

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



UNIVERSITE AHMED. DRAIA-ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



MEMOIRE MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologie
Filière : Génie électrique
Spécialité : Commande électrique

Thème

Etude par simulation des performances statiques et dynamiques d'un moteur asynchrone alimenté par une source de tension perturbée.

Présentés par :

MOUMEN Nadjem
BAKKARI Mebarek

Devant le Jury composé de :

Pr. HAROUZ Abdelkader	Président	Université d'Adrar
Dr. GUENFOUD Mohammed	Rapporteur	Université d'Adrar
Dr. YAICHI Mohamed	Examineur	Université d'Adrar

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Au terme de ce travail et en témoignage de notre profonde reconnaissance nous tenons à remercier vivement notre encadreur monsieur GUENFOUD Mohamed qui a accepté de nous encadrer, qui a mis son temps précieux et toutes ses connaissances scientifiques à notre disposition et qui nous suivi durant toute cette période de mémoire.

Aussi : Mr HAROUZ Abdelkader et Mr YAICHI Mohamed d'avoir acceptés d'examiner notre travail. Nous exprimons nos remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou loin dans la réalisation de ce travail.

BAKKARI MEBAREK

MOUMEN NADJEM

Dédicace

Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie cet humble travail à ce que j'ai de très cher dans ma vie mon père et ma mère,

A mes frères et mes sœurs, mes tantes chacune par son nom

A mes oncles chacune par son nom,

A tous toute la famille Bakkari.

A tous mes amis chacune par son nom.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

A la promotion Commande électrique 2021/2022

A tous ce qui ont une place dans Mon Cœur.

Mr. BAKKARI MEBAREK

Dédicace

Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie cet humble travail à :

Mon père et ma mère pour leur sacrifice pour moi.

A mes frères et sœurs et à toute ma famille et mes amis.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin de près ou de loin à mener à bien ce travail, et je n'oublie pas non plus de citer les élèves en commande électrique de la promotion 2021/2022.

Tous mes amis, sans exception, sont nommés.

Mr. MOUMEN NADJEM

Liste des Symboles

Symbole	Identification
MAS	Machine asynchrone triphasé
CEM	Compatibilité électromagnétique
CEI	Commission Électrotechnique Internationale
ISO	Organisation internationale de normalisation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
THD	Taux de distorsion harmonique en tension. :
FP	Facteur de puissance du circuit.
Y	Composantes harmoniques du signal
Y1	Composante fondamentale
h	Rang d'harmonique
\underline{U}	Valeur complexe de la tension de phase
U	Taux de déséquilibre
V_a, V_b, V_c	Les tensions de phase
i_a, i_b, i_c	Les courants de ligne.

ω	Vitesse angulaire de la fréquence fondamentale
Z_{cc1}	Impédance de court-circuit de la source à la fréquence fondamentale
Z_{ch}	Impédance de court-circuit de la source à la fréquence du rang h
S	Puissance apparente
P	Puissance active
Q	Puissance réactive
D	Notion de puissance déformante
P_a	Puissance absorbé
P_u	Puissance utile
η	Rendement d'un moteur asynchrone triphasé
\bar{V}_{NN}	Tension nodale déplacement du point neutre
R	Résistance
L	Inductance
C	Capacité
Ω_s	Vitesse de synchronisme
g	Glissement
V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}	Tensions appliquées aux trois phases statoriques
i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}	Courants qui traversent les trois phases statoriques.

$\phi_{sa}, \phi_{sb}, \phi_{sc}$	Flux totaux à travers ces enroulements.
V_{ra}, V_{rb}, V_{rc}	Tensions rotoriques
i_{ra}, i_{rb}, i_{rc}	Courants rotoriques
$\phi_{ra}, \phi_{rb}, \phi_{rc}$	Flux rotoriques
R_s	Résistance d'une phase statorique.
R_r	Résistance d'une phase rotorique
C_e	Couple électromagnétique

Table des Figures

Figure	Identification	Page
Fig. (I.1)	Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic limit	05
Fig. (I.2)	Limites de distorsion de la tension selon la CEI	07
Fig. (I.3)	Limites IEEE des émissions de courants harmoniques	08
Fig. (I.4)	Exemples de formes d'onde de courant déformé	15
Fig. (I.5)	Exemple d'un courant contenant des harmoniques	17
Fig. (I.6)	Forme d'onde du courant absorbé par un ordinateur et spectre associé	19
Fig. (I.7)	Schémas équivalents pour caractériser la déformation de la tension	21
Fig. (I.8)	Système triphasé déséquilibré	23
Fig. (I.9)	Schéma équivalent	23
Fig. (I.10)	Déplacement du point neutre dans un système déséquilibré	25
Fig. (I.11)	Système triphasé déséquilibré	25
Fig. (I.12)	(a) Phaseur de tension, (b) Triangle pour calculer la composante inverse	27
Fig. (I.13)	Diagramme vectorielle des tensions	27

Fig. (I.14)	Filtre résonant agissant sur plusieurs rangs harmoniques	31
Fig. (I.15)	Spectre d'impédance du réseau	32
Fig. (I.16)	Structure d'un filtre amorti	33
Fig. (I.17)	Filtre amorti du premier ordre	33
Fig. (I.18)	Filtre amorti du deuxième ordre	34
Fig. (I.19)	Filtre amorti du troisième ordre	34
Fig. (I.20)	Filtre amorti du type- C	35
Fig. (I.21)	Protection d'une charge sensible par filtrage de la tension	36
Fig. (I.22)	Protection du réseau par filtrage du courant	36
Fig. (II.1)	Composants MAS	39
Fig. (II.2)	Machine dans l'espace électrique	41
Fig. (II.3)	Schéma bloc du modèle de la machine asynchrone	46
Fig. (II.4)	Réponse dynamique de la vitesse, le couple et les courants statoriques	49
Fig. (II.5)	Les composantes des flux rotoriques	50
Fig. (II.6)	Schéma par phase en régime permanent	52
Fig. (II.7)	Schéma équivalent au stator avec les fuites magnétiques totalisées au rotor	53
Fig. (II.8)	Couple électromagnétique en fonction du glissement	54
Fig. (II.9)	Circuit équivalent	55

Fig. (II.10)	Circuit équivalent aux inductances réparties	56
Fig. (III.1)	Schéma monophasé équivalent	63
Fig. (III.2)	Tension d'alimentation triphasée suivant le taux de déséquilibre de tension	65
Fig. (III.3)	Variation de la Vitesse de rotation en fonction de déséquilibre de tension	66
Fig. (III.4)	Variation de la Vitesse en fonction de déséquilibre de tension	66
Fig. (III.5)	Schéma équivalent d'une machine asynchrone	67
Fig. (III.6)	Les composantes du couple	70
Fig. (III.7)	Caractéristiques du couple résultant T	71
Fig. (III.8)	Variations de K_c en fonction de K_u pour différent valeurs de g	71
Fig. (III.9)	Le rapport K_c / K_u en fonction du glissement g	72
Fig. (III.10)	Le glissement maximum	73
Fig. (III.11)	Facteur de déclassement en fonction de K_u	74
Fig. (III.12)	Rendement du moteur	74

Liste des Tableaux

Tableau	Identification	Page
Tableau 1	Classification des normes concernant la qualité d'énergie électrique	05
Tableau 2	IEEE Std 519-1992 Harmonic Voltage Limits	06
Tableau 3	Limites des courants harmoniques pour différentes classes	09
Tableau 4	Effet harmonique de matériel électrique	18
Tableau 5	Paramètres du moteur asynchrone	47
Tableau 6	Niveau de déséquilibre de tension	65

Tables des matières

I.1 Introduction.....	01
-----------------------	----

Chapitre I Qualité d'énergie, perturbations et solutions de dépollution

I.1 Introduction.....	03
I.2 Définition de la qualité d'énergie.....	03
I.3 Normes internationales.....	03
I.3.1 Organismes internationaux de normalisation.....	04
I.3.2 Normes conformes à L'IEEE-519 :1992.....	05
I.3.3 normes conformes à la CEI.....	06.
I.4 Les perturbations électriques.....	09
I.4.1 La distorsion harmonique.....	14
I.4.1.1 Définition.....	15
I.4.1.2 Effets de la distorsion harmonique.....	17
I.4.1.3 Sources des harmoniques.....	18
I.4.1.4 Caractérisation des harmoniques.....	20
I.4.2 Le déséquilibre du système triphasé.....	23
I.4.2.1 Définition.....	25
I.4.2.2 Effets du déséquilibre.....	25
I.4.2.3 sources du déséquilibre.....	26
I.4.2.4 Calcul du déséquilibre.....	26
I.4.2.5 Caractérisation du déséquilibre.....	28
I.5 Solutions de dépollution des réseaux électriques.....	29
I.5.1 Compensation des perturbations de courant.....	30
I.5.1.1 Filtre passif.....	30

I.5.1.2 Filtre actif parallèle.....	35
I.5.2 Compensation des perturbations de tension.....	36
I.6 Conclusion.....	37

Chapitre II Modélisation et simulation de la machine asynchrone

II Modélisation et simulation de la machine asynchrone.....	38
II.1 Introduction.....	38
II.2 Constitution.....	39
II.3 Modélisation de la machine asynchrone.....	40
II.3.1 Modèle transitoire.....	40
II.3.1.1 Hypothèses simplificatrices.....	40
II.3.1.2 Représentation de la machine dans l'espace électrique.....	41
II.3.1.3 Equations électriques.....	42
II.3.1.4 Application de la transformation de Park à la M.A.S.....	43
II.3.1.5 Modèle de la M.A.S dans le référentiel de Park.....	43
II.3.1.6 Equations magnétiques.....	44
II.3.1.7 Equations mécaniques.....	44
II.3.1.8 Modèle de la machine en vue de sa simulation.....	45
II.3.1.9 Simulation de la machine.....	47
II.3.2 Modèle en régime permanent.....	51
II.3.2.1 Etude en régime permanent.....	51
II.3.2.2 Modèle à inductances couplées.....	54
II.3.2.3 Modèle à inductances réparties.....	55
II.3.2.4 Modèle à fuites totalisées au rotor.....	56
II.3.2.5 Puissances électrique, mécanique et thermique.....	57
II.4 Conclusion.....	59

Chapitre III l'effet des perturbations sur la fiabilité des machines asynchrones.

III.1 Introduction.....	60
III.2 Moteur asynchrone en présence des harmoniques.....	60
III.2.1 Méthode d'analyse.....	61
III.2.2 Circuit équivalent.....	62
III.2.3 Puissances électrique, mécanique et thermique.....	63
III.3 Moteur asynchrone en présence du déséquilibre.....	64
III.3.1 Circuit équivalent.....	67
III.3.2 Analyse en régime établi.....	68
III.3.2.1 Taux de déséquilibre de tension.....	68
III.3.2.2 Les composantes symétriques des courants et leurs taux de Déséquilibre...	68
III.3.2.3 Les impédances du moteur.....	69
III.3.2.4 Couple et rendement.....	70
III.5 Conclusion.....	74
Conclusion générale.....	74
Bibliographie	

Introduction générale

De nos jours, les machines asynchrones sont largement utilisées dans de nombreuses applications industrielles tel que le transport (métro, trains, propulsion des navires), les applications agricoles et industrielles en raison de leur efficacité très élevées, de leur robustesse, de leur faible entretien et faible coût. Le département américain de l'énergie estime que les moteurs électriques consomment 63% de toute l'électricité utilisée dans l'industrie [1].

Après l'invention du premier moteur asynchrone à cage en 1889 par l'électricien allemand Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski [2], le moteur à courant continu a cédé sa place au moteur asynchrone dans les applications à vitesses variables. Ceci a ouvert la voie à plusieurs recherches scientifiques qui ont été menées afin d'étudier le comportement des machines asynchrones et pour le but d'élaborer un modèle aussi fin que possible qui puisse se rapprocher de la réalité.

Par conséquent, ces moteurs doivent répondre de manière efficace à des variations de consignes (vitesse, position, couple) et cela, dans une large gamme de variations du point de fonctionnement. De ce fait, on doit avoir un accès direct et immédiat au couple, afin de le contrôler de manière rapide et appropriée pour mieux adapter le moteur aux exigences imposées.

Dans les années 70, la commande vectorielle, dite commande vectorielle à flux orienté, basée sur le principe d'élimination du couplage entre l'inducteur et l'induit de la machine asynchrone. Cette commande nous permet donc d'obtenir un fonctionnement comparable à

celui d'une machine à courant continu à excitation indépendante [2].

L'emploi de cette commande dite vectorielle repose sur l'utilisation de régulateur de flux qui nécessite un capteur de flux souvent très coûteux. Son montage dans les systèmes d'entraînement est très difficile et demande beaucoup de précision pour aboutir à des résultats abordables. Il est nécessaire d'appliquer des techniques, permettant la reformulation du flux et de vitesse. Ces approches portent le nom des techniques de commande sans capteur de vitesse.

Le manuscrit de ce mémoire se compose de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la Qualité d'énergie, perturbations et solutions de dépollution.
- Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation classique de la machine asynchrone, en s'appuyant sur les transformations de Park [3]. Ces transformations servent à formaliser le système triphasé sous forme d'un système biphasé équivalent.
- Le troisième chapitre, sera consacré l'effet des perturbations sur la fiabilité des machines asynchrones

Finalement on termine ce travail par une conclusion générale et des perspectives.

Références

- [1] B. Walid H. Lamnaouar et H. Houari, « Commande de la machine à induction par technique MRAS », Mémoire d'ingénieur, Université Msila, 2007.
- [2] Felipe Carcoles, IEEE Transactions On Energy Conversion, " Analysis of the Induction Machine Paramatre Identification", JUNE 2002.

Qualité d'énergie, perturbations et solutions de dépollution

I.1 Introduction :

Il est important de comprendre que la qualité d'énergie est un problème de compatibilité : L'équipement connecté au réseau est-il compatible avec les événements apparaissant sur celui-ci ? L'énergie délivrée par le réseau, en prenant compte des incidents pouvant avoir lieu, est-il compatible avec l'équipement qui est connecté ? Les problèmes de compatibilité ont toujours au moins deux solutions : améliorer la qualité de l'énergie fournie ou renforcer l'équipement.

Idéalement le courant est sous forme sinusoïdale, avec une amplitude et une fréquence donnée par les normes nationales (dans le cas de l'électricité domestique) ou un cahier des charges (dans le cas d'un consommateur non rattaché au réseau domestique) avec une impédance de zéro ohm à toutes les fréquences.

En pratique, ce n'est jamais le cas. Parmi de nombreuses caractéristiques, on peut identifier plusieurs types courants de baisse de qualité de l'électricité :

- les variations dans la valeur de crête (amplitude) ou de la valeur efficace de tension sont tous les deux importants pour différents types d'équipements.
- Quand la valeur efficace de la tension dépasse la valeur nominale de 10 à 80 pendant 0.5 cycle à 1 minute, l'incident est appelé une surtension temporaire.

- Un creux de tension est la situation opposée : la valeur efficace est en dessous de la valeur nominale de 10 à 90 % pour une durée de 0.5 cycle à 1 minute.

- Les variations aléatoires et répétitives de la valeur efficace entre 90 et 100% de la valeur nominale peuvent produire un phénomène appelé fluctuation lente de tension ou papillotement lié au phénomène lumineux qu'il génère sur une ampoule.
- De brefs pics de tension, appelés tensions de choc (progressive) ou bien surtensions de manœuvre ou surtensions de foudre selon l'origine de ce pic (déconnexion d'une grosse charge inductive ou foudre).
- Un phénomène de sous-tension apparaît quand la tension est en dessous de 90 % de la tension minimale pendant plus d'une minute. Visuellement, on peut se rendre compte que l'éclairage est réduit.
- Une surtension apparaît quand la valeur efficace est à plus de 110 % de la valeur nominale pendant plus d'une minute.
- Variations de la fréquence.

Chacun de ces problèmes de qualité a une origine différente. Certains sont le résultat d'infrastructure partagée.

Par exemple, un défaut sur un réseau peut provoquer un creux de tension qui affectera certains clients et plus grave est le défaut, plus le nombre de client affecté sera important, ou un problème sur le site d'un client peut provoquer un transitoire qui affectera tous les autres clients sur le même sous-système.

D'autres problèmes, tels que les harmoniques, peuvent se présenter à l'intérieur de l'installation du client et se propager dans tout le réseau. Les problèmes d'harmoniques peuvent se résoudre avec une bonne conception et des équipements qui réduisent ses effets [1].

I.2 Définition de la qualité d'énergie :

La qualité de l'énergie désigne plus concrètement la qualité de la fourniture électrique celle-ci dépend de trois facteurs que sont la continuité d'alimentation, la qualité de l'onde de tension et la qualité de service. La continuité d'alimentation recouvre les coupures ou interruption du réseau. On distingue les coupures très brèves (entre 1 seconde et 3 minutes) des coupures longues (supérieures à 3 minutes).

La qualité de l'onde de tension désigne les perturbations liées à la forme de l'onde de tension délivrée par réseau, susceptibles d'altérer le fonctionnement des appareils électrique raccordés au réseau, voire de les endommager. Les types de perturbations identifiés sont par exemple les

creux de tension, les surtensions impulsionnelles, les variations de fréquence, les papillotements, etc. Enfin la qualité de l'énergie dépend de la qualité de service qui caractérise la relation entre un utilisateur et son gestionnaire de réseau ou son fournisseur. il s'agit par exemple des délais de remis en service, des délais d'intervention d'urgence, des délais de raccordement, des notifications de coupure programmée, etc.

Deux types d'acteurs agissent donc sur la qualité de l'énergie :

- Le distributeur d'une part, et l'utilisateur d'autre part sur chacun de ces maillons, la responsabilité de l'un ou de l'autre est engagée. Coté distributeur
- .la qualité de fourniture de réseau est très encadrée, notamment par la norme EN50160.cette norme européenne liste les différents types de perturbation et les paramètres à surveiller. [2]

I.3 Normes internationales :

Le terme beaucoup relié à la qualité d'énergie électrique est le terme « compatibilité électromagnétique CEM » comme utilise dans les normes de la CEI (Commission Électrotechnique Internationale),la CEI définit la CEM comme l'aptitude d'un dispositif, d'une appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cette environnement, par environnement électromagnétique d'un dispositif, on entend le niveau de perturbation auquel il est soumis, en tenant compte des perturbations rayonnées et conduite.[3]

L'objectif est de parvenir a une compatibilité électromagnétique entre tous les équipements électriques, afin d'y arriver on doit s'assurer que le taux de perturbation produit par un équipement (niveau d'émission) est inférieur au limite d'émission et que la taux de perturbation maximal pour lequel cette équipement fonctionner de façon normale (niveau d'immunité) est supérieur aux limites d'immunité. Finalement, le niveau de compatibilité peut être introduit : il s'agit d'un niveau de référence qui se trouve entre les limités d'émission et d'immunité et qui permet le fonctionnement correct des équipements durant la plupart du temps.

I.3.1 Organismes internationaux de normalisation :

L'organisation internationale de normalisation généralement désigné sous le sigle ISO, choisi pour être le sigle identique dans toutes les langues (ce choix est un exemple de normalisation), est un organisme de normalisation international composé de représentants d'organisations nationales de normalisation de 164 pays, selon le principe d'un membre par pays. L'IOS est le plus grand organisme de normalisation au monde et demeure une organisation non gouvernementale.

Cette organisation créée en 1947 a pour but de produire des normes internationales dans les domaines industriels et commerciaux appelées normes ISO. Elles sont utiles aux organisations industrielles et économiques de tout type, aux gouvernements, aux instances de réglementation, aux professionnels de l'évaluation de la conformité, aux fournisseurs et acheteurs de produits et de service, dans les secteurs tant publics que privé.

D'une manière globale, ces normes servent les intérêts du public en général lorsque celui-ci agit en qualité de consommateur et utilisateur.

Le secrétariat central de ISO est situé à Vernier dans le canton de Genève en Suisse. Il assure aux membres de L'ISO le soutien administratif et technique, coordonne le programme décentralisé d'élaboration des normes et procède à leur publication. [4]

Thèmes	Normes
Classification de la qualité d'énergie	CEI 61000-2-5 :1995 CEI 61000-2-1 :1990 IEEE 1159 :1995
Creux/Surtension/Interruption	CEI 61009-2-1 :1990 IEEE 1159 :1995
Harmonique	CEI 61000-2-1 :1990 CEI 61000-2-2 CEI 61000-3-2 CEI 61000-4-7 :1991 IEEE 519 :1992
Flicker de tension	CEI 61000-4-15 :1997
Transitoires	CEI 61000-2-1 :1990 CEI 816 :1984 IEEE 519 :1995 IEEE C62.41 :1991

Tableau 1 : Classification des normes concernant la qualité d'énergie électrique

I.3.2 Normes conformes à L'IEEE-519 :1992

L'IEEE-519 :1992 est un document utile pour comprendre les harmoniques et appliquer les limites d'harmoniques dans les systèmes électriques.

Malgré de nombreuses années de bonne utilisation, il existe encore une certaine confusion quant à la manière d'appliquer certains aspects de la norme. Cet article traite de certains d'entre eux, ainsi que des problèmes connexes qui sont utiles pour travailler avec les limites harmoniques. Il y a un débat considérable sur la manière précise dont certains éléments de la norme IEEE 519-1992 doivent être interprétés. Cet article présente les points de vue des auteurs sur certains des éléments les plus ambigus de la norme et sur l'application des limites harmoniques en général.

Voltage Distortion Limits		
Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

NOTE: High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.

Tableau 2: IEEE Std 519-1992 Harmonic Voltage Limits.

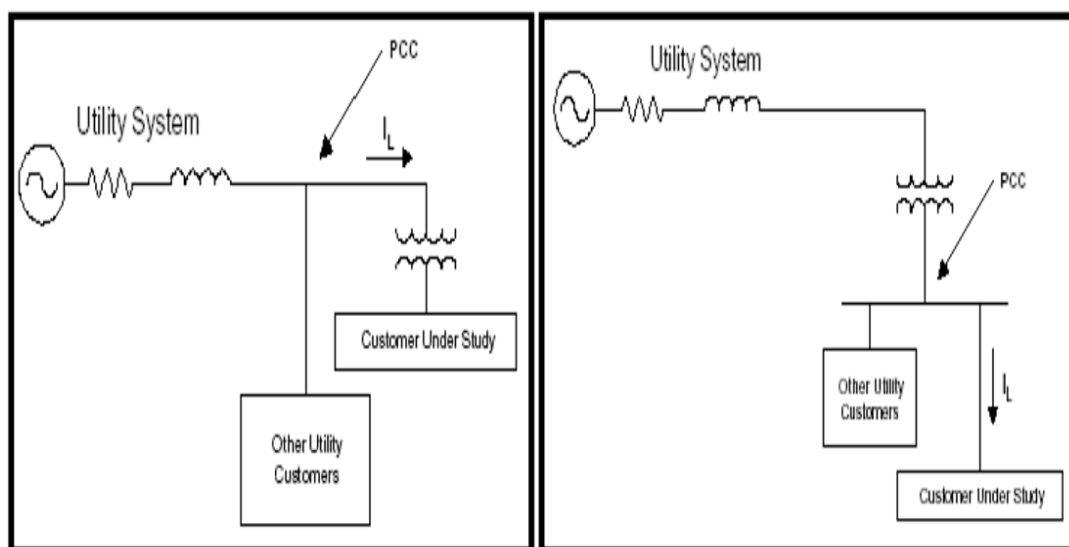


Figure (I.1): Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic Limits

I.3.3 normes conformes à la CEI :

Concernant la CEI, les niveaux de compatibilité sont utilisés comme référence pour la coordination entre l'émission et l'immunité des équipements des installations BT et MT. Les niveaux de planification sont utilisés par le gestionnaire du réseau lors de l'évaluation de l'impact d'une installation perturbatrice de la clientèle sur le réseau. La Figure (I.2) montre les niveaux de compatibilité et de planification de la distorsion de la tension selon la CEI pour les réseaux MT. Les niveaux du THD pour les réseaux MT sont quelque peu plus hauts que seuls de l'IEEE dans la Figure (I.2) et Figure (I.3).

