



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électrotechnique  
Option : Réseaux électriques

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

*Etude et conception d'un wattmètre  
analogique monophasé*

Présenté par :  
BENkHAIRA Adel

Soutenu le : 05 Juin 2017

Devant le jury composé de :

Mr ALLOUI Lotfi	M.C.A	Président
Mr MIMOUNE Sourî-Mohamed	Prof	Encadreur
Mr GHEDIDI Salim	M.A.A	Examineur

Année universitaire : 2016 / 2017

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électrotechnique  
Option : Réseaux électriques

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

*Etude et conception d'un wattmètre  
numérique monophasé*

Présenté par :

BENKHEIRA Adel

Avis favorable de l'encadreur :

MIMOUNE Souri-Mohamed

*Signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

ALLOUI Lotfi

*Signature*

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électrotechnique  
Option : Réseaux électriques

# *Thème :*

## *Etude et conception d'un wattmètre numérique monophasé*

**Proposé par :** BENKHEIRA Adel

**Dirigé par :** MIMOUNE Sour-Mohamed

### **RESUMES (Français et Arabe)**

**Résumé :** Nous avons présenté une étude du wattmètre et son utilisation pour la mesure de puissance électrique, Cette étude nous a aidé dans la réalisation du wattmètre. Nous avons décrit le circuit intégré AD633 qui est un élément essentiel et de base pour la réalisation du wattmètre. Plus d'information sont détaillé dans sa fiche de description. Nous avons essayé de réaliser un wattmètre par les moyens disponibles. Le travail nous semble suffisants main incomplet. Vue plusieurs contraintes, nous nous sommes arrivés à faire des tests directs de mesure de puissance sur un circuit en operation.

**Mot clés :** wattmètre, circuit intégré AS633, mesure de puissance.

**ملخص:** لقد قمنا بدراسة جهاز لقياس الإستطاعة واستخدامه لقياس الطاقة الكهربائية، وقد ساعدت هذه الدراسة في تحقيق هذا الجهاز بطريقة مبسطة. قمنا بوصف الدارة المتكاملة AD633 التي هي ضرورية وأساسية لتحقيق هذا الجهاز. ترد المعلومات القائمة على تقديم وصف له. حاولنا جعله جهاز لقياس الإستطاعة و أن يكون من الوسائل المتاحة. ولكن يبدو أن العمل كاف لكن من ناحية أخرى غير مكتمل.

**الكلمات المفتاحية:** الدائرة المتكاملة AD333, قياس الإستطاعة, جهاز قياس الإستطاعة



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون وستردون﴾

﴿إلى عالم الغيب والشهادة فينبئكم بما كنتم تعملون﴾

سورة التوبة الآية: 106

# دعاء

الحمد لله حمدا كثيرا، نحمده بكرة وأصيلا على كل النعم

ولا يسعنا في ختام هذه المرحلة إلا السجود شكرا لله والدعاء دوما: اللهم لا

تجعلنا نصاب بالغرور إذا نجحنا، ولا باليأس إذا أخفقنا

اللهم إذا أعطيتنا نجاحا فلا تأخذ تواضعنا، وإذا أعطيتنا تواضعا

فلا تأخذ اعتزازنا بكرامتنا..

اللهم إننا نعوذ بك من علم لا ينفع وقلب لا يخشع ونفس لا تشيع ومن دعاء لا

يستجاب له..

أمين يا رب العالمين

## ***DEDICACE***

*Je dédie ce modeste travail.*

*A ma mère avec toute mon affection.*

*A mon père avec toute ma reconnaissance.*

*A mes frères*

*A ma famille*

*A toute mes amies*

## **REMERCIEMENTS**

*Je remercie Allah le tout puissant qui me donne la force à chaque fois de concrétiser mes rêves et de réaliser mes projets.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé à la réussite de mon travail :*

*Pour commencer, mes remerciements s'adressent naturellement à Monsieur MIMOUNE Sourî-Mohamed 'Professeur à l'université de Biskra' d'avoir bien voulu m'encadrer et pour toutes les idées et l'aide qu'il m'a procurés pendant toute la durée de ce mémoire, ainsi que pour son grand encouragement.*

*Ensuite, je tiens à remercier vivement Monsieur ALLOUI Lotfi 'professeur à l'université de Biskra' pour l'intérêt qu'il a porté au travail effectué en acceptant la présidence du jury.*

*Je tiens à présenter mes respectueux et vifs remerciements à Monsieur GHEDIDI Salim 'docteur à l'université de Biskra' de m'avoir honoré en acceptant de faire partie du jury de soutenance.*

*Je ne peux oublier l'ensemble des personnes que j'ai côtoyées pendant mon cursus d'études, qu'elles trouvent ici mes remerciements les plus distingués. Je remercie l'ensemble de ma famille et également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail. J'ai pu apprécier la disponibilité, les conseils ainsi que la gentillesse de mon ami BENHISSEN Mohamed Lamine, Je ne peux lui être que très reconnaissant. Enfin je ne pourrais terminer ces remerciements sans une pensée à l'ensemble de mes enseignants, qu'ils trouvent ici, dans ces lignes, l'expression de ma profonde gratitude.*

# ***LISTE DES TABLEAUX***

## ***Chapitre I : Généralité sur la mesure électrique***

Tableau.I.1	Principaux symboles portés sur le cadran d'un appareil de mesure analogique	17
-------------	---	----

## ***Chapitre III : Multiplicateur analogique AD633 JN***

Tableau.III.1	Caractéristiques du multiplicateur (Ad633)	36
Tableau.III.2	Guide d'emploi	37

## ***Chapitre IV: Réalisation du wattmètre analogique***

Tableau.IV.1	Comparaison de la puissance mesurée et théorique	53
Tableau.IV.2	La puissance mesurée par Voltmètre comparée au à la puissance théorique	59

## ***LISTE DES FIGURES***

### ***Chapitre I : Généralité sur la mesure électrique***

Fig.I.1	Courbe de l'erreur relative instrumentale en fonction de la lecture	8
Fig.I.2	Schéma de principe d'un voltmètre TRMS en mode DC	12
Fig.I.3	Schéma de principe d'un voltmètre TRMS en mode AC	13
Fig.I.4	Schéma de principe d'un ampèremètre TRMS en mode DC	13
Fig.I.5	Schéma de principe d'un ampèremètre TRMS en mode AC	14
Fig.I.6	Classification des résistances selon leur ordre de grandeur	14
Fig.I.7	Montage pour calculer la puissance	14
Fig.I.8	Schéma synoptique d'un appareil numérique	18

### ***Chapitre II: Le Wattmètre***

Fig.II.1	Représentation symbolique du wattmètre	20
Fig.II.2	Montages de mesure de la puissance en courant continu	21
Fig.II.3	Schéma de principe de mesure de la puissance apparente S	23
Fig.II.4	Schéma de principe de la méthode de trois ampèremètres	24
Fig.II.5	Schéma de principe de la méthode de trois voltmètres	25
Fig.II.6	Mesure de la puissance apparente en triphasé	27
Fig.II.7	Graphique montre la méthode de trois wattmètres	28
Fig.II.8	Graphique montre la méthode de deux wattmètres	29
Fig.II.9	Graphique montre la méthode d'un seul wattmètre	
Fig.II.10	Mesure des puissances Q en ligne triphasée à 3 fils.	30
Fig.II.11	Appareil électrodynamique	31
Fig.II.12	Les Wattmètre analogique	32
Fig.II.13	Wattmètre numérique.	32

### ***Chapitre III : Multiplicateur analogique AD633 JN***

Fig.III.1	AD633JN/ (Plomb DIP (N))	34
Fig.III.2	Forfait en plastique (Plomb SOIC (SO-8))	34
Fig.III.3	Réponse à la fréquence	34
Fig.III.4	CMRR en fonction de Fréquence	34
Fig.III.5	Courant de polarisation d'entrée en fonction de la température (X, Y ou Z Inputs)	34
Fig.III.6	Densité spectrale de bruit en fonction de la fréquence	34
Fig.III.7	Gammes de signaux d'entrée et de sortie vs tension d'alimentation	35
Fig.III.8	Passage AC en fonction de la fréquence	35
Fig.III.9	Diagramme de blocs fonctionnels (AD633JN Pin-out montré)	38
Fig.III.10	Configuration optionnelle du décalage offset	39
Fig.III.11	Connexions de multiplicateur de base	39
Fig.III.12	Connexions pour le carré	40
Fig.III.13	Douleur de fréquence	41
Fig.III.14	Connexions pour la racine carré	42
Fig.III.15	Connexions pour la Division	42
Fig.III.16	Facteur de multiplication variable	43

## Liste des Figures

Fig.III.17	Sortie en courant	44
Fig.III.18	Modulateur d'amplitude linéaire	
Fig.III.19	Filtre passe-bas à tension contrôlé	45
Fig.III.20	Filtre passe-haut à tension contrôlée	45

### ***Chapitre IV: Réalisation du wattmètre analogique***

Fig.IV.1	Schéma du AD633JN	46
Fig.IV.2	Schéma de la résistance SAGEM pour mesure de courant	47
Fig.IV.3	Schéma de montage	48
Fig.IV.4	L'ensemble des tensions instantanées	51
Fig.IV.5	L'ensemble des puissances instantanées	52
Fig.IV.6	L'ensemble des puissances moyennes instantanées.	52
Fig.IV.7	Schéma du compteur d'énergie (Wattmètre)	53
Fig.IV.8	Tension d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissance Ps et Psmoy pour U=30V	54
Fig.IV.9	Tension d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissance Ps et Psmoy pour U=40V	55
Fig.IV.10	Tension d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissance Ps et Psmoy pour U=50V	56
Fig.IV.11	Tension d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissance Ps et Psmoy pour U=60V	57
Fig.IV.12	Tension d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissance Ps et Psmoy pour U=70V	58

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

$\Delta X$	l'incertitude absolue.
$\delta X$	l'incertitude relative.
$n$	représentant le nombre de division correspondant à la lecture en divisions
$y \%$	représentant un premier terme proportionnel à la lecture $X$ .
$P$	la puissance.
$I$	le courant.
$i$	courant.
$\varphi$	déphasage.
$R_v$	résistances internes de l'ampèremètre et du voltmètre.
$k$	calibre.
$W$	la puissance mesurer sur le wattmètre.
$\varepsilon\%$	l'erreur.
$V_s$	tension.
$f_1, f_2$	la fréquence.
$R$	résistance.
$C$	capacité.
$X_m$	la moyenne arithmétique

## **RESUME**

**Résumé :** Nous avons présenté une étude du wattmètre et son utilisation pour la mesure de puissance électrique, Cette étude nous a aidé dans la réalisation du wattmètre. Nous avons décrit le circuit intégré AD633 qui est un élément essentiel et de base pour la réalisation du wattmètre. Plus d'information sont détaillé dans sa fiche de description. Nous avons essayé de réaliser un wattmètre par les moyens disponibles. Le travail nous semble suffisants main incomplet. Vue plusieurs contraintes, nous nous sommes arrivés à faire des tests directs de mesure de puissance sur un circuit en opération.

**Mot clés :** wattmètre, circuit intégré AS633, mesure de puissance.

**ملخص:** لقد قمنا بدراسة جهاز لقياس الإستطاعة واستخدامه لقياس الطاقة الكهربائية، وقد ساعدت هذه الدراسة في تحقيق هذا الجهاز بطريقة مبسطة. قمنا بوصف الدارة المتكاملة AD633 التي هي ضرورية وأساسية لتحقيق هذا الجهاز. تردد المعلومات القائمة على تقديم وصفه. حاولنا جعل جهاز لقياس الإستطاعة و أن يكون من الوسائل المتاحة. و لكن يبدو أن العمل كافٍ لكن من ناحية آخر غير مكتمل.

**الكلمات المفتاحية:** الدائرة المتكاملة AD333, قياس الإستطاعة, جهاز قياس الإستطاعة

# SOMMAIRE

## **INTRODUCTION GENERALE.....1**

### **Chapitre I : Généralité sur la mesure électrique**

<b>I.1 Introduction</b>	<b>2</b>
<b>I.2 Généralités de mesure</b>	<b>2</b>
<b>I.3 Méthodes de mesure</b>	<b>2</b>
I.3.1 Les méthodes directes	2
I.3.2 Les méthodes indirectes	2
a) Les méthodes de déviation	3
b) Les méthodes de zéro	3
c) Les méthodes de faux zéro	3
d) Les méthodes d'opposition	3
e) Les méthodes potentiométriques	3
<b>I.4 Causes d'erreurs</b>	<b>3</b>
I.4.1 Nature des erreurs de mesure	3
a) Les erreurs systématiques	4
b) Les erreurs accidentelles ou aléatoires	4
I.4.2 Causes des erreurs de mesure	4
I.4.2.1 Erreurs dues à l'instrument de mesure	4
I.4.2.2 Erreurs dues à l'opérateur	5
I.4.2.3 Erreurs dues à la méthode de mesure	5
<b>I.5 Caractéristiques des instruments de mesure</b>	<b>5</b>
I.5.1 Justesse ou précision	5
I.5.2 Fidélité	5
I.5.3 Gamme de mesure	6
I.5.4 Rapidité, temps de réponse	6
I.5.5 Bande passante	6
I.5.6 Grandeur d'influence et compensation	6
I.5.7 Classe de précision	7
<b>I.6 Les incertitudes de mesures</b>	<b>7</b>
I.6.1 Incertitude absolue instrumentale	9
I.6.2 Incertitude absolue due la lecture	9
I.6.3 Incertitude absolue totale	9
<b>I.7 Approche statistique élémentaire</b>	<b>10</b>
<b>I.8 Règles de calcul général des incertitudes</b>	<b>12</b>
<b>I.9. Mesure</b>	<b>12</b>
I.9.1. Mesure des tensions	13
I.9.1.1 Généralités	13

I.9.2.2 Mesure de courant en alternatif	13
I.9.3 Mesure de résistances	14
I.9.3.1 Les différents types de résistances	14
I.9.3.2 Classification des résistances	14
I.9.4 Mesure de puissance	14
<b>I.10 Les appareils de mesure</b>	<b>15</b>
I.10.1 les appareils de mesure analogiques	15
I.10.1.1 Classifications des appareils à déviation	15
I.10.1.2 Symboles portés sur les cadrans des appareils de mesure analogiques	16
I.10.1.3 Sécurité des appareils de mesure	18
I.10.2 Les appareils de mesure numériques	18
I.10.2.1 Schéma synoptique d'un appareil de mesure numérique	18
I.10.2.2 Vocabulaire propre aux techniques numériques	18
<b>I.11 Conclusion</b>	<b>19</b>

## *Chapitre II: Le Wattmètre*

<b>II.1 Introduction</b>	<b>20</b>
<b>II.2 Le wattmètre</b>	<b>20</b>
II.2.1 Définition	20
II.2.2 Principe de fonctionnement d'un wattmètre	20
II.2.2.1 Mesure de la puissance en courant continu	21
II.2.2.2 Mesure de la puissance en courant alternatif monophasé	22
II.2.2.3 Mesure de la puissance en triphasé	26
II.2.3 Type de wattmètre	30
II.2.3.1 Wattmètre analogique	30
II.2.3.2 Wattmètre numérique	31
II.2.3.3 Avantages du wattmètre numérique sur le wattmètre classique	32

## *Chapitre III : Multiplicateur analogique AD633 JN*

<b>III.1 Introduction</b>	<b>33</b>
<b>III.2 Fonctionnalités</b>	<b>33</b>
<b>III.3 Applications</b>	<b>33</b>
<b>III.4 Général Description</b>	<b>33</b>
<b>III.5 Diagrammes de connexion</b>	<b>34</b>
<b>III.6 Caractéristiques</b>	<b>34</b>
<b>III.7 Performances du produit</b>	<b>35</b>
<b>III.8 Spécification</b>	<b>36</b>
<b>III.9 Classes maximales absolues</b>	<b>37</b>
<b>III.10 Guide d'emploi</b>	<b>37</b>
<b>III.11 Mode d'emploi</b>	<b>37</b>
<b>III.12 Sources d'erreur</b>	<b>38</b>
<b>III.13 Applications</b>	<b>39</b>

III.13.1 Connexions Multiplicateur	39
III.13.2 Quarré et fréquence de doublage	40
III.13.3 Génération de fonctions inverses	41
III.13.4 Facteur d'échelle variable	43
III.13.5 Sortie en courant	43
III.13.6 Modulateur d'amplitude linéaire	44
III.13.7 Filtres passe-bas et passe-haut contrôlés par tension	44
<b>III.14 Conclusion</b>	<b>45</b>

*Chapitre IV: Réalisation du wattmètre analogique*

<b>IV.1 Introduction</b>	<b>46</b>
<b>IV.2 Principe de réalisation du Wattmètre</b>	<b>46</b>
<b>IV.3 Description du dispositif expérimental</b>	<b>48</b>
a) Le générateur de fréquence	48
b) Un oscilloscope numérique à mémoire	49
<b>IV.4 Résultats de mesures</b>	<b>49</b>
IV.4.1 Teste sur L'AD633JN	49
IV.4.2 Teste sur le wattmètre (compteur numérique)	53
<b>VI.5 : Conclusion</b>	<b>59</b>

***CONCLUSION GENERALE.....60***

BIBLIOGRAPHIE

# ***INTRODUCTION GENERALE***

Les appareils de mesure électrique se sont fortement développés dans le monde, parce qu'ils jouent un rôle fondamental dans la protection des dispositifs électriques et des personnes comme ils permettent de connaître le type et la gravité des défauts même faibles que soient et qui peuvent entraîner des dommages néfastes. Pour éviter ces problèmes, la recherche scientifique s'engage à développer des dispositifs de mesure performante.

