



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2020

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Par

BENKERDAGH Omar

Réalisation d'une carte d'acquisition pour le diagnostic des défauts dans la machine asynchrone

Soutenu le 07 / 12 / 2020 devant le jury composé de :

Président :	GHOMRI	Leila	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	BENAOUALI	Mohamed	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur:	CHAOUCH	Abdellah	MCA	Université de Mostaganem
Co-Encadreur	AZZEDINE	Mohamed	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, tout d'abord, Mr CHAOUCH.A et Mr AZEDINE.M de m'avoir offert l'opportunité de réaliser sous ses directions, ses précieux conseils, orientations.et de leurs observations et assistance pour mener à bien ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Madame GHOMRI Leila de l'honneur qu'il me fait en présidant le jury de cette Mémoire.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur BENAOUALI Mohamed d'avoir dépensé beaucoup de temps pour la lecture de la mémoire et d'avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens à remercier, également, Mr MEFLAH Abderrahmane Mohamed Reda d'avoir dépensé beaucoup de temps de son soutien, aide et encouragements tout au long de la réalisation de ce travail et surtout leurs grandes qualités humaines. et sans lui je n'aurais pas réussi a finalisé ce projet.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Monsieur Kada de m'avoir accueilli dans ce laboratoire. Je leur remercie pour leurs conseils, leur soutien, leur disponibilité.

Je saisie cette occasion pour exprimer ma grande reconnaissance et gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation et l'achèvement de ce travail.

DEDICACES

A LA MEMOIRE DE MON CHER FRERE, AMI ET BINOME

M.KABOURA Tayeb

En souvenir de notre sincère et profonde amitié

et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Veillez trouver dans ce travail tout tes efforts et l'expression de mon respect

le plus profond et mon affection la plus sincère.

Je te suis très reconnaissante,

et je ne te remercierai jamais assez pour ton amabilité,

ta générosité, ta présence précieuse

J'aurais tant aimé que vous soyez présents.

Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I Etat de l'art sur La machine asynchrone	4
I-1 Introduction.....	5
I-2 Constitution du moteur asynchrone.....	6
I-2-1 Le stator.....	7
1.2.2. Le rotor.....	7
I.3.3. Les éléments mécaniques.....	8
1.3. Principe de fonctionnement de la machine asynchrone.....	8
1.4 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone.....	9
1.4.1 Défautes internes et externes.....	10
1.4.2. Défaillances au stator.....	12
1.4.2.1 Défautes d'isolant dans un enroulement.....	12
1.4.2.2 Court-circuit entre spires	13
1.4.2.3 Court-circuit entre phases-bâti.....	13
1.4.2.4 Court-circuit phase-bâti.....	13
1.4.3. Défautes de rotor.....	14
1.4.3.1. Ruptures de barres.....	14
1.4.3.2. Ruptures d'anneaux.....	14
1.4.3.3. Excentricité statique et dynamique.....	15
1.4.4. Défaillances mécaniques.....	15

1.4.4. 1. Défauts des roulements.....	15
1.4.4. 2. Autres défaillances mécaniques.....	16
1.4 .2 Les différentes techniques de diagnostiques.....	17
Conclusion	18
Chapitre II La chaîne d’acquisition.....	19
II.1 Introduction.....	20
II.2 Description et réalisation de notre chaîne d'acquisition.....	20
II.2.1 Définition et présentation.....	20
II.2.2 Rôle de la chaîne.....	20
II.2.3 Structure d’une chaîne d’acquisition.....	21
II.2.3.1 Principe.....	21
II.2.3.2 Schéma de notre chaine d’acquisition.....	22
II.2.4 Chaine de Mesure.....	23
II.2.4.1 Définitions.....	23
II.2.4.2 Types de grandeur physique.....	24
II.3 Les Capteurs.....	24
II.3.1 Définition et présentation.....	24
II.3.2 Les bases de la mesure de courant.....	24
II.3.3 Capteur de courant SCT-013-000.....	25
II.3.3.1 Description	25
II.3.3.2 Caractéristiques de capteur.....	26

II.3.3.3 La résistance à la charge.....	26
II.3.3.4 L'étalonnage du capteur SCT 013 000.....	28
II.4 Additionneur	29
II.4.1 Réalisation de la tension de référence (V_{ref}).....	31
II.4.2 Calcul de l'erreur du V_{ref}	32
II.5 Le filtrage.....	33
II.5.1 Définition	33
II.5.2 Filtre idéal /Filtre réel	33
II.5.3 Filtre actif et filtre passif	33
II.5.3.1 Filtre passe-bas.....	34
II.5.3.2 Filtre passe-haut	35
II.5.3.3 Filtre passe-bande.....	36
II.5.3.3 Filtre coupe-bande.....	37
II.5.3 Amplificateur opérationnel	38
II.5.3.1 Amplificateur opérationnel LM324 et LM324N.....	38
II.5.3.2 Amplificateur opérationnel TL082.....	39
II.5.3 La structure de filtre.....	39
II.5.3.1 L'ordre du filtre.....	40
II.5.3.2 Filtre Butterworth.....	41
II.6 Carte Arduino	47
II.6.1 Définition.....	47
II.6.2 La carte Arduino DUE	47

II.6.2.1 Caractéristiques techniques	48
II.6.2.2 Communication série.....	48
II.6.2.3 Entrées analogiques.....	49
II.6.2.4 Choix et description de la carte Arduino DUE.....	49
II.6.3. Conversion analogique-numérique.....	49
II.6.3.1 Généralités	49
II.6.3.2 Conversion analogique-numérique sur l'Arduino DUE.....	50
II.6.3.3 Programmation de la CAN.....	50
II.6.3.4 Principe de fonctionnement	51
II.6.3.5 Les modes de Déclenchement du CAN.....	52
II.6.4 Acquisition et stockage	52
II.7 Traitement par le PC.....	53
Conclusion	54
Chapitre III Résultats et commentaires.....	55
III.1 Introduction.....	56
III.2 Description du Banc d'essai.....	56
III.3 Le déséquilibre de tension et de courant	61
III.3.1 Calcule du déséquilibre de tension	63
III.3.1.1. Déséquilibre à vide.....	63
III.3.1.2. Déséquilibre en charge	63
III.4 Les Résultats.....	64
III.4.1 Essais à vide.....	64

III.4.2. Essai en charge.....	66
Conclusion.....	72
Conclusion Générale.....	73
Référence Bibliographiques.....	74
Annexe.....	76

Liste des figures

Figure I.1 : Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à cage	6
Figure I.2 : -a- Circuit magnétique et enroulements du stator -b- Circuit magnétique, enroulements et bagues du rotor	7
Figure I.3 . Interactions rotor stator.....	8
Fig.I.4 Proportion des défauts.....	9
Fig.I.5 . Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances	10
Fig.I.6 . Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances.....	10
Figure. I. 7 . Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage.....	11
Figure. I. 8 . Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage.....	11
Figure (II.1) Schéma de la chaîne d'acquisition d'une mesure.....	20
Figure II- 2 : Schéma bloc de la chaîne d'acquisition.....	21
Figure II- 3 : Les tâches assurées par la chaîne d'acquisition	21
Figure II- 4 : Schéma de notre chaîne d'acquisition	22
Figure (II.5) : constitutions d'une chaîne de mesure classique.....	23
Figure II- 6 : schéma et circuit d'additionnement	29
Figure II- 7 : réalisation de circuit d'additionnement	29
Figure II- 8 : Schéma tension de référence	31
Figure II- 9 : circuit de tension de référence	31
La figure II.10 illustre le décalage de la référence de tension de 0V à 1.65 V voir par l'oscilloscope ...	32
Figure II.11 : Gabarit d'un filtre passe-bas	34
Figure II.12 : Gabarit d'un filtre passe-haut	35
Figure II.13 : Gabarit d'un filtre passe-bande	36
Figure II.14 : Gabarit d'un filtre coupe-bande	37

Figure II.15 : symboles normalisés d'un Amplificateur opérationnel.....	38
Figure II.16 : Amplificateur opérationnel LM234N	38
Figure II.17 : Amplificateur opérationnel TL082CP	39
Figure II- 18: structure Générale du filtre analogique 2ème ordre T Sallen-Key.....	40
Figure II- 19 : Diagramme de Bode d'un filtre de Butterworth passe-basdu premier ordre	41
Figure II- 20: Gains de filtres de Butterworth passe-bas d'ordre 1 à 5 en fonction de la fréquence..	42
Figure II- 21: filtre Butterworth passe bas (fc=2000hz)	43
Figure II.22: générateur de tension (+15,-15) des AOP	43
Figure II.23: les 3 offsets et filtres sur Bread Board	44
Figure II.24: Résultat pratique des tests avec le GBF moins de 2Khz	45
Figure II.25: Résultat pratique des tests avec le GBF de 20Khz	46
Figure II- 26: Arduino DUE	48
Figure II- 27: Les phases de numérisation du signal	50
Figure II- 28 : Allure de courant visualiser par « Serial Oscilloscope »	53
Figure III- 1: Schéma de principe de l'acquisition des signaux	56
Figure III- 2: Le banc d'essai à vide.....	57
Figure III- 3: les 3 capteurs dans Le banc d'essai	58
Figure III- 4: tachymètre dans Le banc d'essai à vide(1500 Tr/m).....	59
Figure III- 5: Voltmètre dans Le banc d'essai à vide(380V)	60
Figure III- 6: Le banc d'essai en charge	60
Figure III- 7: tachymètre dans Le banc d'essai en charge (1464 Tr/m).....	61
Figure III.8 : forme d'onde illustrant un déséquilibre de tension	61
Figure III.9 : les 2 Rhéostats pour un déséquilibre de tension (26.5 Ω).....	62

Figure III.10 :Allures du courant de phase de la MAS à vide.....	64
Figure III.11 : Allures du courant de phase de la MAS à vide Les 3 phases sont identiques	64
Figure III.12 : Allures du courant de 3 phases de la MAS à vide	
Avec une phase déséquilibrée avec une chute de tension de 40 V.....	65
Figure III.13 :Allures du courant de phase 1 de la MAS en charge non déséquilibré.....	66
Figure III.14 :Allures du courant de 3 phases de la MAS en charge non déséquilibré.....	66
Figure III.15 : Allures du courant de phase 1 et 3 de la MAS en charge	67
Figure III.16 : Allures du courant de phase2 déséquilibré de la MAS en charge.....	67
Figure III.17 : Allures du courant de 3 phases 2eme phase déséquilibré de la MAS	
en charge avec une chute de tension de 40 V.....	68
Figure III- 18 : Spectre de courant statorique de la machine asynchrone (en charge) sous les	
déséquilibres des tensions.....	69
Figure III- 19 : Spectre du courant statorique.....	71

Liste des tableaux

Tableau I- 1: les différentes techniques de diagnostic.....	17
Tableau II- 1: Caractéristiques de capteur disponible.....	26
Tableau II- 2:Teste de résistance de charge	28
Tableau II- 3: L'erreur du Vref	32
Tableau II- 4 les filtres d'ordre paire et les filtres d'ordre impair	40
Tableau II- 5: configurer de « settling time »	52

NOTATIONS

Notations liées à la machine asynchrone

C : Matrice de Concordia (repère diphasé de Park fixe lié au stator)

C_{em} : Couple électromagnétique
MAS: Machine asynchrone

f.é.m : Force électromotrice

f : Fréquence

g : Glissement

n_s : Vitesse de synchronisation

n : Vitesse de rotation de rotor

ω_s : Pulsation de courant statorique

ω : Pulsation de courant rotorique

Aop : Amplificateur opérationnel

GBF : Générateur de base fréquence

F_c : Fréquence de coupure

F_e : Fréquence d'échantillonnage

Ke/S : 1000 échantillons par seconde.

DAC : digital to analog converter (conversion numérique analogique)

PWM : pulse width modulation (Modulation de largeur d'impulsion)

T_e : période d'échantillonnage

KCL : Kirchhoff's circuit laws (lois de Kirchhoff)

TC : transformateur de courant

Introduction générale

Introduction générale

Le but du diagnostic d'un système est de détecter et de localiser le plus précocement possible ses modes défaillants pour éviter un mauvais fonctionnement global. La détection précoce des défauts évite des conditions de fonctionnement dangereuses, augmente la disponibilité et la productivité du système et garantit la qualité du produit ou du service. Une des propriétés les plus importantes de ce diagnostic est qu'il doit être suffisamment sensible pour permettre une détection des défauts à tout coup, mais également suffisamment robuste pour éviter les fausses alarmes en présence de perturbations.

Le concept de machine asynchrone a environ 120 ans. Depuis, cette machine s'est imposée dans l'industrie. C'est le moteur le plus répandu. Du fait de leur robustesse, de leur coût de fabrication relativement faible et la quasi-absence d'entretien Son principal avantage réside dans l'absence de contacts électriques glissants. Le domaine de puissance va de quelques watts à plusieurs mégawatts.

Relié au réseau électrique à fréquence fixe, il permet la réalisation de la majorité des entraînements à vitesse constante comme la ventilation et le pompage, cela dans une très large gamme de puissances. On devrait plutôt dire à vitesse « quasi constante », car ce moteur présente le gros intérêt, lorsqu'on lui demande un effort supplémentaire, de le fournir, mais en « glissant » c'est-à-dire en diminuant légèrement sa vitesse (fonctionnement asynchrone) .

Néanmoins ces moteurs sont soumis pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures (thermiques, électriques, magnétiques, mécaniques et d'environnement). L'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties du moteur, ce qui engendre des arrêts non programmés conduisant à des pertes de production et à des réparations coûteuses.

En effet, de multiples défaillances peuvent apparaître dans le moteur asynchrone. Elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques, électriques, magnétiques ou aussi hybrides. Leurs causes sont très variées.

Dans ce travail, on s'intéresse à la méthode de détection, surveillance et diagnostique les défauts de la machine asynchrone à l'aide de la méthode de l'analyse spectrale de courant statorique .on a réalisé une carte d'acquisition de courant statorique. Cette carte a été développée avec Arduino DUE.il peut communiquer avec un PC via le port série.

Les données transmises au PC peuvent être visualisées, traitées, stockées, etc.

Notre mémoire comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous situons les éléments de construction du moteur asynchrone triphasé les différents défauts qui se manifestent souvent dans ce moteur ainsi que leurs causes et les méthodes de diagnostic des défauts du moteur asynchrone développées.

Dans le deuxième chapitre, qui est la partie réalisation de notre projet. On présente les éléments qui constituent notre chaîne d'acquisition qui on a utilisé à l'acquisition de signale du courant statorique, et le traitement de ce dernier par le PC.

Dans le troisième et dernier chapitre, nous présentons les interprétations des résultats obtenus. Enfin, ce travail est complété par une conclusion générale à travers laquelle on exposera les principaux résultats obtenus et on donnera les perspectives à envisager comme suite à ce travail.

Chapitre I

Etat de l'art sur la machine asynchrone

I-1 Introduction

Le moteur asynchrone est connu pour être un moteur électrique robuste, facile à mettre en œuvre, présentant un fort couple au démarrage et qui ne nécessite pratiquement aucun entretien [1]. Ces avantages ont fait qu'il occupe de nos jours plus de 80 % du parc de machines électriques. En raison de son principe de fonctionnement, ce moteur est resté longtemps un moteur à vitesse unique. Certaines applications industrielles nécessitant la variation de vitesse et les asservissements mécaniques lui ont été par conséquent refusées malgré la recherche de solutions technologiques parfois innovantes. C'était vrai jusqu'à l'apparition des convertisseurs de fréquence [2].

Dans ce chapitre, on va décrire rapidement la constitution du moteur asynchrone puis nous présentons les différents types de défauts apparaissant dans les machines asynchrones et les différentes approches de diagnostic du moteur asynchrone.

I-2 Constitution du moteur asynchrone

Un moteur asynchrone se présente sous la forme d'un carter entourant le circuit magnétique, ferromagnétique, statorique et qui accueille dans des encoches l'enroulement statorique polyphasé (généralement triphasé) bobiné en fil de cuivre isolé. A l'intérieur de ce circuit magnétique, qui se présente comme un cylindre creux séparé par un entrefer tourne le circuit magnétique rotorique qui accueille dans ses encoches les barreaux de la cage rotorique, en aluminium coulé ou en cuivre, court-circuités à chaque extrémité par des anneaux réalisés dans le même matériaux. Le circuit magnétique rotorique est traversé par l'arbre qui repose sur des paliers montés dans les flasques fixés au carter. Le moteur asynchrone est donc caractérisé par la présence d'un seul bobinage polyphasé au stator, alimenté par une source extérieure, et d'un bobinage massif en court-circuit au rotor [3].

Nous donnons quelques précisions sur les éléments de constitution des machines asynchrones. Cette description va nous permettre de comprendre de quelle façon le système est réalisé physiquement.

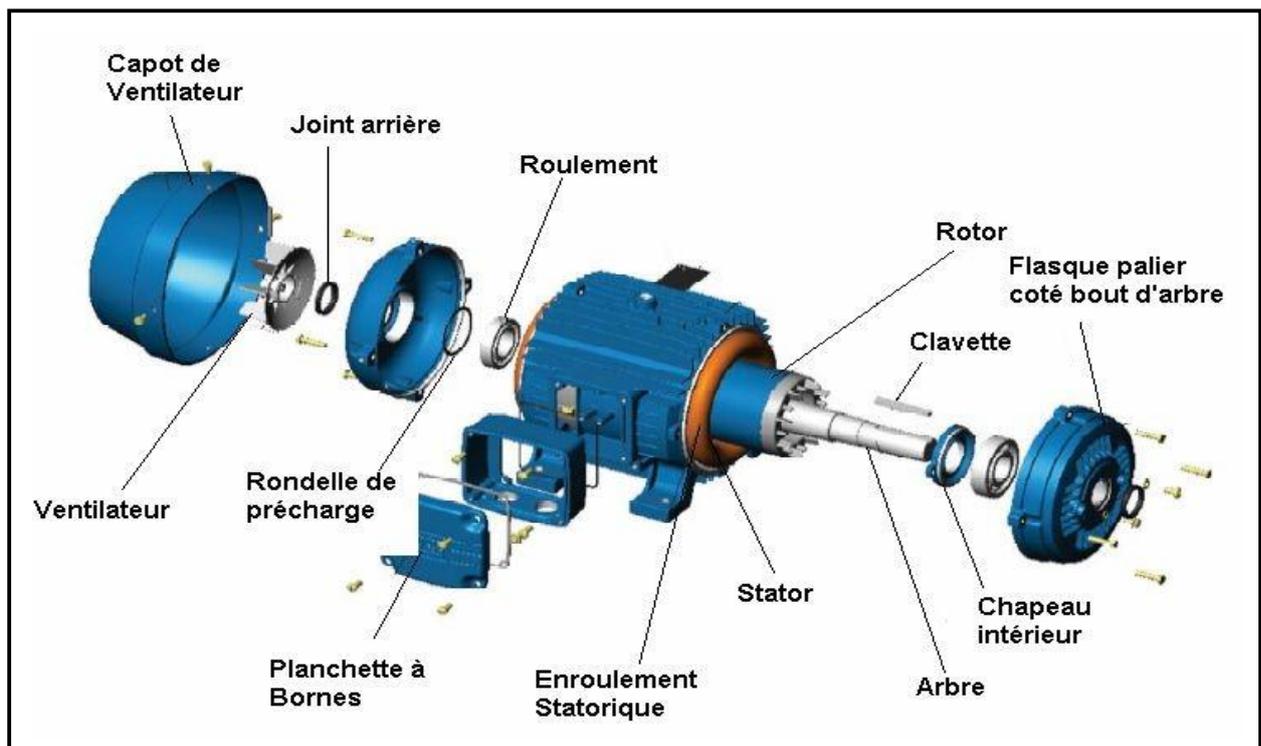


Figure I.1 : Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à cage

I-2-1 Le stator

Le stator comporte une carcasse d'acier renfermant un empilage de tôles identiques qui constituent un cylindre vide, ces tôles sont percées des trous de leur périphérie intérieure.

Ces tôles sont recouvertes par un vernis pour limiter l'effet de courant de Foucault.

L'alignement de ces trous forme les encoches dans lesquelles on loge les bobinages statoriques triphasés. Ces enroulements insérés peuvent être imbriqués, ondulés ou encore concentriques.

L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide des matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone.

Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique[3].

1.2.2. Le rotor

Le rotor se compose d'un cylindre de tôles poinçonnées à leur périphérie extérieure pour former les encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0.4 à 2mm seulement, il existe deux types de rotor, à cage d'écureuil et à rotor bobiné. [4]

Le rotor bobiné est constitué par des enroulements insérés à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine. En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court-circuit".

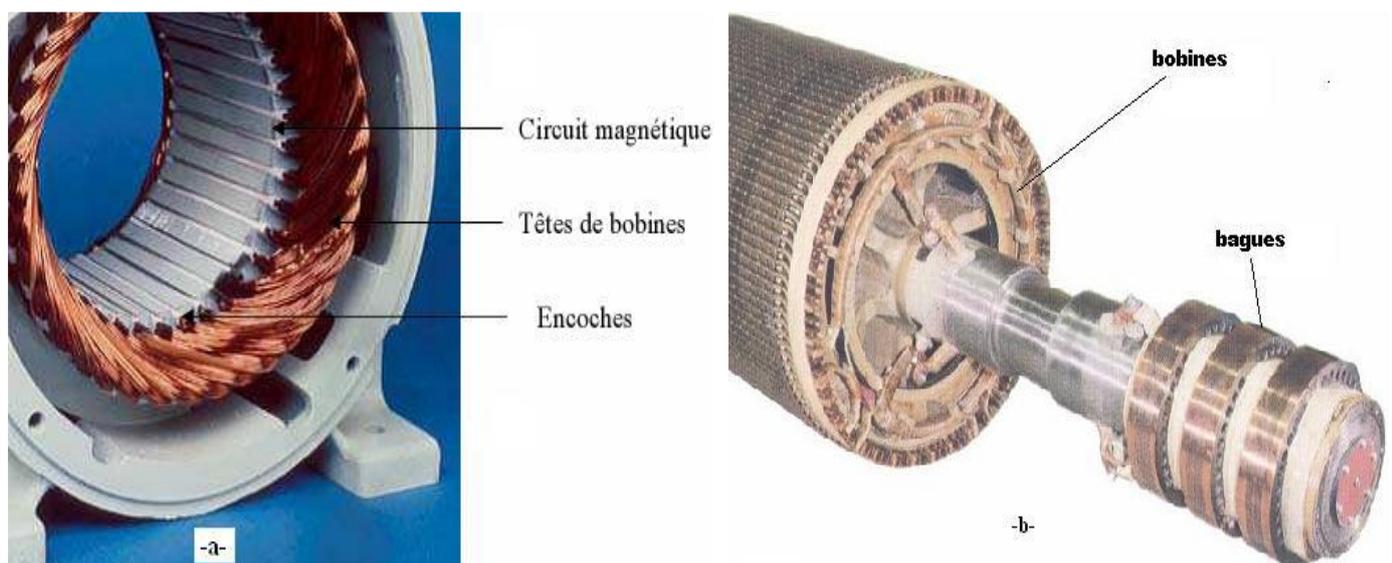


Figure (I.2): -a- Circuit magnétique et enroulements du stator

-b- Circuit magnétique, enroulements et bagues du rotor

I.3.3. Les éléments mécaniques

Des éléments qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage.

1.3. Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

Le stator supporte trois enroulements décalés de 120° l'une de l'autre. Ces trois bobines alimentées par trois tensions décalées à 120° électrique (période $=360^\circ$), issues donc d'un système triphasé produisent un champ magnétique tournant (champ inducteur), le rotor se trouvant au centre de ce champ. Tant que le rotor a une fréquence de rotation différente que celle du champ inducteur, chaque point de rotor « voit » une variation de champ. Les conducteurs rotoriques produisent donc une f.é.m., qui, dans le circuit fermé va donner naissance à des courants induits. Ces courants vont leur tour produire un champ magnétique induit qui va s'opposer à la cause qui lui a donné naissance [5]. Cela se traduit concrètement par un phénomène de poursuite du rotor vis-à-vis du champ tournant sans qu'il n'arrive jamais à le rattraper

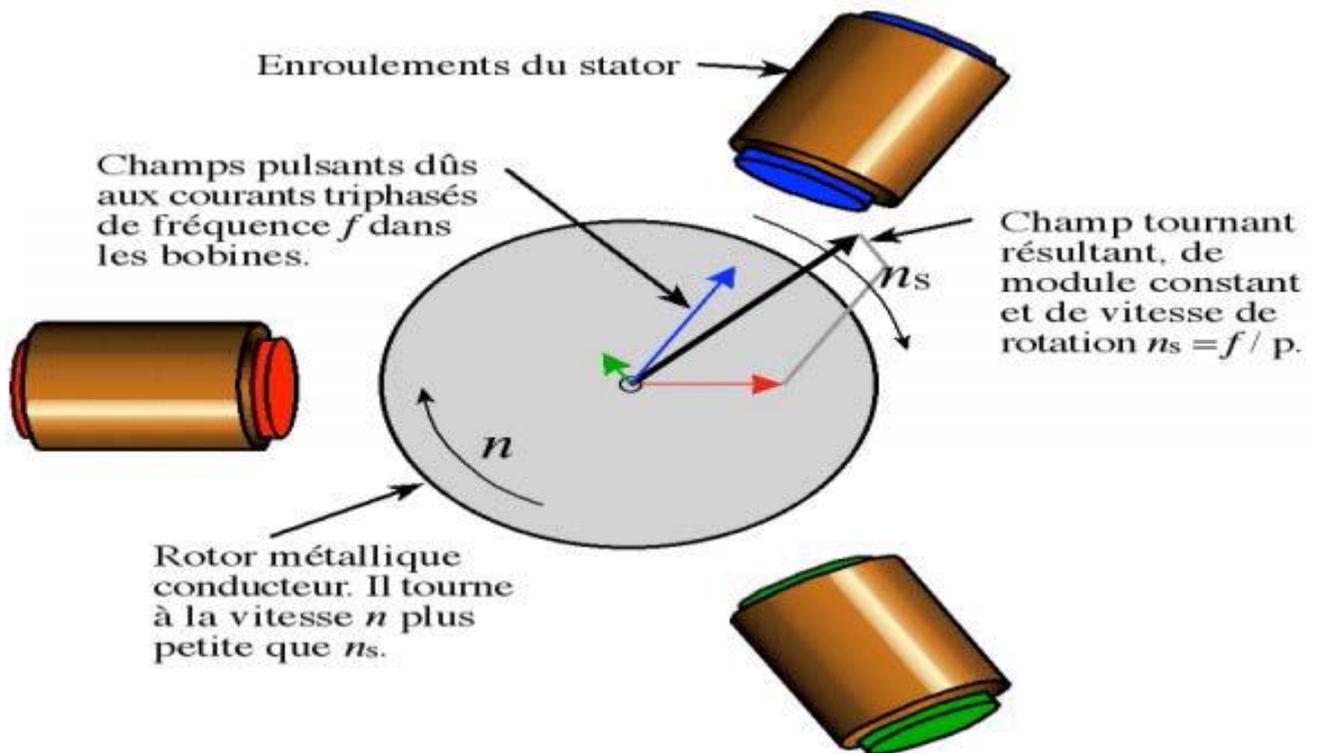


Figure I.3. Interactions rotor stator

1.4 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone

Les moteurs asynchrones sont soumis pendant leur fonctionnement à plusieurs contraintes de différentes natures, l'accumulation de ces contraintes provoque des défauts dans les différentes parties, Les défaillances peuvent être d'origines diverses : Electriques, mécaniques, thermiques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en 3 groupes :

- ✚ Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : Surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survolage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations,... etc.
- ✚ Les amplificateurs de défauts : Surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement,... etc.
- ✚ Les vices ou défauts de fabrication et les erreurs humaines : Défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine,...etc.

