

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB-BLIDA-
INSTITUT D'AERONOTIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OPTION DU DIPLOME DEUA
EN
AERONAUTIQUE

OPTION : AVIONIQUE.

Thème :

**ETUDE DES TRANSFORMATEURS
REDRESSEURS TRIPHASES A
BORD DES AVIONS**

PROMOTEUR :
M^R. ABDALLAH

PRESENTEE PAR:
HAKEM Saida.
REMILI Wahiba.

ANNEE UNIVERSITAIRE 2003-2004.

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail de fin d'études :

- ❖ *A celle qui n'a jamais cesse de m'apporter amour et tendresse et qui a éclairé ma route par sa compréhension , sacrifices et qui ma également beaucoup encouragé :MA MERE .*
- ❖ *A celui qui fut le plus brave des pères en m'ouvrant ses bras aux moments les plus difficiles et en m'encouragent a aller en avant pour le mieux : MON PERE .*
- ❖ *A mon très cher et unique frère :BRAHIM*
- ❖ *A mes très chères sœurs que j'aime énormément KENZA, NADIA et CHAFIAA.*
- ❖ *A ma grand-mère paternelle qui occupe toujours de moi ,et mes très chers grands pères HAKEM AMAR et BOUROUBA MOULOUD et à ma grand mère maternelle dieux la accueille dans sont paradis.*
- ❖ *A toute ma famille paternelle et maternelle .*
- ❖ *A ma copine bien aimée qui ma accompagne tout au long de mes études WAHIBA .*
- ❖ *A ma chère SOUAD et son mari ;a mes chères copines de l'I.A.B. et surtout LAMIA , MERIEME et LEILA .*

SALIDA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail qui clôture mon parcours universitaire à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu pendant toute ma vie.

- A commencer par mes très chers parents qui m'ont encouragé, m'ont soutenu et m'ont poussée toujours vers l'avant et vers le mieux :

Ma mère et mon père.

- A mes chers frères : mouhamed, ismail, hassan, said, hamid, abd elkarim et Marouane.
- A mes très chers soeurs : nadjia, fouzia, amina.
- A mes belles sœurs meriême, saliha et à leurs filles yasmine, nadia et asma.
- A ma meilleure amie. Mon binôme saida avec qui j'ai eu la joie et le plaisir de réaliser ce modeste travail, et à toute sa famille.
- A mes copines : lamia, leila, dalila, zoulikha, sihem, fatiha, et toutes les copines que je connais.
- A tous les étudiants d'aéronautique surtout les étudiants de 3^{ème} année option avionique.

WANHIBA

remerciements

Nos premier remerciements vont d'abord à dieu qui a permit la réalisation de ce manuscrit couronnant une formation de trois (3) ans dans la filière d'aéronautique option : avionique

Nos remerciement vont ensuite en particulier à : Mr .A BDALLAH notre encadreur de l'Institut d'Aéronautique de Blida qui a été pour nous un guide bien qualifier a chaque fois que nous avons besoin de ses orientations.

Nous remercions vivement nos enseignants et enseignantes qui nous ont prodigués le savoir et la méthodologie du travail a tous les membres du jury qui ont accepte d'examiner et d'évaluer ce travail.

Sommaire

Introduction

Rappel

Chapitre -I- : le transformateur

I-1-Introduction	01
I-2- un peu d'histoire.....	02
I-3- Grandeurs nominales.....	04
I-4- principaux types de transformateur.....	05
I-4-1 transformateur de puissance.....	06
I-4-2 transformateur de mesure	07
a- transformateur de tension	07
b- transformateur électrique	08
I-5- principaux éléments de transformateur.....	08
I-5-1 noyau de transformateur.....	08
I-5-2 enroulement de transformateur	08
I-5-3 cuve d'un transformateur.....	09
I-5-4 couvercle de cuve et sortie.....	10
I-5-5- huile de transformateur.....	10
I-6- Transformateur monophasé	10
I-6-1- description	10
I-6-2 principaux éléments de transformateur monophasé....	10

I-6-3 principe de fonctionnement d'un transforma monophasé.....	11
I-6-4 rapport de transformation.....	12
I-6-5 rendement de transformateur monophasé	12
I-6-6 équation Général de fonctionnement.....	12
a) Equation de volts.....	13
b) Equation de tension avec les inductances propres et mutuelles.....	14
c) Equation de tension avec les inductances de fuite.....	14
b) Equation d'hopkinson.....	15
I-7- Transformateur parfait	15
a- Reluctance du noyau nulle ($R=0$).....	15
b- Résistances des bobines nulles ($R_1= R_2=0$).....	16
c- Aucune fuite de flux magnétique ($L_1= L_2=0$).....	16
I-8- Circuit équivalent « ramené au primaire »	17
I-8-1 Circuit simplifié et diagramme de kappe.....	18
I-8-2 Chute de tension de résistance et chute de tension de réactance.....	19
I-9- Détermination des paramètres par essais	20
I-9-1 Essai en circuit ouvert	21
I-9-2 Essai en court-circuit.....	22
I-10- Transformateur triphasé	22
I-10-1 Généralités sur les systèmes étoile et triangle.....	23
1-Système étoile.....	23
2-Système triangle.....	24
I-10-2 Montage usuel de transformateur triphasé.....	25

I-10-3 Avantages et inconvénients des deux montages étoile et triangle.....	25
---	----

Chapitre -II- : Les composants électroniques

II- introduction	26
II-1- diode.....	27
II-1-1 diode à jonction.....	27
II-1-2- diode idéale.....	27
II-2-thyristor.....	28
II-2-1 Principe de thyristor.....	28
II-3-Transistors.....	30

Chapitre -III- : Le redressement

III-1-Redressement d'une alternance (par diode).....	33
III-2-redressement d'une alternance (par thyristor).....	36
III-3-Redresseurs monophasés en pont.....	38
III-3-1-Redresseurs monophasés en pont non commandés(toutes diodes).....	38
III-3-2-Redresseurs monophasés en pont commandés (tous thyristors).....	42

III-4-Redresseurs triphasés	42
III-4-1-Redresseurs triphasés simple alternance(touts diodes).....	42
III-4-2-Redresseurs triphasés simple alternance (touts thyristor).....	48
III-5-Redresseurs triphasés en pont(ou à deux voies)	52
III-5-1Redresseurs triphasés en pont (toutes diodes).....	52
III-5-2-Redresseurs triphasés en pont (touts thyristors).....	57
III-6-Redresseurs dodécaphasés (ondulation d'ordre douze).....	61

Conclusion

liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : Transformateur.....	11
Figure I-2 : Marche à vide d'un transformateur	11
Figure I-3 : Convention pour la mise en équation	13
Figure I-4 : Circuit équivalent à un transformateur avec inductance Propre et mutuelle	14
Figure I-5 : Courbe de magnétisation d'un transformateur parfait ..	15
Figure I-6 : Diagramme d'un transformateur parfait	16
Figure I-7 : Circuit équivalent ramené au primaire	17
Figure I-8 : Circuit équivalent simplifier ramené au primaire	18
Figure I-9 : Circuit équivalent simplifier de Kapp ramené au secondaire	20
Figure I-10 : Diagramme ramené au secondaire.....	20
Figure I-11 : Circuit équivalent modifié.....	21
Figure I-12 : Transformateur triphasée à une carcasse magnétique.....	23
Figure I-13 : Système étoile.....	23
Figure I-14 : Système triangle	24

Chapitre II

Figure II-1 : diode	
a : Diode à jonction	27
b : Diode idéal	27
Figure II-2 : Thyristor	
a : Diode PNP	}
b : Symbol d'un thyristor	
c : Caractéristique d'un thyristor	
e : Assemblage de deux transistor	
f : Alimentation d'un thyristor en courant continu	
Figure II-3 : Transistor NPN.....	31
a : Structure	
B : Symbol avec les sens des courants	

Figure II-4 : Transistor PNP.....	31
a : Structure	
b : Symbole	

Chapitre III

Figure III-1 : Redressement d'une alternance (par diode)	
a : Montage.....	34
b : Courbe d'ondes	34
c : Graphe de la tension V_D aux bornes de la diode	35
Figure III-2 : Redressement d'une alternance (par un thyristor).....	37
Figure III-2-1 : Redresseur monophasé non commandé(toute diode)	
a , b, c, d :Montage	40
e : Les formes d'ondes	41
Figure III-3-2 : Redresseur monophasé en pont totalement commandé (tout thyristor).	
a)Montage.....	43
b) forme d'onde.....	44
c) connexion de sortie du circuit d'amorçage	45
Figure III-4-1 : Redresseur triphasé simple alternance à diode	
a : Montage.....	47
b : Formes d'ondes	47
Figure III-4-2 : Redresseur triphasé simple alternance (tout thyristor)	
a :Montage.....	49
b : Forme d'onde dans le cas de petit angle de retard à l' amorçage.....	50
c : et d : forme d'onde de la tension dans le cas d'un grand angle de retard en l'amorçage.....	51
Figure III-5 : Redresseur triphasé double alternance.....	53
Figure III-5-1 : Redresseur triphasé en pont	
a :Montage.....	54
b :Formes d'ondes	55

Figure III-5-2 : Redresseur triphasé en pont totalement commandé

a: Montage	58
b : Formes d'ondes	59
c : formes d'ondes pour un grand angle de retard à l'amorçage...	60

Figure III-6-1: forme d'onde à indice de pulsation douze (12)

a: tension d'un redresseur non commandé.....	62
b: courant alternatif d'entrée	62

Figure III-6-2: montage redresseur typique à indice de pulsation douze(12)

a: simple alternance	64
b: en pont montage série.....	64
c: en pont montage parallèle	65

ABBREVIATION

Abréviation :

B : Inductance .
B₁ : Bobine du primaire.
B₂ : Bobine du secondaire.
BT : Baisse tension.
C.A : courant alternatif.
C.C : courant continu.
E/R : Emetteur/Récepteur.
F.E.M : Force electro Motrice.
F.M.M : Force Magneto Motrice.
HT : Haute Tension.
I : Le courant.
I_m : Courant de magnétisation.
N : Nombre de spires.
M : Rapport de transformation.
L : Inductance.
P₁ : Puissance primaire.
P₂ : Puissance secondaire.
P_n : Puissance nominal.
P_f : Pertes fer.
P_j : Pertes joules.
R.S.C : Redressement Semi Conducteur.
S.C.R : Silicone Controlled Retifier.
T : Transformateur.
TM : Transformateur monophasé.
T.P : Transformateur parfait.
T.R : Transformateur redresseur.
Φ : Flux propre.
Φ_f : Flux de fuite.
Φ_m : flux mutuel.
Φ_t : flux totale.
V_d : Tension de diclanchement.
V_t : Tension aux borne de la charge.
⚡ : Impulsion.
η : Rendement de transformateur. *η*

Introduction

INTRODUCTION GENERALE:

à revoir

Pour l'obtention du Diplôme D'Etudes Universitaires Appliquées (DEUA), nous abordons la génération de l'énergie électrique à bord des avions commerciaux.

En étudiant en détail les Transformateurs- Redresseurs

Dans la première partie nous avons étudié les transformateurs, constitution et principe de fonctionnement. *fonctionnement*

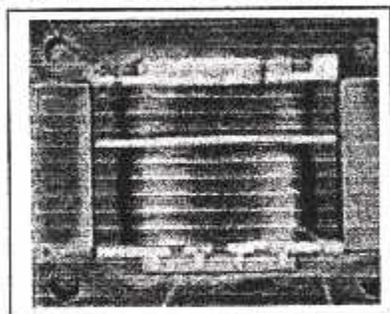
La deuxième partie nous a expliqué comment fonctionnent les redresseurs semi-conducteur en électronique de puissance.

Et finalement dans la troisième partie nous avons expliqué par des schémas détaillés le fonctionnement des T-R

Nous avons souhaité tester un T-R dans notre laboratoire, mais pour des raisons de manque de matériel la réalisation n'a pu être faite.

Mais l'étude des chronogrammes des T-R est détaillée et significative.

Chapitre I : Le transformateur



I-1 Introduction :

Comme le dit la définition du petit robert, un transformateur est un "appareil servant à modifier la tension, l'intensité ou la forme d'un courant électrique.

Un transformateur est donc un appareil qui sert à convertir une tension alternative d'une valeur donnée en une tension d'une valeur différente. Ses principaux composants sont un noyau ferromagnétique, sur lequel sont bobinés deux enroulements, le premier fait d'un conducteur de diamètre plus grand que celui du conducteur utilisé pour le second enroulement.

L'enroulement fait de fil de diamètre plus faible véhicule un courant alternatif au niveau de tension plus élevé et à l'intensité de courant plus faible, à l'inverse, dans le fil de diamètre plus important la tension est plus faible et le courant plus élevé que dans l'autre bobinage.

I-2 Un peu d'histoire :

Le développement du transformateur est intimement lié à l'histoire du courant alternatif. Sachant que les premières sources d'énergie électriques ont été les piles. Qui génèrent leur courant électrique à partir d'une réaction chimique. il a fallu attendre l'arrivée d'une source de courant alternatif utilisable avant de pouvoir aller de l'avant dans le développement du transformateur . Ceci explique qu'il se soit passé un certain temps entre les premières découvertes dans le domaine des techniques de transformation et le premier composant réellement utilisable en pratique.

Du courant continu au courant alternatif

En 1820 déjà, un certain monsieur Hans Christian Oersted a découvert qu'un conducteur véhiculant un courant génère du champ magnétique. Quelques années plus tard, en 1830, Josef Henry donna corps aux notions d'induction et de self induction. Entre les mois d'août et de novembre 1831 l'Anglais Michael Faraday procéda à une série d'expériences avec un appareil constitué d'un anneau de fer et d'un enroulement de fil de cuivre isolé. Il connecta une pile à l'un des enroulements et pensait produire un courant continu dans l'autre enroulement. Cependant, à son grand désappointement, et en dépit de plus de 200 expériences tout ce qu'il obtint furent un déviation de l'aiguille du galvanomètre lors de la mise en ou hors -circuit de la pile. Ce n'est qu'après que le fabricant d'instruments français Pixii ait réussi à produire un générateur de courant alternatif entraîné manuellement que pu se poursuivre l'étude théorique et le développement pratique du transformateur .

En 1844, déjà Paris se vit doter d'une place publique éclairée à l'aide de lampes à arc électrique. C'est la tension de service de la lampe à arc, à savoir 55V, qui est d'ailleurs à la base des valeurs de tension normalisées de 110 et 220 V pour la mise en série, respectivement, de deux ou de quatre de ces lampes. Il n'en reste pas moins que jusqu'à la fin du 19^{ème}

siècle, l'alimentation en énergie électrique pour les habitations, l'éclairage des rues et les

machines se fit principalement à l'aide de courant continu. Notons que l'Américain Edison fut un défenseur farouche de la technologie du courant continu qu'il considérait comme moins dangereux. En effet, les fréquences secteur courantes de 50 et 60 Hz tout particulièrement, sont, d'un point de vue physiologique, très

«efficace ». Aux fréquences plus élevées, les cellules du corps humain ne peuvent plus suivre, dans leurs réactions électrochimiques, le courant électrique qui les traverse : dans le cas du courant continu elles peuvent, par décalage de potentiel. Compenser la violence faite à leur état de repos. Dans les deux cas le danger est moindre qu'à 50 hz. Les limites de la technologie du courant électrique furent vite atteintes dès lors qu'il fut fallu transporter de l'énergie électrique sur de grandes distances. La longueur des conducteurs impliquait inévitablement des pertes insupportablement importantes, vu que pour des raisons de poids et de coût il n'était pas possible d'en augmenter inconsidérablement la section. L'une des solutions envisageables fut le transport de tension plus élevée, vu qu'il est plus facile et moins coûteux de réaliser de bons isolateurs que des conducteurs de la section d'un poignet. Cette augmentation de tension ne pouvait se faire qu'avec du courant alternatif. A l'aide de transformateur on procéda à une convention vers le haut de la tension fournie par le générateur pour côté utilisateur, procéder à l'opération inverse, à savoir une conversion vers le bas. Cette approche créa un énorme besoin de transformateur. La priorité fut donnée au rendement et à la sécurité de fonctionnement. Chez les particuliers, les transformateurs ne firent leur application que bien après les récepteurs radio ces derniers commencèrent par tirer leur alimentation de pile calorique à anode alors que les modèles réduits ferroviaires étaient alimentés par le secteur, soit directement, soit par le biais de résistance chitrice.

1-3 Grandeurs nominales

Les grandeurs nominales d'un transformateur - puissance, tensions, courants, fréquences, etc - sont indiquées sur la plaque signalétique qui doit être visible. Mais le terme « nominale » peut être appliqué également aux grandeurs qui ne sont pas indiquées sur la plaque signalétique mais qui se rapportent au régime nominal : rendement nominal, conditions nominales de température du milieu de refroidissement, etc .

On appelle service nominal d'un transformateur le service indiqué sur la plaque signalétique.

La puissance nominale d'un transformateur est celle aux bornes de l'enroulement secondaire, indiquée sur la plaque signalétique et exprimée en KVA.

La tension primaire nominale est la tension indiquée sur la plaque signalétique ; si l'enroulement primaire est à prises sa tension nominale est marquée spécialement.

La tension secondaire nominale est la tension aux bornes de l'enroulement secondaire lorsque le transformateur fonctionne à vide (la tension aux bornes de l'enroulement primaire étant nominale). Si l'enroulement secondaire est à prise sa tension nominale est marquée spécialement.

On appelle courants nominaux primaires et secondaires d'un Transformateur les courants indiqués sur la plaque signalétique et calculés suivant les valeurs correspondantes de la puissance nominale et des tension nominales. Vu que le rendement d'un transformateur est très élevé, on admet que les puissances des deux enroulements sont égales.

soit la puissance nominale d'un transformateur triphasé est $P_n = 100 \text{ KVA}$, les tensions nominales primaires et secondaires sont $U_{1n}=6000\text{V}$ et $U_{2n}=230\text{V}$, on a alors :

$$I_{1n} = P_n / \sqrt{3} U_{1n} = 100 \times 10^3 / \sqrt{3} \times 6000 = 9.63 \text{ A.}$$

$$I_{2n} = P_n / \sqrt{3} U_{2n} = 100 \times 10^3 / \sqrt{3} \times 230 = 251 \text{ A.}$$

La fréquence nominale adoptée en U.R.S.S est de 50 hz. Selon la norme soviétique 183-55 une courbe de tension, de F.E.M, ou de courant est considéré comme pratiquement sinusoïdale si le rapport exprimé en % de la racine carrée de la somme des carrés des amplitudes des trois composantes harmoniques les plus grandes de la courbe périodique donnée à l'amplitude de

son harmonique fondamentale n'est pas supérieur à 5 % pour les machines et le transformateur de plus de 1000 kW.

C'est à dire que

$$(\sqrt{U_{mk}^2 + U_{mn}^2 + U_{nm}^2} / U_{ml}) \times 100 \leq 5 \%$$

Pour des puissances plus faibles ce rapport ne doit pas être supérieur à 10 %. Un système triphasé de tension ou de courants est considéré comme pratiquement symétrique si lors de sa décomposition en système de vecteurs directs et inverses il s'avère que la grandeur des vecteurs inverses ne dépasse pas 5% de la grandeur des vecteurs directs.

I-4 : Principaux types de transformateurs :

Les types de transformateur les plus importants sont :

- a- Les transformateurs de puissances pour le transport et la distribution de l'énergie électrique.
- b- les autotransformateurs servant à transformer la tension dans des limites relativement restreintes pour le couplage des réseaux interconnectés de différentes tensions, pour la mise en marche des moteurs à courant alternatif.
- c- Les transformateurs destinés à alimenter les installations à convertisseurs statiques (redresseurs à vapeur de mercure, ignitrons, soupape à semi - conducteur, ... etc.) pour la transformation du courant alternatif en courant continu ou du courant continu en courant alternatif.
- d- les transformateurs d'essai destinés aux essais sous haute et très haute tension
- e- Les transformateurs de puissance spéciaux : pour alimentation des fours électriques, transformateurs de soudage, ... etc
- f- Les transformateurs de mesure du courant et de la tension pour le branchement dans les schémas des appareils de mesure.
- g- Les transformateurs utilisés en radiotechnique, ... etc.

On voit que le domaine d'utilisation des transformateurs est très vaste

Mais les phénomènes à la base du fonctionnement d'un transformateur ainsi que les méthodes d'étude de ces phénomènes sont pratiquement les mêmes. Pour cette raison, en parlant d'un transformateur, nous envisageons le type principal, c'est à dire le transformateur de puissance monophasé ou triphasé à deux enroulements.

Pour la description des transformateurs à trois enroulements et d'autres types de transformateurs spéciaux.

Les dispositifs et la construction de différents types de transformateurs sont assez divers en fonction des paramètres et de la destination de ces appareils. Actuellement les puissances des transformateurs sont comprises entre plusieurs voltampères et 600MVA

en une seule unité et les tensions sont comprises entre quelques fraction de volt et 1MV (transformateurs d'essai à haute tension).