Les appareils de mesure servent à mesurer les grandeurs électriques telles que la tension (voltmètre), l'intensité de courant (Ampèremètre), la puissance électrique (le Wattmètre), la capacité (Capacimètre), la résistance (Ohmmètre), la fréquence (fréquencemètre). Certains appareils sont regroupés dans un même boîtier de différents appareils élémentaires. On les appelle les multimètres ou contrôleurs universels. On classe les appareils de mesure en deux grands groupes :

- ❖ Les appareils de mesure analogique.
- ❖ Les appareils de mesure numérique.

Les principales caractéristiques de choix de ces appareils sont : le calibre, la résistance interne, l'échelle, la classe.

Le but de ce mémoire, est d'étudier et de réaliser l'un des principaux appareils de mesure à savoir le wattmètre qui est fondamental pour la réalisation d'un compteur d'énergie. Cette tâche n'étant pas facile vue notre profile de spécialité réseaux électriques mais comme même nous avons pu réaliser un wattmètre modéré.

Ce travail est structuré comme suit :

Dans le premier chapitre, on a abordé une série de concepts qui concerne la mesure électrique et dispositifs de mesure électrique.

Un deuxième chapitre est consacré aux types des wattmètres et les différentes méthodes de mesure.

Pour le troisième chapitre on a présente la description de l'élément principal pour la réalisation pratique du wattmètre qui est le multiplicateur de signaux A633 JN.

Dans le dernier chapitre, on a présenté les résultats obtenus du dispositif réalisé le wattmètre. Les résultats sont incomplets mais acceptables.

## **I.1 Introduction**

La mesure est une étape importante dans la plupart des domaines, en particulier dans le domaine du génie électrique car elle nous donne une information sur les grandeurs à traiter pour un éventuel diagnostic, efficacité des dispositifs et la sécurité des installations électriques. Ainsi dans ce chapitre, nous allons aborder une série de concepts qui concernent la mesure électrique dans sa large utilisation.

## **I.2 Généralités de mesure**

La mesure d'une grandeur c'est de comparer cette grandeur avec une autre grandeur de même espèce prise comme une référence. La comparaison des mesures électriques avec d'autres mesures est plus sûre et plus précise. La mesure électrique est plus utilisée pour mesurer plusieurs grandeurs physiques, mécaniques, thermiques, lumineuses etc. Ces grandeurs sont transformées en grandeur électriques qui leur sont proportionnelles.

La mesure électrique permet de résoudre des problèmes de grande importance :

- ❖ Envoyer des informations à grand distance (télémesures).
- ❖ Effectuer des opérations mathématiques sur les grandeurs à mesurer.
- ❖ Effectuer une action directe des dispositifs de mesures sur les machines et les appareils de régulation automatique.

## **I.3 Methodes de mesure**

On distingue les méthodes de laboratoire où l'on prend des précautions appropriées pour réduire les influences des parasites et auxquelles on demande souvent une grande précision, des méthodes industrielles qui permettent d'obtenir des résultats rapidement et par des moyens simples. [1]

Les principales méthodes de mesure sont :

### **I.3.1 Les méthodes directes**

On détermine la valeur de la grandeur mesurée directement de l'appareil de mesure.

Exemple : L'intensité d'un courant mesurée par un ampèremètre.

### **I.3.2 Les méthodes indirectes**

Les déviations de plusieurs appareils de mesure permettent de déterminer la valeur inconnue. En effet, on mesure les grandeurs inconnues par l'application de certaines lois physiques.

Exemple : On peut déterminer la valeur d'une résistance, en application la loi d'Ohm, par la mesure de la tension et du courant qui la traverse.

- a) **Les méthodes de déviation** : on lit la déviation de l'appareil de mesure et cette valeur intervient dans les calculs, comme par exemple la détermination d'une résistance au moyen d'un ohmmètre.
- b) **Les méthodes de zéro** : lorsque le réglage est terminé, aucun courant ne circule dans l'appareil de mesure, et l'on peut alors déterminer la grandeur mesurée par une relation adéquate (l'exemple typique en est la mesure de résistance à l'aide d'un pont de Wheatstone).
- c) **Les méthodes de faux zéro** : lorsque le réglage est terminé, un même courant circule dans l'appareil de mesure lorsque l'on ouvre ou ferme le circuit d'une branche du circuit. On se limite à constater que la déviation de l'appareil de mesure ne varie pas et cela sans en faire la mesure.
- d) **Les méthodes d'opposition** : on oppose une *f.e.m* ou une *d.d.p* à celle existant aux bornes d'une résistance réglable traversée par un courant (mesure précise de tensions).
- e) **Les méthodes potentiométriques** : ce sont des méthodes d'opposition pour lesquelles la valeur numérique de la résistance réglable est un multiple de la tension à mesurer.

## I.4 Causes d'erreurs

Le résultat d'une mesure est toujours entaché d'une imprécision due à des erreurs d'origine diverses. On constate par exemple que :

- ❖ La mesure d'une grandeur dépend de l'appareil utilisé ;
- ❖ La lecture sur un appareil de mesure exige certaines précautions pour éviter, en outre une erreur de parallaxe ;
- ❖ Le branchement d'un appareil de mesure modifie la grandeur que l'on désire mesurer.

Ces quelques considérations suffisent à montrer que toute mesure d'une grandeur est nécessairement imparfaite et comporte une certaine erreur. [1]

### I.4.1 Nature des erreurs de mesure

L'erreur commise lors d'une mesure n'est évidemment jamais connue, sinon on aurait accès à la valeur vraie. Mais il est important de rechercher les causes d'erreur pour essayer de les réduire ou encore estimer la confiance que l'on peut accorder au résultat d'une mesure. [1]

Aussi, on distingue les erreurs en les classant selon leurs natures, on définit alors :

- a) **Les erreurs systématiques** : ce sont des erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique, donc susceptible d'être éliminées par des corrections convenables.

Elles se produisent systématiquement lorsque l'on utilise un instrument de mesure et qui est due par exemple à un mauvais réglage du zéro ou à un étalonnage imparfait.

**b) Les erreurs accidentelles ou aléatoires :** elles obéissent à des lois statistiques car ce sont des erreurs non reproductibles et se produisent de façon imprévisible. Elles résultent d'une fausse manœuvre, d'un mauvais emploi ou d'un dysfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont pas prises en compte dans la détermination de la mesure.

#### **I.4.2 Causes des erreurs de mesure**

Plusieurs causes d'erreur peuvent intervenir dans le résultat d'une mesure, parmi elles trois grandes causes sont prises en considérations. Ce sont les erreurs dues :

- ❖ aux appareils de mesures employés ;
- ❖ à l'opérateur effectuant la mesure ;
- ❖ à la méthode de mesure.[1]

##### **I.4.2.1 Erreurs dues à l'instrument de mesure**

Un appareil de mesure n'est jamais parfait, il présente suivant sa qualité et par suite son prix, des défauts plus ou moins importants. Ces défauts peuvent avoir pour cause la présence de, frottement dans les pivots, un défaut d'équilibrage, l'influence des mesures antérieures ou de grandeurs extérieures telles que la température, un champ magnétique. Il en résulte que l'indication donnée par l'instrument est plus ou moins éloignée de la valeur vraie. [1]

##### **I.4.2.2 Erreurs dues à l'opérateur**

L'opérateur effectuant une mesure, n'est pas plus parfait que l'appareil de mesure qu'il utilise. Il peut, par exemple, serrer insuffisamment une borne assurant une connexion, ou choisir un appareil ou un calibre peu favorable à la mesure.

Mais ces erreurs étant grossières et par suite pouvant être évitées, l'erreur essentielle que commet l'opérateur se situe au niveau de la lecture. En effet pour un appareil à déviation, la lecture se fait en repérant la position d'une aiguille devant une graduation, or l'aiguille s'immobilise en général entre deux traits de la graduation. Il en résulte forcément une erreur, l'opérateur étant obligé à estimer une fraction de division.

Mais, l'opérateur peut également commettre une erreur supplémentaire, s'il ne se place pas à la verticale de l'aiguille pour un appareil placé horizontalement. Cette erreur, de nature accidentelle, est dite erreur de parallaxe.

A l'ensemble de ces causes correspond l'erreur de lecture de nature accidentelle, mais il est à noter qu'il peut se produire une erreur systématique, il suffira que l'opérateur occupe une mauvaise position pour effectuer toute les lectures.

Remarquons également que théoriquement, un appareil à affichage numérique n'entraîne aucune erreur de lecture. [1]

### **I.4.2.3 Erreurs dues à la méthode de mesure**

L'introduction d'un appareil de mesure dans un circuit électrique en perturbe nécessairement le fonctionnement et ainsi il apparait une erreur sur la grandeur que l'on désire connaître.

Par exemple :

- l'utilisation d'un ampèremètre, en série dans un circuit, modifie l'intensité du courant.
- le branchement d'un voltmètre, en parallèle avec un élément, modifie la tension entre ses bornes.

De nombreuses méthodes de mesure entraînent ainsi une erreur qui se produit nécessairement quelle que soit l'habileté de l'opérateur et les qualités des instruments. Il s'agit d'une erreur systématique qu'il est possible de calculer.

On remarque qu'avec des appareils suffisamment performants, la plupart des méthodes entraîne une erreur négligeable devant les autres erreurs. [1]

## **I.5 Caractéristiques des instruments de mesure**

### **I.5.1 Justesse ou précision**

On dit qu'un appareil est d'autant plus juste que l'erreur qu'il commet est plus faible, ainsi la justesse est une qualité essentielle d'un instrument de mesure. [1]

### **I.5.2 Fidélité**

Un appareil de mesure est d'autant plus fidèle qu'il fournit des indications plus voisines lorsque l'on effectue plusieurs mesures de la même grandeur immuable, même si ces mesures sont éloignées dans le temps.

### **I.5.3 Gamme de mesure**

La gamme de mesure, ou étendue de mesure, est l'ensemble des valeurs du mesurande pour les quelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte.

Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée pleine échelle.

#### **I.5.4 Rapidité, temps de réponse**

C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à suivre les variations de la grandeur à mesurer.

Dans le cas d'un échelon de la grandeur entraînant la croissance de la mesure, on définit le temps de réponse à 10% : c'est le temps nécessaire pour que la mesure croisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à rester entre 90 % et 110 % de la variation totale.

#### **I.5.5 Bande passante**

La bande passante est de la bande de fréquence pour laquelle le gain de l'instrument de mesure est compris entre deux valeurs.

#### **I.5.6 Grandeur d'influence et compensation**

On appelle grandeur d'influence, toutes les grandeurs physiques autres que la grandeur à mesurer, susceptibles de perturber la mesure. Généralement, la température est la grandeur d'influence qui est le plus souvent rencontré.

#### **I.5.7 Classe de précision**

La classe de précision est donnée par le constructeur de l'appareil, elle exprime l'imperfection des appareils de mesure.

La classe de précision d'un appareil de mesure correspond à la valeur en % du rapport entre la plus grande erreur possible sur l'étendue de mesure :

$$Classe(\%) = 100. \frac{\textit{plus grand erreur possible}}{\textit{étendue de mesure}} \quad (\text{I.1})$$

Cette indication se trouve, en général, sur l'appareil ou dans le catalogue, les valeurs usuelles sont en général : 0.1 ; 0.2 ; 0.5 ; 1 ; 2 ou 2.5

Ainsi, connaissant la classe de précision d'un appareil, qui est la même pour tous ses calibres, il est possible de calculer l'incertitude  $\Delta X$  sur une mesure effectuée avec cet appareil :

$$\Delta X = \frac{Classe}{100} . Calibre \quad (\text{I.2})$$

Pour les appareils numériques, les constructeurs définissent la résolution par la formule suivante :

$$\text{Re solution} = \frac{\text{Camme de mesure}}{\text{nombre de point s la mesure}} \quad (\text{I.2})$$

## I.6 Les incertitudes de mesures

On appelle incertitude de mesure  $\Delta X$ , la limite supérieure de la valeur absolue de l'écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte du mesurande. En pratique, on ne peut qu'estimer cette incertitude.

On distingue deux types d'incertitudes :

- l'incertitude absolue  $\Delta X$ , exprimée dans la même unité que la grandeur mesurée
- l'incertitude relative ( $\delta X = \Delta X / X$ ), exprimée généralement en pourcentage (%). [1]

### I.6.1 Incertitude absolue instrumentale

L'incertitude instrumentale est l'incertitude due à l'appareil de mesure. Elle est fonction de la précision de l'appareil et elle est présentée de la manière suivante :

Pour un appareil à déviation :

$$\Delta X_{inst} = \frac{\text{Classe} \cdot \text{Calibre}}{100} \quad (\text{I.3})$$

L'incertitude relative peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{\Delta X_{inst}}{X} = \frac{\text{Classe}}{100} \cdot \frac{\text{Calibre}}{X} \quad (\text{I.4})$$

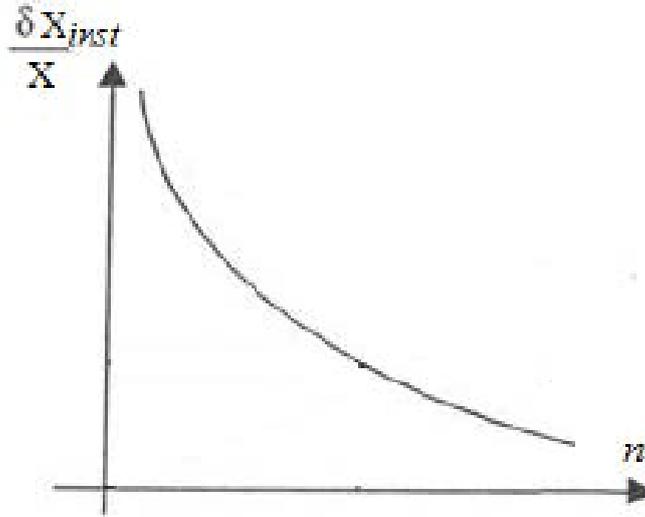
Or le rapport (Calibre / X) est égal au quotient du nombre total de divisions de la graduation par le nombre de division correspondant à la lecture, d'où l'expression :

$$\frac{\Delta X_{inst}}{X} = \frac{\text{Classe}}{100} \cdot \frac{\text{Echelle}}{\text{Lecture}} \quad (\text{I.5})$$

L'expression de l'incertitude relative, calculée à partir de la lecture et du nombre total de déviation, montre que la courbe  $(\delta X_{inst})=f(n)$ , n représentant le nombre de division correspondant à la lecture en divisions, est une hyperbole équilatérale identique pour tous les calibres (figure 1.), il en résulte que :

- ❖ dans la première moitié de la graduation l'incertitude relative prend une valeur élevée et souvent inadmissible ;

- ❖ pour utiliser au mieux un appareil de mesure, il faut le brancher sur le calibre correspondant à la plus grande déviation possible.



**Fig.I.1 :** Courbe de l’erreur relative instrumentale en fonction de la lecture.

Pour les appareils à affichage numérique, la notion de classe n’est pas définie, mais les constructeurs fournissent une indication sur la précision qui nous permet de calculer l’incertitude totale sur la mesure. L’incertitude est très souvent donnée en % de la lecture plus ou moins une constante exprimée en unités ou en digits de la manière suivante :

$$\Delta X = y \% + z \text{ unités} \tag{I.6}$$

$y \%$  représentant un premier terme proportionnel à la lecture  $X$ .

