [4]

Les enroulements sont formés d'un matériau bon conducteur, en cuivre ou en aluminium, de section circulaire ou rectangulaire. Ils sont généralement cylindriques disposées concentriquement sur la même colonne, ils sont à couches ou à galettes. Pour des raisons économiques, les enroulements doivent satisfaire plusieurs conditions :

- ✓ L'enroulement doit être économique en tenant compte du prix du cuivre et du rendement du transformateur.
- ✓ Il faut diminuer les intervalles entre les deux enroulements pour diminuer le champ de dispersion magnétique ce qui a pour effet de réduire la consommation de la puissance active.
- ✓ Les résistances des enroulements doivent être suffisamment faibles pour réduire les pertes d'énergie qui se dégage sous forme calorifique.
- ✓ L'enroulement doit être isolé avec un isolant résistant à l'évaluation de la température, les court-circuit et les surtensions lors du fonctionnement.

➤ *Enroulement primaires*

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

➤ *Enroulement secondaire*

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

Cette figure représente la coupe d'une colonne d'un transformateur avec les deux enroulements :

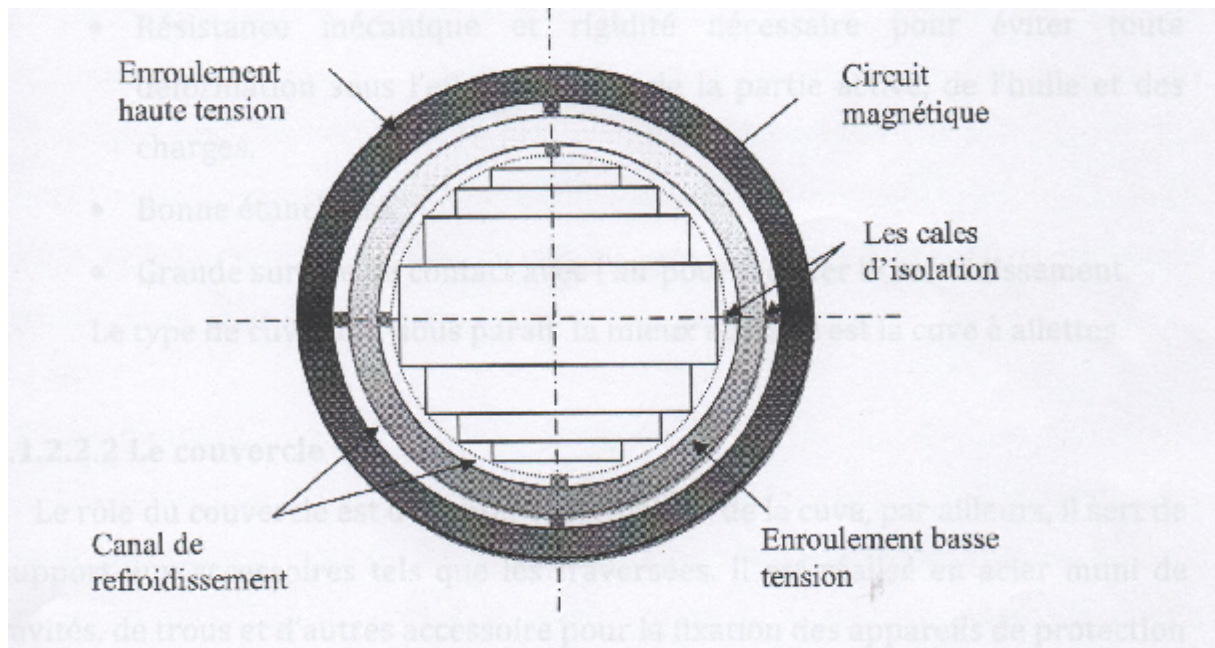


Figure [I-3] : coupe d'une colonne avec les deux enroulements

I-5-1-2 Partie constructive

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

I-5-1-2-a La cuve

En plus de son rôle de réservoir au liquide diélectrique, la cuve assure le maintien mécanique du circuit magnétique et des enroulements. Elle épouse naturellement le courant de la

partie active et minimise ainsi le volume d'huile donc également les coutes et la masse du transformateur.

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

La cuve est équipée de divers dispositifs dont les crochets, les galets, les vannes, et la plaque signalétique. Par ailleurs, elle doit répondre aux exigences suivante :

- ✓ Résistance mécanique et rigidité nécessaire pour éviter toute déformation sous l'effet du poids de la partie active, de l'huile et des charges.
- ✓ Bonne étanchéité
- ✓ Grand surface de contact avec l'air pour faciliter le refroidissement. le type de cuve qui nous parait la mieux adapté est la cuve à ailette.

I-5-1-2-b Le couvercle

Le rôle du couvercle est d'assurer la fermeture de la cuve, par ailleurs, il sert de support aux accessoires tels que les traversées. Il est en acier muni de cavités, de trous et d'autres accessoire pour la fixation des appareils de protection et des isolateurs de traversée de 3 (trois) d'un coté du couvercle (primaire) et l'autre coté (secondaire).

I-5-1-2-c Les traversées

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

I-5-2 Couplage des enroulements [9]

Les bobines qui se trouvent sur les différentes colonnes et appartenant au même enroulement, sont connectées entre elles de telle sorte à constituer un groupe de connexion. Le choix du couplage dépend de l'utilisation du transformateur, dans le cas ou il est utilisé pour la distribution, le choix repose sur les remarques suivantes :

- ✓ Présence de fil neutre coté BT.
- ✓ Présence de fil neutre coté HT.

- ✓ Adoption de couplage différentes pour les deux enroulements (BT et HT).

Le triangle (D), l'étoile (Y), ou zigzag (Z), sont les connexions couramment utilisées dans les réseaux électriques. Plusieurs combinaisons distinctes de ces couplages sont disponibles pour les enroulements primaires et secondaires. Les plus courantes pour le continent européen sont les couplages Yy0, Dy11, Yz11, Yd11 ou le nombre traduit l'indice horaire, image du entre les tensions primaires et secondaires.

I-5-3 Isolement [9]

L'isolement de la partie active est d'une importance majeure et déterminant pour le fonctionnement du transformateur. Pour cela les conducteurs, les bobines et les connections doivent être isolé entre eux, avec la masse, le circuit magnétique, la cuve et le couvercle.

I-5-3-1 Isolement des conducteurs

L'isolement des spires est réalisé avec du vernis ou du papier ou les deux en même temps.

I-5-3-2 Isolement des bobines

L'isolement des bobines basses tension du circuit magnétiques est réalisé par un tube isolant en presspahn ou en bakelisé avec ou sans cales, monté sur la colonne du circuit magnétique. Entre bobines basse tension et haute tension, l'isolement se fait à l'aide d'un tube en papier bakelisé qui est fixé à chaque angle. Enfin entre bobines et culasse l'isolement se fait à l'aide des cales, en bois imprégné et de cornières en presspahn rejoignant les tubes écrans. L'isolement est renforcé par imprégnation dans l'huile.

La figure représente un schéma l'extérieur d'un transformateur qui permet de voir les différents éléments constituant le transformateur :

1. Traversée haute tension
2. Traversée basse tension
3. Ailettes de refroidissement
4. Barre de fixation
5. Isolation
6. Enroulement
7. Empilage de tôles
8. Le couvercle
9. La cuve.

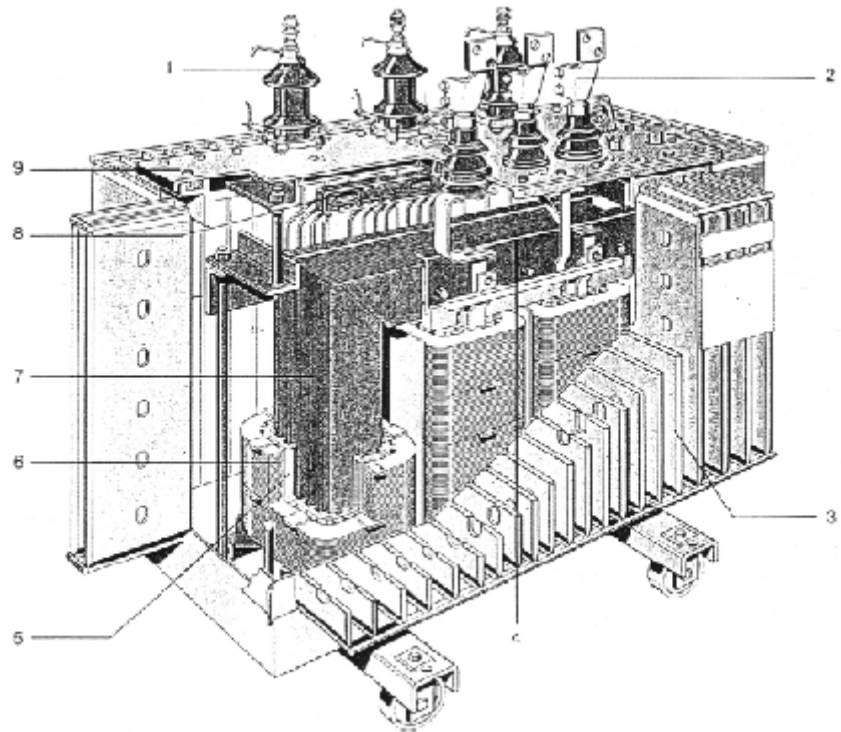


Figure [I-4] : Construction d'un transformateur triphasé [5]

I-6 Principe de fonctionnement [3]

Le transformateur triphasé utilise les effets de l'induction magnétique. Il comporte deux enroulements qui embrassent un flux commun. L'enroulement primaire alimenté par une source de courant alternatif fonctionnant comme un récepteur, engendre un flux d'induction dans le circuit magnétique. L'autre enroulement appelé secondaire embrasse ce flux et devient le siège d'une f.é.m. induit. Celle-ci induira en son sein un courant alternatif qui alimentera les récepteurs d'énergie électrique. Le flux principal crée dans les enroulements des forces électromotrices :

$$e_1 = -n_1(d\phi/dt) \quad (\text{I-1})$$

et

$$e_{12} = -n_2(d\phi/dt) \quad (\text{I-2})$$

I-7 Equation générales de fonctionnement [2]

En supposant le transformateur parfait [figure I-1] et en désignant par $m = n' / n$ leur rapport de transformateur, on obtient avec les orientations, les équations de fonctions de fonctionnement suivantes :

$$\begin{array}{lll}
 u'_1 = -mU_1 & I_1 = -mi'_1 & U_1 = nd\phi_1 / dt \\
 u'_2 = -mU_2 & I_2 = -mi'_2 & U_2 = nd\phi_2 / dt \\
 u'_3 = -mU_3 & I_3 = -mi'_3 & U_3 = nd\phi_3 / dt
 \end{array} \quad \text{(I-3)}$$

I-8 Usage [1]

Le transformateur triphasé joue un rôle fondamental pour le transport et la distribution de l'énergie électrique (**Figure [I-5]**).

En effet, les alternateurs des centrales sont triphasé et la tension qu'ils produisent est relativement basse (soit 20kV à 700kV). Si on veut que le transport de l'énergie soit économique : il faut que celle-ci soit assurée par une tension beaucoup plus élevée (soit 400kV à 700kV pour le réseau français). Cette élévation de tension est assurée par des transformateurs triphasés (**Figure [I-4]**).

De même, l'énergie fournie aux consommateurs de grandes et moyennes puissances est le plus souvent triphasé car elle permet l'utilisation de moteurs triphasés.

En revanche, pour les grands industriels, qui ont besoin d'une puissance importante, cette tension est beaucoup élevée (soit 5kV à 10kV).

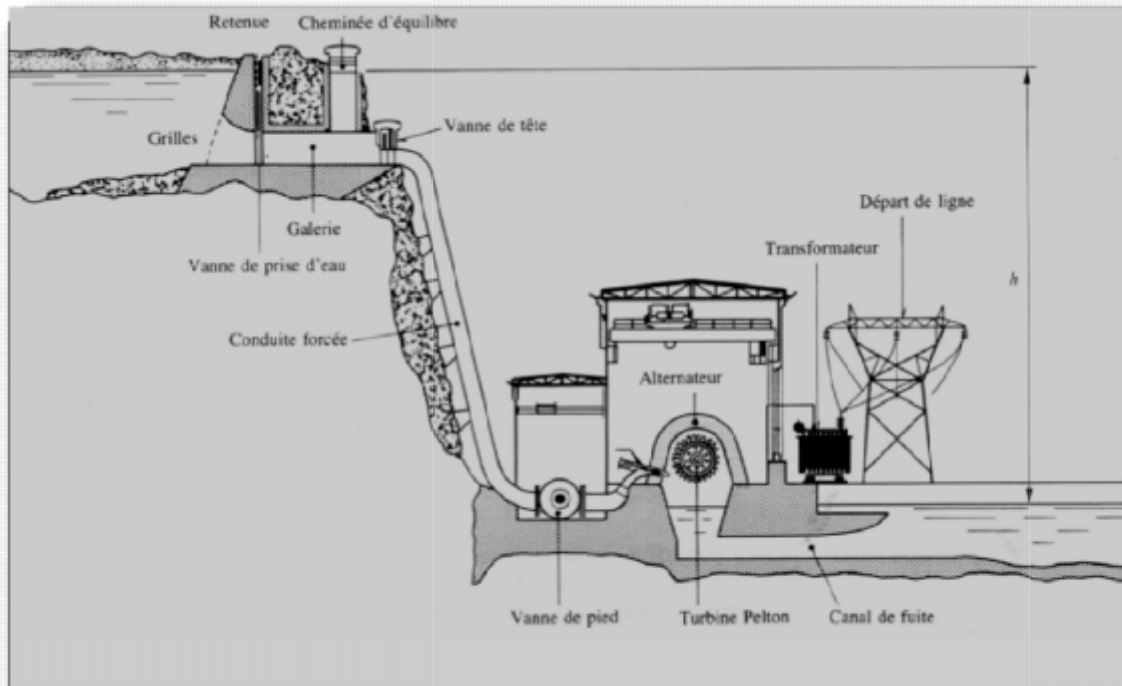


Figure [I-5] : Exemple d'utilisation d'un transformateur dans une centrale hydraulique

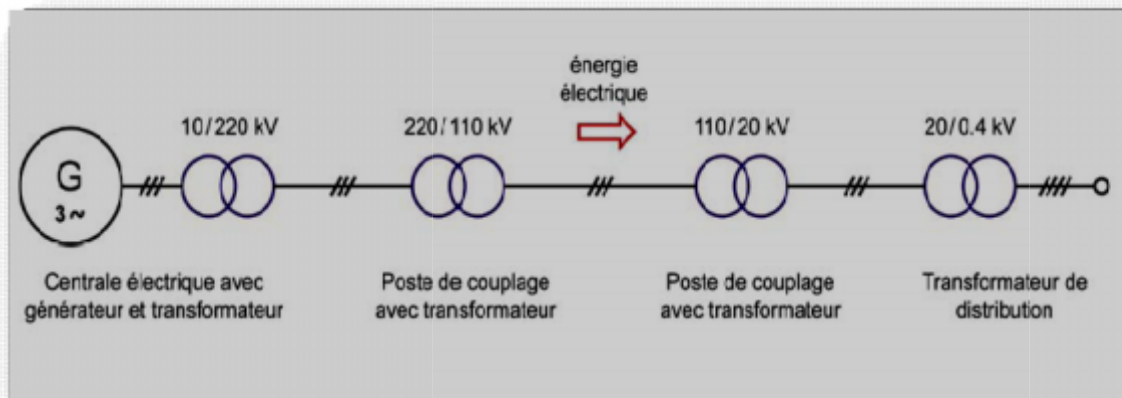


Figure [I-6] : Exemple de cheminement de l'énergie électrique

I-9 Grandeurs caractéristiques des transformateurs [1]

I-9-a Repérage des bornes [1]

Les enroulements primaires et secondaires, qui sont bobinés sur un même noyau (Figure [I-6-a]). Sont représentés plus simplement par deux inductances (Figure [I-6-b]).

Aussi, pour éviter toute confusion, il est précisé le sens des enroulements par des points.

I-9-b- Grandeurs nominales [1]

- ✓ La tension nominale est la tension entre phases au primaire ou au secondaire.
- ✓ Le courant nominal est le courant dans un fil de ligne.
- ✓ La puissance apparente nominale est le produit des valeurs nominales de la tension et du courant.

I-9-c Rapport de transformation [1]

Le rapport de transformation d'un transformateur triphasé est le quotient des f.é.m. $m = U_{20}/U_1$ de la tension secondaire entre fils à vide, par la tension primaire de ce dernier.

A la différence avec le transformateur monophasé, le rapport de transformation n'est pas toujours égal au quotient n_2/n_1 des nombre de spires du secondaire et du primaire car il dépend non seulement de ce nombre de spires mais aussi du mode de couplage.

I-9-d Indice horaire [9]

Considérons la plaque à borne d'un transformateur triphasé, les neutre N et n étant sortis ou non sortis. Il est possible, avec différents couplages, de représenter sur un diagramme de Fresnel les tensions V_A et V_a . On arrive à la conclusion suivante :

- Le déphasage existant entre une tension primaire quelconque et la tension secondaire correspondante est toujours un multiple de 30° .
- Par la suite, si V_A est représenté par un vecteur vertical orienté vers le haut (Figure [I-7]) V_a est représenté par un vecteur plus court et décalé ; cet ensemble

évoque les aiguilles d'une horloge indiquant une entière représenté sur la (Figure [I-8]). Sur ce schéma on lit 11 heures, on dit que l'indice horaire est 11.

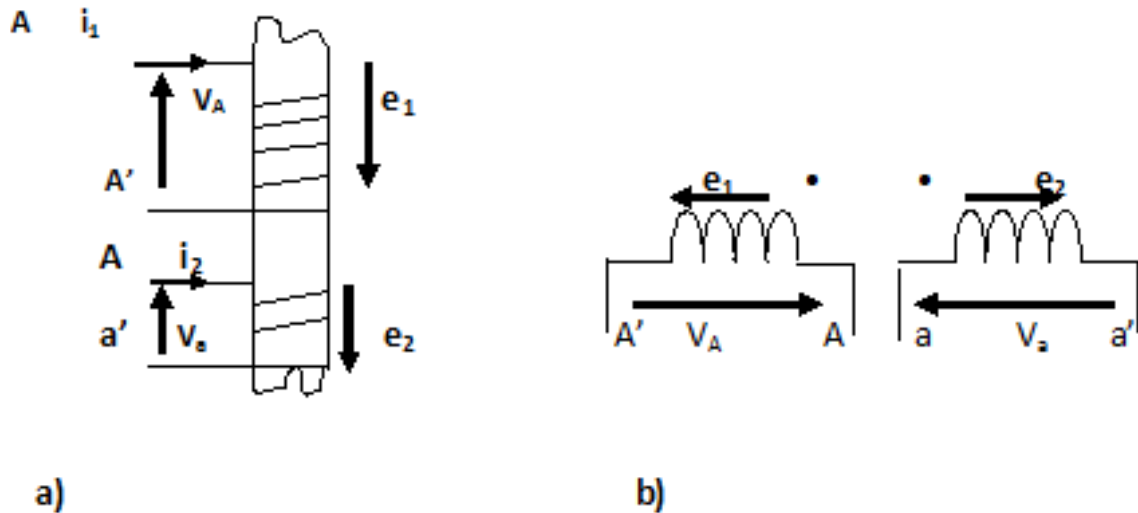


Figure [I-7]

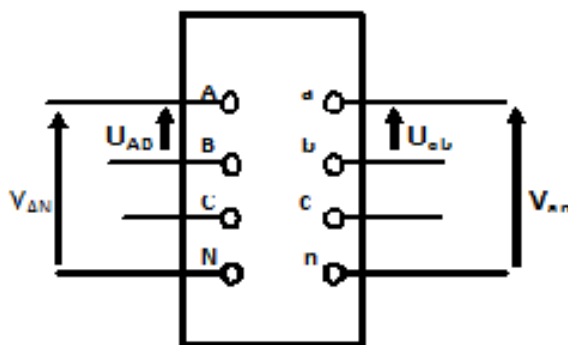


Figure [I-8]

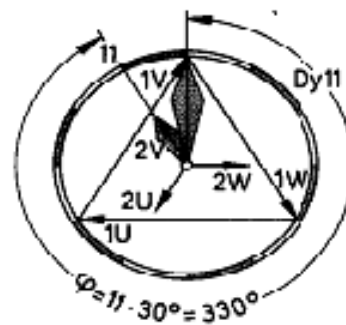


Figure [I-8]

I-10 Différents modes de couplages [1]

Avant de choisir un mode couplage, on peut faire les remarques générales suivantes :

- ✓ Du point de vue dimensionnement des enroulements, on a toujours intérêt à choisir un couplage étoile aux très hautes tensions et un couplage triangle pour les fortes intensités ;

- ✓ En effet, avec le couplage étoile, chaque enroulement supporte $V = U / \sqrt{3}$ tandis que, avec le couplage triangle, l'intensité par enroulement est $J = I / \sqrt{3}$.
- ✓ Le mode de couplage est fixé par le constructeur, pour que l'appareil fonctionne convenablement.
- ✓ La tension entre phases primaires est celle du secteur d'alimentation.
- ✓ La tension secondaire entre phases dépend du rapport de transformation et du mode de couplage au primaire et au secondaire.