I-4-1 Transformateur de puissances :

Les transformateurs sont des machines électriques statiques dont la fonction est d'élever ou d'abaisser la tension d'un circuit électrique parcouru par un courant alternatif sans en modifier la fréquence. Ils jouent un rôle essentiel dans le transport de l'énergie électrique à distance.

En effet, les tensions de fonctionnement des machines génératrices n'excèdent pas une vingtaine de kilovolts en courant alternatif. Or le transport de grandes puissances sur des distances notables ne peut être réalisé de façon économique que s'il soit effectué à très haute tension, soit plusieurs centaines de kilovolts. Il est donc nécessaire d'installer à proximité immédiate des groupes générateurs, des transformateurs élévateurs de tension. On devra trouver les appareils «abaisseurs » aux points de fourniture de l'énergie électrique, les tension normale d'utilisation étant comprises entre quelques centaines milliers de volts.

I-4-2 Transformateur de mesures :

Ce sont les transformateurs qui alimentent les appareils de mesure (voltmètre, ampèremètre, wattmètre, compteur...ect) et les installations électriques à haute tension. Ils présentent dans ces installations une importance toute particulière, en effet, si une perturbation dans le réseau provoque leur mise hors service, la protection qu'ils

assurent cesse à l'instant même ou l'on a le plus besoin d'eux. on a deux types de transformateur de mesure qui sont :

a- Transformateur de tension :

Des transformateurs changent la tension du courant alternatif utilisé en générale dans les réseaux électriques modernes, en haute, moyenne ou basse tension. Ainsi, chaque phase du réseau peut fonctionner à la tension appropriée. Ce réseau électrique comporte six éléments principaux :

la centrale ; ensemble de transformateurs qui augmentent la tension électrique

Pour le transport sur lignes à haute tension.

Les lignes à haute tension

Les centrales auxiliaires ; dans les quelles on abaisse la tension pour le transport des moyennes tensions.

Les lignes de transport de moyenne tension .

Les transformateurs qui diminuent la tension au niveau utilisé par le matériel du consommateur.

b-Transformateur électrique :

Des unités de taille importante sont utilisées dans les systèmes électriques Et de très petites unités sont employées dans les instruments électriques, les transformateurs industriels et privés fonctionnant à la fréquence de ligne (50hz en France, sont conçus pour traiter des tensions et des courants élevés.

Pour qu'une transmission de courant électrique soit efficace, il faut un survolteur au niveau de la station génératrice d'électricité qui augmente la tension et réduit le courant.

La perte d'électricité est proportionnelle au carrée de la résistance de la ligne électrique et donc du courant, de ce fait, pour réduire les pertes on utilise des tensions très élevées et des courants faibles sur les lignes de transmission de longue distance. A la station réceptrice, des abaisseurs réduisent la tension et augmentent l'intensité du courant de manière à restaurer les niveaux de tension requits, soit 240v.

I-5 principaux éléments des transformateurs :

Un transformateur se compose des parties principales suivantes :

I-5-1 Noyau du transformateur :

On appelle noyau d'un transformateur l'ensemble formant le circuit magnétique avec tous les éléments faisant partie de cet ensemble. Suivant le type de noyau on distingue :

- a- Les transformateurs à colonne dans lesquels les enroulements entourent les colonnes du noyau ;
- b- Les transformateurs cuirassés dans lesquels les enroulements sont partiellement entourés par le noyau ;

Le noyau est en tôles d'acier spécial dit acier à transformateur de 0.35 ou de 0.5mm d'épaisseur. Actuellement on emploie deux sortes d'acier à transformateurs

Acier laminé à chaud ; acier laminé à froid ; ce dernier possède de meilleures caractéristiques magnétiques dans le sens du laminage par rapport à l'acier laminé à chaud mais demande des méthodes spéciales d'assemblage du noyau.

Pour isoler les tôles, on utilise du papier de 0.03mm d'épaisseur et le vernis à l'huile.

Les noyaux peuvent être réunis aux culasses soit bout à bout soit par enchevêtrement. Mais de préférence les réunir par enchevêtrement car par ce dernier l'entrefêr entre les tôles des colonnes et des culasses peut être réduit au minimum, car l'endroit de jonction dans une couche est recouvert par la tôle dans une autre couche.

I-5-2 Enroulements des transformateurs :

Les enroulements des transformateurs doivent satisfaire à plusieurs exigences

dont les plus importantes sont :

L'enroulement doit être économique en ce qui concerne les dépenses initiales en tenant compte du prix du cuivre et le rendement du transformateur ;

Le régime thermique de l'enroulement doit correspondre aux exigences de la norme, car une température trop élevée réduit nettement la vie du transformateur ;

L'enroulement doit résister aux contraintes naissant lors d'un court-circuit brusque ;

L'enroulement doit présenter la rigidité diélectrique nécessaire pour supporter les Surtensions ;

Ces exigences sont souvent contradictoires. Ainsi lorsque la densité du courant dans

l'enroulement est grande, les dépenses en cuivre sont plus élevées et le rendement du transformateur diminue. Lorsqu'on admet un grand sur échauffement des enroulements les dimensions du transformateur sont plus petites mais sa vie diminue, etc

Pour toutes ces raisons la construction actuelle des enroulements d'un transformateur, surtout d'un transformateur à haute tension, est l'objet d'un long travail vérifié par l'expérience.

Selon la disposition des enroulements de haute tension et de basse tension

l'un par rapport à l'autre on distingue :

Les enroulements concentriques qui dans chaque section transversale

représentent des cercles avec centre commun ;

Les enroulements alternés dans lesquels les parties des enroulements

Haute tension et basse tension se suivent alternativement suivant la hauteur de la

Colonne.

I-5-3 Cuve d'un transformateur dans l'huile :

A l'heure actuelle les plus répandus sont les transformateurs dans l'huile dans lesquels la partie active, c'est à dire le noyau avec les enroulements, est placée dans une cuve remplie d'huile. En s'échauffant, l'huile commence à circuler à l'intérieur de la cuve et assure ainsi le refroidissement naturel du transformateur.

La construction de la cuve est liée au calcul thermique du transformateur.

Généralement la cuve d'un transformateur de puissance est de la forme ovale. Elle doit résister à une pression manométrique interne de 0.5 atmosphères. La cuve est installée sur un chariot avec galets prévus pour supporter le poids total du transformateur.

Le refroidissement des transformateurs est d'autant plus difficile à réaliser que la puissance du transformateur est plus grande. On aura donc différentes formes de cuves :

a- les transformateurs de très faible puissance (environ jusqu'à 30 KVA) ont des lisses les plus simples.

b- Pour les transformateurs de puissance plus élevée (jusqu'à 30000 KVA) on utilise les cuves à tubes. Dans les parois de ces cuves on soude des tubes d'environ 50mm de diamètre, disposés sur une ou plusieurs rangées. Les cuves en tôle ondulée ne

sont plus employées car leur résistance mécanique est plus petite que celle des cuves à tubes et le refroidissement du transformateur est moins bon ;

c- Les transformateurs jusqu'à 1000KVA ont des réfrigérants- radiateurs à refroidissement naturel adaptés aux parois de la cuve.

Dans les transformateurs de 10000KVA et plus, les radiateurs sont soufflés, dont le soufflage se fait par des ventilateurs.

I-5-4 Couvercle de cuve et sorties :

Le couvercle de la cuve est un élément important de cette dernière. Sur le couvercle sont placées plusieurs pièces dont les plus importantes sont :

- a- Les isolateurs de sortie des enroulements haute tension et basse tension ;
- b- Le conservateur d'huile dans les transformateurs de 100KVA et plus ;
- c- Le tube d'évacuation des gaz pour les transformateurs à puissance

de 1000KVA et plus.

I-5-5 Huile de transformateur :

Il permet d'améliorer l'isolement et le refroidissement de la partie active du transformateur.

I-6 transformateur monophasé :

I-6-1 Description :

I-6-2 Principaux éléments de transformateur monophasé :

Un tel appareil comporte :

- 1- Un circuit magnétique : par un empilage de tôle de fer doux pour éviter

Les pertes dans le fer par hystéris, et par courant de Foucault, est destiné à normaliser le flux d'induction magnétique.

- 2- Deux enroulements : isoler l'un de l'autre ainsi que la masse du circuit

Magnétique, ils se composent de :

Un enroulement basse tension BT, en gros fil.

Un enroulement haut tension HT, en fil fin.

Constituer fréquemment par des bobines groupées en série. La première et la dernière sont appelées « bobines de choc », leurs isolement leur permettant de résister à des surtensions éventuelles.

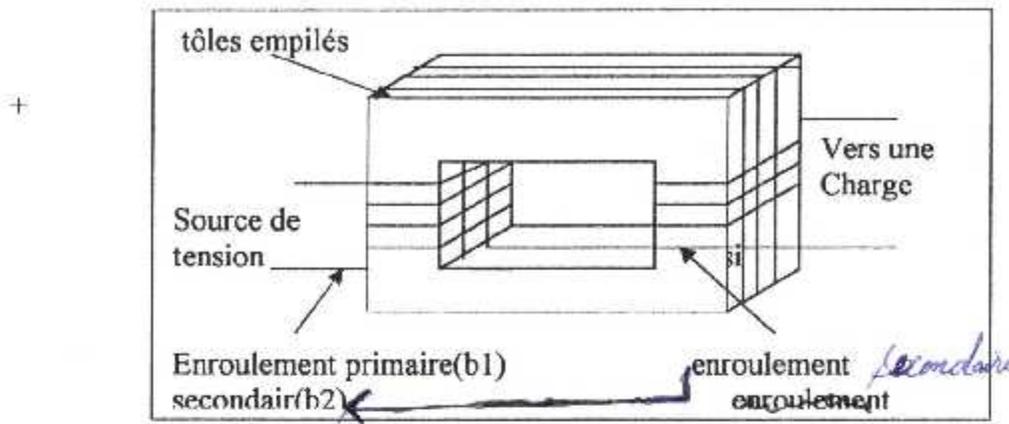


Figure 1-1: Transformateur

I-6-3 Principe de fonctionnement d'un transformateur monophasé :

Si l'on alimente le primaire (bobine 1) par une tension alternative sinusoïdale U_1 ,

aux bornes du secondaire (bobine 2). Un voltmètre indique une tension alternative U_2 différente de U_1 . La bobine B_1 étant parcourue par un courant alternatif, cette dernière produit dans

le circuit magnétique un champ d'induction magnétique alternatif, dont les lignes de force canalisées par le fer doux traversent la bobine B_2 , donc il y a un flux d'induction qui varie dans le secondaire, donc une F.E.M d'induction dans cette bobine, et aux bornes du secondaire, il apparaît une tension alternative de même fréquence.

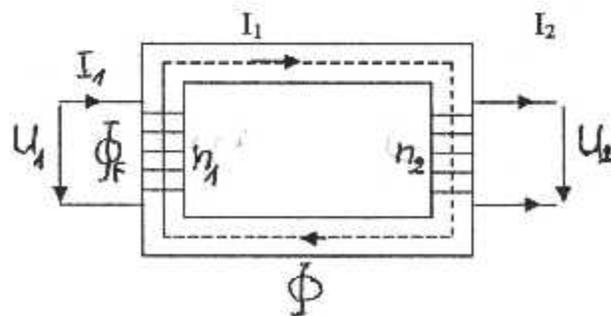


Figure I-2- Marche à vide d'un transformateur

L'enroulement qui se trouve à l'entrée d'un transformateur et qui est appelé **primaire**, est alimenté par une source de tension alternative. C'est aussi le récepteur du transformateur. L'enroulement qui se trouve à la sortie du transformateur est appelé **secondaire**

C'est entre ses bornes que nous branchons les appareils que nous utilisons, donc le **secondaire** d'un transformateur est un générateur.

Théoriquement, le transformateur est réversible, car il peut fonctionner en

abaisseur (de 3000V à 220V), ou en **élévateur** (de 220V à 3000V), mais que la chute de tension existe, le mode de fonctionnement du transformateur est déterminé à la fabrication (on trouve cette indication dans chaque plaque signalétique collée sur le transformateur par le fabricant).

1-6-4 Rapport de transformation :

Chaque transformateur a un rapport de transformation, qui est :

$$m = U_1/U_2 = N_1/N_2 = I_2/I_1$$

N : indique le nombre de spires

1-6-5 Rendement de transformateur :

En charge, la puissance P_2 recueillie aux bornes secondaires n'est pas égale à toute la puissance absorbée par le primaire, $P_1 > P_2$, cette différence $P_1 - P_2$ se provient des pertes dans le fer, hystérésis et courant de faucourt) et des pertes par effet joule dans les deux enroulements, bien que ces enroulements soient peu résistants, les pertes par effet joule sont de l'ordre de 1%,

Le rendement d'un transformateur est en général déterminé par la méthode des pertes séparées :

$$\mu = P_2 / (P_1 + \text{pertes (fer + joule)})$$

Et pour des transformateurs de grande puissance il est supérieur à 97%. Le rendement est maximal lorsque les pertes fer sont égales aux pertes joule.

1-6-6 Equations générales de fonctionnement :

Pour faire la mise en équation d'un transformateur, nous considérons qu'il est linéaire

c'est à dire que les flux créés dans le noyau sont proportionnels aux courants qui traversent les bobines, ou encore que la courbe de magnétisation du noyau est assimilable

à une droite (transformateur non saturé et perte nulle).

a- Equations de volts :

Dans ces conditions, considérons deux bobinages (figure I-3)

Et adoptant comme sens positif du courant secondaire I_2 , un sens tel que la tension $(V_A - V_B)$ soit positif lorsque la tension V_1 aux bornes de la source primaire est positif, on obtient ainsi :

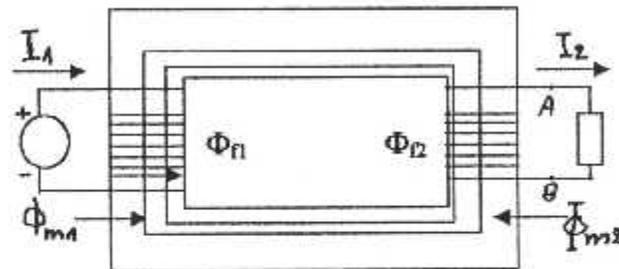


Figure-I-3-convention pour la mise en équation

chaque bobine produit un flux propre Φ_1 ou Φ_2 , Φ_{m1} ou Φ_{m2} représente un flux de fuite

$$\begin{cases} \Phi_1 = \Phi_{m1} + \Phi_m \\ \Phi_2 = \Phi_{m2} - \Phi_m \end{cases} \quad (1)$$

Avec les conventions de la (figure-I-3) le flux mutuel (commun) aux deux circuits est égal à la différence entre les flux de magnétisation :

$$\Phi_m = \Phi_{m1} - \Phi_{m2}$$

Et les flux totaux qui traversent à chaque instant les circuits sont :

$$\begin{cases} \Phi_{1t} = \Phi_1 + \Phi_m = \Phi_{m1} - \Phi_{m2} \\ \Phi_{2t} = \Phi_2 - \Phi_m = -\Phi_{m2} + \Phi_{m1} \end{cases} \quad (2)$$

D'après la loi de Faraday sur les F.E.M induites. Et en désignant par R_1 et R_2 les résistances des bobines, les tensions électriques aux bornes sont définies par :

$$\begin{cases} V_1 = R_1 I_1 + N_1 (\partial \Phi_{1t} / \partial t) \\ V_2 = R_2 I_2 + N_2 (\partial \Phi_{2t} / \partial t) \end{cases} \quad (3)$$

b- Equation de tension avec les inductances propres et mutuelles :

Utilisons tout d'abord la 2^{ème} formule des flux ϕ_{1t} et ϕ_{2t} définis

Par les équations (1) et remplaçons – les par les courants au moyen des relations de définition

des inductances propres et mutuelles. On obtient ainsi :

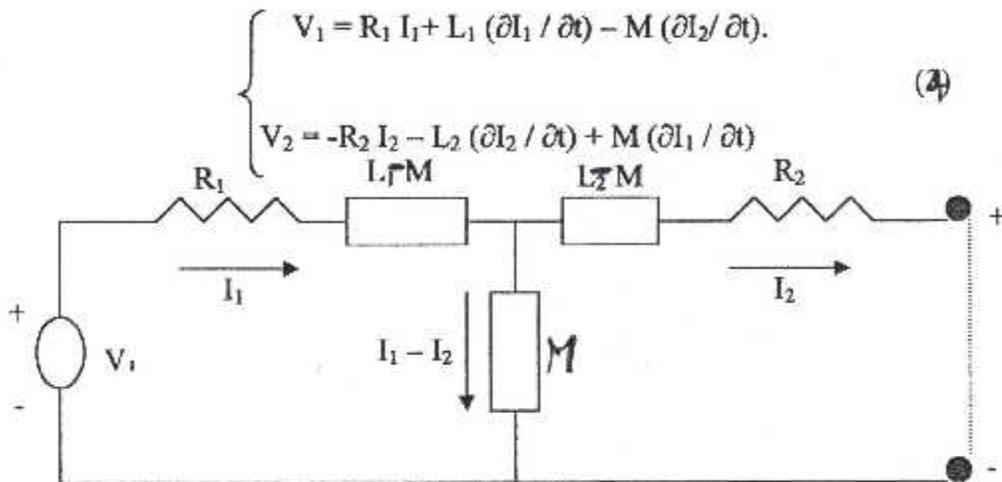


Figure-I-4- : circuit équivalent à un transformateur avec inductance
Propre et mutuelle

Cette première forme des équations de tension est plutôt utilisé dans la théorie des circuit, ou on représente un transformateur par un circuit équivalent en T tel que celui qui est dessiné (fig-I-1-).

C- Equation de tension avec les inductances de fuite :

Utilisons la première formule des flux totaux Φ_1 et Φ_2 des équations (1), en introduisant les inductances de fuite :

$$\begin{cases} V_1 = R_1 I_1 + L_1 (\partial I_1 / \partial t) + N_1 (\partial \phi_m / \partial t). \\ V_2 = -R_2 I_2 - L_2 (\partial I_2 / \partial t) + N_2 (\partial \phi_m / \partial t) \end{cases} \quad (5)$$

Les quantités $e_1 = N_1 (\partial \phi_m / \partial t)$ et $e_2 = N_2 (\partial \phi_m / \partial t)$ qui apparaissent

deuxième membres appelées F.E.M de transformation dues aux flux mutuel, sont telles que leur rapport est égale au rapport de transformation

$$m = N_1 / N_2 = e_1 / e_2.$$

D- Equation d'hopkinson :

Si N_1 le nombre de spires d'enroulements primaire ;

N_2 le nombre de spires d'enroulement secondaire ;

I_1 et I_2 représentent respectivement les courants primaire et secondaire ;

Il en résulte la relation d'hopkinson qui dit :

$$N_1 I_1 + N_2 I_2 = R \Phi_m.$$

I-7 Transformateur parfait :

On appelle transformateur parfait un transformateur idéal qui représente

§ouvent une bonne approximation d'un transformateur réel, et qui correspond aux trois simplifications suivantes :

a- Réluctance du noyau nulle ($R=0$) :

Cela devient à considérer que le courant de magnétisation I_m et que

la courbe de magnétisation $B(H)$ du noyau est telle que celle qui est représentée sur la (figure-I-5-) (le champ est nul dans le noyau).

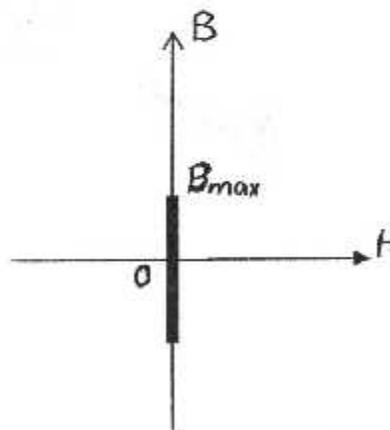


Figure-I-5- courbe de magnétisation d'un transformateur parfait.

b- Résistance des bobines nulles ($R_1=R_2=0$)

Cela signifie que les pertes joules dans les enroulements sont nulles

$$P_j = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = 0$$

c- Aucune fuite de flux magnétique ($L_1=L_2=0$) :

Les indications de fuite sont supposées nulles, et le flux commun est par conséquent égale à la différence (avec nos conventions) entre les flux, ϕ_1 et ϕ_2 produit par les deux circuits.

$$\phi_{f1} = \phi_{f2} = 0 \rightarrow \phi_m = \phi_1 - \phi_2.$$

A partir de ces trois conditions on peut écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 I_1 - N_2 I_2 = 0. \\ V_1 = e_1 = N_1 (\partial \phi_m / \partial t). \\ V_2 = e_2 = N_2 (\partial \phi_m / \partial t). \end{array} \right. \quad (6)$$

Soit :

$$V_1 / V_2 = I_2 / I_1 = m.$$

cas d'un abaisseur

Ainsi un transformateur parfait fonctionne avec un rendement de 100%, de telle sorte que la tension secondaire soit divisée par le rapport de transformation, que le courant secondaire soit multiplié par ce rapport, et que les facteurs de puissances $\cos \phi_1$ et le $\cos \phi_2$ soient égaux. Le diagramme des phaseurs, en supposant que le secondaire alimente une impédance Z_2 de facteur de puissance $\cos \phi_2$ est représenté sur figure -1-6-

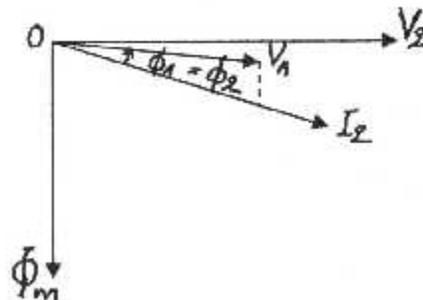


Figure -1-6- diagramme d'un transformateur parfait.