Le coefficient  $z$  représente le second terme constant et égal à :

$$z = \frac{\text{Gamme utilisée}}{\text{nombre de points de l'appareil}} \tag{I.7}$$

En général  $z$  a pour valeur : 0.5 ; 1 ou quelques unités.

Dans l’expression de l’incertitude absolue, le second terme est en général le plus important et comme il est de la forme (Gamme / Nombre de points) on a intérêt, pour faire une mesure, à choisir la plus petite gamme possible.

**Remarque :** Pour les appareils à affichage numérique, il n’est pas tenu de calculer l’incertitude sur la lecture due à l’opérateur, cette incertitude est déjà prise en considération dans la précision de l’appareil. [1]

**I.6.2 Incertitude absolue due la lecture**

Cette incertitude est due à la lecture de l'opérateur, notée  $\Delta X_{opérat}$ , elle est calculée en admettant que le quart de division est estimable, ce qui est relativement aisé, on a donc : [1]

$$\Delta X_{opérat} = \frac{1}{4} \cdot \text{division} \quad (\text{I.8})$$

Soit en utilisant la même unité que la grandeur mesurée :

$$\Delta X_{opérat} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\text{Calibre}}{\text{Echelle}} \quad (\text{I.9})$$

Quant à l'incertitude relative, elle peut s'écrire :

donc :

$$\delta X_{opérat} = \frac{\Delta X_{opérat}}{X} = \frac{1}{4 \cdot \text{Lecture}} \quad (\text{I.10})$$

Elle est inversement proportionnelle à la lecture en divisions, si bien, que là encore, on a intérêt à choisir le calibre correspondant à la plus grande déviation possible.

**I.6.3 Incertitude absolue totale**

Cette incertitude, notée  $\Delta X_{totale}$ , est la somme des incertitudes instrumentale, due à l'opérateur et à la méthode employée :

❖ pour les appareils à déviation :

$$\Delta X_{totale} = \Delta X_{inst} + \Delta X_{opérat} + \Delta X_{méth} \quad (\text{I.11})$$

❖ pour les appareils à affichage numérique :

$$\Delta X_{totale} = \Delta X_{inst} + \Delta X_{méth} \quad (\text{I.12})$$

**I.7 Approche statistique élémentaire**

Si on répète plusieurs fois, dans les mêmes conditions, la mesure d'une grandeur  $X$ , les nombres  $X_i$  que l'on obtient sont, en général, légèrement différents. On adopte couramment pour la valeur approchée  $X_m$  la moyenne arithmétique des différents nombres  $X_i$  :

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (\text{I.13})$$

où  $n$  est le nombre de mesures effectuées.

L'incertitude absolue est alors, en première approximation :  $\Delta X = \max |X_i - X_m|$

## I.8 Règles de calcul générales des incertitudes

Supposons que des mesures ont données des valeurs  $x$ ,  $y$  et  $z$  avec des incertitudes absolues instrumentales  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  et  $\Delta z$ . Considérons la fonction  $f(x, y, z)$  dont on veut calculer  $\Delta f$ .

*1ère étape* : Exprimer la différentielle :

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial f}{\partial z} \cdot dz \quad (\text{I.14})$$

*2ème étape* : Calcule  $\Delta f$ , en faisant une majoration de la différentielle  $df$  :

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \cdot \Delta y + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \right| \cdot \Delta z \quad (\text{I.15})$$

Lorsque la fonction  $f$  se présente sous forme d'un produit ou d'un quotient, on est conduit à des calculs un peu plus simples en utilisant la différentielle logarithmique.

Exemple :

$$f(x, y) = \frac{x + y}{x \cdot y} \quad (\text{I.16})$$

*1ère étape* : Expression de la différentielle :

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot dy = \frac{y^2}{(x + y)^2} \cdot dx + \frac{x^2}{(x + y)^2} \cdot dy \quad (\text{I.17})$$

*2ème étape* : on calcule  $\Delta f$

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \cdot \Delta y = \frac{y^2}{(x + y)^2} \cdot \Delta x + \frac{x^2}{(x + y)^2} \cdot \Delta y \quad (\text{I.18})$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{y}{(x+y)} \cdot \frac{\Delta x}{x} + \frac{x}{(x+y)} \cdot \frac{\Delta y}{y} \quad (\text{I.19})$$

➤ *Règles de calcul particulières*

**Somme :**

$$f(x, y) = x + y \Rightarrow df = dx + dy \Rightarrow \Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y} \quad (\text{I.20})$$

**Différence :**

$$f(x, y) = x - y \Rightarrow df = dx - dy \Rightarrow \Delta f = \Delta x - \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x - \Delta y}{x - y} \quad (\text{I.21})$$

*Dans le cas d'une somme ou une différence, les incertitudes absolues s'ajoutent.*

**Produit :**

$$f(x, y) = x \cdot y \Rightarrow df = y \cdot dx + x \cdot dy \Rightarrow \Delta f = y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} \quad (\text{I.22})$$

**Quotient :**

$$f(x, y) = \frac{x}{y} \Rightarrow df = \frac{1}{y} \cdot dx - \frac{x}{y^2} \cdot dy \Rightarrow \Delta f = \frac{1}{y} \cdot \Delta x - \frac{x}{y^2} \cdot \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x}{x} - \frac{\Delta y}{y} \quad (\text{I.23})$$

*Dans le cas d'un produit ou d'un quotient les incertitudes relatives s'ajoutent [1]*

## I.9. Mesure

### I.9.1. Mesure des tensions

#### I.9.1.1 Généralités

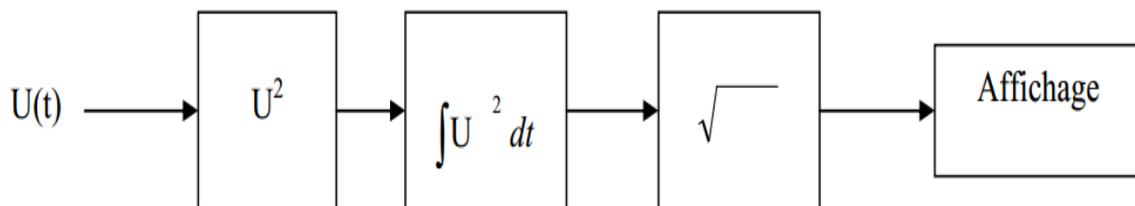
Pour mesurer la tension  $U_{AB}$  aux bornes d'un récepteur, il faut brancher un voltmètre entre les points A et B (le point A est relié à la borne marquée V ou (+) et le point B est relié à la borne marquée « com » ou (-)). [2]

#### ➤ Mesure de tension en courant alternatif :

En courant alternatif on a besoin souvent de la valeur efficace du signal mesuré. Pour cela on peut utiliser un voltmètre de type ferromagnétique ou magnétoélectrique avec redresseur lorsque le signal mesuré est de type sinusoïdal ou un voltmètre numérique.

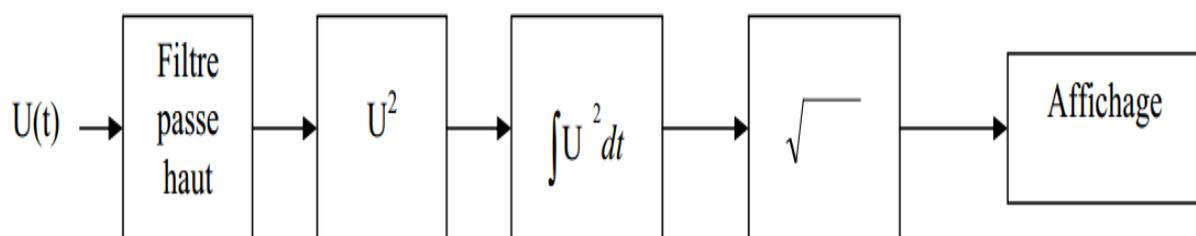
Pour les voltmètres numériques de type TRMS, on distingue deux modes de couplage :

**Mode DC** : Le voltmètre indique la valeur efficace du signal mesuré selon l'algorithme suivant : [2]



**Fig.I.2** : schéma de principe d'un voltmètre TRMS en mode DC.

**Mode AC** : Le voltmètre indique la valeur efficace de la composante alternative du signal à mesuré, c'est à dire il élimine en premier lieu la composante continue du signal, puis affiche la valeur efficace de la composante alternative selon l'algorithme suivant :



**Fig.I.3** : schéma de principe d'un voltmètre TRMS en mode AC.

## I.9.2 Mesure des courants (ampèremètres)

### I.9.2.1 Généralités

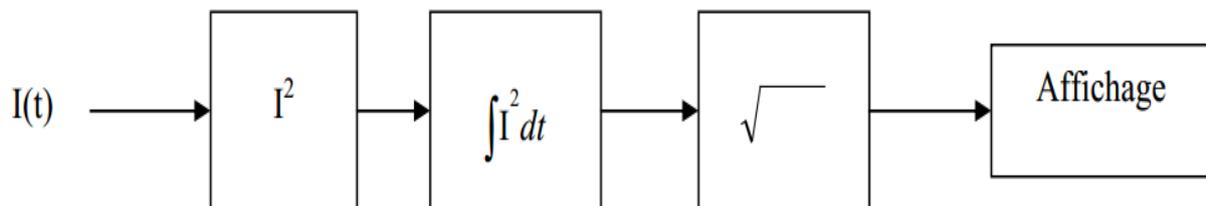
Un ampèremètre se branche en série dans un circuit électrique, cela veut dire qu'il faut ouvrir le circuit pour intercaler l'ampèremètre entre les deux points d'ouverture en respectant le sens de branchement. En effet, le courant doit entrer dans l'ampèremètre par la borne marqué **A** (ou **mA** ou **+**) et ressortir par la borne commune marquée **com** ou **(-)**. [2]

### I.9.2.2 Mesure de courant en alternatif :

En courant alternatif on a besoin souvent de la valeur efficace du signal mesuré. Pour cela on peut utiliser un ampèremètre de type ferromagnétique ou magnétoélectrique avec redresseur lorsque le signal mesuré est de type sinusoïdal ou un ampèremètre numérique.

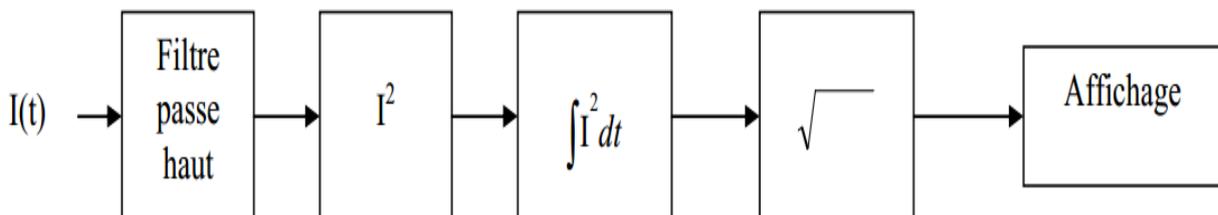
Pour les ampèremètres numériques de type TRMS, on distingue deux modes de couplage : [2]

**Mode DC** : L'ampèremètre indique la valeur efficace du signal mesuré selon l'algorithme suivant :



**Fig.1.4** : Schéma de principe d'un ampèremètre TRMS en mode DC.

**Mode AC** : L'ampèremètre indique la valeur efficace de la composante alternative du signal à mesuré, c'est à dire il élimine en premier lieu la composante continu du signal, puis affiche la valeur efficace de la composante alternative selon l'algorithme suivant : [2]



**Fig.I.5** : Schéma de principe d'un ampèremètre TRMS en mode AC.

### I.9.3 Mesure de résistances :

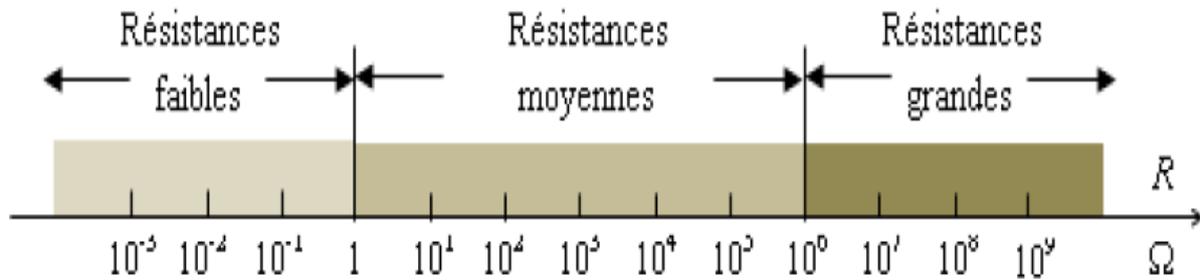
#### I.9.3.1 Les différents types de résistances

Il est possible de classer les résistances en trois catégories :

- ❖ Les résistances des conducteurs passifs (dites résistances mortes).
- ❖ Les résistances des dipôles actifs
- ❖ Les résistances parasites, comme les résistances d'isolement

#### I.9.3.2 Classification des résistances

La méthode de mesure d'une résistance dépend de la précision avec laquelle on veut la connaître, mais surtout de son ordre de grandeur. Il en découle un classement approximatif mais pratique partageant les résistances en trois catégories selon leur valeur: les résistances faibles, les résistances moyennes et les résistances grandes (figure. I. 6). [1]



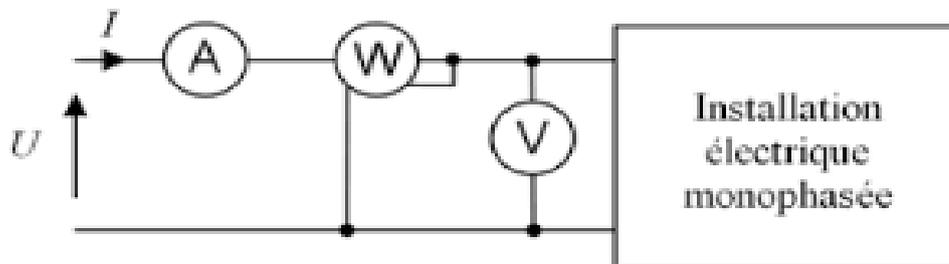
**Fig.I.6:** Classification des résistances selon leur ordre de grandeur (2)

#### I.9.4 Mesure de puissance

La mesure de la puissance fait appel à un appareil de type électrodynamique, qui est le wattmètre.

Dans une résistance alimentée en courant continu, la puissance dissipée est égale au produit du courant qui la traverse par la différence de potentiel entre ses extrémités.

$$P = U.I$$



**Fig.I.7 :** montage pour calculer la puissance

## I.10 Les appareils de mesure

### I.10.1 les appareils de mesure analogiques

Un appareil de mesure comprend généralement un ou plusieurs inducteurs fixes (aimant permanent ou électroaimant) agissant sur un équipage à cadre mobile autour d'un axe fixe.

#### I.10.1.1 Classifications des appareils à déviation

La classification usuelle des appareils à déviation utilise la nature du phénomène physique qui régit le fonctionnement de l'appareil. On distingue plusieurs types d'appareils, dont les principaux types sont : [2]

##### a) Appareil magnéto électrique ( )

L'inducteur fixe est un aimant fixe en forme de U, la déviation de l'aiguille est proportionnelle au courant moyen duit traverse une bobine placée à l'intérieur du champ magnétique créé par l'aimant fixe.

##### b) Appareil ferromagnétique ( )

Le principe de fonctionnement d'un appareil ferromagnétique est basé sur l'action d'un champ créé par un circuit parcouru par un courant sur une ou plusieurs pièces de fer doux et dont certaines sont mobiles. On distingue deux types d'appareils : à attraction ou à répulsion.

Pour le type d'appareil à attraction, le principe utilisé est l'action magnétique produite par une bobine fixe traversée par un courant sur une palette en fer doux (organe mobile) montée sur deux pivots. Cet équipage mobile est muni d'une aiguille et d'un dispositif d'amortissement.

Pour le type d'appareil à répulsion, le champ magnétique créé par la bobine fixe agit sur deux palettes placées dans ce champ qui subissent une aimantation de même sens. La répulsion des deux palettes fait dévier l'aiguille.

Un appareil ferromagnétique est très simple à construire, robuste, utilisable en courant continu et en alternatif. La graduation de son échelle est non linéaire.

##### c) Appareil électrodynamique ( )

Un appareil électrodynamique est formé principalement par un circuit fixe (généralement deux demi bobines) créant un champ magnétique à l'intérieur duquel se déplace un cadre mobile de faible inertie monté sur deux pivots et entraînant une aiguille.

Les appareils électrodynamiques sont non polarisés. Ils sont utilisables en courant continu et en courant alternatif. Ils sont généralement utilisables pour la fabrication des wattmètres.