Quels que soit les modes de couplage, la puissance absorbée par le transformateur est $P_1 = \sqrt{3}.U_1 I_1 \cos \varphi_1$ la puissance restituée est $P_2 = \sqrt{3}.U_2 I_2 \cos \varphi_2$

Pour distinguer par des symboles ces différents couplages, on utilise une majuscule (pour la haute tension) et une minuscule pour la basse tension ; ces lettres sont les suivants :

[Zigzag, Z ou z], [triangle, Dou d]. On ajoute l'indice N ou n dans le cas d'un fil neutre. Il existe seulement trois couplages normalisés :

- Etoile –étoile.
- Triangle-étoile.
- Etoile-zigzag.

I-10-1 Couplage étoile-étoile (voir figure [I-8])

Ce couplage donne les relations suivantes :

$$V_a = n_2 \frac{V_a}{n_1} \quad (\text{I-4}) \quad \text{Soit} \quad m = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_a}{v_A} \quad (\text{I-5})$$

m : Rapport de transformation.

V_A : Tension simple au primaire.

V_a : Tension simple au secondaire.

n_1 : Nombre de spires au primaire.

n_2 : Nombre de spire au secondaire.

Les deux systèmes de tension en phase, l'indice horaire est nul, ainsi peut on écrire le couplage sous forme normalisé (Y y n 0)

Ce mode de couplage est totalement prohibé pour les transformateurs de distribution qui sont sujet à d'importants déséquilibres.

On utilise le couplage étoile-étoile sans fil neutre (Y y 0) pour les transformateurs abaisseurs de tension qui assurent les liaisons entre les réseaux à haute tension et à moyenne tension, car ces réseaux sont parfaitement équilibrés.

I-10-2 Couplage triangle-étoile (voir figure [I-10])

Avec ce couplage l'équation de la première colonne s'écrit :

$$V_a = n_2 \frac{U_{AB}}{n_1} \quad (\text{I-6})$$

En régime triphasé équilibré, on a les relations suivantes :

$$U_{ab} = \sqrt{3} n_2 \frac{U_{AB}}{n_1} \quad (\text{I-7}) \quad \text{Soit} \quad m = \sqrt{3} \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{I-8})$$

V_a : Tension simple au secondaire.

U_{AB} : Tension composé au primaire.

n_1 : Nombre de spire au primaire.

n_2 : Nombre de spire au secondaire.

U_{ab} : Tension composé au secondaire.

m : Rapport de la transformation.

Ce couplage avec neutre sorti (Dyn11) est utilisé pour les transformateurs de distribution qui fonctionnent en régime déséquilibré. Il est généralement utilisé sans neutre sorti (Dy11) comme transformateur élévateur de tension à la sortie des centrales électriques.

I-10-3 couplages étoile-zigzag (voir figure [I-11])

Ce couplage permet de conserver l'avantage du couplage étoile au primaire, tout en ayant un fonctionnement satisfaisant en régime déséquilibré. Les équations du transformateur sont :

$$V_{a1} = V_{a2} = n_2 \frac{V_A}{n_1} \quad \text{(I-9)} \qquad V_{b1} = V_{b2} = n_2 \frac{V_b}{n_1} \quad \text{(I-10)}$$

Soit
$$m = \frac{V_a}{V_b} = \sqrt{3} \frac{n_2}{n_1} \quad \text{(I-11)}$$

V_{a1} : Tension aux bornes d'une moitié de l'enroulement secondaire.

V_{a2} : Tension de l'autre moitié de l'enroulement secondaire.

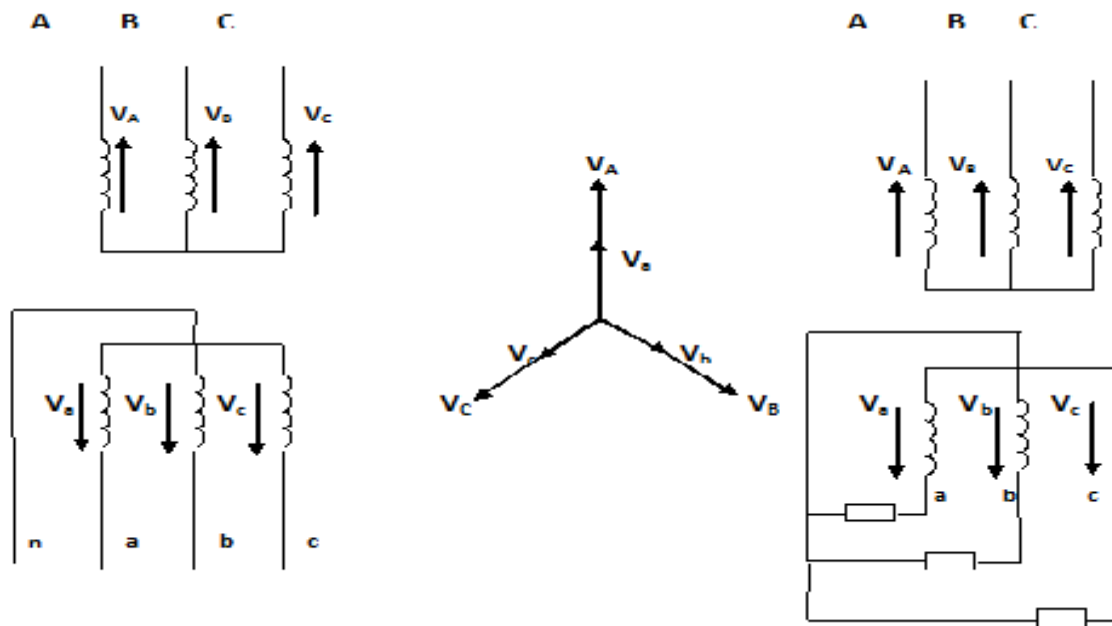


Figure [I-9] : Couplage Etoile-Etoile

Ce montage est très utilisé pour les transformateurs de distribution car il n'est pas Onéreux. Cependant comme il met en série deux tension déphasées l'une par rapport à l'autre, on peut lui reprocher de délivrer une tension plus faible qu'avec le couplage étoile normale.

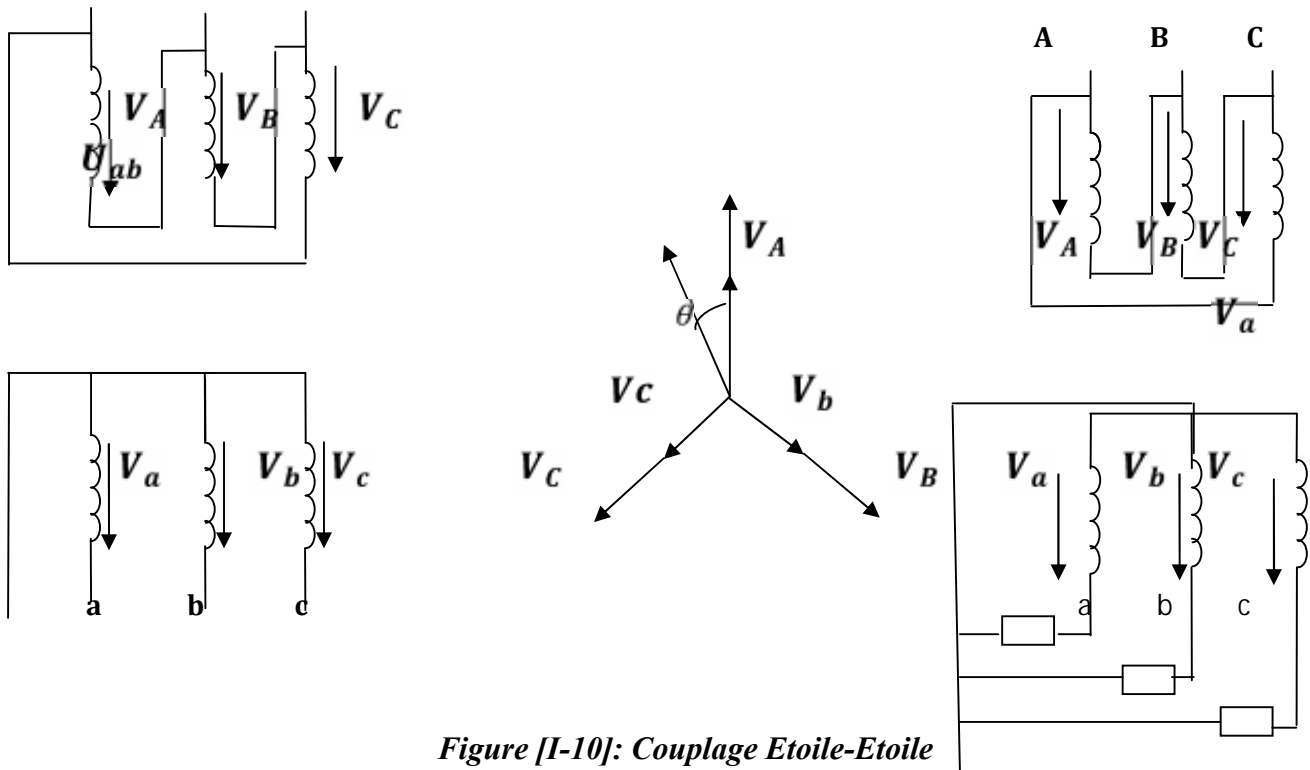


Figure [I-10]: Couplage Etoile-Etoile

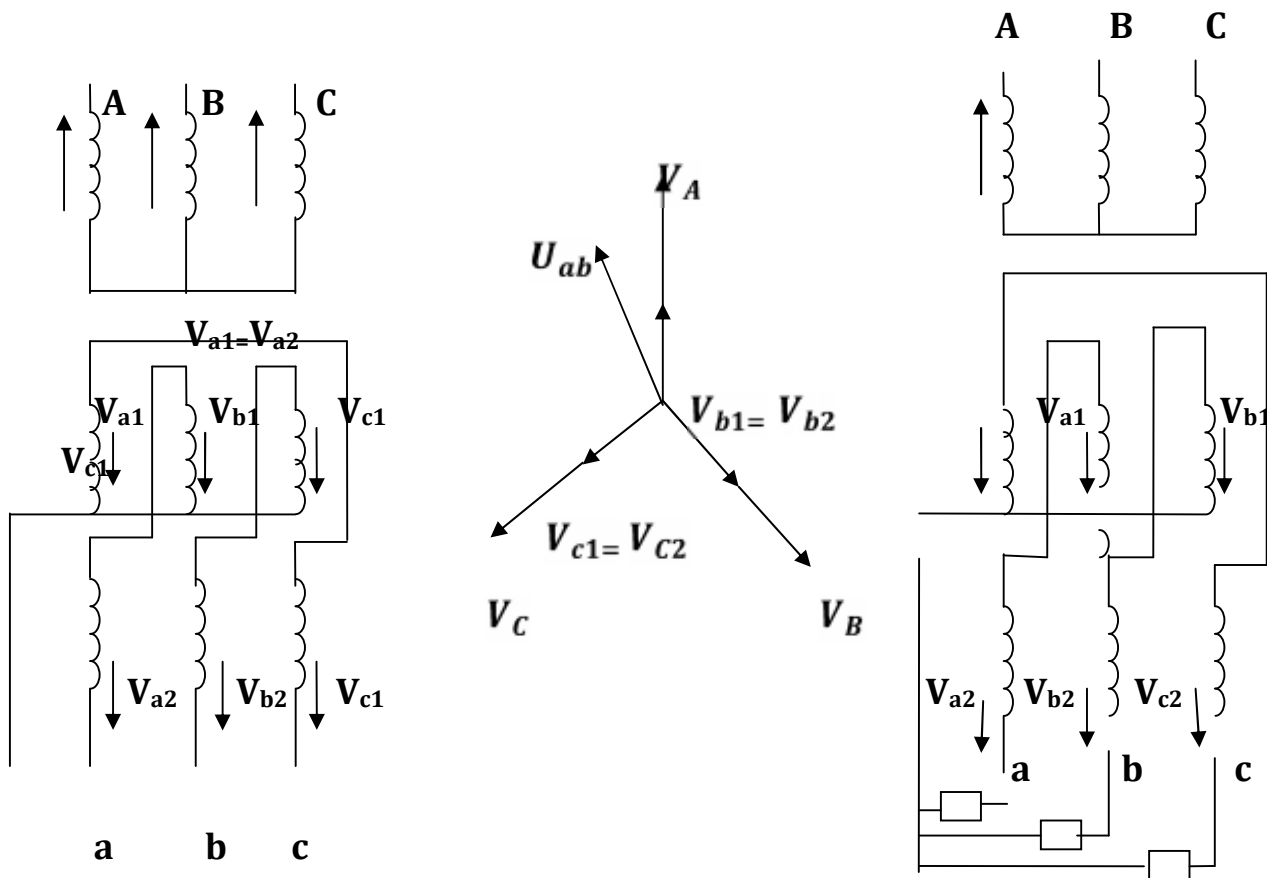


Figure [I-11]: Couplage Etoile-Zig.Zag

**I-11 Condition de mise en parallèle de deux transformateurs triphasés [4]
(voir figure [I-12])**

Les deux transformateurs doivent vérifier les conditions suivantes :

- ✓ Même rapport de transformation,
- ✓ Mêmes polarités instantanées aux secondaires,
- ✓ Mêmes indices horaires,
- ✓ Le déplacement angulaire subi par les tensions secondaire soit le même pour les deux transformateurs,

a) Repérage des bornes

Les conditions de mise en parallèle étant remplies, il faut en outre repérer les bornes du secondaire à connecter en parallèle.

b) Démarche à suivre

- ✓ Raccorder une borne secondaire du premier transformateur à une borne secondaire quelconque du second transformateur.
- ✓ A l'aide d'un voltmètre, on examine la tension existante entre les autres bornes.

Si les combinaisons donnent des tensions nulles, les transformateurs sont mis en parallèle.

Remarque

S'il n'y a pas de possibilité d'obtenir une tension nulle, on doit conclure que les transformateurs appartiennent à des classes différentes et ne peuvent pas être mis en parallèle.

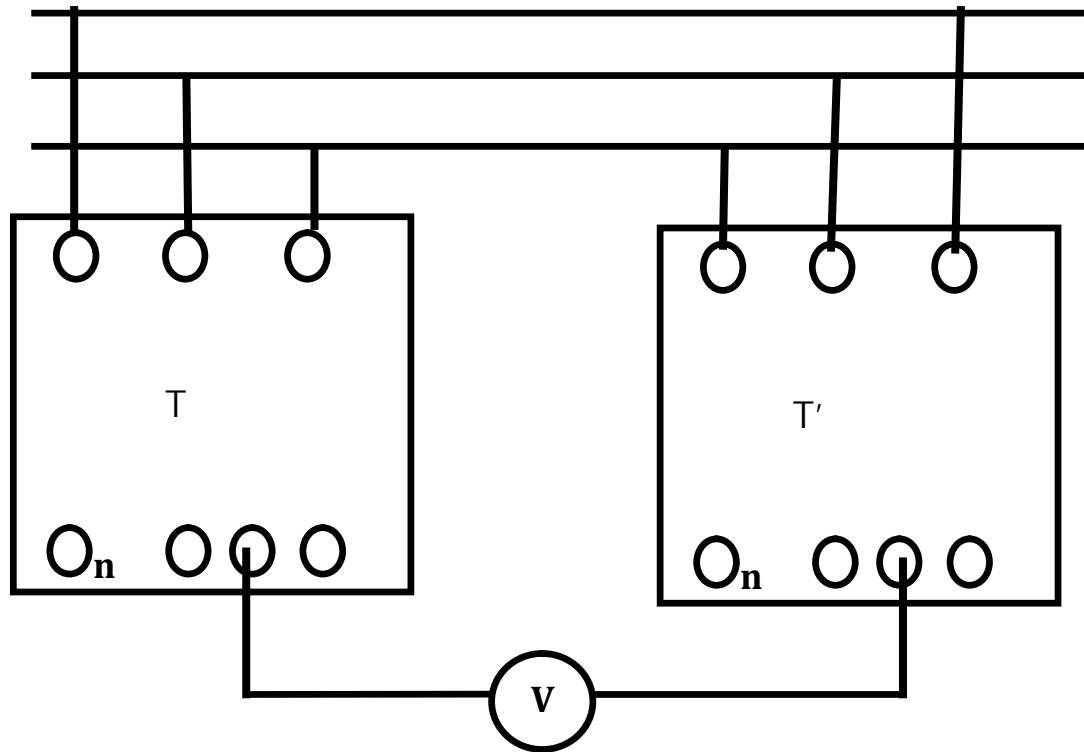


Figure [I-12] : Mise en parallèle de deux transformateurs.

I-12-Les essais d'un transformateur triphasé [4]

Un transformateur neuf doit satisfaire aux essais suivants :

a) Vérification des sens de bobinage et de schéma des connexions.

b) Essai à vide et mesure du rapport de transformation m :

La mesure du rapport de transformation m se fait au moyen de deux voltmètres de précision connectés directement ou par l'intermédiaire de transformateurs de tension ; pour plus de précision, on peut aussi employer un pont potentiométrique. Sauf pour certains transformateurs à fortes fuites et fort courant magnétisant, on peut opérer à une tension inférieure à la tension nominale.

Les caractéristiques de fonctionnement à vide sont pratiquement indépendantes de la température ; elles fournissent les pertes actives à vide P_v (W) et le courant à vide I_v (évalué en pour cent du courant nominal de l'enroulement alimenté).

c) Essai en court-circuit

d) Epreuves diélectriques

Elles ne s'appliquent qu'à des appareils neufs, complètement montés, ou des appareils endommagés puis réparés. On les exécute en principe immédiatement après l'essai d'échauffement. Le matériel doit supporter sans perforations ni contournement :

- Un essai à la masse, à fréquence industrielle, destiné à vérifier l'isolation des enroulements entre eux et par rapport à la masse ;
- Un essai entre spires, à fréquence industrielle destiné à vérifier l'isolation entre les spires et les bobines d'un même enroulement ;
- Un essai de choc qui concerne la tenue des enroulements par une surtension à front raide.

e) Essai à pleine charge.

f) Essai de tenue en court-circuit

Le transformateur doit pouvoir résister aux effets du court-circuit qui se traduisent par des efforts électrodynamiques dus à la pointe initiale de courant de court-circuit et par un échauffement dû à la valeur de ce courant. Cet essai ne se fait que sur demande du client.