L'équation de phaseur du secondaire est : $V_2 = Z_2 I_2$. Donc d'après (6) on a :

$$V_1 = m^2 Z_2 I_2$$

Cette dernière montre que, vu du côté primaire le transformateur parfait se comporte comme une simple impédance $m^2 Z_2$. Cela signifie par conséquent qu'on peut supprimer un transformateur parfait d'un circuit, en multipliant l'impédance secondaire par le carré du rapport de transformation.

I-8 Circuit équivalent «ramené au primaire» :

Il est très utile, dans l'étude d'un transformateur, de le remplacer par un circuit électrique équivalent dont les diverses impédances représentent séparément les diverses pertes de fonctionnement, un tel circuit sera dit référé ou ramené à un des coté du transformateur, parce que les tensions à ses bornes ne représenteront plus directement les tensions aux bornes du transformateur. Pour obtenir un tel circuit, choisissons de ramener le transformateur à son primaire. Les tensions et les courants aux quatre bornes du schémas représenté si-dessous sont tel que :

Tension aux bornes primaire = e_1 ;

Courant primaire = I_2 / m ;

Tension aux bornes secondaire = e_1 / m ;

Courant secondaire = I_2 .

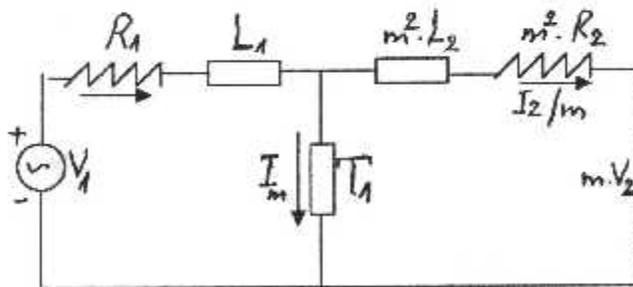


Figure-1-7- circuit équivalent ramené au primaire.

Ce circuit met directement en évidence les différentes pertes qui interviennent dans le transformateur : Les résistances R_1 et $m^2 R_2$ correspondent aux pertes joules

$R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$ dans les bobines elles introduisent une chute de tension primaire V_1 , et la tension secondaire ramené au primaire mV_2 . L'inductance de magnétisation T_1 ,

correspond à la circulation du courant de magnétisation I_m c'est à dire à un fraction du courant qui sert à magnétiser le noyau.

Les inductances de fuite L_1 et $m^2 L_2$ correspond aux fuites de flux dans l'air ; elles introduisent une chute de tension réactivée entre la tension primaire V_1 et la tension secondaire ramenée au primaire $m V_2$.

I-8-1 Circuit simplifié et diagramme de kappe :

Dans la pratique, les noyaux de transformateur sont constitués de Plaques d'acier au silicium à grains orientés. Dont la réluctance est très faible, cela signifie que le courant de magnétisation I_m est également très faible ($I_m = R\phi_m / N_1$).

On peut alors faire une étude approchée, en négligeant I_m , mais sans négliger les pertes internes dues aux bobines elles-mêmes (résistances et inductance de fuite).

En négligeant la branche de magnétisation, ou circule le courant I_m . Dans le circuit de (figure-7-) on obtient le circuit simplifié dessiné (figure-I-8-) constitué d'une simple impédance en série entre le primaire V_1 et le secondaire ramenée au primaire $m V_2$. Dans ce circuit R_p et X_p désignent les résistances et réactances équivalente ramenée au primaire c'est à dire inclus le secondaire multiplié par m^2 :

$$\begin{cases} R_p = R_1 + m^2 R_2 \\ X_p = w(L_1 + m^2 L_2) \end{cases}$$

Pour un débit du transformateur sur une charge de facteur de puissance $\cos\phi_2$ quelconque.

Le diagramme correspondant est celui de la (figure-I-8-) ou on voit que la présence du transformateur se traduit simplement par une chute de tension entre le primaire V_1 et le secondaire ramenée au primaire $m V_2$ et aussi par une petite modification du facteur de puissance ($\phi_1 \neq \phi_2$).

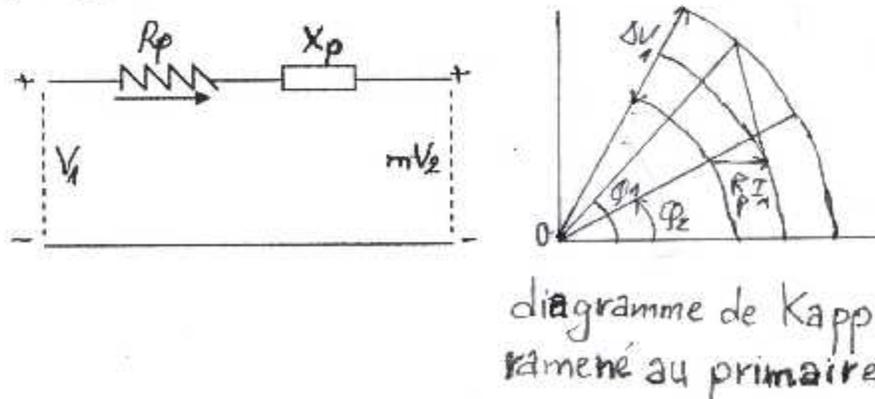


Figure-I-8- circuit équivalent simplifié ramené au primaire.

Un tel diagramme, appelé diagramme de kapp, est très pratique parce qu'il permet une comparaison directe de phaseurs de même grandeur ; V_1 et $m V_2$.

I-8-2 Chute de tension de résistance et chute de tension de réactance :

Avec la représentation de la (figure-I-8-), on voit qu'un transformateur introduit dans un réseau une chute de tension de résistance et une chute de tension de réactance respectivement définies par :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{R1} = R_p I_1 \\ V_{X1} = X_p I_1 \end{array} \right.$$

Comme ces valeurs dépendantes du côté auquel le transformateur, on préfère les définir en % de la valeur nominale de tension correspondante :

$$V_R \% = 100 R_p I_1 / V_1$$

$$V_X \% = 100 X_p I_1 / V_1$$

Remarque:

Nous avons choisi, dans ce qui précède, de ramener le transformateur à son primaire

On aurait tout aussi bien le ramener à son secondaire et les résultats obtenus auraient été similaires exprimés en %. Pour préciser ce point, représentant le circuit équivalent ramener au secondaire (figure-I-9-), et le diagramme correspondant (figure-I-10-).

Les résistances et les réactances équivalentes ramenées au secondaire valent :

$$\left\{ \begin{array}{l} R_s = R_1 / m^2 + R_2 = R_p / m^2 \\ X_s = w(L_1 / m^2 + L_2) = X_p / m^2 \end{array} \right.$$

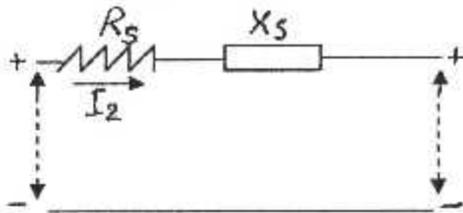


Figure-I-9-circuit équivalent simplifié ramené au secondaire.

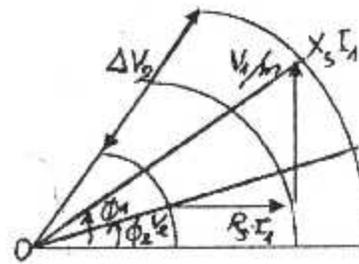


Figure-I-10-diagramme de kapp ramené au secondaire.

Les chutes de tension de résistances et de réactances sont respectivement :

$$\begin{cases} V_{R_s} = R_s I_2 = V_{R_1} / m. \\ V_{X_s} = X_s I_2 = V_{X_1} / m. \end{cases}$$

Néanmoins : en valeurs relatives en % les chutes sont inchangées, En effet :

$$\begin{cases} V_r = 100 R_p I_1 / V_1 \\ V_x = 100 X_p I_1 / V_1 \\ R T \% = 100 (V_1 - m V_2) / V_1. \end{cases}$$

I-9 Détermination des paramètres par essais :

Lorsqu'on ne dispose pas des données de fabrication on peut déterminer les paramètres et les différentes pertes qui interviennent dans un transformateur au moyen d'essais. Notons tout d'abord que, bien qu'un transformateur soit utilisé en courant alternatif uniquement, on peut mesurer directement les résistances de chacun de ses enroulements, en y envoyant un courant continu qu'on mesure, ainsi que la tension aux bornes, d'où $R = V / I$ (les diverses inductances sont nulles en continu). Cet essai est tout fois assez délicat (nécessité d'une tension très faible, vu les valeurs très faible des résistances, et erreur de mesure).

Les deux essais pratiques couramment effectués sont :

1- Un essai en circuit ouvert (à vide) ; qui détermine essentiellement les pertes fer dans le noyau, P_f et le courant de magnétisation, I_m .

2- Un essai en court-circuit ; qui détermine essentiellement les résistances et les réactances de fuite (les chutes de tension de résistances et réactances), ainsi que la régularisation de la tension et les pertes joules.

I-9-1 Essai en circuit ouvert :

Dans cet essai, on laisse le secondaire en circuit ouvert, et on alimente le primaire sous sa tension nominale. On lit les indications des trois instruments

Puissances : P_{c0}

Tension : V_{c0}

Courant : I_{c0}

Le transformateur ne débutant pas, le courant I_{c0} qui circule dans le primaire se réduit au courant de magnétisation I_m ; il est par conséquent très faible. Dans ces conditions, on peut admettre que la résistance R_1 et l'inductance de fuite L_1 du primaire n'introduisent pas de pertes appréciables, en les négligeant, on en déduit que les seules pertes de puissance active mesurées par le wattmètre, sont les pertes par hystérésis et courant de Foucault dans le fer ;

$$P_0 = P_{FER}$$

On peut également obtenir ce résultat en considérant le circuit équivalent au primaire tel que représenté sur la figure-I-11-

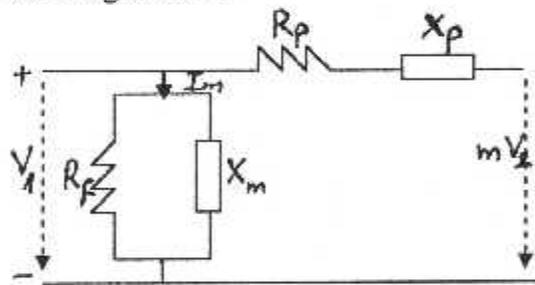


Figure-I-11- circuit équivalent modifié

Le secondaire étant en circuit ouvert, on a :

$$I_2 / m = 0.$$

$$I_1 = I_m = I_{c0}$$

Le facteur de puissance déduit des valeurs mesurées est :

$$\cos \phi_{c0} = P_{c0} / V_{c0} I_{c0} .$$

Et on peut calculer les paramètres R_f et X_m du circuit par :

$$\left\{ \begin{array}{l} R_f = V_{c0}^2 / P_{c0} \\ X_m = V_{c0} / I_{c0} \sin \phi_{c0} \end{array} \right.$$

I-9-2 Essai en court-circuit :

Dans cet essai on met le secondaire en court-circuit et on alimente le primaire par une tension très faible (de l'ordre de 5 à 10% de la tension nominale). On lit les indications des trois instruments ;

Puissances : P_{cc} ;

Tension : V_{cc} ;

Courant : I_{cc} .

La tension d'alimentation étant très faible, on peut maintenant négliger les pertes dans le fer, ou encore branche de magnétisation dans le circuit de la figure-I-10-

En effet les pertes fer sont proportionnelles au carré de l'inductance maximale dans le noyau. Et l'induction maximale est à peu près proportionnelle à la tension d'alimentation, sous tension réduite d'un facteur 10 par exemple, les pertes fer seront donc réduites d'un facteur 100 environ.

On suppose donc que : $I_m = 0$, $V_2 = 0$

Le facteur de puissance se réduit des mesures :

$$\cos\phi_{cc} = P_{cc} / V_{cc} I_{cc}$$

Et on peut calculer R_p et X_p par :

$$\begin{cases} R_p = R_1 + m^2 R_2 = P_{cc} / I_{cc}^2 ; \\ X_p = X_1 + m^2 X_2 = V_{cc} \sin\phi_{cc} / I_{cc}. \end{cases}$$

I-10 Transformateurs triphasés :

Pour alimenter un réseau triphasé, on peut utiliser trois transformateurs

Monophasés indépendants, dont les raccordements extérieurs dépendent de type de montage, étoile ou triangle, et dans ce cas il n'y a aucun circuit magnétique commun aux trois phases.

Par souci d'économie, on peut utiliser également un seul circuit magnétique, et dans ce cas, le primaire et le secondaire de chaque phase sont bobinés autour d'une même colonne (figure -I-12-)

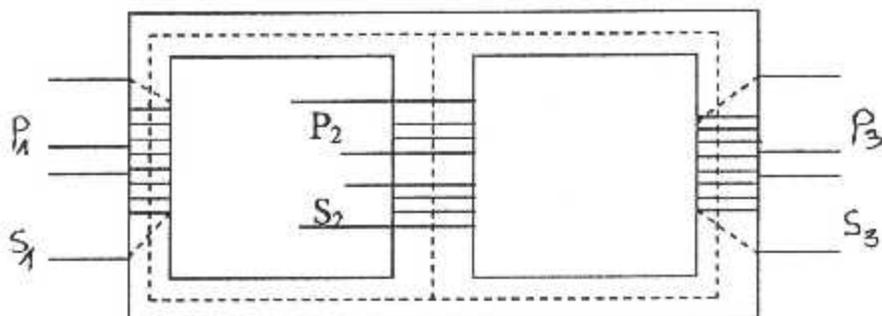


Figure I-12- transformateur triphasé à un carcasse magnétique.

Normalement, les flux ϕ_1 , ϕ_2 et ϕ_3 qui circule dans chaque colonne constituent un système équilibré, de telle sorte que $\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = 0$. chaque instant, on peut alors utiliser une carcasse du type représenté si dessus à trois colonnes seulement.

I-10-1 Généralités sur les systèmes étoiles et triangles :

Les réseaux de distribution triphasé sont ordinairement connectés soit en étoile soit en triangle, selon le type de charge et la puissance débitée. Nous résumerons ci-dessous les importantes de ces deux types de connexion pour des systèmes supposée équilibrés.

1- Systèmes étoiles :

Consiste en un ensemble de trois tensions représentées schématiquement et connectées comme sur la figure-1-13 . pratiquement ce seront F.E.M de transformation dans des secondaires de transformateurs, ou des F.E.M de vitesse dans des enroulements d'alternateur.

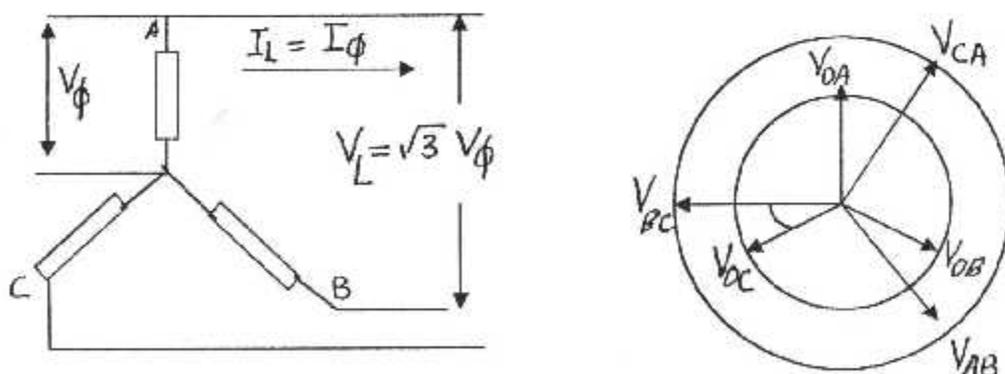


Figure I-13- : système étoile.

On désigne par V_ϕ la valeur efficace des tensions de phases, celles-ci sont représentées par des grandeurs variables que :

$$\begin{cases} V_{ca} = \sqrt{2} V_{\phi} \sqrt{3} \cos (wt - \pi / 6) ; \\ V_{ab} = \sqrt{2} V_{\phi} \sqrt{3} \cos (wt - 5\pi / 6) ; \\ V_{bc} = \sqrt{2} V_{\phi} \sqrt{3} \cos (wt + \pi / 2) . \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{aligned} V_L &= \sqrt{3} V_{\phi} \\ I_L &= I_{\phi} \end{aligned}$$

On utilise quelques des systèmes triphasés étoile avec un fil neutre (distribution à quatre fils), parce que celui-ci peut jouer un rôle lors d'un déséquilibre du réseau. Si ce fil existe, il n'est par aucun courant lorsque le système est équilibré.

2- Systèmes triangles :

\mathcal{R} Est constitué par un ensemble de trois tensions connectées comme indiqué sur le schémas si-dessous (figure-I-14). Il devient dans ce mode, connexion des tensions de ligne(entre A_1 et B_1 , entre C_1 et A_1) sont égale aux tensions de phase (entre A et B, entre C et A et entre B et C). ce sont maintenant les courants qui dans le rapport $\sqrt{3}$ et déphasé.

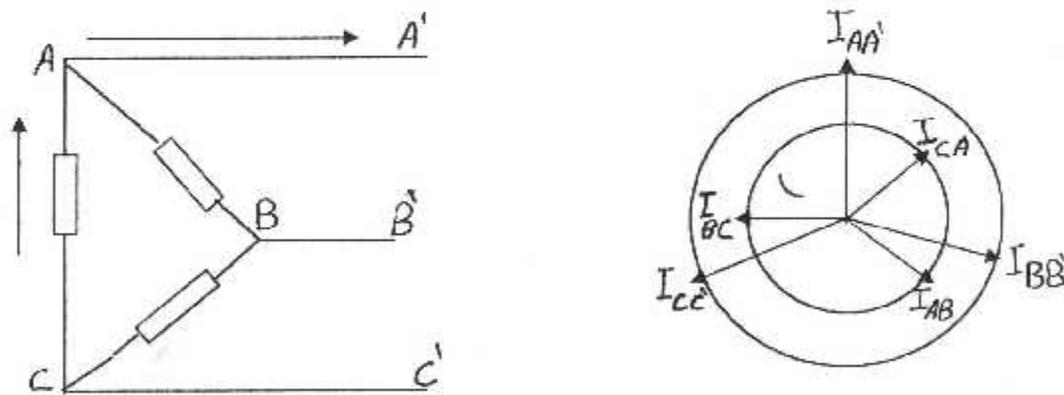


Figure -I-14-système triangle.

En effet les courant de phase. sont des grandeurs variables tel que ;

$$\begin{cases} I_{aa1} = \sqrt{2} I_{\phi} \sqrt{3} \cos (wt + \pi/6) ; \\ I_{bb1} = \sqrt{2} I_{\phi} \sqrt{3} \cos (wt - \pi/2) ; \\ I_{cc1} = \sqrt{2} I_{\phi} \sqrt{3} \cos (wt + 5\pi/6) . \end{cases}$$

Avec :

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

$$V = V_\phi$$

En ce qui concerne la puissance, on peut démontrer qu'un réseau triphasé équilibré se comporte comme la superposition de trois réseaux monophasés, en désignant I_ϕ et V_ϕ les courants et les tensions de phase, et ϕ leur déphasage qui dépend de la charge, On a : $P = 3 I_\phi V_\phi \cos\phi$. On peut écrire cette formule sur la forme équivalente qui est valable que soit le montage triangle où étoile :

$$P = \sqrt{3} I_L V_L \cos\phi.$$

I-10-2 Montages usuel des transformateurs triphasés :

Les transformateurs triphasés, qu'il s'agisse de transformateur à une seule carcasse

Magnétique ou non, peuvent être branchés de diverses manières, selon que les primaires et les secondaires sont en étoile ou en triangle. Il existe quatre possibilités courantes de branchement des transformateurs triphasés :

Etoile – étoile ;

Etoile – triangle ;

Triangle – triangle ;

Triangle – étoile.

I-10-3 Avantages et inconvénients des deux montages :

1) Dans un montage triangle en cas de déséquilibre produit par les abonnés un courant de circulation entre les trois phases peut provoquer un échauffement très important de transformateur.

2) L'abonné (l'usagé) ne dispose dans un montage triangle que de trois fils c'est à dire une seule tension triphasée par contre dans le montage étoile, on dispose de deux tensions.

Chapitre II : Les composants électroniques

II- Introduction :

Pour des raisons économiques (coût des installations qui augmente avec la tension, pertes en ligne qui diminue avec la tension) l'énergie électrique doit être délivrée à une tension qui dépend de la tension de transport, aussi est- on amené à modifier constamment cette tension. Or, le courant alternatif se prête facilement à cette modification grâce au transformateur qui est un appareil simple et de rendement élevé. C'est pourquoi l'énergie électrique est toujours délivrée sous la forme de courant alternatif.