*d) Appareil électrostatique* (  )

Ce type d'appareils est caractérisé par une force exercée par l'armature fixe d'un condensateur sur son armature mobile. Ce type d'appareils est toujours utilisé en voltmètre. Lorsqu'on applique une tension entre les deux plaques de cet appareil, l'une se charge positivement et l'autre négativement, ce qui produit une force d'attraction qui tend à faire tourner la plaque mobile qui est solidaire d'une aiguille. Ils sont utilisables en courant continu et en courant alternatif et possèdent une échelle non linéaire.

*e) Appareil thermique* (  )

Le principe de fonctionnement de ce type d'appareils est basé sur la dilatation d'un fil conducteur qui s'échauffe lors du passage d'un courant électrique d'intensité I. Cet effet est la conséquence directe de la puissance dissipée par effet joule dans le fil à dilatation. Le fil à dilatation utilisée est généralement en bronze ou un alliage platine et argent.

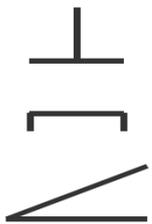
Les appareils thermiques sont non polarisés, utilisable en courant continu et en courant alternatif.

**I.10.1.2 Symboles portés sur les cadrans des appareils de mesure analogiques**

Sur le cadran d'un appareil de mesure analogique, le constructeur indique souvent, le type d'appareil, la nature du courant, la tension d'épreuve diélectrique, la position de lecture, la classe de précision, la sensibilité etc...

Dans le tableau 1, on résume les principaux symboles trouvés pour la plus part des appareils :

**Tableaux.I.1 :** Principaux symboles portés sur le cadran d'un appareil de mesure analogique.

<i>Symbole</i>	<i>Signification</i>
	<p><b>Nature du courant :</b></p> <p>Courant continu</p> <p>Courant alternatif</p> <p>Courant continu et alternatif</p>
	<p><b>Tension d'isolement</b> entre les deux bornes de l'appareil est 2 KV</p> <p><b>Tension d'isolement</b> entre les deux bornes de l'appareil est 500 V</p>
	<p><b>Position de lecture :</b></p> <p>Verticale</p> <p>Horizontale</p> <p>Inclinée</p>
<p>20 Hz .... 500 Khz</p>	<p><b>Bande de fréquence</b> dans la quelle L'appareil peut fonctionner correctement</p>
<p>0.5</p> <p>1</p> <p>2</p>	<p><b>Classe de précision</b> de l'appareil est de 0.5% du calibre</p> <p><b>Classe de précision</b> de l'appareil est de 1% du calibre</p> <p><b>Classe de précision</b> de l'appareil est de 2% du calibre</p>

### I.10.1.3 Sécurité des appareils de mesure

Les appareils de mesure doivent être conformes aux normes de sécurité qui leur sont applicables et doivent porter le marquage CE qui atteste la conformité à la directive CEM et à la directive basse tension. Le marquage de l'appareil doit comporter :

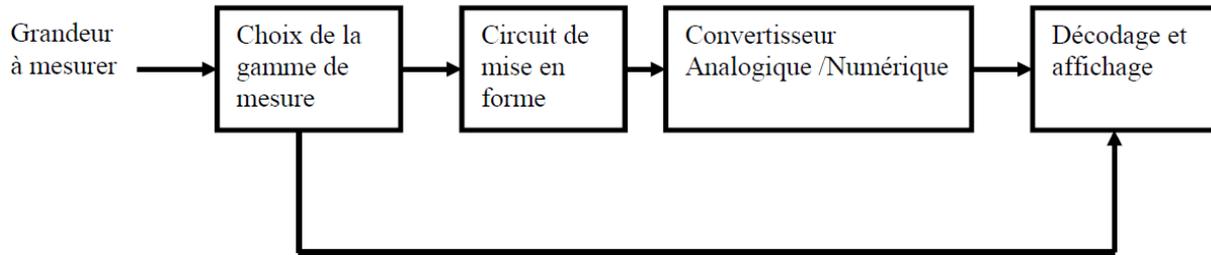
- ❖ La valeur assignée de la tension phase - neutre,
- ❖ La catégorie d'installation,
- ❖ Le degré de pollution.

**CEM :** signifie compatibilité électromagnétique.

## I.10.2 Les appareils de mesure numériques

### I.10.2.1 Schéma synoptique d'un appareil de mesure numérique

Le schéma synoptique général d'un appareil de mesure numérique est donné par le schéma fonctionnel suivant :



**Fig.I.8 :** Schéma synoptique d'un appareil numérique

### I.10.2.2 Vocabulaire propre aux techniques numériques

Les appareils de mesure numériques sont de plus en plus utilisés du fait de leur fiabilité, leur précision, leur robustesse et leur facilité de lecture. Ils sont aussi de moins en moins onéreux et deviennent même compétitifs avec les appareils analogiques de bas de gamme. Les principales définitions utilisées par les constructeurs des appareils numériques sont :

Information : Ce terme désigne la donnée physique à l'entrée de l'appareil

- ❖ **Signal** : C'est la grandeur électrique (courant ou tension) image de l'information.
- ❖ **Capteur** : C'est le dispositif qui saisit l'information et la transforme en un signal exploitable par l'appareil de mesure. (Exemple : le microphone est un capteur qui transforme le son en un signal électrique)
- ❖ **Nombre de points** : (N) Il correspond au nombre de valeurs différentes que peut afficher l'appareil dans une gamme de mesure (exemple : pour un appareil à 4 afficheurs, le nombre de points de mesure est  $N = 10^4$ ).
- ❖ **Pas de quantification** : (q) la plus petite valeur différente de 0 dans la gamme de mesure (exemple : pour un appareil de mesure à 4 afficheurs, utilisé dans la gamme de 10 V, le pas de quantification est  $q = 10/N = 1 \text{ mV}$ ).
- ❖ **Digit** : Désigne le dispositif qui affiche tous les chiffres de 0 à 9 de même poids dans un nombre. [2]

**I.11 Conclusion**

Les appareils numériques sont de plus en plus utilisés. Il ne faut pas s'imaginer que les appareils analogiques vont disparaître complètement. Dans la pratique, le technicien aura à sa disposition durant plusieurs années les deux types d'appareils. En général leur coût est moins élevé que celui de leurs homologues numériques. Enfin un certains nombres d'utilisateurs préfèrent l'affichage par aiguille que par valeur numérique.

**II.1 Introduction**

La Mesure électrique est une étape importante pour la protection des dispositifs électriques et les installations industrielles. Dans ce contexte, nous aborderons dans ce chapitre l'un des principaux appareils électriques de mesure, à savoir le Wattmètre.

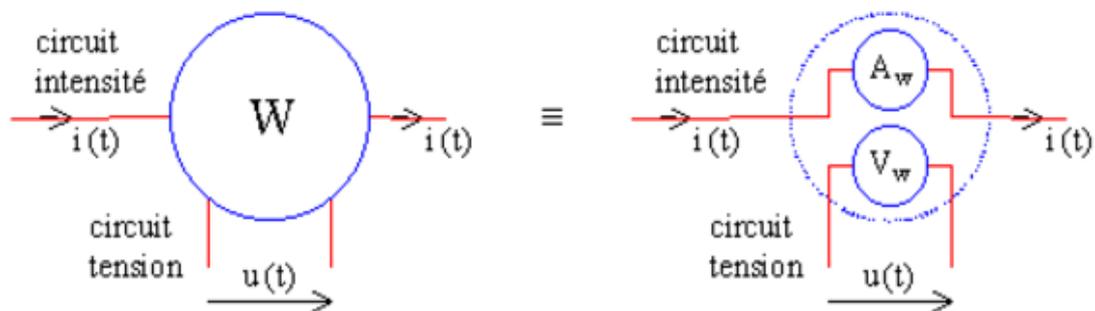
**II.2 Le wattmètre**

**II.2.1 Définition**

Un wattmètre mesure la puissance moyenne consommée par un dipôle, par la mesure simultanée de l'intensité qui le traverse et de la tension à ses bornes.

Ces grandeurs peuvent être non sinusoïdales et même non alternatives. En régime sinusoïdal, les mesures simultanées de la puissance P, de la tension efficace U et de l'intensité efficace I permettent de calculer le facteur de puissance  $\cos \varphi$  où  $\varphi$  est le déphasage entre intensité et tension, par la relation (II.1) : [3]

$$P = U.I.\cos(\varphi) \tag{II.1}$$



**Fig.II.1:** Représentation symbolique du wattmètre.

**II.2.2 Principe de fonctionnement d'un wattmètre**

Par construction un wattmètre indique la valeur moyenne du produit de l'intensité  $i(t)$  du courant traversant son circuit intensité par la différence de potentiel  $u(t)$  aux bornes de son circuit tension.

Dans le cas où les deux grandeurs sont sinusoïdales et de même fréquence,

$$\begin{cases} i(t) = I.\sqrt{2}.\cos(\omega t) \\ u(t) = U.\sqrt{2}.\cos(\omega t - \varphi) \end{cases} \tag{II.2}$$

La puissance indiquée par le wattmètre est :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t).i(t)dt \quad (II.3)$$

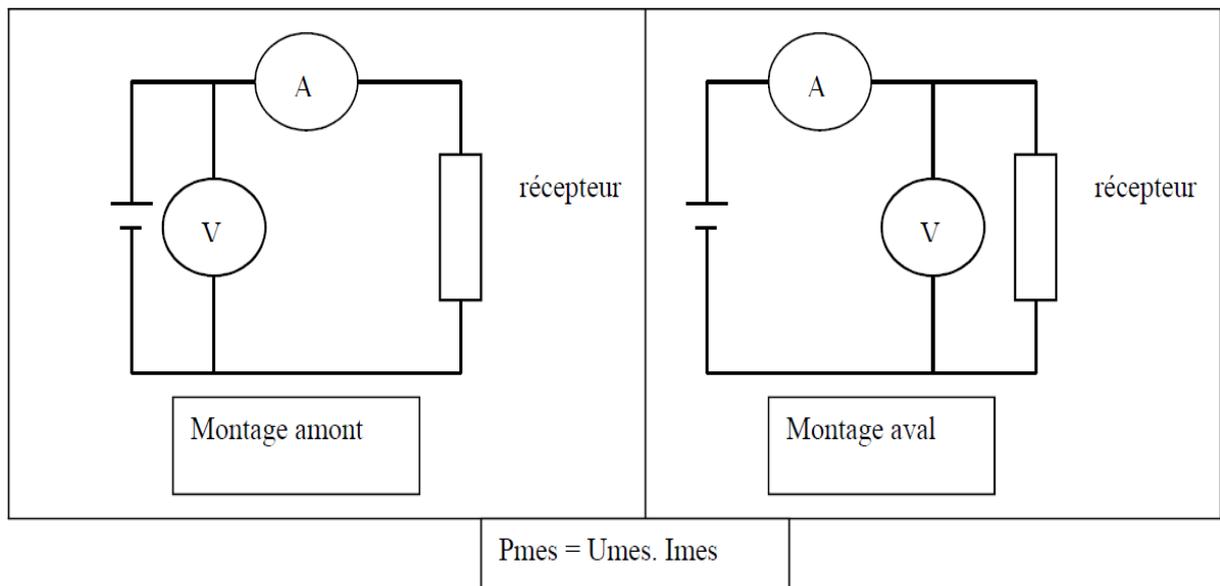
En courant continu  $P=U.I$  et en courant alternatif  $P=U.I.\cos(\varphi)$  En courant alternatif, si  $\varphi \geq \frac{\pi}{2}$  la puissance P indiquée par le wattmètre est négative et l'aiguille dévie dans

Le sens négatif de l'échelle. Dans cette situation, il faut permuter les deux bornes du circuit tension.[2]

**II.2.2.1 Mesure de la puissance en courant continu :**

*a) Méthode volt-ampérométrique*

La puissance fournie à un une portion de circuit AB, ou un récepteur est exprimée par la relation  $P = U.I$ .→Donc pour mesurer cette puissance on utilise un ampèremètre pour mesurer I et un voltmètre pour mesurer U selon deux cas de montages (montage amont et montage ava) :[2]



**Fig.II.2 :** Montages de mesure de la puissance en courant continu.

La précision de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure et du mode du branchement de ces appareils (montage amont et montage aval). En effet :

**Pour le montage amont :**

$$P_{mes} = U_{mes} \cdot I_{mes} = P + r_a \cdot I^2 \Rightarrow \Delta P_{méthode} = r_a \cdot I^2 \quad (\text{II.4})$$

**Pour le montage aval :**

$$P_{mes} = U_{mes} \cdot I_{mes} = P + \frac{U^2}{R_v} \Rightarrow \Delta P_{méthode} = \frac{U^2}{R_v} \quad (\text{II.5})$$

$R_a$  et  $R_v$  : résistances internes de l'ampèremètre et du voltmètre.

L'incertitude instrumentale de la puissance est :

$$\Delta P_{instrument} = \left( \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \right) \quad (\text{II.6})$$

L'incertitude totale sur la puissance est

$$\Delta P_{tot} = \Delta p_{méthode} + \Delta P_{instrument} \quad (\text{II.7})$$

- **Méthode directe :**

Pour cette méthode on utilise un wattmètre pour mesurer la puissance selon deux cas de montages (montage amont et montage aval) :

- ❖ Pour le montage amont :

$$\Delta P_{tot} = (class \cdot calibreU \cdot calibreI / 100) + r'_a \cdot I^2 \quad (\text{II.8})$$

- ❖ Pour le montage aval :

$$\Delta P_{tot} = (class \cdot calibreU \cdot calibreI / 100) + \frac{U^2}{R'_v} \quad (\text{II.9})$$

avec  $r'_a$  et  $R'_v$  : résistances internes du circuit intensité et circuit tension du wattmètre.

### **I.2.2.2 Mesure de la puissance en courant alternatif monophasé :**

Les expressions des puissances en courant alternatif sont données par les relations suivantes :

$S = V \cdot I$  [VA] : puissance apparente,

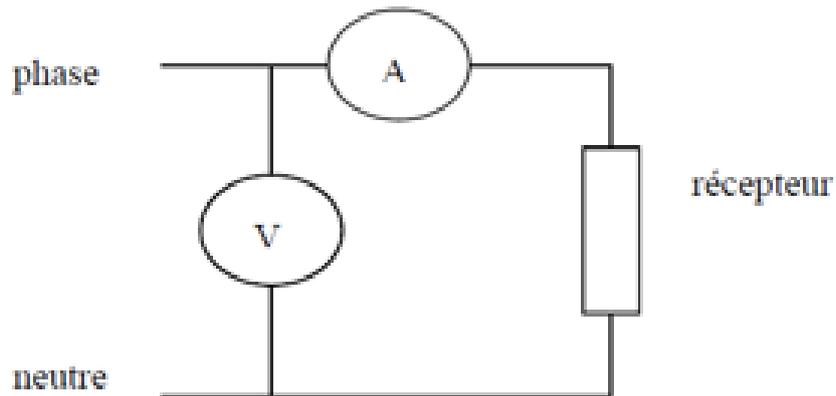
$P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$  [W] : puissance active

$Q = V \cdot I \cdot \sin(\varphi)$  [VAR] : puissance réactive

avec  $V$  et  $I$  : valeurs efficaces de la tension simple (entre phase et neutre) et du courant absorbé par le récepteur,  $\varphi$  étant le déphasage entre le courant et la tension.

**a) Mesure de  $S$**

Pour mesurer la puissance apparente  $S$ , il faut utiliser un ampèremètre et un voltmètre pour mesurer les valeurs efficaces du courant et de la tension selon le schéma de montage suivant (voir figure.II.3).



**Fig.II.3 :** Schéma de principe de mesure de la puissance apparente  $S$ .

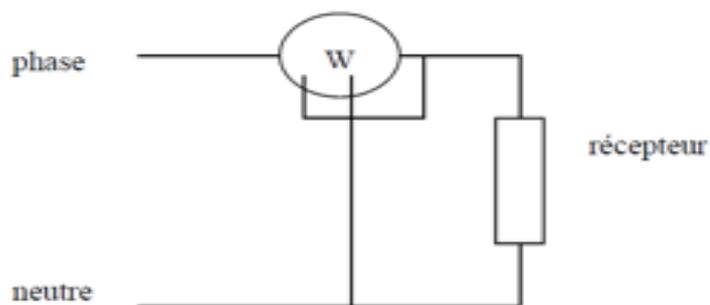
$$S_{mes} = V_{mes} \cdot I_{mes} \tag{II.10}$$

La précision de mesure de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure.