Cette série d'essais ne se fait que pour les transformateurs de série, ou sur des transformateurs prototypes. Mais tout transformateur qui n'a pas subi les essais de types sont soumis à des essais réduits dits de contrôle qui comportent

Obligatoirement les essais diélectriques (sauf l'essai de choc).

Chapitre II

*Modélisation électrique et
magnétique de
transformateur*

Introduction

L'étude de tout système physique nécessite sa modélisation à travers une mise en équation de ses phénomènes électriques, magnétiques, mécaniques. Cette étape de modélisation, nous permet de simuler le fonctionnement du système face aux différentes sollicitations est d'appréhender ainsi les phénomènes régissant son fonctionnement.

Dans ce présent chapitre, nous présentons la modélisation du transformateur à travers la mise en équations des relations électrique et magnétiques.

L'objet de ce chapitre est donc, de faire une mise en équations du transformateur et d'obtenir un modèle global simplifié dans le but de réaliser des simulations de son fonctionnement en régime transitoire en tenant compte de la non linéarité du circuit magnétique, puis l'implémentation du modèle globale sous **MATLAB SIMULINK**.

II-1.Hypothèses simplificatrices

Plusieurs phénomènes interviennent dans le fonctionnement du transformateur comme la saturation et les courants de Foucault dans les circuits magnétiques, ainsi que l'effet de peau dans les conducteurs. La complexité et l'influence relativement négligeable de ces phénomènes, justifient la nécessité d'adopter les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Le circuit magnétique est parfaitement feuilleté, ce qui permet de négliger les courants de Foucault.
- L'effet de peau est négligé d'où la densité du courant uniforme dans les sections des conducteurs.
- L'hystérésis est négligé d'où le circuit magnétique contient seulement l'inductance magnétisante.

II.3.Modélisation du transformateur monophasé en régime de fonctionnement linéaire**II.3.1 Description [7]**

Un transformateur monophasé comporte un circuit magnétique fermé réalisé à partir de deux tôles isolées sur lesquelles sont montés deux enroulements concentriques.

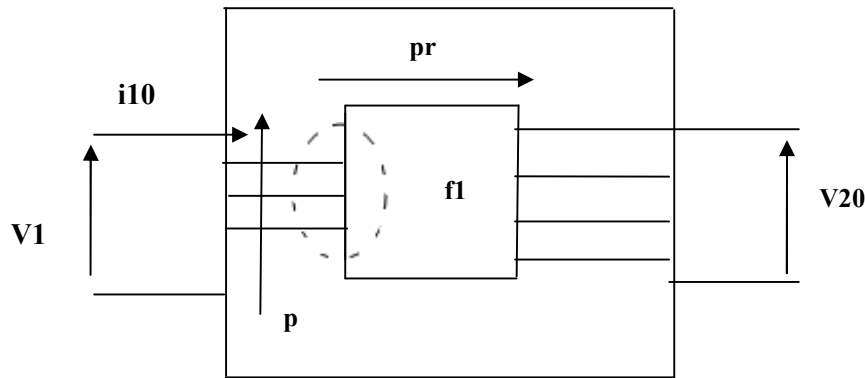


Figure II.1 : Représentation générale du transformateur.

II.3.2. Transformateur monophasé à vide

Nous supposons à l'étude que l'enroulement primaire comprend n_1 spires avec une résistance r_1 monté sur un noyau, le secondaire de n_2 spires et de résistance r_2 sur l'autre. Le primaire est mis sur la tension v_1 , de pulsation ωb . Le secondaire en circuit ouvert ($i_2 = 0$) et donne la tension secondaire à vide v_{20}

II.3.2.1. Mise en équation du transformateur monophasé à vide

a. Equations des flux

Le courant i_{10} crée dans l'enroulement primaire le flux propre ϕ_{10} qui se décompose en un flux principal ϕ_{pr} canalisé par le circuit magnétique en flux de fuite ϕ_{f10}

Soit :

$$\phi_{10} = \phi_{pr} + \phi_{f10} \tag{II.1}$$

Avec :

$$n_1 \cdot \phi_{10} = l_p \cdot i_{10}$$

$$n_1 \cdot \phi_{pr} = l_m \cdot i_{10}$$

$$n_1 \cdot \phi_{f10} = l_{f1} \cdot i_{10}$$

l_p , l_m et l_{f1} sont respectivement l'inductance propre, de magnétisation et fuite du circuit équivalent.

b. Equations aux tensions (électriques)

Le flux ϕ_{10} créé dans le circuit primaire la force contre électromotrice

$$e_{10} = -n_1 \cdot \frac{d\phi_{10}}{dt} \quad (\text{II.2})$$

En appliquant la loi d'Ohm généralisée sur le circuit de la figure (II.1) on aura

$$v_1 - n_1 \cdot \frac{d\phi_{10}}{dt} = r_1 \cdot i_{10} \quad (\text{II.3})$$

En remplaçant le flux Φ_{10} dans l'équation (II.2) par $(\Phi_{pr} + \Phi_{f10})$ on obtient :

$$v_1 = e_{10} + l_{f1} \cdot \frac{di_{10}}{dt} + r_1 \cdot i_{10}$$

Avec :

$$e_{10} = n_1 \cdot \frac{d\phi_{pr}}{dt}$$

L'enroulement secondaire dont chaque spire est traversée par le flux ϕ_{pr} crée la force contre électromotrice e_{20}

$$e_{20} = -n_2 \cdot \frac{d\phi_{pr}}{dt} \quad (\text{II.4})$$

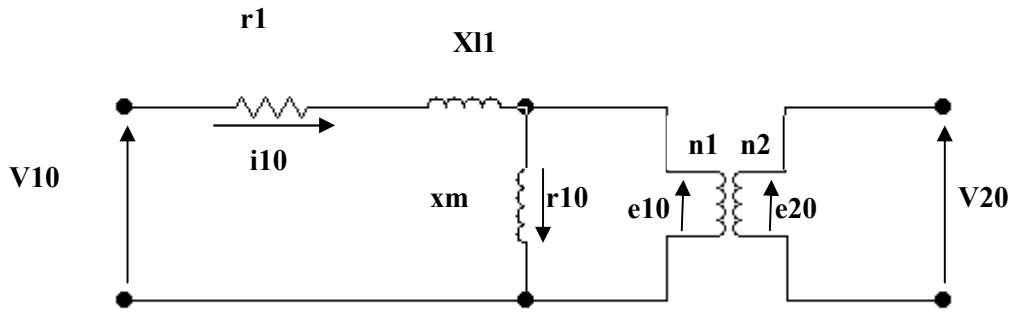
En appliquant la loi d'ohm généralisée sur le circuit de la figure (II .1) on aura

$$v_{20} = -n_2 \cdot \frac{d\phi_{pr}}{dt} = 0 \quad (\text{II.5})$$

II.3.2.2 Le schéma équivalent [8]

Le schéma équivalent comporte un transformateur T (transformateur parfait), résistance de l'enroulement primaire r_1 , la réactance de fuite x_l et x_m réactance de magnétisation. Les tensions à ses bornes sont en phase, avec un rapport des nombres des spires :

$$\frac{E_{10}}{E_{20}} = \frac{n_1}{n_2}$$



II.2.Schéma équivalent du transformateur à vide.

II.3.2.3 Implémentation du modèle de simulation

a. Modèle de simulation [6]

L'implémentation du modèle de simulation du transformateur monophasé à vide se fera à base des équations définies précédemment (II.15). Posant :

$$\psi_{10} = wb \cdot n_1 \cdot \phi_{10}$$

$$\psi_{pr} = wb \cdot n_1 \cdot \phi_{pr}$$

$$\psi_{f10} = wb \cdot n_1 \cdot \phi_{f10}$$

Les équations (II.1), (II.3) et (II.5) deviennent :

$$\psi_{10} = \psi_{pr} + \psi_{f10} \tag{II.6}$$

$$v_1 = r_1 \cdot i_{10} + \frac{1}{wb} \cdot \frac{d\psi_{10}}{dt} \tag{II.7}$$

$$v_{20} = \frac{1}{wb} \cdot \frac{d\psi_{pr}}{dt} \tag{II.8}$$

De l'équation (II.6), on tire le courant i_{10} :

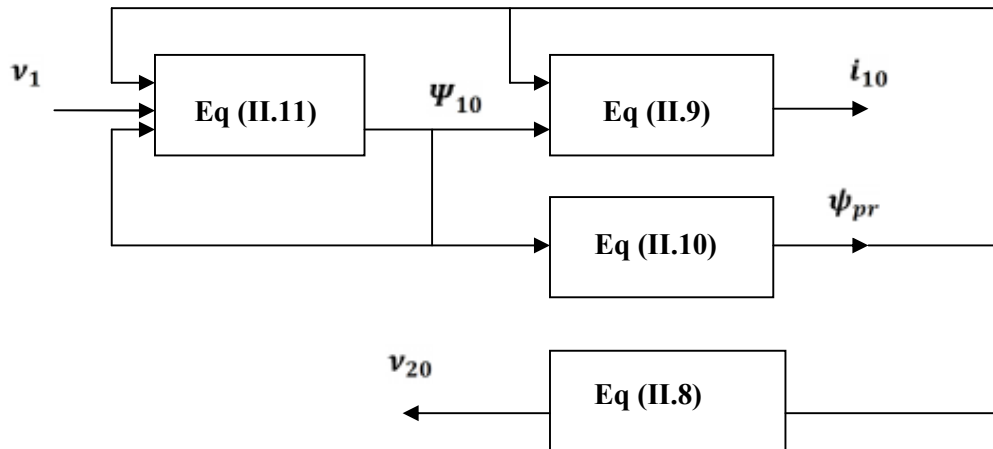
$$i_{10} = \frac{\psi_{10} - \psi_{pr}}{xl_1} \tag{II.9}$$

Remplaçant l'équation (II.1) dans (II.6) et dans (II.7) :

$$\psi_{pr} = \frac{x_m}{x_m + xl_1} \psi_{10} \tag{II.10}$$

$$\psi_{10} = wb \cdot \int \left(v_1 - \frac{r_1}{xl_1} \cdot (\psi_{10} - \psi_{pr}) \right) dt \tag{II.11}$$

b. Schéma bloc de simulation



II.3.3 Transformateur monophasé en charge

On place un récepteur aux bornes de l'enroulement secondaire, le courant secondaire apparait i_2 , le courant primaire pas i_{10} à i_1 et la tension secondaire de v_{20} à v_2 .

II.3.3.1. Mise en équation du transformateur monophasé en charge

a. Equation magnétiques

La force magnétomotrice $n_1 \cdot i_1$ Créée dans le circuit primaire le flux ϕ_1' qui se décompose en ϕ_1 canalisé par le circuit magnétique et le flux de fuite.

Soit :

$$\phi_1' = \phi_1 + \phi_{f1} \tag{II.12}$$

De même pour le circuit secondaire

$$\phi_2' = \phi_2 + \phi_{f2} \tag{II.13}$$

Le flux commun ϕ_m dans le circuit magnétique est défini comme la différence de ϕ_1 et ϕ_2 , selon le sens positif des flux

$$\phi_m = \phi_1 - \phi_2 \tag{II.14}$$

$$\phi_m = l_m \cdot i_m$$

l_m Inductance de magnétisation et i_m courant de magnétisation.

Le flux ϕ_{1r} créé dans le circuit primaire est:

$$\phi_{1r} = \phi_m + \phi_{fr} \quad (\text{II.15})$$

Le flux réel ϕ_{2r} dans le circuit secondaire est :

$$\phi_{2r} = \phi_m - \phi_{f2} \quad (\text{II.16})$$

b. Equation électrique

En appliquant la loi d'ohm généralisée sur les deux circuits, on aura :

Côté primaire

$$v_1 - n_1 \cdot \frac{d\phi_{1r}}{dt} = r_1 \cdot i_1$$

Côté secondaire

$$v_2 - n_2 \cdot \frac{d\phi_{2r}}{dt} = r_2 \cdot i_2$$

Ce qui donne :

$$v_1 = r_1 \cdot i_1 + n_1 \cdot \frac{d\phi_{1r}}{dt} = r_1 \cdot i_1 + l_{fr} \cdot \frac{di_1}{dt} + e_1 \quad (\text{II.17})$$

Pour le circuit secondaire nous avons

$$v_2 = -r_2 \cdot i_2 + n_2 \cdot \frac{d\phi_{2r}}{dt} = -r_2 \cdot i_2 - l_{f2} \cdot \frac{di_2}{dt} + e_2 \quad (\text{II.18})$$

Avec $e_1 = n_1 \cdot \frac{d\phi_m}{dt}$ et $e_2 = n_2 \cdot \frac{d\phi_m}{dt}$

II.3.3.2. Schémas équivalent en charge [8]

a. Schéma équivalent général

Pour la représentation du schéma équivalent, on tient des paramètres considérés dans le schéma équivalent à vide et on ajoute la résistance r_2 d'enroulement secondaire et la réactance de fuite ($xl_2 = l_{f2} \cdot wb$), au secondaire.

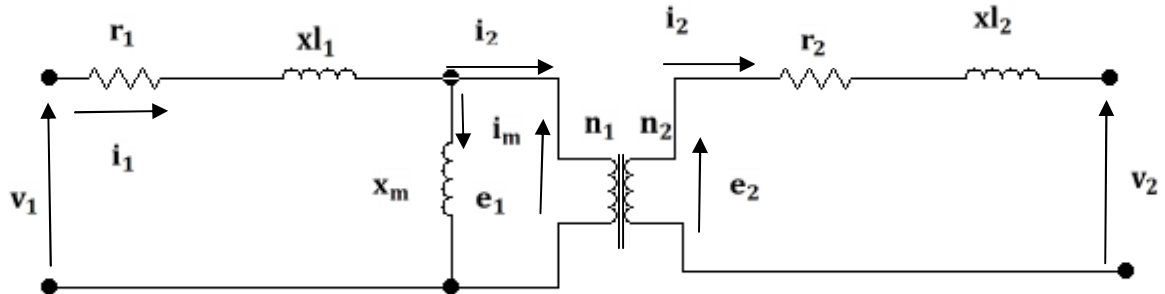


Figure. II.3. Schéma équivalente du transformateur en charge

b. Schéma équivalent ramené au primaire

Pour ce faire, on doit remplacer les éléments passifs r_2 et xl_2 par d'autres valeurs r_2' et xl_2' de manière à ne pas modifier la puissance dissipée dans chacun de ces éléments ni la chute de tension correspondante.

On aura

$$r_2 \cdot i_2^2 = r_2' \cdot i_2'^2$$

$$xl_2 \cdot i_2^2 = xl_2' \cdot i_2'^2$$

Avec :

$$i_2' / i_2 = k$$

D'où

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{i_2^2}{i_2'^2} \quad \text{Ce qui donne} \quad r_2' = \frac{r_2}{k^2}$$

$$xl_2' = xl_2 \cdot \frac{i_2^2}{i_2'^2} \quad \text{Ce qui implique} \quad xl_2' = \frac{xl_2}{k^2}$$

$$v_2' = \frac{v_2}{k}$$

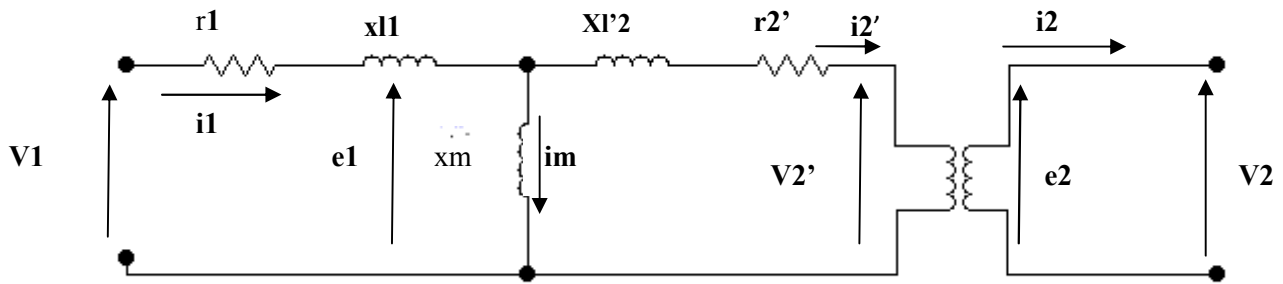


Figure II.4 : Schéma équivalent ramené au primaire

II.3.3.3. Implémentation du modèle de simulation

a. Modèle de simulation

L'implémentation et la simulation du transformateur monophasé en charge se fera à base des relations suivantes :

$$i_1' = f(\psi_1, \psi_m)$$

$$i_2' = f(\psi_2, \psi_m)$$

$$\psi_m = f(\psi_1, \psi_2)$$

$$\psi_1 = f(v_1, \psi_1, \psi_2, wb)$$

$$\psi_2 = f(v_2', \psi_2, \psi_m, wb)$$

Avec :

$$\psi_1 = wb \cdot n_1 \cdot \phi_{1r}$$

$$\psi_2 = wb \cdot n_2 \cdot \phi_{2r}$$

$$\phi_{2r} = \phi_m - \phi_{f2}$$

$$\psi_m = wb \cdot \phi_m$$

$$\psi_{f1} = wb \cdot \phi_{f1}$$

$$\psi_{f2} = wb \cdot \phi_{f2}'$$

$$n_2 \cdot \phi_{f2} = k \cdot i_2'$$

Donc les équations précédentes deviennent :

$$v_1 = r_1.i_1 + \frac{1}{wb} \cdot \frac{d}{dt} \psi_1 \quad (\text{II.19})$$

$$v_2' = -r_2'.i_2' + \frac{1}{k.wb} \cdot \frac{d}{dt} \psi_2 \quad (\text{II.20})$$

$$\psi_m = x_m.(i_1 - i_2') \quad (\text{II.21})$$

$$\psi_1 = \psi_m + \psi_{fr} = x_m.(i_1 - i_2') + xl_1.i_1 \quad (\text{II.22})$$

$$\psi_2 = \psi_m + \psi_{f2} = x_m.(i_1 - i_2') - k.xl_2.i_2' \quad (\text{II.23})$$

En tirant les courants i_1 et i_2' des équations (II.22) et (II.23) respectivement nous aurons :

$$i_2' = \frac{\psi_m - \psi_2}{k.xl_2} \quad (\text{II.24.A})$$

$$i_1 = \frac{\psi_1 - \psi_m}{xl_1} \quad (\text{II.24.B})$$

Nous remplaçons les expressions i_1 et i_2' dans l'équation (II.21), on obtient :

$$\psi_m = x_m \cdot \left(\frac{\psi_1}{xl_1} + \frac{\psi_2}{k.xl_2} - \frac{\psi_m}{x_m} \right) \quad (3)$$

(II.24.C)

$$\text{Avec } \frac{1}{x_m} = \frac{1}{xl_1} + \frac{1}{k.xl_2}$$

On remplace l'équation (II.24.A) dans l'équation (II.19) et l'équation (II.24.B) dans l'équation (II.20) on aura :

$$\psi_1 = wb \cdot \int \left(v_1 - \frac{r_1}{xl_1} (\psi_1 - \psi_m) \right) dt \quad (4) \quad (\text{II.24.D})$$

$$\psi_2 = k.wb \cdot \int \left(v_2' - \frac{r_2}{k.xl_2} (\psi_2 - \psi_m) \right) dt \quad (5) \quad (\text{II.24.E})$$

b. Schéma bloc de simulation [10]

Après avoir déterminé les différentes relations qui lient les différentes grandeurs du transformateur en charge (tension, courant et flux), on peut concevoir le schéma bloc de simulation suivant :

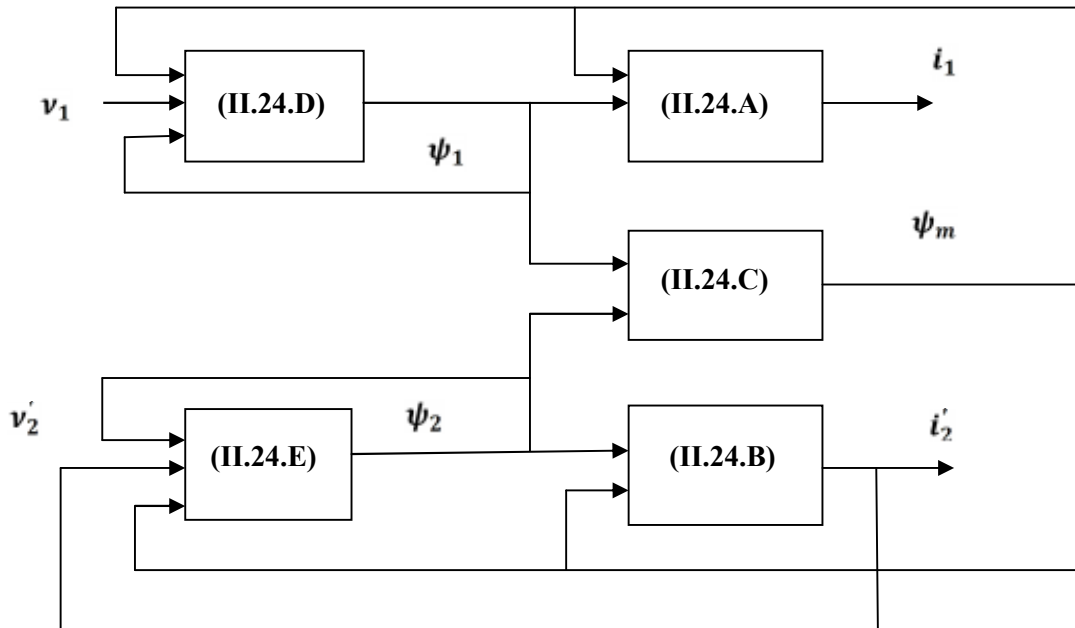


Figure II.5 : Schéma bloc de simulation en charge.