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 [kW] à 200[kW]) a donné les résultats suivants[6]

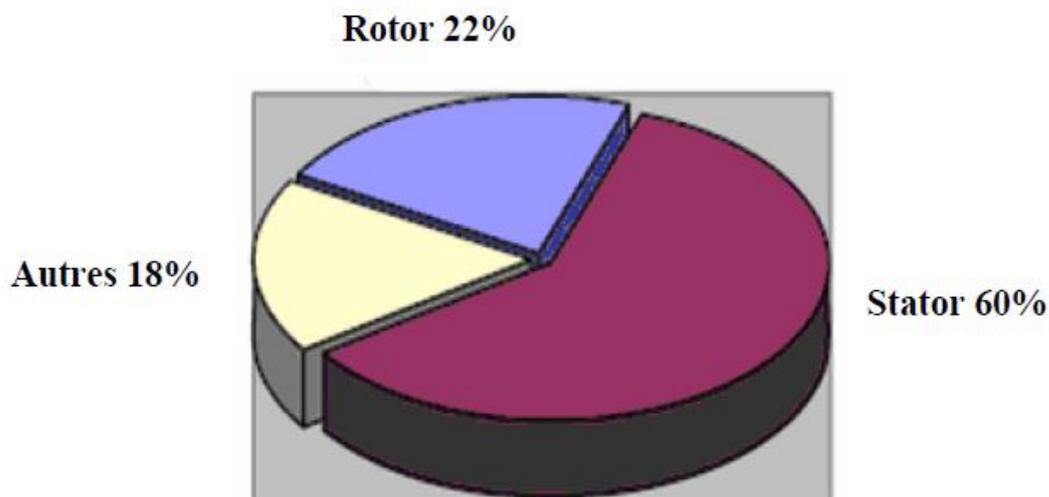


Figure.I.4 Proportion des défauts

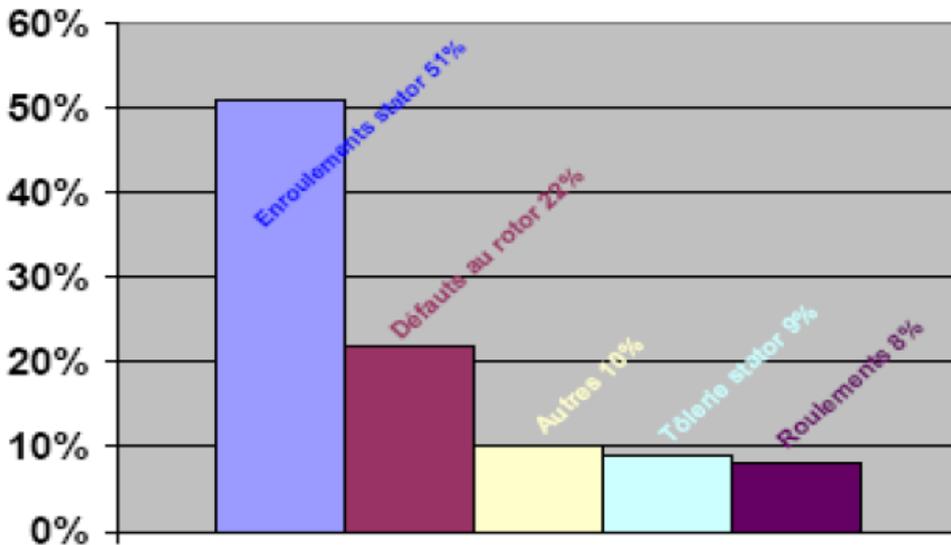


Figure .I.5 : Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances

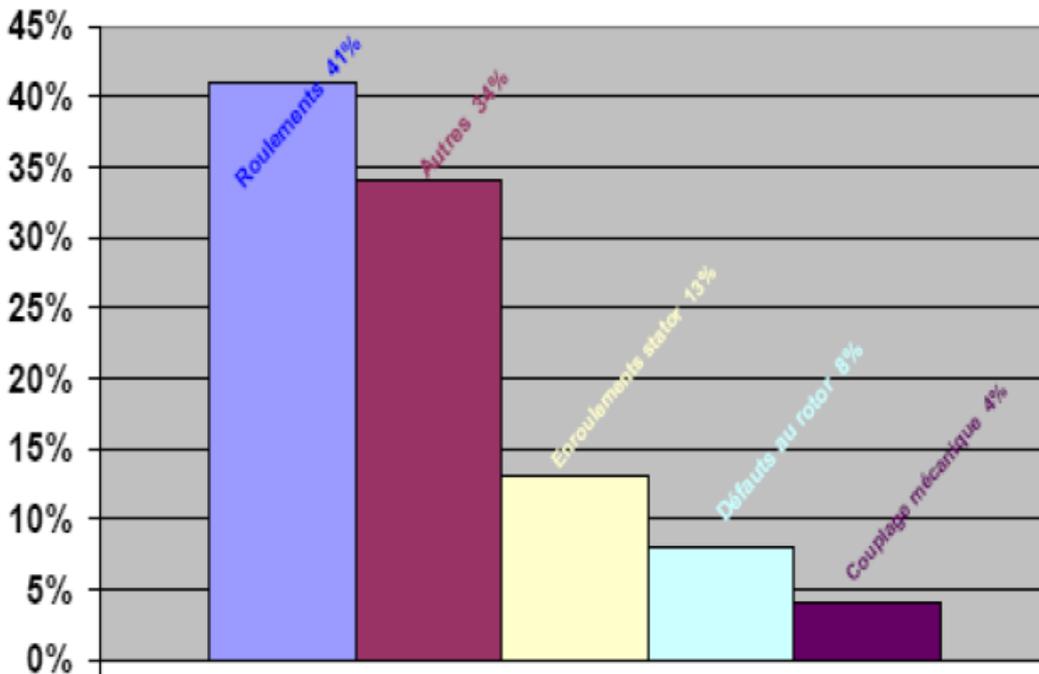


Figure.I.6 : Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances

1.4 .1 Défaits internes et externes

Il existe 2 types de défauts principaux : Internes et externes. Les causes de ces défauts sont brièvement et respectivement décrites dans les organigrammes des figures 2.8 et 2.9 [Leb 06]. Nous pouvons ainsi remarquer que les défauts internes de la machine sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques rotorique et statorique, bobinages statoriques, entrefer mécanique,

cage rotorique,...). Tandis que, les défauts externes sont provoqués, soit par les tensions d'alimentation et la charge mécanique, soit par l'environnement de l'utilisation de la machine.

D'après les organigrammes (Fig. 2. 8 - 2. 9), les origines des défauts sont diverses :

Thermique, mécanique, électrique ou encore environnemental. A titre indicatif, les

démarrages fréquents provoquent des courants élevés dans les barres rotoriques[6].

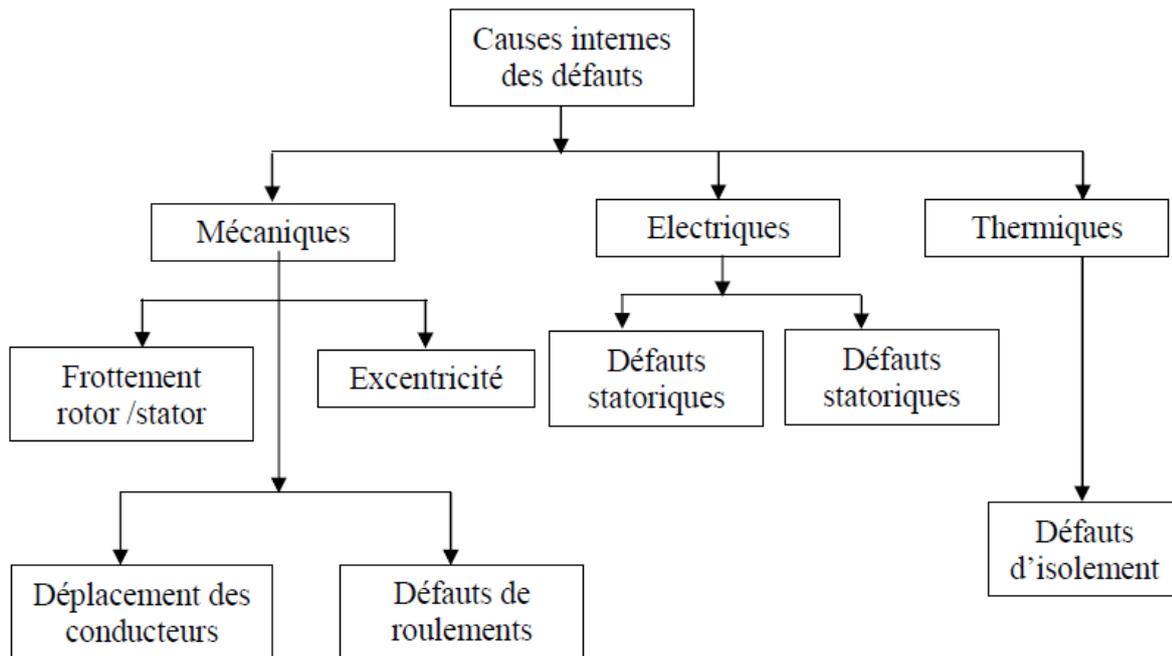


Figure. I.7: Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage

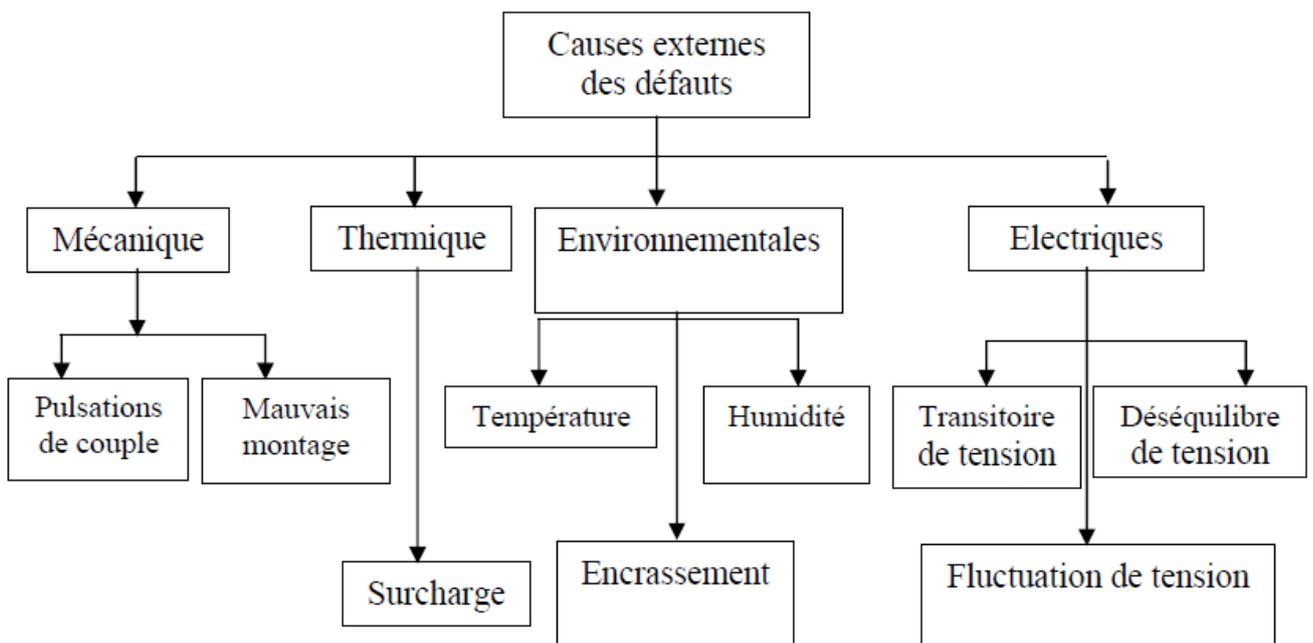


Figure.I.8: Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage

Ces courants dans les barres rotoriques engendrent, par conséquent, des sur échauffements et des contraintes mécaniques conduisant à terme à des fissures puis à une cassure de barres. Par effet d'avalanche, la barre cassée accélère la rupture des barres adjacentes pouvant aboutir jusqu'à la destruction totale du rotor. De même, les efforts électrodynamiques que subissent les conducteurs des phases se traduisent par des vibrations mécaniques ayant pour effet de détériorer l'isolation.

Sur le plan électrique, les fronts de tensions générés par les convertisseurs statiques accentuent le phénomène de décharges partielles et réduisent, par conséquent, la durée de vie de l'isolant. Quand aux origines environnementales, l'humidité et les produits corrosifs ou abrasifs sont les plus rencontrés[7].

1.4.2. Défaillances au stator

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème thermique (surcharge), électrique (diélectrique), mécanique (bobinage,) et environnemental (agression,...etc.). Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit [8] :

1.4.2.1 Défauts d'isolant dans un enroulement

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,...etc.) engendrent des phénomènes thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or, les matériaux d'isolation ont une limite thermique, électrique et mécanique. De ce fait, si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites, ce dernier se dégrade de manière prématurée ou accélérée, jusqu'à à la cassure totale. Les différentes causes pour ce type de défaut sont :

- Dégradation de l'isolant à la fabrication.
- Tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- Vibrations mécaniques.
- Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, ou à une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- Vieillessement naturel des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation 'normale', l'isolant finit naturellement par se dégrader.
- Fonctionnement dans un environnement sévère.

1.4.2.2 Court-circuit entre spires

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée. Une légère variation de l'amplitude sur les autres phases modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage. De ce fait, une dégradation accélérée des isolants, peut provoquer, ainsi, un défaut en cascade (apparition d'un 2ème court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste, sensiblement, identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut.

1.4.2.3 Court-circuit entre phases-bâti

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage. Cependant, les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système.

L'apparition d'un court-circuit, proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre 2 phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs.

Les courants statoriques sont, totalement, déséquilibrés. Ce déséquilibre est proportionnel au défaut qui apparaît. Les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce défaut. La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases [8].

1.4.2.4 Court-circuit phase-bâti

Le bâti a, généralement, un potentiel flottant. Mais, pour des raisons de liaisons mécaniques, il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel. A l'exception des effets capacitifs, le bâti prend, alors, le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit.

Par contre, au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux. Il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels). En présence de ce type de défaillance, la tension de la phase concernée ne change pas.

Cependant, le courant circulant dans cette phase augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette augmentation du courant se traduit par une augmentation de la température

pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. De plus, ce type de défaillance va générer une composante homopolaire entraînant l'apparition d'un couple pulsatoire. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut [8].

1.4.3. Défauts de rotor

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie rotorique au niveau du fonctionnement de la machine, qui à son tour peut accentuer des problèmes tels que: thermique (surcharge), électromagnétique (excentricité), résiduel (déformation), dynamique (arbre de transmission) et mécanique (roulement). Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit :

1.4.3.1. Ruptures de barres

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique par l'augmentation de l'amplitude des oscillations [Ond 06], qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation. Ceci engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine.

Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît, rapidement, avec le nombre de barres cassées [8].

1.4.3.2. Ruptures d'anneaux

La rupture d'une portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux [8]. Comme, il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...etc.) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure.

1.4.3.3. Excentricité statique et dynamique

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor).

1.4.4. Défaillances mécaniques

1.4.4. 1. Défauts des roulements

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor, la plupart des défauts survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme, il a été présenté, précédemment, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est, généralement, lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Les causes possibles sont :

- L'usure due au vieillissement.
- La température de fonctionnement élevée.
- La perte de lubrification.
- L'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement).
- Le défaut de montage.
- Les courants d'arbres (Shaft Current).
- Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :
 - Des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
 - L'ondulation de leur surface de roulement.
 - L'attaque des billes.
 - La corrosion due à l'eau.
 - Défaut de graissage, problème dû à la température.
 - Décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge.

Sur le système, ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas, le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur.

1.4.4. 2. Autres défaillances mécaniques

Au stator, il n'y a pas de pièces mobiles donc à priori pas de défaillances mécaniques.

Cependant, il peut apparaître des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement de la machine et plus précisément au taux de salinité qui influe sur l'étanchéité et les contacteurs[9].

1.4.2 Les différentes techniques de diagnostics

Le tableau I-4 présente les différentes techniques de diagnostic, le principe de la technique et leurs avantages et les inconvénients de chaque technique.

Les techniques de diagnostic	Le principe	Les avantages	Les inconvénients
Mesure de la température	Elle consiste à mesurer la température de chaque phase de l'enroulement statoriques et la comparer avec la valeur limite	Sert à la protection des enroulement statoriques	Ne concerne pas la totalité des défauts
Chimique	La dégradation de l'isolation électrique dans le moteur produit l'oxyde de carbone qui apparaît dans le circuit de l'air de refroidissement et qui peut être détecté par une technique d'absorption infrarouge.	Détecter les défauts d'enroulements	Ils sont utilisés uniquement dans les moteurs à grande puissance
Flux magnétique	cette technique consiste a placer une bobine enroulé autour de l'arbre de la machine ou par un arrangements systématique simple des bobines placées a l'extrémité de la machine, les tensions induites dans ces bobines sont captées et analysées puis comparées a celle du moteur	fabrication, la rupture de barres et de anneaux rotoriques, les courts-circuits entre les spires statoriques,	Nécessite un montage spécial. Manque de souplesse
Analyse vibratoire	La perturbation des aux défauts entraînent des fluctuations sont mesurées par un instrument qui utilise la technique de calcul de signal moyen synchronisme a la fréquence de synchronisme du moteur.	Elle donne de clairs indicateurs sur la dégradation du circuit rotoriques	Ne concerne pas la totalité des défauts. Cout relativement élevé des capteur
Analyse par courant statorique	Un capteur de courant permet d'extraire le signal et signal traiter par le transformée de Fourier	Simple à réaliser Riche en information	Perturbation extérieur

Tableau I- 4: les différentes techniques de diagnostic

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons rappelé les éléments constructifs de la machine asynchrone à cage d'écureuil et nous avons également décrit la majorité des défauts qui peuvent apparaître ainsi que leurs influences sur le comportement de la machine.

Parmi ces méthodes nous proposons dans le chapitre suivant notre réalisation pratique pour le diagnostic des défauts de déséquilibre et cassure des barres rotorique par analyse spectrale du courant statorique.

Chapitre II

La chaine d'acquisition

II.1 Introduction

On a commencé ce chapitre par une description générale de la chaîne d'acquisition tout en illustrant les systèmes de contrôle « en temps réel » et les différentes caractéristiques temporelles de la chaîne d'acquisition.

II.2 Description et réalisation de notre chaîne d'acquisition

II.2.1 Définition et présentation

La chaîne d'acquisition de données est l'ensemble des éléments nécessaires à la "capture" des données (analogiques ou numériques) à leur transmission jusqu'au récepteur et à l'utilisateur des données capturées. Cet utilisateur peut vouloir utiliser ces données immédiatement ou les stocker pour les utiliser ultérieurement.

Les chaînes d'acquisition de données ont pour objectif l'acheminement d'informations entre différents éléments du système pour recueillir et transformer la grandeur à mesurer sous une forme adaptée à son exploitation. Les capteurs sont les premiers éléments d'une chaîne d'acquisition de données. Ce sont les interfaces entre le "monde physique" et le "monde électrique".

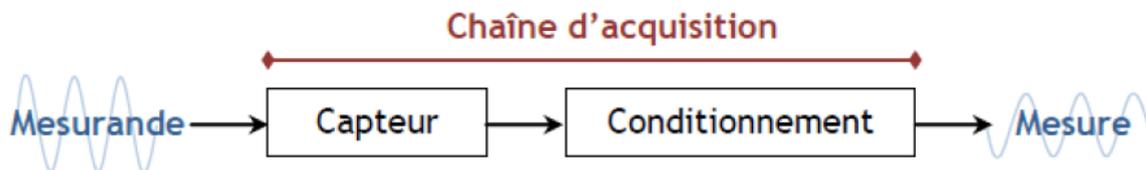


Figure (II.1) Schéma de la chaîne d'acquisition d'une mesure

II.2.2 Rôle de la chaîne

- ❖ recueillir les informations nécessaires à la connaissance de l'état d'un système.
- ❖ délivrer ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation, sachant que l'état d'un système est caractérisé par des grandeurs physiques ou chimiques appelées mesurandes.
- ❖ Assigner une valeur (un nombre) à un mesurande.
- ❖ La communication entre la carte d'acquisition et le Pc par la liaison série ;
- ❖ L'analyse et l'exploitation des données par le Pc [8].

II.2.3 Structure d'une chaîne d'acquisition

II.2.3.1 Principe

Notre chaîne d'acquisition peut se représenter selon la figure suivante

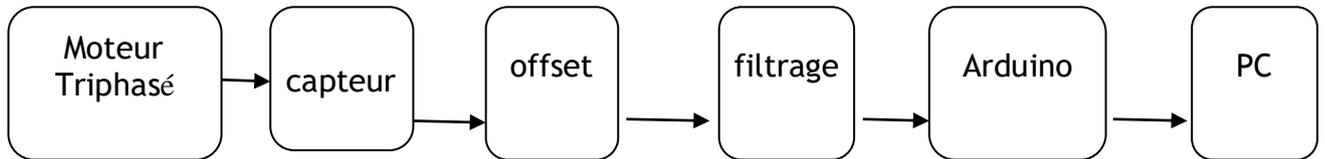


Figure II- 2: Schéma bloc de la chaîne d'acquisition

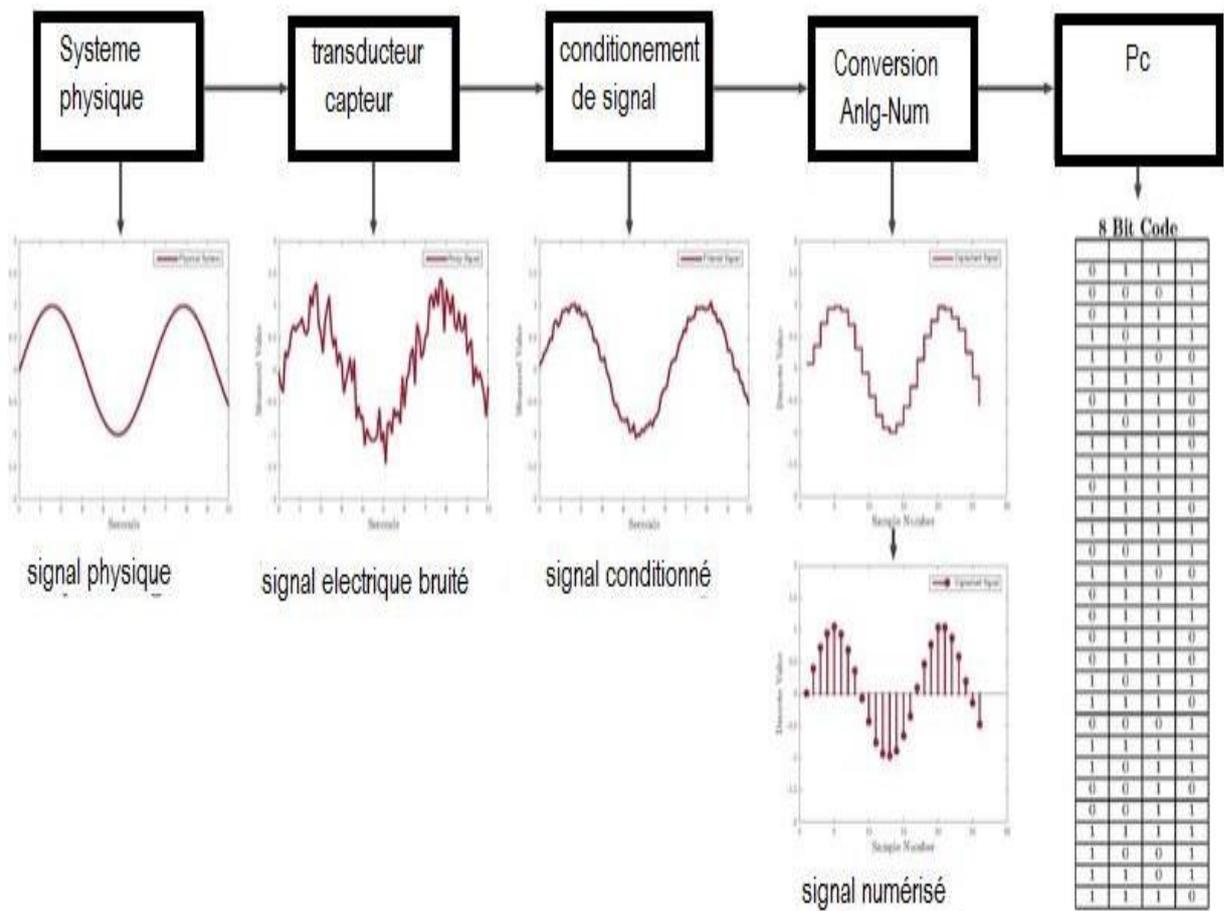


Figure II- 3: Les tâches assurées par la chaîne d'acquisition

II.2.3.2 Schéma de notre chaîne d'acquisition

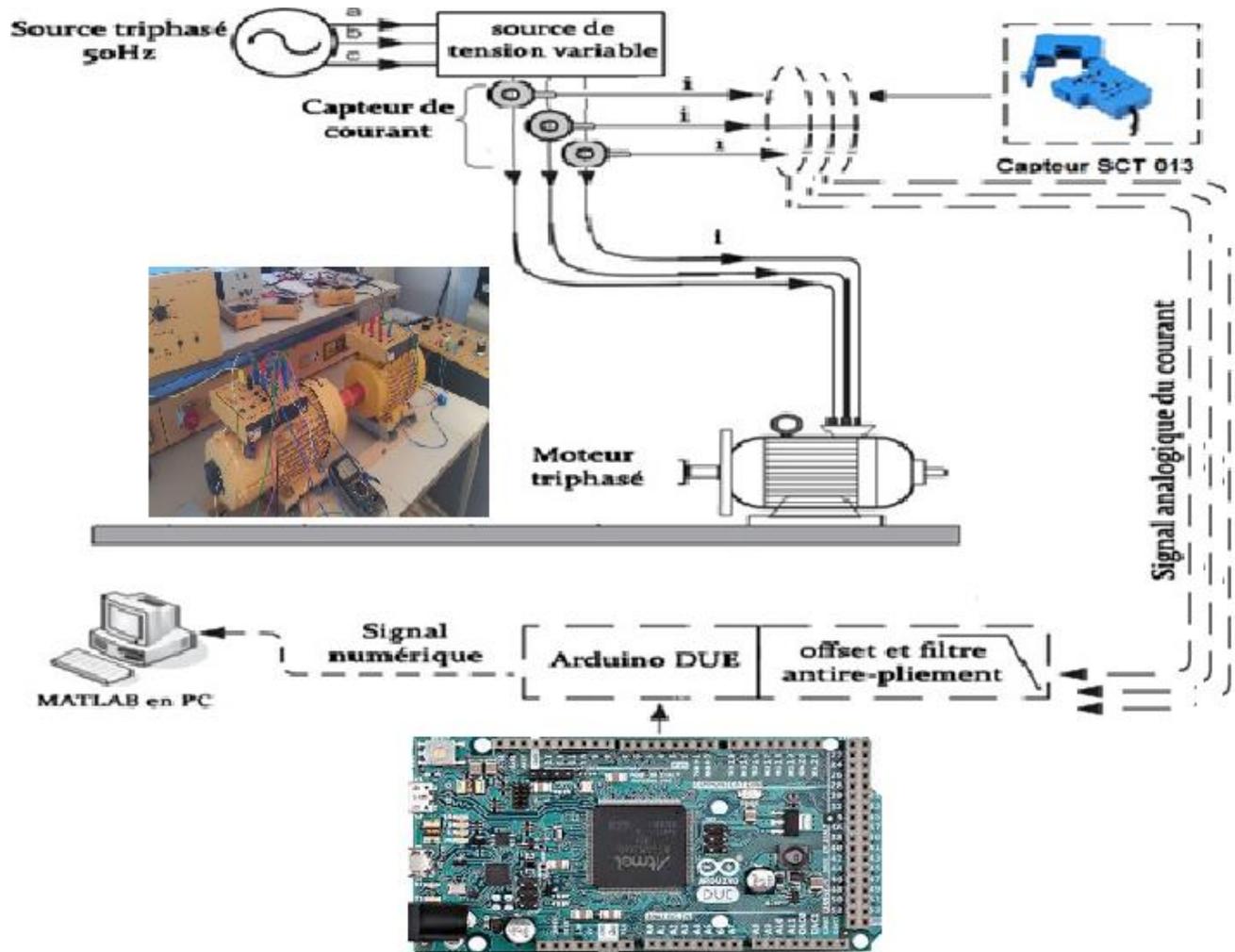


Figure II- 4: Schéma de la chaîne d'acquisition

On peut définir très simplement le rôle de chacun des éléments.