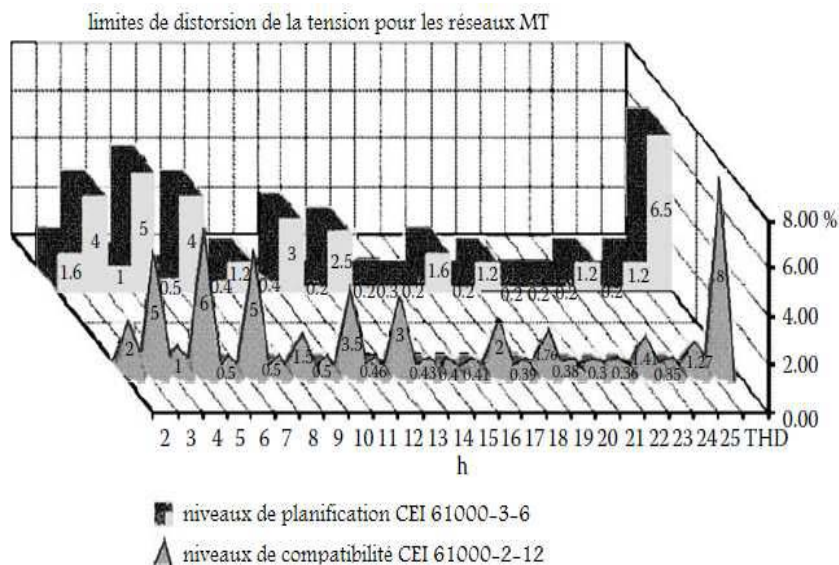


Figure (I.2) : Limites de distorsion de la tension selon la CEI.

Les limites d'émission pour les petits équipements de la clientèle sont définies en CEI 61000-3-2, le document distingue entre quatre classes d'équipements :

1. Classe A: équipements triphasés équilibrés, les moteurs, et tous les équipements non classés ailleurs. en gros cette classe est la plus large.
2. Classe B: Tous les outils portables.
3. Classe C: équipements lumineux.
4. Classe D: Equipement monophasés, téléviseurs, ordinateurs.

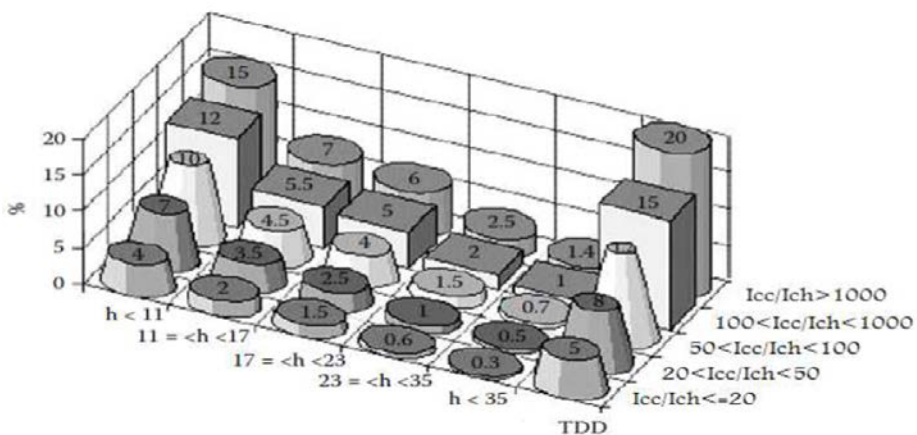


Figure (I.3) : Limites IEEE des émissions de courants harmoniques.

Figure (I.3) représente les limites pour les harmoniques de courant de chacune des classes des équipements classifiées ci-dessus. Les limites sont données en ampère pour les classes A et B et en pourcentage de la fondamentale pour la classe C. Pour la classe D, les niveaux sont donnés en milliampères par watt pour les équipements de puissance supérieur a 75W et inférieur a 600W, ou en ampère pour les équipements de puissance supérieur à 600W.

Harmonique Impair h	Harmonique pair h	Classe A (A)	Classe B (A)	Classe C (% de la Fondamentale)	Classe D	
					75w<P<600w (mA/w)	P>600w (A)
3	2	1.08	1.62	2 (30) ×FP (circuit)	3.4	2.3
		2.3	3.45			
5	4	0.43	0.645	10	1.9	1.14
		1.14	1.71			
7	6	0.3	0.45	7	1	0.77
		0.77	1.155			
9	8 ≤ h ≤ 40	1.84/h	2.76/h	5	0.5	0.4
11		0.4	0.6			
13	15 ≤ h ≤ 39	0.33	0.495	3(pour 11 ≤ h ≤ 39)	0.35	0.33
		0.21	0.315			
		2.25/h	3.375/h		3.85/h	2.25/h

Tableau 3 : Limites des courants harmoniques pour différentes classes.

I.4 Les perturbations électriques :

Les principaux types pour plus d'informations : Deux types :

- Ceux produits par induction de décharges atmosphériques (foudre) sur les lignes aériennes.
- Ceux produits par des variations brutales du courant de charge, connexions-déconnexions de charges inductives ou capacitives.

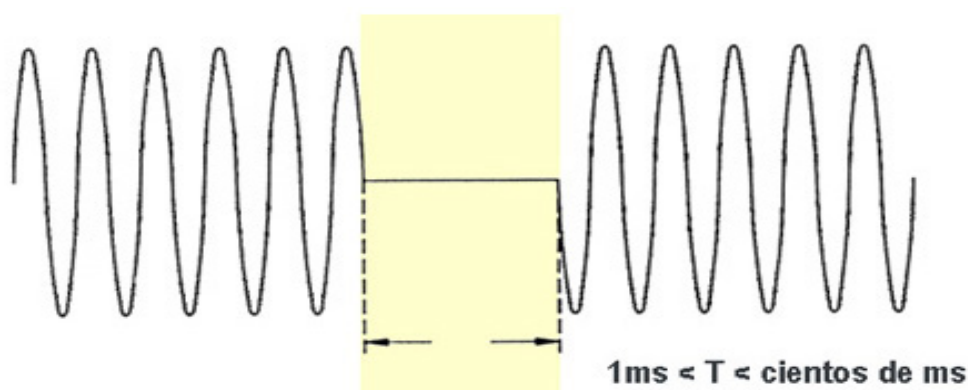
Effet : Lorsqu'ils dépassent les limites prévues, produisent des pannes dans les isolations ou sur les semi-conducteurs.



Microcoupures (Dropout) :

Il s'agit de chutes de tension profondes ou totales, d'une durée de quelques millisecondes. Les microcoupures sont dues à deux causes :

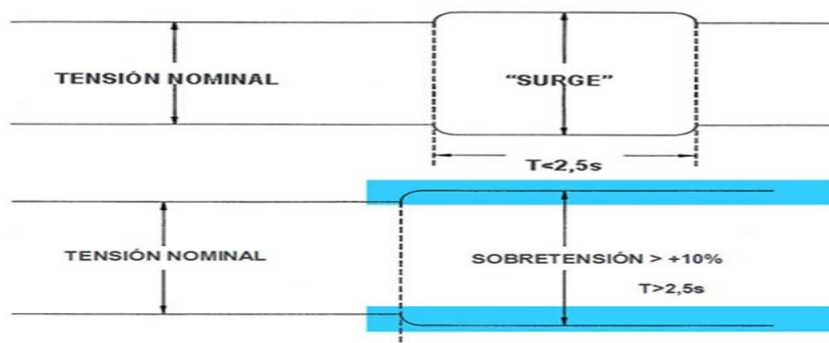
- Courts-circuits proches du point de consommation, éliminés ultérieurement par la protection correspondante.
- Interruptions de la fourniture dues à la commutation de lignes et déclenchement de protections avec réenclenchement automatique.
- Effet : Sur des équipements avec des fonctions de mémoire ou de logique, une coupure de l'alimentation (même de courte durée) provoque généralement des dysfonctionnements fonctionnels. Les équipements informatiques sont en général très sensibles à ces perturbations qui peuvent entraîner la perte de données très précieuses.



Surtensions : transitoires (Surgés) / Longue durée :

Surtensions de courte/longue durée dues à des diminutions de charge sur des réseaux de régulation médiocre (haute impédance).

- Effet : Sont à l'origine de multiples problèmes sur les équipements et les installations :
- Pour les installations d'éclairage, réduisent la durée de vie des lampes.
- Pour les équipements informatiques, entraînent des pannes d'alimentation et de moniteurs.

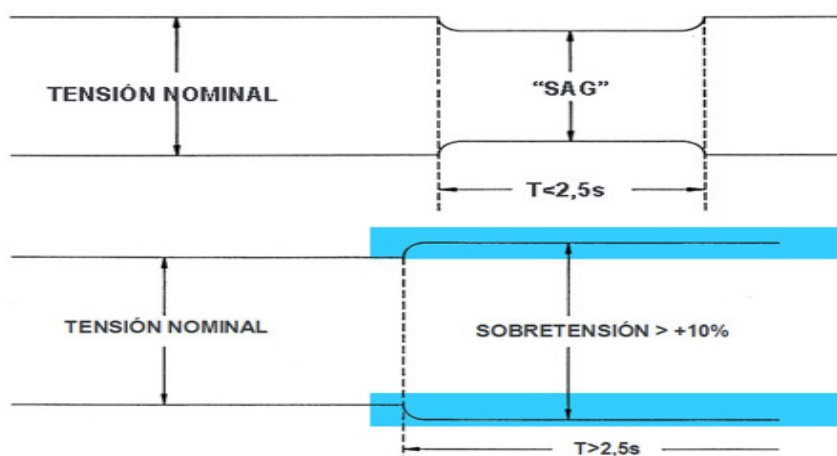


Sous-tensions : transitoires (Sags) / Longue durée :

Il s'agit de chutes de la tension de courte durée dues à des surcharges passagères ou permanentes sur le réseau.

Effet :

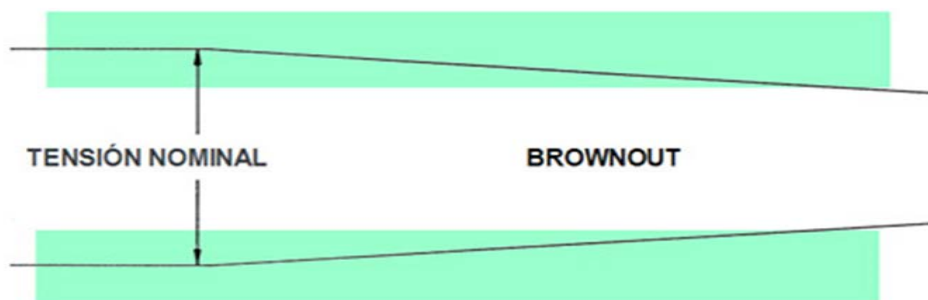
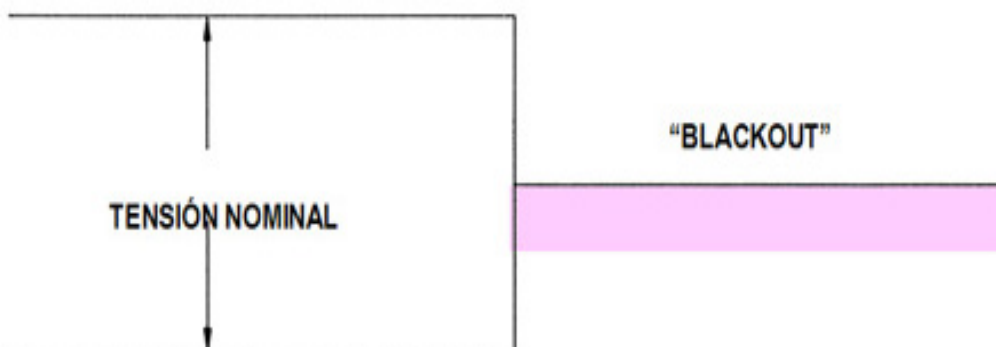
- Les machines en mouvement, les moteurs à induction réduisent leur vitesse et augmentent leur consommation.
- Les installations d'éclairage à l'aide de lampe à décharge présentent des points obscurs.



Sous-tensions graduelle et prolongée (Brownout) :

Chutes progressives pendant plusieurs secondes, qui aboutissent souvent à l'arrêt total de la fourniture. Se produisent lors de fortes perturbations dans l'exploitation des réseaux et des centrales de production d'énergie. (Manque de puissance, perte de synchronisme, etc....).

Effet : Conséquences identiques à celles d'une coupure ou d'une microcoupure.

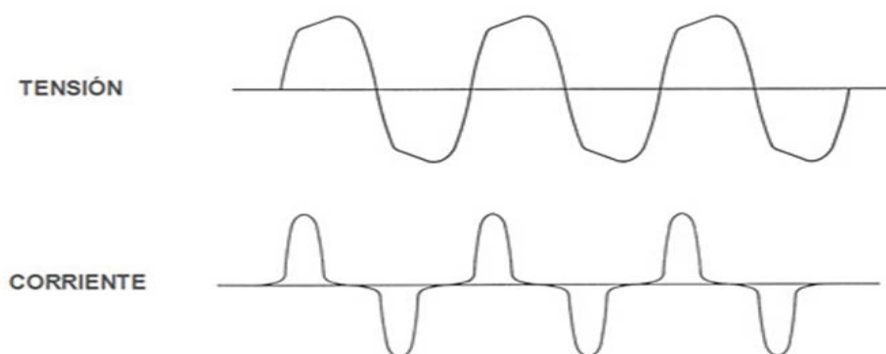
**Défaillance de la fourniture (Blackout) :**

Panne totale généralement due à l'actionnement intempestif d'une protection du réseau de distribution.

Effet : Les coupures de l'approvisionnement mettent inévitablement les équipements à l'arrêt, à moins que ceux-ci ne possèdent leur propre système d'énergie indépendant de l'extérieur. Mais lorsque la coupure se produit de manière intempestive, des situations peuvent mettre en danger la sécurité des personnes et des biens, ou encore des pertes de données précieuses (comme dans le cas des équipements informatiques).

Harmoniques de courant et/ou de tension :

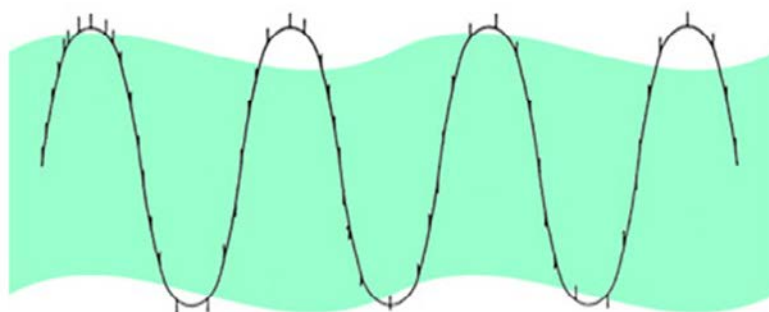
Certains récepteurs consomment des charges non linéaires, autrement dit, des courants harmoniques. Ces courants provoquent des chutes de tension harmoniques qui modifient l'onde de tension sinusoïdale produite à l'origine (aux alternateurs des centrales).

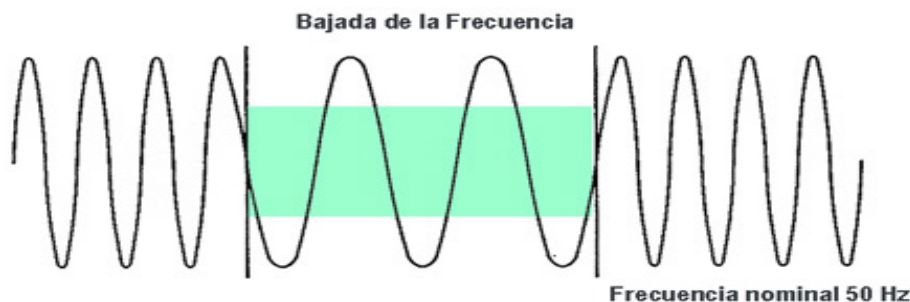
**Perturbations haute fréquence :**

Il s'agit de signaux en haute fréquence superposés à la tension d'alimentation. Elles peuvent consister en des signaux de n'importe quelle fréquence définie ou à large bande ; stationnaires, en rafale ou à impulsions répétées.

Ces perturbations sont le résultat de couplages indésirables des lignes du réseau commercial avec des appareils qui utilisent des technologies de haute fréquence ou de commutation. Selon le type de couplage, elles peuvent être de mode commun ou de mode différentiel.

Effet : Ces perturbations peuvent provoquer toutes sortes de problèmes sur les équipements : depuis les simples dysfonctionnements fonctionnels jusqu'aux pannes permanentes.



Variations de la fréquence :

Les réseaux commerciaux continentaux interconnectés (comme le sont la plupart des réseaux en Europe) fournissent une fréquence pratiquement invariable et très proche de la fréquence nominale. Cela est dû au fait que nous la contrôlons dans un méga-système composé d'un nombre infini de machines synchrones, d'une puissance totale énorme et d'une inertie qui tend vers l'infini.

En revanche, dans de nombreuses îles et autres régions isolées, ou dans des installations indépendantes équipées de petites centrales électriques (ou groupes électrogènes), d'importantes variations de la fréquence se produisent régulièrement. Les variations sont pratiquement inévitables lorsqu'ont lieu des connexions ou des déconnexions d'une puissance comparable à la puissance totale du système. [5]

I.4.1 La distorsion harmonique :

La distorsion harmonique totale (THD) est un indicateur de la distorsion d'un signal.

Il est largement utilisé en génie électrique et dans la gestion des harmoniques en particulier.

Pour un signal Y , le THD est défini comme suit :

$$\text{THD} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Y_h}{Y_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{Y_2^2 + Y_3^2 + \dots + Y_H^2}}{Y_1} \quad (\text{I.1})$$

THD est le rapport entre la valeur efficace de toutes les composantes harmoniques du signal Y , ramenée à la composante fondamentale Y_1 .

H est généralement pris égal à 50, mais peut être limité dans la plupart des cas à 25

A noter que THD peut être supérieur à 1 et est généralement exprimé en pourcentage.[5]
THD en courant ou en tension

$$\text{Pour les harmoniques de courant l'équation est : } \mathbf{THD}_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \quad (\text{I.2})$$

$$\text{En introduisant la valeur efficace du courant : } \mathbf{I}_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=H} I_h^2} \quad (\text{I.3})$$

$$\text{Nous obtenons la relation suivante : } \mathbf{THD}_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (\text{I.4})$$

$$\text{Equivalent a : } \mathbf{I}_{rms} = I_1 \sqrt{1 + \mathbf{THD}_i^2} \quad (\text{I.5})$$

I.4.1.1 Définition :

La présence d'harmoniques dans les systèmes électriques signifie que le courant et la tension sont déformés et s'écartent de formes d'ondes sinusoïdales. Les courants harmoniques sont causés par des charges non linéaires connectées au système de distribution. Une charge est dite non linéaire lorsque le courant qu'elle absorbe n'a pas la même forme d'onde que la tension d'alimentation. La circulation de courants harmoniques dans les impédances du réseau crée ensuite des harmoniques de tension, qui déforment la tension d'alimentation. Sur la Figure (I.4) sont représentées des ondes de courant typiques pour des charges non linéaires monophasées (en haut) et triphasées (en bas).[5]

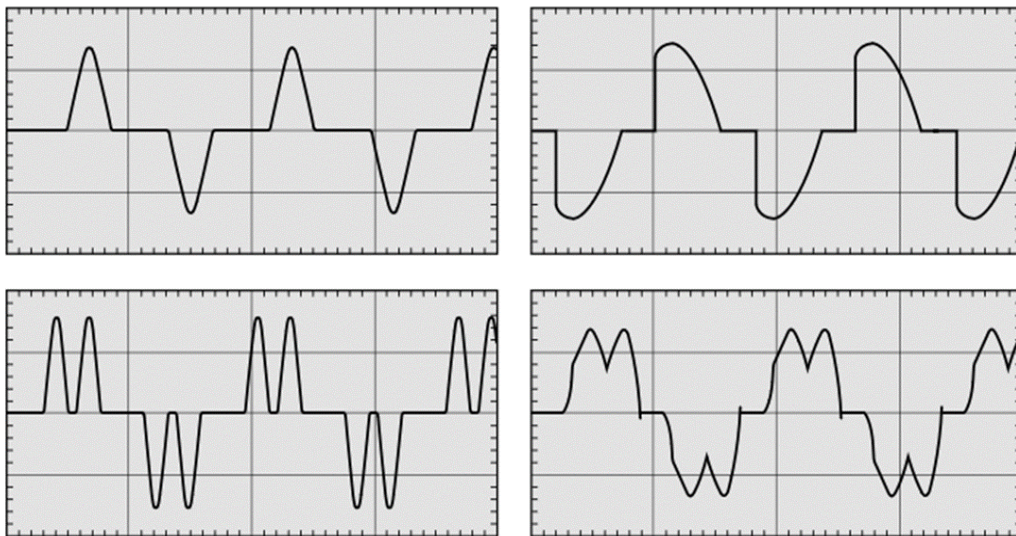


Figure (I.4) : Exemples de formes d'onde de courant déformé.

Le théorème de Fourier indique que toutes les fonctions périodiques non sinusoïdales peuvent être représentées comme la somme des termes (i.e. une série) constituée de :

- un terme sinusoïdal à la fréquence fondamentale.
- des termes sinusoïdaux (harmoniques) dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.
- une composante continue, le cas échéant.

L'harmonique de rang h (communément appelé "harmonique h ") d'un signal est la composante sinusoïdale dont la fréquence est h fois la fréquence fondamentale. L'équation de la décomposition harmonique d'une fonction périodique $y(t)$ est présentée ci-dessous :

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{h=\infty} Y_h \sqrt{2} \sin(h\omega t - \varphi_h) \quad (\text{I.6})$$

Y_0 : valeur de la composante continue généralement nulle

Y_h : valeur efficace de l'harmonique de rang h ,

ω : vitesse angulaire de la fréquence fondamentale,

φ_h : phase de la composante harmonique à $t = 0$.

La Figure (I.5) représente un exemple d'une onde de courant affectée par la distorsion harmonique sur un système de distribution électrique à 50 Hz.

Le signal déformé est la somme de composantes harmoniques superposées :

- la valeur de la fréquence fondamentale (ou harmonique de rang 1) est de 50 Hz.
- L'harmonique de rang 3 a une fréquence de 150 Hz.
- L'harmonique de rang 5 a une fréquence de 250 Hz.

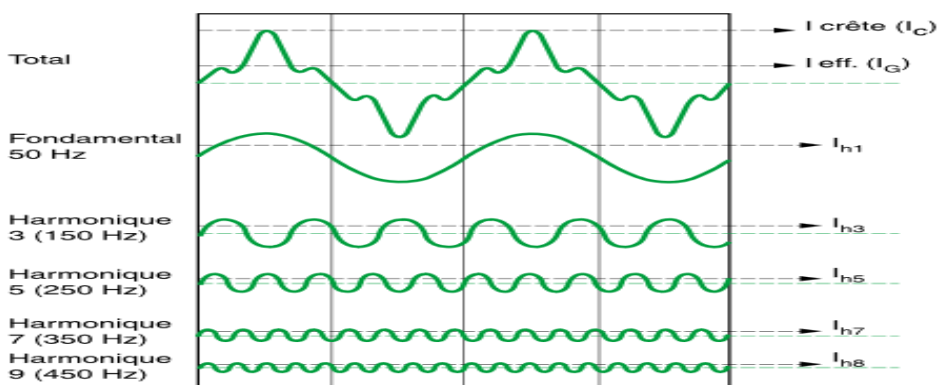


Figure (I.5) : Exemple d'un courant contenant des harmoniques et décomposition en rangs harmoniques de rang 1 (fondamental), 3, 5, 7 et 9.