II.4.Applications aux transformateurs triphasés [8]

Pour l'étude du transformateur triphasé, on considère trois unités monophasées dont les enroulements primaire et secondaire sont couplés en étoile (Y-y) avec le neutre mis à la terre figure (II.7) pour la première application, et en triangle-étoile (d-y) pour la seconde application, comme illustré sur la figure (II.9).

Les deux figures (II.8) et (II.10) représentent respectivement les schémas équivalents des transformateurs triphasés (Y-y) et (d-y), en utilisant trois unités monophasées.

Les trois transformateurs monophasés sont alimentés par un système de tension équilibrés (V_a, V_b, V_c), dont les tensions sont sinusoïdales et déphasées l'une par rapport à l'autre de 120° tel que :

$$v_{a0} = 120\sqrt{2} \sin(\omega t + \theta)$$

$$v_{b^0} = 120\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \theta)$$

$$v_{c^0} = 120\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3} + \theta)$$

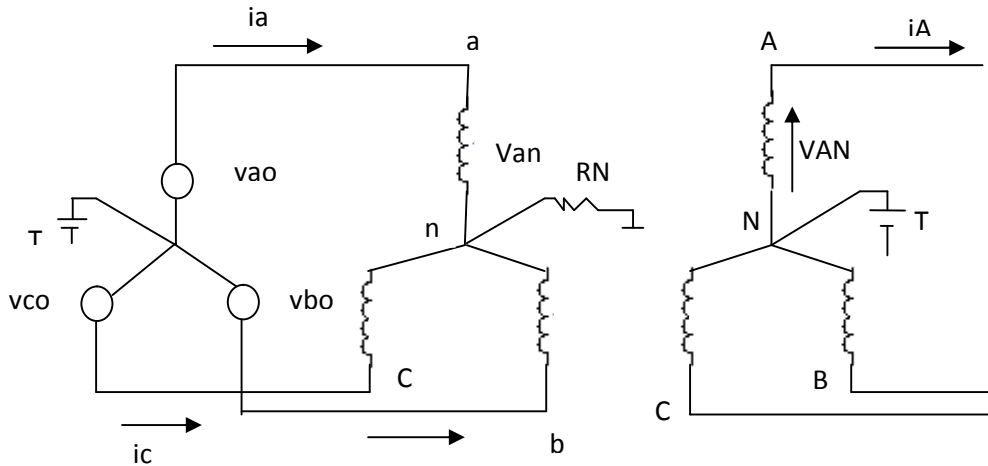


Figure II.6 : Transformateur triphasé (Y-y)

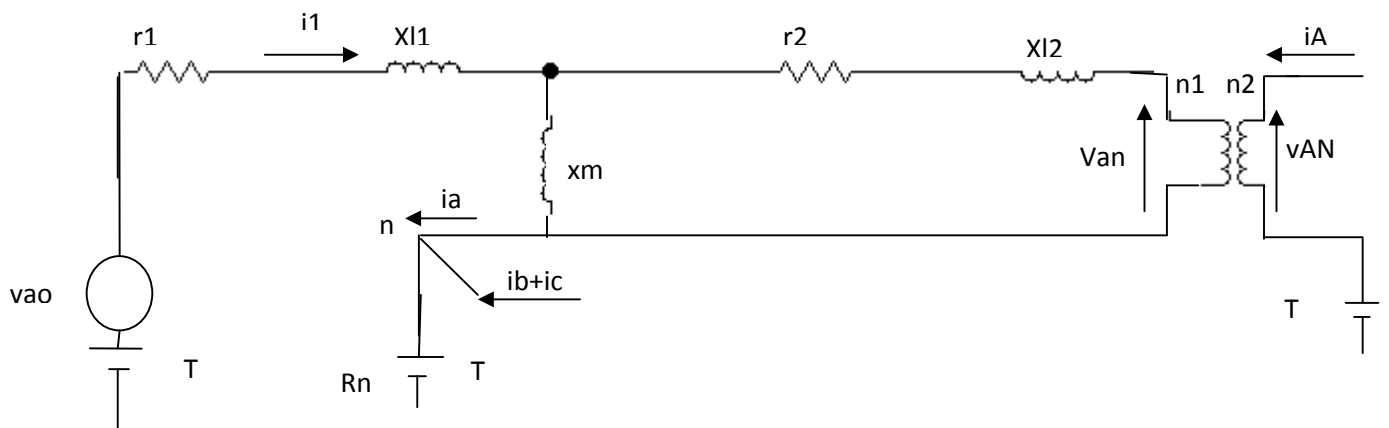


Figure II.7 : Schéma représentatif d'une phase du Transformateur (Y-y)_n

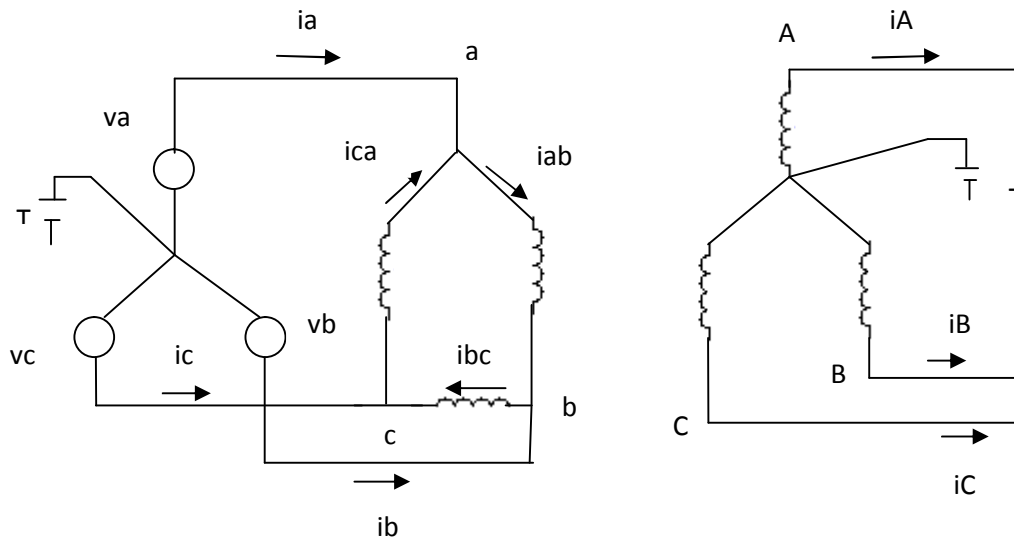


Figure II.8 : transformateur (Δ - y_n)

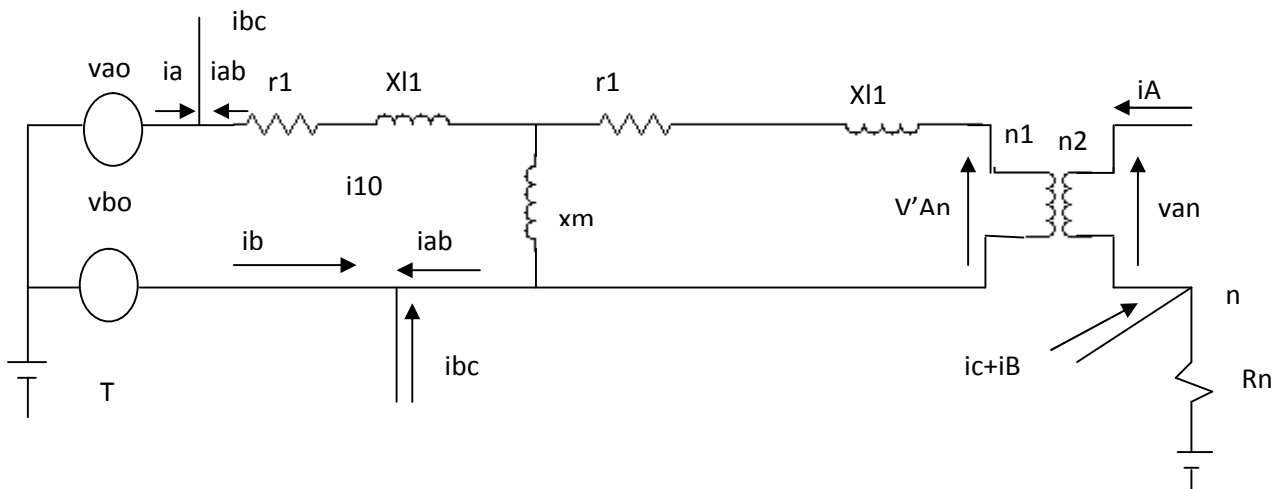


Figure II.9 : Schéma représentatif d'une phase du transformateur (Y-y)

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés une modélisation électrique du transformateur, à travers ses équations électriques, magnétique.

L'exploitation des modèles d'équations se fera à travers la réalisation et la mise en œuvre des schémas de simulation sous environnement MATLAB.

Chapitre III

Applications et résultats

Introduction

La modélisation est de plus en plus utilisée dans l'industrie pour l'étude et la conception de systèmes. En effet, elle permet de se rapprocher plus ou moins, selon la précision du modèle considéré, du fonctionnement réel de la machine, en prévoyant également son comportement dans des conditions de fonctionnement quelconques.

Actuellement, plusieurs outils et logiciels de simulation sont adoptés et utilisés par la communauté scientifique. Parmi ces derniers, on cite le logiciel Matlab/Simulink que l'on utilise dans de ce travail.

Dans la première partie de ce chapitre, nous présenterons le principe de simulation d'un transformateur triphasé en vue de l'étude du comportement transitoire des différentes grandeurs (courant, tension et flux) en tenant compte de la saturation du circuit magnétique.

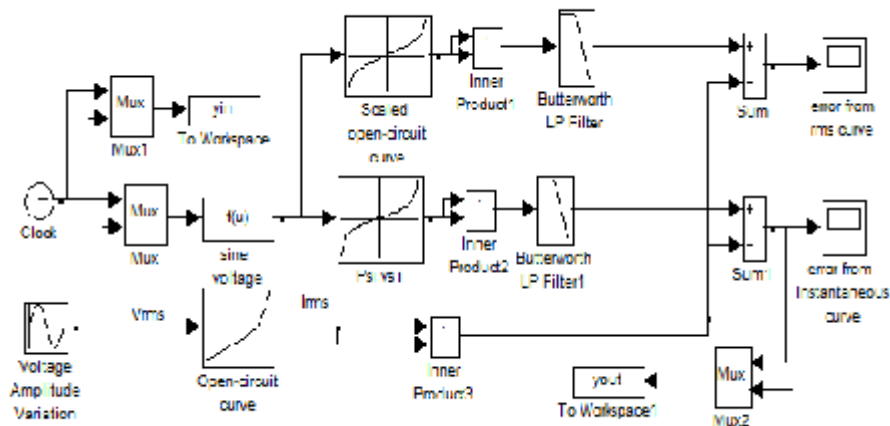
III.1. Simulation des régimes transitoires dans les transformateurs

Les caractéristiques du transformateur considéré [8] sont données dans le tableau suivant :

Désignations		Valeurs
Puissance apparente	S_n	1,5 kVA
Tension d'alimentation	V_1	120V
Tension secondaire à vide	V_{20}	240V
Fréquence	F	60Hz
Résistance de l'enroulement primaire	R_1	0,250
Résistance de l'enroulement secondaire	R_2	0,134
Réactance de fuite l'enroulement primaire	X_{11}	0,056
Réactance de fuite l'enroulement secondaire	X_{12}'	0,056
Réactance de magnétisation	X_m	708,8

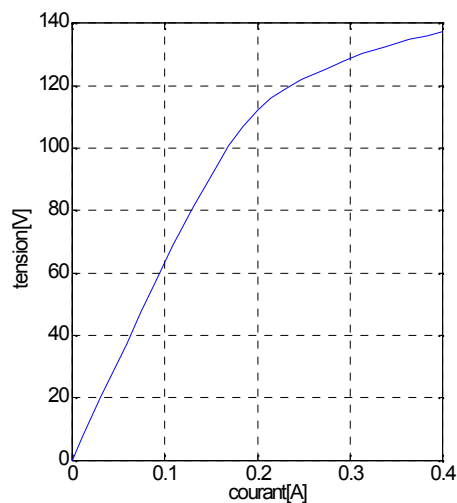
III.2. Etude comparative entre l'utilisation des valeurs efficaces et instantanées

Nous nous proposons d'étudier l'écart entre l'utilisation des valeurs efficaces et des valeurs instantanées, sur les performances du transformateur.



Figure(III.1) : Schéma bloc du transformateur triphasé

Les résultats obtenus sont illustrés par les figures suivantes :



Figure(III.2.1) : Tension efficace en fonction du courant efficace

III.3 : transformateur triphasé en couplage Y-Y

Le modèle Simulink utilisé est illustré ci-dessous :

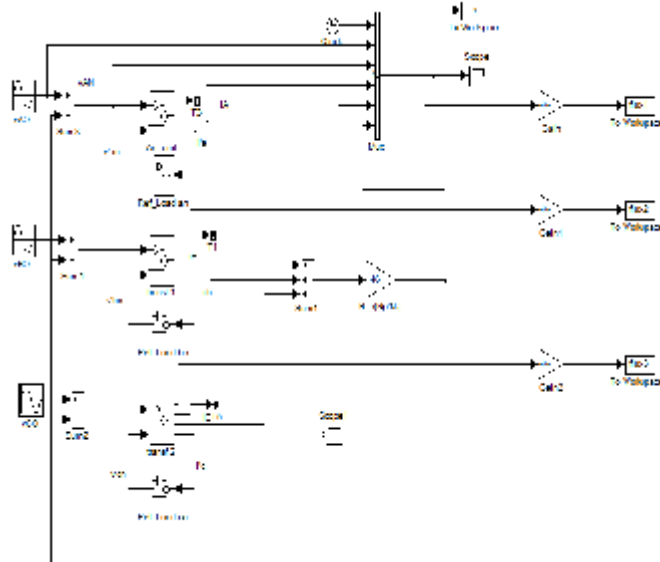
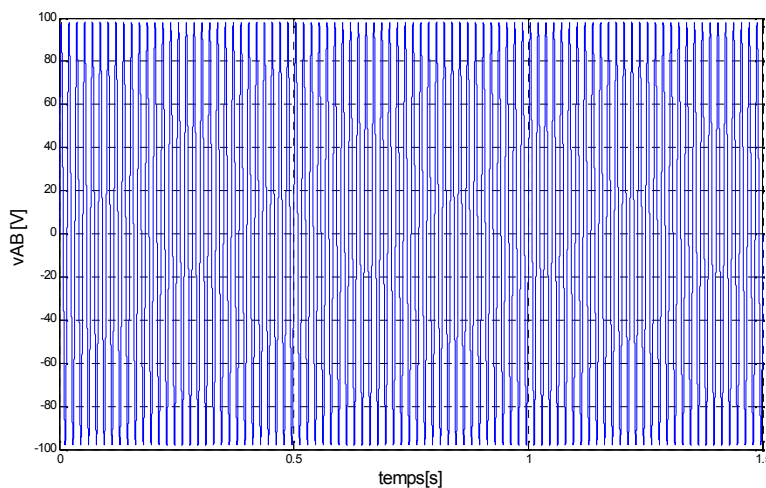


Figure (III.4) : Schéma bloc d'un transformateur triphasé étoile-étoile

La figure suivante donne la tension primaire. On remarque qu'elle présente une allure sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de 0.016s:



Figure(III.4.1) : La tension de primaire

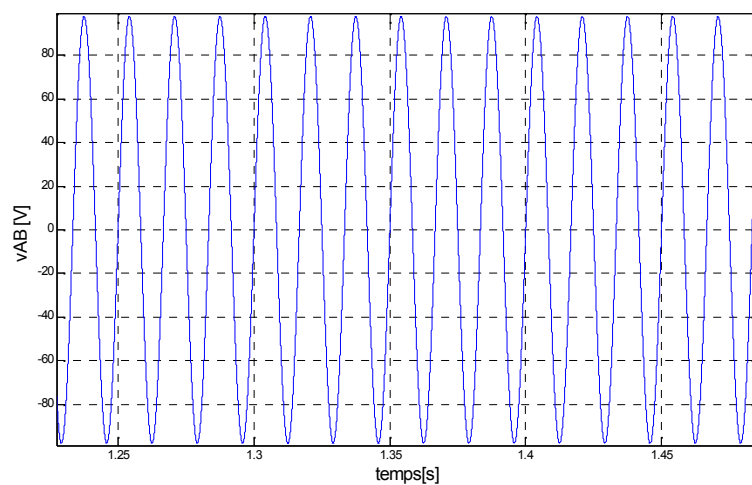


Figure (III.4.2) Le zoom de la tension primaire

La figure suivante donne la tension secondaire. On remarque qu'elle présente une allure parfaitement sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de 0.01s:

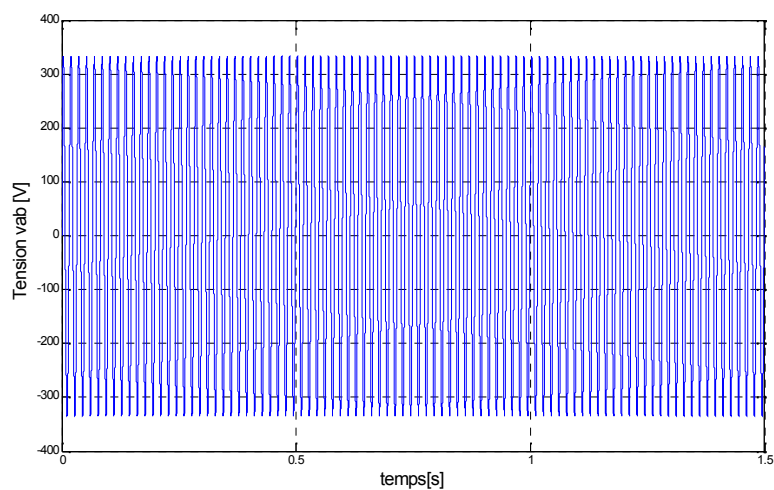


Figure (III.4.3) : La tension de secondaire

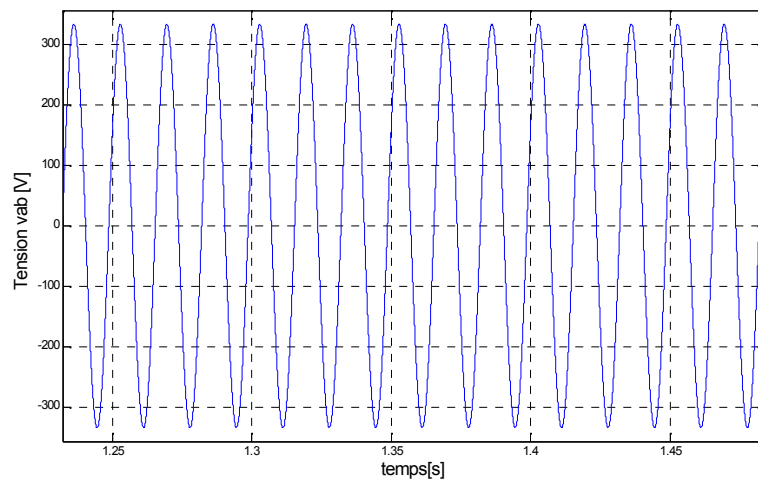
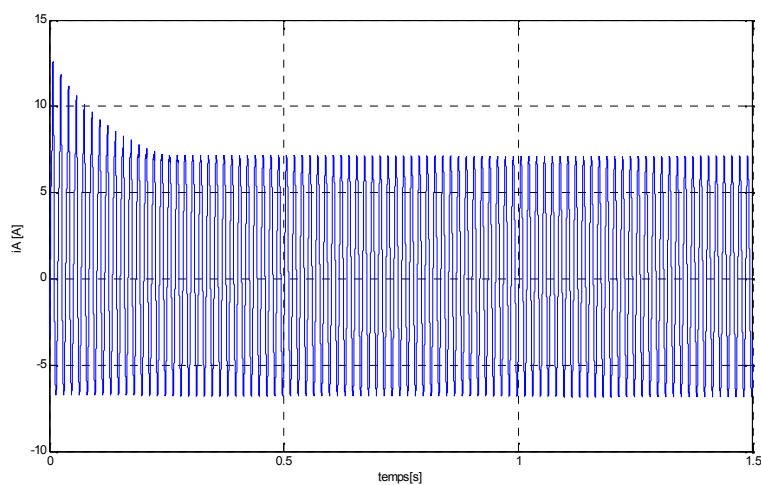


Figure (III.4.4) Le zoom de la tension secondaire

La figure suivante donne le courant primaire. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par le régime transitoire de forte amplitude, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent au bout de 0.25s:



Figure(III.4.5) : Le courant primaire

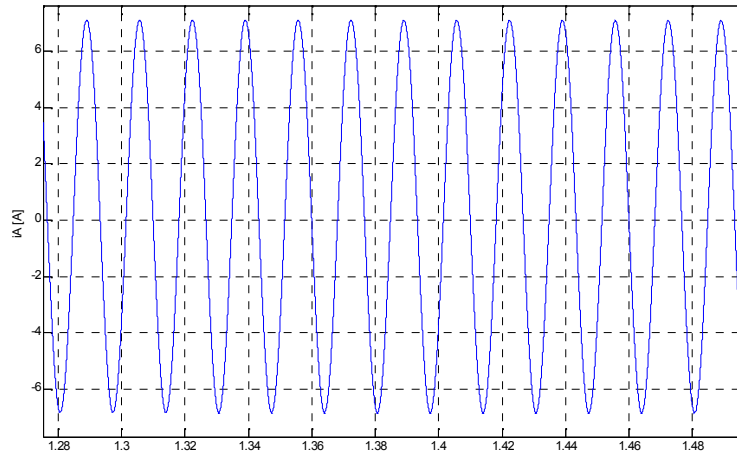
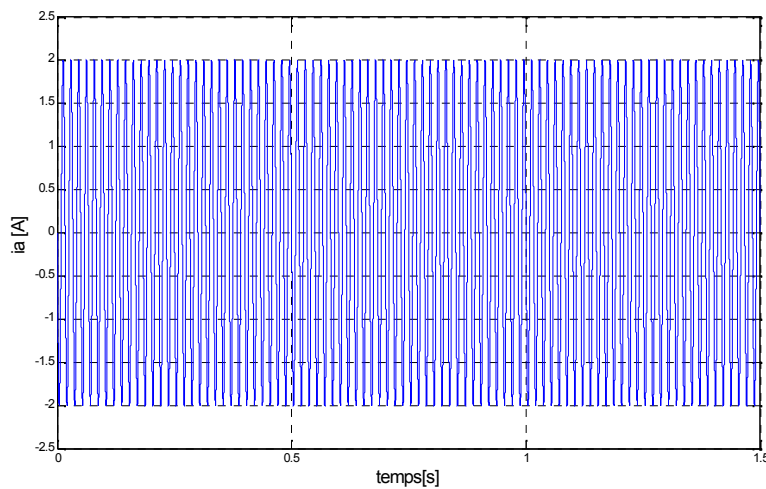


Figure (III.4.6) Le zoom de courant primaire

Le courant secondaire est représenté sur la figure suivante. On remarque qu'elle présente une allure parfaitement sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de **0.1s**:



Figure(III.4.7) : Le courant secondaire

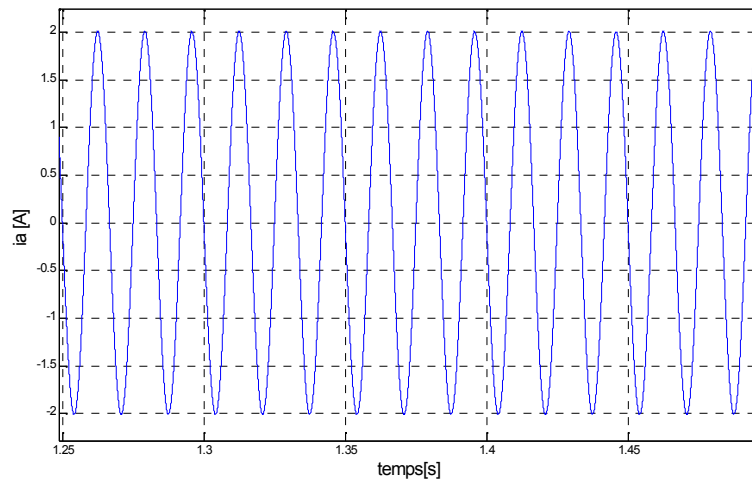
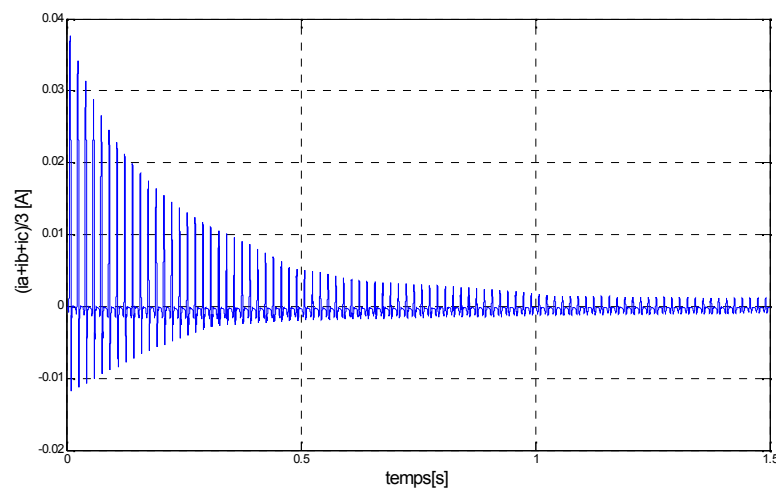


Figure (III.4.8) Le zoom de courant secondaire

La figure suivante donne la somme des courants secondaire. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par le régime transitoire de forte amplitude, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent au bout de 1s:



Figure(III.4.9) : La somme des courants secondaires

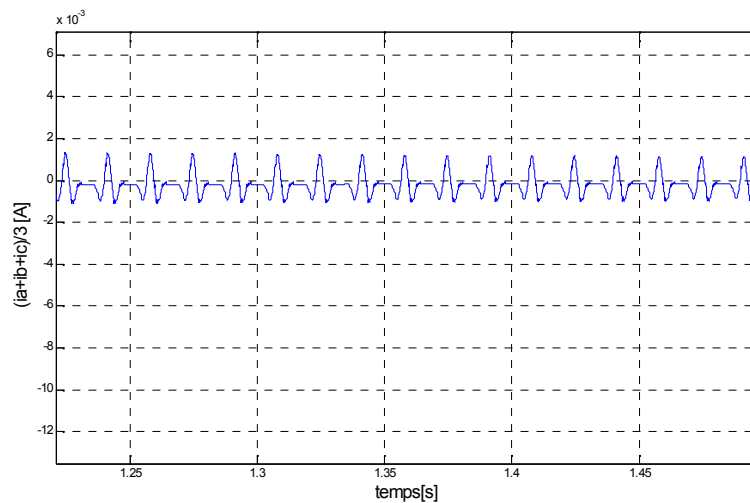
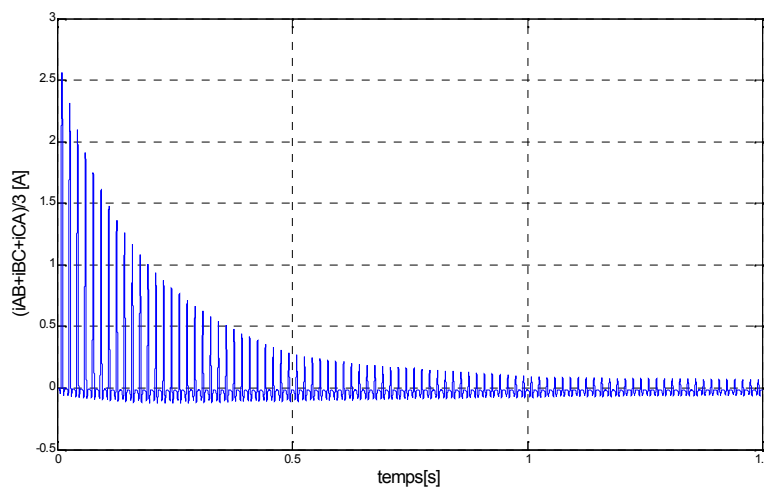


Figure (III.4.10) Le zoom de la somme des courants secondaire

La figure suivante donne la somme des courants primaires. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par le régime transitoire de forte amplitude, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent au bout de 1s:



Figure(III.4.11) : La somme des courants primaires

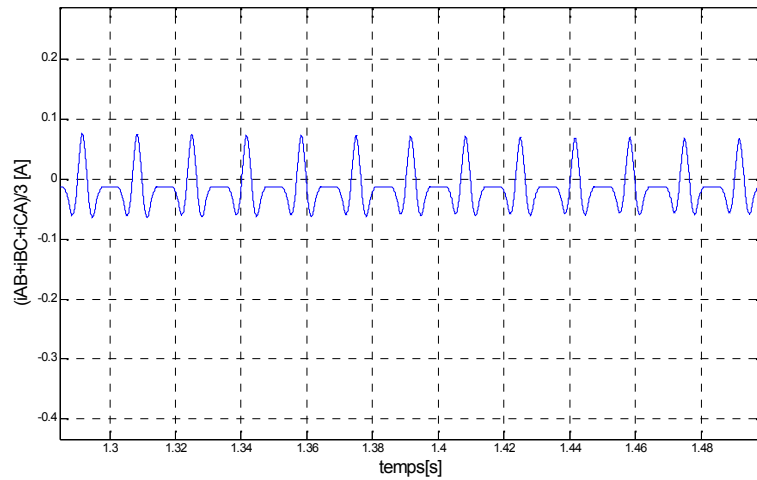


Figure (III.4.12) Le zoom de la somme des courants primaires

La figure suivante représente respectivement les flux A, B et C. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par le régime transitoire de forte amplitude de **0.286Wb**, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent de **0.655s**

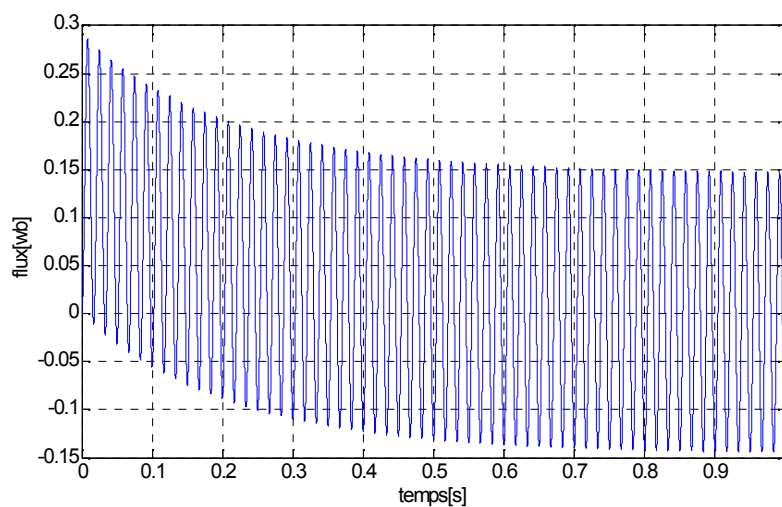


Figure (III.4.13) le flux dans une phase

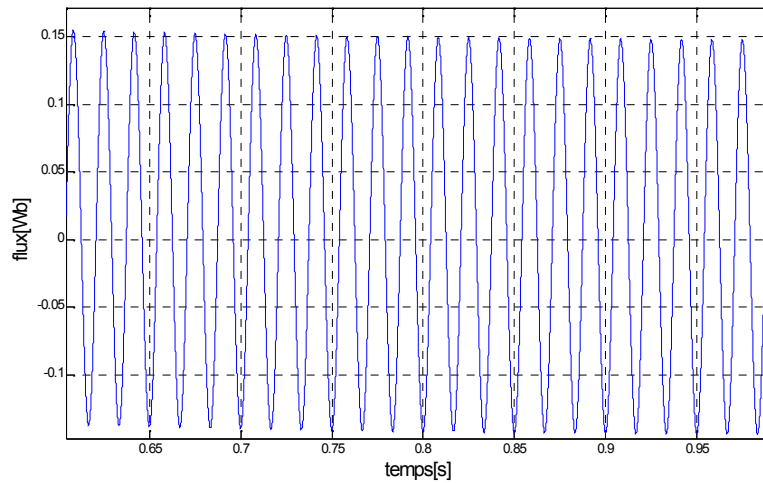
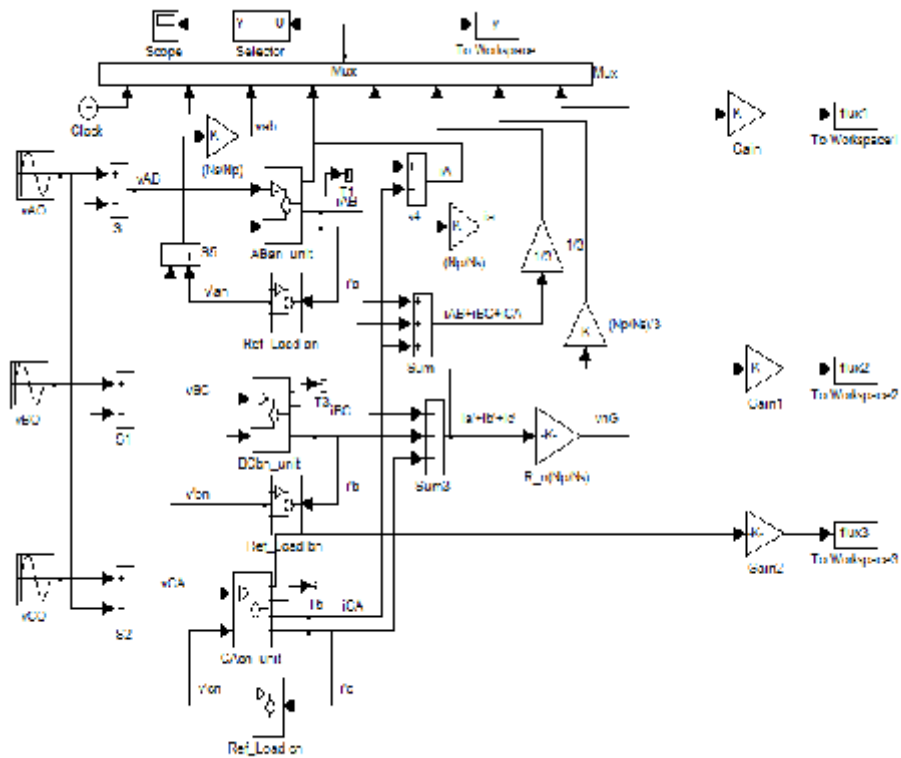


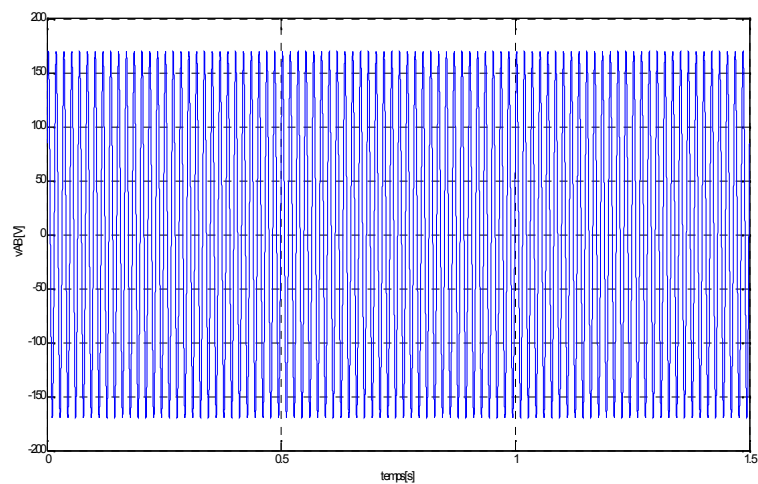
Figure (III.4.14) Le zoom des flux

III.4. Etude du transformateur triphasé en couplage D-y

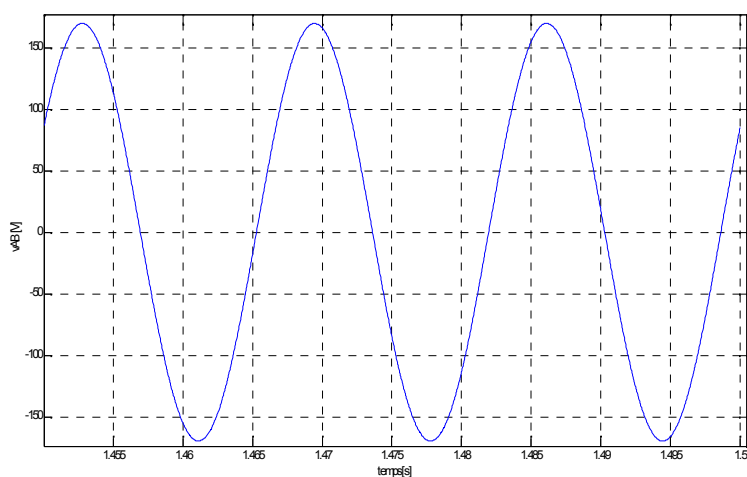


Figure(III.5) : Schéma bloc de transformateur triphasé (D-y)