- **Capteur** : Il est l'interface entre le monde physique et le monde électrique. C'est un transducteur qui va délivrer un signal électrique image du phénomène physique que l'on souhaite numériser. Il est toujours associé à un circuit de mise en forme.
- **Amplificateur de signal** : Cette étape permet d'adapter le niveau du signal issu du capteur à la chaîne globale d'acquisition.
- **offset et Filtre d'entrée** : Ce filtre est communément appelé filtre anti-repliement. Son rôle est de limiter le contenu spectral du signal aux fréquences qui nous intéressent. Ainsi il élimine les parasites. C'est un filtre passe bas que l'on caractérise par sa fréquence de coupure et son ordre.

• **L'échantillonneur** : Son rôle est de prélever à chaque période d'échantillonnage (T_e) la valeur du signal. On l'associe de manière quasi-systématique à un bloqueur. Le bloqueur va figer l'échantillon pendant le temps nécessaire à la conversion. Ainsi durant la phase de numérisation, la valeur de la tension de l'échantillon reste constante assurant une conversion aussi juste que possible. On parle d'échantillonneur bloqueur.

L'Arduino DUE : Il transforme la tension de l'échantillon (analogique) en un code binaire (numérique).

• **PC**: Elle peut être un support de traitement (DSP, ordinateur), un élément de sauvegarde (RAM, Disque dur).

II.2.4 Chaîne de Mesure

II.2.4.1 Définitions

Une mesure est une représentation quantifiée d'une grandeur physique (courant, tension, température, pression, champ magnétique ...). On définit la terminologie suivante :



- Mesurande : grandeur physique soumise à un mesurage (courant, tension, pression, température,...).
- Mesurage : toutes les opérations permettant l'obtention de la valeur d'une grandeur physique (mesurande),
- Mesure : valeur numérique représentant le mesurande(10 A, 220 V, 30°C, 15 bar,..Etc.).

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, on fait appel à une chaîne de mesure qui peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents. [8]

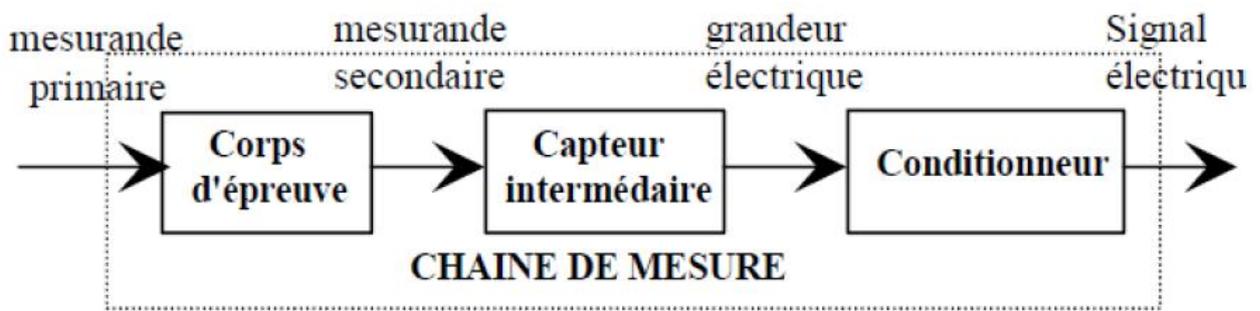


Figure I.5 : constitutions d'une chaîne de mesure classique.

De manière classique la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique. Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande. Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable. Le choix de ce conditionneur est une étape importante dans le cadre de la chaîne de mesure car, associé au capteur, il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure.

II.2.4.2 Types de grandeur physique

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles : [9]

- **Mécanique** : déplacement, force, masse, débit etc...
- **Thermique** : température, capacité thermique, flux thermique etc...
- **Electrique** : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc...
- **Magnétique** : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc...
- **Radiatif** : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc...
- **(Bio) Chimique** : humidité, gaz, sucre, hormone etc...

II.3 Les Capteurs

II.3.1 Définition et présentation

Les capteurs sont des éléments sensibles à des grandeurs physiques (énergie, température, Pression...etc.) qu'ils transforment en une grandeur normée, généralement électrique (en général une tension). Ils sont les premiers éléments intégrés à chaîne d'acquisition permettant à la grandeur mesurée d'être conditionnée afin que la mesure (ou signal de sortie) donne une estimation optimisée du mesurande. [8], [9].

On classifie les capteurs en deux familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie .le Capteurs passif comporte en sortie comme un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif. Et la sortie du capteur actif est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge [10].

II.3.2 Les bases de la mesure de courant

Le principe le plus direct consiste à exploiter la loi d'Ohm en mesurant la tension aux bornes d'une résistance de valeur connue précisément (shunt de mesure) et parcourue par le courant à mesurer. Toutes les autres méthodes sont des méthodes indirectes : les transducteurs qu'elles mettent en œuvre étant sensibles aux grandeurs magnétiques (champ, induction, flux magnétique) induites par le courant à mesurer. Autrement dit, elles font appel au théorème de Maxwell-Ampère. Parmi les nombreux transducteurs possibles, on peut citer les capteurs de Hall (basés sur des matériaux semi-conducteurs), les transformateurs de courant (basés sur des inductances)

Les principaux capteurs de courant :

- Résistance de shunt ;
- Les transformateurs de courant ;
- Les bobines de Rogowski ;
- Capteurs de courant à effet Hall.

Dans notre chaîne de mesure Nous avons testé les 3 capteurs « SCT-013- 000 » et après l'exploitation des résultats, nous avons réalisé notre carte d'acquisition.

II.3.3 Capteur de courant SCT-013-000

II.3.3.1 Description

Ce capteur de la famille CT (Current Transformer = Transformateur de courant) permettent de mesurer des courants alternatif jusqu'à 100A. Ils sont particulièrement utiles pour mesurer la consommation de courant dans certains circuits d'un building. Ces capteurs peuvent également mesurer la production de courant d'un générateur.

Le noyau de ce capteur est scindé, ce qui est particulièrement utile si vous désirez mettre ce capteur en œuvre vous même. Vous l'ouvrez et le clipsez autour d'un des câbles d'alimentation (ou le neutre) qui alimente le circuit que vous désirez surveillez. Et grâce au système Clips, vous pouvez réaliser cette tâche sur n'importe quel circuit haute tension sans devoir le couper momentanément, ni modifier le circuit. [9]

II.3.3.2 Caractéristiques de capteur

Capteur	SCT-013-000
Paramètre	
Tension mesuré	AC
Type de sortie	Courant
Non-linéarité	±3%
Offset	Non
Température de fonctionnement	-25°C ~ +70°C
Tension d'alimentation	Non
Sensibilité	100 A/50 mA
Facilité de montage	Oui

Tableau II- 1: Caractéristiques de capteur disponible

II.3.3.3 La résistance à la charge

Ce capteur n'a pas de résistance "Burden"- résistance qui converti le courant en tension lisible sur l'entrée analogique de votre microcontrôleur-, il faut donc brancher une résistance en parallèle sur sa sortie pour transformer le courant en tension ($u = R_{burden} \times I_{secondaire}$).

Comme ce capteur agit comme un transformateur, la sortie de ce capteur est également alternatif. Cela signifie que le signal de sortie passe en alternance entre des valeurs positives et des valeurs négatives (sous zéro volt).

$$\text{La résistance à la charge (ohms)} = \frac{((V_{REF}/2 * TC \text{ spires})}{2\sqrt{2} * \text{courant primaire efficace}}$$

II.1

Courant primaire =100 A

- $V_{REF} = 3.3 \text{ v}$
- TC spires = 2000
- Courant primaire max = $100 \times \sqrt{2}$ II.2
- La résistance à la charge (ohms)= $I = \frac{(1.65*2000)}{141.4}$
 $I = 23.33 \Omega$

Courant primaire pour (R=270 Ω)

- $V_{REF} = 3.3 \text{ v}$
 - TC spires = 2000
 - Courant primaire max = $I \times \sqrt{2}$ II.3
- La résistance à la charge (ohms)= $I = \frac{(1.65*2000)}{I*\sqrt{2}}$

- **Pour R=270 Ω :**

$$I = \frac{(1.65*2000)}{270*\sqrt{2}}$$

$$I=8.64 \text{ A}$$

On utilise cette résistance parce que elle correspondant à courant nominal de moteur triphasé qui on va utiliser pour étudier le défaut de déséquilibre.

II.3.3.4 L'étalonnage du capteur SCT 013 000

Teste de résistance de charge

Résistance de charge	Courant mesuré (multimètre)	Tension de capteur	Courant de capteur	Erreur %
10000	0,68	1,16	0,232	65,88235
390	0,68	0,1326	0,68	1,63E-14
340	0,68	0,114	0,670588	1,384083
270	0,68	0,092	0,681481	0,217865
160	0,67	0,06	0,75	11,9403
100	0,68	0,056	1,12	64,70588
22	0,68	0,0112	1,018182	49,73262
10000	0,68	1,16	0,232	65,88235

Tableau II- 2:Teste de résistance de charge

Remarque :

Les résistances de charge qui nous donnent une bonne image de courant avec une erreur minimale est $R=270 \Omega$.

II.4 Additionneur

Les ports d'entrées/sorties de la carte Arduino Due sont destinés à recevoir uniquement des niveaux logiques- signaux positives- de 0 à 3,3 V ! Toutes tensions supérieures appliquées comme du 5 V risquent d'endommager la carte, donc nous avons réalisé un additionneur pour décaler le signal alternatif d'entrée avec une composante continue V_{ref} de 1.65 V DC puisque le signal maximal obtenue est de 3.3 V AC crête a crête, et avec cette composante V_{ref} , le signal variera de 0 à 3.3 volt.

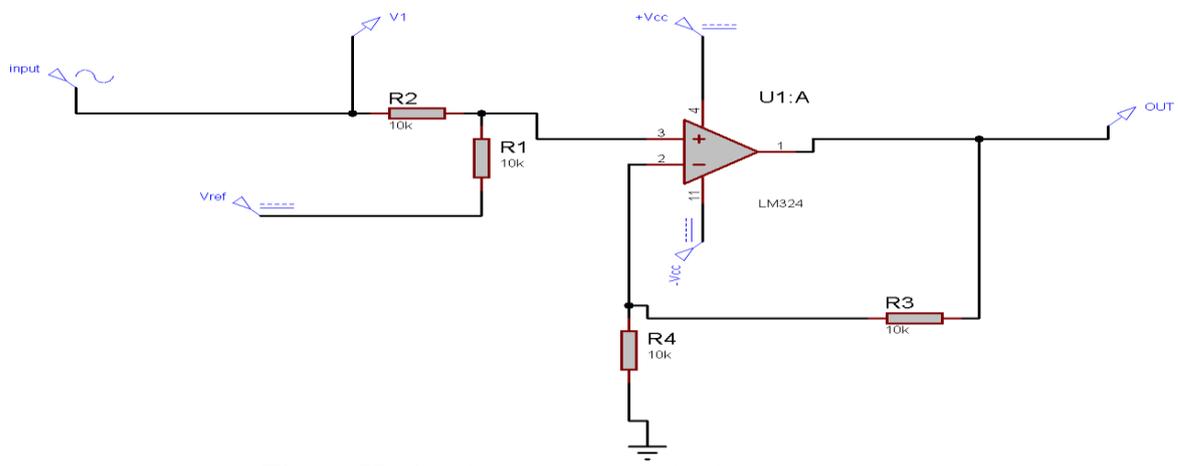


Figure II- 6: schéma et circuit d'additionnement

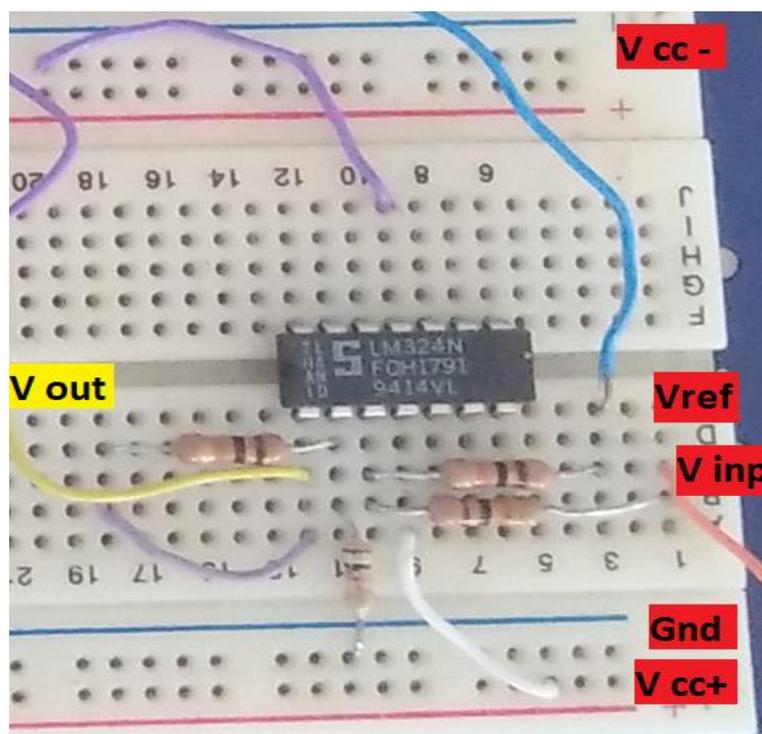


Figure II- 7: circuit d'additionnement

On suppose que l'amplificateur opérationnel est idéal.

$$V_p = V_n \quad \text{II.4}$$

$$V_p = \frac{\frac{V_1 + V_{ref}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2}} \quad \text{II.5}$$

On pose $R_1 = R_2$:

$$V_p = \frac{V_1 + V_{ref}}{2} \quad \text{II.6}$$

$$V_n = \frac{R_4}{R_4 + R_2} V_{out} \quad \text{II.7}$$

$$\text{On a } V_p = V_n \quad \text{II.8}$$

$$\text{Donc } \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{R_4}{R_4 + R_2} V_{out} \rightarrow V_{out} = V_1 + V_2 \left(\frac{R_4 + R_3}{2R_4} \right) \quad \text{II.9}$$

Pour que le gain soit unitaire on pose ($R_4 = R_3$) :

$$V_{out} = V_1 + V_{ref} \quad \text{II.10}$$

Donc la sortie du montage est une tension (V_{out}) qui représente la somme algébrique du signal d'entrée (V_1) et la composante continue (V_{ref}).

II.4.1 Réalisation de la tension de référence (V_{ref})

On va réaliser cette tension grâce à un pont diviseur de tension à partir d'une tension d'alimentation positive +V_{cc}.

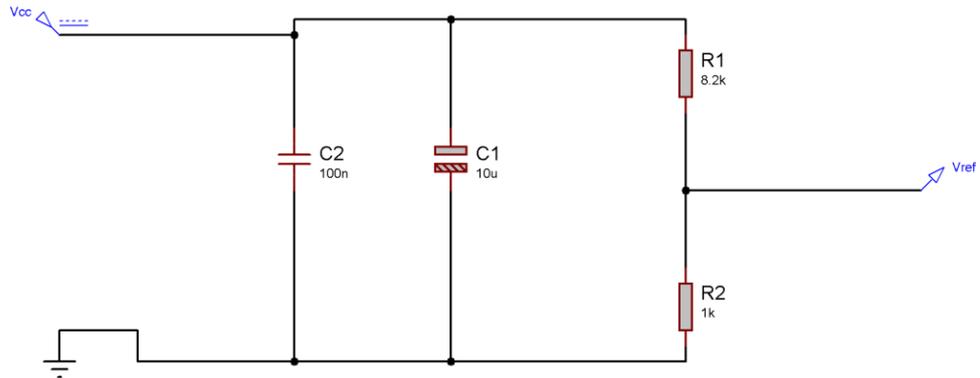


Figure II- 8: Schéma tension de référence

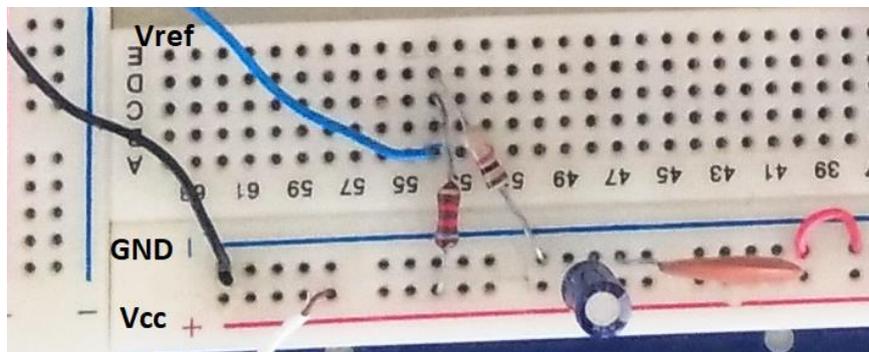


Figure II- 9: circuit de tension de référence

$$V_{\text{ref}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{cc}}$$

II.11

On pose $R_2 = 1\text{K}\Omega$, $V_{\text{cc}} = 15\text{v}$ et $R_2 = 8091\Omega$ donc la valeur du R_1 normalisé est $8.2\text{K}\Omega$

II.4.2 Calcul de l'erreur du V_{ref}

Résistance	tolérance	R Max	R min	Vref MAX	Vref min
R1=8.2K	5%	8610	7790	1.7216V	1.5469V
R2=1K	1%	1010	990		

Tableau II- 4: L'erreur du Vref

Pour que la tension de référence est minimal il faut que ($R2\downarrow$) est ($R1\uparrow$) en remplace dans (II- 11)

Vref min= 1.5469V

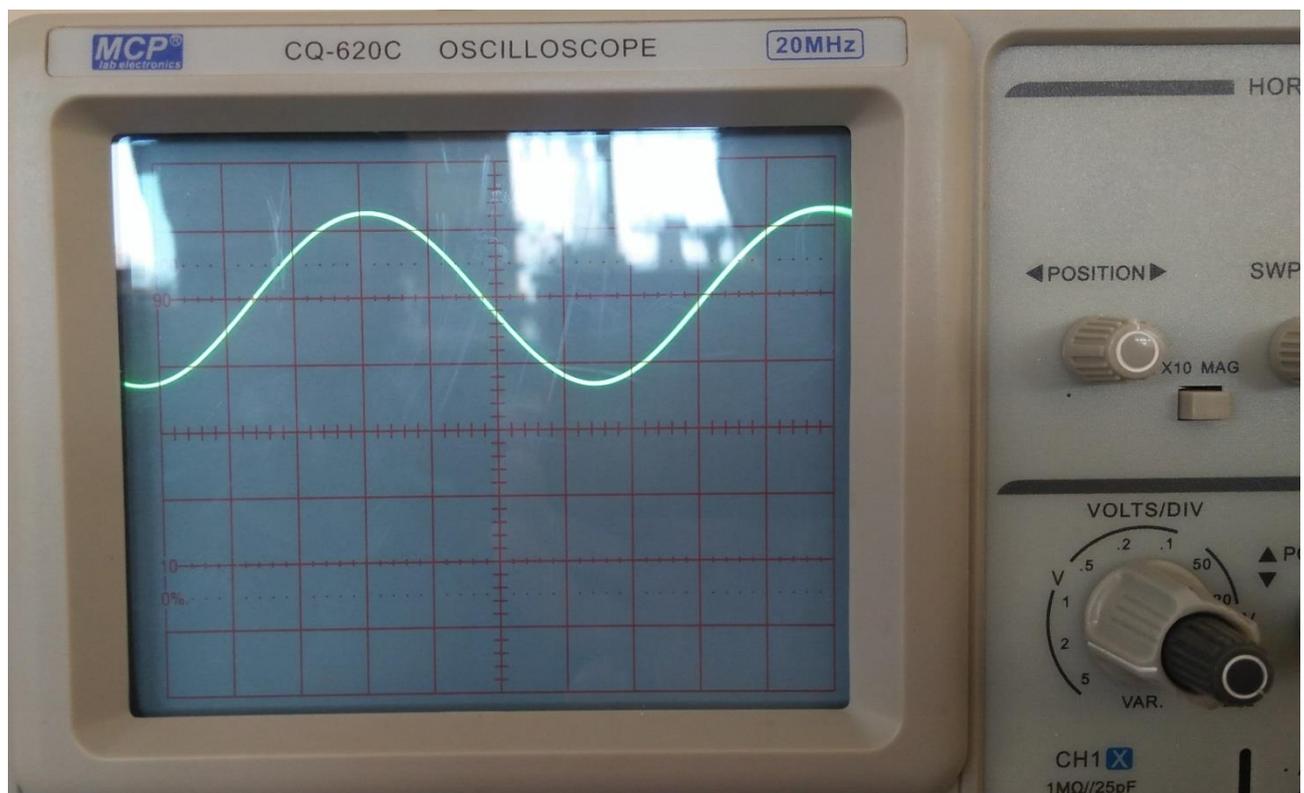
Pour que la tension de référence est maximal il faut que ($R2\uparrow$) est ($R1\downarrow$) en remplace dans (II-11) :

Vref Max= 1.7216V

Donc Vref \in [1.5469V, 1.7216V]

C1 et C2 sont des capacités de découplage pour filtrer la tension de l'alimentation.

La tension après le décalage

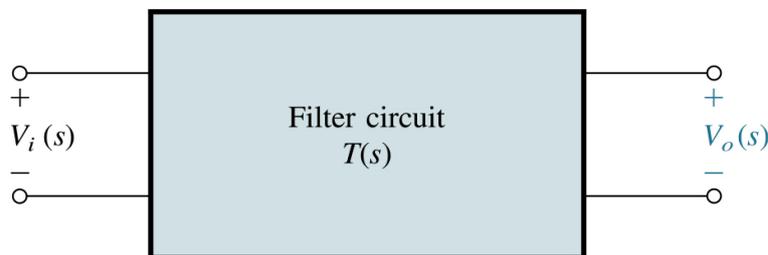


La figure II.10 illustre le décalage de la référence de tension de 0V à 1.65 V voir par l'oscilloscope

II.5 Le filtrage

II.5.1 Définition

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres.

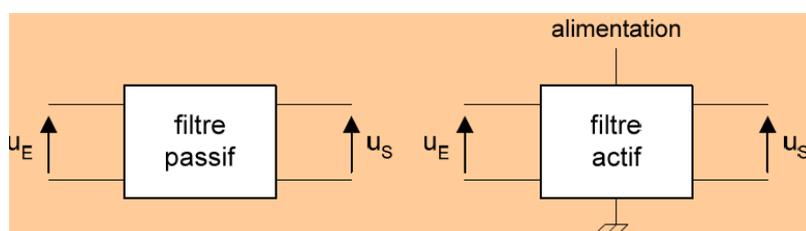


II.5.2 Filtre idéal /Filtre réel

Un filtre idéal transmettrait toutes les composantes utiles sans atténuation ni déphasage (donc sans retard) tout en éliminant complètement les signaux indésirables. En pratique, la synthèse du filtre idéal est impossible. L'atténuation nulle dans la bande passante, l'atténuation infinie dans la bande atténuée et des transitions verticales donnent une caractéristique de réponse irréaliste. Nous sommes amenés à définir un gabarit, précisant :

- A_{max} : Atténuation maximum tolérée en bande passante
- A_{min} : Atténuation minimum en bande coupée
- f_p : fréquence de coupure
- f_a : fréquence de frontière [11]

II.5.3 Filtre actif et filtre passif



Filtre passif : on y trouve résistances, bobines et condensateurs.

Filtre actif : alimentation externe, transistors, A.O.

II.5.3.1 Filtre passe-bas

Il ne laisse passer que les fréquences au-dessous de sa *fréquence de coupure*. C'est un atténuateur d'aiguës pour un signal audio. On pourrait l'appeler coupe-haut.