I.4.1.2 Effets de la distorsion harmonique :

Ce sont les démarreurs électroniques, les variateurs de vitesse et convertisseurs de fréquence, onduleurs, alimentations à découpage, lampes à décharge, ordinateurs, téléviseurs, etc.

- Effets instantanés, ils créent des perturbations dans le fonctionnement des appareils de protection et de commutation.
- Effets à moyen et long terme : ils engendrent l'échauffement des matériels électriques, et causent un vieillissement prématuré de ceux-ci.

Matériel électriques	Effet de la pollution harmonique
Machine tournant (moteur triphasé, alternateur)	Echauffements supplémentaire. Couples oscillatoire qui provoquent la vibration et de bruit
Transformateurs	Echauffements supplémentaire. Pertes dans le fer, risque de saturation
Câbles	Augmentation les pertes surtout dans câbles neutre ou s'ajoutent harmonique rang 3
Electronique de puissance	Troubles de fonctionnement
Condensateur	Vieillessement prémature
Dispositif de protection (disjoncteur, fusible)	Déclenchement intempestif
Compteur d'énergie	Erreur de mesure
Téléviseurs	Déformation d'image et du son
Lampes à décharge	Risque vieillissement prémature

Tableau 4 : effet harmonique de matériel électrique.

Les courants harmoniques circulant à travers les impédances du système électrique provoquent des baisses de tension harmonique, observées sous forme de distorsion harmonique en tension.

I.4.1.3 Sources des harmoniques :

Sources harmoniques identifiables

Les équipements dotés de dispositifs à base d'électronique de puissance, notamment les redresseurs et les cyclo convertisseurs de puissances importantes, installés sur les réseaux haute et moyenne tension sont typiquement des sources harmoniques identifiables. Avec ce type de charge non linéaire, le distributeur d'énergie est capable d'identifier le point d'injection des harmoniques et de quantifier la perturbation provoquée. Dans ce cas, c'est l'utilisateur qui doit se procurer les moyens nécessaires afin de réduire cette perturbation au-dessous du seuil exigé par le distributeur de l'énergie sous peine d'être pénalisé.

Sources harmoniques non identifiables :

Ce type de générateur de courants harmoniques est principalement représenté par les appareils utilisés dans les domaines électrodomestiques ou tertiaires tels que les téléviseurs et les micro-ordinateurs.

Vue leur très large diffusion, ces équipements comportant souvent un redresseur monophasé à diodes avec un condensateur de lissage, prélèvent des courants harmoniques non négligeables. Dans ce cas, il est de la responsabilité du distributeur de l'énergie électrique d'empêcher la propagation de la perturbation harmonique sur le réseau puisqu'individuellement chaque utilisateur génère un faible taux d'harmonique. A titre d'exemple, la figure (I.6) ci-dessous montre l'allure du courant absorbé par un ordinateur.

Il est de forme impulsionnelle et riche en harmoniques et possède un taux de distorsion inadmissible.

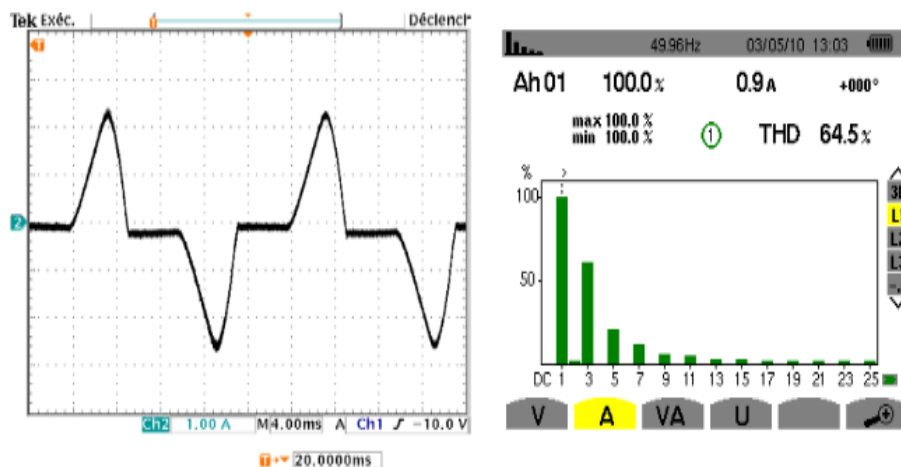


Figure (I.6) : Forme d'onde du courant absorbé par un ordinateur et spectre associé.

I.4.1.4 Caractérisation des harmoniques :

La perturbation harmonique est généralement caractérisée par le taux de distorsion harmonique (THD) défini pour la tension ou le courant. Ce critère est le plus souvent employé pour quantifier le contenu harmonique d'un signal distordu.

Le courant absorbé par une charge non linéaire (convertisseur statique) n'est pas sinusoïdal, mais sa valeur moyenne sur chaque phase est souvent nulle. Dans ce cas, la décomposition en série de Fourier du courant donne :

$$i(t) = \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t + \alpha_1) + \sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{2}I_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (\text{I.7})$$

I_1, I_h : valeur efficace du courant fondamental et du courant harmonique de rang h ,

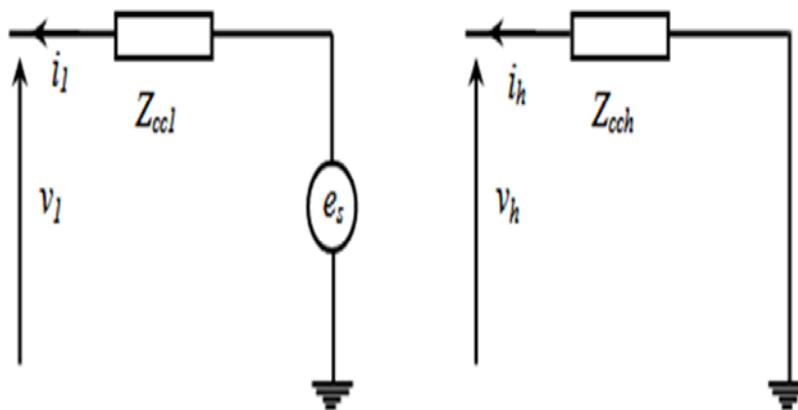
α_1, α_h : déphasage du courant fondamental et du courant harmonique de rang h ,

ω : pulsation fondamentale du réseau.

Le taux de distorsion harmonique de ce courant s'exprime sous la forme suivante :

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{I_h^2}{I_1^2}} \quad (\text{I.8})$$

Pour étudier la déformation de la tension du réseau provoquée par le prélèvement de courants distordus, nous représentons la source d'énergie par une f.é.m. (e_s) à la fréquence fondamentale mise en série avec une impédance variable avec la fréquence comme le montre la figure (I.7).



(a) : pour la fréquence fondamentale

(b) : pour l'harmonique de rang h

Figure (I.7) : Schémas équivalents pour caractériser la déformation de la tension au Point de n raccordement

Sur ces schémas, les impédances représentent :

Z_{cc1} : impédance de court-circuit de la source à la fréquence fondamentale,

Z_{cch} : impédance de court-circuit de la source à la fréquence du rang h.

La tension au point de raccordement, $v(t)$, est composée de la somme ci-dessous :

$$v(t) = v_1(t) + \sum_{h=2}^n v_h(t) \quad (I.9)$$

Avec :

$$\begin{aligned} v_1(t) &= e(t) - |Z_{cc1}| \cdot I_1 \sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha_1 + \phi_{cc1}) \\ v_h(t) &= -|Z_{cch}| \cdot I_h \sqrt{2} \sin(h\omega t + \alpha_h + \phi_{cch}) \end{aligned} \quad (I.10)$$

$|Z_{cc1}|, |Z_{cch}|$ Représente le module de Z_{cc1} et Z_{cch} respectivement

ϕ_{cc1}, ϕ_{cch} Représente l'argument de Z_{cc1} et Z_{cch} respectivement

De l'équation (I.10), on constate que la tension du réseau n'est plus sinusoïdale et est déformée par les courants harmoniques par l'intermédiaire de l'impédance de court-circuit. Pour la rendre sinusoïdale deux solutions sont possibles :

l'impédance du réseau ou annuler les harmoniques de courant Le

taux de distorsion harmonique en tension est un paramètre qui sert à évaluer la déformation de la tension et s'exprime sous la forme suivante :

$$THD_v = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{v_h^2}{v_1^2}} \quad (I.11)$$

Il est possible aussi de caractériser les harmoniques par leur participation dans la puissance apparente. Nous utilisons alors la notion de puissance déformante "D". Dans le cas d'un réseau équilibré à m phases, la puissance apparente S, la puissance active P et la puissance réactive q sont données par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} S &= m \sqrt{\sum_{h=1}^n V_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=1}^n I_h^2} = m \cdot V_{eff} \cdot I_{eff} \\ P &= m \sum_{h=1}^n V_h I_h \cos(\phi_h) \\ q &= m \sum_{h=1}^n V_h I_h \sin(\phi_h) \end{aligned} \quad (I.12)$$

A son tour la puissance déformante caractérisant la contribution des harmoniques est définie par la formule suivante :

$$D = mV_1 \sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2} \quad (\text{I.13})$$

Finalement, le facteur de puissance s'exprime comme suit :

$$\text{FP} = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{h=1}^n V_h I_h \cos(\varphi_h)}{\sqrt{\sum_{h=1}^n V_h^2} \sqrt{\sum_{h=1}^n I_h^2}} \quad (\text{I.14})$$

On constate que le facteur de puissance est dégradé par la présence des harmoniques.

Dans le cas d'un système triphasé alimentant une charge non linéaire équilibrée (cas du redresseur à diodes), les fondamentaux des courants absorbés composent un système direct (c'est-à-dire de même séquence que les tensions du réseau), les harmoniques multiples de 3 composent un système homopolaire (ils sont en phase), l'harmonique 5 est un système inverse (la séquence des phases est inverse par rapport à celle du réseau), l'harmonique 7 un système direct,etc.

I.4.2 Le déséquilibre du système triphasé :

On se place dans le cas d'une charge triphasée déséquilibrée Z_i et Z_j Figure (I.8)

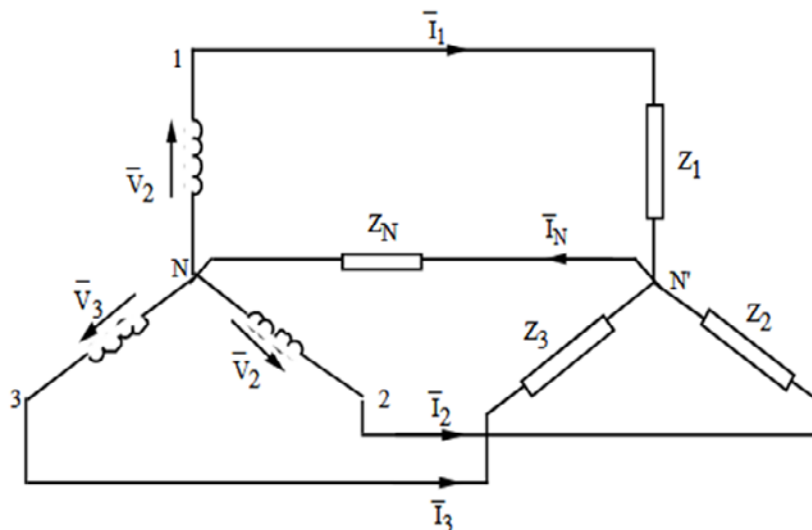


Figure (I.8) : Système triphasé déséquilibré.

Forment un système triphasé équilibré, c'est généralement le cas réel dans les réseaux
Le schéma équivalent est représenté sur la figure (I.9).

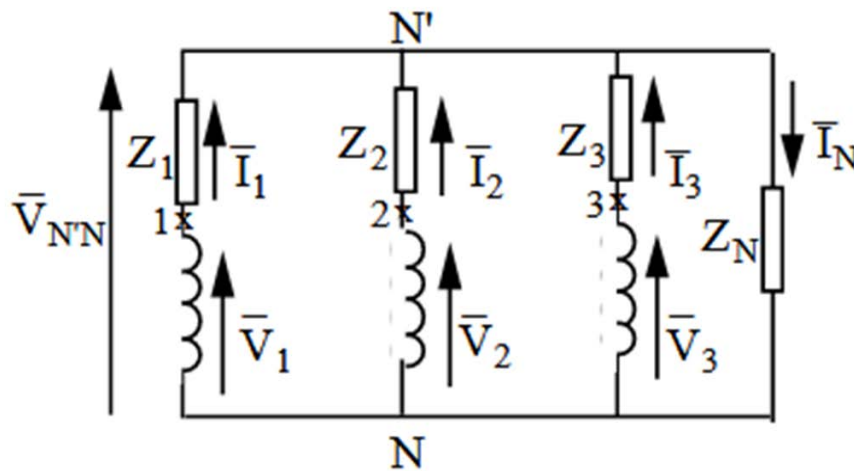


Figure (I.9) : Schéma équivalent.

On peut écrire :

$$\begin{aligned} \bar{V}_{NN} &= \bar{V}_1 - \bar{Z}_1 \bar{I}_1 \\ \bar{I}_1 &= \bar{Y}_1 \bar{V}_1 - \bar{V}_{NN} \bar{Y}_1 \\ \bar{I}_2 &= \bar{Y}_2 \bar{V}_2 - \bar{V}_{NN} \bar{Y}_2 \\ \bar{I}_3 &= \bar{Y}_3 \bar{V}_3 - \bar{V}_{NN} \bar{Y}_3 \end{aligned} \quad (I.15)$$

$$\bar{I}_N = \bar{V}_{NN} \bar{Y}_N$$

$$0 = \bar{Y}_1 \bar{V}_1 + \bar{Y}_2 \bar{V}_2 + \bar{Y}_3 \bar{V}_3 - \bar{V}_{NN} (\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_N), \text{ on en déduit :}$$

$$\bar{V}_{NN} = \frac{\bar{Y}_1 \bar{V}_1 + \bar{Y}_2 \bar{V}_2 + \bar{Y}_3 \bar{V}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_0} \quad (I.16)$$

\bar{V}_{NN} et la tension nodale, le déplacement du point neutre

Si le fil neutre n'est pas branché $Z_N = \infty$ et $Y_N = 0$, on aura :

$$\bar{V}_{NN} = \frac{\bar{Y}_1 \bar{V}_1 + \bar{Y}_2 \bar{V}_2 + \bar{Y}_3 \bar{V}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3} \quad (I.17)$$

Si par ailleurs, $Y_1 = Y_2 = Y_3$, on retrouve $V'_{N'N} = 0$

Les tensions simples aux bornes des récepteurs peuvent être déterminées par :

$$\begin{aligned}\underline{V}_{1N'} &= \underline{V}_1 - \underline{V}_{N'N} \\ \underline{V}_{2N'} &= \underline{V}_2 - \underline{V}_{N'N} \\ \underline{V}_{3N'} &= \underline{V}_3 - \underline{V}_{N'N}\end{aligned}\quad (\text{I.18})$$

Les courants sont déterminés par :

$$I_1 = \frac{\underline{V}_{1N}}{Z_1}; I_2 = \frac{\underline{V}_{2N}}{Z_2} \text{ et } I_3 = \frac{\underline{V}_{3N}}{Z_3} \text{ et } I_N = I_1 + I_2 + I_3 \quad (\text{I.19})$$

Les tensions $\underline{V}_{1N} \underline{V}_{2N} \underline{V}_{3N}$ anis que les courants I_1, I_2, I_3 forment des systèmes triphasés déséquilibrés.

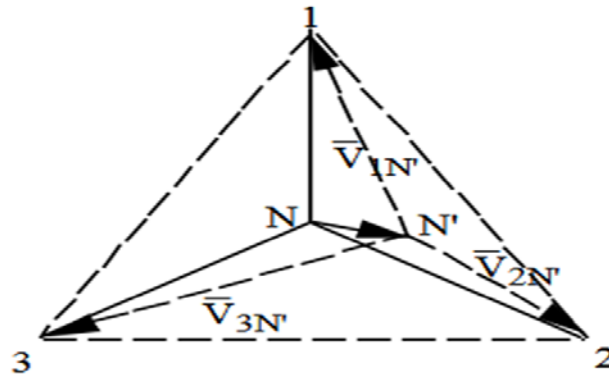


Figure (I.10) : Déplacement du point neutre dans un système déséquilibré.

I.4.2.1 Définition :

Il existe trois types des circuits de système triphasé déséquilibré :

1-charge déséquilibré : il peut exister un court-circuit dans la charge ou une mauvaise répartition des charges monophasé sur les réseaux triphasés

2-source déséquilibré : court-circuit de la source ou dans un transformateur

3-combinaison de source et de charge déséquilibré

De façon pratique, on retrouve des charges déséquilibrés plus souvent que de source déséquilibré. On conçoit les sources pour qu'elles soient le plus équilibré possible [6].

On peut utiliser l'une de deux méthodes d'étude pour résoudre ces circuits :

a-utilisation les lois relatives aux circuits électriques (mailles, nœud, ct...)

b-méthodes des composants symétriques

I.4.2.2 Effets du déséquilibre :

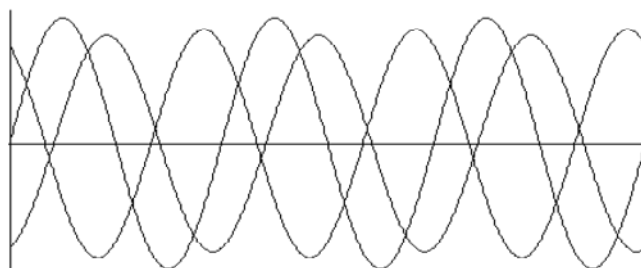


Figure (I.11) : Système triphasé déséquilibré

Le déséquilibre de tension conduit à un déséquilibre de courant à travers les Équipements triphasés. Comme les équipements qui sont particulièrement sujet au Déséquilibre de tension (machines tournants, redresseurs triphasés) sont connectés en Triangle, seulement la composante inverse qui affecte ces équipements, la composante.

Le déséquilibre d'une installation triphasée peut entraîner un dysfonctionnement des

Appareils basses tensions connectés :

- Mauvais fonctionnement d'un appareil monophasé alimenté par une tension très Faible (lampes à incandescence qui fournit un mauvais éclairage).
- Destruction d'un appareil monophasé alimenté par une tension trop élevée, il peut Être détruit (claquage d'un filament de lampe par surtension).

Les machines tournantes ont une impédance inverse faible par rapport à l'impédance Directe, le courant additionnel résultant conduira à des pertes supplémentaires, donc Échauffement supplémentaire des machines. Les composantes inverses créeront dans la Machine un champ tournant en sens inverse du sens de rotation normal, d'où un couple de freinage parasite et des pertes supplémentaires qui provoquent aussi l'échauffement de ces machines.

I.4.2.3 sources du déséquilibre :

Le déséquilibre de tension est principalement dû aux :

- a) Courant de charge déséquilibré : ceci est fréquent pour les récepteurs triphasés Basse tension, et pour les récepteurs monophasés haute tension comme la machine à souder, des fours à arc et la traction ferroviaire .

b) Courant équilibré circulant dans des impédances déséquilibrées : comme les Impédances des réseaux électriques (inductance et capacité), les enroulements des Transformateurs triphasés et des machines tournantes dus à une conception erronée.

I.4.2.4 Calcul du déséquilibre :

Considérons le phasreur de tension montré sur la Figure (I.12) a et comme seulement Les tensions de phase sont connues, on crée le triangle de la Figure (I.12) b où:

$$A = |\underline{U}_{bc}| \quad B = |\underline{U}_{ca}| \quad C = |\underline{U}_{ab}| \quad (\text{I.20})$$

En utilisant les relations trigonométriques, on trouve :

$$\begin{cases} A^2 = B^2 + C^2 - 2BC \cos \alpha \\ B^2 = A^2 + C^2 - 2AC \cos \beta \\ C^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos \gamma \end{cases} \quad (\text{I.21})$$

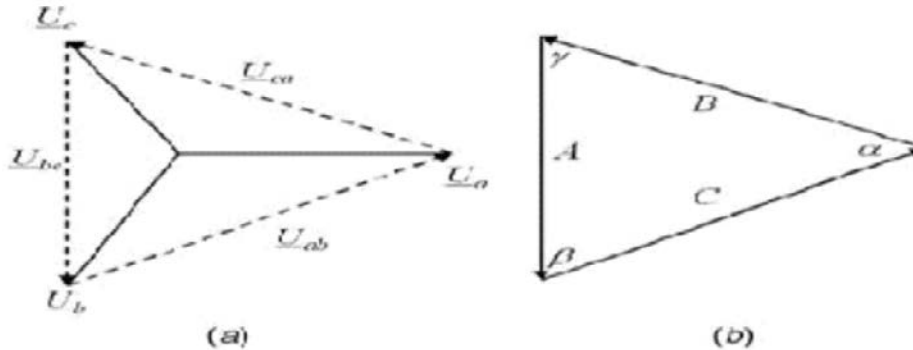


Figure (I.12) : (a) Phasreur de tension. (b) Triangle pour calculer la composante inverse.

En utilisant \angle comme référence et on se rapporte au diagramme de la Figure (I.13) on obtient les expressions :

$$\begin{aligned} \underline{C} &= C \\ \underline{B} &= -B \cos \alpha + jB \sin \alpha \cdots \\ \underline{A} &= -A \cos \beta - jA \sin \beta \end{aligned} \quad (\text{I.22})$$

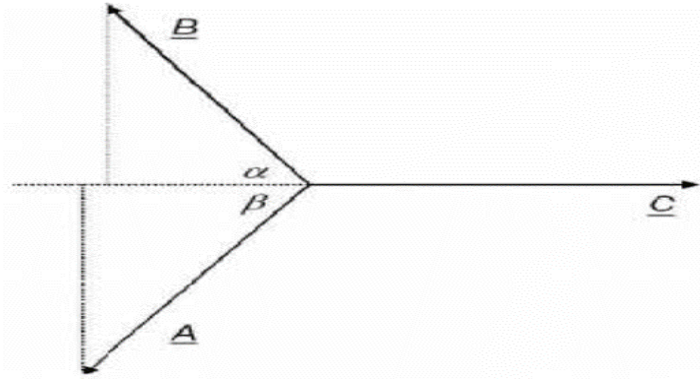


Figure (I.13) : Diagramme vectorielle des tensions de la Figure (I.12).