La figure suivante donne la tension du primaire. On remarque qu'elle présente une allure sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de **0.1s**:

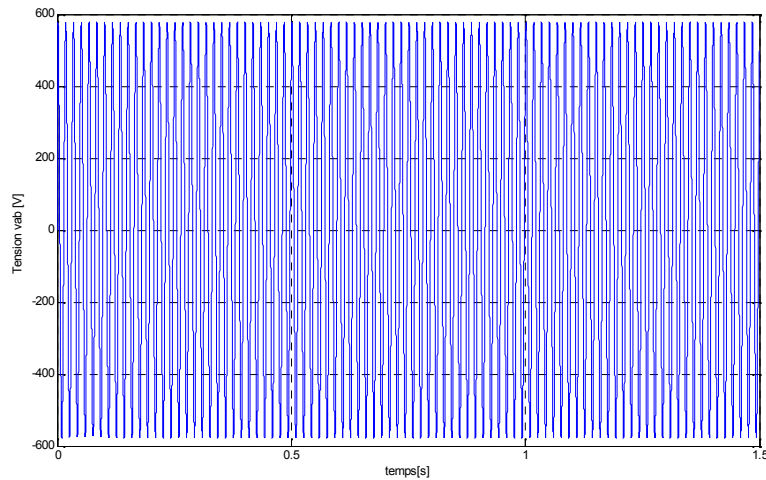


Figure(III.5.1) : Tension de primaire

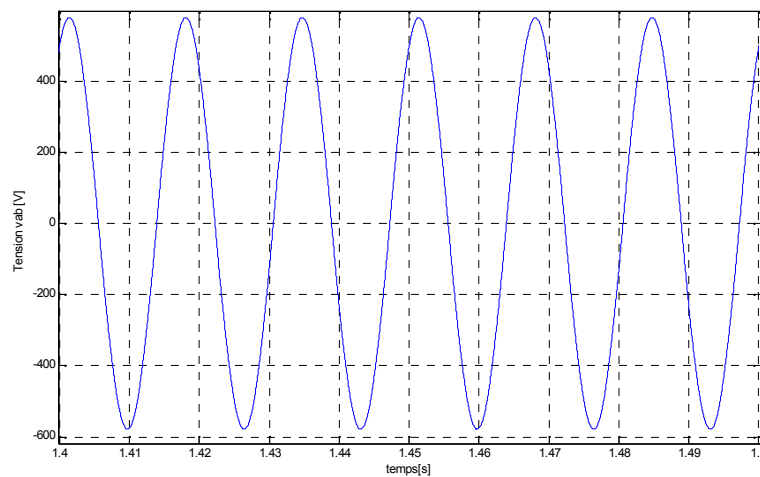


Figure(III.5.2) Le zoom de tension primaire

La figure suivante donne la tension de secondaire. On remarque qu'elle présente une allure sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de **0.2s**:

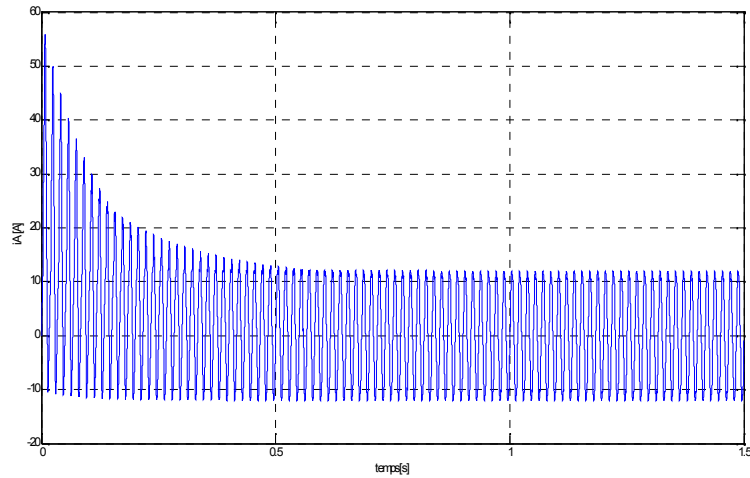


Figure(III.5.3) : Tension de secondaire

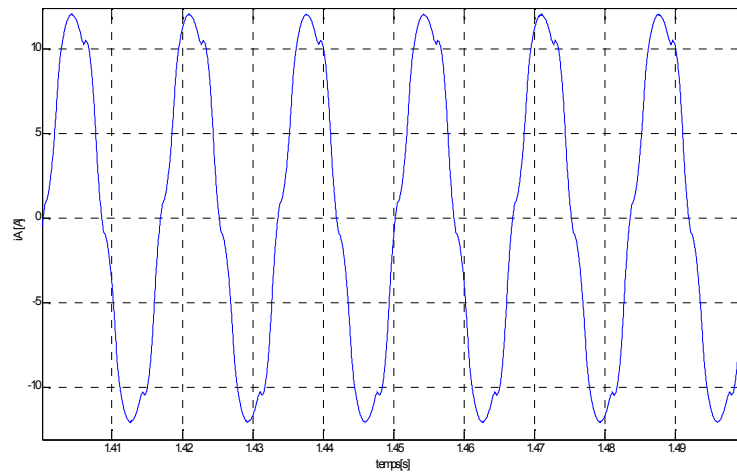


Figure(III.5.4) Le zoom de la tension secondaire

La figure suivante représente le courant primaire. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par le régime transitoire de l'amplitude de **53.51A**, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent de **0.65s**

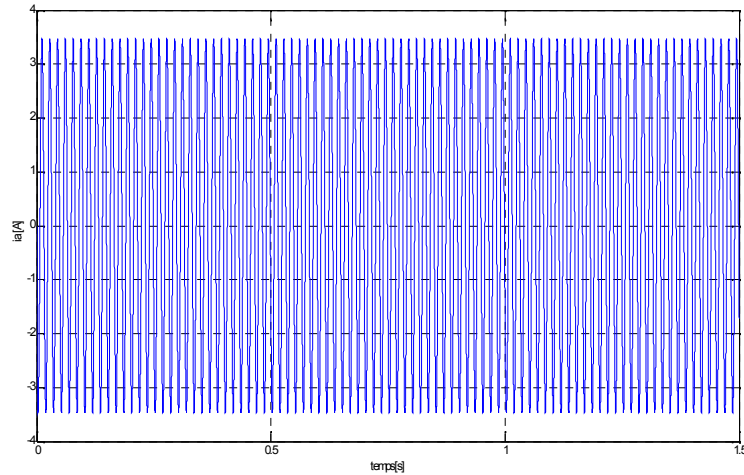


Figure(III.5.5) : Courant de primaire

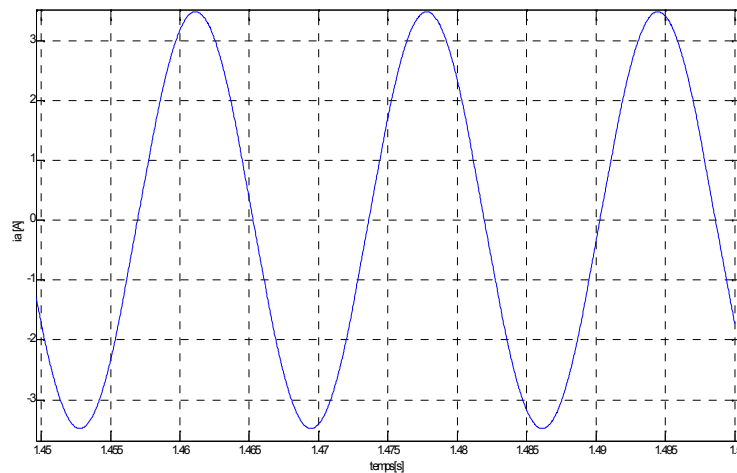


Figure(III.5.6) Le zoom de courant primaire

La figure suivante donne le courant de secondaire. On remarque qu'elle présente une allure sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de **0.2s**:

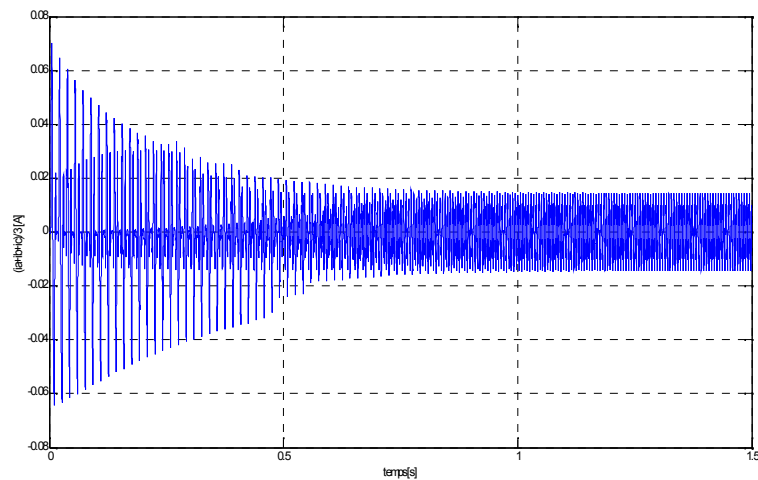


Figure(III.5.7) : Courant de secondaire

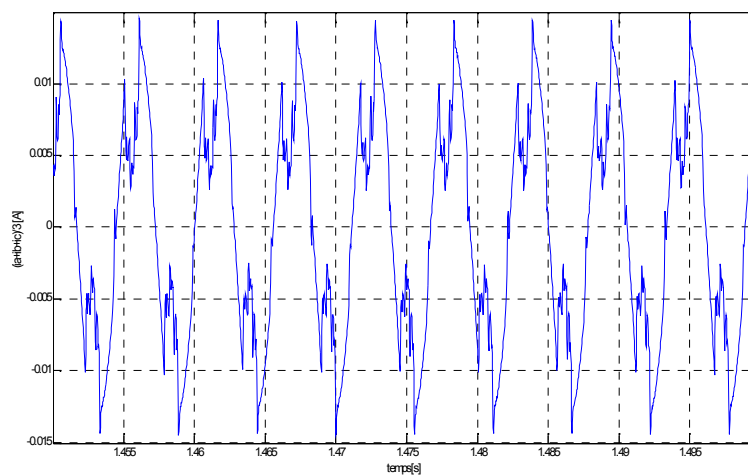


Figure(III.5.8) Le zoom de courant secondaire

La figure suivante représente la somme des courants secondaires. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisée par un régime transitoire, atteignant une valeur maximale de **9.905A**, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent de **0.75s**

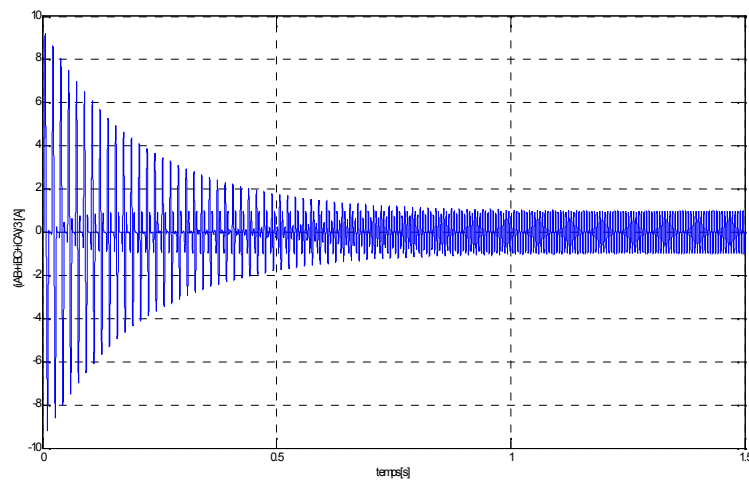


Figure(III.5.9) : La somme des courants secondaire

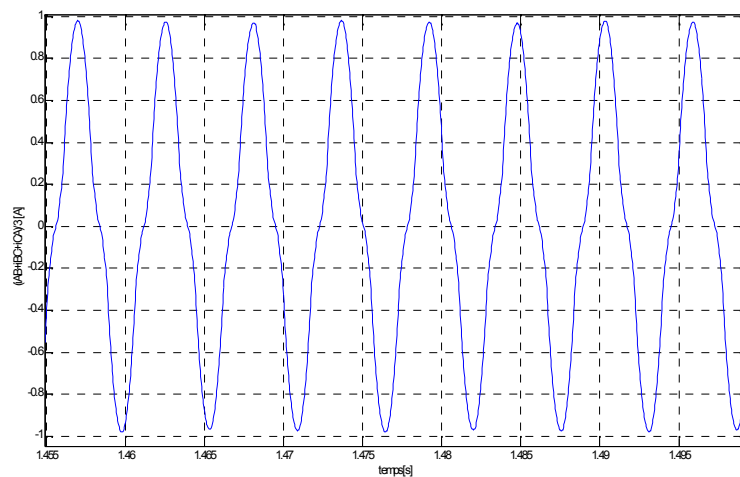


Figure(III.5.10) Le zoom de La somme des courants secondaire

La figure suivante donne la somme des courants de primaires. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par le régime transitoire de forte amplitude, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent au bout de 0.65s:

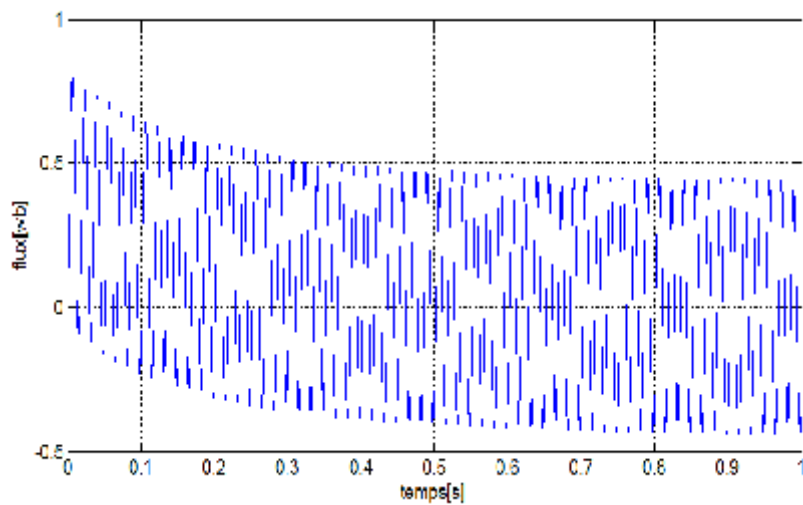


Figure(III.5.11): La somme des courants primaire

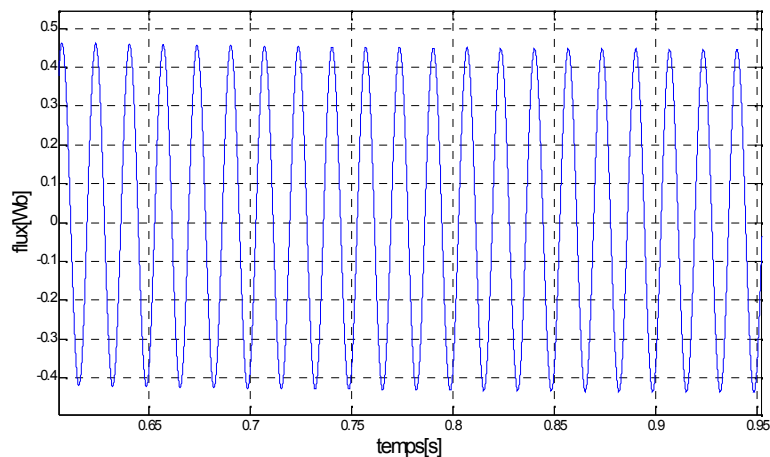


Figure(III.5.12) Le zoom de la somme des courants primaire

La figure suivante représente le flux de la phase A. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par un régime transitoire, avec une amplitude maximale de l'ordre de **0.803Wb**, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent de **0.6s**

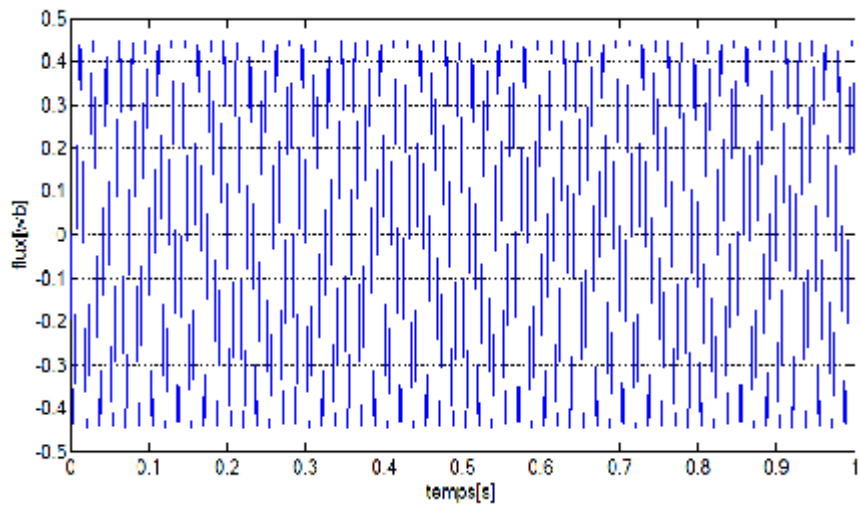


Figure(III.5.15) : le flux de phase A

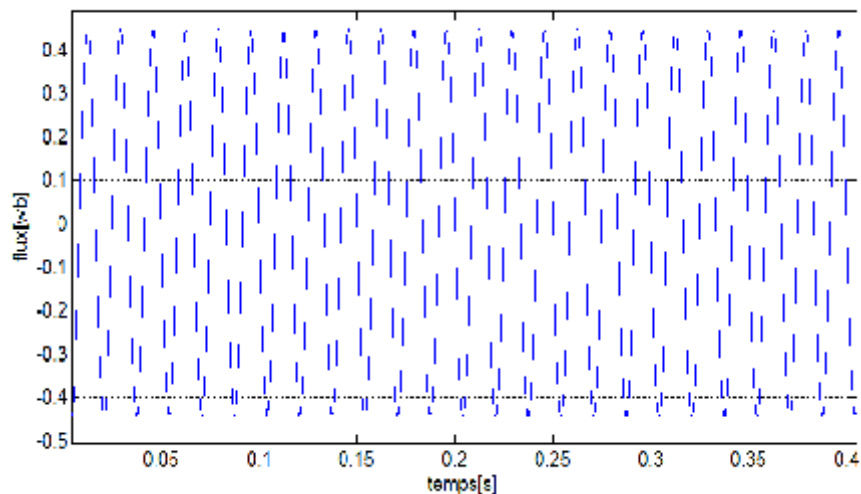


Figure(III.5.16) Le zoom du flux de la phase A

La figure suivante donne le flux de la phase **B**. On remarque qu'elle présente une allure est parfaitement sinusoïdale. Elle atteint le régime permanent au bout de **0.016s**