**b) Mesure de  $P$**

- **Méthode directe :**

Pour mesurer  $P$ , il suffit de brancher un wattmètre selon le montage aval (voir figure)



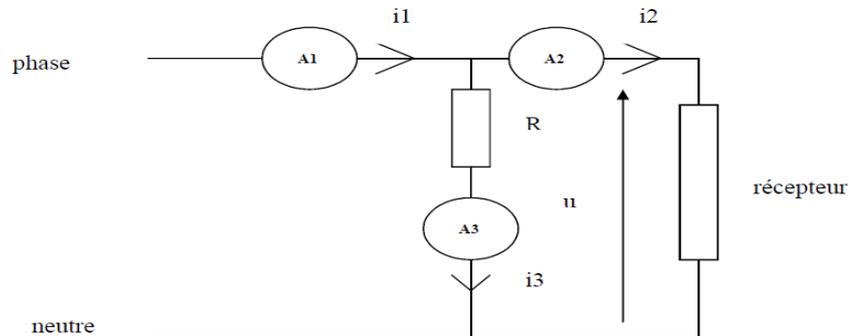
**Fig.II.4 :** Schéma de principe de mesure de la puissance active  $P$  par la méthode directe

$$P_{mes} = K \cdot \text{Lecteur} \tag{II.11}$$

La précision de cette méthode dépend de la précision du wattmètre utilisé.[2]

- **Méthode de trois ampèremètres**

Le principe de cette méthode consiste à brancher trois ampèremètres suivant la configuration de la figure 20 où R représente une résistance étalon de grande précision.



**Fig.II.5 :** Schéma de principe de la méthode de trois ampèremètres

Si  $i_1$ ,  $i_2$  et  $i_3$  désignent les valeurs instantanées des courants circulant dans les trois ampèremètres, on peut écrire :

$$\begin{cases} p = u.i_3 \\ i_1 = i_2 + i_3 \text{ et } i_1^2 = (i_2 + i_3)^2 = i_2^2 + i_3^2 + 2i_2.i_3 = i_2^2 + i_3^2 + 2i_3 \cdot \frac{u}{R} = i_2^2 + i_3^2 + 2 \frac{p}{R} \\ i_2 = \frac{u}{R} \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

Or la puissance active d'un récepteur est donnée par :

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{R}{2T} \int_0^T (i_1^2 - i_2^2 - i_3^2) dt \quad (\text{II.13})$$

$$p = \frac{R}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2) \quad (\text{II.14})$$

avec  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  les valeurs efficaces des courants  $i_1$ ,  $i_2$  et  $i_3$ .

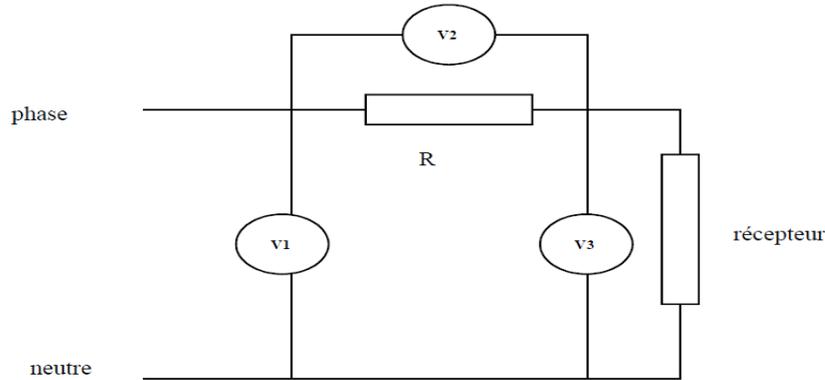
La précision de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure utilisés et de la résistance étalon R, ce qui rend cette méthode peut préciser. En effet :

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{2I_1^2}{|2I_1^2 - 2I_2^2 - 2I_3^2|} \cdot \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{2I_2^2}{|2I_1^2 - 2I_2^2 - 2I_3^2|} \cdot \frac{\Delta I_2}{I_2} + \frac{2I_3^2}{|2I_1^2 - 2I_2^2 - 2I_3^2|} \cdot \frac{\Delta I_3}{I_3} \quad (\text{II.15})$$

L'avantage de cette méthode est la mesure de la puissance en haute fréquence et pour des charges de faible facteur de puissance.

- **Méthode de trois voltmètres**

Cette méthode est analogue à la précédente. Les voltmètres sont branchés selon la (figure.II.6) où R représente une résistance étalon de grande précision.



**Fig.II.6 :** Schéma de principe de la méthode de trois voltmètres

Si  $u_1$ ,  $u_2$  et  $u_3$  désignent les valeurs instantanées des tensions aux bornes des trois voltmètres, on peut écrire :

$$p = u_3 \cdot \frac{u_2}{R}$$

$$u_1 = u_2 + u_3 \Rightarrow u_1^2 = (u_2 + u_3)^2 = u_2^2 + u_3^2 + 2u_2 \cdot u_3 = \frac{1}{2}(u_1^2 - u_2^2 - u_3^2) \tag{II.16}$$

Or la puissance active d'un récepteur est donnée par

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{2 \cdot R \cdot T} \int_0^T (u_1^2 - u_2^2 - u_3^2) dt \tag{II.17}$$

$$P = \frac{1}{2R} (U_1^2 - U_2^2 - U_3^2) \tag{II.18}$$

avec  $U_1$ ,  $U_2$  et  $U_3$  les valeurs efficaces des courants  $u_1$ ,  $u_2$  et  $u_3$ .

La précision de cette méthode dépende de la précision des appareils de mesure utilisés et de la résistance étalon R, ce qui rend cette méthode peut préciser. En effet :

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{2U_1^2}{|2U_1^2 - 2U_2^2 - 2U_3^2|} \cdot \frac{\Delta U_1}{U_1} + \frac{2U_2^2}{|2U_1^2 - 2U_2^2 - 2U_3^2|} \cdot \frac{\Delta U_2}{U_2} + \frac{2U_3^2}{|2U_1^2 - 2U_2^2 - 2U_3^2|} \cdot \frac{\Delta U_3}{U_3} \tag{II.19}$$

Ces deux méthodes de mesures de la puissance active permettent également la détermination de la valeur de l'impédance et du facteur de puissance du récepteur.

**c) Mesure de Q**

Pour mesurer la puissance réactive Q, il suffit de brancher un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre puis calculer  $Q = \pm \sqrt{S^2 - P^2}$  en tenant compte du type du récepteur (Q = 0 pour un récepteur résistif, Q>0 pour un récepteur inductif et Q<0 pour un récepteur capacitif).[2]

**II.2.2.3 Mesure de la puissance en triphasé**

Quel que soit le type de couplage du récepteur, les puissances en triphasé s'expriment de la manière suivante :

$$S = \sqrt{3}.U.I = 3.V.I \text{ [VA]} : \text{puissance apparente,}$$

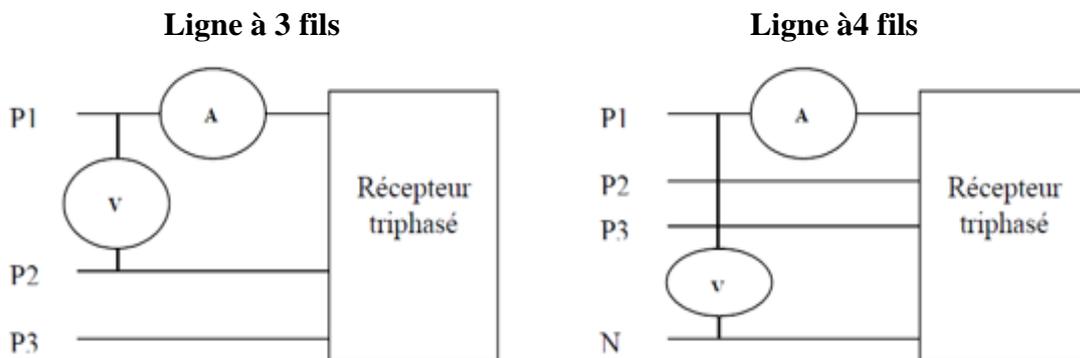
$$P = \sqrt{3}.U.I.\cos(\varphi) = 3.V.I.\cos(\varphi) \text{ [W]} : \text{puissance active et}$$

$$Q = \sqrt{3}.U.I.\sin(\varphi) = 3.V.I.\sin(\varphi) \text{ [VAR]} : \text{puissance réactive}$$

avec V et I : valeurs efficace de la tension simple (entre phase et neutre ) et du courant absorbé par le récepteur,  $\varphi$  étant le déphasage entre le courant et la tension et U la tension efficace composée ( entre deux phases ).

**a) Mesure de S**

Pour mesurer S, il suffit de mesurer la tension simple ou composé et le courant I traversant une ligne d'alimentation (on suppose que le système triphasé disponible est équilibré direct) selon la figure 7.



**Fig.II.7 :** Mesure de la puissance apparente en triphasé.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour 3 fils} \quad S = \sqrt{3}U_{mes} \cdot I_{mes} \\ \text{Pour 4 fils} \quad S = 3.V_{mes} \cdot I_{mes} \end{array} \right. \quad (\text{II.20})$$

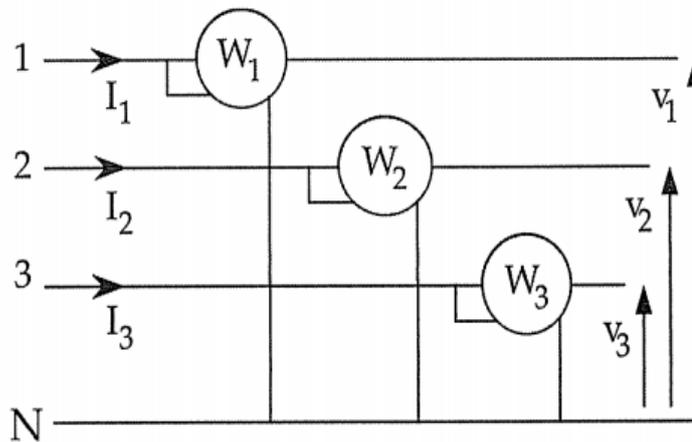
**b) Mesure de P et Q**

Pour mesurer les puissances active et réactive on fait appel aux wattmètres.

Dans ce cas, on mesure la puissance active transportée par chaque fil de ligne à l'aide de 3 wattmètres.

Cette méthode est valable quels que soient les déséquilibres de tension et de courant[4]

- **Méthode des trois wattmètres**



**Fig.II.8 :** Graphique montre la méthode de trois wattmètres

La puissance active totale :

$$P = V_1 I_1 + V_2 I_2 + V_3 I_3 \quad (\text{II.21})$$

$$P = W_1 + W_2 + W_3 \quad (\text{II.22})$$

*P* est la somme des indications de chaque wattmètre.

Si le système est équilibré en tension et en courant, un seul wattmètre suffit car dans ce cas

$$\begin{aligned} W_1 &= W_2 = W_3 = W \\ \Rightarrow P &= 3.W \end{aligned} \quad (\text{II.23})$$

- **Méthode de deux wattmètres**

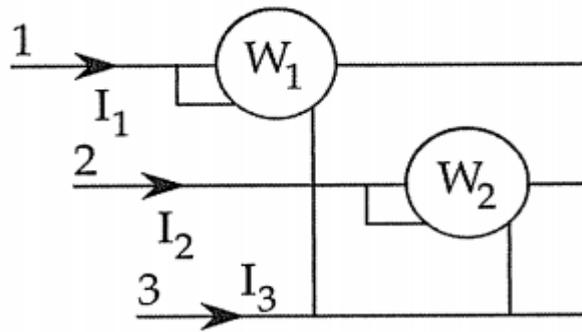


Fig.II.9 : Graphique montre la méthode de deux wattmètres

$$P = W_1 + W_2 \tag{II.24}$$

➤ **Et la mesure des puissances réactives arrive comme suit**

On mesure pour chaque fil de phase, puissance active, courant et tension simple en valeur efficace. On en déduit les puissances :

$$Q_i = \sqrt{V_i^2 I_i^2 - P_i^2} \tag{II.25}$$

$$i = (1,2,3)$$

D'où la puissance réactive total  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$  (II.26)

Cette méthode est valable pour une ligne à 4 fils que soient les déséquilibres.

- **Ligne équilibrée en tension et courant (à 3 ou 4 fils).**

On peut utiliser 2 méthodes :

Un seul wattmètre, circuit courant sur 1phase, circuit tension entre les autres

Indication du wattmètre :  $W = UI \cos(\varphi - \frac{\pi}{2}) = UI \sin \varphi$

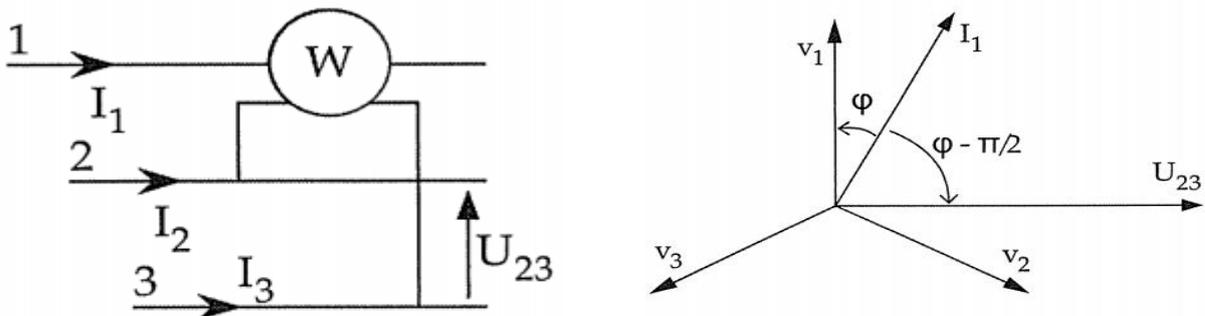


Fig.II.10 : Graphique montre la méthode d'un seul wattmètre

D'où la puissance réactive : 
$$Q = \sqrt{3}W \tag{II.27}$$

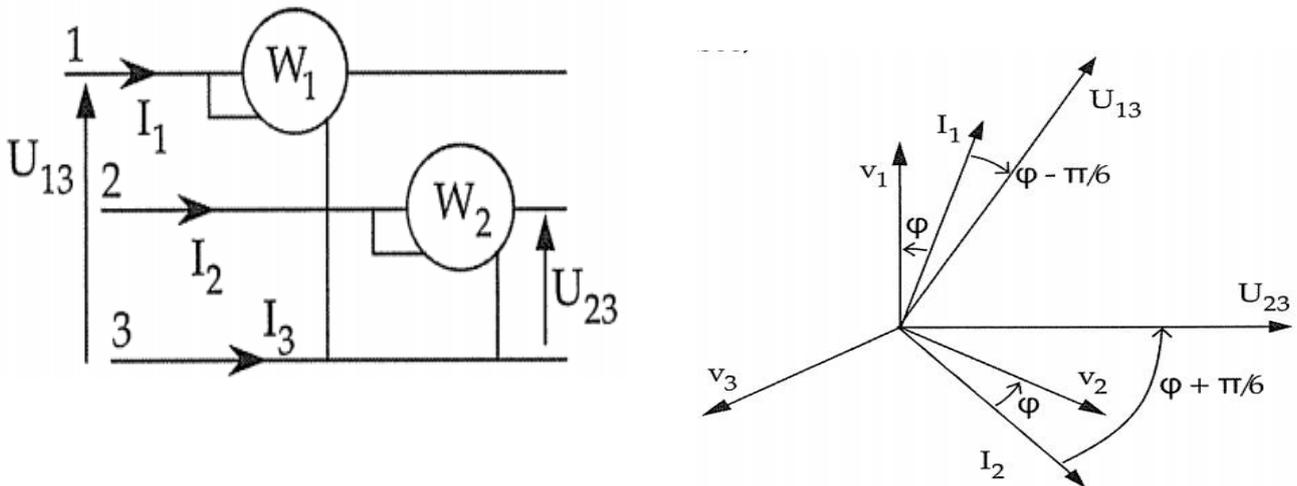
Remarque : la méthode peut être étendue au cas des systèmes équilibrés en tension mais

déséquilibrés en courant. Pour ce faire, on utilise 3 wattmètres branchés de façon analogue, la puissance réactive s'exprimant par :

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (W_1 + W_2 + W_3) \tag{II.28}$$

• **Méthode des 2 wattmètres (la plus utilisée)**

Dans le cas où on dispose d'une ligne triphasée à 3 fils (trois phases uniquement), on utilise la méthode des deux wattmètres selon la figure.