Les composantes positive et négative peuvent être obtenues en utilisant les expressions standards :

$$\begin{aligned}\underline{U}^+ &= \underline{C} + a^2 \underline{B} + a \underline{A} \\ \underline{U}^- &= \underline{C} + a \underline{B} + a^2 \underline{A}\end{aligned}\quad (\text{I.23})$$

On remplace (I.22) dans (I.23) on obtient :

$$\begin{aligned}\underline{U}^+ &= \underline{C} + \frac{1}{2} \underline{B} \cos \alpha + \frac{1}{2} j \underline{B} \sqrt{3} \cos \alpha - \frac{1}{2} j \underline{B} \sin \alpha + \frac{1}{2} \underline{B} \sqrt{3} \sin \alpha \\ &\quad + \frac{1}{2} \underline{A} \cos \beta - \frac{1}{2} j \underline{A} \sqrt{3} \cos \beta + \frac{1}{2} j \underline{A} \sin \beta + \frac{1}{2} \underline{A} \sqrt{3} \sin \beta \\ \underline{U}^- &= \underline{C} + \frac{1}{2} \underline{B} \cos \alpha - \frac{1}{2} j \underline{B} \sqrt{3} \cos \alpha - \frac{1}{2} j \underline{B} \sin \alpha - \frac{1}{2} \underline{B} \sqrt{3} \sin \alpha \\ &\quad + \frac{1}{2} \underline{A} \cos \beta + \frac{1}{2} j \underline{A} \sqrt{3} \cos \beta + \frac{1}{2} j \underline{A} \sin \beta - \frac{1}{2} \underline{A} \sqrt{3} \sin \beta\end{aligned}\quad (\text{I.24})$$

Avant de continuer et pour simplifier les expressions (I.24), on applique les relations trigonométriques sur la figure (I.12) on trouve :

$$\underline{B} \sin \alpha = \underline{A} \sin \beta$$

D'après les expressions de l'équation (I.20), on obtient :

$$\begin{aligned}\underline{B} \cos \alpha + \underline{A} \cos \beta &= \underline{C} \\ \underline{B} \cos \alpha - \underline{A} \cos \beta &= \frac{\underline{B}^2 - \underline{A}^2}{\underline{C}}\end{aligned}\quad (\text{I.25})$$

En remplaçant (I.24) et (I.25) en (I.22) et (I.23), on trouve :

$$\begin{aligned}\underline{U}^+ &= \frac{3}{2} \underline{C} + \underline{B} \sqrt{3} \sin \alpha + \frac{1}{2} j \sqrt{3} \frac{\underline{B}^2 - \underline{A}^2}{\underline{C}} \\ \underline{U}^- &= \frac{3}{2} \underline{C} - \underline{B} \sqrt{3} \sin \alpha - \frac{1}{2} j \sqrt{3} \frac{\underline{B}^2 - \underline{A}^2}{\underline{C}}\end{aligned}\quad (\text{I.26})$$

Le dernier inconnu restant dans ces expressions est le $\sin \alpha$, qui peut être obtenu de (I.20) et :

$$\sin \alpha^2 + \cos \alpha^2 = 1$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sqrt{1 - \frac{(B^2 + C^2 - A^2)^2}{4B^2C^2}} \\ &= \frac{\sqrt{(A^2 + B^2 + C^2)^2 - 2(A^4 + B^4 + C^4)}}{2BC} \end{aligned} \quad (I.27)$$

Les expressions suivantes sont en valeur absolue pour la composante directe et la Composante inverse en fonction des tensions de phases :

$$\begin{aligned} |\underline{U}^+| &= \frac{3}{2}(A^2 + B^2 + C^2) + \frac{3}{2}\sqrt{(A^2 + B^2 + C^2)^2 - 2(A^4 + B^4 + C^4)} \\ |\underline{U}^-| &= \frac{3}{2}(A^2 + B^2 + C^2) - \frac{3}{2}\sqrt{(A^2 + B^2 + C^2)^2 - 2(A^4 + B^4 + C^4)} \end{aligned} \quad (I.28)$$

I.4.2.5 Caractérisation du déséquilibre :

On peut caractériser le déséquilibre selon trois définitions :

A) Définition de NEMA (National Equipment Manufacturers Association)

$$u_{\text{NEMA}} = \frac{\text{déviation max de la tension par rapport à la tension moyenne de ligne}}{\text{tension moyenne de ligne}} \cdot 100$$

Elle considère seulement les amplitudes, les phases ne sont pas incluses.

B) Définition de l'IEEE (Institut of Electrical and Electronics Engineers)

$$u_{\text{IEEE}} = \frac{\text{déviation max de la tension par rapport à la tension moyenne de phase}}{\text{tension moyenne de phase}} \cdot 100$$

Comme NEMA, l'IEEE ne considère que les amplitudes.

C) La définition vraie :

La définition vraie du déséquilibre de tension est définie comme étant le rapport des amplitudes des tensions inverse et directe

$$u_{\text{vraie}} = \frac{V_-}{V_+} \cdot 100$$

Contrairement aux définitions précédentes, cette définition utilise les amplitudes et les Phases des composantes directes et inverse comme indications de déséquilibre.

I.5 Solutions de dépollution des réseaux électriques :

L'image des réseaux électriques au niveau mondiale, l'Algérie possède un réseau triphasé sinusoïdal de fréquence 50 Hz ainsi l'onde de tension délivrée prend idéalement la forme d'une sinusoïde de fréquence constante et d'amplitude constante. Mais, en réalité l'onde de tension n'est jamais parfaitement sinusoïdale, la fréquence et l'amplitude de cette onde varient en permanence, ceci est dû en partie à la présence des charges non linéaire. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la qualité de l'énergie dans les réseaux électriques en présentant les principaux défauts affectant la tension et le courant. Nous citerons également les normes internationales en matière de qualité de l'énergie imposées aux utilisateurs. En dernier, nous présenterons quelques solutions traditionnelles et modernes utilisées pour dépolluer les réseaux électriques.

Caractéristiques des perturbations électriques

« Tout phénomène perturbateur qui fait sortir l'onde de tension (ou de courant) du secteur de ses caractéristiques peut être considéré comme une perturbation ». Les distributeurs d'énergie rencontrent de plus en plus de problèmes sur la maîtrise de la qualité de l'énergie et ceci est lié principalement à l'accroissement du nombre de convertisseurs statiques raccordés aux réseaux de distribution d'énergie, conséquence de l'évolution technologique des composants d'électronique de puissance.

□ Perturbations de type courant Les courants perturbateurs comme les courants harmoniques, déséquilibrés, et la puissance réactive sont majoritairement émis par des charges non linéaires, à base d'électronique de puissance, et/ou déséquilibrées, sans pour autant négliger les surintensités.

Fluctuation de tension & flicker :

Les fluctuations de tension sont une suite de variations de tension ou des variations cycliques ou aléatoires de l'enveloppe d'une tension. Ces fluctuations se situent dans les limites de variation normale de la tension, c'est-à-dire dans la tolérance de $\pm 10\%$ autour de la tension nominale, ils sont principalement dus à des charges industrielles rapidement variables comme les machines à souder, les fours à arc. Ces fluctuations se traduisent par des variations d'intensité, visible au niveau de l'éclairage causant une gêne visuelle perceptible pour une variation de 1 % de la tension. Ce phénomène de papillotement est appelé flicker.

I.5.1 Compensation des perturbations de courant :

Plusieurs solutions existent pour limiter la propagation et l'effet des harmoniques dans les systèmes électriques :

- Renforcement de la puissance de court-circuit du réseau et la diminution de l'impédance en amont de la charge permet de réduire la tension créées par les harmoniques de courant qui ont pour effet de réduire la distorsion harmonique ;

- Utilisation de dispositifs de filtrage pour réduire la propagation des harmoniques produite par des charges non linéaires. Le filtre passif consiste à implanter en parallèle sur le réseau électrique une impédance de très faible valeur autour de la fréquence à filtrer ; Le but du filtrage est d'abaisser l'impédance harmonique du réseau à l'aide de filtres accordés sur les fréquences des harmoniques générés par la source perturbatrice. Son principe consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau, il existe deux classes de filtres passifs permettant de réduire les harmoniques :
 - Le filtre passif résonant : est un filtre très sélectif. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants ;
 - Le filtre passif amorti : il est le choix préférable pour atténuer toute une bande de fréquence.

I.5.1.1 Filtre passif :

Son principe est de modifier localement l'impédance du réseau, de façon à dériver les Courants harmoniques et d'éliminer les tensions harmoniques là où c'est nécessaire

Une connaissance précise des rangs harmoniques qui doivent être filtrés et des Atténuations requises est nécessaire pour la réalisation d'un filtre. On distingue deux types de filtre assurant la limitation des tensions harmoniques.

- **Filtré résonnant (filtre de type shunt)**
- **Filtré amorti**

a) Filtré résonnant :

Le filtré résonnant est constitué d'une inductance L en série avec un condensateur C . Les valeurs de l'inductance L et de la capacité C sont calculées à la fréquence de Résonance correspondant à la fréquence de l'harmonique à éliminer. Pour un filtrage d'un signal déformé entaché par plusieurs courants harmoniques, il est nécessaire de prévoir un ensemble de filtre où chacun d'entre eux agit sur le rang harmonique à éliminer, comme la montre le schéma suivant :

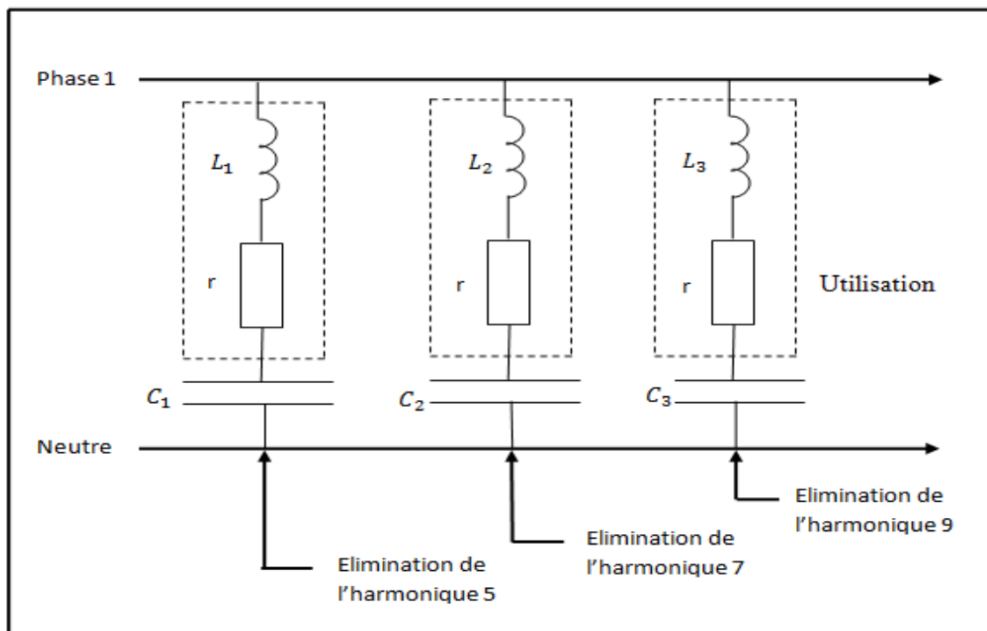


Figure (I.14) : Filtre résonnant agissant sur plusieurs rangs harmoniques.

Lorsque plusieurs shunts résonants sont installés, l'impédance équivalente du réseau a l'allure suivante :

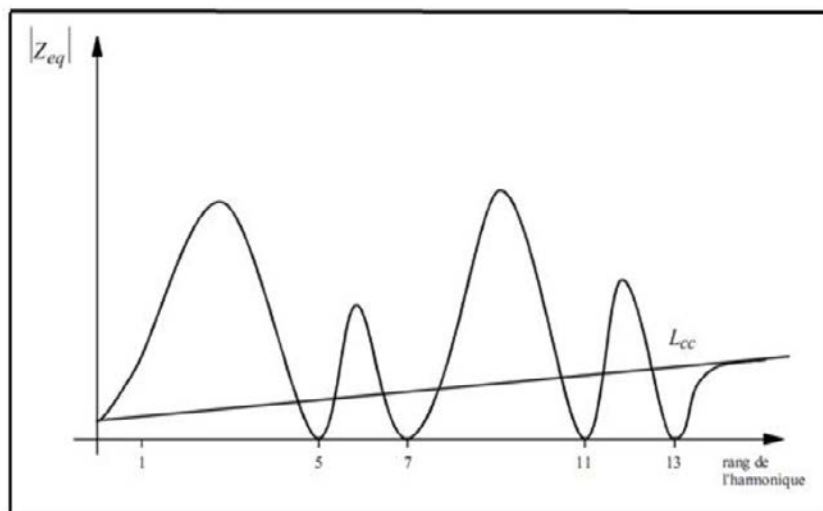


Figure (I.15) : Spectre d'impédance du réseau lorsque plusieurs shunts résonants sont installés.

Pour éviter d'éventuelles anti-résonances à l'enclenchement, il faut enclencher les Shunts du rang le plus bas vers le rang plus élevé. Si on enclenche le rang 13 avant le rang 11, il y a risque d'anti-résonance sur le rang 11.

b) Filtre amorti : (filtre passe haut) :

Le filtre amorti est constitué d'une capacité C en série avec un ensemble composé de la mise en parallèle d'une inductance L et d'une résistance appelée « résistance D'amortissement », il est utilisé pour filtrer simultanément les plus hautes fréquences du spectre, et non une fréquence particulière. Ce filtre assure l'atténuation des harmoniques dans une plus large bande de fréquence que le filtre résonnant, mais sans éliminer correctement ces perturbations, c'est-à-dire, il ne réalise pas la suppression de ces harmoniques, mais contribue à améliorer le taux de distorsion harmonique global d'une installation polluée.

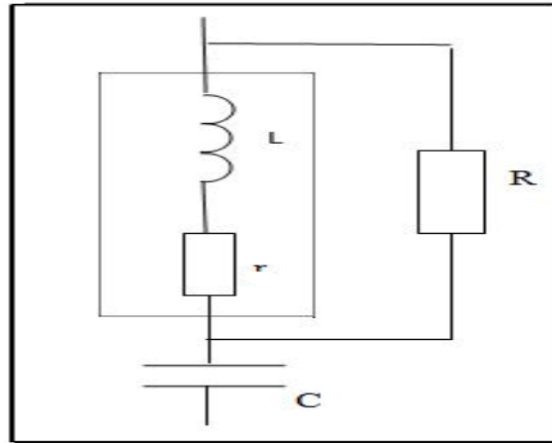


Figure (I.16) : Structure d'un filtre amorti.

On a plusieurs filtres amortis :

***Filtre en premier ordre :** $Z = \frac{R}{1+jC\omega}$ (I.29)

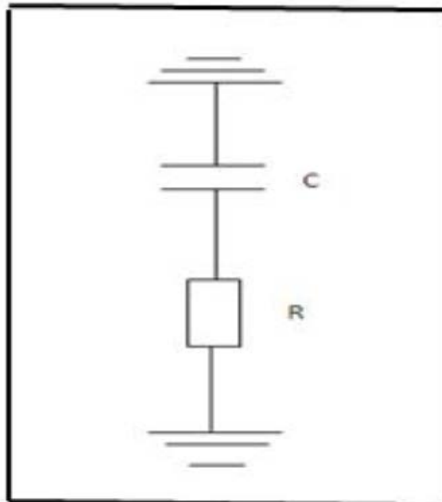


Figure (I.17) : Filtre amorti du premier ordre.

***Filtre en deuxième ordre :**

$$Z = \frac{1}{jC\omega} + \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{jL\omega} \right)^{-1} \quad (\text{I.30})$$

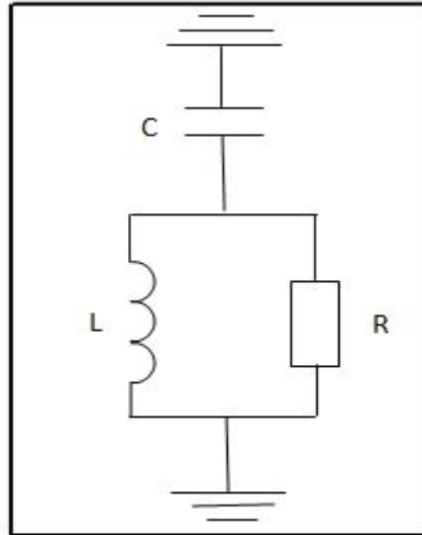


Figure (I.18) : Filtre amorti du deuxième ordre.

***Filtre en troisième ordre :**

$$Z = \frac{1}{jC\omega} + \left[\frac{jRL\omega + \frac{L}{C_1}}{jC\omega + \left(R + \frac{1}{jC_1\omega}\right)} \right] \quad (\text{I.31})$$

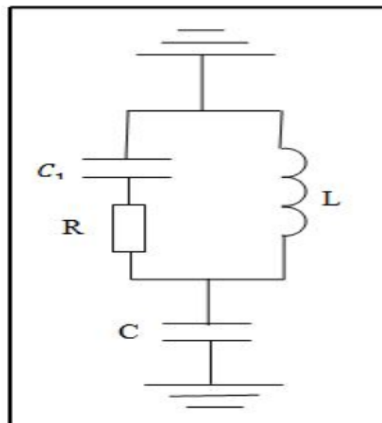


Figure (I.19) : Filtre amorti du troisième ordre.

***Filtre en amorti type-C :**

$$Z = \frac{1}{jC\omega} + \left[\frac{jRL\omega}{jL\omega + (R(1 - LC_1\omega))} \right] \quad (\text{I.32})$$

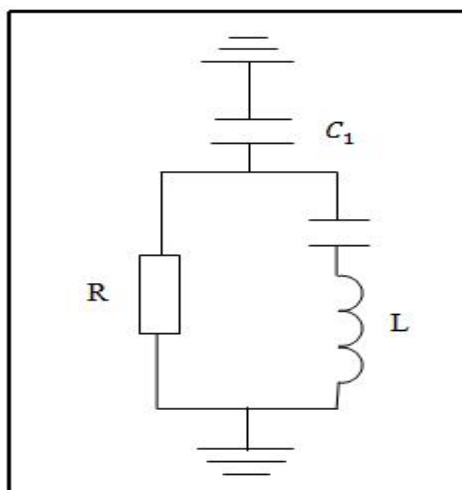


Figure (I.20) : Filtre amorti du type-C.

On peut associer un filtre résonant et un filtre amorti dans certaines applications Industrielles, mais cela peut provoquer entre eux la circulation des courants harmoniques très importants qui mènent rapidement à leur destruction. Et aussi les variations de l'impédance du réseau peuvent détériorer les performances du filtre.

I.5.1.2 Filtre actif parallèle :

Un filtre actif compense les pertes dues aux perturbations présentes sur le réseau en injectant des courants harmoniques de même intensité mais en opposition de phase.

Pour cela, il met en œuvre des convertisseurs de puissances asservis aux niveaux harmoniques mesurés sur le réseau. La commande d'un filtre actif s'adapte donc en permanence aux variations des harmoniques à compenser. Il existe deux types de filtres actifs : les filtres séries et les filtres shunt (connectés en Série ou en parallèle avec la charge polluante), leur fonction est de dépolluer respectivement la charge ou le réseau.

Ce dispositif ne nécessite pas la précaution particulière d'emploi, il se présente sous la forme de module à connecter. Les filtres actifs absorbent les courants harmoniques émis par les charges perturbatrices pour une gamme de fréquence qui varie avec la puissance du filtre.

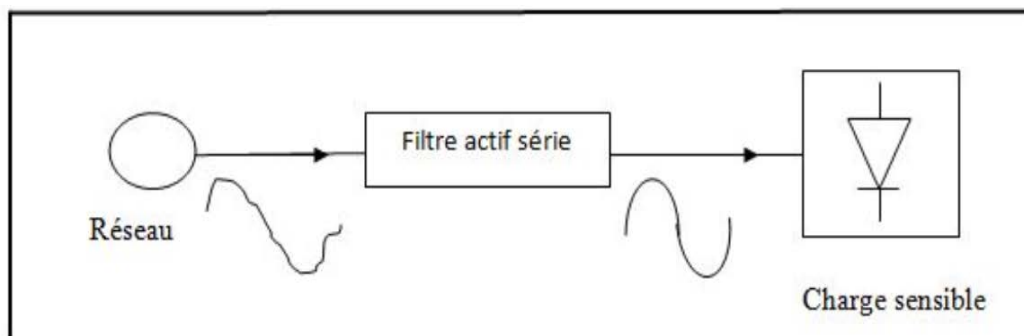


Figure (I.21) : Protection d'une charge sensible par filtrage de la tension.

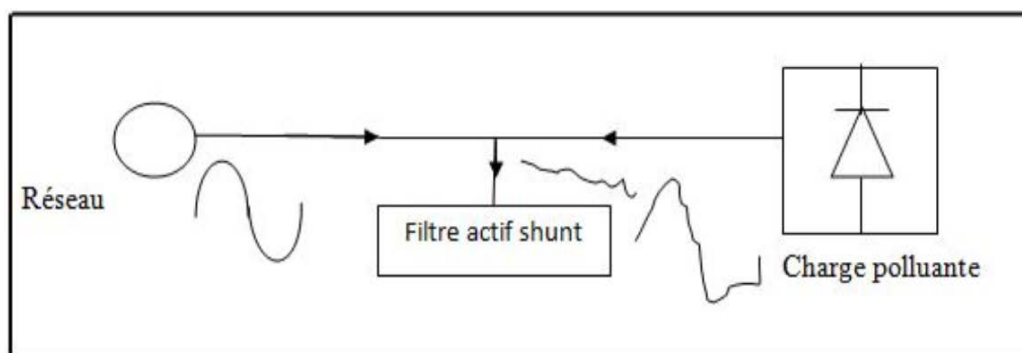


Figure (I.22) : Protection du réseau par filtrage du courant.

I.5.2 Compensation des perturbations de tension :

Les tensions perturbées dans un réseau électrique basse tension sont dues principalement aux creux de tension, aux tensions harmoniques et /ou déséquilibrés. Ces deux dernières sont généralement causées par la circulation des courants harmoniques et/ou déséquilibrés. Pour dépolluer les réseaux électriques de ces deux types de perturbation, on peut limiter la circulation des courants perturbateurs en utilisant les solutions traditionnelles présentées précédemment dans le cas des perturbations de courant.[3]

Quant aux creux de tension, la solution la plus fréquente pour les milieux sensibles (hôpitaux, sites industriels, etc.) est d'utiliser des groupes électrogènes qui se substituent au réseau électrique. Mais la limitation de la puissance de ces groupes ainsi que la qualité médiocre de l'énergie électrique fournie restent un problème. [3]

Il à noter que ses solutions traditionnelles connues pour leur simplicité d'implémentation, présentent des inconvénients tel que leur courte durée de vie et offrent très peu de flexibilité.

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présente deux types de perturbations, ces origines et ces Effets sur les réseaux électriques et les solutions les plus répondues. Afin de limiter les effets de ces perturbations, des normes imposent aux utilisateurs, Tertiaires et domestiques de limiter la prolifération de ces perturbations dans le réseau Électrique. Ainsi et afin de répondre aux contraintes de l'évolution des charges polluantes, le développement des systèmes de compensation adaptatifs est favorisé. Notre travail porte sur le filtre actif parallèle en tant que solution de dépollution, en raison de ses bonnes performances en compensation.

Modélisation et simulation de la machine asynchrone

Introduction :

Modélisation de la machine asynchrone triphasée (MAS). Dans un premier lieu, on donnera de manière explicite le modèle mathématique de la machine asynchrone (Equations électriques et mécaniques) dans son référentiel triphasé. Puis, on réduira l'ordre du système par une transformation dite de PARK. Cette transformation modélise la MAS dans un nouveau référentiel, biphasé cette fois, dans un dernier lieu, on donnera la simulation numérique des différentes grandeurs de la MAS [10].

Dans les pays industrialisés, plus de 60% de l'énergie électrique consommée est transformée en énergie mécanique par des entraînements utilisant les moteurs électriques. Le modèle mathématique d'une Machine Asynchrone (MAS) nous facilite largement son étude et permet sa commande dans les différents régimes de fonctionnement transitoire ou permanent [11].

La représentation de la machine asynchrone par des équations selon le système triphasé donne un modèle, dont les équations sont à coefficients variables en fonction du temps. [12]. Dans le but de faciliter leur résolution, on a recours à une modélisation dite « transformation de Park », qui consiste à transformer le système triphasé en système à deux axes orthogonaux. L'élaboration d'une telle modélisation est indispensable pour l'étude du régime de contrôle du flux, de couple, de régulation de tension et de vitesse [13].

Dans ce chapitre, on présente le modèle mathématique de la machine asynchrone, cette machine fonctionne en moteur, dont les phases du stator sont alimentées par une source de tension perturbée.