L'utilisateur en revanche a très souvent besoin de courant continu, tension de repos d'appareils électriques, charge de batteries, commande de moteurs à vitesse variable pour obtenir cette transformation de l'alternatif en continu, on utilise une alimentation qui peut comporter soit des simples diodes si la tension délivrée est fixe, soit des thyristors si cette tension est réglable.

II-1 diodes :

Il existe deux types des diodes

II-1-1 diode à jonction :

Dans le sens bloquant, le courant de saturation ne dépasse pas quelques micro-ampère, alors que dans le sens passant la chute de tension demeure toujours inférieurs à deux volts.

Ainsi la résistance interne dans le sens inverse est elle très élevée ($r_i \rightarrow \infty$)

Par contre dans le sens direct elle demeure très faible ($r_d =$ quelques ohms dans le régime variable on peut la calculer en fonction de point de repos choisi, on a :

$$I = I_s \left[\exp v/n v_t - 1 \right] \approx I_s \exp v/nv_t \quad (n=1)$$

Avec $v_t = kt/e = 25\text{mv}$ à $t = 27^\circ\text{c}$

On a $r_d(\Omega) = \Delta v/\Delta i = n v_t/I = 25/I$

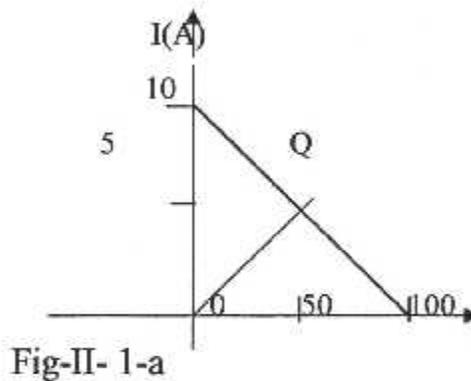
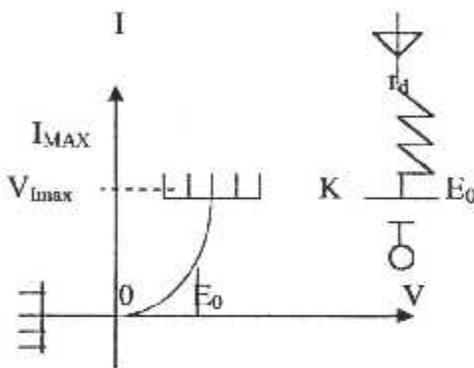


Fig-II- 1-a

II-1-2 Diode ideale:

La caractéristique courant-tension d'une diode parfaite est constituée de deux segments rectilignes confondue avec les axes (figure-II-1-b). le premier segment est limité par le courant I_{max} qui débite la diode. Le deuxième segment est limité par la tension V_{max} qui supporte la diode, son circuit équivalent est représenté par un petit triangle qui a la forme d'une flèche ouverte dans le sens passant.

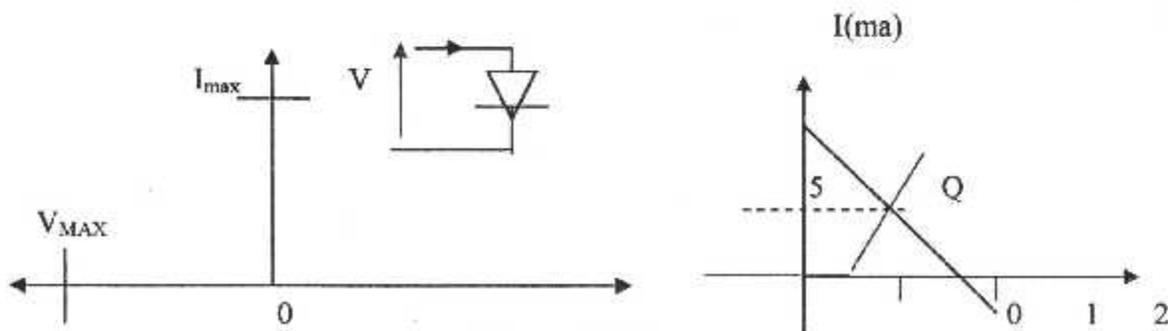


Figure :II-1-b

II-2- Thyristors :

Le thyristor a la même caractéristique que la diode à jonction, mais il possède une électrode supplémentaire appelée gâchette permettant de l'amorçage c'est pourquoi on le désigne également sous le nom de diode commandé. Le courant nécessaire à l'amorçage est de quelques ampère avec une durée minimale de quelques microsecondes ; aussi pour réduire la consommation d'énergie à la commande a-t-on intérêt à utiliser des impulsions très brèves.

Le thyristor se comporte comme un interrupteur presque parfait si est d'environ un volt ,par ailleurs, il est important de rappeler que si une impulsion positive de gâchette permet la fermeture de l'interrupteur une impulsion négative ne permettrait pas d'ouvrir ce même interrupteur, l'ouverture ne pouvant intervenir que si la tension d'alimentation descend au dessous de seuil de la diode commandée (soit $E_0 = 1V$) en conséquence, si le thyristor a peu d'intérêt en courant continu il est en revanche, très utilisé en courant alternatif ,la gâchette représente son rôle de commande à chaque période

II-2-1 principe de thyristor :

le thyristor encore appelé SCR (silicon controlled rectifier) est une diode p-n-p-n (figure II -2-a-) don't on peut le déclenchement grace a la presence d'une electrode supplémentaire que l'on appelle gachette, dans le schémas il est représenté son symbole (figure II-2-b-).

Pour expliquer son fonctionnement, il est pratique de considérer que ce système est équivalent à l'assemblage de deux transistors qui seraient branchés dos à dos, l'un de type p-n-p, l'autre de type n-p-n le deuxième transistor à sa base directement reliée à la gâchette tandis que son collecteur est en liaison directe avec la base du premier transistor (figure-II-2-e)

Considérons le cas d'une alimentation d'un thyristor en courant continu (figure-II-2-f). La tension d'alimentation E est alors appliquée au circuit anode-cathode par l'intermédiaire d'un interrupteur K_1 et de la charge (assimilée à une résistance pure).

Par ailleurs, une partie de cette tension peut être appliquée à la gâchette par l'intermédiaire d'un interrupteur K_2 et pont R_1 - R_2 . L'interrupteur K_1 étant fermé, tandis que l'interrupteur K_2 est ouvert.

Le thyristor fonctionne comme une diode p-n-p-n. sa caractéristique étant alors connue (figure-II-c). le thyristor ne peut s'amorcer que si la tension d'alimentation est supérieure à la tension de déclenchement V_d (tension de plusieurs centaines de volts).

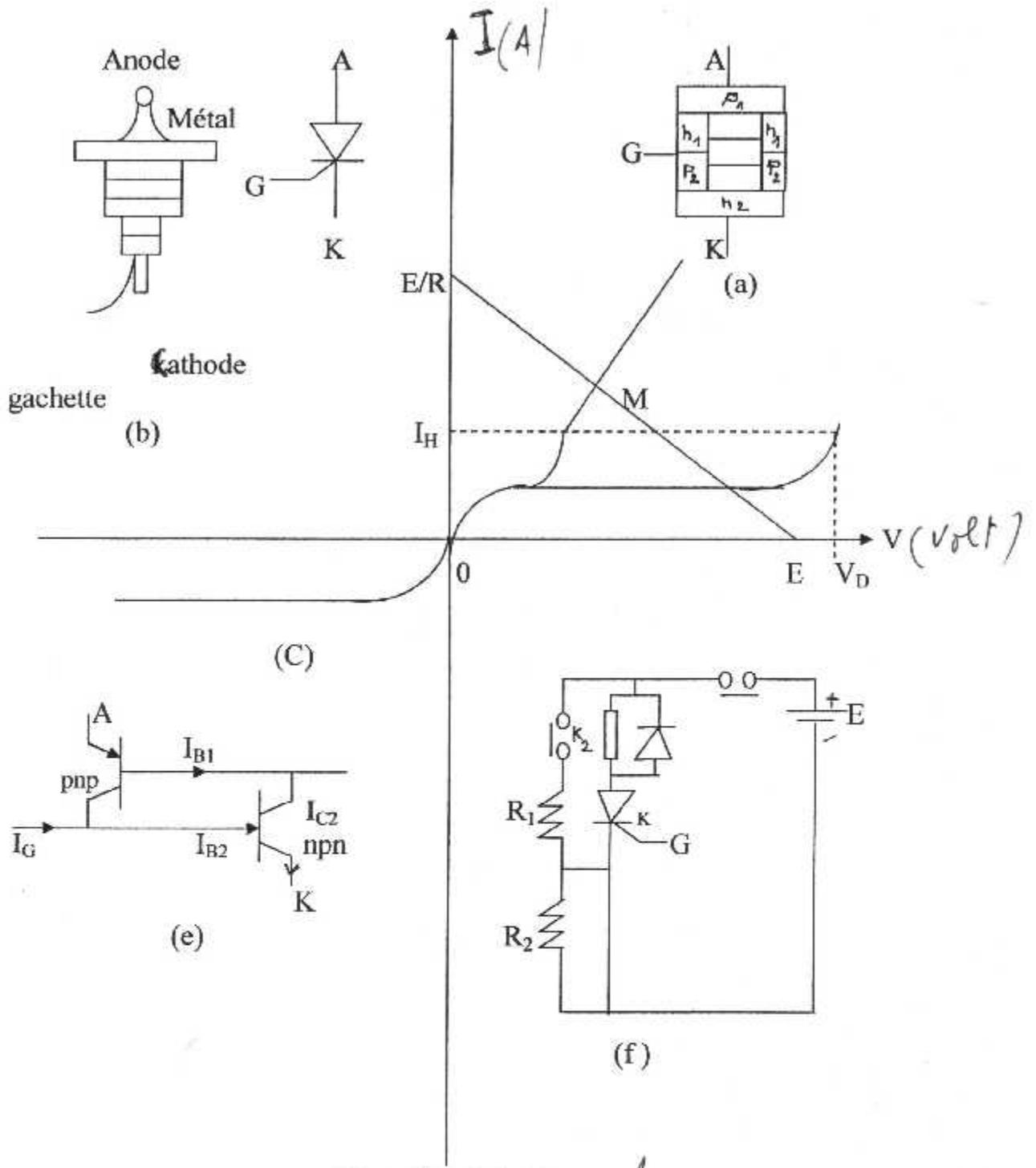


Figure-II-2-lethyristor

circuit a base de thyristor et sa caractéristique

L'interrupteur K_1 étant toujours fermée, si on ferme l'interrupteur K_2 un temps très court, ce qui revient à envoyer dans le circuit de gâchette une impulsion de courant. On constate que le thyristor s'amorce instantanément.

En effet, le courant de gâchette I_g qui correspond au courant de base I_{B2}

du transistor T_2 est amplifié par l'effet transistor de sorte que le courant du collecteur est :

$$I_{C2} = B_2 I_{B2} = B_2 I_g.$$

Le courant de collecteur T_2 sert de courant de base au transistor T_1 qui est amplifié à son tour :

$$I_{C1} = B_1 I_{C2} = B_1 B_2 I_g \quad \text{avec } B_1 B_2 \gg 1.$$

Le courant de collecteur I_{C1} , qui vient s'ajouter au courant I_g sera amplifié à nouveau. Il en résulte un phénomène de réaction positive qui provoquera le passage des transistors à l'état saturé. A ce moment le thyristor est amorcé (état passant), sa résistance interne devenant pratiquement nulle (de l'ordre de 0.01Ω).

Si l'impulsion de commande est supprimée, l'ensemble des deux transistors T_1 et T_2 reste à l'état passant. A condition que l'intensité dans le transistor demeure supérieure à une certaine valeur I_H (quelques μA seulement) appelée courant de maintien (holding en anglais).

II-3 Les transistors :

Les transistors sont des composants actifs fondamentaux. Réalisés avec des complexes de semi-conducteurs leur rôle est considérable. Ceux représentés sur la (figure-II-3-) sont des transistors bipolaires. Deux types de transistors complémentaires existent : les n.p.n (les plus répandus), et les p.n.p

L'électrode de base B parcourue par un faible courant I_B , sert de commande aux deux électrodes du circuit de puissance, le collecteur C (courant I_C) et l'émetteur E (Courant I_E) (figure-II-3-b).

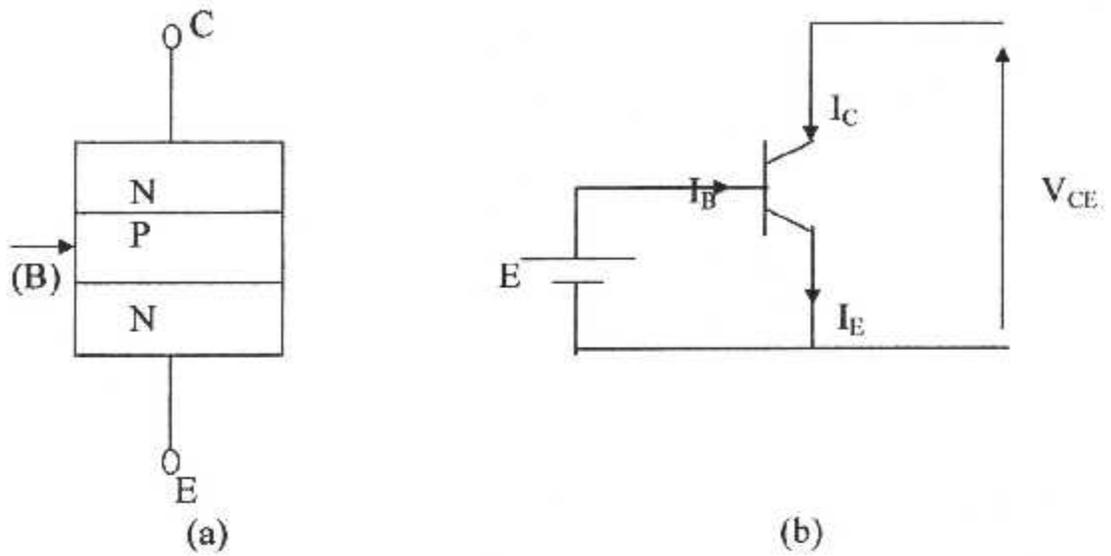
La source E fournit l'énergie à la charge. Avec un transistor deux cas de fonctionnement sont possibles :

1)- le courant de collecteur est proportionnel au courant de commande de base. Le coefficient de proportionnalité B est appelé «gain en courant en émetteur commun ».

Suivant les transistors, B peut avoir des valeurs comprises entre 50 et 500, ce qui explique l'effet d'amplification que l'on tire de ce composant. On voit

$$I_E = I_C + I_B \neq I_C, \text{ avec } I_C = B I_B.$$

2)- le transistor peut fonctionner en «tout ou rien » comme un relais.

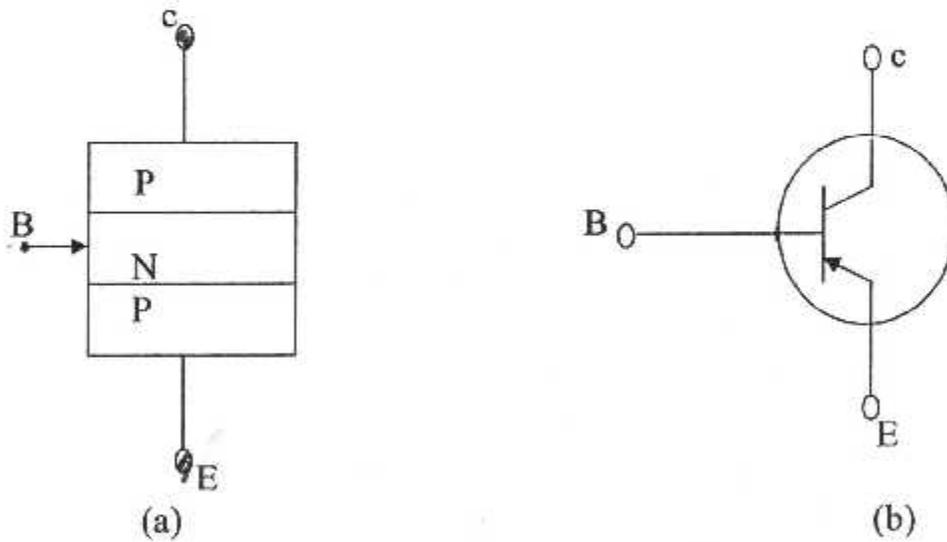


structure *à terme*

symbole avec les sens des courants.

figure -II-3: transistor *(n-p-n)*

(b)



Structure *interne*

Symbole

Figure-II-4- Transistor *(p-n-p)*

Un courant de base suffisant I_{BS} peut rendre le circuit interne collecteur-émetteur très proche d'un court-circuit, le courant I_C prend alors une valeur $I=I_{CS}$ maximum de l'ordre de E/R . L'annulation du courant de base annule quasiment instantanément le courant I_C : le transistor n'est plus conducteur.

Ces deux états :

- conducteur au maximum ;
- Non-conducteur

Sont communément appelés : « saturé » et « bloqué »;

Ce fonctionnement « en commutation », à la manière d'un interrupteur, est utilisé en calcul binaire et en électronique de puissance.

Il existe des transistors très petits de très faible puissance et des transistors dits « de puissance », qui sont capable de commuter des courants de l'ordre de la centaine d'ampères avec une tension de blocage V_{EC} de quelques centaines de volts.

Chapitre III : Le redressement

III- 1 Redressement d'une alternance (par diode) :

Le schéma est simple (figure III-1-a), il comporte une charge de résistance R , une alimentation sinusoïdal $V = V_M \sin \omega t$ et une diode

Comme la caractéristique d'une diode est assimilable à la courbe (figure-III-I-b), ce graphe comporte deux segments de droite limitée par l'intensité maximale I_M et par la tension inverse maximale V_{IM} (ou tension de claquage) que peut supporter la diode. En conséquence :

Une diode se comporte comme un interrupteur parfait qui se ferme quand la tension à ses bornes est positive et qui s'ouvre dès que le courant cesse de circuler. Quand la tension d'entrée est négative. La diode est évidemment bloquée (interrupteur ouvert) aussi l'intensité qui traverse la charge est-elle nulle. Dès que la tension devient positive, cette tension est intégralement appliquée aux bornes de la diode ($V = V_D$) puisque l'intensité est alors nulle aussi la diode se met-elle à conduire (interrupteur fermé) ce qui donne :

$$I = V / R = V_M \sin \theta / R \quad \text{tel que } \theta = \omega t$$

Ensuite dès que la tension devient nulle, l'intensité s'annule ce qui provoque le blocage de la diode (couverture de l'interrupteur).

Ainsi la diode se comporte-elle comme un interrupteur qui s'ouvre automatiquement à chaque période.

connaissant le graphe du courant on en déduit le graphe de la tension U_C aux bornes de la charge. On peut alors calculer la valeur moyenne de cette tension redressée que l'on peut assimiler à une tension continue :

$$U_C = U_{C\text{moy}} = 1 / 2\pi \int_0^\pi V_M \sin \theta \, d\theta ;$$

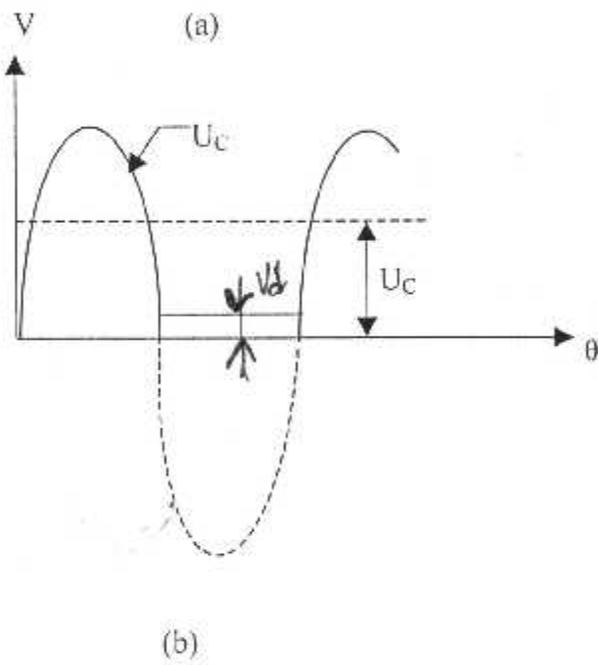
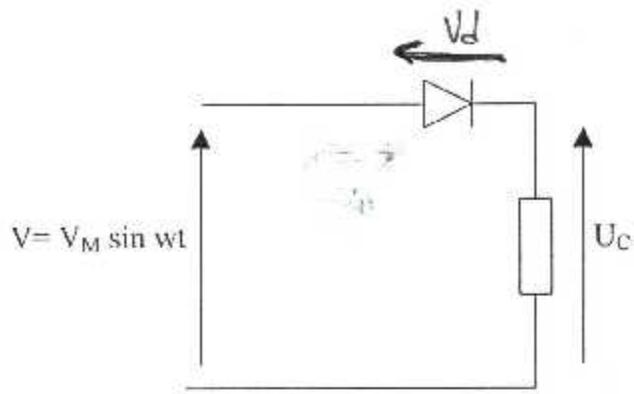
$$U_C = V_M / \pi$$

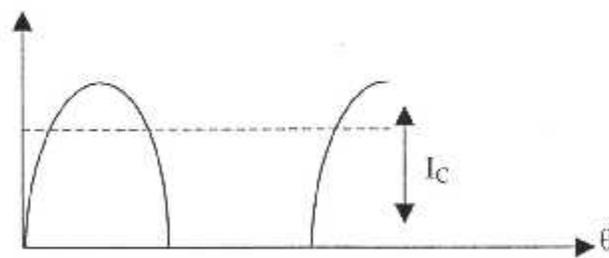
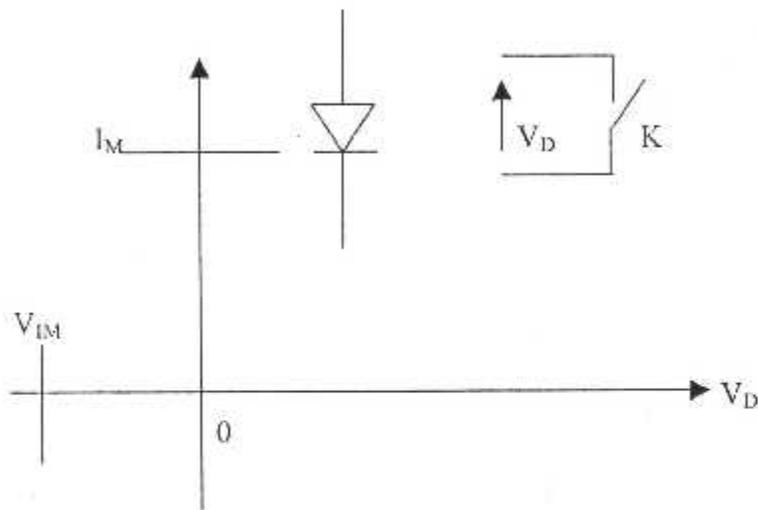
Cette tension fait circuler dans la charge une intensité de valeur moyenne :

$$I_{\text{moy}} = U_{C\text{moy}} / R.$$

Intensité que l'on peut assimiler à une intensité continue

$$I_C = U_C / R$$





(c)

Figure III :redressement d'une alternance (par diode)

- a) montage
- b) courbe d'onde
- c) graphe de la tension V_D aux bornes de la

charge.