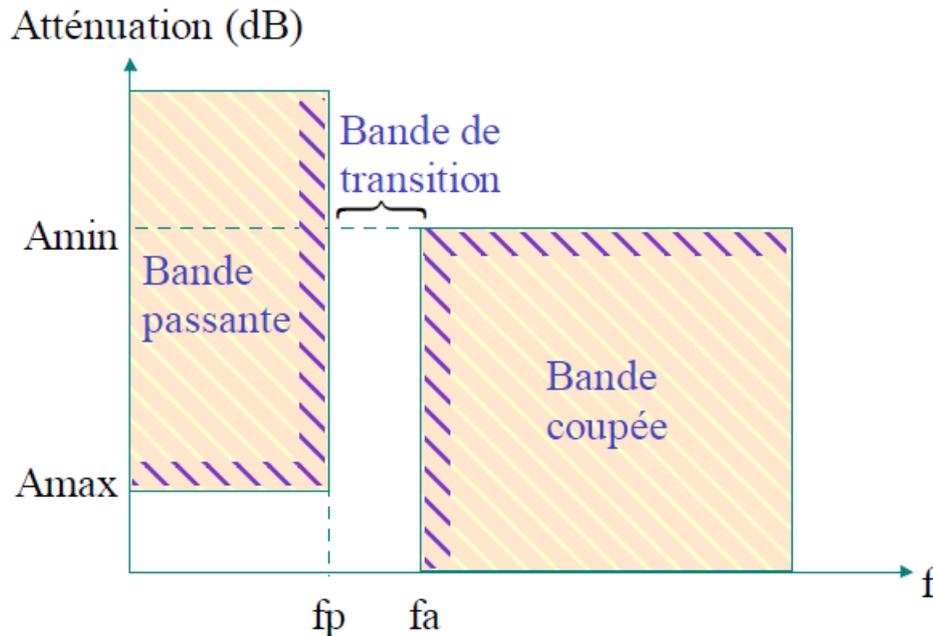


Figure II.11 : Gabarit d'un filtre passe-bas

Remarque : Dans certains filtres, l'atténuation à la fréquence f_p est inférieure à 3dB. Aussi, la fréquence de coupure peut être différente de celle pour laquelle l'atténuation est égale à 3dB.

Pour un passe-bas, la notion de sélectivité est définie par : $K = \frac{f_p}{f_a}$

$k < 1$ dans le cas d'un filtre réel

$k = 1$ dans le cas du filtre idéal

k donne une indication de la largeur de la bande de transition. Plus k est grand, plus le filtre est sélectif. [11]

II.5.3.2 Filtre passe-haut

Il ne laisse passer que les fréquences au-dessus d'une fréquence déterminée, appelée "*fréquence de coupure*". Il atténue les autres (les basses fréquences). Autrement dit, il «laisse passer ce qui est haut». C'est un atténuateur de graves pour un signal audio. On pourrait aussi l'appeler coupe-bas.

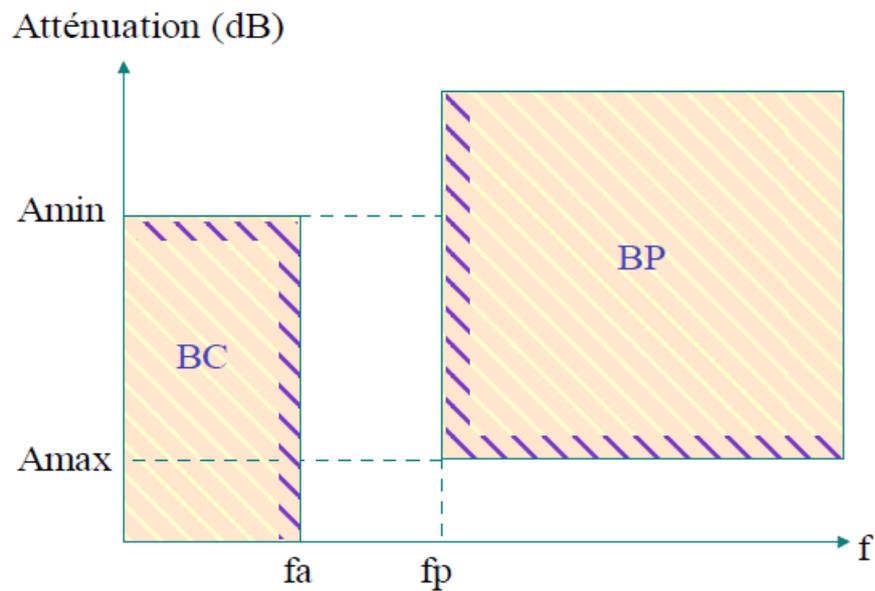


Figure II.12 : Gabarit d'un filtre passe-haut

$$K = \frac{fa}{fp}$$

II.5.3.3 Filtre passe-bande

Il ne laisse passer qu'une certaine bande de fréquences (et atténue tout ce qui est au-dessus ou en-dessous). Il est très utilisé dans les récepteurs radio, tv... pour isoler le signal que l'on désire capter.

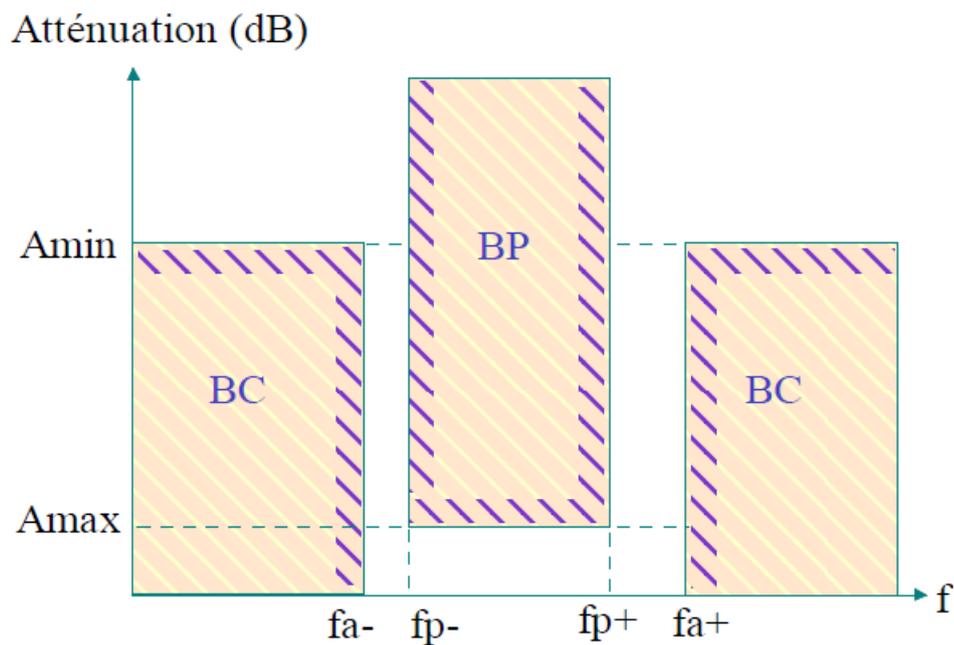


Figure II.13 : Gabarit d'un filtre passe-bande

- Sélectivité : $K = \frac{\Delta f_p}{\Delta f_a} = \frac{f_{p+} - f_{p-}}{f_{a+} - f_{a-}}$
- Fréquence centrale : $f_0 = \sqrt{f_{p+} * f_{p-}}$ (moyenne géométrique des deux fréquences de coupure)
- Largeur de bande : $\Delta f_p = f_{p+} - f_{p-}$
- Largeur de bande relative : $B = \frac{\Delta f_p}{f_0}$

II.5.3.3 Filtre coupe-bande

Aussi appelé *filtre trappe*, *cloche* ou *filtre réjecteur de bande*, est le complémentaire du passe-bande. Il atténue une plage de fréquences. Cela peut être utile pour diminuer certains parasites par exemple. [11]

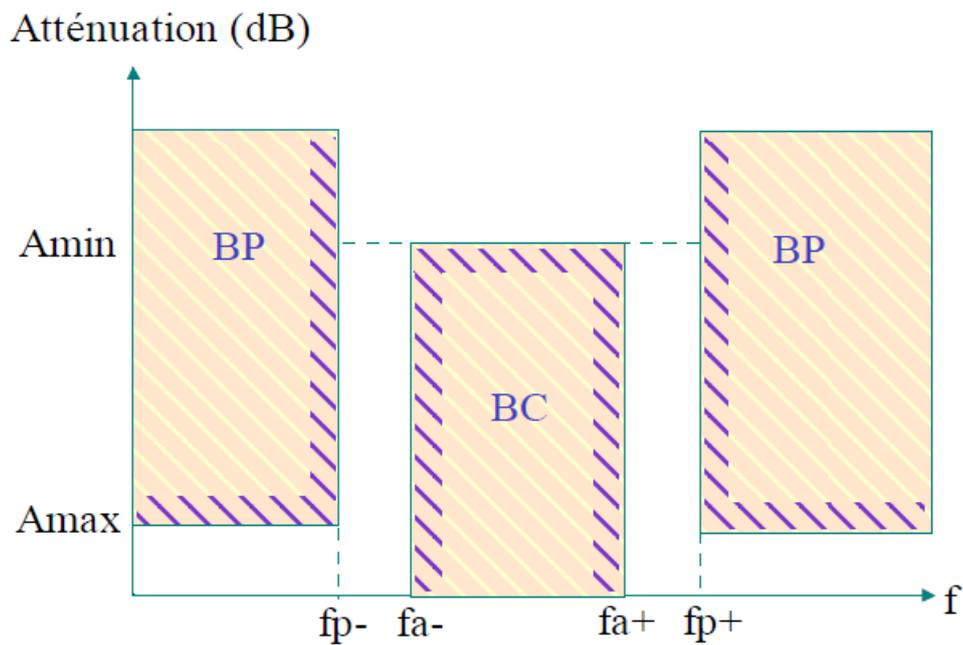


Figure II.14 : Gabarit d'un filtre coupe-bande

- Sélectivité : $K = \frac{\Delta f_a}{\Delta f_p} = \frac{f_a^+ - f_a^-}{f_p^+ - f_p^-}$
- Fréquence centrale : $f_0 = \sqrt{f_p^+ * f_p^-}$
- Largeur de bande relative : $B = \frac{\Delta f_p}{f_0}$

II.5.3 Amplificateur opérationnel

Un Amplificateur Opérationnel (ou un Amplificateur Linéaire Intégré : ALI) permet d'amplifier la différence de potentiel e entre les 2 tensions d'entrées : Les symboles normalisés utilisés pour sa représentation en schéma sont les suivants :

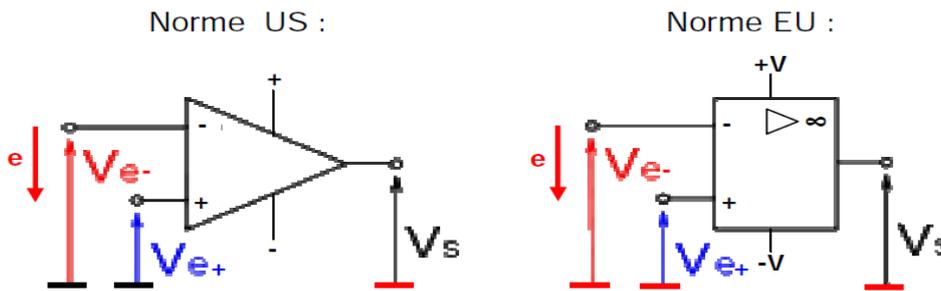
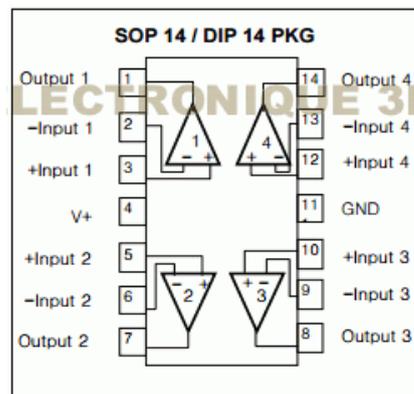


Figure II.15 : symboles normalisés d'un Amplificateur opérationnel

AOP signifie Amplificateur Opérationnel Parfait (on dit également amplificateur opérationnel idéal). Ne pas confondre $+V$ et $-V$ qui sont les tensions d'alimentation du CI avec V_{e+} et V_{e-} qui sont les tensions d'entrée de l'AOP.

II.5.3.1 Amplificateur opérationnel LM324 et LM324N

Les AOP LM324 et LM324N sont constitués de quatre amplificateurs opérationnels indépendants compensés à fréquence avec un gain élevé. Ils sont spécifiquement conçus pour fonctionner à partir d'une alimentation simple sur une vaste plage de tensions. Un fonctionnement à partir d'alimentations symétriques est également



ORDERING INFORMATION

Device	Package
LM324D	14 SOP
LM324N	14 DIP

FIGURE II.16 : Amplificateur opérationnel LM234N.

Possible si la différence entre les deux alimentations est comprise entre 3 V et 32 V et que VCC est au moins 1,5 V plus positive que la tension de mode commun en entrée. Le faible courant absorbé est indépendant de l'amplitude de la tension d'alimentation. [12]

II.5.3.2 Amplificateur opérationnel TL082

Constitué de double Amplificateur de 3 MHz avec :

Température de service: 0...+70 °C

Tension d'alimentation doppia: $\pm 3.5 \dots \pm 18$ V

Tension d'alimentation unique: 7 ...36 V Série

**FIGURE II.17 :** Amplificateur opérationnel TL082CP.

II.5.3 La structure de filtre

Le choix de la topologie du circuit dépend des exigences de performance. Le grand avantage de l'architecture de Sallen-Key, c'est qu'il **offre un gain unitaire de meilleure précision** parce que son gain ne dépend pas des valeurs des composants. Il facilite la réalisation d'un filtre Butterworth. Il utilise aussi **le minimum nombre de composant** pour la construction d'un filtre du deuxième ordre avec un gain unitaire (Deux résistances et deux condensateurs (**Figure II- 23**)).

La précision du gain unitaire de Sallen-Key va nous aider à améliorer les performances électriques de notre chaîne, et éliminer toute amplification ou atténuation indésirable qui peut affecter les résultats de notre diagnostic.

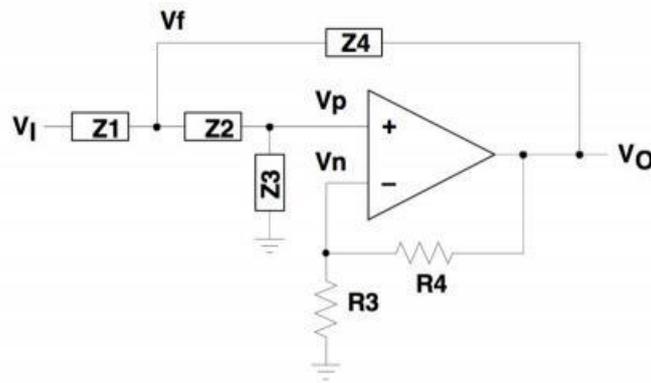


Figure II- 18: structure Générale du filtre analogique 2ème ordre topologie Sallen-Key

II.5.3.1 L'ordre du filtre

Pour obtenir un filtre d'ordre n il faut utiliser ($n/2$) étages en cascade pour les filtres d'ordre paire, et pour les filtres d'ordre impair on ajoute un pôle réel.

filtre	réalisation
Ordre paire	<p style="text-align: center;">des poles complexes</p>
ordre impaire	<p style="text-align: center;">des pôles complexes</p> <p style="text-align: center;">un pôle réel</p>

II.5.3.2 Filtre Butterworth

Un filtre de Butterworth est un type de filtre linéaire, conçu pour posséder un gain aussi constant que possible dans sa bande passante.

Le gain d'un filtre de Butterworth est le plus constant possible dans la bande passante et tend vers 0 dans la bande de coupure. Sur un diagramme de Bode logarithmique, cette réponse décroît linéairement vers $-\infty$, de -6 dB/octave (-20 dB/décade) pour un filtre de premier ordre, -12 dB/octave soit -40 dB/décade pour un filtre de second ordre, -18 dB/octave soit -60 dB/décade pour un filtre de troisième ordre, etc. [12]

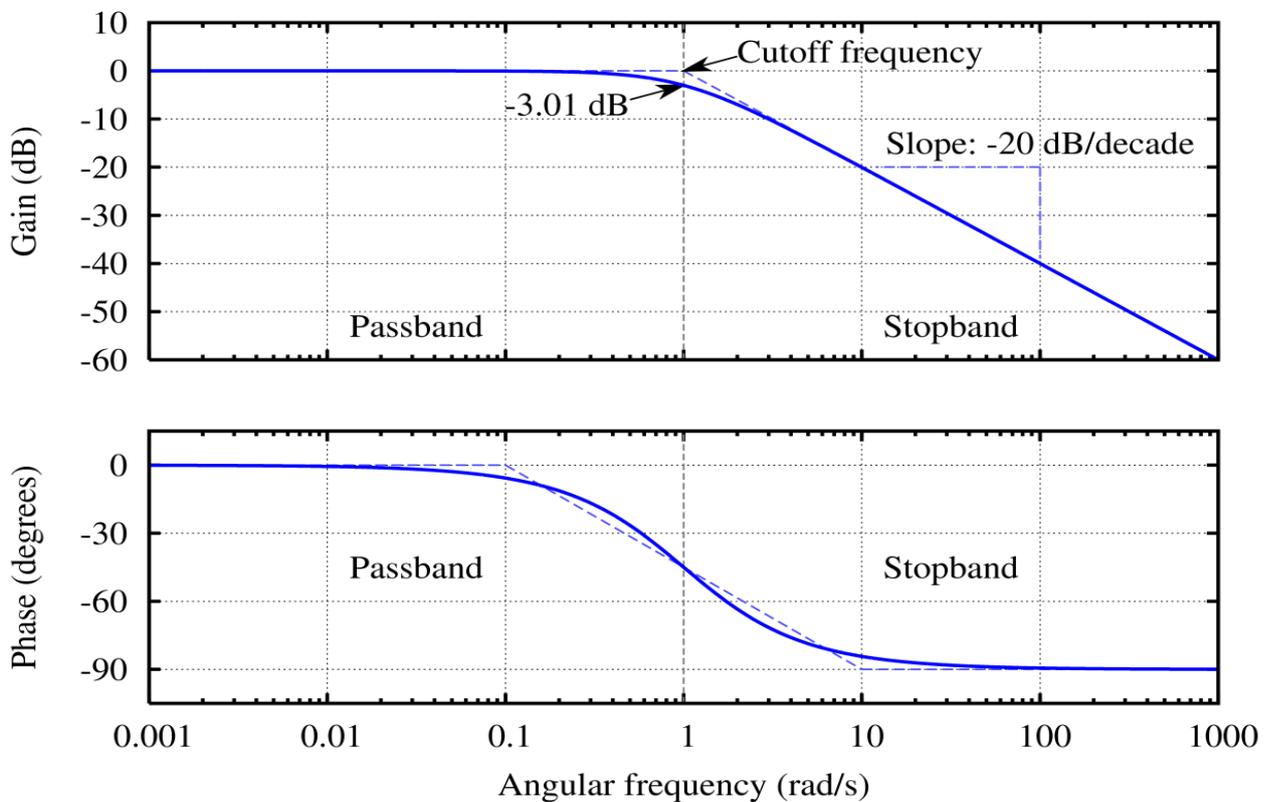


figure II.19 : Diagramme de Bode d'un filtre de Butterworth passe-bas du premier ordre

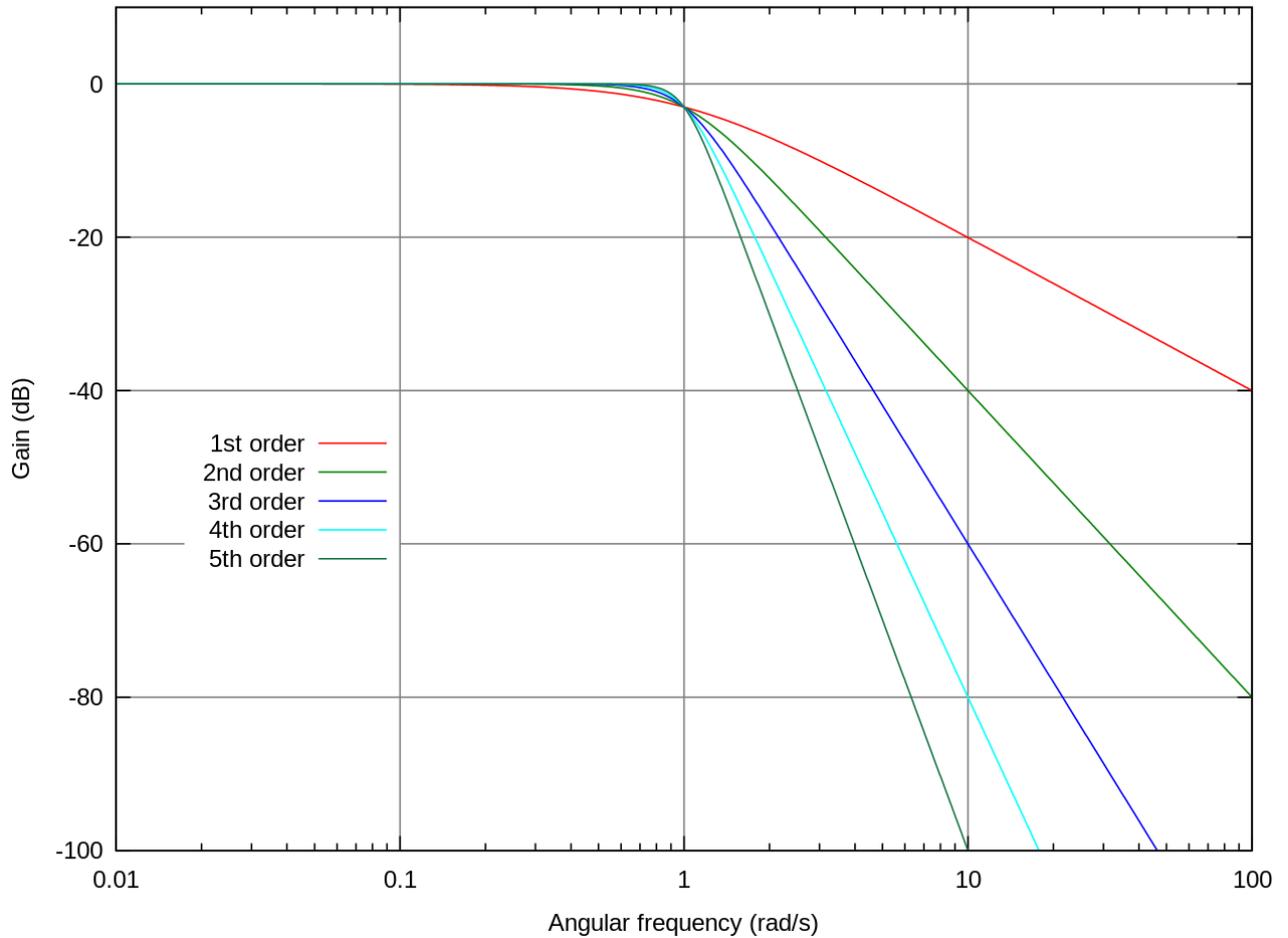


figure II.20 : Gains de filtres de Butterworth passe-bas d'ordre 1 à 5 en fonction de la fréquence.

Dans notre réalisation le filtre Butterworth d'ordre 2 avec $Q=0.7071$, et fréquence de coupure de 2000 hz

$$Q = \frac{\sqrt{mn}}{1+m} \tag{II.12}$$

$$\text{et } \omega_c = \frac{1}{R_2 C_1 \sqrt{mn}} \tag{II.13}$$

On pose $n=10$ $m=?$

$$0.7071 = \frac{\sqrt{m10}}{1+m} \text{ alors } m_1=0.0557 \quad m_2=17.9442$$

$$f_c = 2000\text{hz} = \frac{1}{2\pi R_2 C_1 \sqrt{mn}}$$

$$R_2 C_1 = \frac{1}{2000 * 4.68691}$$

$$R_2 = \frac{1}{2000 * 4.68691 C_1}$$

On pose $C_1 = 30\text{nF}$ $R_2 = 3556 \Omega$

$$R_1 = mR_2 = 198.0692 \Omega$$

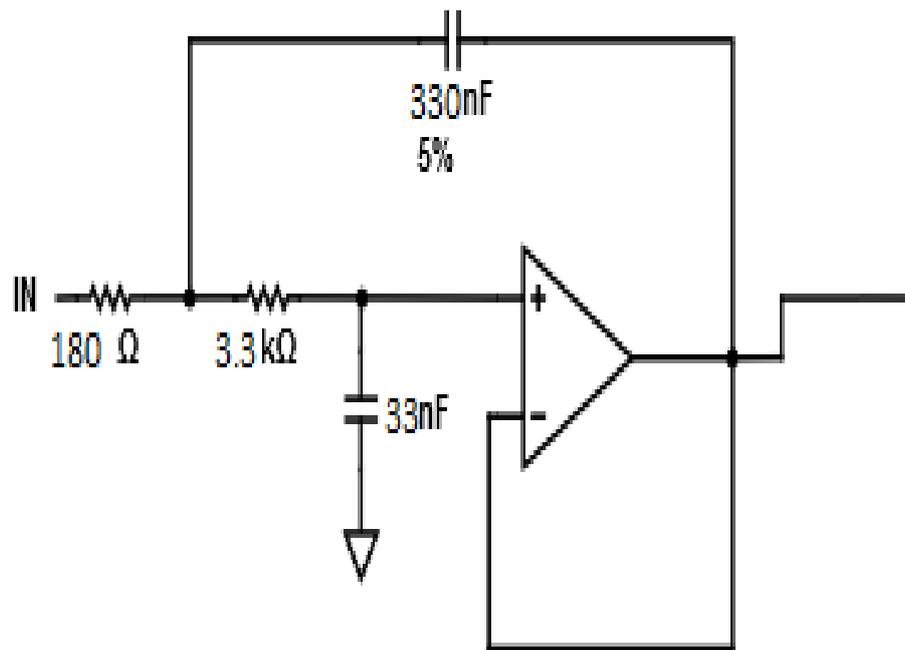


Figure II- 21: filtre Butterworth passe bas ($f_c=2000\text{hz}$)