II.2 Constitution :

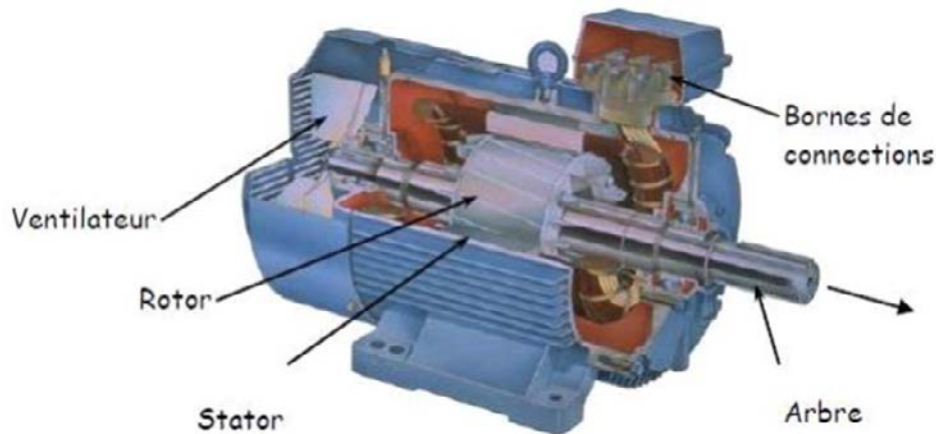


Figure (II.1) : composants MAS.

La machine asynchrone comporte une partie fixe constituée d'une carcasse l'intérieure de laquelle sont logés le circuit magnétique et le bobinage du stator d'une part, et une partie mobile appelée rotor d'autre part. La carcasse nervurée à ailettes longitudinales est un monobloc en fonte ou en aci. Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone est basé sur l'induction des courants dans le bobinage du rotor par un champ tournant dans l'entrefer dû à la circulation des courants polyphasés dans le stator. Ce champ tournant va créer un couple moteur qui s'exerce sur les conducteurs des courants induits, il provoque ainsi le démarrage et la rotation du rotor dans le même sens que le champ tournant [14]. En fonctionnement normal, le rotor de la machine asynchrone tourne à la vitesse de Ω_r exprimée en radians par seconde, et la force magnétomotrice produite par les courants statoriques tourne à la vitesse de synchronisme à Ω_s exprimée en radians par seconde, mais la vitesse Ω_r est généralement inférieure à Ω_s et on a : [15]

Avec :

ω_s : Pulsation statorique, liée à la fréquence du stator.

P : nombre de pair de pôle de la force magnétomotrice résultante.
Le rotor est constitué de manière à obtenir trois enroulements ayant un nombre de pôles

identique à celui du stator. Les enroulements rotoriques sont en court-circuit, la vitesse de rotation du rotor est inférieure à Ω_s , et on note :

g : Glissement de la vitesse de rotation par rapport à celle du champ tournant statorique.

II.3 Modélisation de la machine asynchrone :

II.3.1 Modèle transitoire :

Il nous faut un modèle de la machine asynchrone qui permet de simuler son fonctionnement en régime transitoire.

La modélisation complète étant hors de portée de ce cours, nous expliquerons les grandes étapes et les résultats de la modélisation.[15]

II.3.1.1 Hypothèses simplificatrices :

La modélisation est une étape importante sur le chemin de la simulation et la réalisation, ou le modèle choisi doit décrire l'ensemble des phénomènes de la machine.[15]

Les machines électriques sont des systèmes complexes. Cependant, ce n'est pas évident de tenir en compte de tous ses phénomènes. Par conséquent, la mise en place de quelques hypothèses simplificatrices lors de la modélisation est alors essentielle :

- les courants, et l'hystérésis et La saturation du circuit magnétique, sont négligeables Les circuits magnétiques sont symétriques.
- La répartition de l'induction dans l'entrefer est sinusoïdale.
- L'entrefer est constant.
- On néglige les phénomènes de saturation, ce qui permet de considérer le flux magnétique comme fonction linéaire des courants.
- L'effet de l'encoche est négligeable.
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte.

Ainsi, parmi les conséquences importantes de ces hypothèses, on peut citer :

- L'additivité du flux. La loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements statoriques et rotoriques en fonction de l'angle électrique entre leurs axes magnétiques.[16]
- La constance des inductances propres.

II.3.1.2 Représentation de la machine dans l'espace électrique :

La MAS triphasée est représentée schématiquement par la Figure (II.2) Elle est munie De six enroulements [17] :

- Le stator de la machine est formé de trois enroulements fixes décalés de 120° dans L’espace et traversés par trois courants variables.
- Le rotor peut être modélisé par trois enroulements identiques décalés dans l’espace de 120°. Ces enroulements sont en court-circuit et la tension à leurs bornes est nulle.[18]

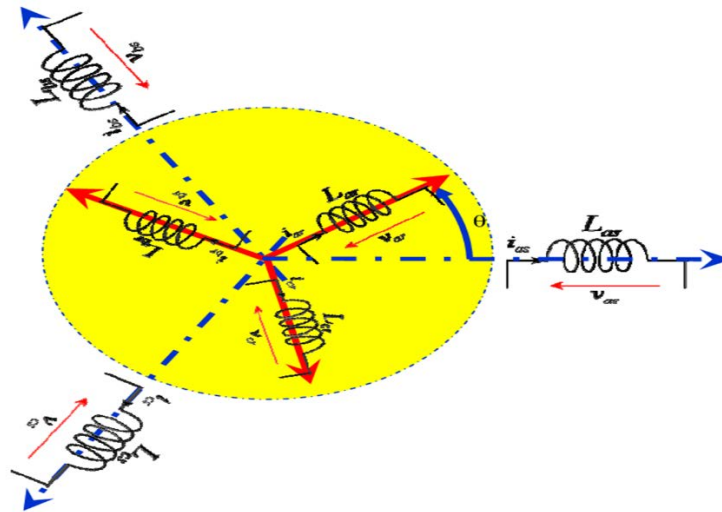


Figure (II.2) : machine dans l’espace électrique.[18].

II.3.1.3 Equations électriques :

Es équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques sont :

$$\begin{cases} V_{sa} = R_s i_{sa} + \frac{d}{dt} \Phi_{sa} \\ V_{sb} = R_s i_{sb} + \frac{d}{dt} \Phi_{sb} \\ V_{sc} = R_s i_{sc} + \frac{d}{dt} \Phi_{sc} \end{cases} \quad (II.1)$$

$$\begin{cases} V_{ra} = R_r i_{ra} + \frac{d}{dt} \Phi_{ra} \\ V_{rb} = R_r i_{rb} + \frac{d}{dt} \Phi_{rb} \\ V_{rc} = R_r i_{rc} + \frac{d}{dt} \Phi_{rc} \end{cases} \quad (II.2)$$

En désignant par :

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : Tensions appliquées aux trois phases statoriques.

i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} : Courants qui traversent les trois phases statoriques.

$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}$: Flux totaux à travers ces enroulements.

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : Tensions rotoriques

i_{ra}, i_{rb}, i_{rc} : Courants rotoriques

$\Phi_{ra}, \Phi_{rb}, \Phi_{rc}$: Flux rotoriques

R_s : Résistance d'une phase statorique.

R_r : Résistance d'une phase rotorique

Les équations (II-1) et (II-2) peuvent être écrites sous la forme matricielle suivante :

Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$[V_{s(abc)}] = [R_s][i_{s(abc)}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{s(abc)}] \quad (\text{II.4}) \text{ Pour}$$

le rotor :

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$[V_{r(abc)}] = [R_r][i_{r(abc)}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{r(abc)}] \quad (\text{II.6})$$

II.3.1.4 Application de la transformation de Park à la M.A.S :

La transformée de Park, souvent confondue avec la transformée d,q, est un outil mathématique utilisé en électrotechnique, afin de modéliser un système triphasé grâce à un modèle diphasé. Il s'agit d'un changement de repère. Les deux premiers axes dans la nouvelle base sont traditionnellement nommés d,q. Les grandeurs transformées sont généralement des courants, des tensions ou des flux.

Dans le cas d'une machine tournante, le repère de Park est fixé au rotor. Dans le repère de Park, les courants d'une machine synchrone ont la propriété remarquable d'être continus. Soit

(a,b,c) le repère initial d'un système triphasé, (d,q,o) le repère d'arrivée. À titre d'exemple, la transformation est réalisée sur un courant, mais on peut l'utiliser pour transformer des tensions et des flux. La transformation matricielle associée au changement de repère est :

$$i_{\alpha' \vee_0} = P i_{abc} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

et la transformation inverse (via la matrice inverse) :

$$i_{abc} = P^{-1} i_{a' b_o} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i'_a \\ i'_b \\ i_o \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

La transformée de Park n'est pas unitaire. La puissance calculée dans le nouveau système n'est pas égale à celle dans le système initial.[19]

II.3.1.5 Modèle de la M.A.S dans le référentiel de Park :

Pour cette étude, nous choisissons un repère (d,q) lié au champ tournant. Donc, on Prend en considération :

$\omega_s = \dot{\theta}_s$: Pulsation statorique.

$\omega_r = \dot{\theta}_r$: Pulsation rotorique.

$\omega = \omega_s - \omega_r = \dot{\theta} = p\Omega$. Avec ω : pulsation mécanique.

$$\begin{aligned} V_{ds} &= R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \phi_{ds} - \omega_s \phi_{qs} \\ V_{qs} &= R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \phi_{qs} + \omega_s \phi_{ds} \\ V_{dr} &= R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \phi_{dr} - \omega_r \phi_{qr} \\ V_{qr} &= R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \phi_{qr} + \omega_r \phi_{dr} \end{aligned} \quad (\text{II.9})$$

II.3.1.6 Equations magnétiques :

La composante des flux statoriques et rotoriques sont données par le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \phi_{ds} = L_s i_{ds} + M i_{dr} \\ \phi_{qs} = L_s i_{qs} + M i_{qr} \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

$$\begin{aligned} \phi_{dr} &= L_r i_{dr} + M i_{ds} \\ \phi_{qr} &= L_r i_{qr} + M i_{qs} \\ M &= \frac{3}{2} M_{sr} \end{aligned} \quad (\text{II.11})$$

En posant :

$$\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt}, \omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} \quad (\text{II.12})$$

La dernière relation montre que les vitesses angulaires repère d;q par rapport aux repérés statorique et rotorique liées rigidement à la vitesse angulaire du rotor Ω , ne sont pas des grandeurs indépendantes.

II.3.1.7 Equations mécaniques :

Pour étudier les caractéristiques dynamiques, on introduit l'équation du mouvement

Suivante :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_e - C_r - f_r \Omega \quad (\text{II.13})$$

f_r : Coefficient de frottement.

C_r : Couple résistant.

Ω : Vitesse mécanique du moteur.

C_e : Le couple électromagnétique.

Le couple électromagnétique de la machine est donné par l'expression suivante :

$$C_e = \frac{pM}{L_r} (\phi_{dr} i_{qs} - \phi_{qr} i_{ds}) \quad (\text{II.14})$$

II.3.1.8 Modèle de la machine en vue de sa simulation :

La machine asynchrone est normalement alimentée directement à partir du réseau industriel par un système de tensions triphasées équilibrées. Dans certaines applications pour lesquelles la variation de la vitesse est nécessaire, le moteur sera alimenté par un système de tensions triphasées ou par un système de courants triphasés (injectés) dans les enroulements du stator, par l'intermédiaire d'un convertisseur électronique de puissance placé entre le moteur et le réseau industriel électrique.[19]

La figure (II.4) représente le schéma bloc du modèle obtenu, ce dernier sera simulé l'aide du Logiciel SIMULINK sous MATLAB.

La simulation sera choisie les variables d'état comme suit :

Le modèle de la machine asynchrone alimentée en tension dans un repère (d;q) tournant à la vitesse synchrone ω_s :

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = -\gamma i_{ds} + \omega_s i_{qs} + (k/T_r)\phi_{dr} + \omega k\phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{ds} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\omega_s i_{ds} - \gamma i_{qs} - \omega k\phi_{dr} + (k/T_r)\phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{qs} \end{cases} \quad (II.15)$$

$$\begin{cases} \frac{d\phi_{dr}}{dt} = \frac{M}{T_r} i_{ds} - \frac{1}{T_r} \phi_{dr} + (\omega_s - \omega_r)\phi_{qr} \\ \frac{d\phi_{qr}}{dt} = \frac{M}{T_r} i_{qs} - \frac{1}{T_r} \phi_{qr} - (\omega_s - \omega_r)\phi_{dr} \end{cases} \quad (II.16)$$

A partir de la équations (II.15) et (II.16) la modèle état du moteur asynchrone présenté comme suite :

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -\gamma + \omega_s x_2 + (k/T_r)x_3 + \omega kx_4 + \frac{1}{\sigma L_s} u_1 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\omega_s x_1 - \gamma x_2 - \omega kx_3 + (k/T_r)x_4 + \frac{1}{\sigma L_s} u_2 \\ \frac{dx_3}{dt} &= \frac{M}{T_r} x_1 + 0x_2 - \frac{1}{T_r} x_3 + (\omega_s - \omega_r)x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} &= 0x_1 + \frac{M}{T_r} x_2 - (\omega_s - \omega_r)x_3 - \frac{1}{T_r} x_4 \end{aligned} \quad (II.17)$$

Avec :

$$T_r = \frac{L_r}{R_r}, T_s = \frac{L_s}{R_r}, k = \frac{M}{\sigma L_r L_s} \text{ et } \gamma = \frac{R_s + R_r M^2}{\sigma L_r} \text{ avec } \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_r L_s}. \quad (II.18)$$

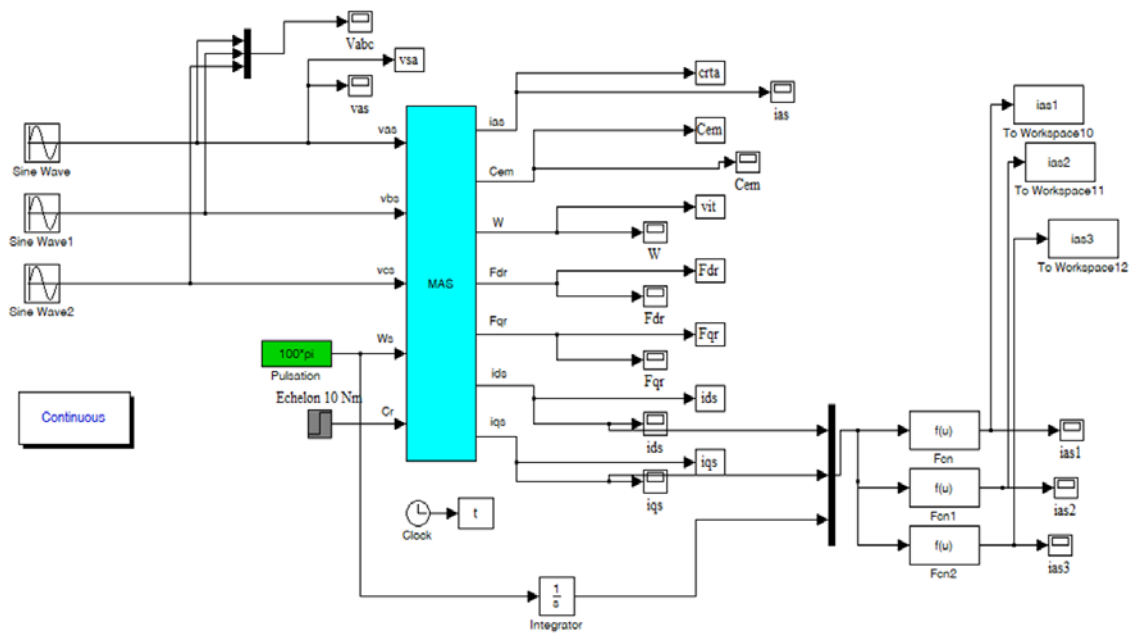


Figure (II.3) : schéma bloc du modèle de la machine asynchrone.

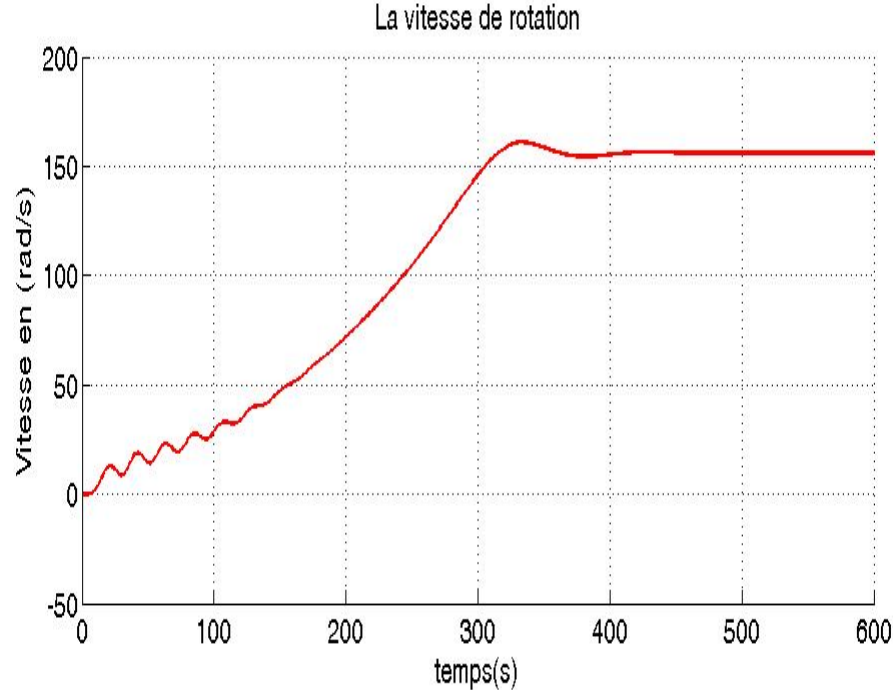
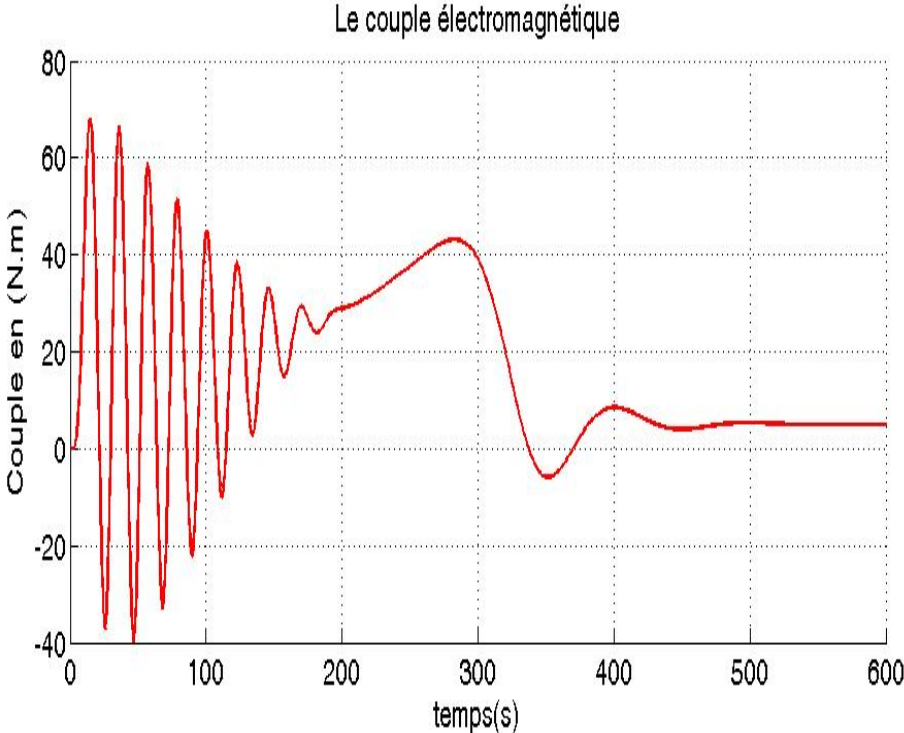
II.3.1.9 Simulation de la machine :

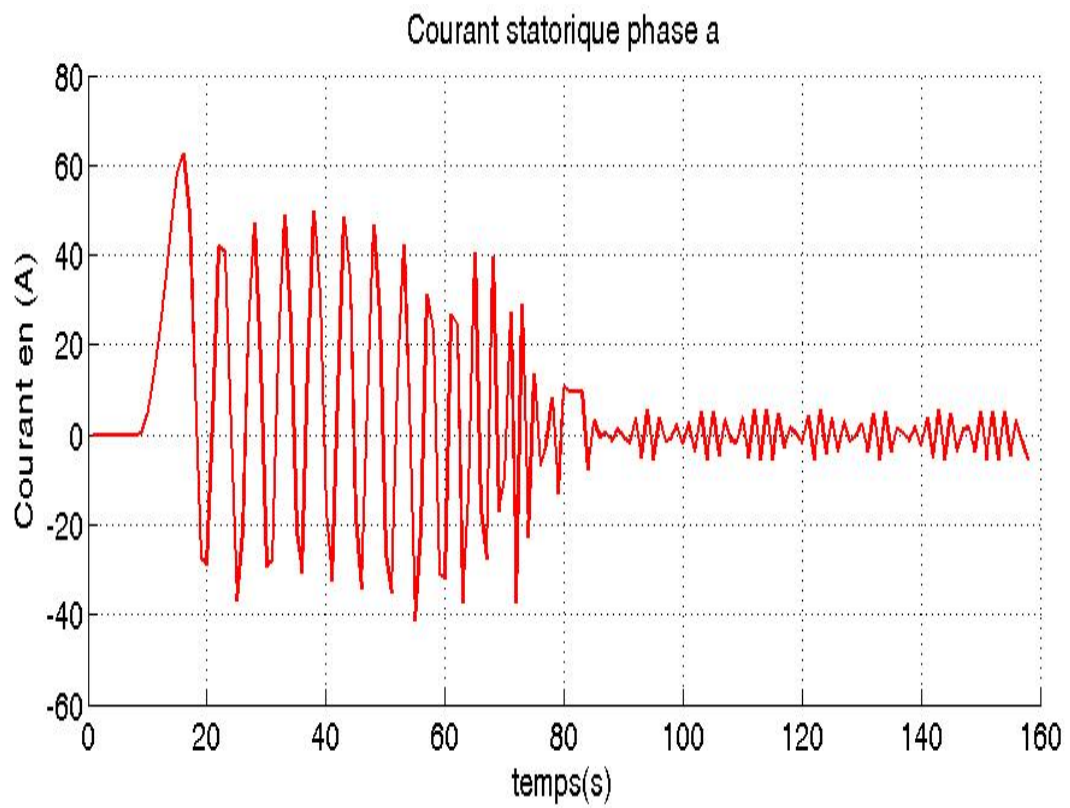
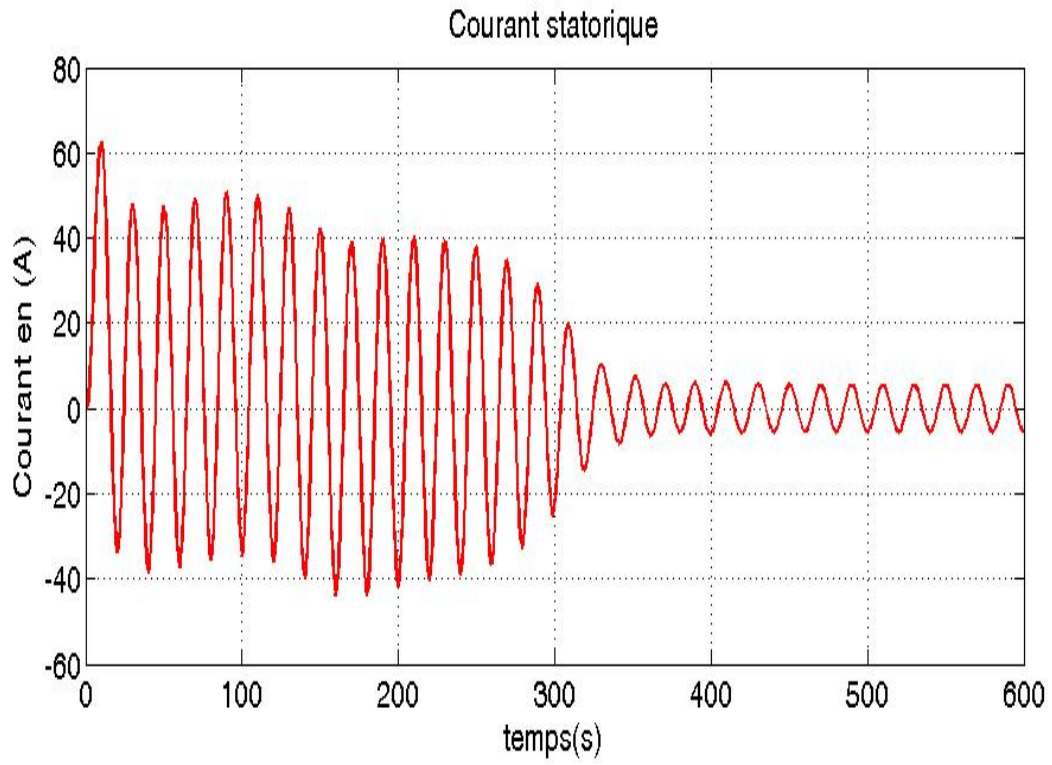
La machine asynchrone est alimentée par une source de tensions triphasés équilibrés de valeur efficace de 220 (volt), les courants statoriques, le flux rotorique présente dans le repère (d ; q)