Il est alors intéressant de noter que l'on aurait pu calculer cette intensité à partir de la valeur instantanée de l'intensité par la même méthode que celle utilisée pour le calcul de la tension.

On peut également représenter le graphe de la tension V_D aux bornes de la diode (figure-III-I-c). Cette tension est nulle quand la diode conduit alors qu'elle est égale à la tension d'alimentation ($V_D = V$ puisque $I=0$) quand la diode est bloquée ? dans ces conditions, la tension inverse maximale doit être supérieure à la tension maximale d'alimentation ($V_{IM} > V_M$) à fin d'éviter le claquage de la diode

III-2 Redressement d'une alternance (par un thyristor)

Concéderons un thyristor (figure -III- 2- a) que l'on commande par des impulsions qui interviennent à chaque période avec un retard θ_0 par rapport à la tension sinusoïdal ($e = E_M \sin\theta$ avec $\theta = \omega t$) insérer dans le circuit d'anode. Après l'amorçage. Le thyristor se comporte comme un interrupteur fermé et l'on a la relation :

$$E_M \sin\theta = R I + E_0 \text{ (avec } E_0 \approx 1V\text{)}$$

L'interrupteur s'ouvre à nouveau et le courant anode s'annule dès que la tension «e» est égale au seuil E_0 ce qui a lieu pour un angle d'extinction θ_1 très voisin de π_0 . On peut alors par une translation de l'axe des temps égale à E_0 obtenir la courbe :

$$R I = F(t).$$

Comme la résistance R est constante. Cette même courbe représente à une échelle convenable, la variation du courant anode soit :

$$I = F(t).$$

Dans la pratique. On peut négliger le seuil E_0 par rapport à la tension appliquée ce qui revient à considérer le thyristor comme un interrupteur parfait. Il est alors facile de calculer la valeur moyenne du courant. C'est à dire le courant continu redressé qui traverse la charge.

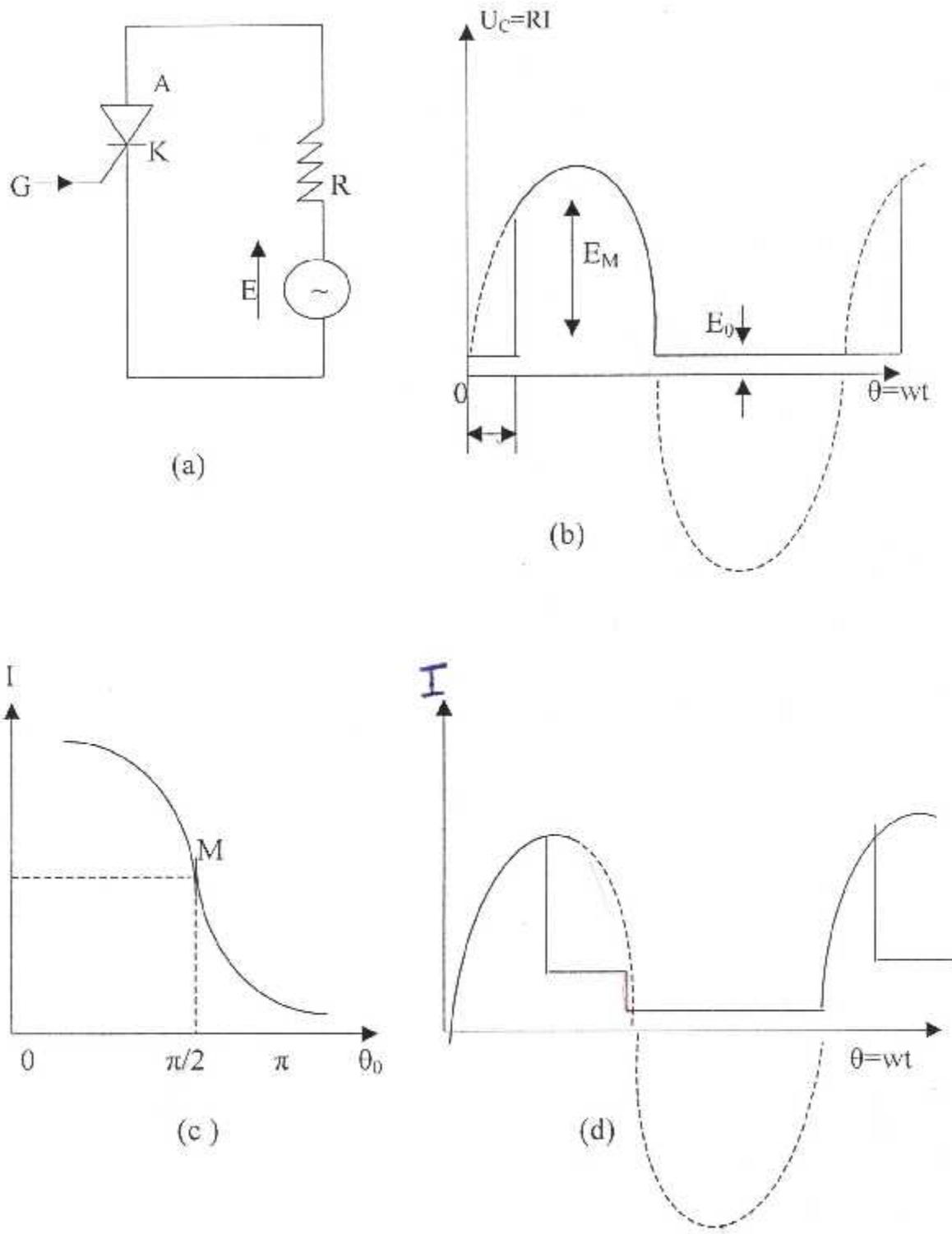


Figure -III- 2 : redressement d'une alternance (par thyristor)

On a :

$$I_c = I_{\text{moy}} = (1 / 2\pi) \int_{\theta_0}^{\pi} I \, d\theta = E_M / 2\pi R \int_{\theta_0}^{\pi} \sin\theta \, d\theta ;$$

$$I_c = (E_M / 2\pi R) (1 + \cos\theta_0).$$

Ce courant redressé que l'on assimile à un courant continu crée aux bornes de la résistance de charge une tension continue :

$$V_c = V_{\text{moy}} - R I_c = (E_M / 2\pi) (1 + \cos\theta_0).$$

Pour $\theta_0 = 0$ (amorçage au début de l'alternance) on retrouve la valeur

$V_{c0} = E_M / \pi$ obtenu avec un redresseur simple alternance à diode, soit

$$V_c = V_{c0} (1 + \cos\theta_0) / 2.$$

On peut alors représenter le graphe de la tension continue V_c en fonction de l'angle d'amorçage θ_0 , cet appareil qui permet de disposer d'une tension continue réglage est un variateur de tension

III- 3 Redresseurs monophasés en pont:

III-3- 1 redresseurs monophasés non commandés (toutes diodes) :

La (figure-III-3-1-a) représente la forme la plus simple du montage redresseur monophasé en pont. Ce schéma, bien qu'il se passe de toute explication et soit largement utilisé dans les schémas d'électronique, ne révèle pas au premier coup d'œil qu'il comporte deux redresseurs à une alternance en série, ni qu'il soit possible de tracer un schéma semblable pour les redresseurs triphasés. Un schéma différent (figure-3-1-b) du même redresseur montre deux redresseurs à une alternance en série, constituant le montage redresseur à deux alternances ; deux diodes à cathode reliées alimentent la charge et deux diodes à anodes reliées ramènent le courant de charge à l'autre ligne d'alimentation. Mais le schéma représenté à la (figure-III-3-1- b) est plutôt lourd, aussi lui préfère-t-on celui de la (figure-III-3-1-c) généralisable au triphasé.

L'élaboration des formes d'ondes des tensions requiert une référence.

A cet égard, on élabore les formes d'onde d'alimentation par rapport au point milieu N (figure-III-3-1-d) ce qui permet de comparer avec le redresseur simple alternance, comme on utilise habituellement un transformateur à deux

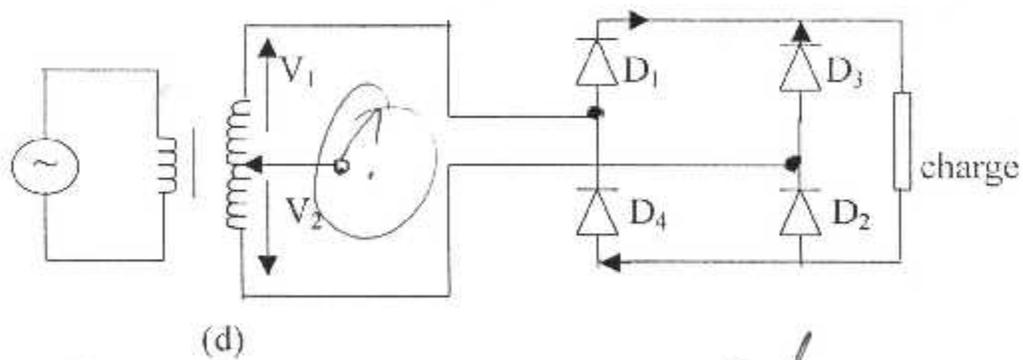
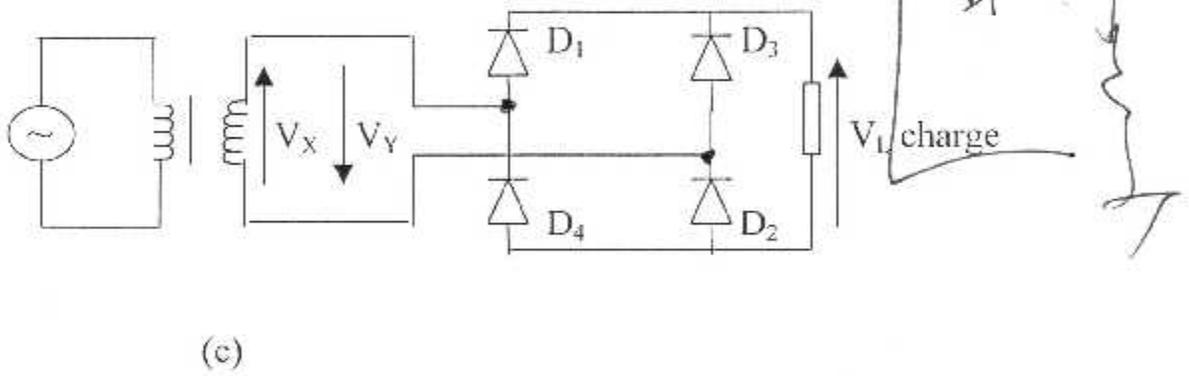
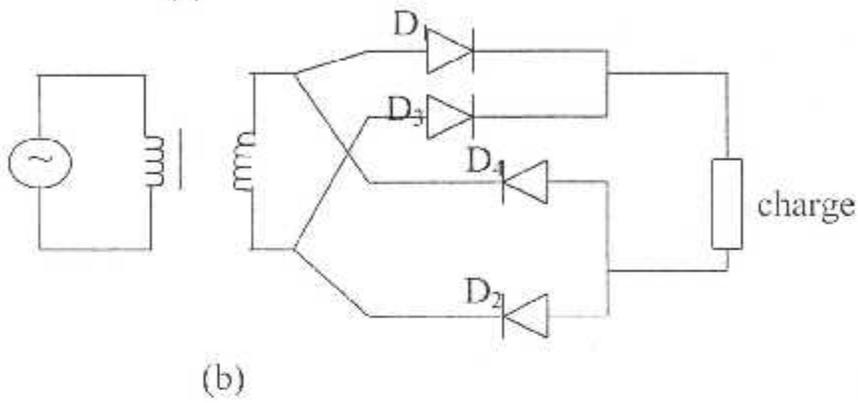
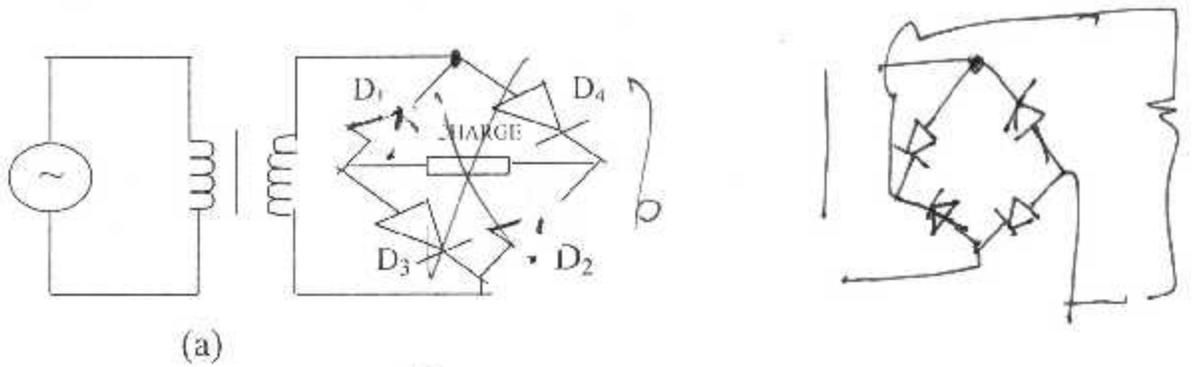
enroulements, aussi, à cet égard, est-il utile de considérer le redresseur représenté à la (figure-III-2-1-c) à tension d'alimentation V_x et V_y .

On élabore la tension de charge représentée à la (figure-III-2-1-c) en prenant les formes d'ondes des tension V_x et V_y lorsque chacune est positive ou en élaborant les tensions sur chaque borne de la charge par rapport au neutre N, leur différence étant la tension V_L de charge.

L'utilisation du neutre N montre que la tension de charge est la somme des tensions de deux redresseurs double alternance. La tension inverse V_{d1} de diode égale la valeur maximale de la tension d'alimentation, celle-ci étant seulement la moitié de celle de montage redresseur simple alternance, mais comme deux diodes conduisent toujours à tout instant, la chute de tension est doublée.

Les formes d'onde des courants des diodes et l'alimentation représentée à la (figure-III-2-1-e) sont identiques à celle du montage redresseur simple alternance.

La sortie est d'ondulation d'ordre deux, donc en ce qui concerne les comportement de charge et d'alimentation, le montage redresseur en pont est semblable au redresseur biphasé simple alternance.



incomplet

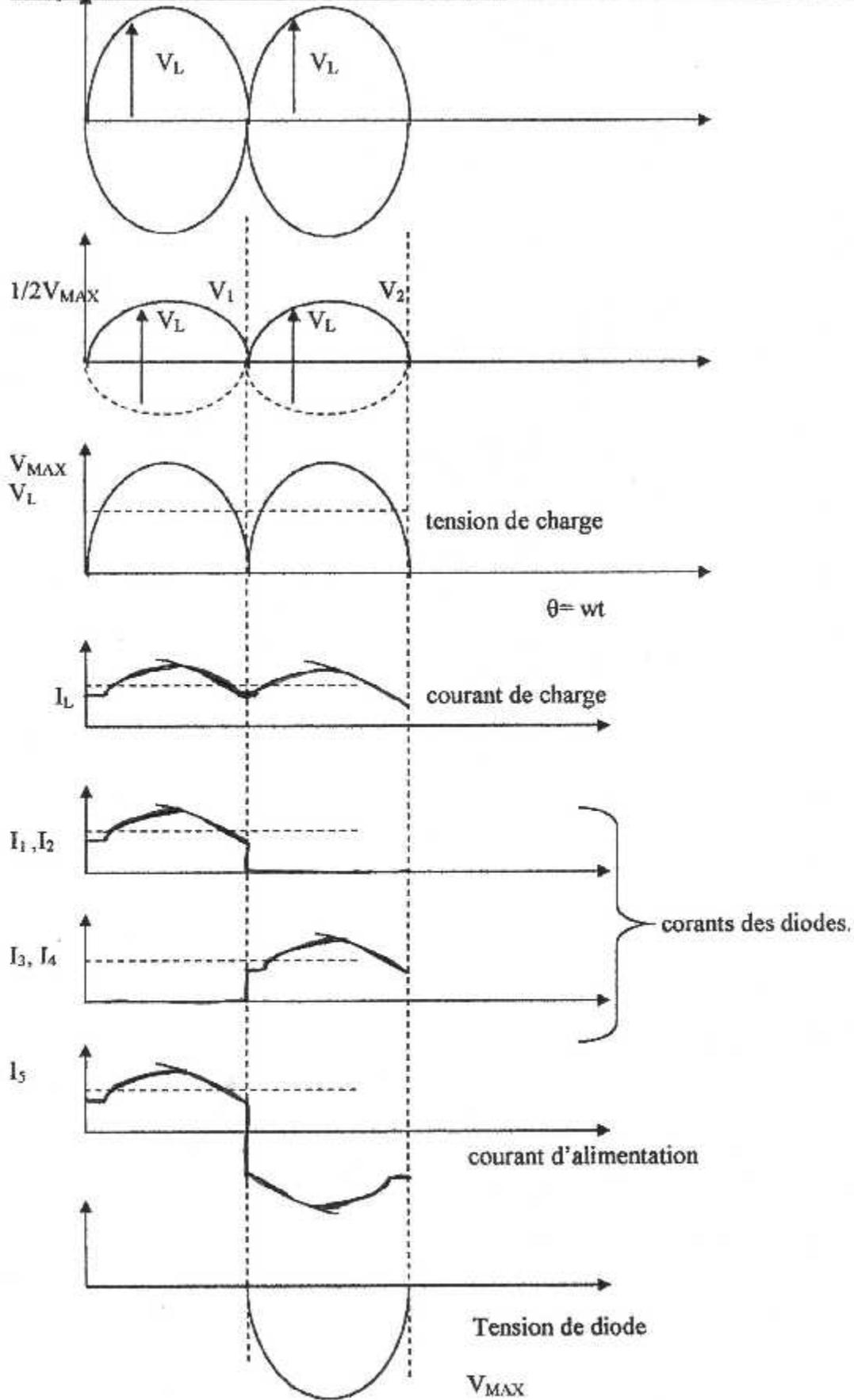


Figure III-3-1 montage redresseur en pont monophasé
 a, b, c, d,) schémas déferents e) forme d'onde

III-3-2 redresseurs monophasés en pont totalement commandés (touts thyristors) :

Au lieu des diodes du redresseur, le redresseur en pont totalement commandé comporte des thyristors. Il n'y a pas condition jusqu'à l'amorçage des thyristors, pour qu'un courant circule, il faut amorcer les thyristors T_1 et T_2 simultanément, ainsi que T_3 et T_4 dans l'alternance suivante. Pour que l'amorçage soit simultané, un même circuit amorce les deux thyristors (figure-III-3-2) T_1 et T_2 . le transformateur d'impulsion donne deux sorties isolées parce que les cathodes des thyristors sont à des potentiels différents dans le circuit de puissance.

la tension de charge est la même que celle décrite pour le montage redresseur biphasé simple alternance de valeur moyenne, donnée par l'équation

$$V_{moy} = 2 (V_{max} / \pi) \cos \alpha$$

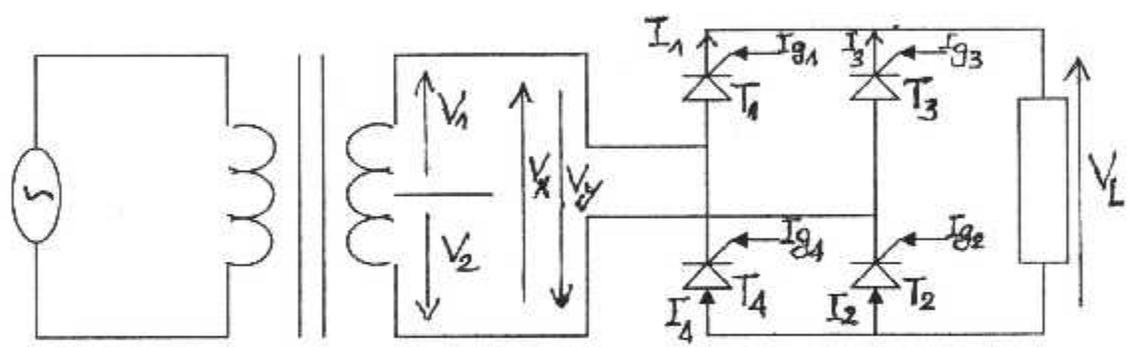
Moins dans ce cas deux chute de tension de thyristor, cette équation ne s'applique pas si le débit dans la charge n'est pas continu.