**Fig.II.11 :** Mesure des puissances  $Q$  en ligne triphasée à 3 fils.

Indication de chaque wattmètre

$$W_1 = U_{13} I_1 \cos(I_1, U_{13}) = UI \cos(\varphi - \frac{\pi}{6}) \tag{II.29}$$

$$W_2 = U_{23} I_2 \cos(I_2, U_{23}) = UI \cos(\varphi + \frac{\pi}{6}) \tag{II.30}$$

Alors la somme des inductions donne

$$W_1 + W_2 = UI(\cos(\varphi - \frac{\pi}{6}) + \cos(\varphi + \frac{\pi}{6})) = 2UI \cos \frac{\pi}{6} \cos \varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi \tag{II.31}$$

On retrouve la puissance active totale

La différence des indications

$$W_1 - W_2 = UI \left( \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{6}\right) - \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{6}\right) \right) = 2UI \sin \varphi \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = UI \sin \varphi$$

(II.32)

La puissance réactive totale s'exprime donc :

$$Q = \sqrt{3}(W_1 - W_2)$$

(II.33)

### II.2.3 Type de wattmètre

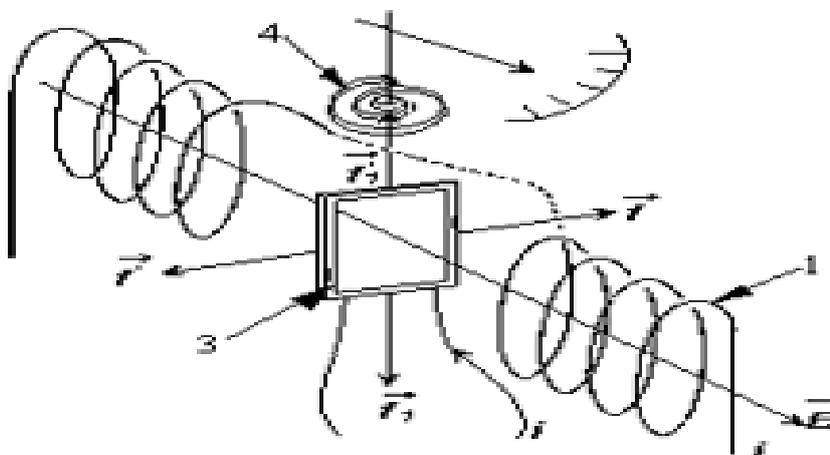
#### II.2.3.1 Wattmètre analogique

##### a) Description sommaire d'un wattmètre électrodynamique

Le wattmètre électrodynamique comporte deux bobines. L'une fixe, faite de gros fil et de résistance faible, est mise en série avec le récepteur : c'est la bobine de courant qui crée un champ magnétique proportionnel à l'intensité du courant I qui la parcourt. L'autre, est un cadre mobile de fil fin de résistance élevée, mobile à l'intérieur de la première : c'est la bobine de tension que l'on place en dérivation aux bornes du récepteur. Elle subit un couple électromagnétique proportionnel à la tension à ses bornes et au champ magnétique B créé par la bobine de courant. Le couple moyen subit par la bobine de tension est proportionnel à la puissance moyenne.[2]

$$P = U.I.\cos \Phi$$

(II.34)



**Fig.II.12 :** Appareil électrodynamique

**b) Vue d'ensemble**

- ❖ Bobine de champ d'induction dépendant du courant  $I$  mesuré.
- ❖ Noyau en fer doux pour guider les lignes de force de la bobine courant (pas dessiné).
- ❖ Bobine complète à cadre mobile dans laquelle circule le courant  $I$  dépendant de la tension  $U$  mesurée, engendrant un champ d'induction.
- ❖ Amortisseur supplémentaire travaillant comme le fil de torsion.[5]

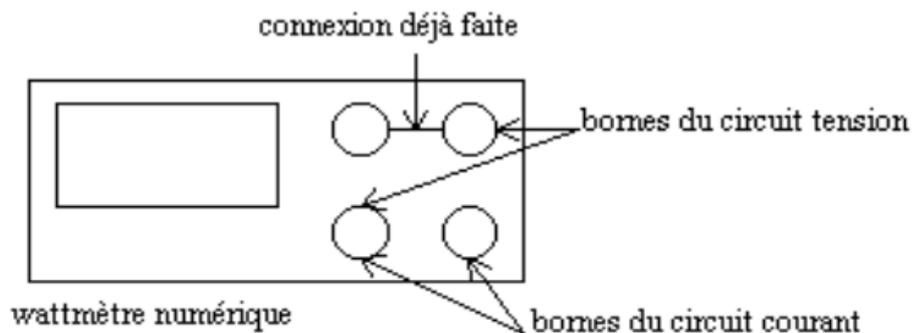
**c) Quelques Wattmètre analogique**



**Fig.II.13 : Les Wattmètre analogique**

**II.2.3.2 Wattmètre numérique**

Le wattmètre numérique, comme le wattmètre électrodynamique, possède un circuit tension (pour relever  $u(t)$ ) et un circuit courant (pour relever  $i(t)$ ) comme indiquée sur le schéma ci-contre. [2]



**Fig.II.14 : Wattmètre numérique.**

**a) Certains les wattmètres numériques****Fig.II.15 : Wattmètre numérique****II.2.3.3 Avantages du wattmètre numérique sur le wattmètre classique**

- ❖ Sa facilité de connexion ;
- ❖ Sa précision (possibilité de mesurer des puissances de quelques watts seulement) ;
- ❖ Le réglage automatique de ses calibres tension et courant ;
- ❖ Sa polyvalence : le wattmètre numérique permet de mesurer également l'intensité du courant, la tension, la puissance réactive, le facteur de puissance. [2]

**II.3 Concluions**

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude théorique du wattmètre et son utilisation dans la mesure de puissance électrique. Une description des wattmètres et quelques modèles ont été décrit. Cette étude nous aidera dans les prochains chapitres.

### **III.1 Introduction**

Notre objectif est la réalisation d'un wattmètre numérique. La recherche bibliographique est très limitée. Quelques processus de fabrication se trouvent dans Internet mes sans détails qui peuvent nous aider à la réalisation de ce dispositif. La recherche nous a conduit à un élément essentiel et de base pour la réalisation du wattmètre qui est le circuit intégré AD633. Dans ce chapitre, nous allons décrire ce dispositif électronique et son mode de fonctionnement pour la détermination de la puissance instantanée.[6]

### **III.2 Fonctionnalités**

Le AD633 est un multiplicateur à 4 quadrants à faible coût. Il comporte 8 pins et il n'a pas besoin d'éléments supplémentaires. Il présente une précision et stabilité de fonctionnement. L'erreur totale est de 2% pour les entrées complètes de X et Y. Une haute impédance différentielle d'entrée et un sommateur et un gain de 1/10V. [6]

### **III.3 Applications**

Multiplication, Division, Modulation de quadrillage / Démodulation, Détection de phase amplificateurs / Atténuateurs / Filtres contrôles de tension [6]

### **III.4 Général Description**

L'AD633 est un multiplicateur fonctionnel à quatre quadrants. Il comprend des entrées différentielles à haute impédance X et Y, et une entrée de sommation à haute impédance (Z). La faible impédance de la tension de sortie est une tension nominale d'une diode Zener de 10 V fournie par une enterré Zener. L'AD633 est le premier produit à offrir ces fonctionnalités dans un circuit intégré à 8 pins à prix modéré.

L'AD633 est calibré au laser pour une précision totale garantie de 2% de la pleine échelle. La non-linéarité pour l'entrée Y est généralement inférieure à 0,1% et le bruit mentionné pour la sortie est généralement inférieur à 100  $\mu$ V rms dans une bande passante de 10 Hz à 10 kHz. Une bande passante de 1 MHz, 20 V/ $\mu$ s, et la capacité à conduire des charges capacitives. L'AD633 est utilisé dans une grande variété d'applications où la simplicité et le coût sont des préoccupations clés.

L'AD633 est disponible dans une forme de circuit intégré. Il est spécifié pour fonctionner sous une température commerciale de 0°C à 70°C. La gamme de température industrielle de -40 °C à + 85 °C.[6]

III.5 Diagrammes de connexion :

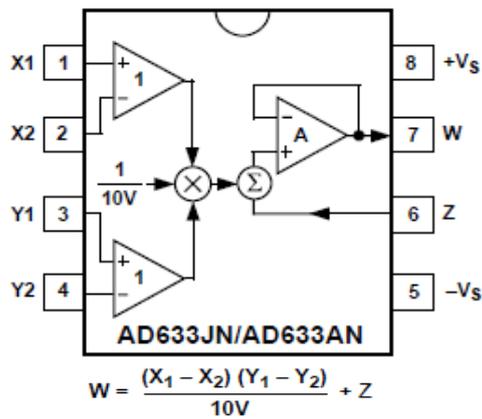


Fig.III.1 : AD633JN/  
(Plomb DIP (N))

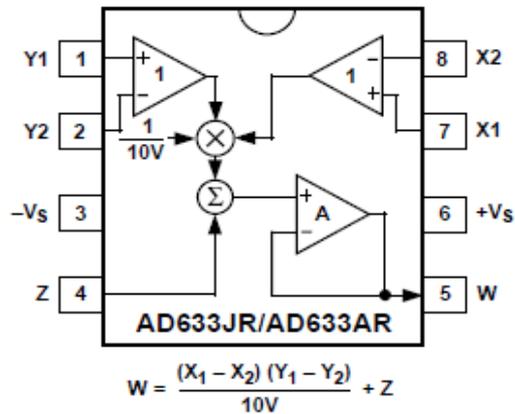


Fig.III.2 : Forfait en plastique  
(Plomb SOIC (SO-8))

III.6 Caractéristiques

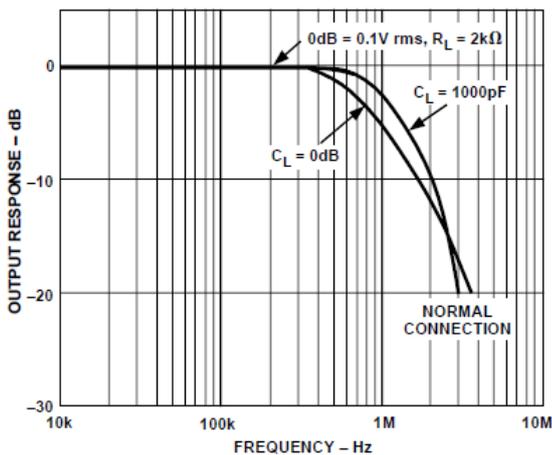


Fig.III.3 : Réponse à la fréquence

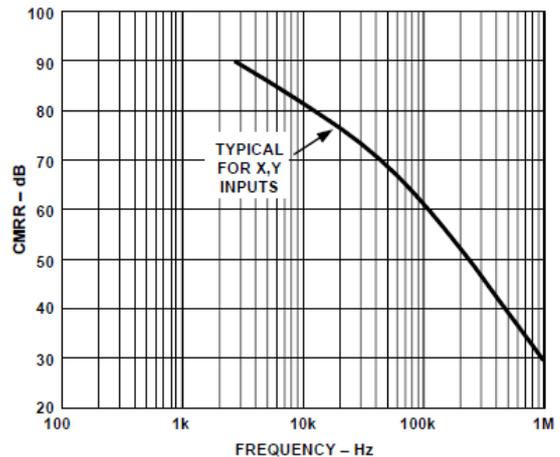


Fig.III.4 : CMRR en fonction de fréquence

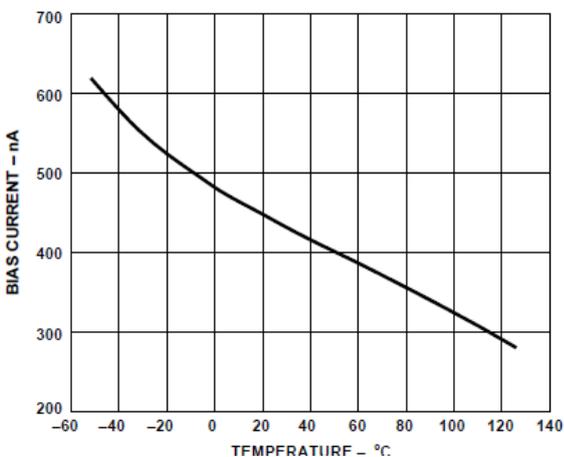


Fig.III.5 : Courant de polarisation d'entrée  
en fonction de la température (X, Y ou Z Inputs).

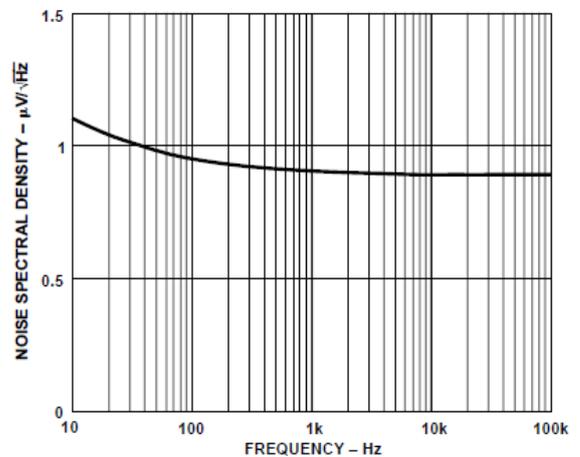
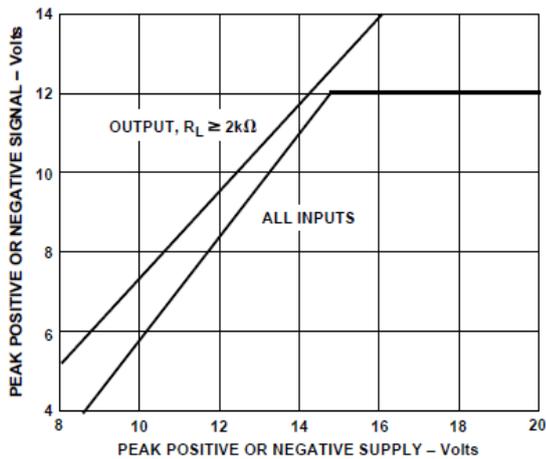
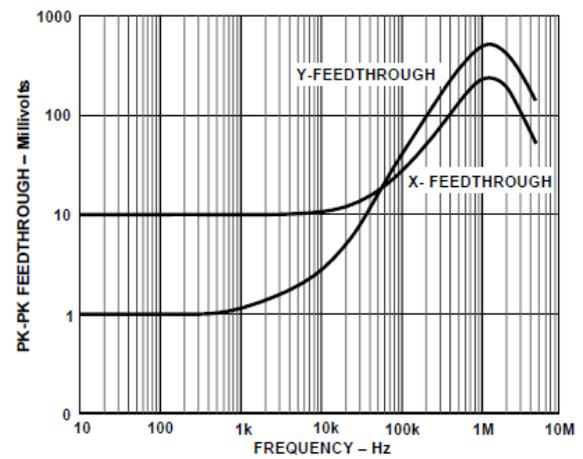


Fig.III.6 : Densité spectrale de bruit  
en fonction de la fréquence.



**Fig.III.7 :** Gammes de signaux d'entrée et de sortie vs tension d'alimentation



**Fig.III.8 :** Passage AC en fonction de la fréquence

### III.7 Performances du produit

1-L'AD633 est un multiplicateur complet de quatre quadrants offerts à 8 conducteurs à faible coût. Le résultat est un produit rentable et facile à appliquer.

2-Aucun composant externe ou étalonnage coûteux de l'utilisateur n'est requis pour appliquer l'AD633.

3-La construction monolithique et l'étalonnage laser font le dispositif stable et fiable.

4-Les résistances d'entrée élevées (10 MΩ) font la source du signal Chargement négligeable.

5-Les tensions d'alimentation peuvent aller de ± 8 V à ± 18 V. La tension de mise à l'échelle interne est générée par une diode Zener stable ; La précision du multiplicateur est essentiellement insensible à l'offre.[6]

III.8 Spécifications

T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>S</sub> = ±15 V, R<sub>S</sub> ≥ 2 kΩ.