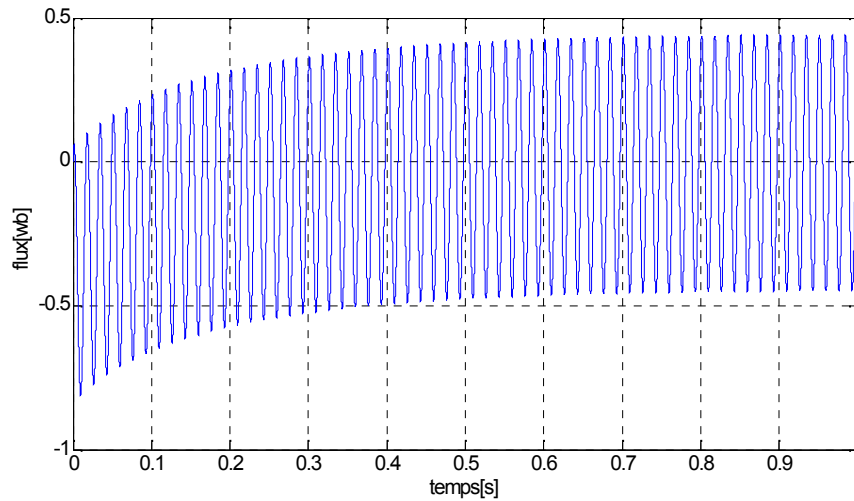


Figure(III.5.17) : le flux de la phase B

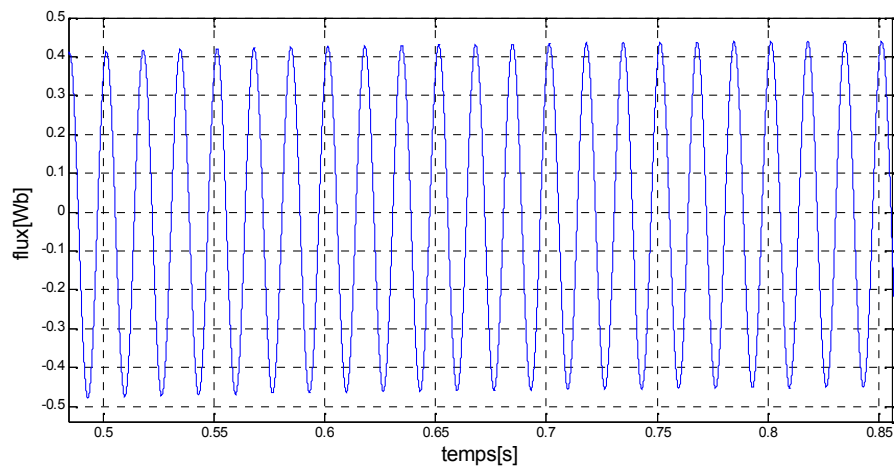


Figure(III.5.18) Le zoom de flux de la phase B

La figure suivante représente le flux de la phase C. On remarque qu'elle présente une allure qui est caractérisé par un régime transitoire, avec une amplitude de **0.06Wb**, puis se stabilise à des valeurs en régime permanent ayant une amplitude de l'ordre de **0.65s**.



Figure(III.5.19) : le flux de la phase C



Figure(III.5.20) Le zoom du flux de la phase C

III.5. comparaison entre les deux couplages

Dans cette partie, on se propose d'étudier l'effet de la nature du couplage primaire sur les performances du transformateur.

La figure III.6.1 suivante montre une comparaison en termes de tension secondaire, entre le couplage triangle – étoile et étoile – étoile. On remarque que la tension secondaire est plus faible dans le cas du couplage étoile – étoile.

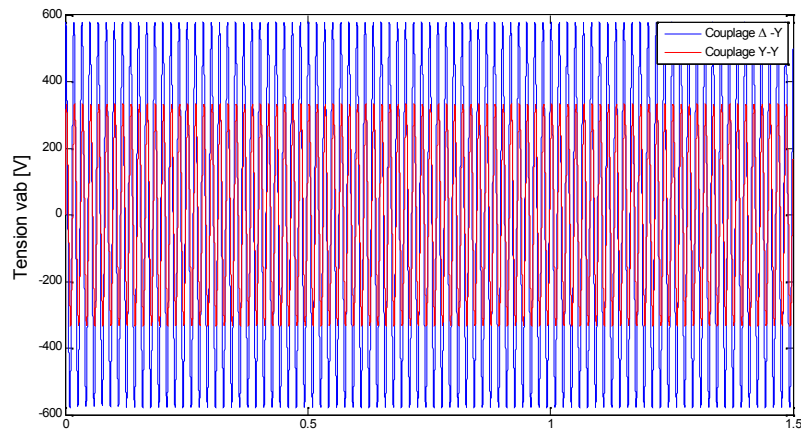


Figure (III.6.1) : Tension secondaire

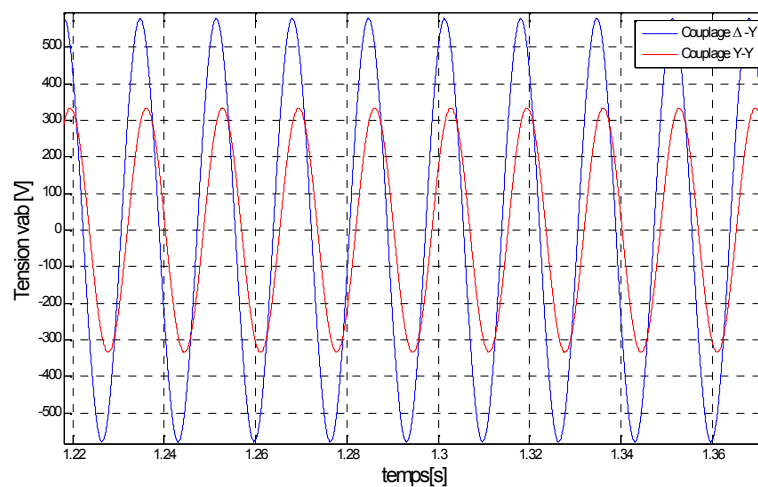


Figure (III.6.2) : Le zoom de la tension secondaire

La figure III.6.3 suivante donne une comparaison en termes du courant secondaire, entre le couplage triangle – étoile et étoile – étoile. On remarque que le courant secondaire est moins important dans le cas du couplage étoile – étoile. Un déphasage arrière est enregistré.

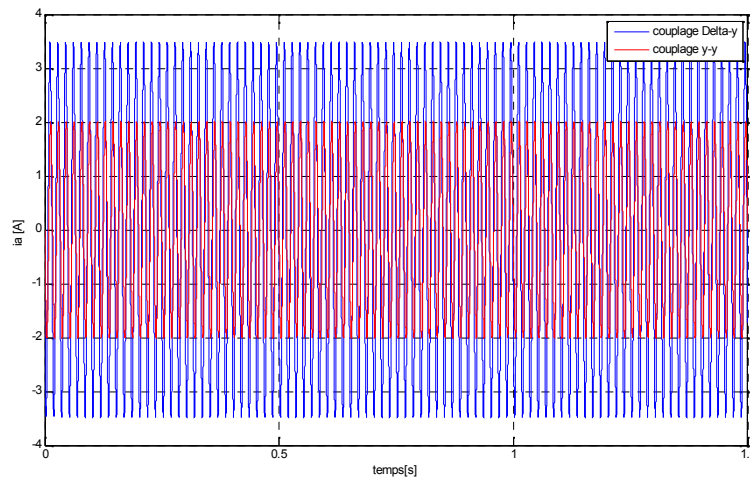


Figure (III.6.3) : Courant secondaire

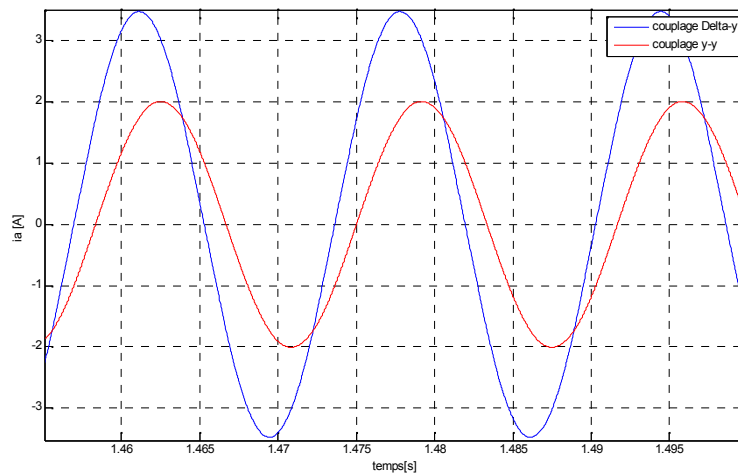


Figure (III.6.4) : le zoom de Courant secondaire

III.6. Etude de l'effet du non alimentation d'une phase

Dans cette application, on se propose d'étudier l'effet du non alimentation d'une phase du transformateur, en d'autres termes l'effet de la perte d'une phase de ligne, sur son comportement global.

Pour illustrer cela, nous avons effectué une étude comparative par rapport au cas où les trois phases du transformateur sont alimentées.

Les résultats obtenus sont illustrés par les figures suivantes.

La figure III.7.1 suivante montre une comparaison en termes de tension secondaire, entre le cas où les trois phases du transformateur sont alimentées et le cas où l'on n'alimente pas la phase A. On remarque une chute d'amplitude de l'ordre de 80 V ainsi qu'un déphasage avant.

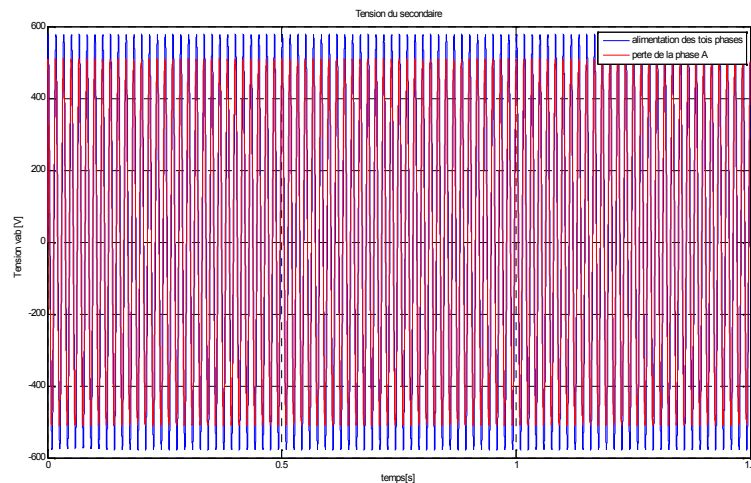


Figure (III.7.1) : Tension secondaire

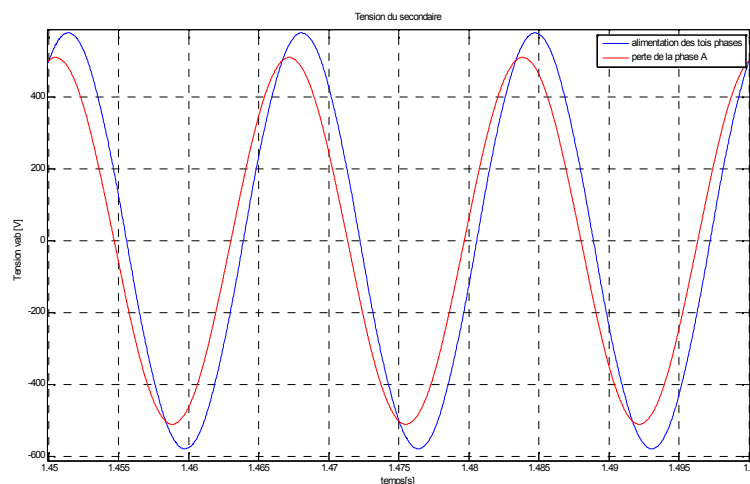


Figure (III.7.2) : Le zoom de la tension secondaire

La figure III.7.3 ci-dessous montre une comparaison en termes du courant primaire dans le cas où les trois phases transformateur sont alimentées et celle où on perd une phase dans la ligne.

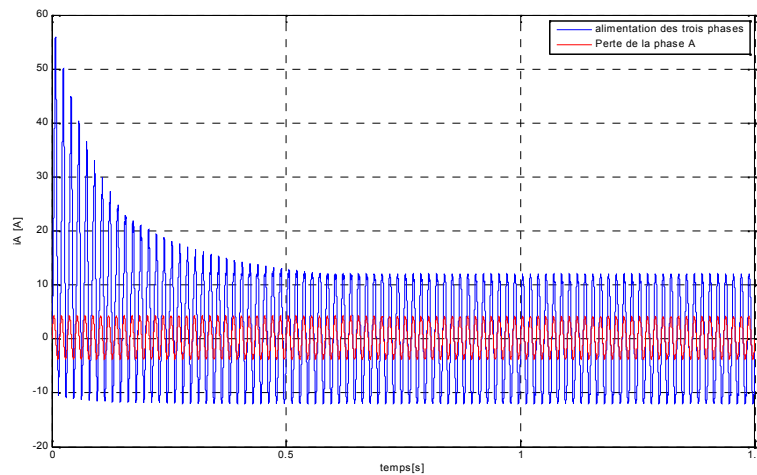
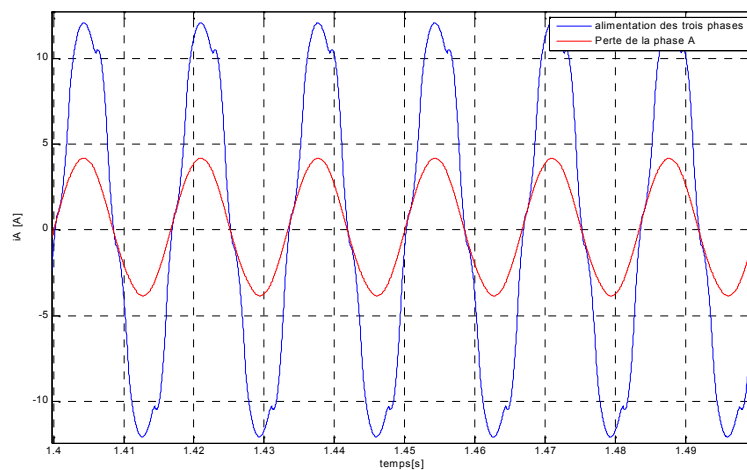


Figure (III.7.3) : Le courant primaire



Figure(III.7.4) : le zoom de courant primaire

La figure III.7.5 ci-dessous donne une comparaison en termes du courant secondaire dans le cas où les trois phases transformateur sont alimentées et celle où on perd une phase dans la ligne.

On remarque une chute d'amplitude d'environ 1.5A ainsi qu'un déphasage entre les grandeurs obtenues.

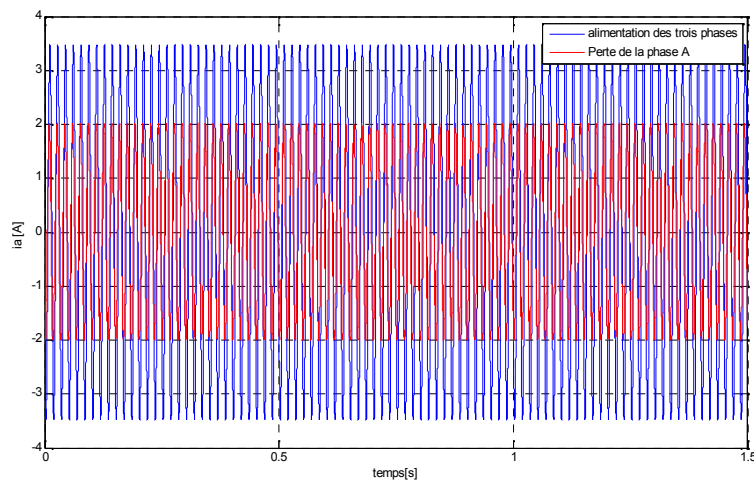


Figure (III.7.5) : Le courant secondaire

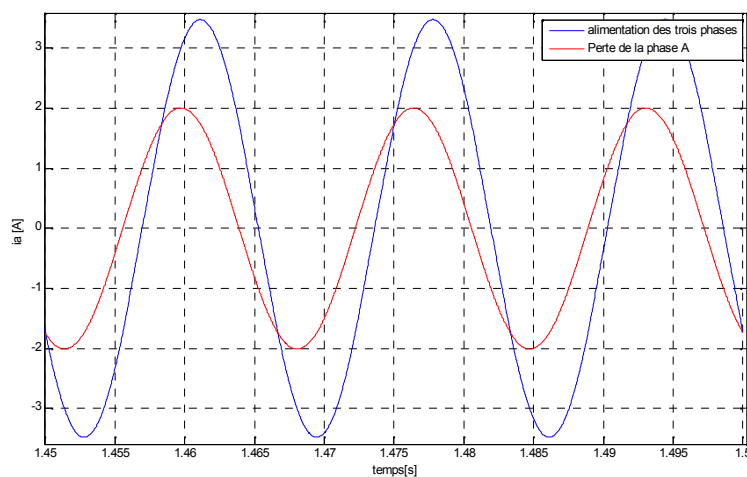


Figure (III.7.6) : Le zoom de courant secondaire

La figure III.7.7 ci-dessous donne une comparaison en termes de somme de courants primaires dans le cas où les trois phases transformateur sont alimentées et celle où on perd une phase dans la ligne.

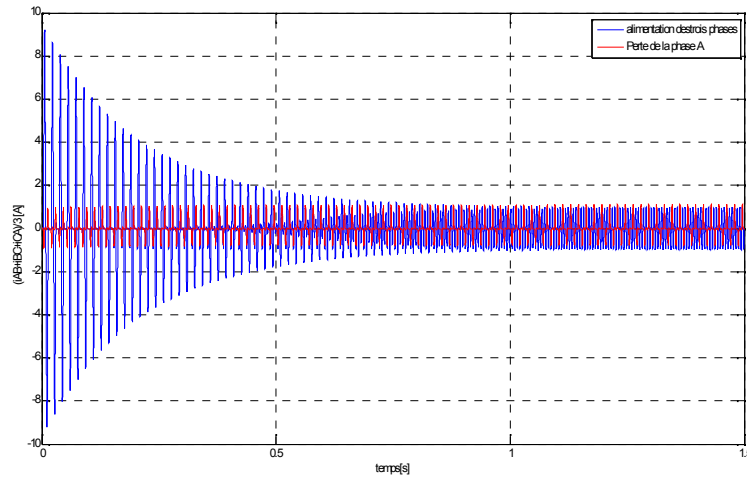


Figure (III.7.7) : La somme des courants primaires

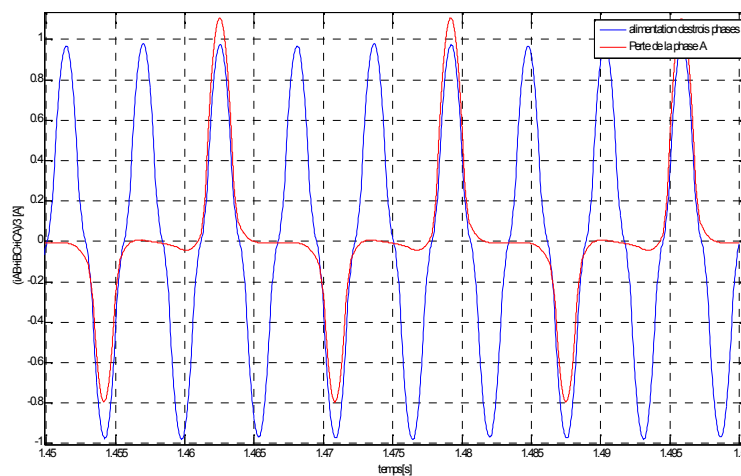


Figure (III.7.8) : Le zoom de la somme des courants primaires

Dans la figure III.7.9 ci-dessous, une comparaison en termes de somme des courant secondaire dans le cas où les trois phases transformateur sont alimentées et celle où on perd une phase dans la ligne, est fournie.