III-4 Redresseurs triphasés :

III- 4-1 redresseurs triphasés simple alternance :(tous diodes)

Le montage redresseur triphasé simple alternance est l'élément de base de la plupart des redresseurs polyphasés, pour simplifier les explications nous supposant d'abord que l'alimentation est un couplage en étoile

La périodicité de la tension instantanée redressée d'un redresseur polyphasé est plus petite que celle d'un redresseur monophasé, et en pratique un redresseur polyphasé alimente de plus grandes charge à inductance plus élevée. Résultat net ; le taux d'ondulation du courant dans la charge est moindre et il est raisonnable de supposer que le débit est continu ~~est~~ le courant lissé.



(a)

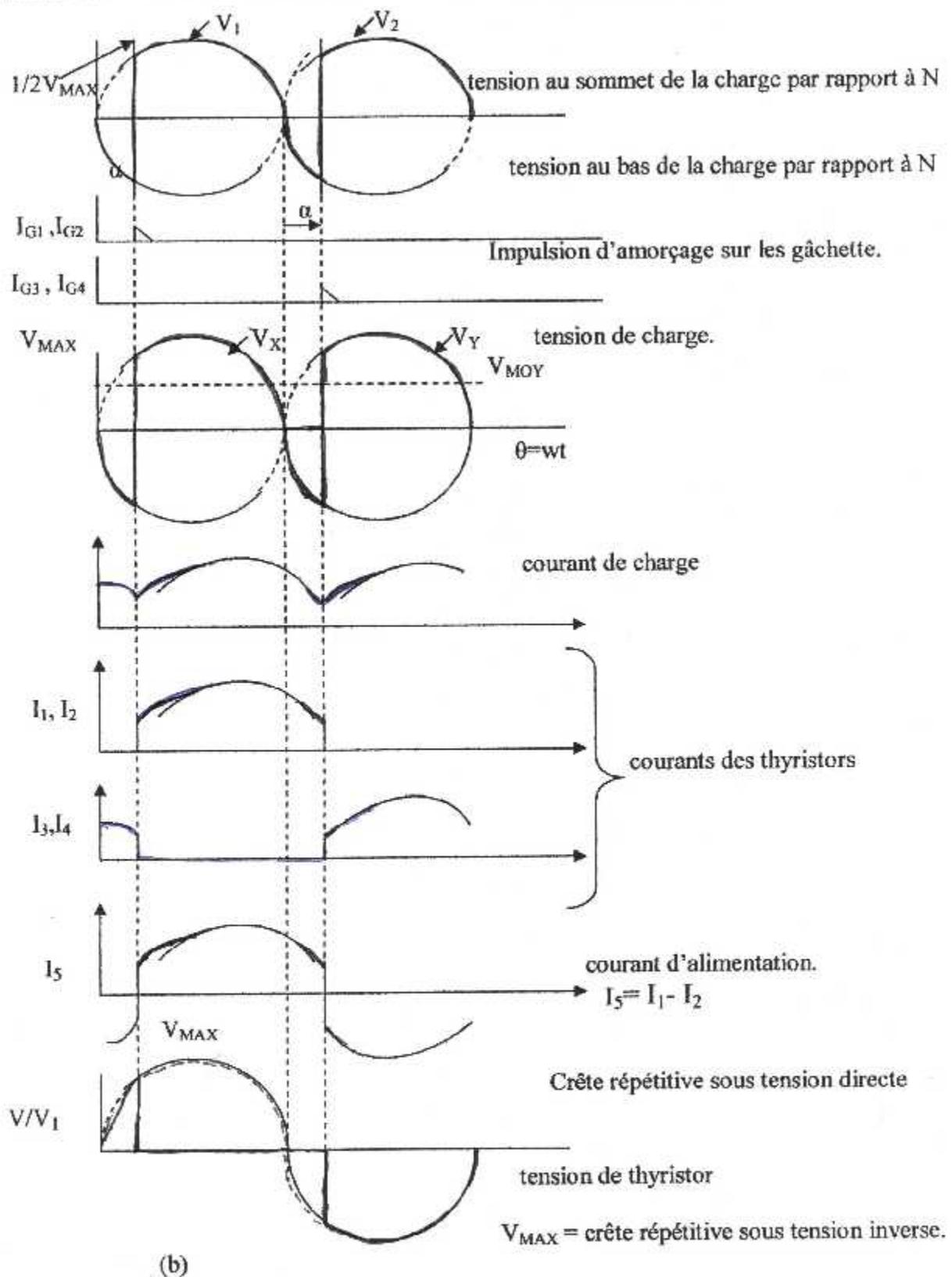


Figure III-3-2 redresseur en pont monophasé totalement commandé (tout thyristor).

a) montage. b) forme d'onde.

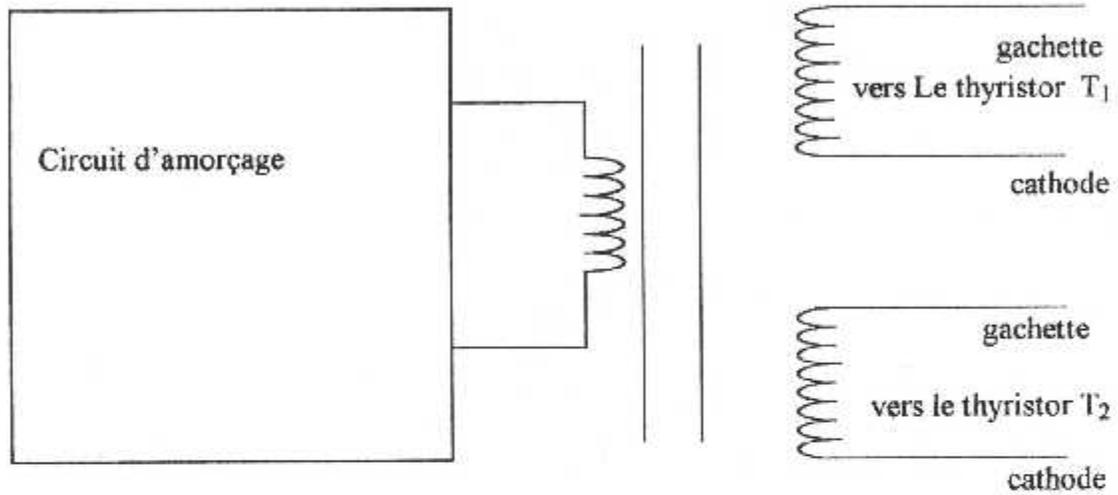


Figure III-3-2: redresseur en pont monophasé totalement commandé (tout thyristor)

a: montage

b: forme d'onde

c: connexion de sortie du circuit d'amorçage

Lors de la détermination des formes d'ondes des courants dans les redresseurs polyphasés, on peut donc supposer que le courant de charge est parfaitement lissé.

La (figure-III-4-1-a) représente le montage d'un redresseur triphasé simple alternance. Chaque phase d'alimentation est raccorder à la charge via une diode et le courant de charge est ramené au neutre de l'alimentation.

Le redresseur fonctionne de telle façon qu'une seule diode conduit à un instant donné, celle connectée à la phase de plus grande valeur instantanée, il en résulte pour la tension V_L de charge la forme d'onde représentée à la (figure-III-4-1-b), le sommet des tensions simples successives pendant que V_1 est la phase la plus positive la diode D_1 conduit, mais lorsque V_2 devient plus positive que V_1 le courant de charge passe de la diode D_1 à la diode D_2 . L'observation de la forme d'onde de la tension V_D de diode confirme l'instant de commutation. La tension V_D devient négative, dès que V_1 à une valeur instantanée au-dessous de V_2 , donc la diode D_1 se bloque.

La tension redressée aux bornes de la charge varie entre l'amplitude d'une tension simple et la moitié de cette valeur, et elle se répète trois fois par période, ce qui donne une ondulation d'ordre trois.

La tension moyenne vaut:

$$V_{\text{moy}} = 1/(2\pi/3) \int_{\pi/6}^{\pi/2} V_{\text{max}} \sin\theta \, d\theta$$

$$V_{\text{moy}} = (3\sqrt{3}/2\pi) V_{\text{max}}$$

Amoindrie d'une chute de tension de diode

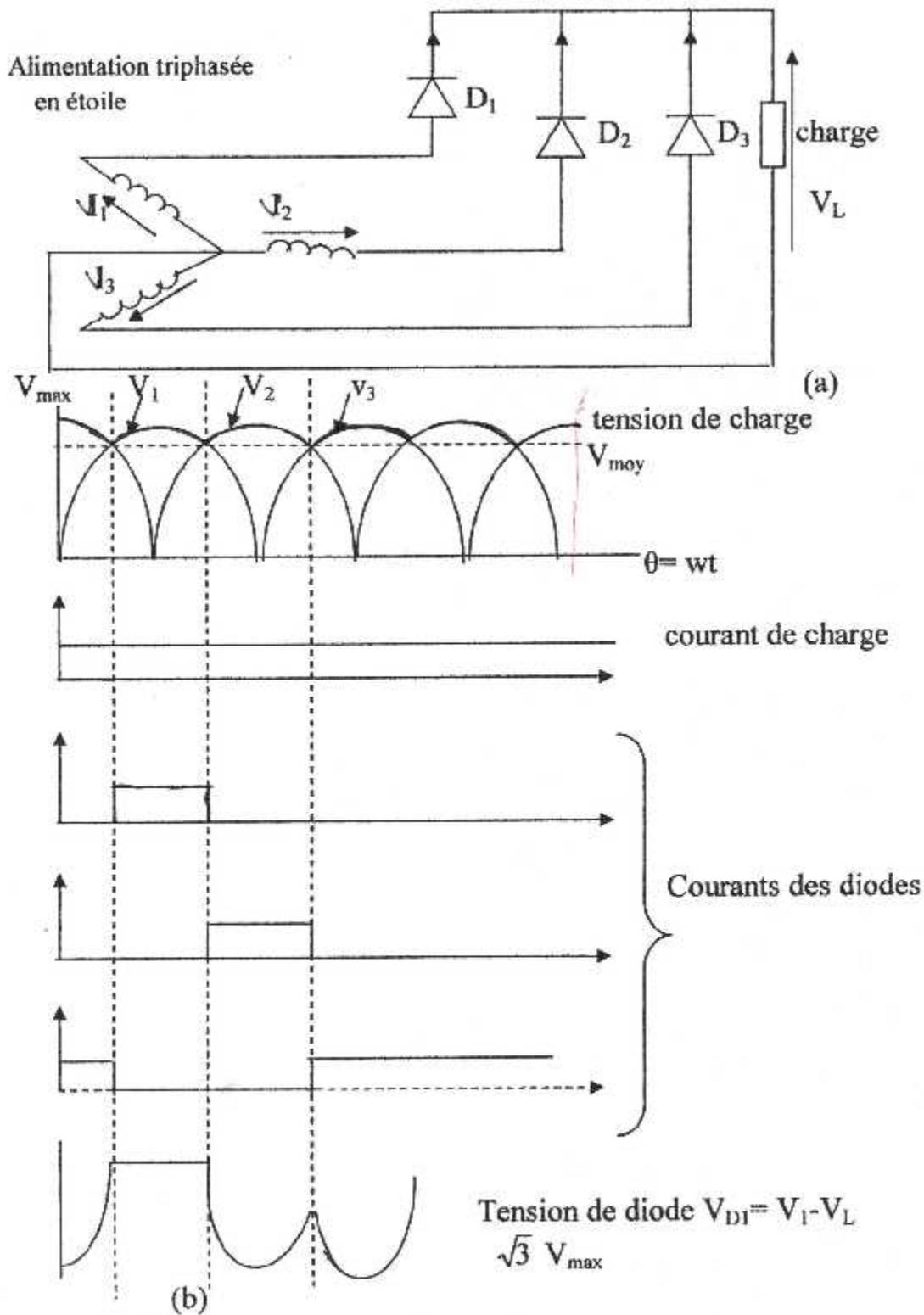


Figure III 4-1 redresseur triphasé simple alternance à diode

a) montage

b) formes d'onde

En supposant le courant I_L de charge est bien lissé. Les courants des diodes représentés à la (figure-III-4-1-b) sont endurée des blocs d'un tiers de période

Pour des raisons de dimensionnement, on détermine le courant efficace :

$$I_{\text{eff}} = I_L / \sqrt{3}.$$

De chaque diode par intégration ou plus simplement en extrayant la racine carrée de la moyenne de la somme des carrés des courants sur trois intervalles égaux. soit :

$$I_{\text{eff}} = (I_L^2 + 0 + 0 / 3)^{1/2};$$

$$I_{\text{eff}} = I_L / \sqrt{3}.$$

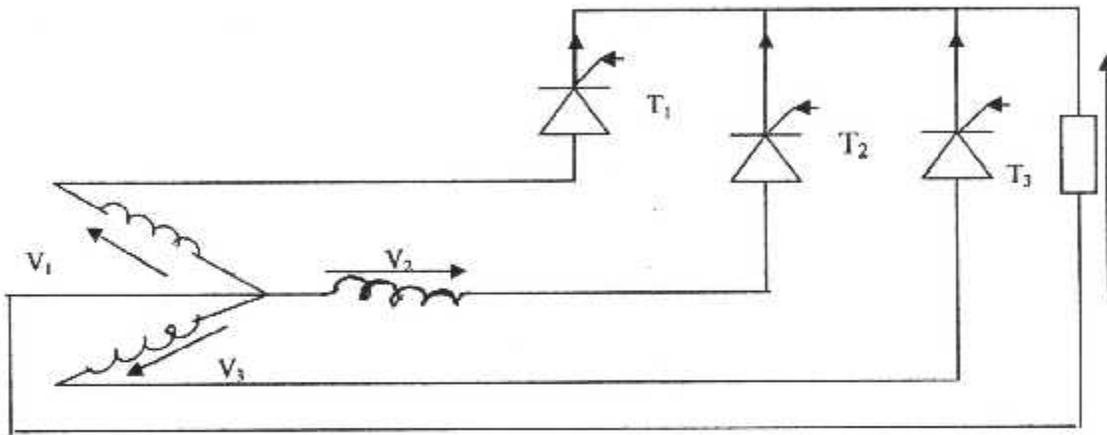
Scelon la forme d'onde de la tension aux bornes de la diode, la tension inverse maximale vaut $\sqrt{3} V_{\text{max}}$ autrement dit la tension composée maximale.

III-4-2 Redresseurs triphasés simple alternance (touts thyristors) :

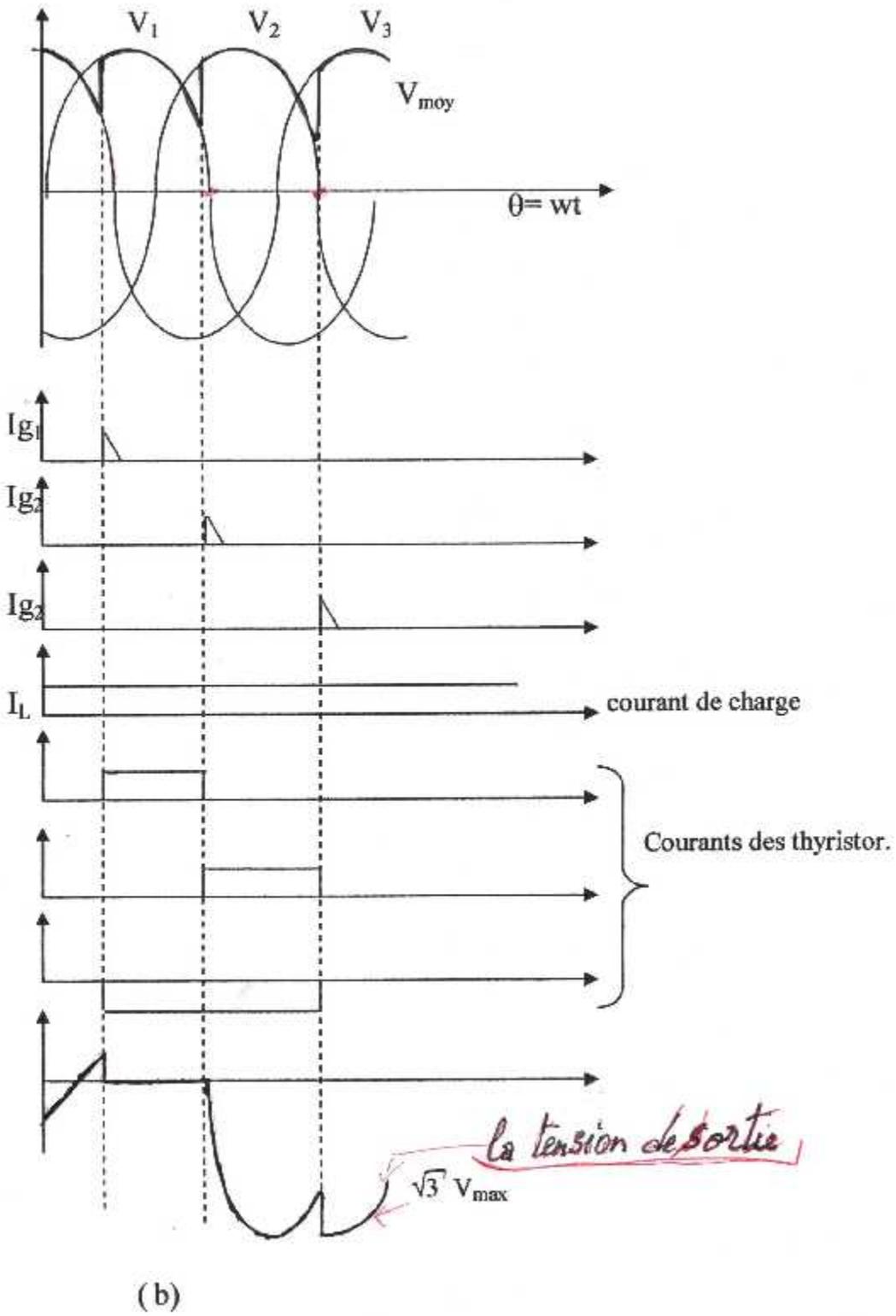
Le remplacement des diodes par des thyristors rend le redresseur totalement commandé. La commande de l'angle α de retard à l'amorçage règle la tension moyenne de sortie. Les circuits d'amorçage ne sont pas représentés, mais on doit supposer que chaque thyristor a son circuit d'amorçage relié à sa gâchette et à sa cathode et que celui-ci produit une impulsion d'amorçage synchronisée sur la tension simple appropriée. Une commande centrale décale les trois impulsions d'amorçage

Entre elle de 120° , ce qui provoque le même angle de retard à l'amorçage à chaque thyristor.