Paramètres du moteur asynchrone utilise :

Symboles	Description	Valeur
P	Nombre de paires de pôles	2
R_s	Résistance statorique	0.9Ω
R_r	Résistance rotorique	0.090Ω
L_s	Inductance statorique	0.190(H)
L_r	Inductance rotorique	0.0155(h)
M	Inductance Mutuelle	0.051
J	Inertie du moteur	0.05 Kg.m^2
Fr	Coefficient de frottement	0.0001 m.s /rad

Tableau 5 : Paramètres du moteur asynchrone





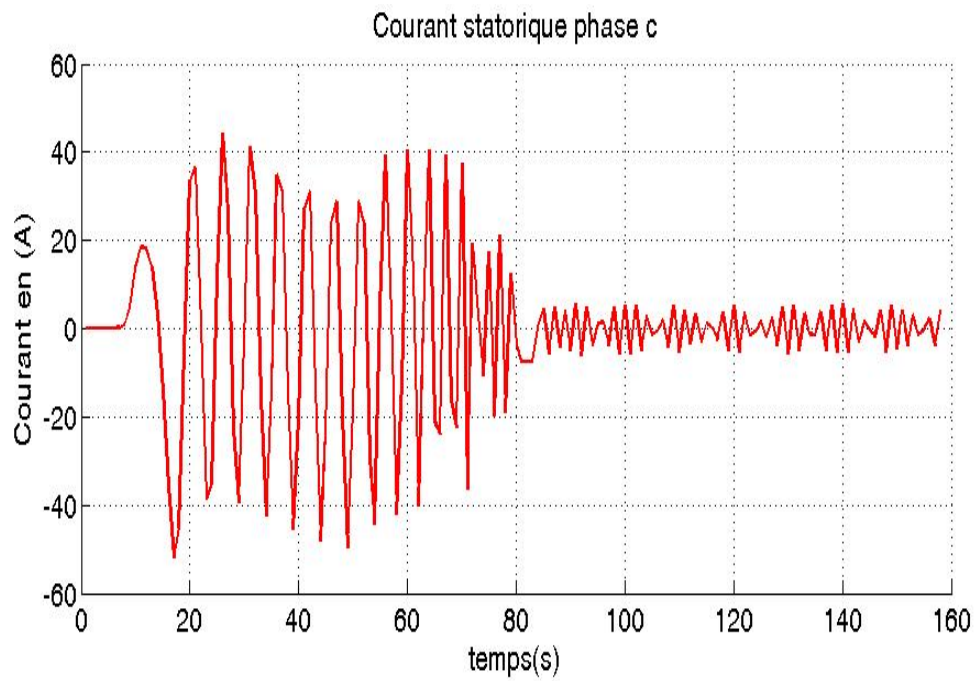
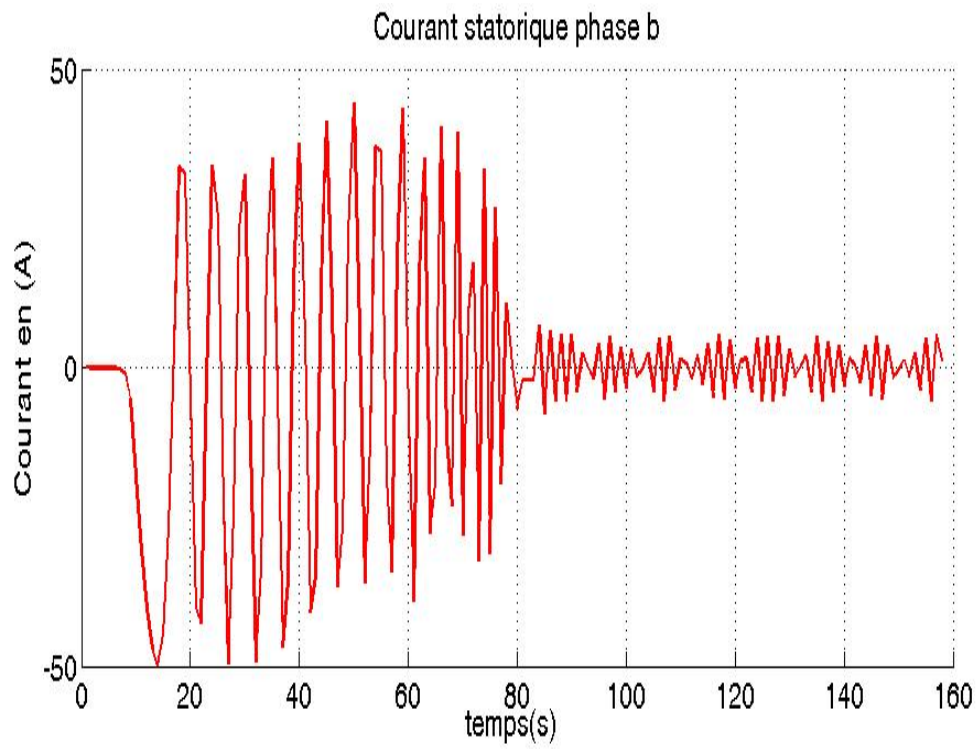


Figure (II.4) : Réponse dynamique de la vitesse, le couple et les courants statoriques.

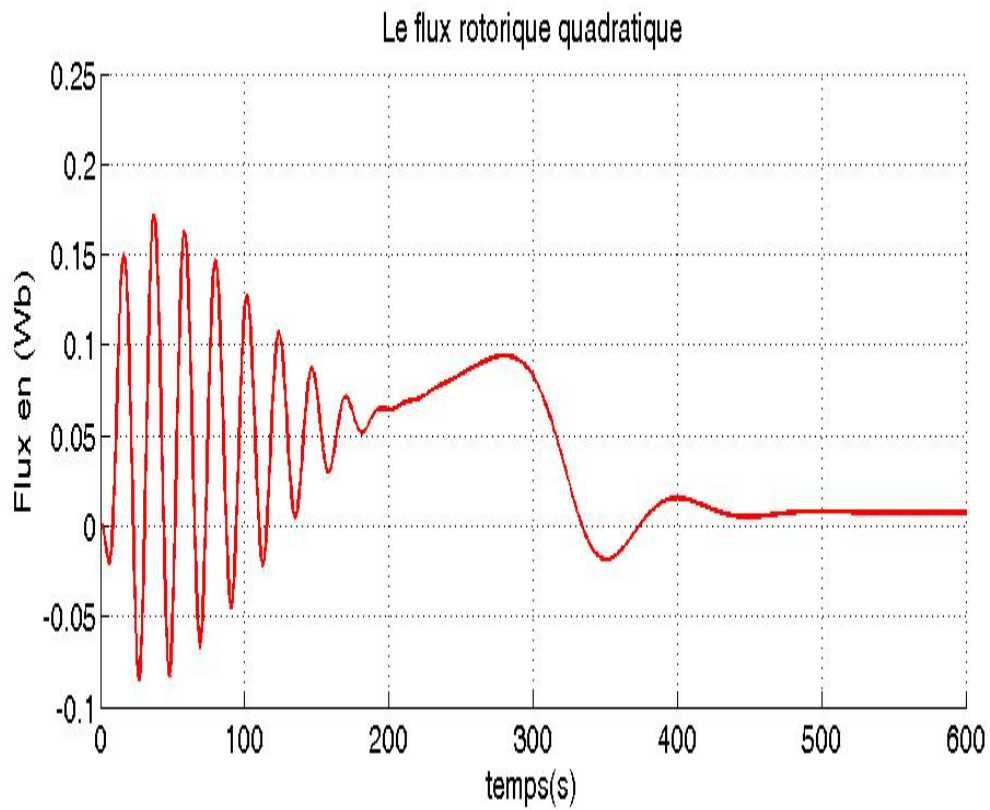
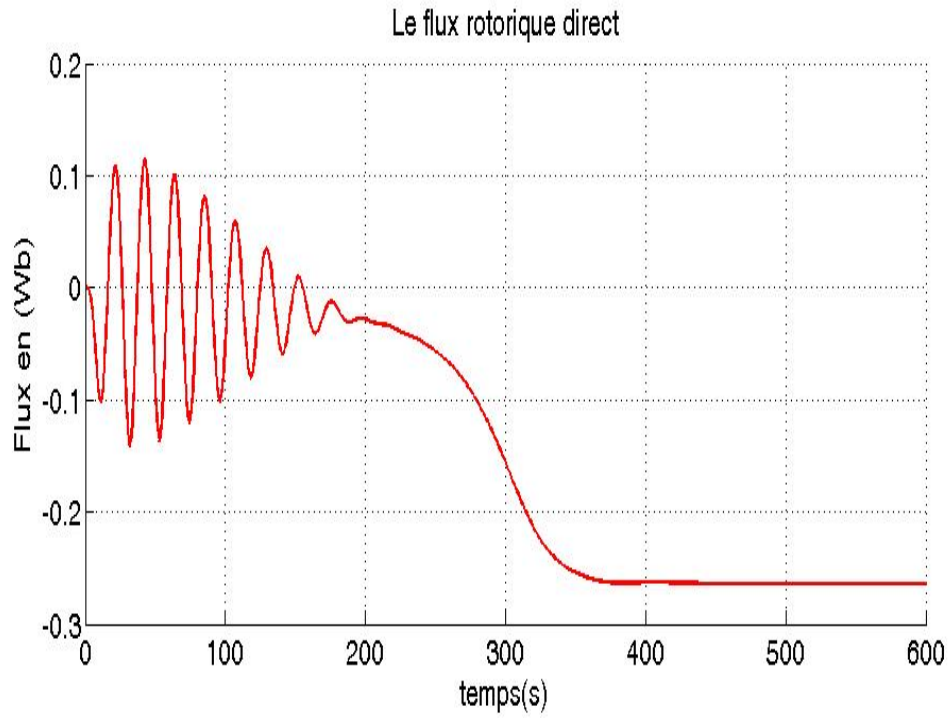


Figure (II.5) : Les composantes des flux rotoriques.

Les résultats de simulation sont donnés aux Figures (II.4) et (II.5), le démarrage sous pleine tension permet d'avoir un établissement à $t=200$ s, d'autre part, on remarquera un fort appel des Courants qui atteignent 62A.

L'introduction d'une charge provoque une diminution de la vitesse qui prend en régime établi la valeur (152 rad/s) qui se traduit par un glissement supplémentaire de la machine, D'autre part, quant aux courants, couple et flux subissent une augmentation remarquable.

II.3.2 Modèle en régime permanent :

En physique, un régime permanent (ou régime établi) est le régime d'un système stable observable après un certain temps, lorsque le régime transitoire est terminé. Cette durée d'extinction du régime transitoire dépend de l'amortissement.

Un exemple typique de régime permanent est le régime sinusoïdal forcé d'un circuit RLC excité par un générateur de tension sinusoïdale. Après extinction du régime transitoire, et en l'absence de non-linéarités, la fréquence d'oscillation du circuit est égale à celle du générateur.

Dans certaines situations, si les conditions extérieures et les contraintes appliquées au système étudié sont indépendantes du temps alors le régime permanent peut être également indépendant du temps et être alors qualifié de stationnaire, sans que cela ne constitue un cas général.[20]

II.3.2.1 Etude en régime permanent :

Si les tensions d'alimentation sont triphasées équilibrées, on peut écrire :

$$\begin{cases} v_{as} = \widehat{V}_s \cos(\omega_s t) \\ v_{bs} = \widehat{V}_s \cos\left(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ v_{cs} = \widehat{V}_s \cos\left(\omega_s t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

Choisissons de fixer le repère d,q au champ tournant.

Notons $\square_s = \dot{\theta}_s$ la pulsation statorique (on est bien en régime permanent sinusoïdal).

De même, nous noterons $\square_r = \dot{\theta}_r$ la pulsation rotorique et $\omega = \omega_s - \omega_r = \dot{\theta} = p\Omega$ la pulsation mécanique.

$$\begin{cases} v_{ds} = \widehat{V}_s \cos(\omega_s t - \theta_s) \\ v_{qs} = \widehat{V}_s \sin(\omega_s t - \theta_s) \\ v_{ds} = \widehat{V}_s \\ v_{as} = 0 \end{cases} \quad (\text{II.20})$$

On peut ré-écrire tout le système d'équation en introduisant la notation complexe :

$$\bar{X} = x_{ds} + jx_{qs}$$

$$\bar{V}_s = v_{ds} + jv_{qs} = R_s(i_{ds} + ji_{qs}) + \frac{d}{dt}(\varphi_{ds} + j\varphi_{qs}) - \omega_s(\varphi_{qs} - j\varphi_{ds}) \quad (\text{II.21})$$

$$\bar{V}_s = R_s(i_{ds} + ji_{qs}) + \frac{d}{dt}(\varphi_{ds} + j\varphi_{qs}) + j\omega_s(\varphi_{ds} + j\varphi_{qs})$$

D'où

$$\bar{V}_s = R_s\bar{I}_s + \frac{d}{dt}\bar{\Phi}_s + j\omega_s\bar{\Phi}_s \quad (\text{II.22})$$

$$\bar{V}_s = R_s\bar{I}_s + j\omega_s\bar{\Phi}_s$$

Mais comme on est en régime permanent:

$$\bar{V}_r = 0 = R_r\bar{I}_r + j\omega_r\bar{\Phi}_r \text{ avec } \omega_r = g\omega_s$$

$$\bar{V}_s = R_s\bar{I}_s + j\omega_s\bar{\Phi}_s$$

$$0 = R_r\bar{I}_r + jg\omega_s\bar{\Phi}_r$$

$$\text{or } \begin{cases} \bar{\Phi}_s = L_s\bar{I}_s + M\bar{I}_r \\ \bar{\Phi}_r = M\bar{I}_s + L_r\bar{I}_r \end{cases} \quad (\text{II.23})$$

$$\bar{V}_s = R_s\bar{I}_s + jL_s\omega_s\bar{I}_s + jM\omega_s\bar{I}_r$$

$$0 = \frac{R_r}{g}\bar{I}_r + jL_r\omega_s\bar{I}_r + jM\omega_s\bar{I}_s$$

On aboutit alors au schéma de la Figure (II.6)

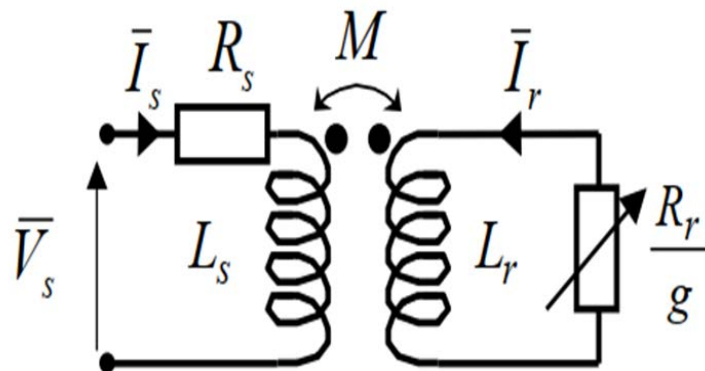


Figure (II.6) : Schéma par phase en régime permanent.

On peut ramener ce schéma au stator avec les fuites magnétiques totalisées au rotor ($N_r\omega_s$)
 Figure (II.7) Pour ce faire, on pose :

$$\begin{aligned} N_r &= L_r\sigma = L_r - \frac{M^2}{L_s} \\ N_r' &= N_r \left(\frac{L_s}{M}\right)^2 \\ R_r' &= R_r \left(\frac{L_s}{M}\right)^2 \\ \bar{I}_r' &= \bar{I}_r \left(\frac{M}{L_s}\right) \end{aligned} \quad (II.24)$$

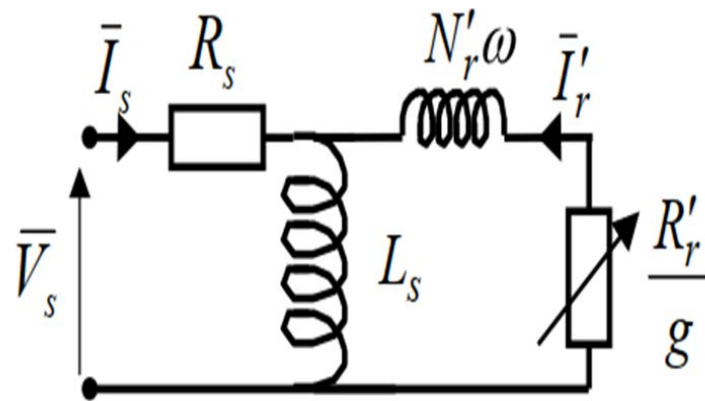


Figure (II.7) : Schéma équivalent au stator avec les fuites magnétiques totalisées au rotor.

Alors, en partant des équations du schéma par phase de la Figure (II.7), on peut écrire :

$$\begin{aligned} \bar{V}_s &= R_s\bar{I}_s + jL_s\omega_s\bar{I}_s + jL_s\omega_s\bar{I}_r' = R_s\bar{I}_s + jL_s\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r') \\ 0 &= \left(\frac{R_r}{g}\bar{I}_r + jL_r\omega_s\bar{I}_r + jM\omega_s\bar{I}_s\right)\frac{L_s}{M} = \frac{R_r}{g}\frac{L_s}{M}\bar{I}_r + jL_r\omega_s\frac{L_s}{M}\bar{I}_r + jL_s\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r' - \bar{I}_r) \\ 0 &= \frac{R_r}{g}\left(\frac{L_s}{M}\right)^2\frac{M}{L_s}\bar{I}_r + jL_r\omega_s\left(\frac{L_s}{M}\right)^2\frac{M}{L_s}\bar{I}_r - jL_s\omega_s\bar{I}_r' + jL_s\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r') \\ 0 &= \frac{R_r'}{g}\bar{I}_r' + jN_r'\omega_s\bar{I}_r' + jL_s\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r') \end{aligned} \quad (II.25)$$

On obtient donc les équations du schéma de la Figure (II.8) :

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s\bar{I}_s + jL_s\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r') \\ 0 = \frac{R_r'}{g}\bar{I}_r' + jN_r'\omega_s\bar{I}_r' + jL_s\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r') \end{cases} \quad (II.26)$$

Si l'on écrit le couple en régime permanent de la machine asynchrone, on a :

$$C_e = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_e}{\Omega_s} = \frac{pP_e}{\omega_s} = 3 \frac{p}{\omega_s} \frac{R'_r}{g} I_r'^2 \quad (II.27)$$

$$\bar{I}_r' = \frac{V_s - R_s \bar{I}_s}{\frac{R'_r}{g} + jN'_r \omega_s}$$

Si l'on néglige la résistance statorique on a :

$$I_r'^2 = \frac{V_s^2}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (N'_r \omega_s)^2} \quad (II.28)$$

$$C_e = \frac{3p}{\omega_s} V_s^2 \frac{\frac{R'_r}{g}}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (N'_r \omega_s)^2}$$

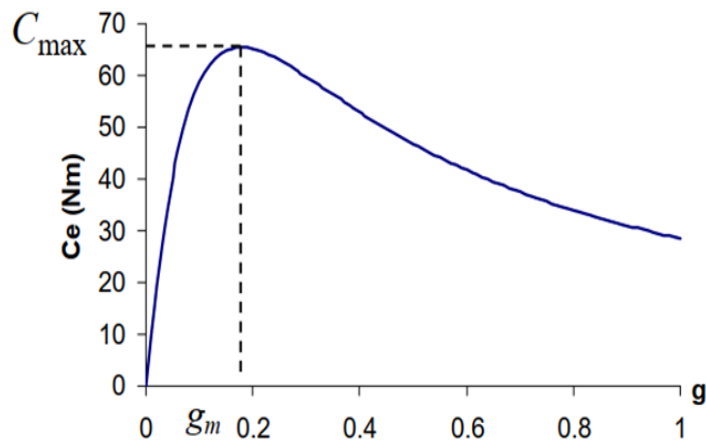


Figure (II.8) : Couple électromagnétique en fonction du glissement.

Pour un glissement faible on a d'ailleurs :

$$C_e \approx \frac{3p}{\omega_s} V_s^2 \frac{g}{R'_r};$$

Une variation quasi linéaire du couple en fonction du glissement.

Le couple maximum correspond à $\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 = (N'_r \omega_s)^2$, c'est-à-dire quand,

$$g = g_m = \frac{R'_r}{N'_r \omega_s} \cdot C \frac{3p}{2N'_r} \left(\frac{V_s}{\omega_s}\right)_{\max}^2$$

Ce résultat nous sera utile pour expliquer le principe de la commande scalaire en tension.

On peut par ailleurs réécrire l'expression du couple électromagnétique approchée :

$$C_e \approx 3p \left(\frac{V_s}{\omega_s} \right)^2 \frac{1}{R'_r} g \omega_s = ag \omega_s = a \omega_r$$

On voit donc clairement que le couple est proportionnel à la pulsation rotorique quand on garde le flux constant, c'est-à-dire le rapport $\frac{V_s}{f_s}$ constant. [16]

II.3.2.2 Modèle à inductances couplées :

Il est très difficile, pour une charge donnée et à partir des tensions et des impédances, de calculer les courants dans la machine et d'en déduire le couple et la fréquence de rotation.

Tension aux bornes d'une phase du stator.

$$\begin{aligned} \underline{V}_A &= R_S \cdot \underline{I}_A + \frac{d\Phi_A}{dt} \\ \underline{V}_A &= (R_S + j\omega_s \mathcal{L}_S) \underline{I}_S + j\omega_s \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_r \end{aligned} \quad (\text{II.29})$$

Tension aux bornes d'une phase du rotor

Le rotor est en court-circuit.

$$\begin{aligned} \underline{V}_a &= 0 = R_r \cdot \underline{I}_a + \frac{d\Phi_a}{dt} \\ 0 &= (R_r + j\omega_r \mathcal{L}_r) \underline{I}'_r + j\omega_r \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_S \end{aligned} \quad (\text{II.30})$$

Comme on a , on obtient :

$$0 = \left(\frac{R_r}{g} + j\omega_s \mathcal{L}_r \right) \underline{I}'_r + j\omega_s \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_S \quad (\text{II.31})$$

A partir les équations président Les deux équations suivantes :

$$\begin{aligned} - \underline{V}_A &= (R_S + j\omega_s \mathcal{L}_S) \underline{I}_S + j\omega_s \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_r \\ - 0 &= \left(\frac{R_r}{g} + j\omega_s \mathcal{L}_r \right) \underline{I}'_r + j\omega_s \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_S \end{aligned} \quad (\text{II.32})$$

Correspondent à un schéma équivalent ne comportant que des tensions et des courants ayant une fréquence identique à celle de l'alimentation qui alimente la machine et dont le schéma est

le suivant : [21]

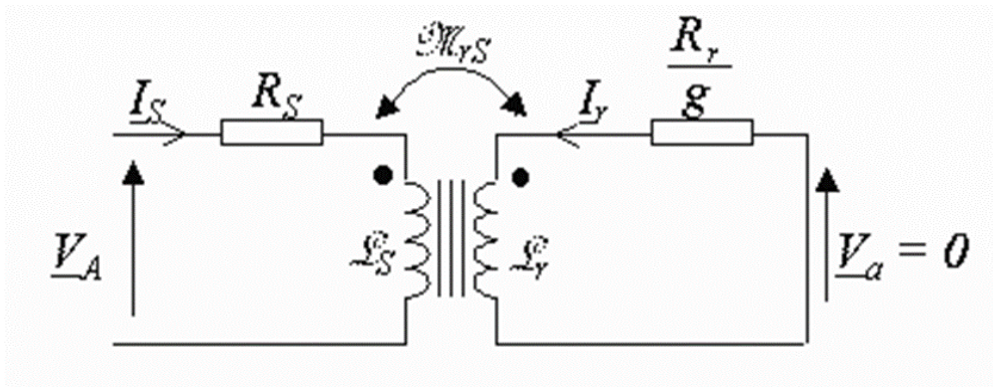


Figure (II.9) : Circuit équivalent.