Tableaux III.1 : Caractéristiques du multiplicateur (Ad633)

Parametre	Conditions	AD633J, AD633A			Unit
		Min	Typ	Max	
TRANSFER FUNCTION		$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y)}{10V} + Z$			
Multiplier performance					% full scale
Total Error	-10 V ≤ X, Y ≤ +10 V		± 1	± 2 <sup>1</sup>	
T <sub>MIN</sub> à T <sub>MAX</sub>			± 3		
Scale Voltage Error			±0,25%		
Supply Rejection	SF=10,00 V nominal		± 0,01		
Nonlinearity, X	V <sub>S</sub> = ± 14V à ± 16V		± 0,4	± 1 <sup>1</sup>	
Nonlinearity, Y	X = ± 10 V, Y = +10 V		± 0,1	± 0,4	
X Feedthrough	Y = ± 10 V, X = +10 V		± 0,3	± 1 <sup>1</sup>	
Y Feedthrough	Y nulled, X = ± 10 V		± 0,1	± 0,4 <sup>1</sup>	
Output Offset Voltage <sup>2</sup>	X nulled, Y = ± 10 V		± 5	± 50 <sup>1</sup>	mV
DYNAMICS					
Small Signal Bandwidth	V <sub>0</sub> = 0,1 V rms		1		MHz
Slew Rate	V <sub>0</sub> = 20 V p-p		20		V / μs
Settling Time to 1%	ΔV <sub>0</sub> = 20 V		2		μs
OUTPUT NOISE					
Spectrale density			0,8		μV / √Hz
Wideband Noise	f = 10 Hz à 5 MHz		1		mV rms
	f = 10 Hz à 10 kHz		90		μV rms
OUTPUT					
Output Voltage Swing		±11 <sup>1</sup>			V
Short Circuit Current	R <sub>L</sub> = 0 Ω		30	40 <sup>1</sup>	mA
INPUT AMPLIFIERS					
Signal Voltage Range	Differential	± 10 <sup>1</sup>			V
	Common mode	± 10 <sup>1</sup>			V
Offset Voltage (X, Y)			± 5	± 30 <sup>1</sup>	mV
CMRR (X, Y)	V <sub>CM</sub> = ± 10 V, f = 50 Hz	60 <sup>1</sup>	80		dB
Bias Current (X, Y, Z)			0,8	2,0 <sup>1</sup>	μA
Differential Resistance			10		MΩ
POWER SUPPLY					
Supply Voltage			± 15		V
Rated Performance		± 8 <sup>1</sup>		± 18 <sup>1</sup>	V
Operating Range			4	6 <sup>1</sup>	mA
Supply Current	Quiescent				

**III.9 Classes maximales absolues**

Tension d'alimentation.....	± 18 V
Dissipation de puissance interne.....	500 mW
Tensions d'entrée.....	± 18 V
Période de court-circuit de sortie.....	Indéfinie
Plage de température de stockage.....	-65 °C à + 150 °C
Température de fonctionnement	
AD633J.....	0°C à 70 °C
AD633A.....	-40°C à + 85 °C
Température du plomb (Soudure, 60 sec).	300 ° C
Évaluation ESD.....	1000 V

**III.10 Guide d'emploi**

**Tableaux III.2:** Guide d'emploi

<b>Model</b>	<b>Temperature Range</b>	<b>Package Description</b>	<b>Package Option</b>
AD633AN	-40°C to +85°C	Plastic DIP	N-8
AD633AR	-40°C to +85°C	Plastic SOIC	SO-8
AD633AR-REEL	-40°C to +85°C	13" Tape and Reel	SO-8
AD633AR-REEL7	-40°C to +85°C	7" Tape and Reel	SO-8
AD633JN	0°C to +70°C	Plastic DIP	N-8
AD633JR	0°C to +70°C	Plastic SOIC	SO-8
AD633JR-REEL	0°C to +70°C	13" Tape and Reel	SO-8
AD633JR-REEL7	0°C to +70°C	7" Tape and Reel	SO-8

**III.11 Mode d'emploi**

L'AD633 est un multiplicateur à faible coût comprenant un noyau translinéaire, une référence Zener incluse et un amplificateur de sortie connecté à gain unitaire avec un nœud de sommation accessible. La fig.III.9 montre le schéma fonctionnel. Les entrées différentielles X et Y sont convertis en courants différentiels par des convertisseurs tension-courant. Le produit de ces courants est généré par le noyau multiplicateur. Une référence Zener enterrée fournit

un facteur d'échelle global de 10 V. La somme de  $((X \times Y) / 10 + Z)$  est alors appliquée à l'amplificateur de sortie. Le nœud de sommation de l'amplificateur Z permet à l'utilisateur d'ajouter deux sorties multiplicatrices ou plus, de convertir la tension de sortie en courant et de configurer diverses fonctions de calcul analogiques.[6]

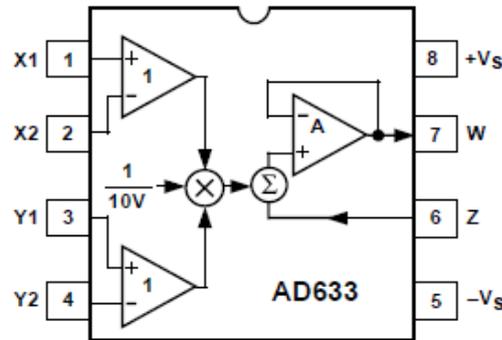


Fig.III.9 : Diagramme de blocs fonctionnels (AD633JN Pin-out montré)

L'inspection du diagramme de blocs montre la fonction de transfert globale être :

$$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10V} + Z \tag{III.1}$$

### III.12 Sources d'erreur

Les erreurs de multiplicateur consistent principalement en décalages d'entrée et de sortie, d'erreur de facteur d'échelle et de non-linéarité dans le noyau de multiplication. Les décalages d'entrée et de sortie peuvent être éliminés en utilisant la coupe optionnelle de la Fig.III.10. Ce schéma réduit l'erreur nette des erreurs de facteur d'échelle (erreur de gain) et une composante irréductible de non-linéarité dans le noyau de multiplication. Les non-linéarités X et Y sont généralement de 0,4% et 0,1% de la pleine échelle, respectivement. L'erreur de facteur d'échelle est généralement de 0,25% de l'échelle complète. L'entrée Z à haute impédance doit toujours être référencée au point de masse du système entraîné, en particulier si cela est distant. De même, les entrées différentielles X et Y doivent être référencés dans leurs motifs respectifs pour réaliser la précision complète de l'AD633. [6]

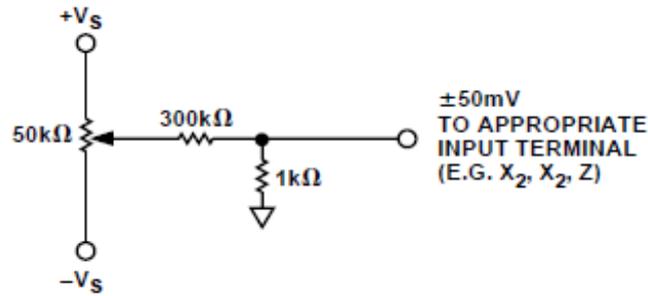


Fig.III.10 : Configuration optionnelle du décalage offset

### III.13 Applications

L'AD633 est bien adapté à des applications telles que la modulation et la démodulation, le contrôle automatique du gain, la mesure de puissance, les amplificateurs à tension contrôlée et les doubles de fréquence. Notons que ces applications montrent les connexions des broches pour le brochage AD633JN.

#### III.13.1 Connexions du Multiplicateur

La fig.III.11 montre les connexions de base pour la multiplication. Les entrées X et Y auront normalement leurs nœuds négatifs mis à la terre, mais ils sont complètement différentiels et, dans de nombreuses applications, les entrées mises à la terre peuvent être inversées (pour faciliter l'interfaçage avec les signaux d'une polarité particulière, tout en obtenant une polarité de sortie souhaitée) ou les deux peuvent être conduits.[6]

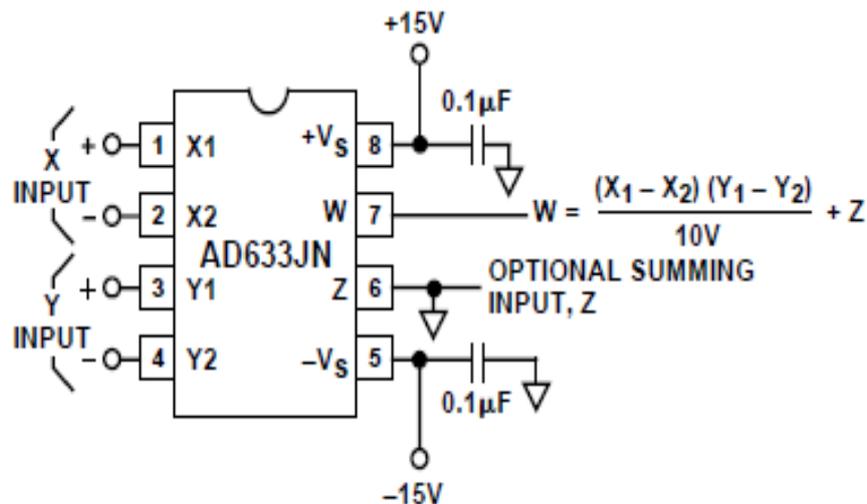


Fig.III.11 : Connexions de multiplicateur de base

III.13.2 Carré et fréquence de doublage

Comme le montre la fig.III.12, le quadrillage d'un signal d'entrée, E, est réalisé simplement en connectant les entrées X et Y en parallèle pour produire une sortie de  $E^2 / 10V$ . L'entrée peut avoir soit la polarité, mais la sortie sera positive. Cependant, la polarité de sortie peut être inversée en inter changeant les entrées X ou Y. L'entrée Z peut être utilisée pour ajouter un signal supplémentaire à la sortie.

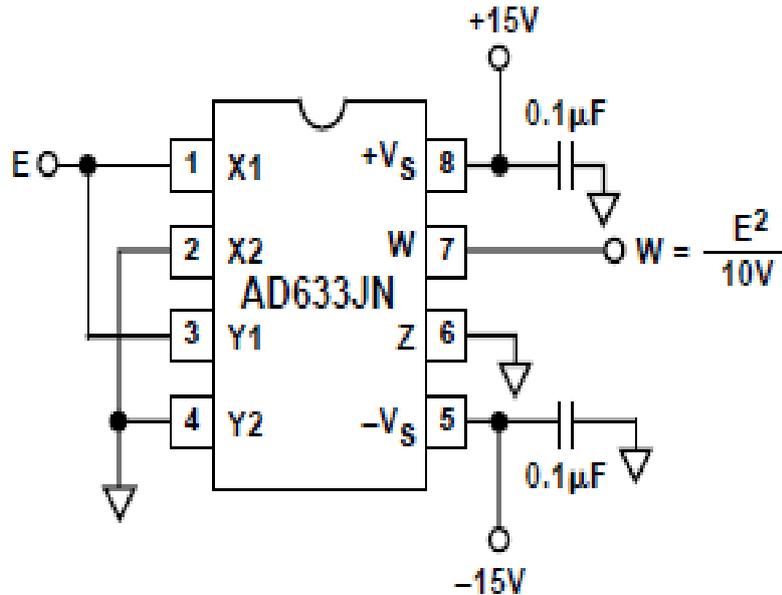


Fig.III.12 : Connexions pour le carré

Lorsque l'entrée est une sinusoïde  $E \cdot \sin \omega t$ , Le AD633 se comporte comme un doubleur de fréquence, puisque

$$\frac{(E \cdot \sin \omega t)^2}{10V} = \frac{E^2}{20V} (1 - \cos 2\omega t) \tag{III.2}$$

L'équation 2 montre un terme dc à la sortie qui variera fortement avec l'amplitude de l'entrée, E. Cela peut être évité en utilisant les connexions représentées sur la fig.III.13, où un réseau RC est utilisé pour générer deux signaux dont le produit n'a pas de terme DC. Il utilise l'identité:

$$\cos \theta \sin \theta = \frac{1}{2} (\sin 2\theta) \tag{III.3}$$

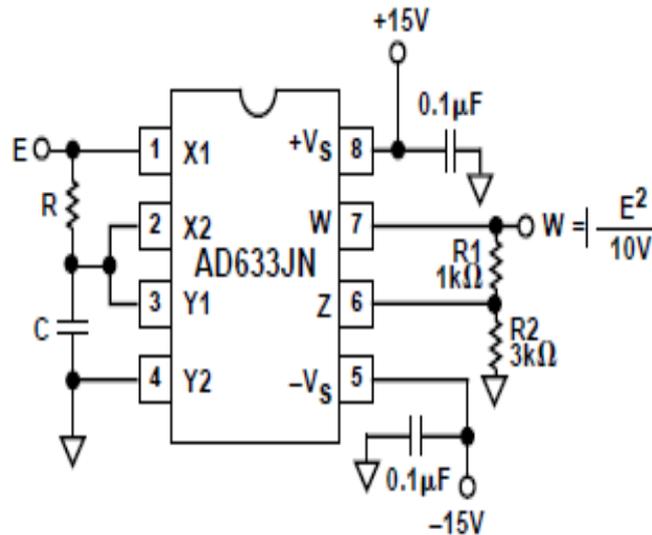


Fig.III.13 : Douleur de fréquence

A  $\omega_0 = 1 / CR$ , l'entrée X mène le signal d'entrée de  $45^\circ$ , et l'entrée Y dépasse l'entrée X de  $45^\circ$ . Comme les entrées X et Y sont  $90^\circ$  en phase, la réponse du circuit sera (satisfaisant l'équation 3):

$$W = \frac{1}{(10V)} \frac{E}{\sqrt{2}} (\sin \omega_0 t + 45^\circ) \frac{E}{\sqrt{2}} (\sin \omega_0 t - 45^\circ) = \frac{E^2}{(40V)} (\sin 2\omega_0 t) \quad (\text{III.4})$$

Qui n'a pas de composant DC. Les résistances R1 et R2 sont incluses pour restaurer l'amplitude de sortie à 10 V pour une amplitude d'entrée de 10 V. L'amplitude de la sortie n'est qu'une fonction faible de la fréquence: l'amplitude de sortie sera 0,5% trop faible à

$$\omega = 0,9 \omega_0, \text{ Et } \omega_0 = 1,1 \omega_0. [6]$$

### III.13.3 Génération de fonctions inverses

Les fonctions inverses de multiplication, telles que la division et l'enracinement carré, peuvent être mises en place en plaçant un multiplicateur dans la boucle de rétroaction d'un amplificateur opérationnel. La fig.III.14 montre comment implémenter un rooter carré avec la fonction de transfert

$$W = \sqrt{-(10)E} \quad (\text{III.5})$$

Pour la condition  $E < 0$ . [6]

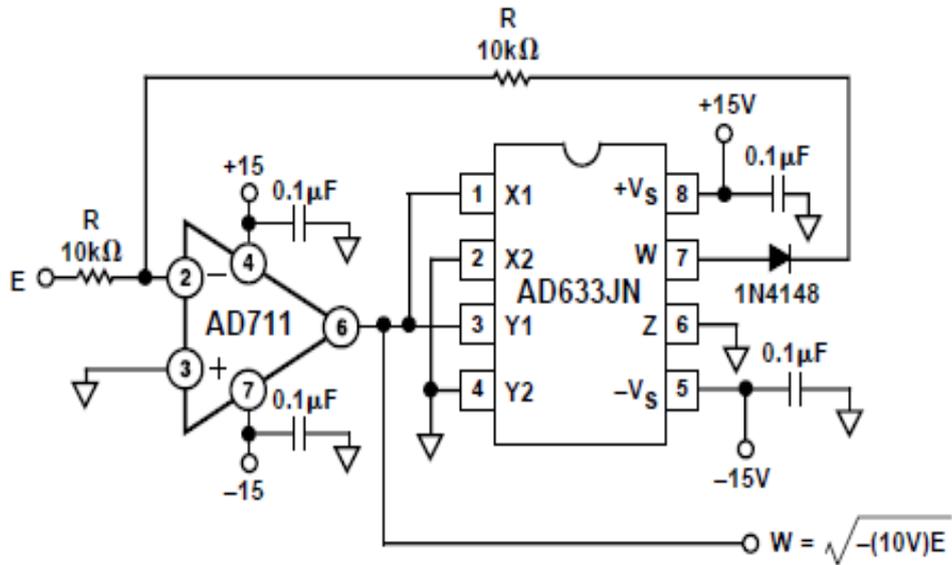


Fig.III.14 : Connexions pour la racine carrée

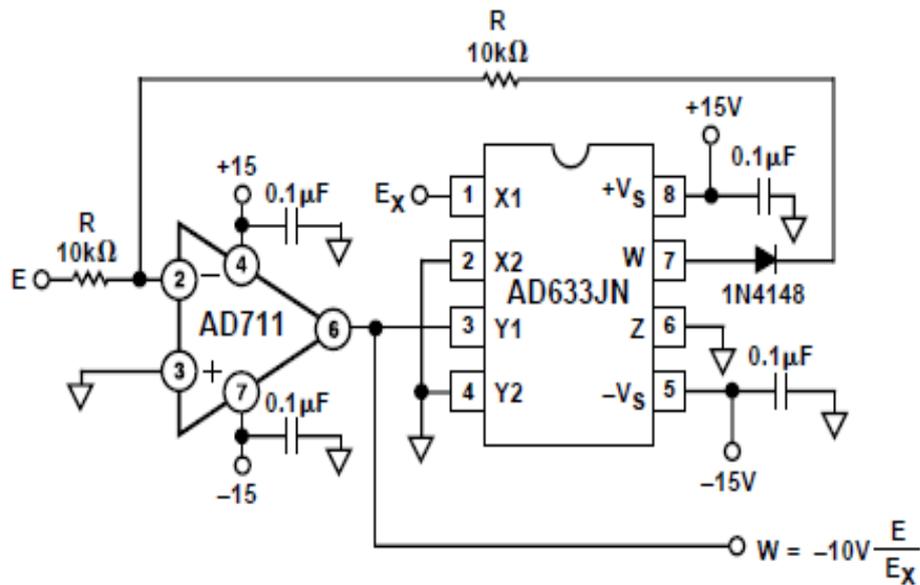


Fig.III.15 : Connexions pour la division

De même, la figure 16 montre comment implémenter un diviseur à l'aide d'un multiplicateur dans une boucle de retour. La fonction de transfert pour le diviseur est :

$$W = -(10V) \frac{E}{E_x} \tag{III.6}$$

III.13.4 Facteur de multiplication variable

Dans certains cas, il peut être souhaitable d'utiliser une tension d'échelle autre que 10 V. Les connexions représentées sur la figure 16 augmentent le gain du système par le rapport  $(R1 + R2) / R1$ . Ce ratio est limité à 100 dans les applications pratiques. L'entrée de sommation, S, peut être utilisée pour ajouter un signal supplémentaire à la sortie ou peut être mise à la terre.