Selon la (figure-III-4-2-a) les thyristors ne conduisent pas avant leur amorçage par impulsion sur la gâchette. Ce qui assure l'application de la tension simple précédente à la charge et une tension moyenne globale de sortie moindre, le taux d'ondulation de la tension redressé est augmenté



(a)



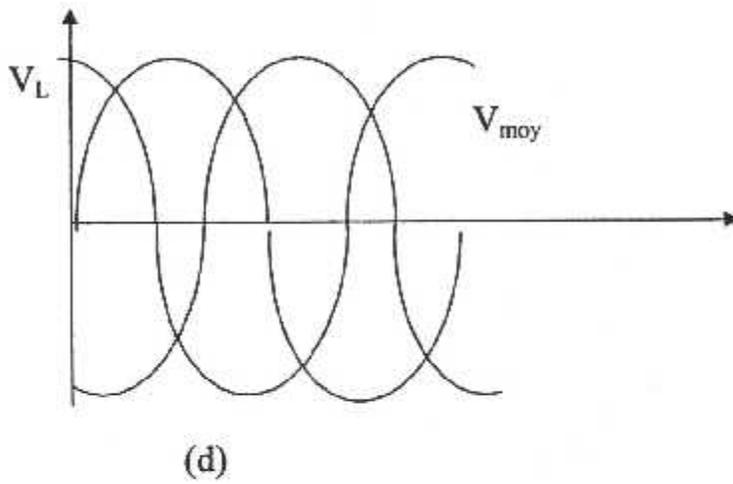
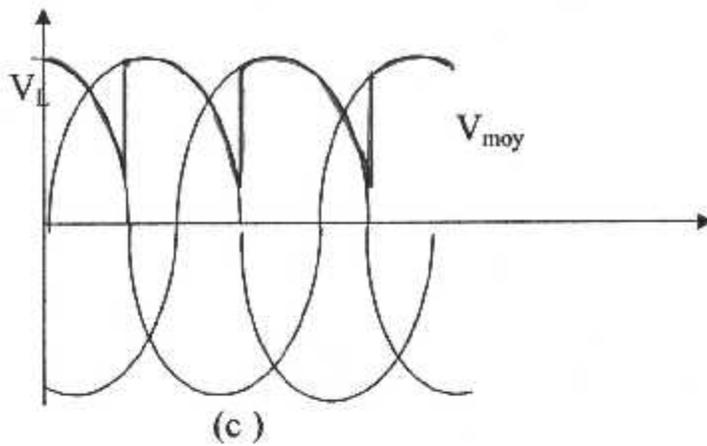


figure III-4-2 redresseur triphasé simple alternance

- a) montage;
- b) formes d'onde dans le cas d'un petit angle de retard à l'amorçage;
- c) et d) forme d'onde de la tension dans le cas d'un grand angle de retard à l'amorçage.

la forme d'onde des courants n'est pas changée, mais est retarder de α par rapport au cas de montage toutes diodes, selon la tension V_i de thyristor, la tension anode est positive par rapport à la cathode au-delà de l'angle nul de retard à l'amorçage. Si l'angle α de retard à l'amorçage est supérieur à 30° , la tension instantanée de sortie est négative durant certains intervalles (figure-III-4-2-b et c). la tension moyenne vaut :

$$V_{\text{moy}} = (1 / (2\pi / 3)) \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6}} V_{\text{max}} \sin\theta \, d\theta,$$

$$V_{\text{moy}} = (3\sqrt{3}/2\pi) V_{\text{max}} \cos\alpha$$

Moins la chute de tension d'un thyristor.

Comme dans les autres montages tout thyristor, la tension moyenne est proportionnelle au cosinus l'angle α de retard à l'amorçage nul pour $\alpha = 90^\circ$ l'hypothèse du courant de charge parfaitement lissé s'amenuise à mesure que la tension moyenne tend vers zéro en raison de la grande augmentation du taux d'ondulation de la tension redressée.

III-5 Redresseurs triphasés en pont (ou à deux voies) :

III-5-1 Redresseurs triphasés en pont : (touts diodes)

Visiblement, selon le schéma représenté à la (figure-III-5-1) le redresseur triphasé en pont est à deux alternances ou deux voies. Un redresseur triphasé simple alternance alimente la charge et, comme le courant de retour revient à l'une des trois lignes d'alimentation via un autre redresseur simple alternance, aucun neutre n'est nécessaire. La (figure-5-1-a) représente le schéma habituel d'un tel montage redresseur.

On obtient la forme d'onde de la tension de charge, dans le cas des diodes représentées à la (figure-III-5-1-a), de deux façons, on peut considérer que la tension de charge est la différence de deux tensions triphasées simple alternance par rapport au neutre N d'alimentation, apparaissant respectivement aux bornes positive et négative de la charge. Selon les formes d'ondes des tensions représentées à la (figure-III-5-1-b),

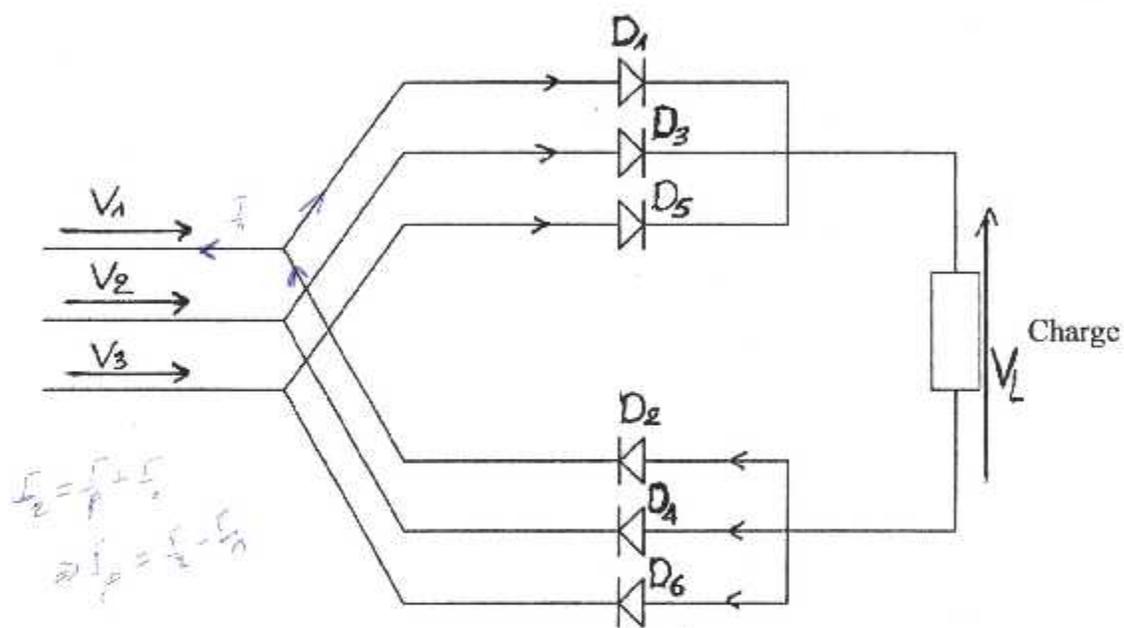
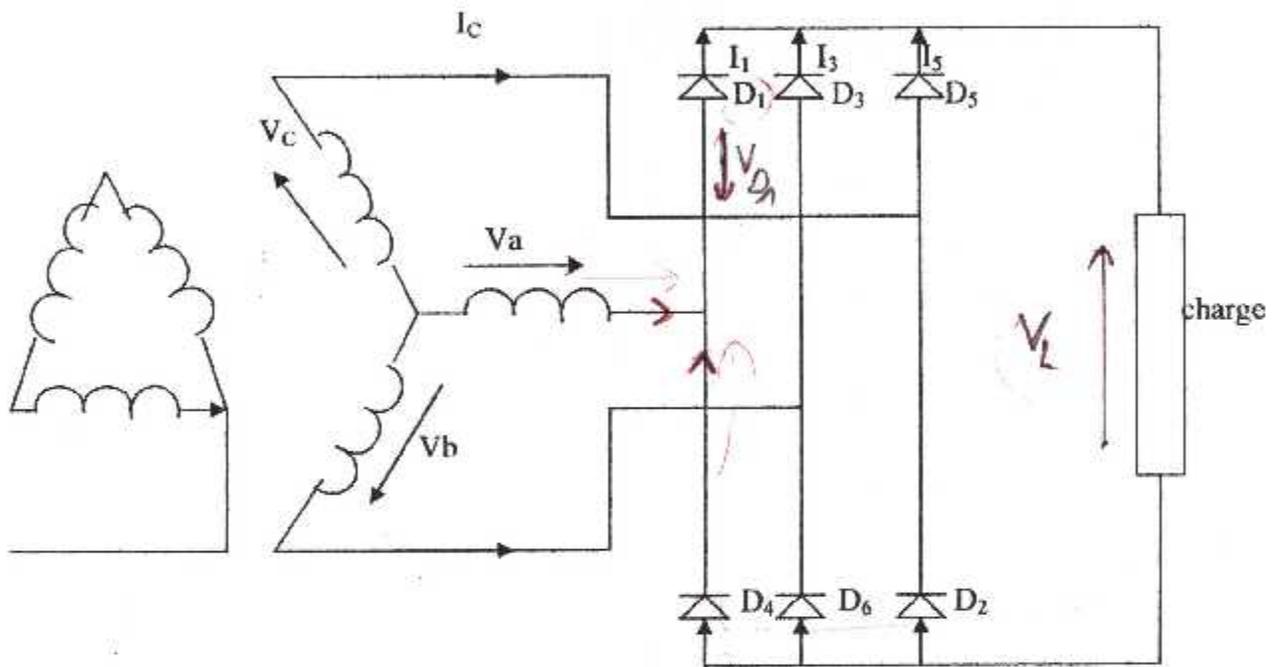
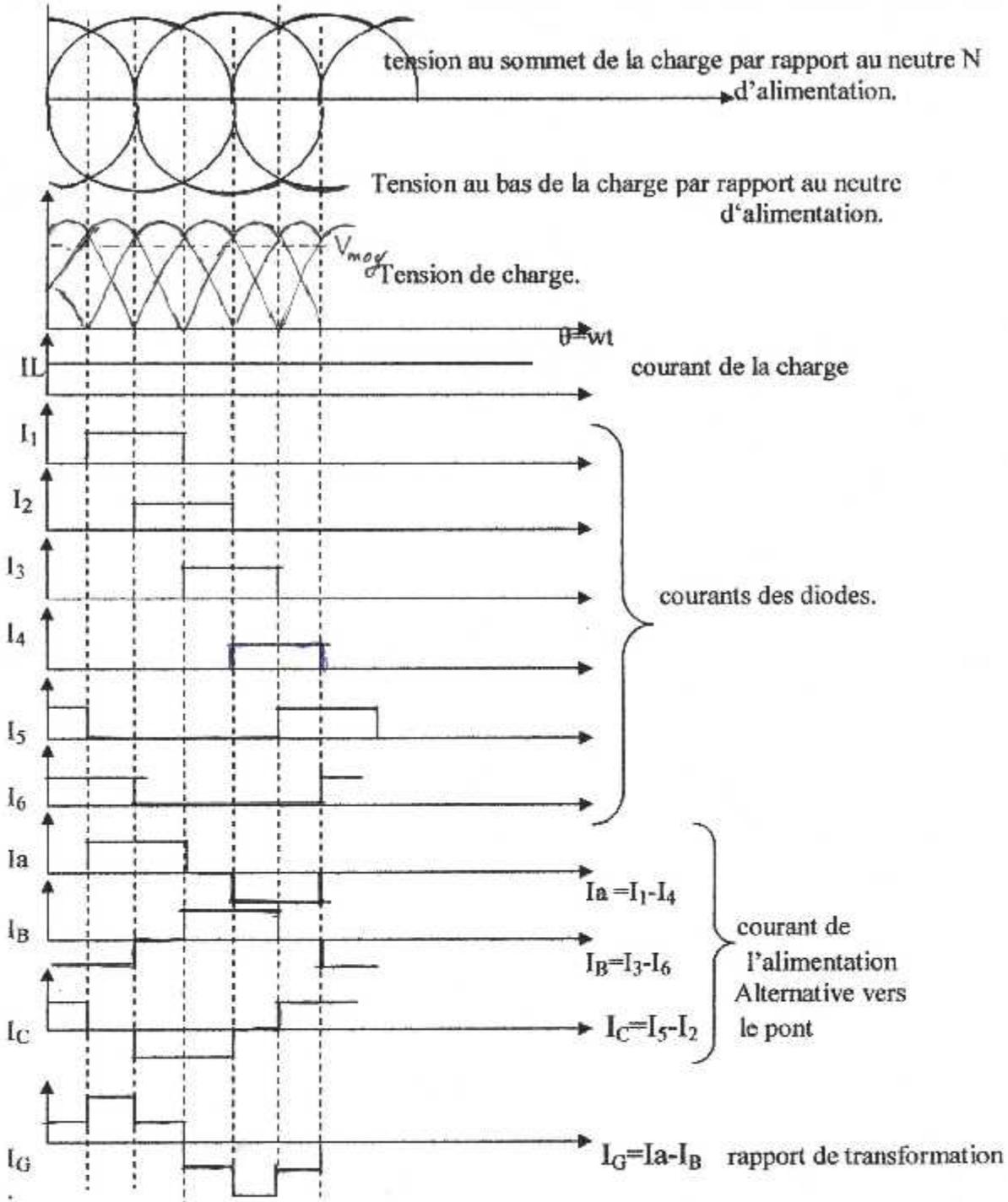


Figure III-5-1: Redressement triphasé double alternance.



(a)



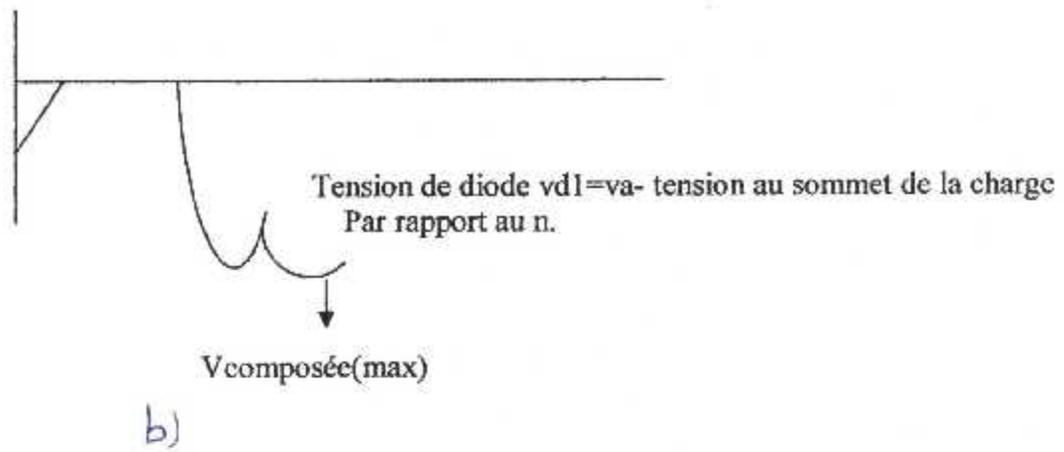


Figure III-5-1: redresseur triphasé en pont

- a) montage
- b) formes d'onde

la tension résultante est d'ondulation d'ordre six et sa valeur instantanée maximale égale celle de la tension composée. On peut aussi considérer que les deux diodes qui conduisent à un instant donné sont celles reliées aux deux lignes de plus grande tension entre elles à cet instant. Donc lorsque V_a est la tension simple la plus positive, la diode D_1 conduit ; durant cette première étape V_b est la tension simple la plus négative. Alors le courant dans la diode D_6 est commuté à la diode D_2 . La tension de charge suit à tour de rôle six tensions sinusoïdales durant une période, à avoir $V_a - V_b$, $V_a - V_c$, $V_b - V_c$, $V_b - V_a$, $V_c - V_a$, $V_c - V_b$ ayant toute une valeur maximale égale à la tension composée, égale elle-même à $\sqrt{3}$ fois la tension simple. A la (figure-III-5-1-a) l'alimentation est montée en étoile, on aurait pu la monter en triangle. On tire la tension moyenne de charge de la somme des deux formes d'onde de tension à ondulation d'ordre trois et de l'équation

$$V_{\text{moy}} = \frac{1}{(2\pi/3)} \int_0^{2\pi/3} V_{\text{max}} \sin\theta \, d\theta ;$$

$$V_{\text{moy}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_{\text{max}}$$

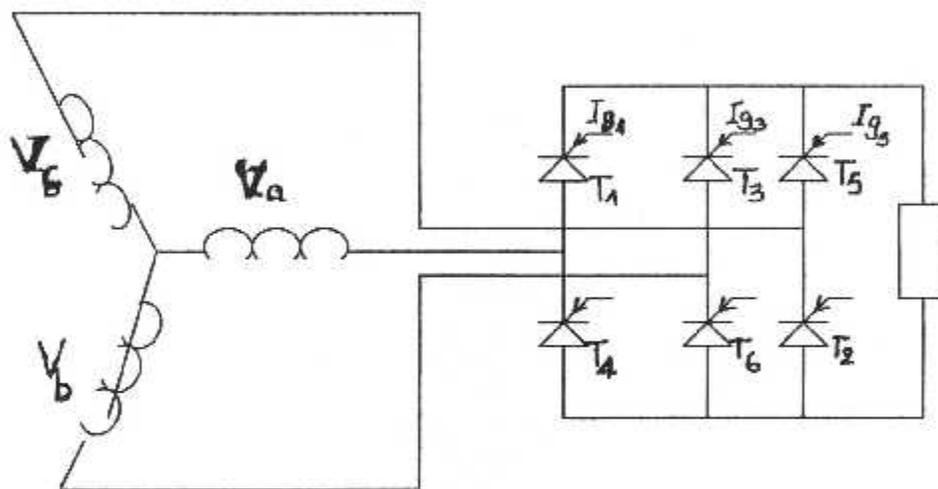
qui donne :

$$V_{\text{moy}} = 2 \left(\frac{\sqrt{3}}{2\pi} / 3 \right) V_{\text{max(simple)}} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_{\text{max composée}}$$

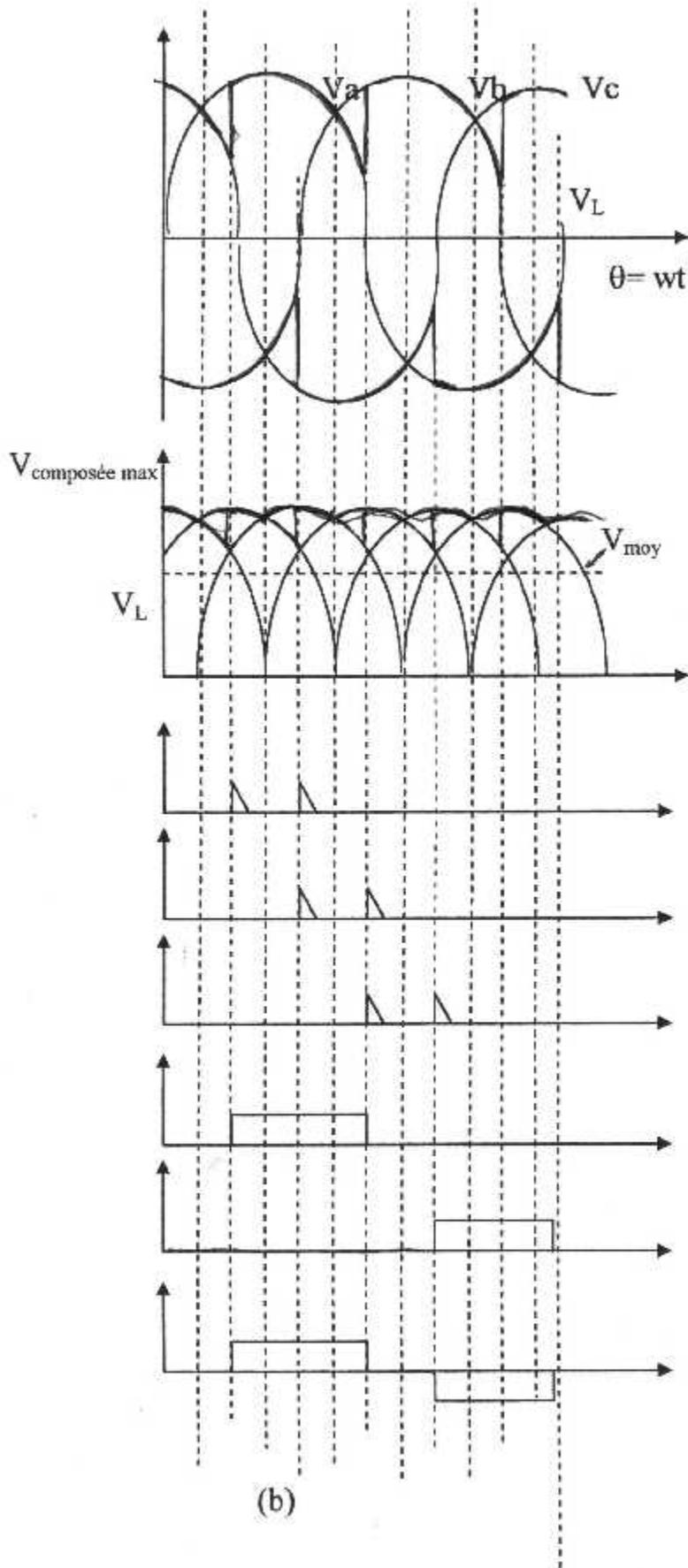
Selon les formes d'onde des courants représentée à la (figure-III-5-1-b) chaque diode conduit le courant de charge durant un tiers de période, l'ordre de commutation détermine les numérotages des diodes du circuit. La forme d'onde de la tension V_{di} de diode égale la différence entre tension simple V_a et la tension sur la borne d'entrée de la charge par rapport au neutre N. la tension inverse de Crête entre les bornes de la diode et la tension composée maximale.