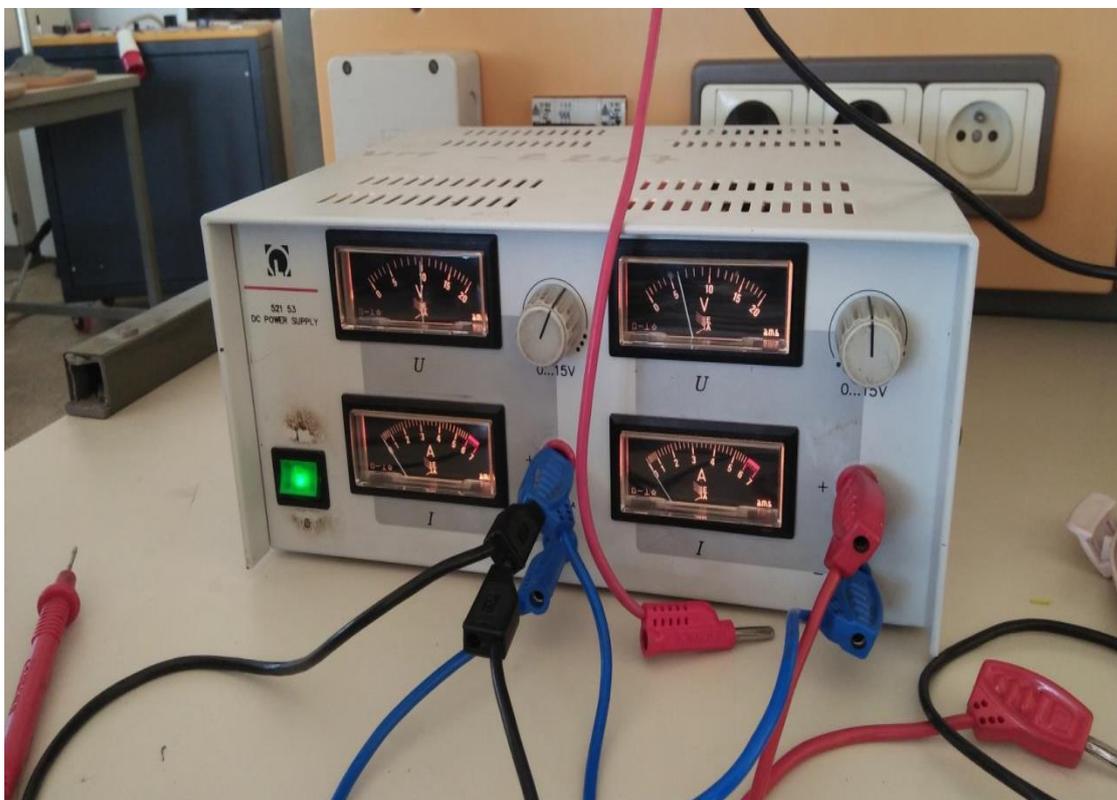


Figure II.22: générateur de tension (+15,-15) des AOP

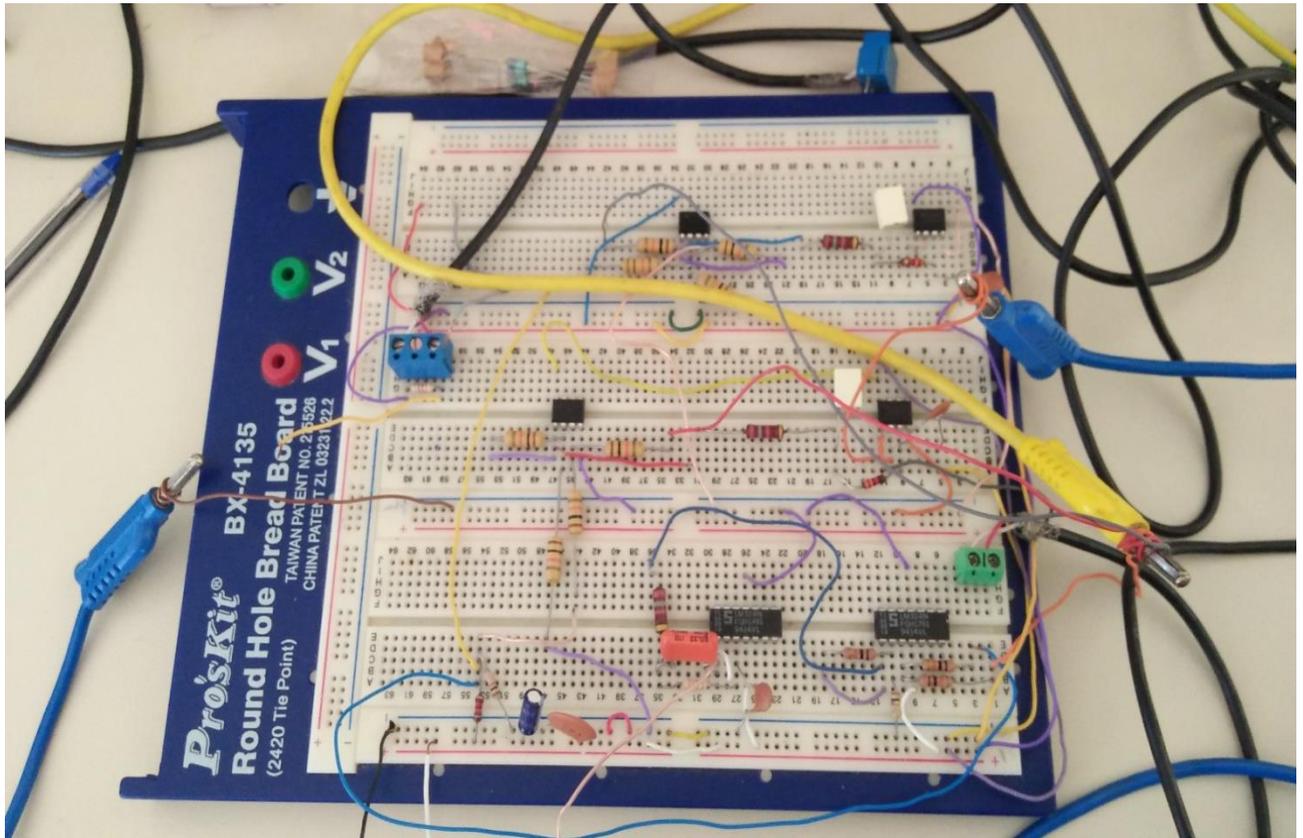


Figure II.23: les 3 offsets et filtres sur Bread Board

Remarque

Offsets : circuit de décalage de signal d'entrée correspondre à l'arduino.

Filtre pass bas : circuit pour filtrer le signal d'entrée .

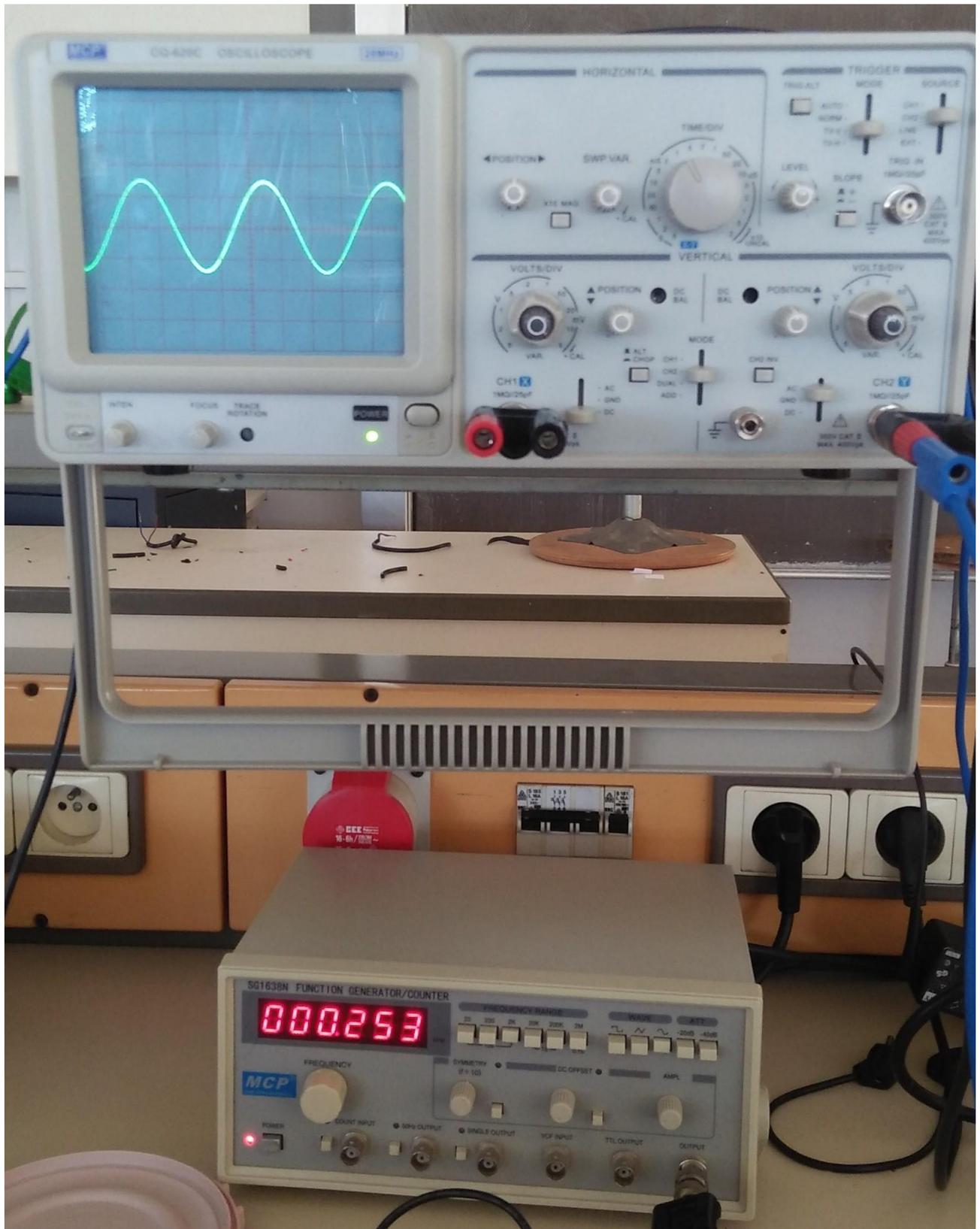


Figure II.24: Résultat pratique des tests avec le GBF moins de 2Khz

Voir les résultats sur l'oscilloscope

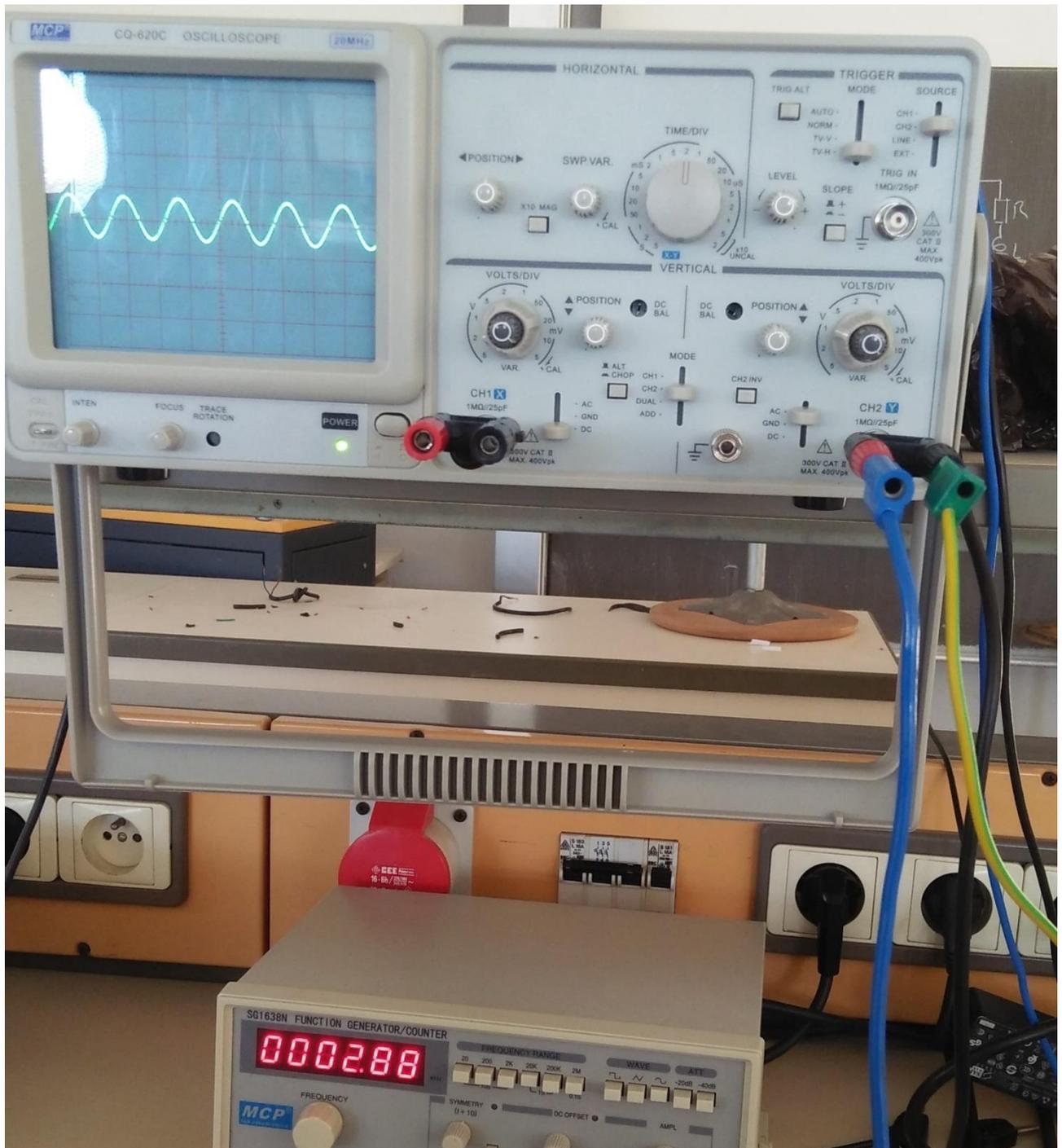


Figure II.25: Résultat pratique des tests avec le GBF de 20Khz
 Voir les résultats sur l'oscilloscope

II.6 Carte Arduino

Une équipe de développeurs composée de *Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, David Mellis et Nicholas Zambetti* a imaginé un projet répondant au doux nom de **Arduino** et mettant en œuvre une petite carte électronique programmable et un logiciel multiplateforme, qui puisse être accessible à tout un chacun dans le but de créer facilement des systèmes électroniques.

II.6.1 Définition

La carte Arduino est une plateforme utilisée pour réaliser des projets électroniques plus développés. Elle est composée d'un circuit physique programmable est dit microcontrôleurs et de logiciel utilisé pour créer et télécharger le code de l'ordinateur à la carte.

L'Arduino est un système qui permet de lier les performances de programmation à celle de l'électronique tout en simplifiant les schémas électroniques et les coûts de réalisation. [14]

II.6.2 La carte Arduino DUE

Annoncée à la fin de l'année 2011 L'Arduino Due est une carte microcontrôleur basée sur un processeur Cortex-M3 ARM Atmel SAM3X8E. C'est la première des cartes Arduino à avoir une architecture avec un microcontrôleur ARM de 32 bits . Sa fréquence d'horloge de 84 Mhz en fait encore aujourd'hui en 2016 l'arduino avec la fréquence d'horloge la plus rapide et est donc l'arduino la plus rapide pour effectuer des calculs . L'Arduino Due offre ainsi une beaucoup plus grande capacité de calcul. Elle fonctionne avec les niveaux logiques 3.3V donc attention à ne pas utiliser un niveau logique 5V sous risque d'endommager la carte.

Elle possède 54 entrées/sorties numériques (dont 12 peuvent être utilisées pour une sortie PWM), 12 entrées analogiques, 4 ports série UART, une horloge à 84 MHz, une connexion compatible USB OTG, 2 DAC (digital to analog), 2 TWI, une prise jack, un header SPI, un header JTAG et enfin un bouton de reset et un bouton d'effacement.[14]

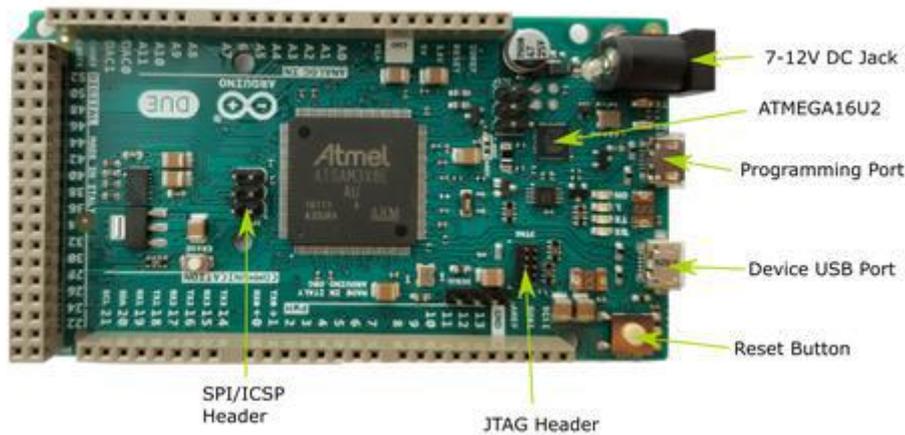


Figure II- 26: Arduino DUE

II.6.2.1 Caractéristiques techniques

- Microcontrôleur: Cortex-M3 ARM Atmel SAM3X8E
- Tension de fonctionnement: 3.3V
- Tension d'entrée sur la prise d'alimentation (ou broche VIN) recommandé: 7-12V
- Tension d'entrée sur la prise d'alimentation (ou broche VIN) limites : 6-16V
- Mémoire Flash : 512 Ko (tout utilisable par l'utilisateur)
- SRAM : 96Ko séparés en deux banques de 64Ko et 32 Ko.
- EEPROM : Non disponible.
- Fréquence d'horloge : 84 MHz
- Courant max par pins : 40 mA, (130 mA max répartis sur toutes les entrées/sorties)
- Courant continu pour broche 3.3V : 800 mA
- Courant max total : 800 mA
- Poids : 37g
- Dimensions : 101.5mm*53.5mm. [15]

II.6.2.2 Communication série

Communication série Utilisé pour la communication entre la carte Arduino et un ordinateur ou d'autres appareils. Toutes les cartes Arduino ont au moins un port série (également connu sous le nom de UART ou USART): Serial. Il communique sur les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX) ainsi qu'avec l'ordinateur via USB. La communication série sur les pins TX / RX utilise les niveaux logiques TTL 3.3V .L'Arduino DUE dispose de trois ports série TTL 3.3V supplémentaires: Serial1

sur les broches 19 (RX) et 18 (TX); Serial2 sur les broches 17 (RX) et 16 (TX), Serial3 sur les broches 15 (RX) et 14 (TX). Les broches 0 et 1 sont également connectées aux broches correspondantes de la puce série ATmega16U2 USB-to-TTL, connectée au port de débogage USB. En outre, il existe un port série USB natif sur la puce SAM3X, Serial USB '.

II.6.2.3 Entrées analogiques

Broches de (A0 à A11) Le Due dispose de 12 entrées analogiques, chacune pouvant fournir 12 bits de résolution (c'est-à-dire 4096 valeurs différentes). Par défaut, la résolution des lectures est fixée à 10 bits, pour une compatibilité avec les autres cartes Arduino. Il est possible de changer la résolution de l'ADC with `analogReadResolution()`. Les broches des entrées analogiques du Due mesurent de la masse à une valeur maximale de 3,3V. L'application de plus de 3,3 V sur les broches de la Due endommagera la puce SAM3X.

II.6.2.4 Choix et description de la carte Arduino DUE

Le Cortex-M3 propose plus de performance que les habituels micros contrôleurs 8 bits que l'on trouve sur les autres cartes Arduino. En particulier, l'ARM Cortex-M3 de la carte Arduino Due permet :

- Un noyau 32 bits qui autorise des opérations sur 4 octets dans un seul cycle d'horloge.
- Une vitesse d'horloge de la CPU de 84Mhz
- 96 Ko de SRAM
- 512 Ko de mémoire Flash pour le code
- Un contrôleur DMA qui peut soulager la CPU lors des tâches intensives en mémoire.

II.6.3. Conversion analogique-numérique

II.6.3.1 Généralités

La conversion analogique numérique c'est donne une expression numérique dans un code détermine, pour représenter une information analogique.

La conversion analogique numérique peut être divisée en trois étapes : l'échantillonnage temporel, la quantification et le codage.

L'échantillonnage consiste à représenter un signal analogique continu $s(t)$ par un ensemble de valeurs $S(nT_e)$ avec n entier situées à des instants discrets espaces de T_e constante, appelée la période d'échantillonnage. Cette opération est réalisée par un circuit appelé échantillonneur symbolisé par u interrupteur.

Après la phase d'échantillonnage il est nécessaire de coder la donnée réelle obtenu par un

ensemble fini de valeur : opération de quantification .Après la quantification du signal, les différentes valeurs sont mémorisées dans le système numérique selon l'ordre de leurs arrivées, formant une suite de valeurs numériques $V_e(n)$. Cette suite de nombre est envoyée vers le procédé externe en deux étapes : restitution du signal et le filtrage. [16]

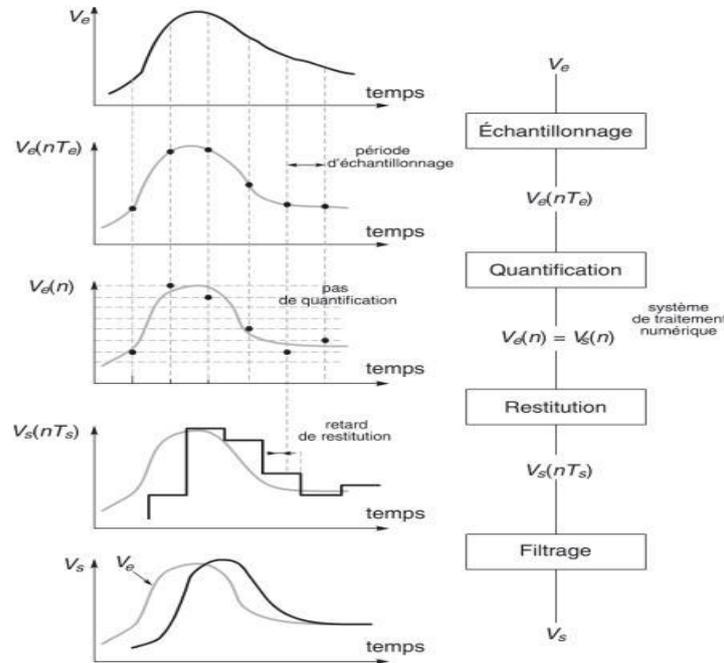


Figure II- 27: Les phases de numérisation du signal

II.6.3.2 Conversion analogique-numérique sur l'Arduino DUE

L'Arduino DUE comporte 12 convertisseurs analogique-numérique d'une résolution 12 bits. D'après la page du datasheet SAM8X La fréquence d'échantillonnage peut en principe atteindre 1 MHz [B-1]. Un multiplexeur permet d'utiliser jusqu'à 12 entrées analogiques (bornes A0 à A11) l'entrée A11. Les tensions appliquées à ces entrées doivent être comprises entre 0 et 3,3 V. La valeur lue compris entre (0...1023) si on utilise 10 bit (l'Arduino Due utilise 10 bit par défaut) et entre (0...4095) si on utilise 12bit.

II.6.3.3 Programmation de la CAN

La programmation de la CAN de l'Arduino DUE besoin de trois méthodes :

1. Utiliser le langage de programmation Arduino et la fonction AnalogRead(pin).
2. Accès direct aux registres de programmation du microcontrôleur SAM8X pour écrire, lire, écrire et lire leurs contenus.
3. Utiliser les fonctions de l'Atmel.

On va utiliser les deux premières méthodes (1) et (2) et on va faire une comparaison de vitesse entre les deux, pour faire cette comparaison il faut déterminer la vitesse d'échantillonnage des deux méthodes. [15]

II.6.3.4 Principe de fonctionnement

La fréquence d'échantillonnage maximal du Microcontrôleur SAM8X d'après le datasheet (SAM8X), $f_{eMAX} = 10^6$ e/s.

La conversion d'une valeur analogique unique en données numériques 12 bits nécessite de régler :

1. Les cycles d'horloge de poursuite : est défini dans « TRACKTIM » dans le champ du registre « ADC_MR ».
2. Le temps de transfert : est défini dans TRANSFER dans le champ du registre « ADC_MR ».
3. Le « settling time » : est défini « SETTLING » dans le champ du registre « ADC_MR ».
4. La fréquence de l'horloge CAN (ADCClock) : est défini dans le champ PRESCAL du registre de mode (ADC_MR).

La CAN utilise l'horloge CAN (ADCClock) pour effectuer des conversions.

Pour configurer la fréquence de l'horloge CAN en change la valeur du PRESCAL (0 → 255)

et on calcule la fréquence de l'horloge CAN selon l'équation suivante :

$$ADCClock = MCK / ((PRESCAL + 1) \times 2)$$

MCK : l'horloge principale du SAM8X (84 MHz).

Donc la plage d'horloge CAN (ADCClock) est comprise entre :

- $MCK / 2$, si PRESCAL est 0.
- $MCK / 512$, si PRESCAL est réglé sur 255 (0xFF).

Pour configurer le temps de poursuite (tracking time) en change la valeur du « TRACKTIM » et on calcule le temps de poursuite selon l'équation suivante :

$$Tracking\ Time = (TRACKTIM + 1) \times 1/ADCClock$$

La plage du temps de poursuite est comprise entre

- $(1/ADCClock)$, si TRACKTIM est 0
- $(16/ADCClock)$, si TRACKTIM est réglé sur 15 (0xF).

Pour configurer le période de transfert (TRANSFER) en change la valeur du « TRANSFER » et on calcule le temps de transfert selon l'équation suivante :

$$Transfer\ Period = (TRANSFER \times 2 + 3)1/ADCClock$$

La plage du période de poursuite est comprise entre

- $(3/ADCClock)$, si **TRACKTIM** est 0

- (9/ ADCClock), si **TRACKTIM** est réglé sur 3.

Pour configurer le « settling time » en change la valeur du « **SETTLING** » et consulte le tableau du **SETTLING** dans le datasheet [B-4] :

Value	Name	Description
0	AST3	3 periods of ADCClock
1	AST5	5 periods of ADCClock
2	AST9	9 periods of ADCClock
3	AST17	17 periods of ADCClock

Tableau II- 5 :configurer de « settling time »

La plage du settling time est comprise entre

- (3/ ADCClock), si **SETTLING** est 0
- (17/ ADCClock), si **SETTLING** est réglé sur 3.

II.6.3.5 Les modes de Déclenchement du CAN

On peut programmer le convertisseur analogique-numérique (ADC) pour être déclenché :

Par le software : pour utiliser ce mode on change la valeur du registre de contrôle (ADC_CR) avec le bit **START** à 1.

Par le déclencheur matériel : sélectionné est activé avec le bit **TRGEN** dans le registre de mode (ADC_MR) après en sélectionne le type de ce déclencheur e (par chronomètre, PWM).

On peut aussi utiliser le mode « **FREERUN** » pour sélectionner ce mode en met le bit 1 dans le bit **FREERUN** du registre **ADC_MR**, la conversion va démarrer directement elle n'attende pas le déclencheur (trigger). Avec le mode **FREERUN** on peut atteindre la fréquence d'échantillonnage maximal du microcontrôleur.

II.6.4 Acquisition et stockage

- 3 phase (ph1,ph2 et ph3) pin arduino (A1,A2 et A3).
- Une fréquence d'échantillonnage 20500 Hz.
- Un pas de FFT (0.5Hz) donc 40000 échantillons successifs.

La fonction **Analogread()** prend environ 5µs pour chaque conversion on va ajouter après la fonction un certain retard (44 µs) avec la fonction **delayMicroseconds(44)**. **Fe=1/49µs≈20408Hz**

Après chaque conversion on va choisi entre 3 méthodes pour stocker la valeur convertie

Méthode 1 stocker chaque phase dans un tableau de n lignes ($n=40000$), lorsque la conversion est terminée l'Arduino va envoyer les données via le port série pour le traitement ou le stockage et en fin on va trouver 3 tableaux de 40000 e.