II.3.2.3 Modèle à inductances réparties :

Les équations peuvent être réécrites comme suit :

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s(L_s - M)\bar{I}_s + jM\omega_s(\bar{I}_r + \bar{I}_s) \\ 0 = \frac{R_r}{g}\bar{I}_r + j\omega_s(L_r - M)\bar{I}_r + jM\omega_s(\bar{I}_s + \bar{I}_r) \end{cases} \quad (II.33)$$

Ces équations permettent de dessiner le schéma de la Figure (II.10) ci-dessous :

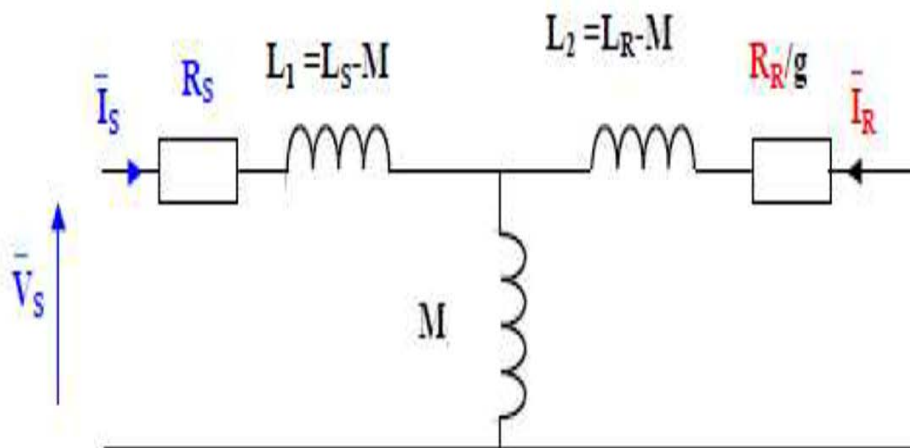


Figure (II.10) : Circuit équivalent aux inductances réparties.

II.3.2.4 Modèle à fuites totalisées au rotor :

les schémas faisant intervenir les inductances de fuites.

Donc on ramène ce schéma au stator avec les fuites magnétiques totalisées au rotor

($N_r \omega_s$). Pour cela on pose :

$$N_r = \sigma L_r = L_r - \frac{M}{L_s}; m = \frac{M}{L_s}$$

(Rapport de transformation).

Composantes ramenées au stator :

$$\begin{cases} N_r' = \frac{N_r}{m^2} \\ R_r' = \frac{R_r}{m^2} \\ \bar{I}_r' = m \bar{I}_r \end{cases}$$

A partir des équations du schéma par phase, on peut écrire :

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + jL_s \omega_s \bar{I}_s + jM \omega_s \bar{I}_r \\ 0 = \frac{R_r}{g} \bar{I}_r + jL_r \omega_s \bar{I}_r + jM \omega_s \bar{I}_s \\ \bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s (L_s \bar{I}_s + M \bar{I}_r) = R_s \bar{I}_s + j\omega_s L_s (\bar{I}_s + \bar{I}_r') \end{cases} \quad (\text{II.34})$$

Pour ramener au stator on divise sur m :

$$\begin{aligned} 0 &= \left(\frac{R_r}{g} \bar{I}_r + jL_r \omega_s \bar{I}_r + jM \omega_s \bar{I}_s \right) \frac{1}{m} = \frac{R_r}{g} \frac{L_s}{M} \bar{I}_r + jL_r \omega_s \frac{L_s}{M} \bar{I}_r + jL_s \omega_s (\bar{I}_s + \bar{I}_r' - \bar{I}_r') \\ &= \frac{R_r}{g} \bar{I}_r' + jL_s \omega_s (\bar{I}_s + \bar{I}_r') + \left| jL_r \omega_s \frac{m}{m^2} \bar{I}_r + jL_s \omega_s \bar{I}_r' \right| \\ &= \frac{R_r}{g} \bar{I}_r' + jN_r' \omega_s \bar{I}_r' + jL_s \omega_s (\bar{I}_s + \bar{I}_r') \end{aligned} \quad (\text{II.35})$$

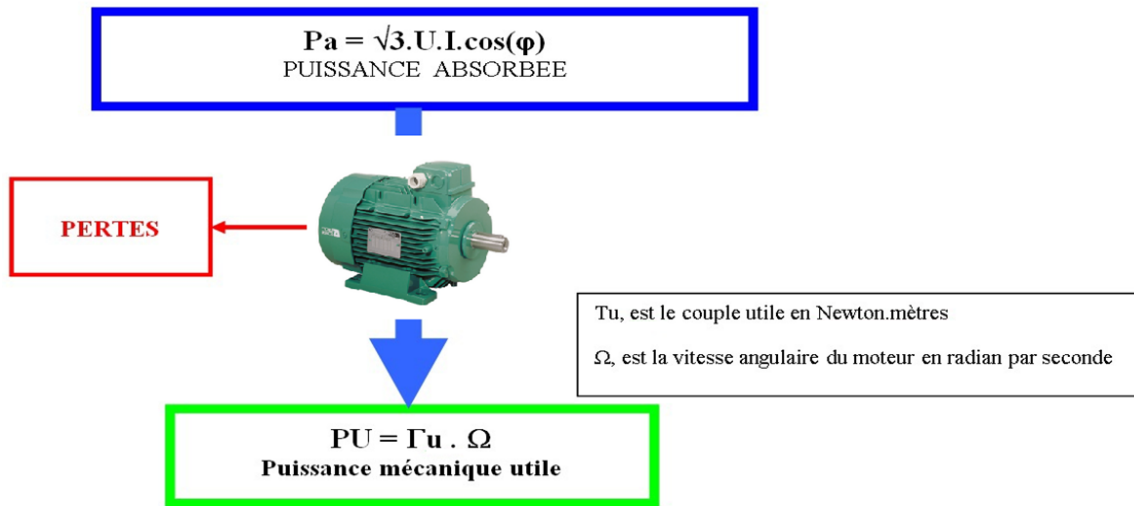
On obtient finalement les équations suivantes qui nous permettent d'établir le schéma équivalent au stator avec les fuites magnétiques totalisées au rotor :

$$\begin{aligned} \bar{V}_s &= R_s \bar{I}_s + j\omega_s L_s (\bar{I}_s + \bar{I}_r') \\ 0 &= \frac{R_r}{g} \bar{I}_r' + jN_r' \omega_s \bar{I}_r' + jL_s \omega_s (\bar{I}_s + \bar{I}_r') \end{aligned} \quad (\text{II.36})$$

II.3.2.5 Puissances électrique, mécanique et thermique :

Un moteur absorbe une puissance électrique "Pa" et la transforme en puissance mécanique utile "Pu".

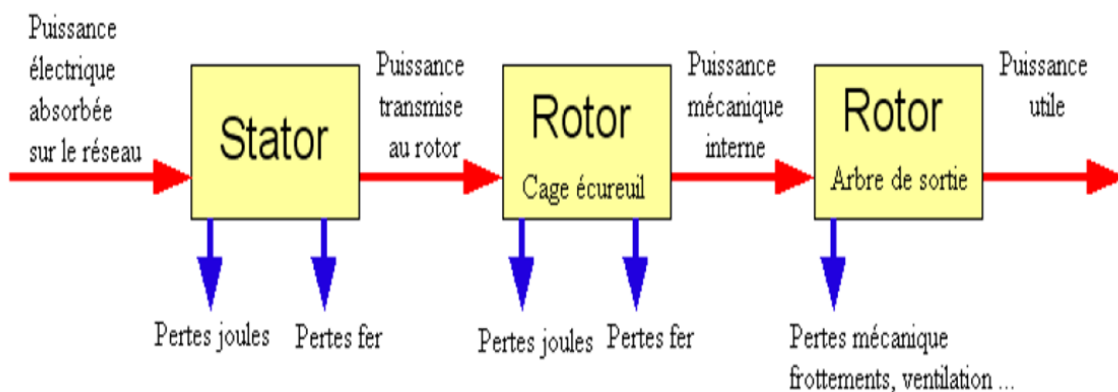
Le moteur quand il absorbe de l'énergie électrique, subit des pertes, (chaleur, frottements...), quand il transforme cette énergie.



Le rendement d'un moteur asynchrone triphasé (η) est donné par la relation suivante : $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

Pu : Puissance fournie par le moteur asynchrone triphasé.

Pa : Puissance absorbée par le moteur asynchrone triphasé.



II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle mathématique décrivant le comportement statique et dynamique de la machine asynchrone avec présenté la modélisation et la simulation de la machine asynchrone, ce type de moteur s'est imposé dans l'industrie grâce à sa robustesse et sa simplicité de construction par contre son modèle est fortement non linéaire.

Le processus de démarrage du moteur a été modélisé et simulé à vide et en charge. Les résultats obtenus démontrent la justesse du modèle développé.

A partir du modèle en régime transitoire en fin régime permanent, on a établi différents schémas équivalents de la machine asynchrone. Le circuit équivalent va nous aider à mieux comprendre le comportement et le rendement de la machine dans les différentes conditions de fonctionnement.

L'effet des perturbations sur la fiabilité des machines asynchrones.

III.1 Introduction :

Les moteurs asynchrones triphasés sont des machines électriques extrêmement robustes, qui ne demandent que très peu d'entretien et sont fréquemment utilisées dans le secteur industriel. On les retrouve dans des applications très diverses telles que des ventilateurs, des pompes, des machines complexes modulaires, des machines exigeant du couple et de la précision à très basse vitesse ainsi qu'une dynamique élevée et également pour des machines de forte puissance.

Grâce à l'évolution de l'électronique de puissance et en raison du plus faible coût des moteurs asynchrones, nombre d'applications, qui utilisaient hier des moteurs à courant continu ou encore des moteurs synchrones, emploient aujourd'hui un moteur asynchrone associé à un variateur de vitesse.

Selon les process entraînés, les moteurs asynchrones ont besoin d'une alimentation stable fournie par une ASI : une interruption brusque de l'alimentation électrique risquerait en effet d'entraîner des dommages matériels et d'affecter la qualité du produit.

III.2 Moteur asynchrone en présence des harmoniques :

Lorsque la courbe de tension n'est pas sinusoïdale, c'est-à-dire, dans le cas de découpage de la tension, des harmoniques sont toujours présentes. L'absorption du moteur, liée à la limitation de conduction effectuée par le démarreur progressif, provoque la présence d'harmoniques de rang 3, 5, 7, 9, 11 (etc.), avec un impact non négligeable sur le dimensionnement de l'ASI.[22]

III.2.1 Méthode d'analyse :

Il est très difficile, pour une charge donnée et à partir des tensions et des impédances, de calculer les courants dans la machine et d'en déduire le couple et la fréquence de rotation.

Comme pour ces labyrinthes que l'on trouve dans les journaux, il est plus facile de partir du but à atteindre et de remonter vers le départ. On considère donc que l'on connaît les courants.

À partir de l'expression des courants statoriques et rotoriques on déduit les flux du champ magnétique qu'ils produisent. Connaissant les courants et les flux, on écrit l'expression des tensions en appliquant la loi d'Ohm et la loi de Faraday, puis on identifie.

Au stator :

Les courants

On fixe l'origine des temps de manière que l'on puisse écrire :

$$i_A(t) = I_S \sqrt{2} \cdot \cos \alpha_S \quad (\text{III.1})$$

On en déduit les courants des deux autres phases du stator :

$$\begin{aligned} i_B(t) &= I_S \sqrt{2} \cdot \cos \left(\alpha_S - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_C(t) &= I_S \sqrt{2} \cdot \cos \left(\alpha_S + \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (\text{III.2})$$

Avec $\alpha_S = \omega_S \cdot t$, et ω_S : pulsation des courants statoriques.

$$\begin{aligned} \text{Au rotor} \quad i_a(t) &= I_r \sqrt{2} \cdot \cos \alpha_r \\ i_b(t) &= I_r \sqrt{2} \cdot \cos \left(\alpha_r - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_c(t) &= I_r \sqrt{2} \cdot \cos \left(\alpha_r + \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (\text{III.3})$$

Avec : $\alpha_r = (\omega_r \cdot t - \alpha)$, $\omega_r = g \cdot \omega_S$: pulsation des courants rotoriques, et α = phase à l'origine de i_a donc variable car l'origine des temps est fixée par i_A .

Flux à travers un enroulement statorique

Le flux à travers la phase A du stator est :

$$\Phi_A = (L_S - M_S)i_A + \frac{3}{2}M_{rS}I_r\sqrt{2}\cos(\omega_S \cdot t - \alpha)$$

on pose :

$$\begin{aligned} (L_S - M_S) &= \mathcal{L} : \text{inductance cyclique} \\ \frac{3}{2}M_{rS} &= \mathcal{M}_{rS} : \text{inductance mutuelle cyclique} \end{aligned}$$

Ces grandeurs cycliques permettent d'isoler chaque phase comme si elle était seule, comme si le flux qui la traverse ne dépendait que du seul courant qui alimente cette phase.

L'introduction de ces grandeurs cycliques va permettre d'établir des modèles monophasés équivalents.

On pose également : $\underline{\Phi}_A = \mathcal{L}_S \underline{I}_S + \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_r$

\underline{I}'_r Courant fictif de valeur efficace I_r mais de fréquence f_s et d'argument $-\alpha$,

L'expression du flux devient alors plus simple. On applique la transformation complexe et l'on obtient le flux complexe d'une phase du stator : $\underline{\Phi}_A = \mathcal{L}_S \underline{I}_S + \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_r$ à la pulsation ω_s

Flux à travers un enroulement rotorique

Le calcul du flux rotorique se mène de manière identique avec une différence de signe.

$$\Phi_a = (L_r - M_r) i_a + M_{rS} \cos \theta \cdot i_A + M_{rS} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \cdot i_B + M_{rS} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot i_C$$

(III.4)

Avec l'introduction des grandeurs cycliques

$$\begin{aligned} \Phi_a &= \mathcal{L}_r i_a + \frac{3}{2} M_{rS} I_S \sqrt{2} \cos(\theta - \alpha_S) \\ &= \mathcal{L}_r I_r \sqrt{2} \cos(\omega_r t - \alpha) + \mathcal{M}_{rS} I_S \sqrt{2} \cos(\omega_r t) \end{aligned} \quad (III.5)$$

Le flux à travers un enroulement rotorique s'écrit : $\underline{\Phi}_a = \mathcal{L}_r \underline{I}_r + \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_S$ à la pulsation ω_r

Les tensions

Tension aux bornes d'une phase du stator

$$\begin{aligned} \underline{V}_A &= R_S \cdot \underline{I}_A + \frac{d\underline{\Phi}_A}{dt} \\ \underline{V}_A &= (R_S + j\omega_S \mathcal{L}_S) \underline{I}_S + j\omega_S \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_r \end{aligned} \quad (III.6)$$

Tension aux bornes d'une phase du rotor

$$\begin{aligned} \underline{V}_a &= 0 = R_r \cdot \underline{I}_a + \frac{d\underline{\Phi}_a}{dt} \\ 0 &= (R_r + j\omega_r \mathcal{L}_r) \underline{I}_r + j\omega_r \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_S \end{aligned} \quad (III.7)$$

Comme on a $\omega_r = g \cdot \omega_s$ on obtient : $0 = \left(\frac{R_r}{g} + j\omega_s \mathcal{L}_r \right) \underline{I}_r + j\omega_s \mathcal{M}_{rS} \underline{I}'_S$

III.2.2 Circuit équivalent :

Il serait intéressant, pour calculer les harmoniques de courant rotoriques, de pouvoir

Utiliser les paramètres du schéma monophasé équivalent présenté à la figure (III.1) Sur ce

Schéma r_s et l_s représentent respectivement la résistance et l'inductance de fuites des

Enroulements statoriques, r'_r et l'_r ces mêmes grandeurs relatives au rotor mais ramenées au stator, L_μ l'inductance magnétisante. [22]

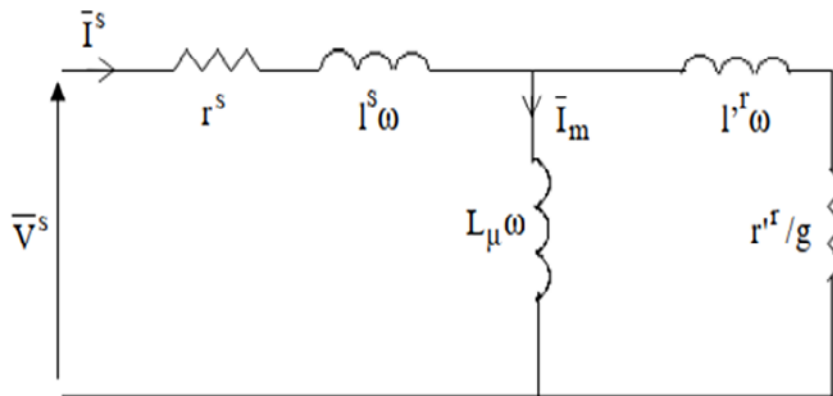


Figure (III.1) : schéma monophasé équivalent.

III.2.3 Puissances électrique, mécanique et thermique :

Pour chaque harmonique de tension, l'impédance totale du moteur est :

$$Z_{ks} = \frac{\xi_k + j\sigma_k}{R_r + jg_k k X_{rr}}$$

Où ξ_k et σ_k sont des variables de transition et sont données par :

$$\begin{aligned} \xi_k &= R_r R_s + g_k k^2 (X_m^2 - X_{SS} X_{rr}) \\ \sigma_k &= k R_r X_{SS} + g_k k R_s X_{rr} \end{aligned} \quad (III.8)$$

Le courant statorique dû à l'harmonique d'ordre :

$$I_{ks} = \frac{V_k (R_r + jg_k k X_{rr})}{\xi_k + j\sigma_k} \quad (III.9)$$

La valeur absolue du courant statorique est :

$$|I_{ks}| = V_k \sqrt{\frac{R_r^2 + g_k^2 k^2 X_{rr}^2}{\xi_k^2 + \sigma_k^2}} \quad (III.10)$$

Le courant rotorique :

$$I_{kr} = \frac{V_k \cdot jg_k k X_m}{\xi_k + j\sigma_k} \quad (III.11)$$

Sa valeur absolue :

$$|I_{kr}| = V_k \cdot g_k \cdot k X_m \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi_k^2 + \sigma_k^2}} \quad (III.12)$$

Les pertes joule dissipées dans le rotor sont calculées comme suit :

$$P_{kjr} = 3 \cdot |I_{kr}|^2 R_r = 3 \cdot \frac{V_k^2 g_k^2 k^2 X_m^2}{\xi_k^2 + \sigma_k^2} R_r \quad (III.13)$$

La puissance fournie au rotor :

$$P_{kr} = \frac{P_{kjr}}{g_k} = 3 \cdot \frac{V_k^2 g_k k^2 X_m^2}{\xi_k^2 + \sigma_k^2} R_r \quad (\text{III.14})$$

La puissance mécanique fournie à la charge :

$$P_{kmc} = P_{kr} - P_{kjr} = P_{kr}(1 - g_k) = 3 \cdot V_k^2 k^2 X_m^2 g_k \frac{1 - g_k}{\xi_k^2 + \sigma_k^2} R_r \quad (\text{III.15})$$

Les pertes joules dissipées dans le stator :

$$P_{kjs} = 3 \cdot |I_{ks}|^2 R_s = 3 \cdot V_k^2 \cdot \frac{R_r^2 + g_k^2 k^2 X_{fr}^2}{\xi_k^2 + \sigma_k^2} \cdot R_s \quad (\text{III.16})$$

Les pertes supplémentaires dues à la présence des harmoniques dans la tension

D'alimentation sont :

$$P_{sup} = P_{sus} + P_{sur}$$

En posant : $k = 6l \pm 1$

$$\begin{aligned} P_{sus} &= \sum_{l=1}^{\infty} P_{kjs} \\ P_{sur} &= \sum_{l=1}^{\infty} P_{kjr} \end{aligned} \quad (\text{III.17})$$

Ces pertes supplémentaires vont se traduire en échauffement supplémentaire dans les Enroulements statoriques et rotoriques et par conséquent, le rendement du moteur se Diminuera considérablement.[23]

III.3 Moteur asynchrone en présence du déséquilibre :

La Commission électrotechnique internationale (CEI) introduit une définition indépendante du déséquilibre de tension ; il le définit comme le rapport entre la tension de séquence négative et la tension de séquence positive, ce rapport, [24] appelé facteur de déséquilibre de tension VUF, décrit le pourcentage de déséquilibre de tension :

$$VUF = \left| \frac{V_n}{V_p} \right| 100\% = K_v$$

KV	V1	V2	V3	Condition du déséquilibre
1%	212.09∠0.01	212.09∠ -120.50	208.90∠120.48	Sous-tension
	252.49∠0.01	248.82∠ -120.50	248.59∠120.48	Surtension
3%	216.29∠0.05	207.09∠ -121.53	206.74∠121.48	Sous-tension
	257.49∠0.05	246.54∠ -121.53	246.13∠121.48	Surtension
5%	220.49∠0.08	205.24∠ -122.58	204.66∠122.49	Sous-tension
	262.49∠0.08	244.34∠ -122.58	243.64∠122.49	Surtension

Tableau 6 : Niveau de déséquilibre de tension [24]

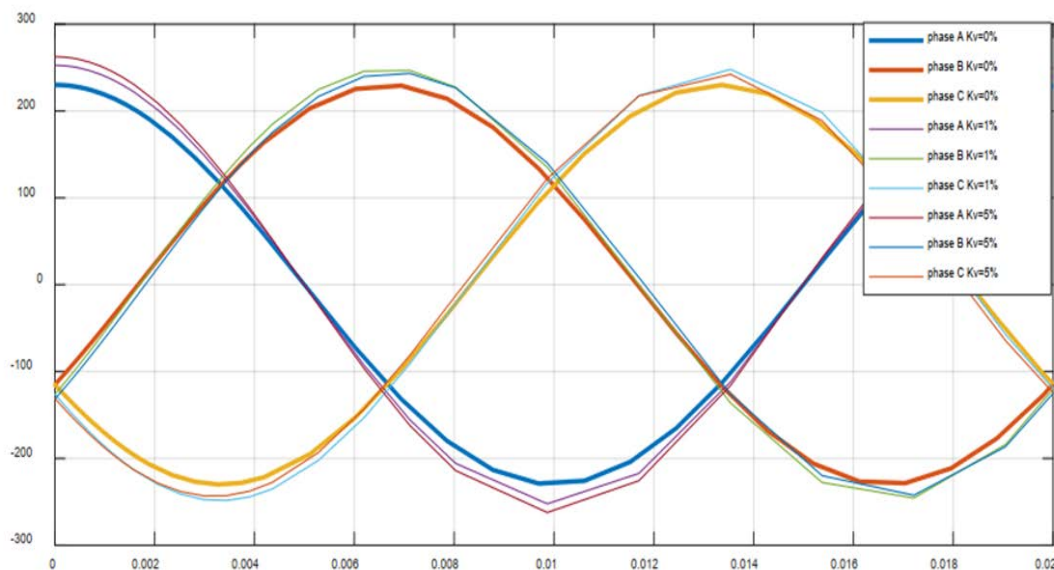


Figure (III.2) : Tension d'alimentation triphasée avec Kv = 0, Kv = 1% et Kv = 5%
 Courbe de la vitesse en fonction du temps suivant le taux de déséquilibre de tension [24].