III- 5-2 Redresseurs triphasés en pont (tous thyristors) :

Le remplacement des diodes par des thyristors (figure-III-5-2-a) donne un redresseur triphasé en pont totalement commandé comme dans les redresseurs précédents. On commande la tension



(a)



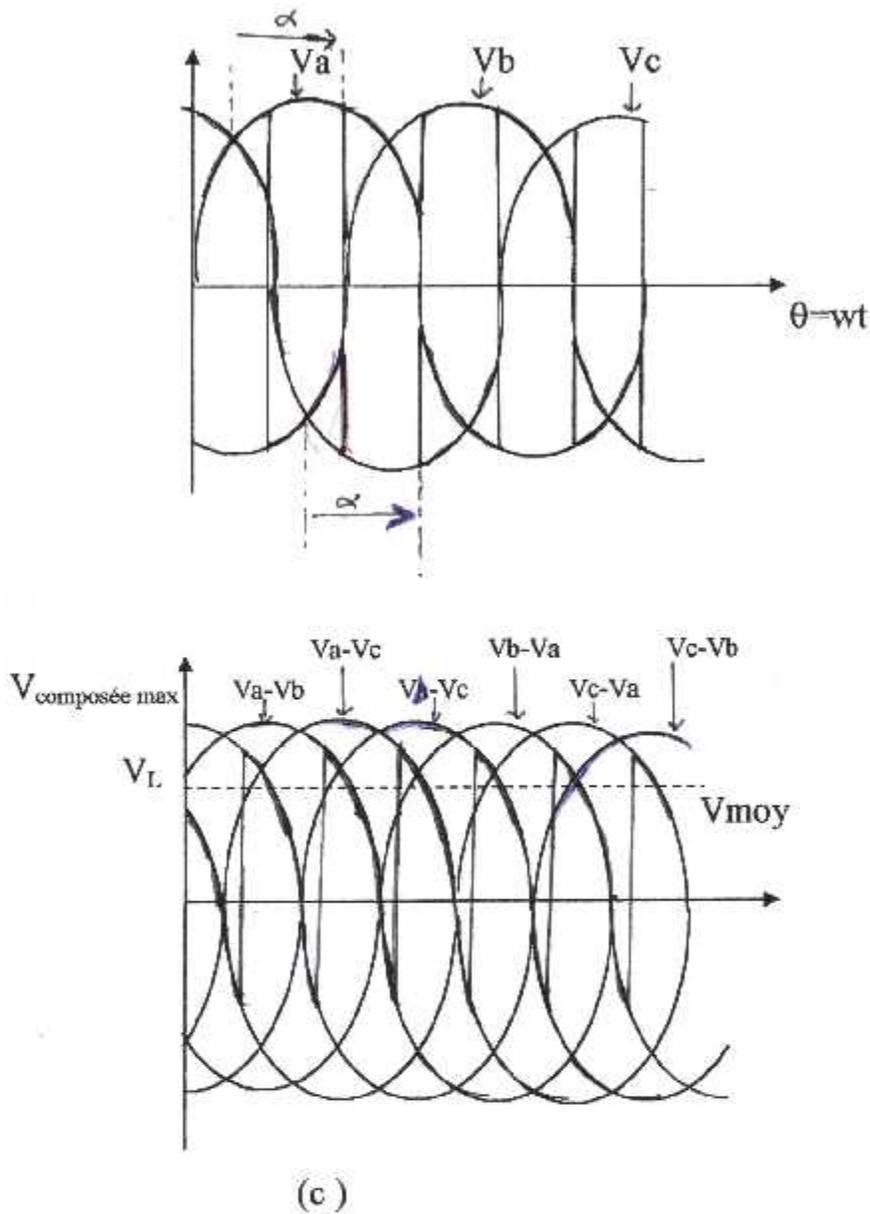


figure III-5-2:redresseur en pont triphasé totalement commandé:

- montage;
- formes d'onde pour un petit angle de retard à l'amorçage;
- formes d'onde pour un grand angle de retard à l'amorçage.

moyenne de charge en retardant la commutation des thyristors par l'angle α de retard à l'amorçage.

Les formes d'ondes des courants sont semblable à celles du redresseur à diodes, mais elle sont retardées de l'angle α (figure-III-5-2-b)

Contrairement aux redresseurs précédents, le redresseur en pont présente un problème de démarrage, les impulsions d'amorçage sur les gâchettes sont fournies dans la bonne séquence aux thyristors du redresseur en pont, raccordé à l'alimentation alternative ; mais si une seule impulsion d'amorçage est utilisée. Aucun courant ne circule parce que l'autre thyristor sur le chemin du Courant est bloqué.

Donc, pour démarrer le fonctionnement du redresseur c'est à dire faire apparaître le courant, il faut amorcer deux thyristors simultanément. Selon la (figure-III-5-2-b) l'alimentation est connectée lorsque la tension V_a passe par sa Crête. l'impulsion d'amorçage suivante ira au thyristor T_2 . Mais le thyristor T_2 ne conduira pas à moins que les thyristors conduisent à cet instant Donc, pour des raisons de démarrage, le circuit d'amorçage doit produire une impulsion de confirmation 60° après la première.

Une fois le redresseur en route normalement, la deuxième impulsion n'aura aucun effet puisque le thyristor conduit déjà. Chaque circuit d'amorçage possède deux sorties isolées, l'une pour son propre thyristor et l'autre pour le thyristor précédent, dans l'ordre séquentiel on peut aussi lier les circuits d'amorçage électroniquement de manière que, lorsque chaque circuit d'amorçage envoie une impulsion sur son propre thyristor, il le fait aussi au circuit d'amorçage précédent.

Si le retard à l'amorçage est grande et que la tension de charge à des valeurs négatives il est difficile de visualiser la forme d'onde de cette tension à partir des deux représentation à ondulation d'ordre trois

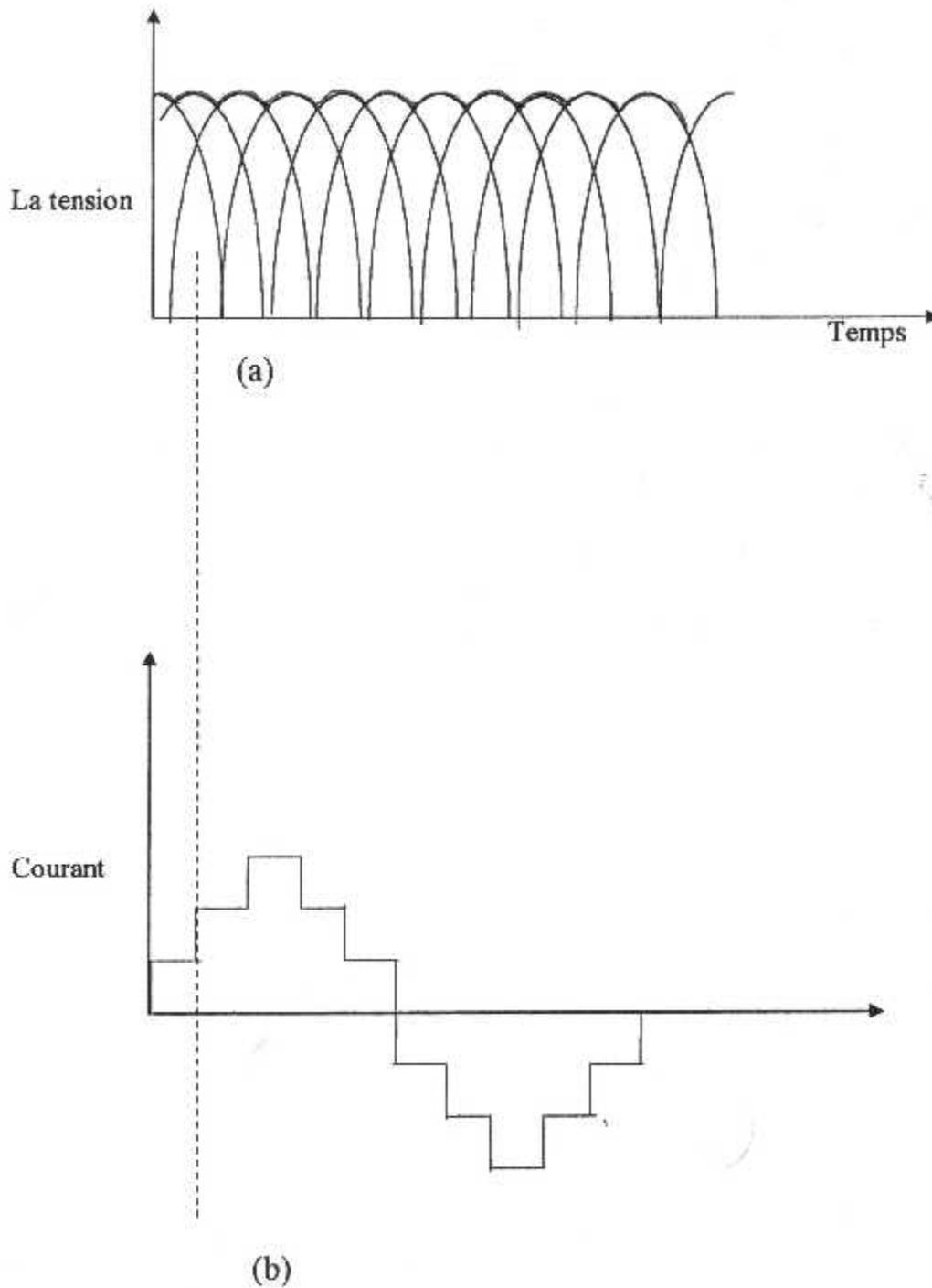


figure -III- 5-1 forme d'onde à indice de pulsation douze (12) :
a) tension d'un redresseur non commandé ;
b) courant alternatif d'entrée.

(figure-III-5-2-c), donc les six tensions composées, V_a-V_b , V_a-V_c , V_b-V_c , V_c-V_a , V_c-V_b , donne une représentation directe de la tension de charge et visiblement la tension moyenne est nulle lorsque l'angle de retard à l'amorçage est de 90° .

La tension moyenne de charge vaut :

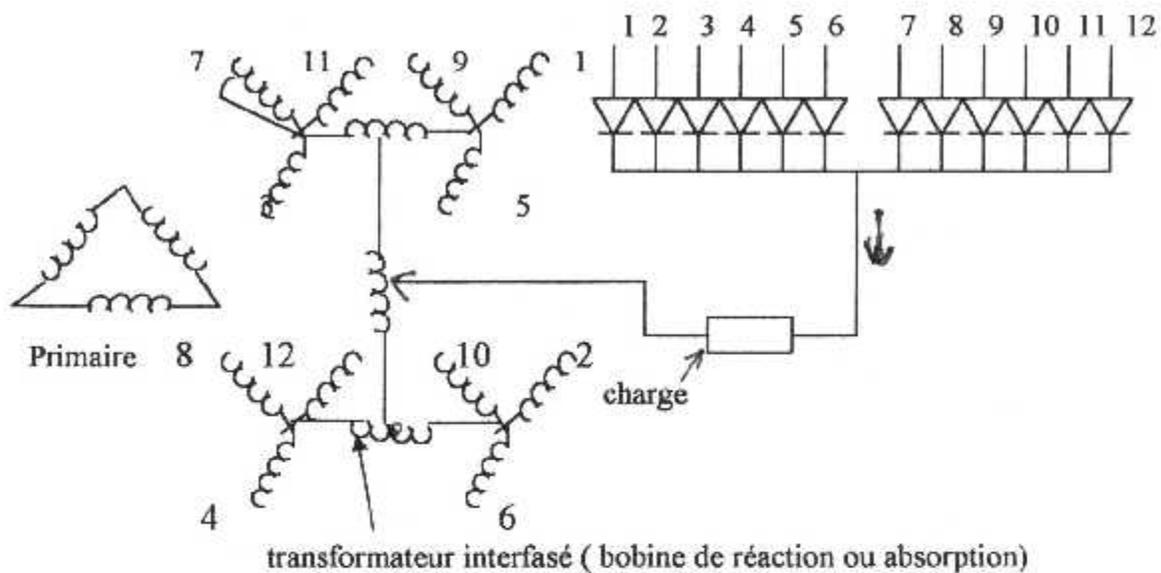
$$V_{\text{moy}} = \left(\frac{3}{\pi} \right) V_{(\text{MAX})\text{COMPOSÉE}} \cos \alpha$$

Diminuée de deux chutes de tension de thyristor.

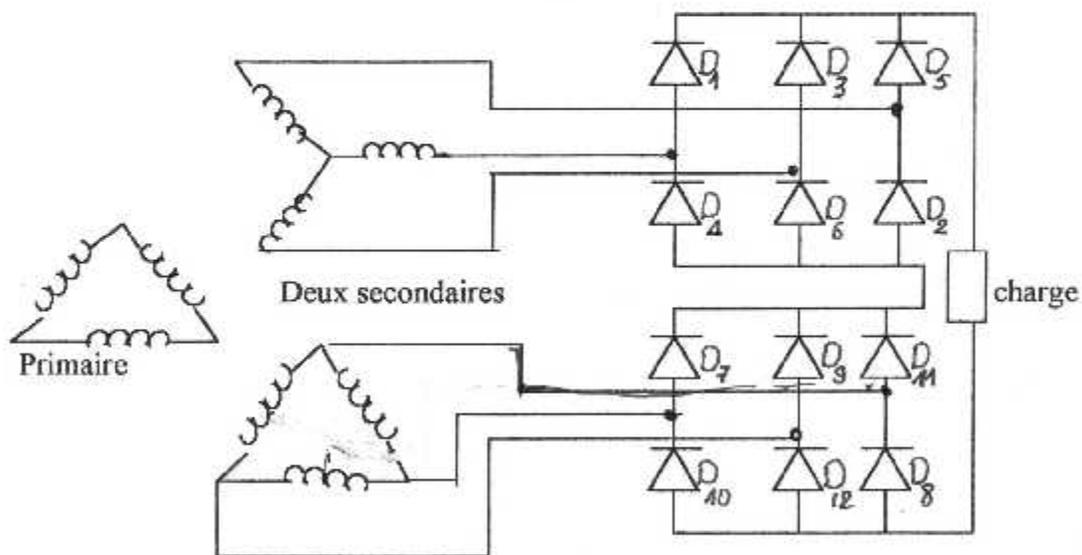
III-6- Redresseurs dodécaphasés (ondulation d'ordre douze) :

La (figure-III-6-1) représente la forme d'onde d'une tension à douze ondulations par période, à la sortie d'un redresseur non commandé, autrement dit à diodes visiblement, cette tension est proche d'une tension continue lissée. La forme d'onde du courant associé représentée rappelle typiquement celle du courant tiré d'une alimentation alternative triphasée plus proche d'une sinusoïde que celle des redresseurs à nombre d'ondulations plus petit. D'où la conclusion ; plus l'ordre d'ondulations d'un redresseur est grand, plus il tend vers le redresseur idéal qui donne une tension continue lissée et tire un courant sinusoïdal à partir d'une alimentation alternative.

La (figure-III-6-2) représente trois des montages redresseurs les plus communs à ondulation d'ordre douze. Le montage redresseur à une alternance représentée à la (figure-III-6-2-a) est une version étendue du redresseur double étoiles. le déphasage des quatre groupes en étoile donne douze phases distantes de 30° . Ces quatre groupes sont reliés à la charge via des bobines d'absorption, quatre diodes conduisent simultanément et seule chute de tension de diode réduit la tension moyenne en charge. Pour obtenir des montages redresseurs double alternance, il faut raccorder deux ponts triphasés (figure III-6-2-c et b). l'alimentation alternative provient d'un transformateur à deux secondaires ; l'un en étoile l'autre en triangle, les tensions triphasé



(a)



(b)

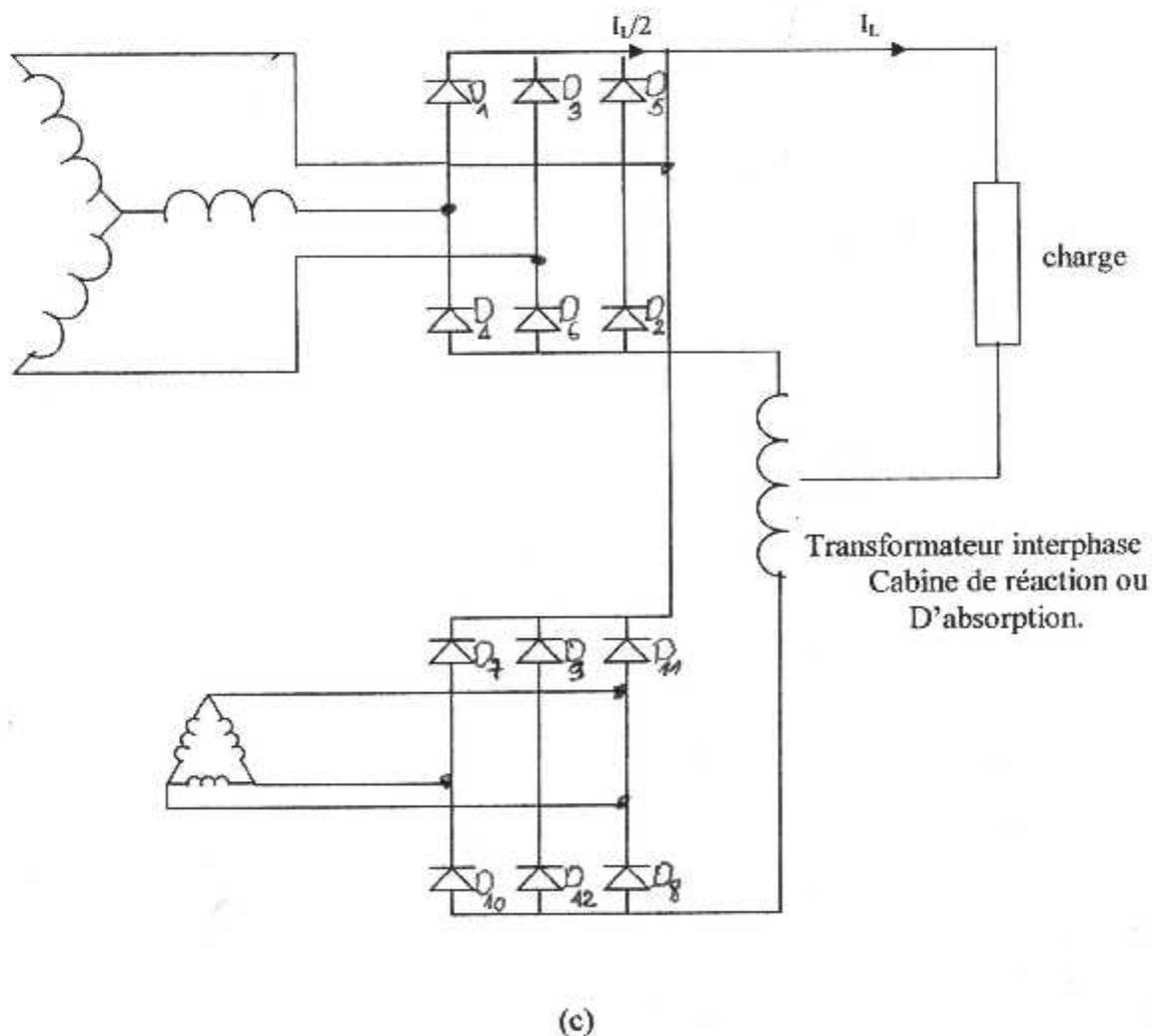


Figure III-6-2 : Montage redresseur typique à indice de pulsation 12 .

- a) Simple alternance.
- b) En pont montage série.
- c) En pont montage parallèle.

Conclusion

Conclusion générale :

Dans ce mémoire nous avons fait un tour d'horizon détaillé sur les éléments qui composent les transformateurs redresseurs. Ce mode de production de courant continu tend à se généraliser sur les avions modernes. La comparaison des divers redresseurs décrits permet de choisir celui qui convient le mieux à une application particulière, et d'après tout ce qu'on a vu, on trouve que pour alimenter des grandes charges, on est obligé d'utiliser un montage redresseur à grande ordre d'ondulation. Donc l'utilisation d'un montage redresseur d'ordre d'ondulation élevé est la solution la plus économique si la tension continue doit être très bien lissée

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographie :

- FOUILLE.A : COURS D'ELECTRONIQUE ^{technique} TOME I
TOME II Année Edition
- CYRIL W.LANDER : ELECTRONIQUE DE PUISSANCE Année édition.
- JEAU MERMOZ : ELECTRICITE A BORD DES AVIONS Année édition
- M.KOSENKO et L.PIOTROUSKI : MACHINES ELECTRIQUES
- A.FOUILLE : ELECTROTECHNIQUE A L'USAGE DES INGENIEURS
TOME III
- JL.DELMASSO : MACHINES TOURNANTES A COURANT
ALTERNATIVE
- JEAN.TOZZI :ELECTRICITE d'AVION
- LA THESE :ETUDE DE LA GENERATION ET LA DISTRIBUTION
ELECTRIQUE A BORD DE L'A320. ✓
M^{elle} BOUDJELLAL.H
M^R LAMRAOULN
- LA THESE : COUPLAGE DES ALTERNATEURS A BORD DES AVIONS
M^R ABDALLAH.M ✓