Méthode 2 lire et envoi à l'arduino la 1^{er} point de la phase 1 en suite la 1^{er} point de la phase 2 et après la 1^{er} point de la phase 3 et ainsi de suite jusqu'à écoulé tous les 40000 e successivement et en temps réel et en temps réel

Méthode 3 diviser les 40000 e en 3 et utilisé chaque 13000 e pour une phase et après la conversion on parallèle des 3 phases l'Arduino va envoyer les données via les port séries (A1,A2 et A3) pour le traitement ou le stockage et en fin on va trouver 3 tableaux et c'est la méthode qui on va utiliser dans notre chaîne d'acquisition .

II.7 Traitement par le PC

A la fin de transmission on peut soit visualisé le signal ou stocker les données pour traiter avec un logiciel comme Matlab, Lab-view, GNU Octave...etc

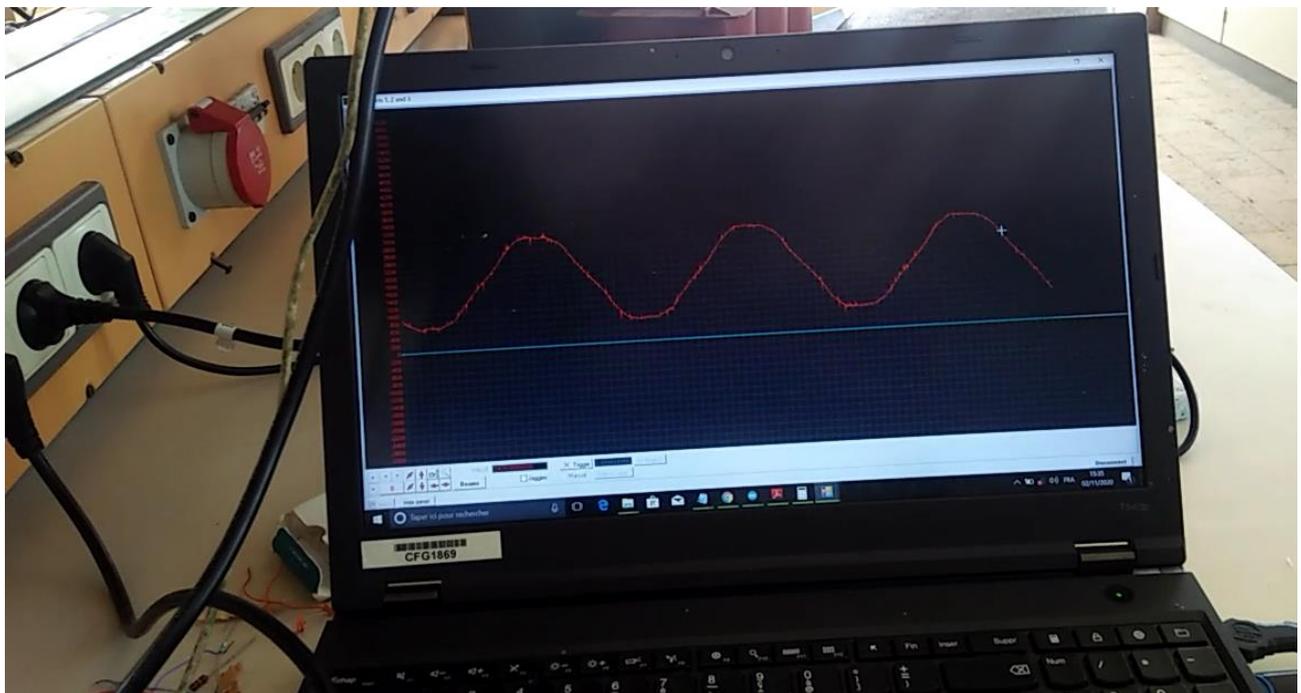


Figure II- 28 : Allure de courant visualiser par « Serial Oscilloscope ».

Conclusion

Dans ce chapitre, l'essentiel de l'Arduino est présentée (la partie matérielle et la partie de programmation) constitué notre chaîne d'acquisition. Nous avons également présenté les datasheets et son principe de fonctionnement et montrer le but et la technique consacré à la réalisation d'un dispositif d'acquisition et de contrôle de donnée ainsi à la transmission ou bien le conditionnement du signal et leur numérisation.

Chapitre III

Résultats et commentaires

III.1 Introduction

Notre but de ce chapitre est de réaliser des différents essais et des tests pratiques sur un moteur asynchrone de notre laboratoire de travaux.

Nous avons effectués les essais à vide et en charge pour les cas suivants :

- Moteur sain ;
- Moteur triphasé avec déséquilibre de tension d'alimentation ;

III.2 Description du Banc d'essai

Notre système est un banc d'essai « chaîne d'acquisition et moteur asynchrone (MAS) de 3, 5 kW, 380 V, triphasé et à 2 paires de pôles », ce dernier est alimenté par un autotransformateur triphasé. Pour réaliser une charge, le moteur entraîne un alternateur triphasé connecté en étoile qui débite sur un groupe de 12 lampes, chaque phase est connectée avec 4 lampes de puissance de 200 W chacune. **Les figures suivantes** représentent le schéma électrique correspondant.

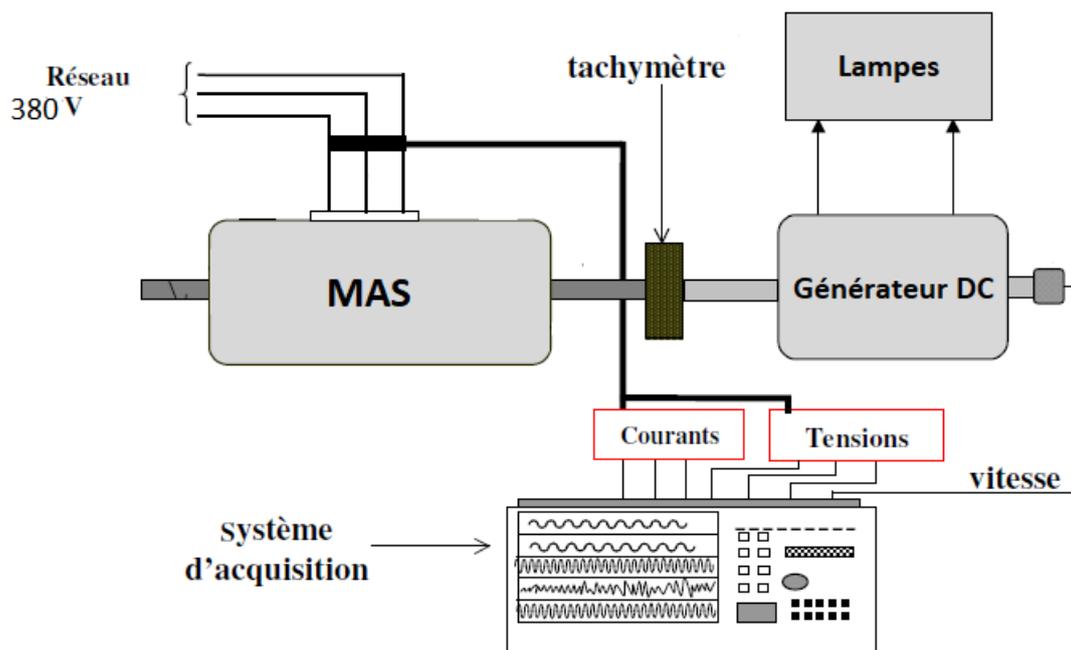


Figure III- 1:Schéma de principe de l'acquisition des signaux

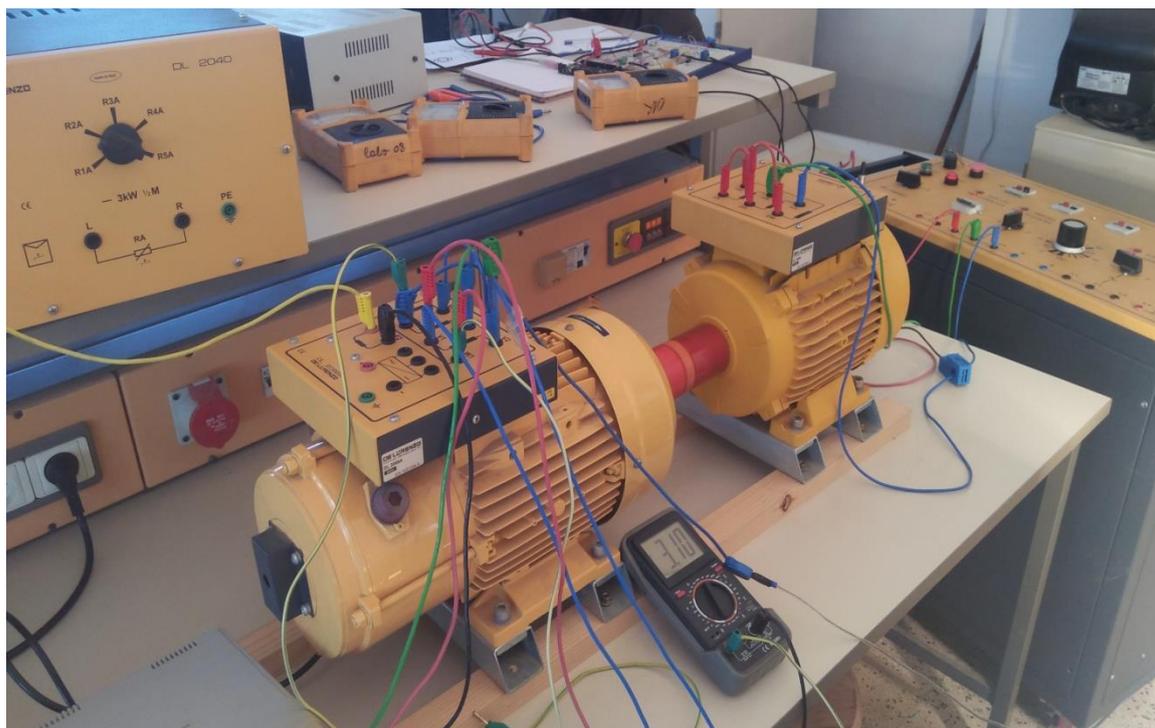


Figure III- 2:Le banc d'essai à vide

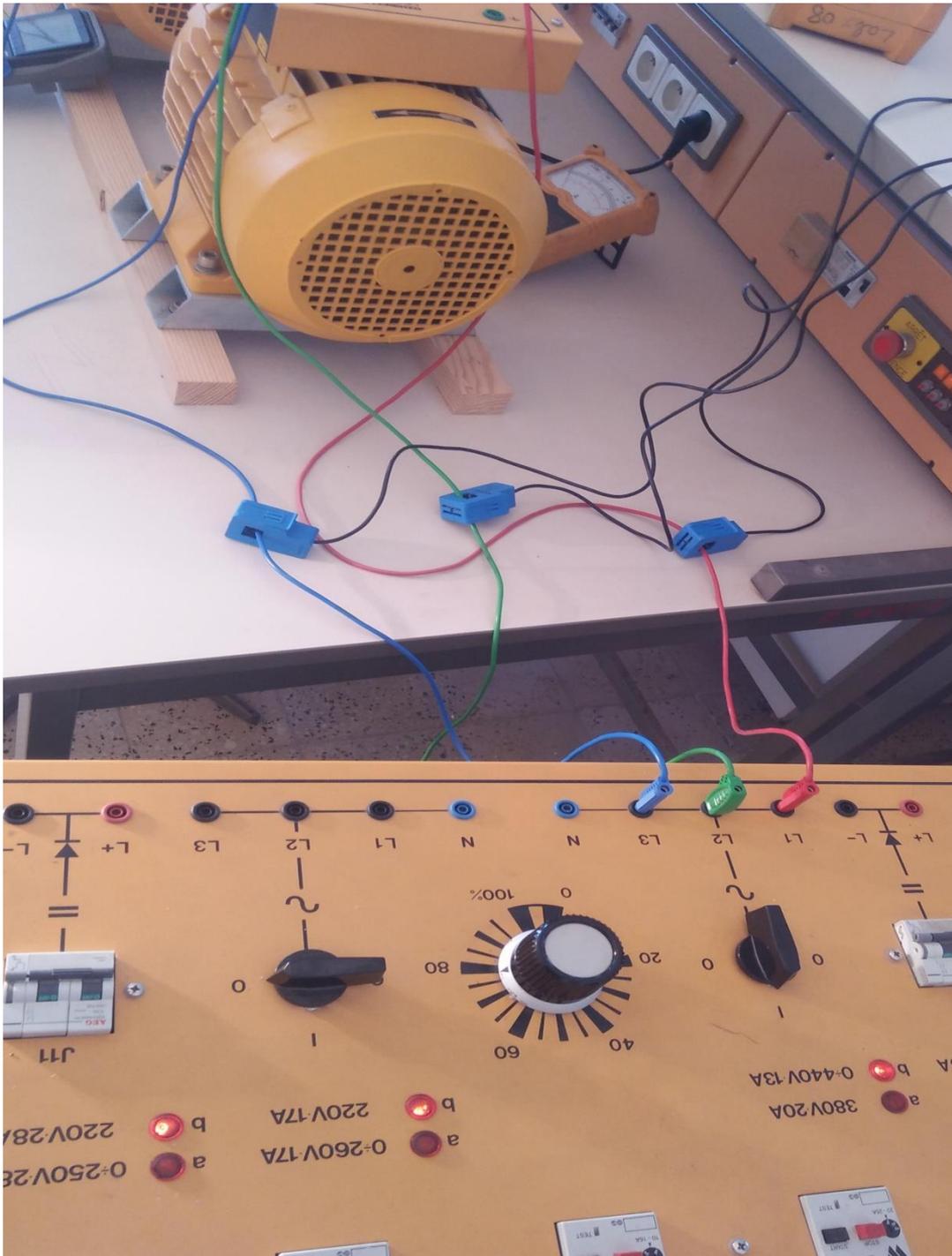


Figure III- 3: les 3 capteurs SCT-013-000 dans Le banc d'essai.

Le Capteur **SCT-013-000** Le transformateur de courant (TC) à mesurer i_{mes} avec un Courant d'entrée de [0-100] A et un Courant de sortie de [0-50] mA.

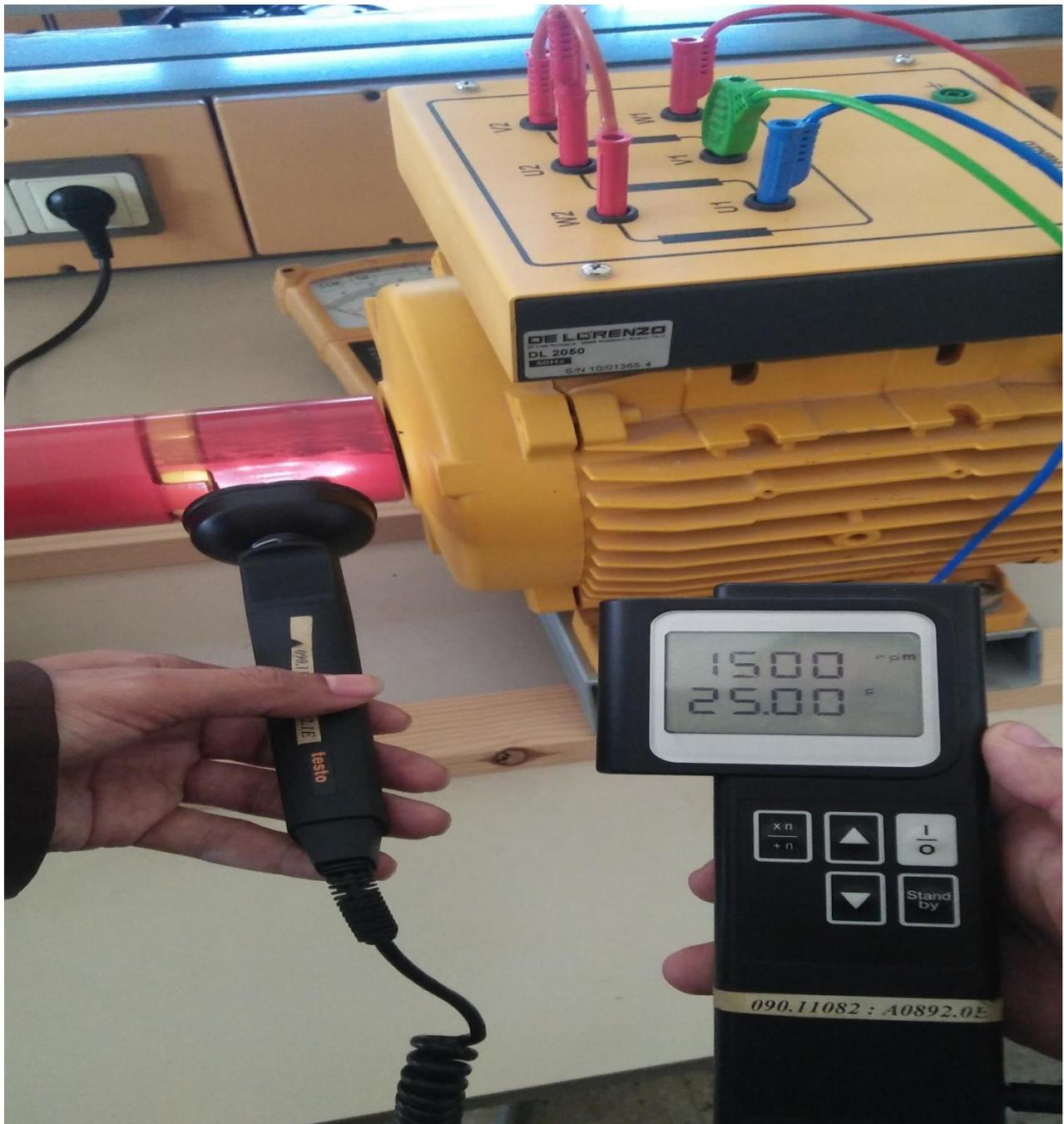


Figure III- 4:tachymètre dans Le banc d'essai à vide (1500 Tr/m)

Un tachymètre est un instrument de mesure permettant de déterminer la vitesse de moteur Asynchrone.

Dans notre cas l'essai a vide et le MAS à une vitesse de 1500 Tr/m

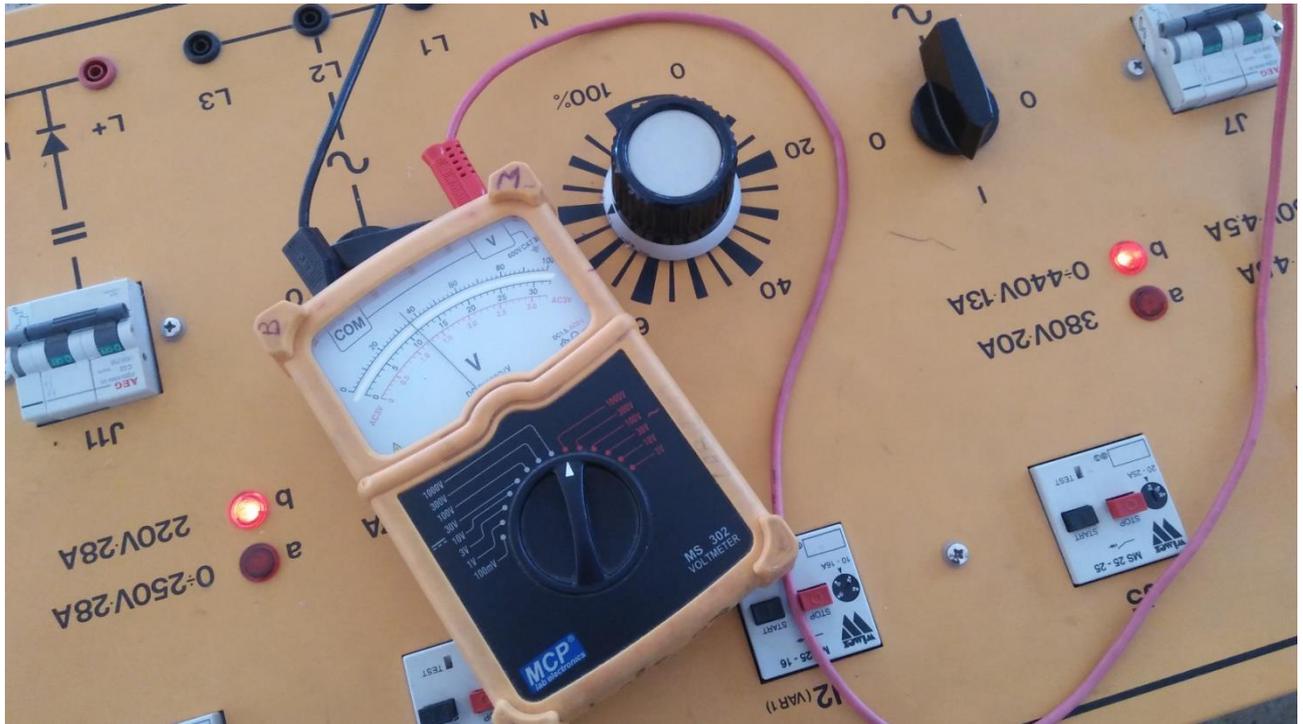


Figure III- 5: Voltmètre dans Le banc d'essai à vide (380V)

Voltmètre pour mesurer la tension dans les 3 phases a chaque essai, 380 v dans le cas d'essai a vide.

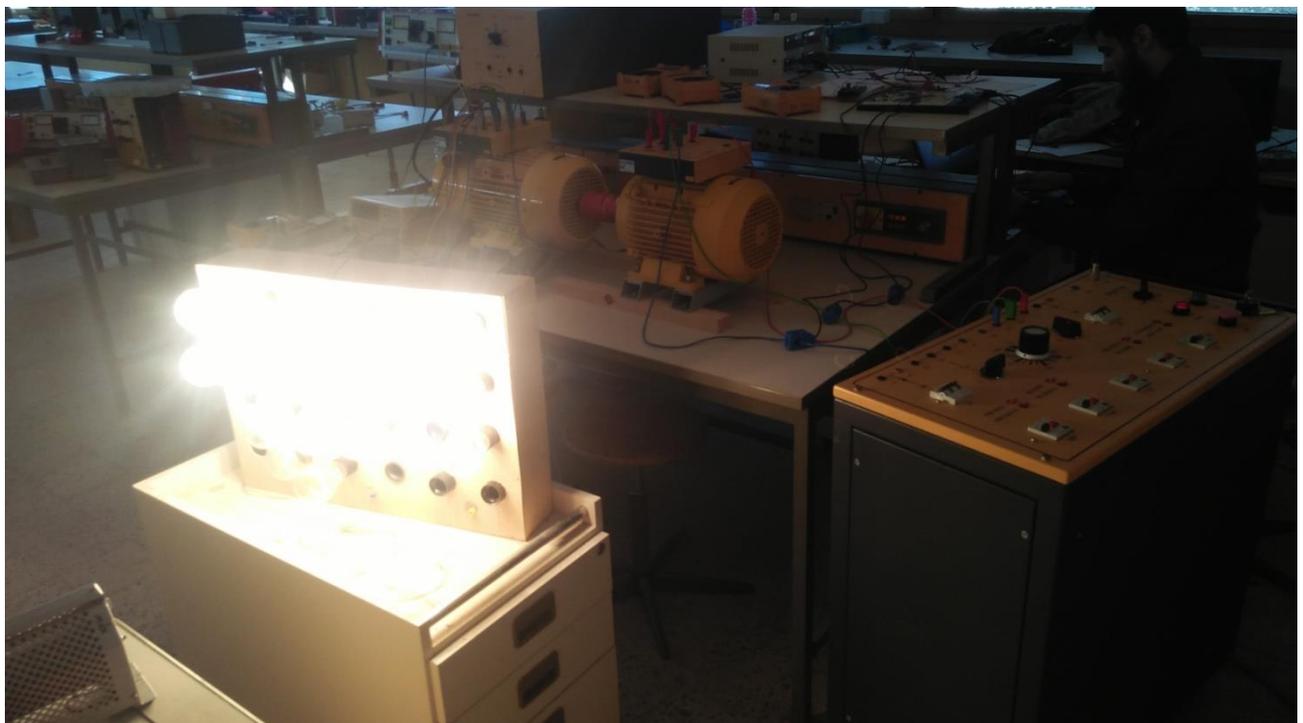


Figure III- 6:Le banc d'essai en charge



Figure III- 7:tachymètre dans Le banc d'essai en charge (1464 Tr/m)

Les figures III.6 et III.7 représente le MAS et le banc d'essai entraine un alternateur triphasé connecté en étoile qui débite sur un groupe de 12 lampes, chaque phase est connectée avec 4 lampes de puissance de 200 W chacune.

Et la vitesse de moteur en charge est 1464 Tr/m.

III.3 Le déséquilibre de tension et de courant

Dans un réseau triphasé, on a idéalement des amplitudes égales de la tension et du courant respectivement sur chacune des trois phases et un angle de phase de 120 degrés. Lorsque les tensions ou les courants présentent une différence d'amplitude, il y a déséquilibre et cela peut causer des problèmes pour les équipements triphasés branchés sur le réseau (voir **Figure III.7**). L'impact le plus courant du déséquilibre est la surchauffe des équipements et, par conséquent, la dégradation de l'isolation électrique et la réduction de la durée de vie.

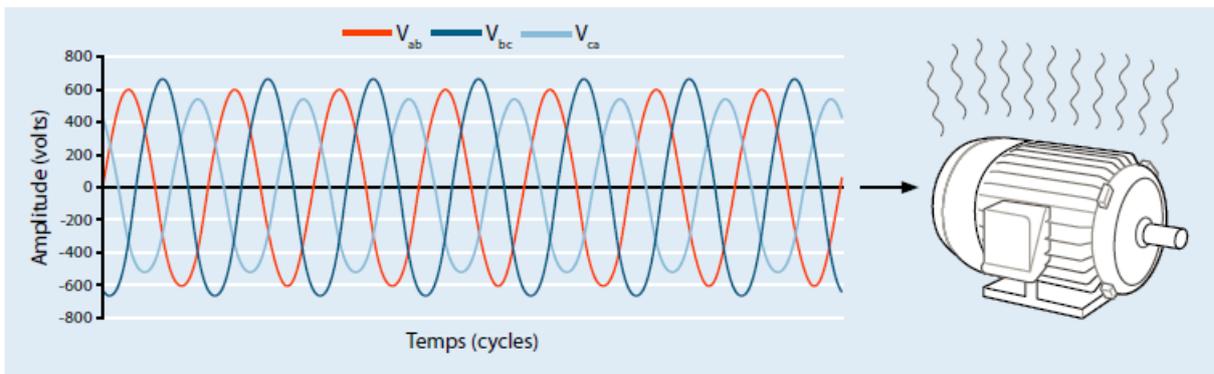


Figure III.8 forme d'onde illustrant un déséquilibre de tension

Les déséquilibres de tension et de courant surviennent habituellement en présence d'un déséquilibre des charges. En effet, toute charge triphasée doit appeler un courant identique sur chaque phase. Quant aux charges monophasées branchées sur un réseau triphasé, on doit les répartir le plus uniformément possible entre les trois phases.