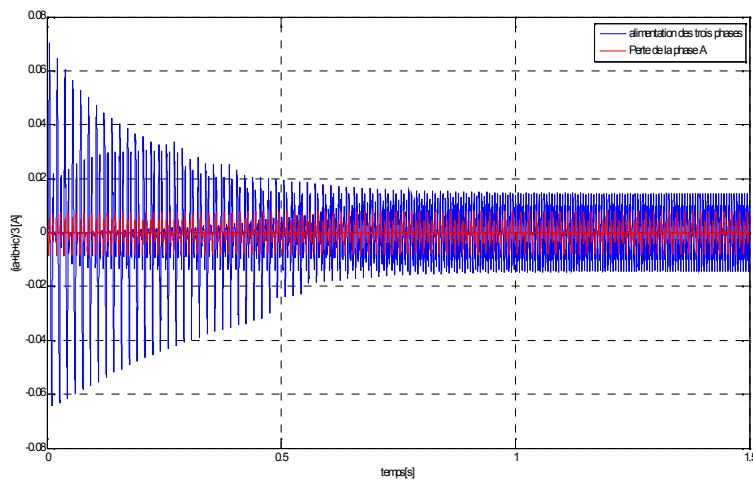


Figure (III.7.9) : La somme des courants secondaire

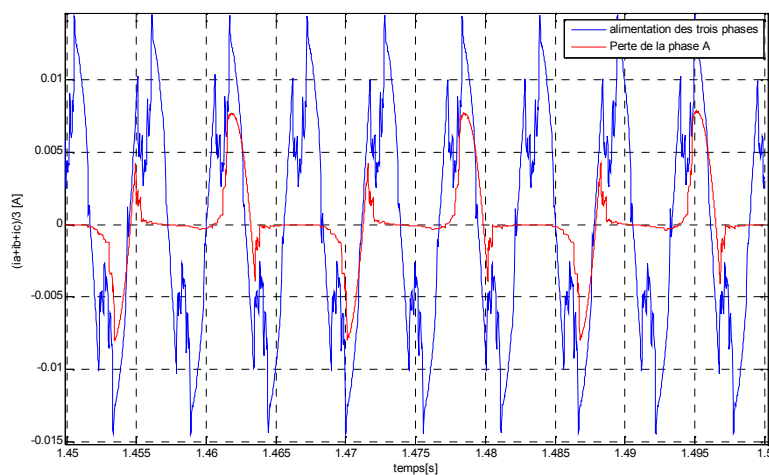


Figure (III.7.10) : Le zoom de la somme des courants secondaires

III.7. Effet d'une composante continue additionnelle à la phase A

Dans le présent cas, on étudie l'effet d'une composante continue de tension de l'ordre de 1V injectée à la phase A du transformateur, sur son comportement global. Les différents résultats sont présentés ci-dessous.

La figure III.8.1 ci-dessous montre l'évolution de la tension primaire. On remarque un décalage vers le haut, de celle-ci.

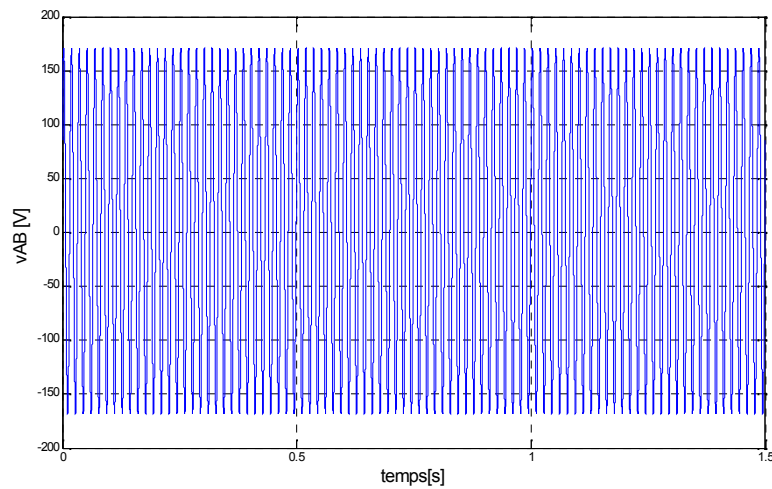


Figure (III.8.1) : Tension primaire

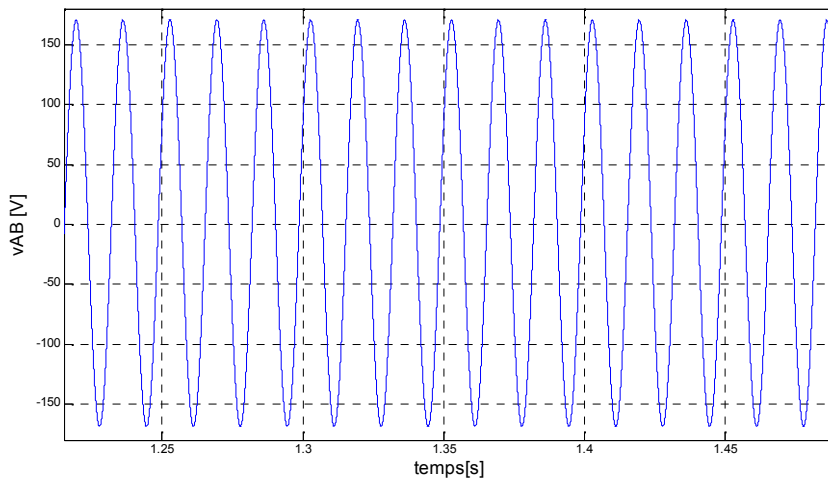


Figure (III.8.2) : Le zoom de la tension primaire

La figure III.8.3 ci-dessous donne de la tension secondaire. On remarque un régime transitoire d'une durée de 0,1 s. Avant de se stabiliser en régime permanent à la tension identique à celle obtenue sans la tension continue additionnelle.

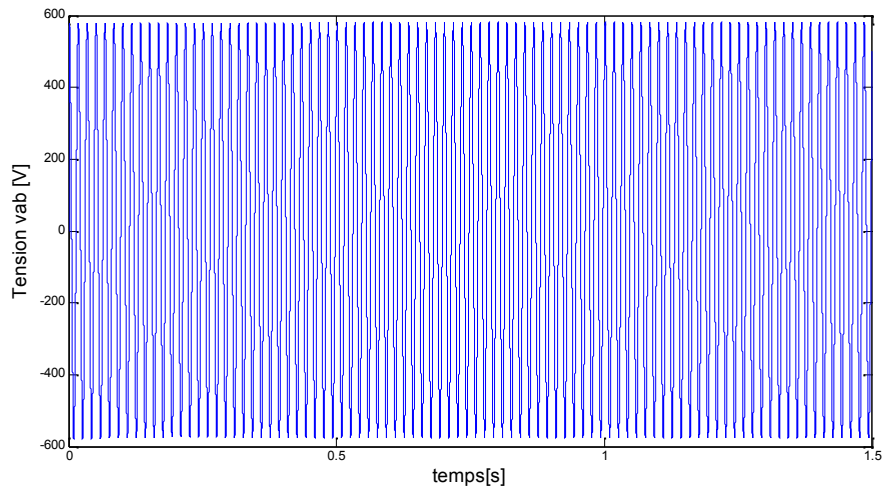


Figure (III.8. 3) : Tension secondaire

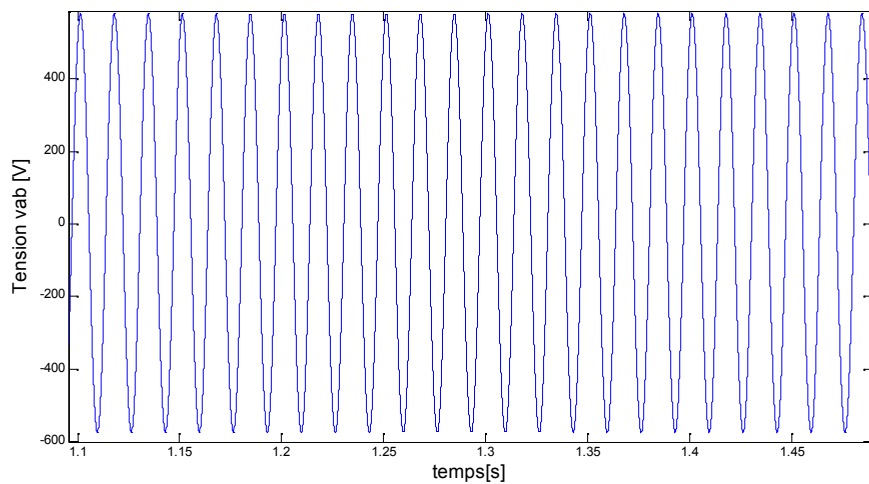


Figure (III.8.4) : Le zoom de la tension secondaire

La figure III.8.5 ci-dessous montre l'évolution du courant secondaire en fonction du temps. On remarque un régime transitoire d'une durée de 0,1 s. Avant de se stabiliser en régime permanent est identique à celui obtenu précédemment.

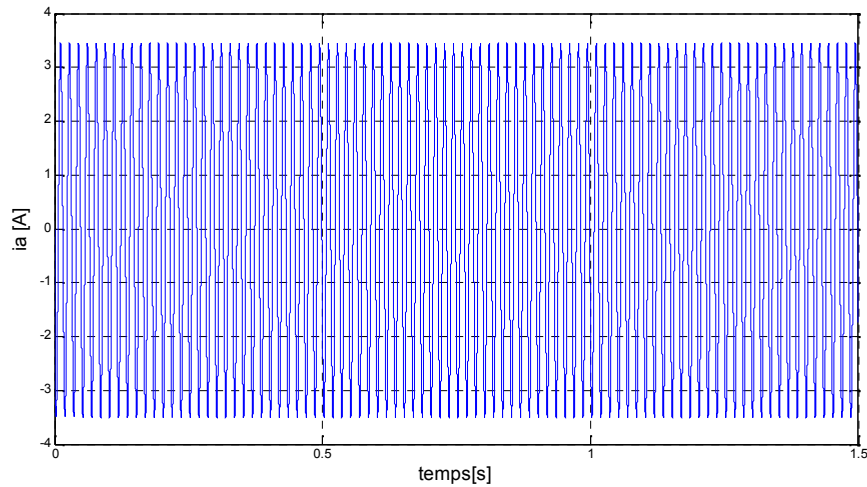


Figure (III.8.5) : Courant secondaire

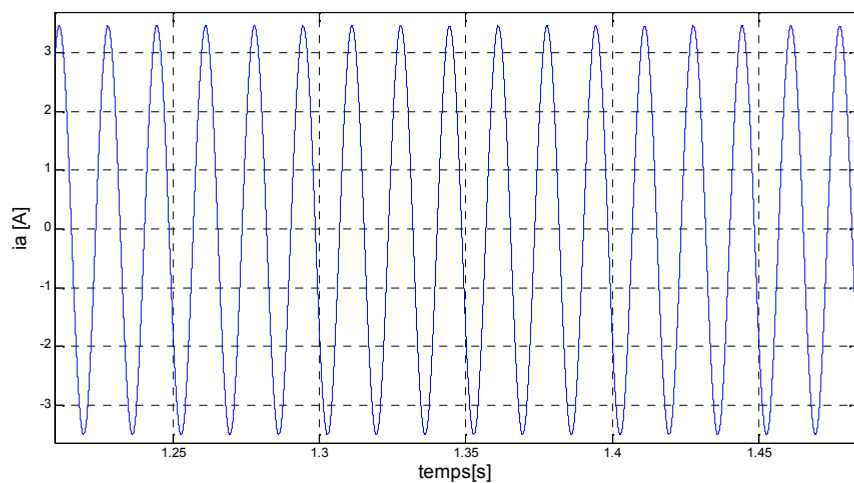


Figure (III.8.6) : Le zoom de courant secondaire

On remarque que les grandeurs secondaires ne sont pas affectées par la présence d'une tension continue additionnelle dans une phase du primaire. Cela s'explique par le fait que le secondaire n'est sensible qu'aux grandeurs primaires variables en fonction du temps (loi de l'induction électromagnétique).

La figure III.8.7 ci-dessous donne l'évolution du courant primaire en fonction du temps. On remarque qu'après un régime transitoire d'une durée de 0,35 s, il atteint des valeurs très grandes qui sont à même de détruire l'enroulement primaire.

On déduit que la tension continue additionnelle est néfaste par rapport à l'enroulement primaire.

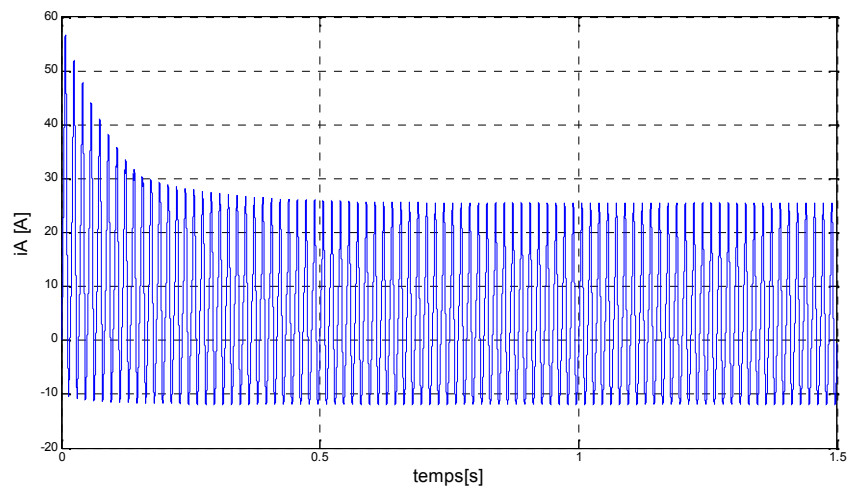


Figure (III.8.7) : Le courant primaire

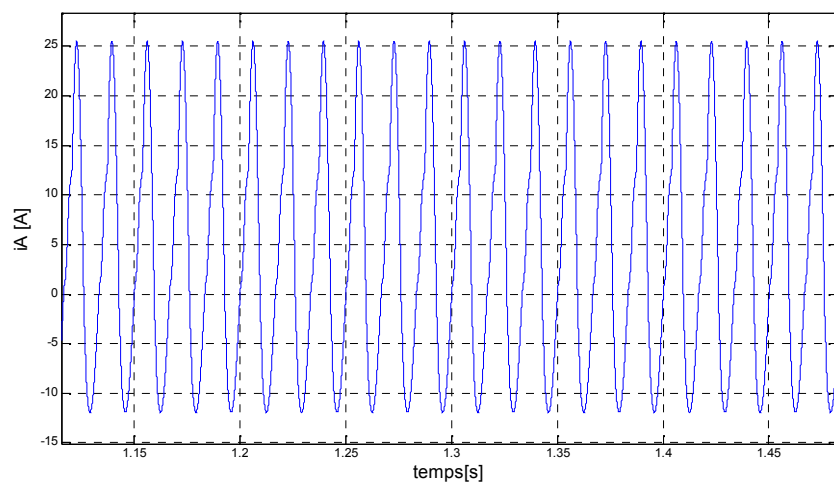


Figure (III.8.8) : Le zoom de courant primaire

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré premièrement à la modélisation du transformateur en tenant compte de la non linéarité du circuit magnétique, dans l'objectif est d'avoir le comportement transitoire des différentes grandeurs qui le caractérisent.

Au début de ce travail, nous avons rappelé qu'un transformateur se caractérise tout autant par sa structure et les éléments qui le composent que par son domaine de validité, les hypothèses sur lequel il s'appuie.

Nous avons ensuite modélisé le transformateur triphasé en se basant sur le modèle du transformateur monophasé en vue de l'étude du comportement transitoire des différentes grandeurs (tension, courant et flux).

Les résultats de simulation obtenus sous MATLAB/SIMULINK nous ont permis de voir le comportement transitoire des différentes grandeurs du transformateur (tension, courant et flux). Une étude de l'influence de la nature du couplage des enroulements sur les performances du transformateur a été réalisée. De plus, nous avons simulé l'influence de quelques défauts pouvant survenir lors du fonctionnement de celui-ci.

Comme perspectives au présent travail, il serait intéressant de considérer l'influence des harmoniques de tension présente dans le réseau ainsi que des surtensions et surintensités sur les performances globales du transformateur.

Bibliographie

[1] : Francis Milsant « machines électriques ».

[2] : Dominique Bariel Jean Pierre.

[3] : M^r: A.Melouk, M^r: B.Bounoua ; Etude d'une transformation triphasé
DEUA électrotechnique 2009

[4] : GUY SEGUIER et Francis NOTELET «Electrotechnique Industrielle »

[5] :w.w.w.électrotechnique-fr.com

[6] :D.RIU«Modélisation des courants induits dans les machines électriques par
des systèmes d'ordre un demi »Thèse des doctorats, institut national
polytechnique de Grenoble, 2001.

[7] : M^r: Ali si ali.Brahim, M^r: Belkessam .Abed, Modélisation et simulation
des transformateurs avec prise en compte de la saturation et identification des
comportements fréquentiel d'ordre non entier par la technique du problème
inverse ING électrotechnique 2006

[8]: Chee-Mun Ong, (Dynamic Simulation of Electric Machinery using matlab /simulink) School of Electrical and Computer Engineering, Perdue University West La Fayette, Indiana, USA.

[9] : T. Wildi, "Electrotechnique", Institut de recherche d'Hydro-Québec, 2003.

[10] : Bernard MULTON, (modèles électriques du transformateur magnétique), Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan

Résumé

Le transformateur est un composant fondamental en électrotechnique, son étude constitue l'un des piliers de cette discipline. Rappelons que le transformateur industriel a été inventé par Lucien Gaulard et John-Dixon Gibbs en 1831 et qu'il a eu un rôle décisif dans le développement de l'énergie électrique et plus particulièrement en courant alternatif. Son essor fut immédiat, les puissances réalisées augmentèrent très rapidement (quelques 100 kVA en 1900 et quelque MVA en 1910).

Nous sommes actuellement portés à utiliser, pour décrire le fonctionnement des transformateurs, des modèles électriques équivalents représentés par leurs équations. C'est l'objet du présent travail qui est la modélisation et simulation dynamique d'un transformateur triphasé.

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré premièrement à la modélisation du transformateur en tenant compte de la non linéarité du circuit magnétique, dans l'objectif est d'avoir le comportement transitoire des différentes grandeurs qui le caractérisent.

Au début de ce travail, nous avons rappelé qu'un transformateur se caractérise tout autant par sa structure et les éléments qui le composent que par son domaine de validité, les hypothèses sur lequel il s'appuie.

Nous avons ensuite modélisé le transformateur triphasé en se basant sur le modèle du transformateur monophasé en vue de l'étude du comportement transitoire des différentes grandeurs (tension, courant et flux).

Les résultats de simulation obtenus sous MATLAB/SIMULINK nous ont permis de voir le comportement transitoire des différentes grandeurs du transformateur (tension, courant et flux). Une étude de l'influence de la nature du couplage des enroulements sur les performances du transformateur a été réalisée. De plus, nous avons simulé l'influence de quelques défauts pouvant survenir lors du fonctionnement de celui-ci.

Comme perspectives au présent travail, il serait intéressant de considérer l'influence des harmoniques de tension présente dans le réseau ainsi que des surtensions et surintensités sur les performances globales du transformateur.