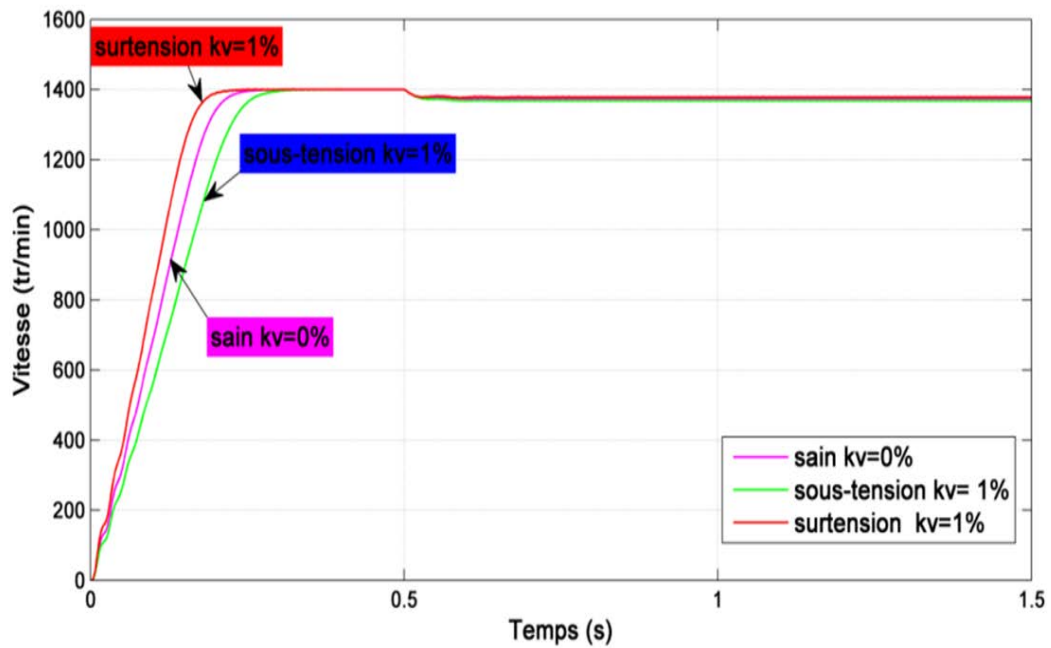


Figure (III.3) : Variation de la Vitesse de rotation en fonction de déséquilibre de tension $kV=1\%$ (sous-tension et surtension)[24].

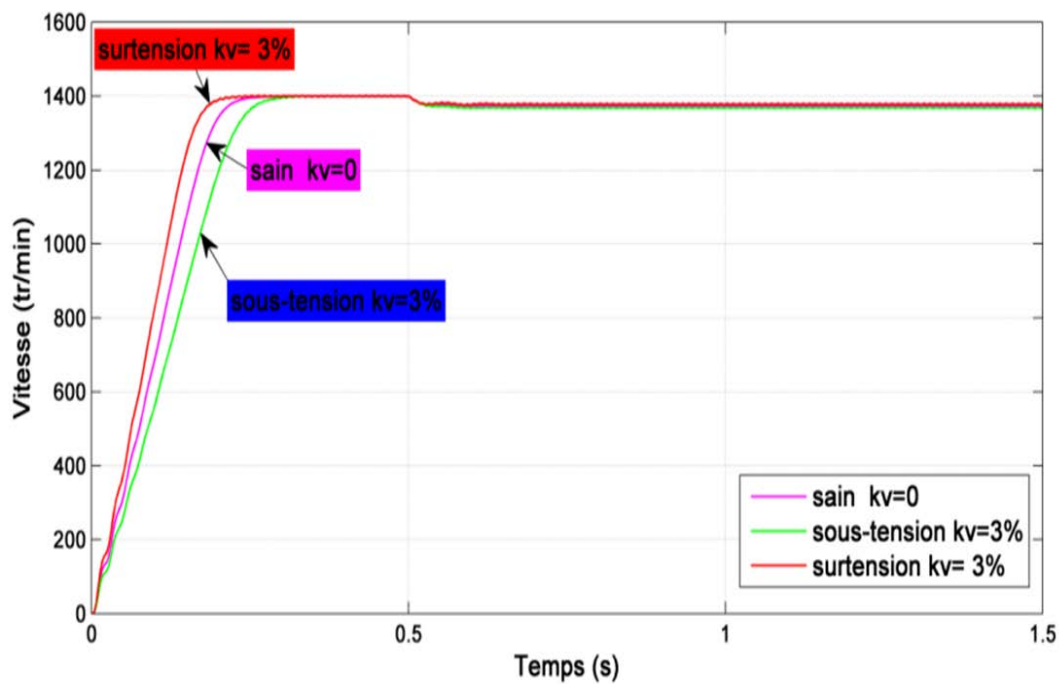


Figure (III.4) : Variation de la Vitesse en fonction de déséquilibre de tension $kV=3\%$ (sous-tension et surtension) [24].

Le déséquilibre de la tension d'alimentation triphasée engendre des courants d'ordre inverse (c'est-à-dire un champ inverse) dans les enroulements du stator.[25]

Dans ce cas-ci, les courants rotoriques induits par les courants d'ordres directs et inverses Sont de la forme :

$$[i_{rk}] = [i_{rdk}] + [i_{rik}]$$

Ou

$$[i_{rik}] = \begin{bmatrix} \vdots \\ I_{rik} \cos ((2 - s)\omega_s t + ka - \gamma_i) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (III.18)$$

De la même manière la tension entre neutres relative au courant d'ordre inverse peut être écrite comme suit:

$$v_{mi} = \sum_{h=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{n_s-1} \frac{(2-s)\omega_s}{2} M_{3h}^{sr} I_{rk} \times \{ \sin ((3h + 2 - (3h + 1)s)\omega_s t + (3h + 1)ka + 3h(\varphi_{3h} + \theta_0) - \gamma_i) - \sin ((3h - 2 - (3h - 1)s)\omega_s t + (3h - 1)ka + 3h(\varphi_{3h} + \theta_0) + \gamma_i) \} + \frac{d\theta}{dt} \sum_{h=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{n_k-1} \frac{3h}{2} M_{3h}^{sr} I_{rk} \times \{ \sin ((3h + 2 - (3h + 1)s)\omega_s t + (3h + 1)ka + 3h(\varphi_{3h} + \theta_0) - \gamma_i) + \sin ((3h - 2 - (3h - 1)s)\omega_s t + (3h - 1)ka + 3h(\varphi_{3h} + \theta_0) + \gamma_i) \} \quad (III.19)$$

III.3.1 Circuit équivalent :

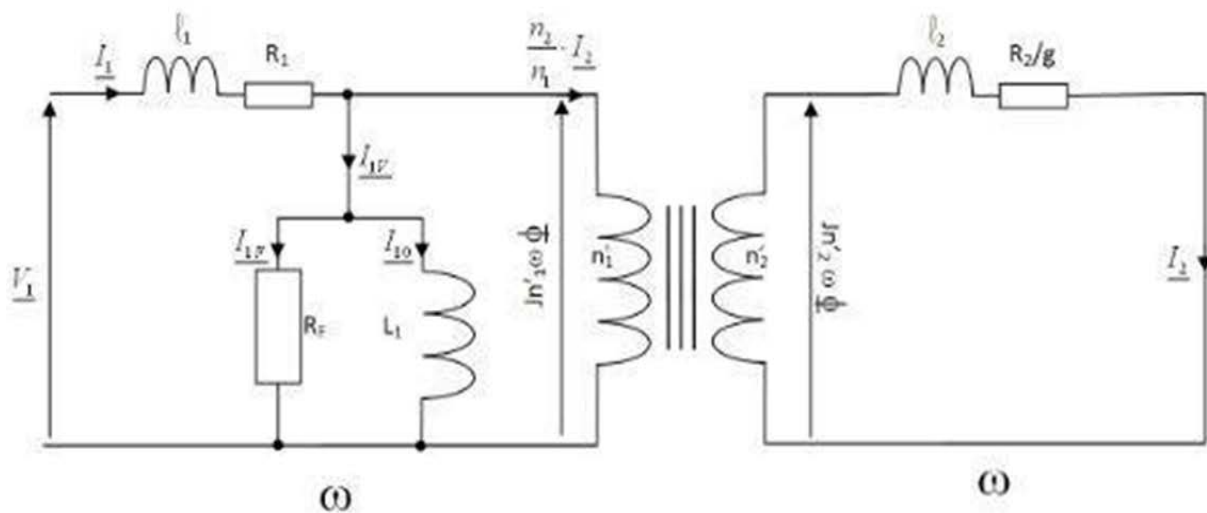


Figure (III.5) : Schéma équivalent d'une machine asynchrone.

III.3.2 Analyse en régime établi

III.3.2.1 Taux de déséquilibre de tension :

Les taux déséquilibre de tension en conditions habituelles d'exploitation pendant 95% du temps sur une période des mesures d'une semaine sont généralement inférieurs à 2%.

Certains déséquilibres de tension peuvent atteindre 3% aux point de livraison triphasés, dans les conditions habituelles d'exploitation, On y trouve deux méthodes d'évaluation du taux de déséquilibre utilisées pour cette analyse, La méthode utilisant la définition de NEMA et une autre qui utilise la valeur absolue de la définition vraie

Le déséquilibre de séquence inverse de la tension d'un système triphasé crée dans les bobinages des moteurs triphasé, un champ tournant inverse qui s'oppose a leur sens de rotation normal.

III.3.2.2 Les composantes symétriques des courants et leurs taux de

Déséquilibre :

Les composantes directes des courants du stator et du rotor sont données par:

$$\begin{aligned} I_{ps} &= \frac{V_p(R_r + jgX_{rr})}{\xi_p + j\sigma_p} \\ I_{pr} &= \frac{V_p \cdot jgX_m}{\xi_p + j\sigma_p} \end{aligned} \quad (III.20)$$

Où ξ_p et σ_p sont des variables de transition et sont données par :

$$\begin{aligned} \xi_p &= R_r R_s + g(X_m^2 - X_{ss} X_{rr}) \\ \sigma_p &= R_r X_{ss} + gR_s X_{rr} \end{aligned} \quad (III.21)$$

De même, les composantes inverses des courants du stator et du rotor sont :

$$\begin{aligned} I_{ns} &= \frac{V_n(R_r + j(2-g)X_{rr})}{\xi_n + j\sigma_n} \\ I_{nr} &= \frac{V_n \cdot j(2-g)X_m}{\xi_n + j\sigma_n} \end{aligned} \quad (III.22)$$

Où

$$\begin{aligned} \xi_n &= R_r R_s + (2 - g)(X_m^2 - X_{ss} X_{rr}) \\ \sigma_n &= R_r X_{ss} + (2 - g)R_s X_{rr} \end{aligned}$$

Lorsque les tensions du stator sont déséquilibrées, les courants du stator aussi seront déséquilibrés.

Le taux de déséquilibre des courants est comme suit :

$$K_c(\%) = |I_{ns}/I_{ps}| \times 100\% \quad (III.23)$$

Avec K_c : Le facteur de déséquilibre de courant .

Les courants de lignes des trios phases du stator sont donnés par :

$$\begin{aligned} I_a &= I_{ps} + I_{ns} \\ I_b &= a^2 I_{ps} + a I_{ns} \\ I_c &= a I_{ps} + a^2 I_{ns} \end{aligned} \quad (\text{III.24})$$

III.3.2.3 Les impédances du moteur :

L'alimentation par un système triphasé déséquilibré d'un moteur asynchrone triphasé (M.A.S) provoque des déséquilibres aux niveaux des grandeurs électriques du moteur.

La composante directe crée un champ magnétique tournant à la vitesse de rotation $\Omega_p = \frac{\omega_s}{p}$

où ω est la pulsation des courants et p est le nombre de paires de pôle. Si le rotor tourne avec une vitesse angulaire Ω_p , le glissement s_p s'écrit comme :

$$s_p = \frac{\Omega_p - \Omega}{\Omega_p}$$

La composante inverse crée un champ magnétique tournant à la vitesse de rotation

$$\begin{aligned} \Omega_n &= -\Omega_p \\ s_n &= \frac{\Omega_n - \Omega}{\Omega_n} = \frac{-\Omega_p - \Omega}{-\Omega_p} = 2 - s_p \end{aligned} \quad (\text{III.25})$$

les impédances directe et inverse d'un moteur asynchrone triphasé.

$$\text{Les impédances statoriques} \begin{cases} \underline{Z}_{sp} = R_p + jL_{\sigma sp} \\ \underline{Z}_{sn} = R_n + jL_{\sigma sn} \end{cases} \quad (\text{III.26})$$

$$\text{Les impédances rotoriques} \begin{cases} \underline{Z}_{rp} = \frac{r'_p}{s} + jL_{\sigma rp} \\ \underline{Z}_{rn} = \frac{r'_n}{2-s} + jL_{\sigma rn} \end{cases} \quad (\text{III.27})$$

Les impédances dans la branche magnétisante

$$\begin{cases} \underline{Z}_{hp} = \frac{R_{fp}(L_{hp}\omega)^2 + jR_{fp}^2 L_{hp}}{R_{fp}^2 + (L_{hp}\omega)^2} \\ \underline{Z}_{hn} = \frac{R_{fn}(L_{hn}\omega)^2 + jR_{fn}^2 L_{hn}}{R_{fn}^2 + (L_{hn}\omega)^2} \end{cases} \quad (\text{III.28})$$

D'où les impédances directe et inverse du moteur asynchrone triphasé en marche déséquilibré

$$\begin{cases} \underline{Z}_{mp} = \underline{Z}_{sp} + \frac{\underline{Z}_{rp} \times \underline{Z}_{hp}}{\underline{Z}_{rp} + \underline{Z}_{hp}} \\ \underline{Z}_{mn} = \underline{Z}_{sn} + \frac{\underline{Z}_{rn} \times \underline{Z}_{hn}}{\underline{Z}_{rn} + \underline{Z}_{hn}} \end{cases} \quad (\text{III.29})$$

Quel que soit le fonctionnement d'une machine asynchrone triphasée, l'entrefer consomme toujours de l'énergie réactive. De plus la présence de deuxième champ tournant (dû à la composante inverse) entraîne des pertes non négligeables au niveau de la machine.[25]

III.3.2.4 Couple et rendement :

Les pertes mécaniques ont été négligées, la puissance mécanique du moteur comprend la partie produite par la composante directe P_p et la partie produite par la composante inverse P_n ,

$$\begin{aligned} P_p &= 3I_{pr}^2 \left(\frac{1-g}{g} \right) R_r \\ P_n &= 3I_{nr}^2 \left(\frac{g-1}{2-g} \right) R_r \end{aligned} \quad (III.30)$$

La puissance P_n est négative pour un glissement normal parce que le rotor tourne en direction opposé au champ magnétique produit par la composante inverse du courant. Les couples produits par la composante directe et inverse respectivement :

$$T_p = \frac{P_p}{\omega} = \frac{P_p}{\omega_s(1-g)} = \frac{3I_{pr}^2 R_r}{g\omega_s} \quad (III.31)$$

Et

$$T_n = \frac{P_n}{\omega} = \frac{P_n}{\omega_s(1-g)} = -\frac{3I_{nr}^2 R_r}{(2-g)\omega_s} \quad (III.32)$$

Le couple total du moteur est donc :

$$T = T_p + T_n = \frac{3R_r}{\omega_s} \left(\frac{I_{pr}^2}{g} - \frac{I_{nr}^2}{2-g} \right) \quad (III.33)$$

La puissance absorbée par le moteur, exprimée en termes de composantes symétriques des tensions et des courants, est :

$$P_e = \text{Re} \left[3 \cdot (V_p I_{ps}^* + V_n I_{ns}^*) \right] \quad (III.34)$$

Où l'astérisque (j) indique le conjugué .

Le rendement du moteur est donné par :

$$\eta = \frac{P_p + P_n}{P_e} \times 100$$

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire présente une étude la performance statique et dynamique dans moteur asynchrone alimenté par une source perturbée.

Notre travail s'est porté plus particulièrement sur principe de qualité d'énergie électrique et l'effet des perturbations sur la fiabilité des machines asynchrones.

Avec l'analyse par simulation des performances du moteur asynchrone en présence des harmoniques et de déséquilibre de tension.

Dans Le premier chapitre, on a abordé concernait d'identification de la qualité d'énergie électrique et solutions de dépollution des réseaux électriques, Dans le cadre de Définition La distorsion harmonique et l'effet distorsion harmonique des composantes de la tension.

Le deuxième chapitre est consacré à la Modélisation et simulation de la machine asynchrone Dans Nous avons procédé en basant aussi sur la théorie utilisé une méthode analytique et mathématique des Modélisation de la machine asynchrone, et les diffèrent type de régime fonctionnement.

L'influence des harmoniques et le dés équilibre de tension sur le fonctionnement en régime permanent d'un moteur asynchrone a été étudiée dans le chapitre trois. A Cause du covid 19 et vue le facteur temps, nous n'avons pu faire une simulation du comportement de la machine sous l'effet du courant perturbateur et en fait uniquement une étude théorique

Bibliographie

- [1] - (en) Alexandra von Meier, *Electric Power Systems : A Conceptual Introduction*, Hoboken, N.J., John Wiley & Sons, Inc., coll. « Wiley survival guides in engineering and science. », 2006, 309 p. ([ISBN 978-0-471-17859-0](#), [OCLC 62616191](#)) [https://fr.wikipedia.org > wiki > Power_quality](https://fr.wikipedia.org/wiki/Power_quality)
- [2] - La qualité de l'énergie : définition et principes. Interview d'un ...
[https://www.amelioronslaville.com > electricite > 2017/01](https://www.amelioronslaville.com/electricite/2017/01)
- [3]- https://www.iso.org/sites/ConsumersStandards/fr/1_standards.html
- [4] - Organisation internationale de normalisation - Wikipédia
[https://fr.wikipedia.org > wiki > Organisation_internationa...](https://fr.wikipedia.org/wiki/Organisation_internationa...)
- [5]- <https://www.salicru.com/ly-fr/principales-tipos-de-perturbaciones-electricas-fra.html>
- [6]- https://fr.electrical-installation.org/frwiki/D%C3%A9finition_des_harmoniques
- [7]- (en) Roger C. Dugan, Mark McGranaghan, Surya Santoso et H. Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, New York, McGraw-Hill Companies, Inc., 2003, 2^e éd., relié ([ISBN 978-0-07-138622-7](#), [LCCN 2002038697](#))
- [8]- (en) Alexandra von Meier, *Electric Power Systems : A Conceptual Introduction*, Hoboken, N.J., John Wiley & Sons, Inc., coll. « Wiley survival guides in engineering and science. », 2006, 309 p. ([ISBN 978-0-471-17859-0](#), [OCLC 62616191](#))
- [9]- (en) G.T. Heyden, *Electric Power Quality*, Stars in a Circle Publications. Library Of Congress 621.3191, 1991)
- [10]- BouakazOuahid "contribution à l'analyse des onduleurs multi niveaux " Thèse de magistère, Batna année 2005.
- [11]- Lamine M, Traoré.A, "Modélisation et simulation d'une machine asynchrone à cage à l'aide du logiciel Matlab/Simulink " ,msas_pp038_45
- [12]- Abed Khoudir, "Techniques de commande avancées appliquées aux machines de type asynchrone", Thèse de doctorat, Université Mentouri de Constantine, 22/06/2010.
DSP''. Ellipses, Mars 2000.

[13]- Tchiali Fouad, Maghraoui Noura " Modélisation et Commande des Onduleurs Multi niveaux

Asymétriques ", PFE. Dép. d'électrotechnique, U.S.T.H.B 2004.

[14]- Benyahia. M, "commande non linéaire et prédictive application à la machine asynchrone " thèse de magister ,Université de Batna 2001.

[15]- Commande Vectorielle d'une Machine à Induction

[16] - <https://www.baghli.com> > cours_cmde_MAS

[17]https://www.academia.edu/31084784/Circuits_triphas%C3%A9s_d%C3%A9s%C3%A9quilibr%C3%A9s

[18]- https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_asynchrone#M%C3%A9thode_utilis%C3%A9e

[19]-R.H. Park, « Two Reaction Theory of Synchronous Machines », AIEE Transactions, n 48, 1929, p. 716-730

[20]- « https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Régime_permanent&oldid=165357340 ».

cours-commande

[21]-[Machine_asynchrone#Couple_électromagnétique_en_fonction_du_glissement](#)

[22]- https://www.researchgate.net/figure/1-schema-monophas-equivalent-pour-les-harmoniques-de-courant_fig16_30513621

[23]- <https://www.theses-algerie.com> > memoire-de-magister

[24]- [266]DDOC_T_2012_0022_OUMAAMAR.pdf

[25]-rakotomananaAndryM_ESPA_ING_14.pdf

Résumé

Le travail proposé dans ce mémoire entre dans le cadre d'une étude du fonctionnement d'une machine asynchrone alimenté par une source de tension perturbée. Notre objectif est de prédire le comportement d'un moteur asynchrone soumis à des perturbations au niveau de l'alimentation afin d'améliorer sa fiabilité. Nous avons procédé d'abord en basant sur la théorie des puissances instantanées à élaborer un filtre actif parallèle (FAP) comme solution moderne et efficace de dépollution des réseaux des harmoniques et du déséquilibre. Basée sur une méthode analytique, notre étude sur la machine asynchrone fonctionnant en présence des harmoniques et de déséquilibre se fait en régime permanent par l'utilisation de son schéma équivalent tout en déduisant les expressions analytiques des couples, des courants, des puissances et des pertes. À l'aide de logiciel MATLAB/SIMULINK, Une simulation des différentes grandeurs et caractéristiques du moteur asynchrone en présence des perturbations électriques à monter et confirmer l'efficacité de ce type de filtre.

ملخص

العمل المقترح في هذه الأطروحة هو جزء من دراسة تشغيل آلة غير متزامنة تعمل بمصدر جهد مضطرب. هدفنا هو التنبؤ بسلوك محرك غير متزامن يتعرض لاضطرابات في الطاقة من أجل تحسين موثوقيته. شرعنا أولاً ، بناءً على نظرية القوى اللحظية ، في تطوير مرشح نشط مواز (FAP) كحل حديث وفعال لإزالة تلوث الشبكات من التوافقيات وعدم التوازن. بناءً على طريقة تحليلية ، تتم دراستنا حول الآلة غير المتزامنة التي تعمل في وجود التوافقيات وعدم الاتزان في حالة ثابتة باستخدام مخططها المكافئ أثناء استنتاج التعبيرات التحليلية لعزم الدوران والتيارات والقوى والخسائر. باستخدام برنامج MATLAB / SIMULINK ، يتم محاكاة الكميات والخصائص المختلفة للمحرك غير المتزامن في ظل وجود اضطرابات كهربائية ليتم تثبيتها وتأكيد فعالية هذا النوع من المرشحات.

ABSTRACT

The work proposed in this dissertation is part of a study of the operation of an asynchronous machine powered by a disturbed voltage source. Our objective is to predict the behavior of an asynchronous motor subjected to disturbances at the level of the power supply in order to improve its reliability. We first proceeded, based on the instantaneous power theory, to develop a parallel active filter (FAP) as a modern and effective solution for depolluting networks from harmonics and imbalance. Based on an analytical method, our study on the asynchronous machine operating in the presence of harmonics and unbalance is done in steady state by using its equivalent diagram while deducing the analytical expressions of torques, currents, powers and losses. . Using the MATLAB/SIMULINK software, A simulation of the different sizes and characteristics of the asynchronous motor in the presence of electrical disturbances to be mounted and confirm the effectiveness of this type of filter.