De plus, certains déséquilibres de tension résultent de l'exploitation et de la nature des équipements du réseau électrique.

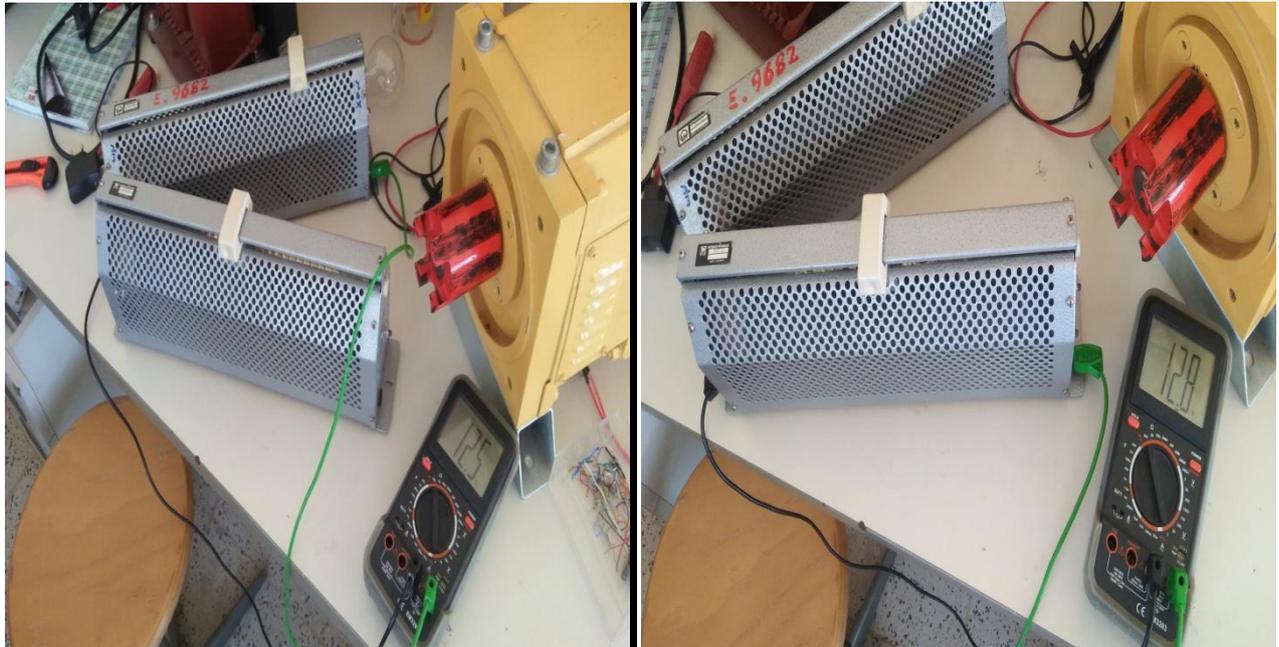


Figure III.9 les 2 Rhéostats pour un déséquilibre de tension (26.5Ω)

III.3.1 Calcule du déséquilibre de tension

III.3.1.1. Déséquilibre à vide

Tensions mesurées

$$V_{W1-V1} = 333V$$

$$V_{W1-U1} = 362 V$$

$$V_{V1-U1} = 370 V$$

$$V_{\text{moy}} = \frac{333+362+370}{3} = 355 V$$

L'écart maximal

$$|V_{W1-V1} - V_{\text{moy}}| = 22 V$$

$$|V_{W1-U1} - V_{\text{moy}}| = 7 V$$

$$|V_{V1-U1} - V_{\text{moy}}| = 15 V$$

$$\text{Déséquilibre de tension \%} = \frac{22}{355} * 100\% = 6.19\%$$

III.3.1.2. Déséquilibre en charge

$$V_{W1-V1} = 319V$$

$$V_{W1-U1} = 322V$$

$$V_{V1-U1} = 369 V$$

$$V_{\text{moy}} = \frac{319+322+369}{3} = 336.66 V$$

L'écart maximal

$$|V_{W1-V1} - V_{\text{moy}}| = 16.44 V$$

$$|V_{W1-U1} - V_{\text{moy}}| = 13.44V$$

$$|V_{V1-U1} - V_{\text{moy}}| = 32.44 V$$

$$\text{Déséquilibre de tension \%} = \frac{32.44}{336.66} * 100\% = 9.63\%$$

III.4 Les Résultats

III.4.1 Essais à vide

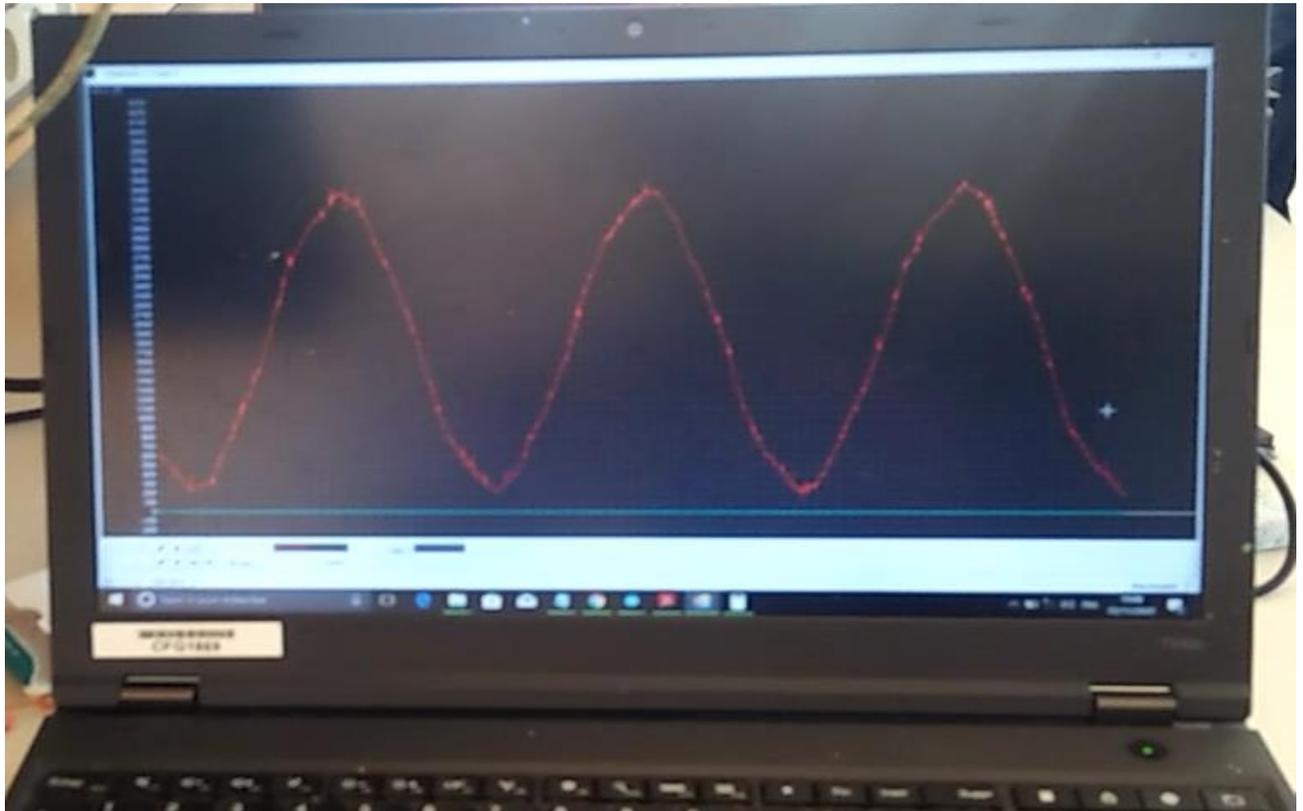


Figure III.10 Allures du courant de phase de la MAS à vide

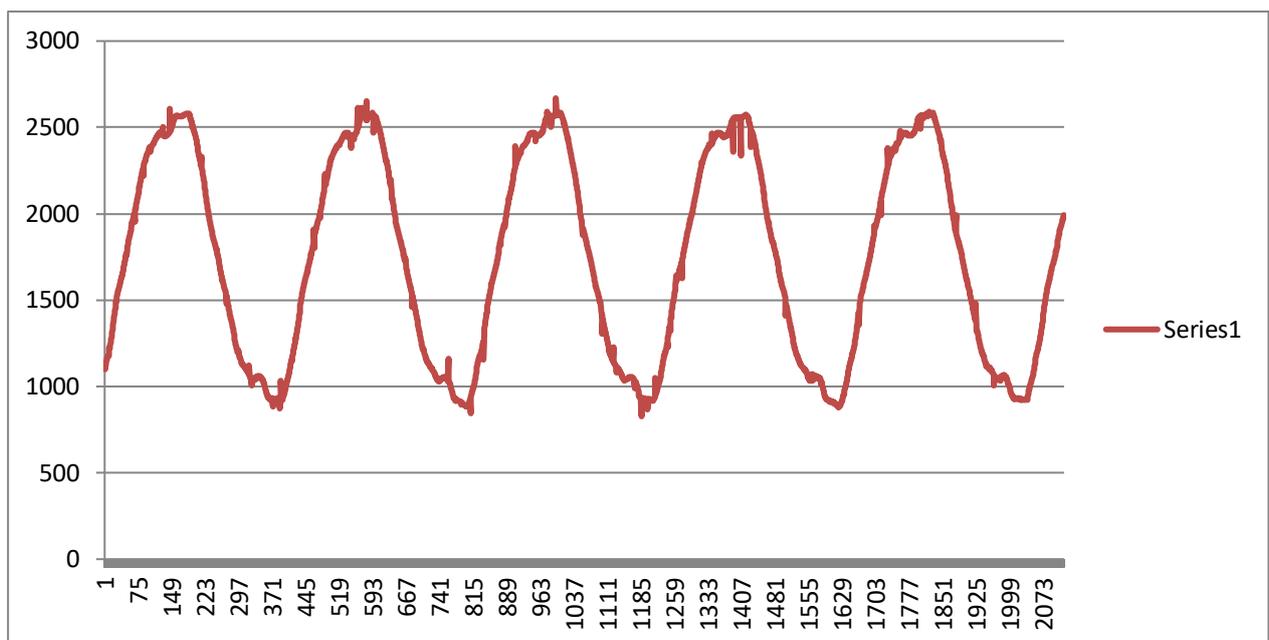


Figure III.11 Allures du courant de phase de la MAS à vide

Remarque : Les 3 phases sont identiques.

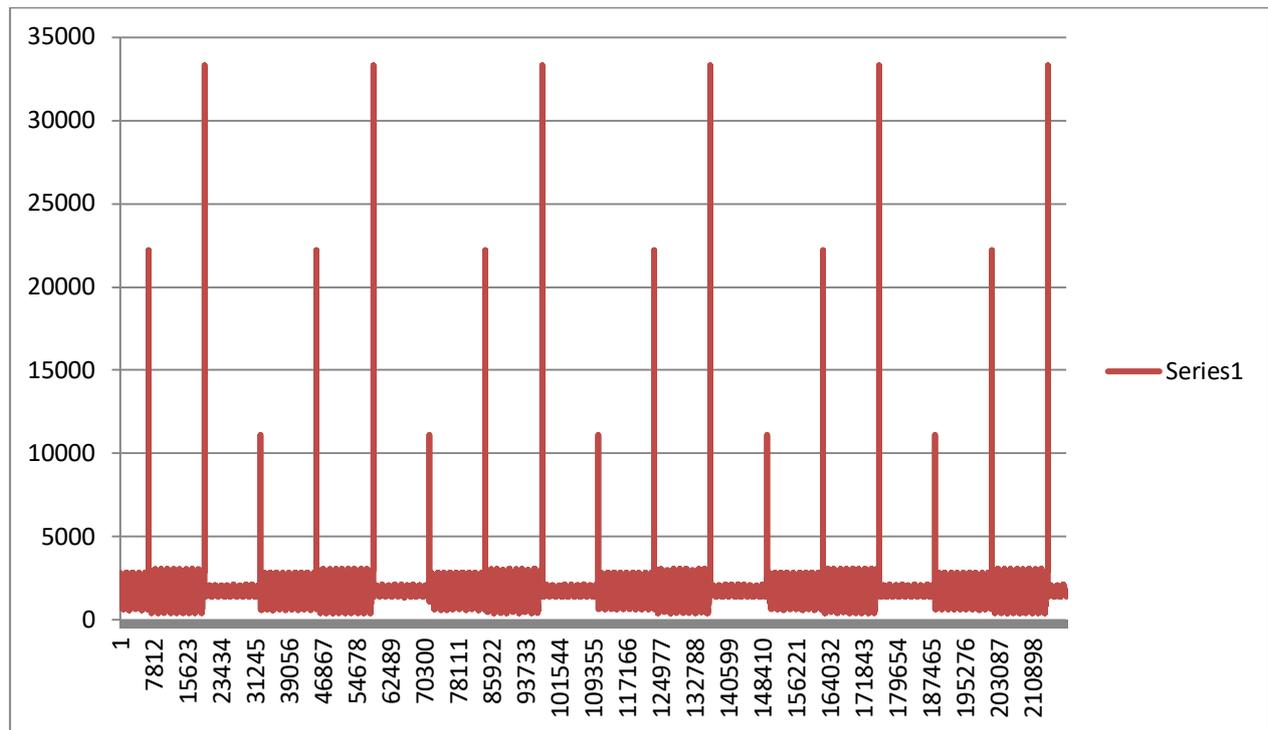


Figure III.12 Allures du courant de 3 phases de la MAS à vide
Avec une phase déséquilibrée avec une chute de tension de 40 V

Nous remarquons dans (**Figure III-11 et Figure III-12**) le déséquilibre de phase provoque une diminution d’amplitude et une déformation de forme d’onde dues aux nouvelles composantes harmoniques qui induit par composante inverse. Les déséquilibres des tensions engendrent des composantes inverses de courant qui provoquent principalement des couples de freinage parasites et des échauffements dans les moteurs à courant alternatif [12].

III.4.2. Essai en charge

III.4.2.1 non déséquilibré

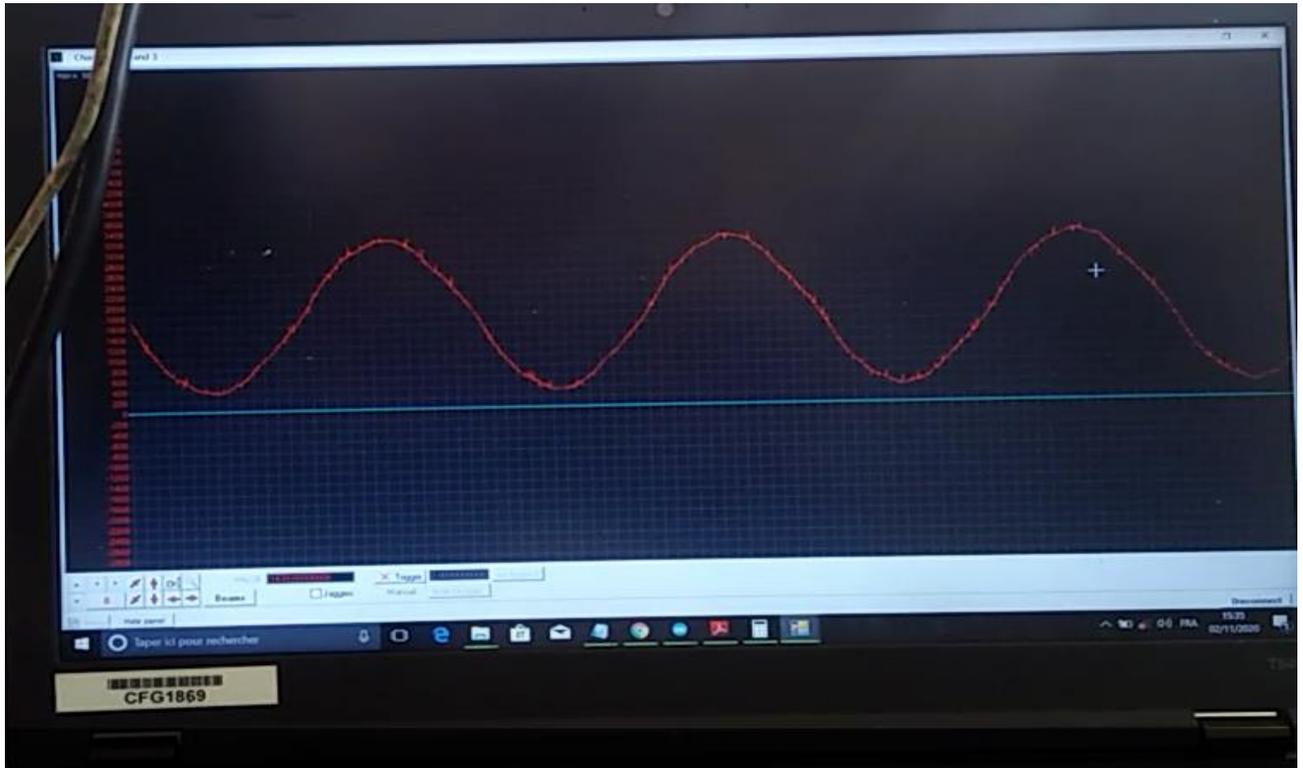


Figure III.13 Allures du courant de phase 1 de la MAS en charge non déséquilibré

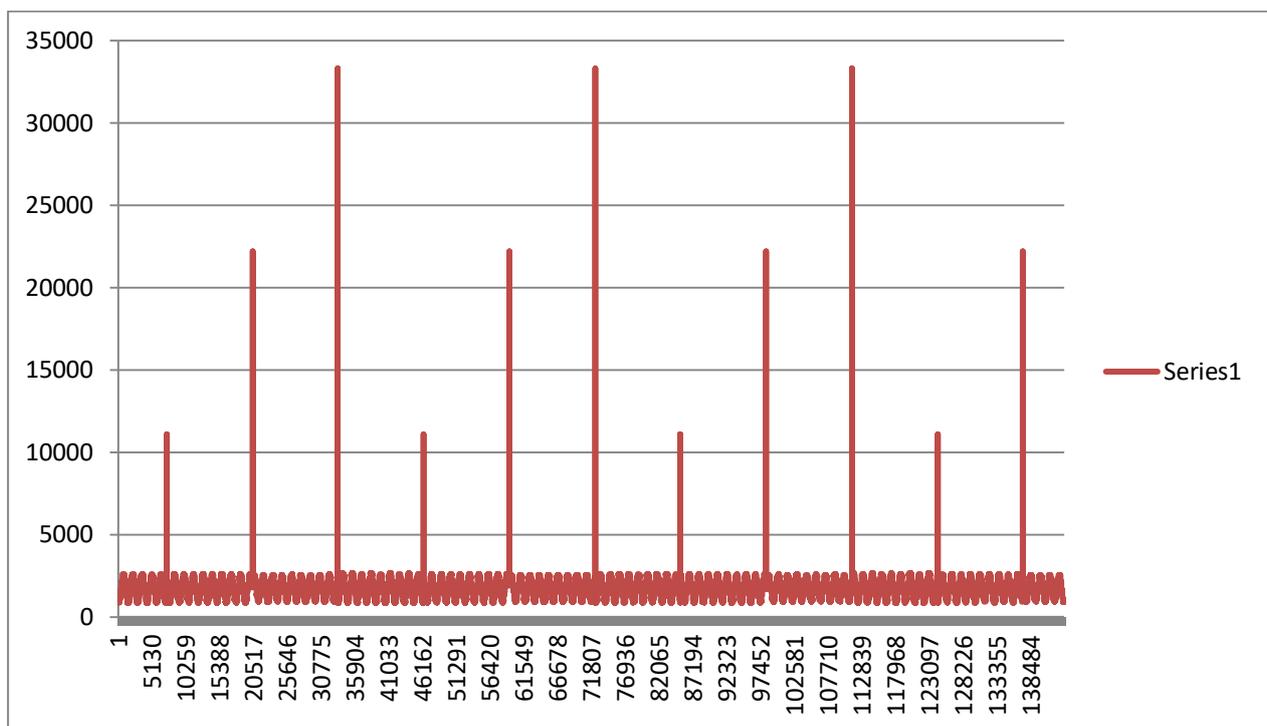


Figure III.14 Allures du courant de 3 phases de la MAS en charge non déséquilibré

III.4.2.2 déséquilibré

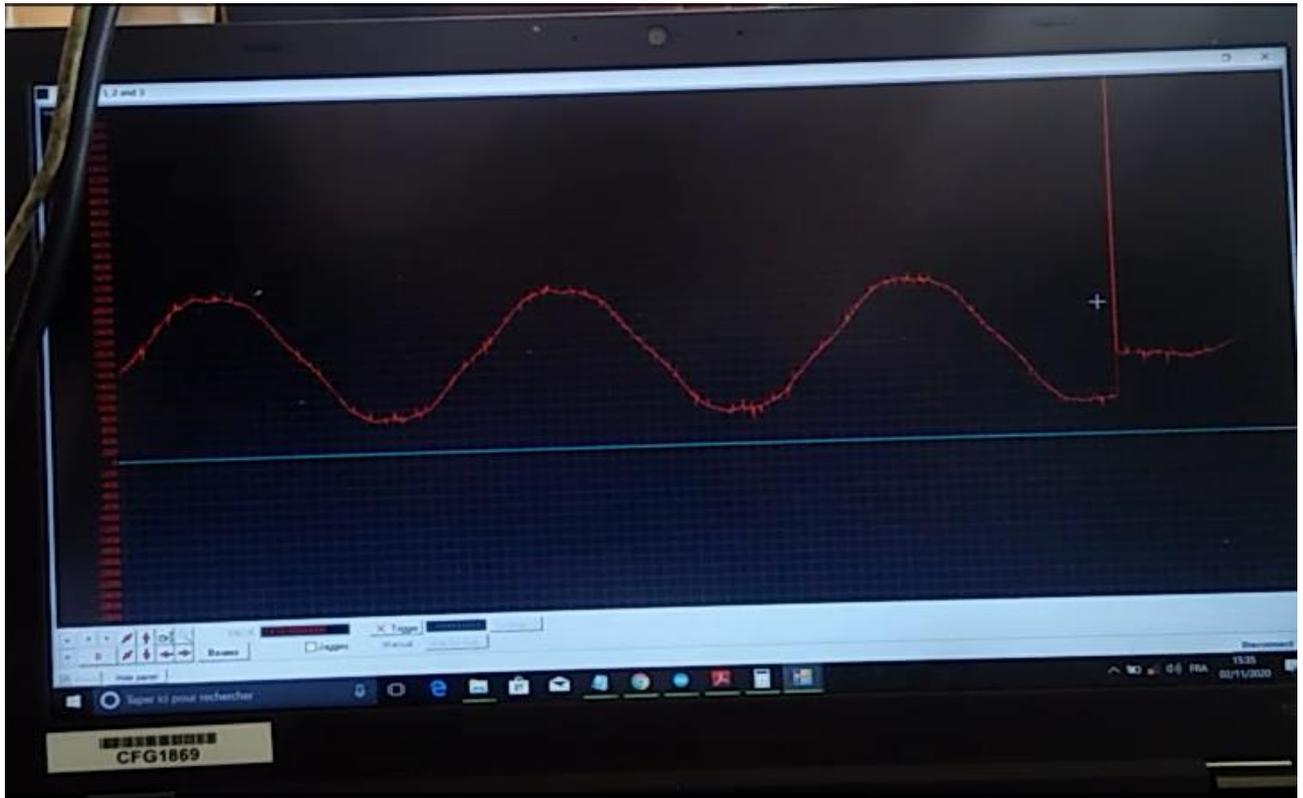


Figure III.15 Allures du courant de phase 1 et 3 de la MAS en charge



Figure III.16 Allures du courant de phase 2 déséquilibré de la MAS en charge

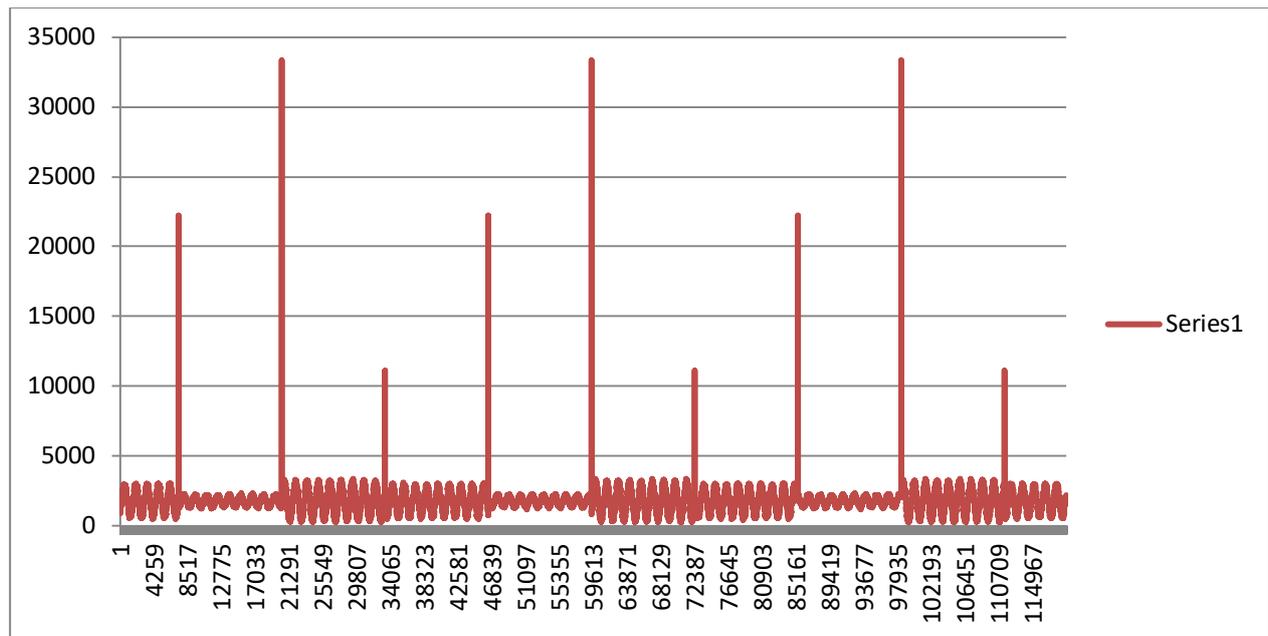


Figure III.17 Allures du courant de 3 phases 2eme phase déséquilibré de la MAS en charge avec une chute de tension de 40 V

Nous remarquons dans (Figure III-16 et Figure III.17) que quand la machine fonctionne en charge le déséquilibre de phase provoque une diminution importante d’amplitude et une déformation de forme d’onde dues aux composantes harmoniques qui engendrent par la composante inverse .les déséquilibres des tensions engendrent des composantes inverses de courant qui provoquent principalement des couples de freinage parasites et des échauffements dans les moteurs à courant alternatif [12]

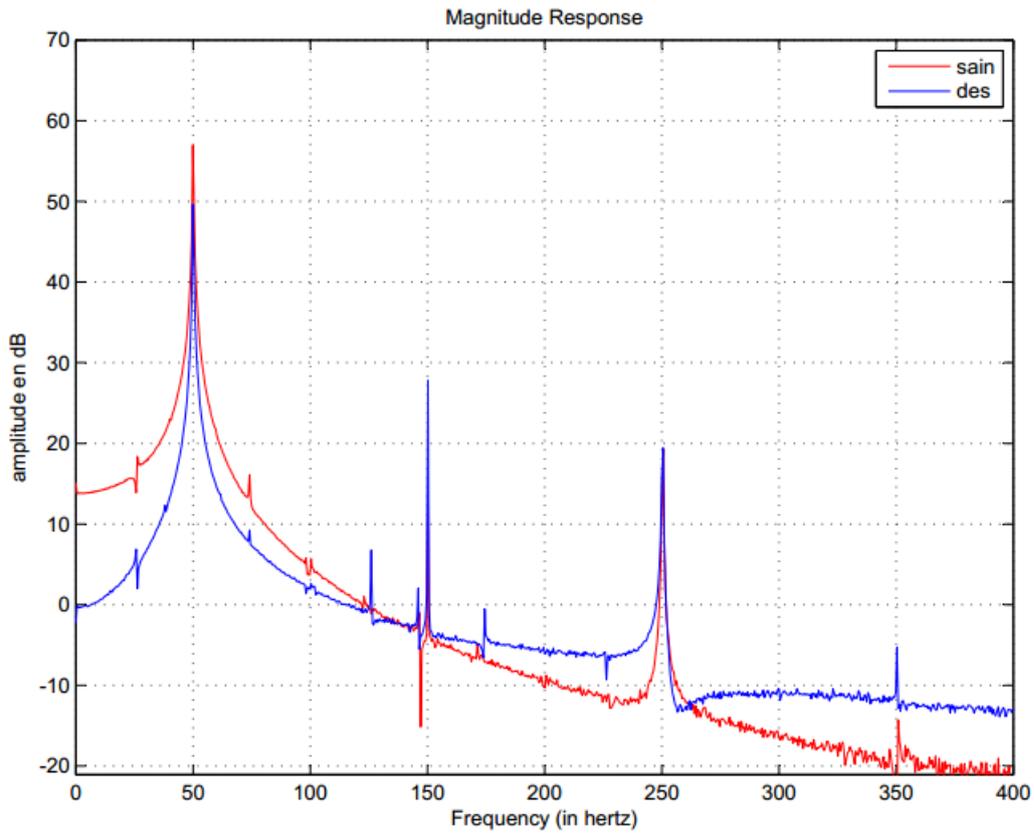
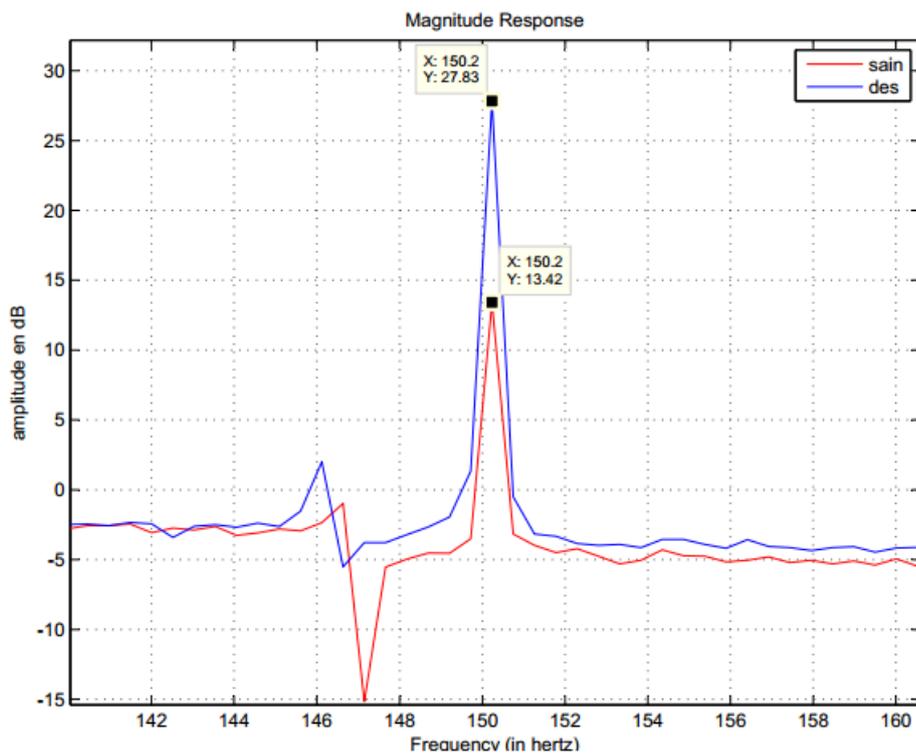
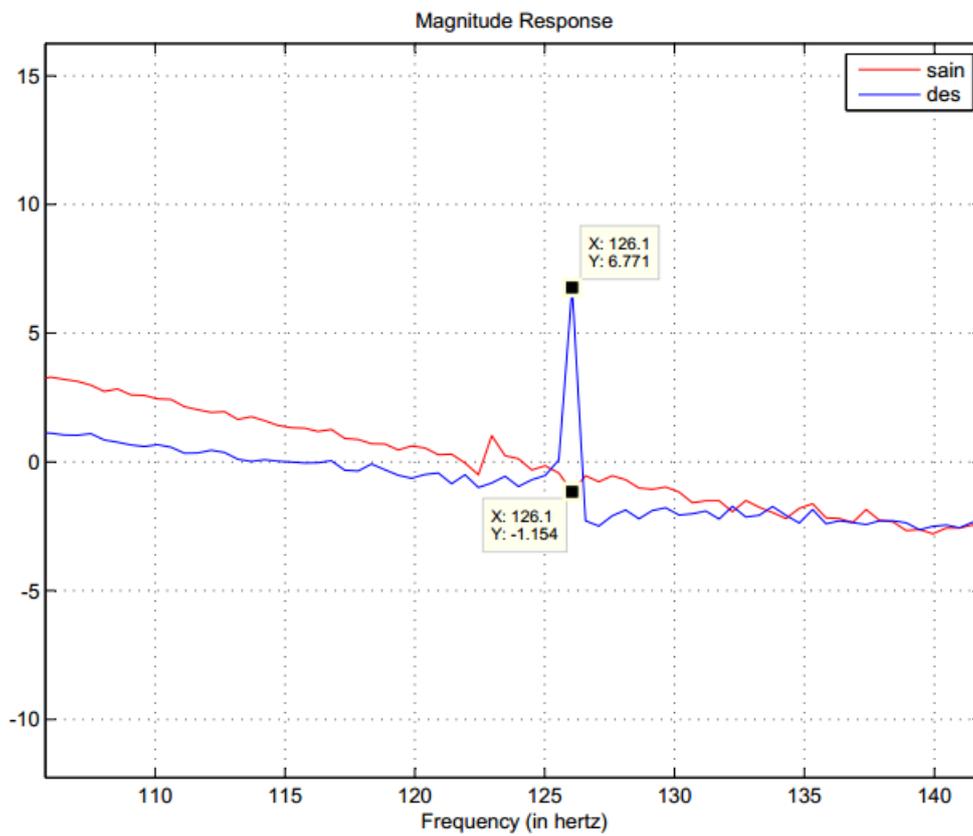


figure III- 18: Spectre de courant statorique de la machine asynchrone (en charge) sous les déséquilibres des tensions

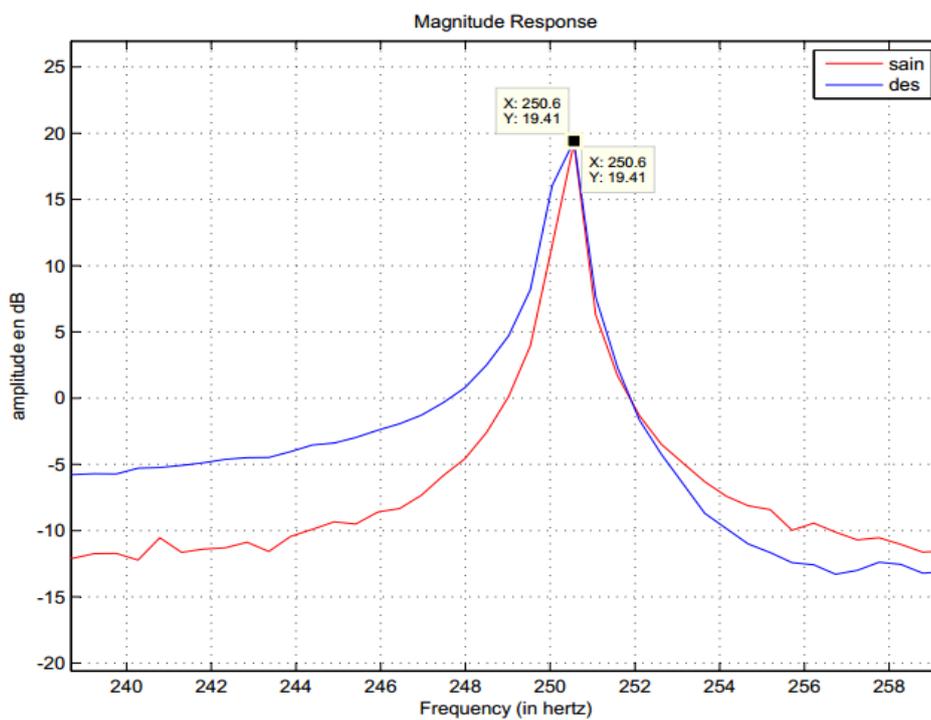
a)



b)



c)



d)

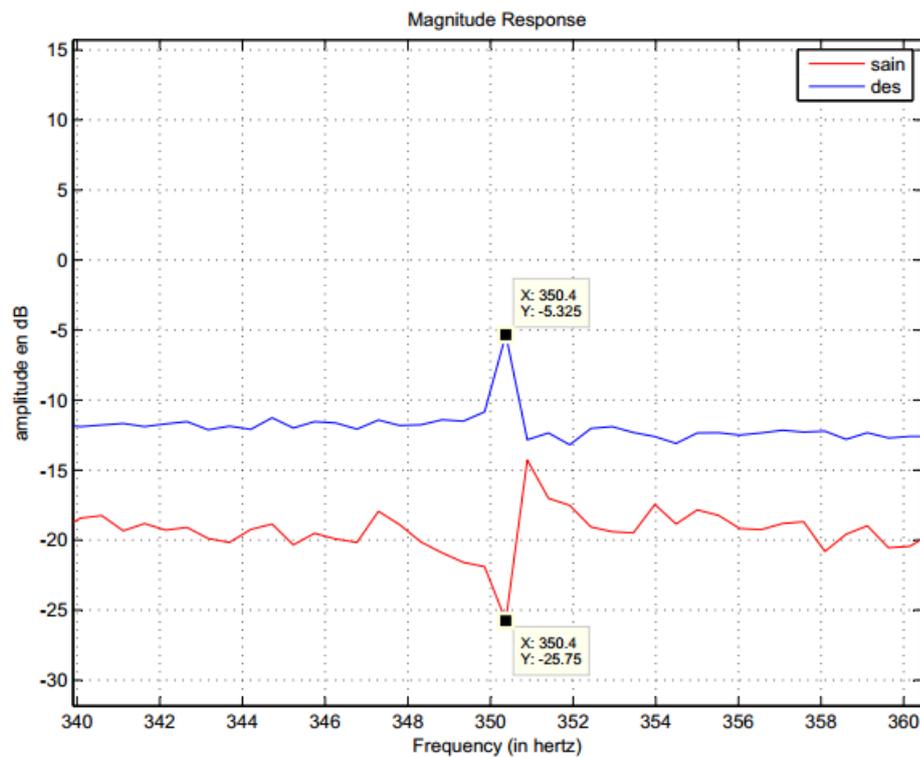


Figure III- 19: (a.b.c.d) Spectre du courant statorique

les Figure III-19 (a), (b), (c), (d) sont représentés des spectres sur la plage fréquentielle autour du 125 HZ, du 3 ème , 5ème et 7ème harmonique respectivement. Nous remarquons une augmentation d'amplitude de façon claire dans les 3 cas en plus de la composante de fréquence de 125 Hz, cela est due aux déséquilibres des tensions [10] et la présence du 5ème harmonique due au réseau.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé des essais expérimentaux sur un moteur asynchrone triphasé en présence de déséquilibre de tension d'alimentation. Et grâce à la réalisation de notre carte d'acquisition (deuxième chapitre) nous avons d'une part visualisé les signaux temporel et fréquentiel, et d'autre part en utilisant l'analyse spectrale du courant statorique nous avons permis de détecter les défauts.

Le déséquilibre de phase est détecté par l'augmentation de l'amplitude de l'harmonique du courant à la fréquence de 150 Hz.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce mémoire est basé sur la réalisation d'une chaîne d'acquisition à base d'Arduino et capteur du courant afin de faire le diagnostic des défauts dans la machine asynchrone à cage d'écureuil, par la technique de l'analyse spectrale.

Dans le premier chapitre nous avons présenté la constitution du moteur asynchrone à cage d'écureuil, le principe de fonctionnement, les différents défauts leurs causes et leurs effets puis nous avons abordé les méthodes de diagnostic.

Le deuxième chapitre a été consacré à la réalisation pratique de la carte d'acquisition. Nous avons fait une étude théorique pour chaque partie de la carte d'acquisition et après on a passé à la réalisation pratique on a trouvé plusieurs difficultés concernant le choix des composants de qualité, des composants normalisés.

Dans le troisième chapitre nous avons abordé des essais expérimentaux sur moteur asynchrone triphasé. Nous avons effectué des essais à vide et en charge. Nous avons fait des essais sur le déséquilibre de la tension d'alimentation. Nous avons rencontré un problème très important qui limite notre étude sur le diagnostic.

La réalisation de notre carte d'acquisition nous a permis de mettre en évidence la procédure de diagnostic des défauts. L'analyse spectrale du courant statorique montre la présence des harmoniques supplémentaires et l'augmentation de l'amplitude à la fréquence caractéristique 150 Hz dans le cas déséquilibre de tension d'alimentation.

En perspective les futurs étudiants peuvent avancer notre travail en abordant

Des essais sur des moteurs avec d'autres défauts tels que les défauts mécaniques...

Référence Bibliographiques

Référence Bibliographiques

- [1] L. M. Tolbert, "Multilevel Converters for Large Electric Drives", IEEE Trans. on Ind. Application, Vol. 35, pp. 36-44, January/February 1999.
- [2] <http://diego-gutierrez.perso.neuf.fr/tpe/histoire.html>
- [3] Canudas de Wit, C. Commande des moteurs asynchrones 1- Modélisation, contrôle vectoriel et DTC, Hermès Science Publication, France, 2000.
- [4] Théodore WILDI «Electrotechnique» Edition DEBOECK Université, année 2009
- [5] http://web.cortial.net/bibliohtml/chptri_j.html
- [6] "Présentation des avaries. Machines électriques tournantes" Cahier des Préventions. CP2, Allianz, 1988. [6]Olivier Ondel, "Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes : Application À Un Ensemble Convertisseur-Machine Asynchrone", Thèse de doctorat, 2006, L'École Centrale De Lyon, France.
- [7]Lebaroud A., «Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables», Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Alegria, 2006.
- [8]Ondel O., «Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone» Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006.
- [9]Olivier Ondel, "Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes : Application À Un Ensemble Convertisseur-Machine Asynchrone", Thèse de doctorat, 2006, L'École Centrale De Lyon, France.
- [10] Austin H. Bonnett, Fellow, Root Cause AC Motor Failure Analysis with a Focus on Shaft Failures, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 36, NO. 5, SEPTEMBER/OCTOBER 2000
- [11] : Carolin , Petit jean, 2000, chaine acquisition restitution , Olivier Français(5,11)
- [12] : Acquisition de données du capteur, Georges, Asch, E, chambard, Patrik Renard, Günther 528p, 2003, Dunod
- [13] : [PDF] Etudiants :LéonoreBécuwe, Andréa Blin, Corentin Lecomte, Carlos Miranda, Kirill Polesskiy , Contrôle de l'auto-échauffement d'un transistor avec un circuit
- [14] Khmais Bacha, Samira Ben Salem, Abdelkader Chaari, An improved combination of Hilbert and Park transforms for fault detection and identification in three-phase induction
- [15] Roland CALVAS, 2001, Cahier technique n° 141, Les perturbations électriques en BT, Schneider Electric

Référence Bibliographiques

[16] Yuefeng Liao, Thomas A. Lipo , “Effect of saturation third harmonic on the performance of squirrel-cage induction machines” *Electric Machines & Power Systems*, vol. 22, no2, page. 155-171, 1994

Annexe

Annexe

Annexe A

Les plaques signalétiques des Moteurs Utilisés



Figure A- 1:la plaque signalétique de la génératrice



Figure A- 2: la plaque signalétique de MAS DE LORENZO



Figure A- 3: Rhéostat



Figure A- 4: Matrice des Lampes utilisé comme une charge

Annexe

Annexe B

43.7.2 ADC Mode Register

Name: ADC_MR

Address: 0x400C0004

Access: Read-write

31	30	29	28	27	26	25	24
USEQ	–	TRANSFER		TRACKTIM			
23	22	21	20	19	18	17	16
ANACH	–	SETTLING		STARTUP			
15	14	13	12	11	10	9	8
PRESCAL							
7	6	5	4	3	2	1	0
FREERUN	FWUP	SLEEP	LOWRES	TRGSEL		TRGEN	

This register can only be written if the WPEN bit is cleared in “ADC Write Protect Mode Register” on page 1353.

• TRGEN: Trigger Enable

Value	Name	Description
0	DIS	Hardware triggers are disabled. Starting a conversion is only possible by software.
1	EN	Hardware trigger selected by TRGSEL field is enabled.

• TRGSEL: Trigger Selection

Value	Name	Description
0	ADC_TRIG0	External : ADCTRG
1	ADC_TRIG1	TIOA Output of the Timer Counter Channel 0
2	ADC_TRIG2	TIOA Output of the Timer Counter Channel 1
3	ADC_TRIG3	TIOA Output of the Timer Counter Channel 2
4	ADC_TRIG4	PWM Event Line 0
5	ADC_TRIG5	PWM Event Line 0
6	ADC_TRIG6	Reserved
7	–	Reserved

• LOWRES: Resolution

Value	Name	Description
0	BITS_12	12-bit resolution
1	BITS_10	10-bit resolution

• SLEEP: Sleep Mode

Value	Name	Description
0	NORMAL	Normal Mode: The ADC Core and reference voltage circuitry are kept ON between conversions
1	SLEEP	Sleep Mode: The ADC Core and reference voltage circuitry are OFF between conversions

- **FWUP: Fast Wake Up**

Value	Name	Description
0	OFF	Normal Sleep Mode: The sleep mode is defined by the SLEEP bit
1	ON	Fast Wake Up Sleep Mode: The Voltage reference is ON between conversions and ADC Core is OFF

- **FREERUN: Free Run Mode**

Value	Name	Description
0	OFF	Normal Mode
1	ON	Free Run Mode: Never wait for any trigger.

- **PRESCAL: Prescaler Rate Selection**

$$ADCClock = MCK / ((PRESCAL+1) * 2)$$

- **STARTUP: Start Up Time**

Value	Name	Description
0	SUT0	0 periods of ADCClock
1	SUT8	8 periods of ADCClock
2	SUT16	16 periods of ADCClock
3	SUT24	24 periods of ADCClock
4	SUT64	64 periods of ADCClock
5	SUT80	80 periods of ADCClock
6	SUT96	96 periods of ADCClock
7	SUT112	112 periods of ADCClock
8	SUT512	512 periods of ADCClock
9	SUT576	576 periods of ADCClock
10	SUT640	640 periods of ADCClock
11	SUT704	704 periods of ADCClock
12	SUT768	768 periods of ADCClock
13	SUT832	832 periods of ADCClock
14	SUT896	896 periods of ADCClock
15	SUT960	960 periods of ADCClock

- **SETTLING: Analog Settling Time**

Value	Name	Description
0	AST3	3 periods of ADCClock
1	AST5	5 periods of ADCClock
2	AST9	9 periods of ADCClock
3	AST17	17 periods of ADCClock

- **ANACH: Analog Change**

Value	Name	Description
0	NONE	No analog change on channel switching: DIFF0, GAIN0 and OFF0 are used for all channels
1	ALLOWED	Allows different analog settings for each channel. See ADC_CGR and ADC_COR Registers

- **TRACKTIM: Tracking Time**

Tracking Time = (TRACKTIM + 1) * ADCClock periods.

- **TRANSFER: Transfer Period**

Transfer Period = (TRANSFER * 2 + 3) ADCClock periods.

- **USEQ: Use Sequence Enable**

Value	Name	Description
0	NUM_ORDER	Normal Mode: The controller converts channels in a simple numeric order.
1	REG_ORDER	User Sequence Mode: The sequence respects what is defined in ADC_SEQR1 and ADC_SEQR2 registers.

43.7.5 ADC Channel Enable Register

Name: ADC_CHER

Address: 0x400C0010

Access: Write-only

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
CH15	CH14	CH13	CH12	CH11	CH10	CH9	CH8
7	6	5	4	3	2	1	0
CH7	CH6	CH5	CH4	CH3	CH2	CH1	CH0

This register can only be written if the WPEN bit is cleared in [“ADC Write Protect Mode Register”](#) on page 1353.

- **CHx: Channel x Enable**

0 = No effect.

1 = Enables the corresponding channel.

Note: if USEQ = 1 in ADC_MR register, CHx corresponds to the xth channel of the sequence described in ADC_SEQR1 and ADC_SEQR2.

43.7.12 ADC Interrupt Status Register

Name: ADC_ISR

Address: 0x400C0030

Access: Read-only

31	30	29	28	27	26	25	24
-	-	-	RXBUFF	ENDRX	COMPE	GOVRE	DRDY
23	22	21	20	19	18	17	16
-	-	-	-	-	-	-	-
15	14	13	12	11	10	9	8
EOC15	EOC14	EOC13	EOC12	EOC11	EOC10	EOC9	EOC8
7	6	5	4	3	2	1	0
EOC7	EOC6	EOC5	EOC4	EOC3	EOC2	EOC1	EOC0

- **EOCx: End of Conversion x**

0 = Corresponding analog channel is disabled, or the conversion is not finished. This flag is cleared when reading the corresponding ADC_CDRx registers.

1 = Corresponding analog channel is enabled and conversion is complete.

- **DRDY: Data Ready**

0 = No data has been converted since the last read of ADC_LCDR.

1 = At least one data has been converted and is available in ADC_LCDR.

- **GOVRE: General Overrun Error**

0 = No General Overrun Error occurred since the last read of ADC_ISR.

1 = At least one General Overrun Error has occurred since the last read of ADC_ISR.

- **COMPE: Comparison Error**

0 = No Comparison Error since the last read of ADC_ISR.

1 = At least one Comparison Error has occurred since the last read of ADC_ISR.

- **ENDRX: End of RX Buffer**

0 = The Receive Counter Register has not reached 0 since the last write in ADC_RCR or ADC_RNCR.

1 = The Receive Counter Register has reached 0 since the last write in ADC_RCR or ADC_RNCR.

- **RXBUFF: RX Buffer Full**

0 = ADC_RCR or ADC_RNCR have a value other than 0.

1 = Both ADC_RCR and ADC_RNCR have a value of 0.

43.7.16 ADC Channel Gain Register

Name: ADC_CGR

Address: 0x400C0048

Access: Read-write

31	30	29	28	27	26	25	24
GAIN15		GAIN14		GAIN13		GAIN12	
23	22	21	20	19	18	17	16
GAIN11		GAIN10		GAIN9		GAIN8	
15	14	13	12	11	10	9	8
GAIN7		GAIN6		GAIN5		GAIN4	
7	6	5	4	3	2	1	0
GAIN3		GAIN2		GAIN1		GAIN0	

This register can only be written if the WPEN bit is cleared in ["ADC Write Protect Mode Register"](#) on page 1353.

- **GAINx: Gain for channel x**

Gain applied on input of analog-to-digital converter.

GAINx		Gain applied when DIFFx = 0	Gain applied when DIFFx = 1
0	0	1	0.5
0	1	1	1
1	0	2	2
1	1	4	2

The DIFFx mentioned in this table is described in the following register, ADC_COR.

43.7.18 ADC Channel Data Register

Name: ADC_CDRx [x=0..15]

Address: 0x400C0050

Access: Read-only

31	30	29	28	27	26	25	24
-	-	-	-	-	-	-	-
23	22	21	20	19	18	17	16
-	-	-	-	-	-	-	-
15	14	13	12	11	10	9	8
-	-	-	-	DATA			
7	6	5	4	3	2	1	0
DATA							

- DATA: Converted Data**

The analog-to-digital conversion data is placed into this register at the end of a conversion and remains until a new conversion is completed. The Convert Data Register (CDR) is only loaded if the corresponding analog channel is enabled.

45.7 12-bit ADC Characteristics

Table 45-29. Analog Power Supply Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{DDIN}	ADC Analog Supply	12-bit or 10-bit resolution	2.4	3.0	3.6	V
		10-bit resolution	2.0		3.6	V
$V_{rip(max)}$	Max. Voltage Ripple	RMS value, 10 kHz to 20 MHz			20	mV
I_{VDDIN}	Current Consumption	Sleep Mode		0.1	1	μ A
		Fast Wake Up Mode		1.8	2.6	mA
		Normal Mode (ADC_ACR.IBCTL = 00) ⁽¹⁾		4.7	7.1	mA
		Normal Mode (ADC_ACR.IBCTL = 01) ⁽²⁾		6	9	mA

Notes: 1. Use ADC_ACR.IBCTL = 00 for sampling frequency below 500 kHz.

2. Use ADC_ACR.IBCTL = 01 for sampling frequency between 500 kHz and 1 MHz.

Table 45-30. Channel Conversion Time and ADC Clock

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
f_{ADC}	ADC Clock Frequency		1		22	MHz
t_{CP_ADC}	ADC Clock Period		50		1000	ns
f_S	Sampling Frequency		0.05		1	MHz
t_{START}	ADC Startup time	From OFF Mode to Normal Mode: - Voltage Reference OFF - Analog Circuitry OFF	20	30	40	μ s
		From Standby Mode to Normal Mode: - Voltage Reference ON - Analog Circuitry OFF	4	8	12	
t_{TRACK}	Track and Hold Time	See Section 45.7.2.1 "Track and Hold Time versus Source Output Impedance" for more details	160			ns
t_{CONV}	Conversion Time			20		t_{CP_ADC}
t_s	Settling time to change offset and gain		200			ns

Table 45-31. External Voltage Reference Input

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
ADVREF Input Voltage Range, 12-bit	$2.4V < V_{DDIN} < 3.6V$	2.4		V_{DDIN}	V
ADVREF Input Voltage Range, 10-bit	$2.0V < V_{DDIN} < 3.6V$	2.0		V_{DDIN}	V
ADVREF Current				250	μ A
ADVREF Input DC impedance			14		k Ω

Annexe

B[3]