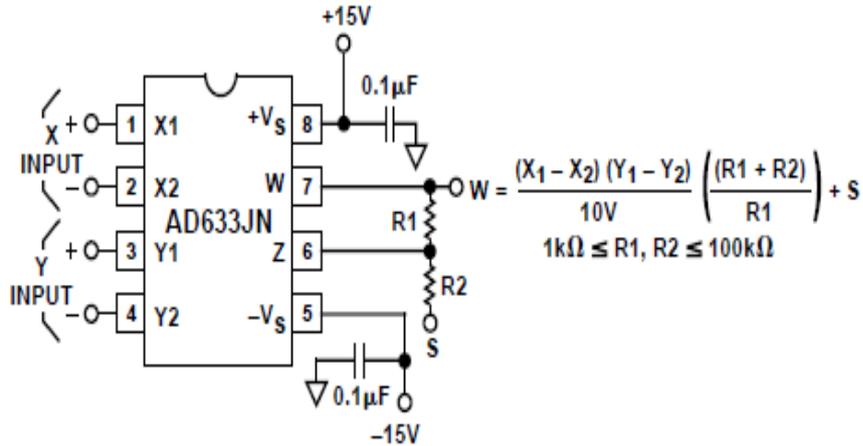


Fig.III.16 : Facteur de multiplication variable

III.13.5 Sortie en courant

La sortie de tension de l'AD633 peut être convertie en une sortie de courant en ajoutant une résistance R entre les broches W et Z de l'AD633 comme il est indiqué sur la Figure 17 ci-dessous. Cet arrangement se forme la base des intégrateurs et des oscillateurs contrôlés par tension, comme cela sera montré plus loin dans cette section Applications. [6]

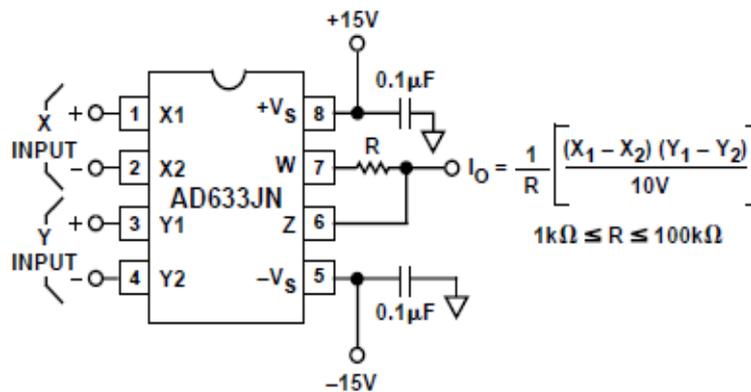


Fig.III.17 : Sortie en courant

La fonction de transfert de ce circuit a la forme :

$$I_0 = \frac{1}{R} \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10V} \tag{III.7}$$

III.13.6 Modulateur d'amplitude linéaire

L'AD633 peut être utilisé comme modulateur d'amplitude linéaire sans composants externes. La figure 18 montre le circuit. Les entrées de support et de modulation vers l'AD633 sont multipliées pour produire un signal double bande latérale. Le signal du transporteur est transmis à l'entrée Z de l'AD633 où il est additionné du signal à double bande latérale pour produire une double bande latérale avec sortie porteuse. [6]

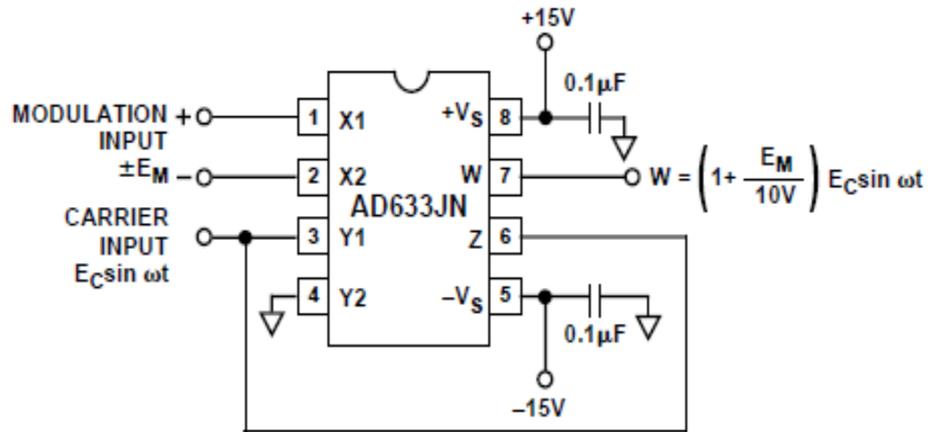


Fig.III.18 : Modulateur d'amplitude linéaire

III.13.7 Filtres passe-bas et passe-haut contrôlés par tension

La figure 19 montre un seul multiplicateur utilisé pour construire un filtre passe-bas contrôlé par la tension. La tension à la sortie A est le résultat du filtrage, Es. La fréquence de coupure est modulée par Ec, l'entrée de contrôle. La fréquence de pause, f2, est égale

$$f_2 = \frac{E_C}{(20V)\pi RC} \tag{III.8}$$

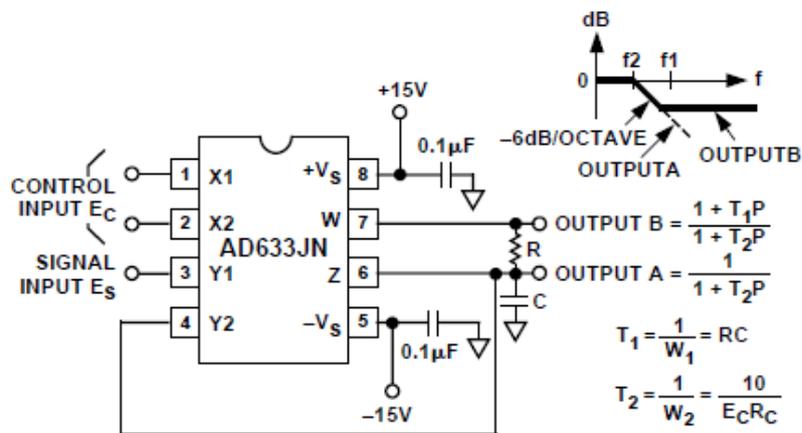


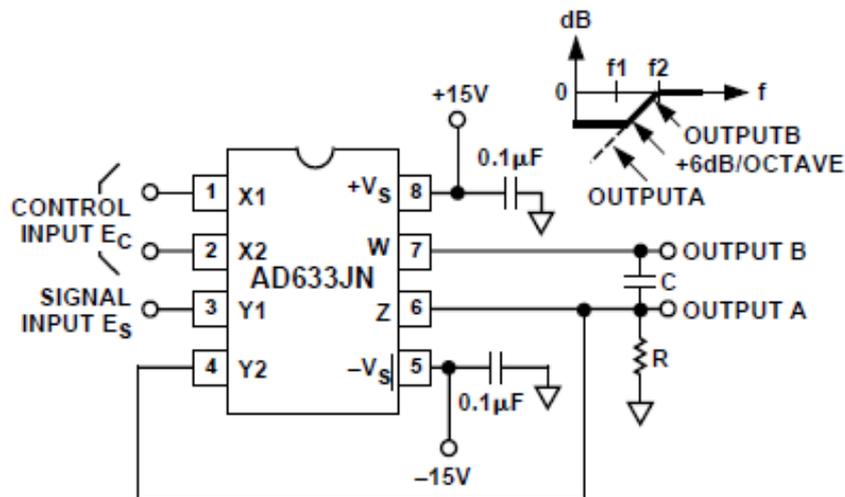
Fig.III.19 : Filtre passe-bas à tension contrôlée

Et le renversement est de 6 dB par octave. Cette sortie, qui est à un point à haute impédance, peut nécessiter une mise en mémoire tampon. La tension à la sortie B, la sortie directe de l'AD633, a la même réponse jusqu'à la fréquence  $f_1$ , le point d'arrêt naturel du filtre RC.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi RC} \tag{III.9}$$

Puis détermine une atténuation constante de  $f_1 / f_2 = E_c / 10$ .

Par exemple, si  $R = 8 \text{ kW}$  et  $C = 0,002 \text{ mF}$ , la sortie A a un pôle à des fréquences de 100 Hz à 10 kHz pour  $E_C$  allant de 100 mV à 10 V. La sortie B a un zéro supplémentaire à 10 kHz (et peut être chargé car il s'agit de la sortie à faible impédance du multiplicateur). Le circuit peut être changé en un filtre passe-haut Z interchangeant la résistance et le condensateur comme indiqué sur la Figure 19 ci-dessous.[6]



**Fig.III.20 :** Filtre passe-haut à tension contrôlée

### III.14 Conclusion

Ce chapitre a eu pour objectif de décrire le circuit intégré AD633 qui est un élément essentiel et de base pour la réalisation du Wattmètre. Plus d'information sont détaillé dans sa fiche de description. Le chapitre suivant décrit son utilisation pour la réalisation du Wattmètre.

## IV.1 Introduction

Puisque notre thème initial était l'étude et réalisation d'un compteur mécanique et au cours du temps il nous a été conseillé d'étudier le compteur numérique puisque SONELGAZ est entrain de remplacer ses compteurs mécaniques par les compteurs numérique, il nous a été semblé plus judicieux de se pencher sur l'étude et réalisation du compteur numérique qui a comme base le Wattmètre numérique. La documentation sur la réalisation du wattmètre numérique est très réduite, nous nous sommes appuyés sur nos connaissances théoriques de base du principe de fonctionnement du wattmètre. Nous avons utilisé les moyens disponibles soit dans le laboratoire pédagogique d'électronique soit au laboratoire de recherche LMSE. Le circuit intégré AD633 nous a été livré tardivement par un fournisseur et qui coûte 2500 DA.

## IV.2 Principe de réalisation du Wattmètre

Le wattmètre se base sur le principe de multiplication instantanée de deux signaux le premier signal est la tension et le second est le courant puis de prendre la moyenne du signal produit qui sera une lecture directe de la puissance active. Parmi les composants électroniques qui peuvent effectuer la multiplication instantanée de deux signaux est le AD633 (Fig.1).

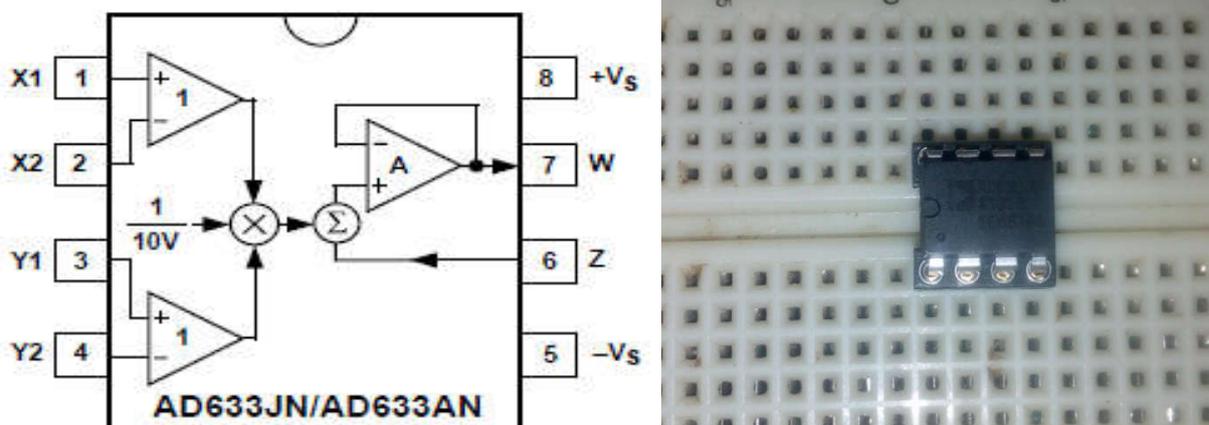


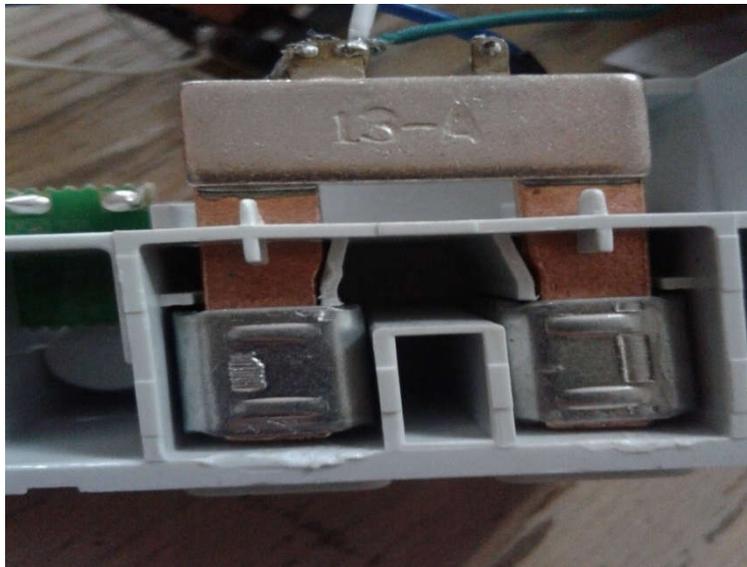
Fig. IV.1:Schéma du AD633JN

Deux types existe pour le AD633 : le AD633JN et le AD633AN. On a choisi le AD633JN. Le AD633JN exécute la multiplication de deux entrées ( $X1 - X2$ ) et ( $Y1 - Y2$ ) qui sont la différence de deux potentiels chacun. Le produit  $(X2 - X1)(Y2 - Y1)$  est ensuite divisé par 10V. Puis il est sommé avec une autre source de tension Z.

$$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10V} + Z \quad (\text{VI.1})$$

Vue que le AD633 nécessite pour entrées deux signaux en tension, alors le signal courant doit être transformé en tension. Et puisque les tensions d'entrées sont limitées et liées directement à la tension d'alimentation continue de l'AD633 qui est -18V et +18V max, alors on doit s'assurer que les deux signaux d'entrée ne devront pas dépasser la tension d'alimentation maximale -18V et +18V en passant par des diviseurs de tension.

Pour l'entrée (X2-X1) de l'AD633 qui est reliée au signal courant, ce signal courant est transformé en tension à travers une résistance R. Le choix de la résistance R est très important. R doit être faible et supporte des courant intenses. Puisque dans les installations électriques domestiques le courant I peut atteindre les 32 A efficace, un exemple de cette résistance est celui de compteur SAGEM qui a une résistance faible 100 mΩ et supporte un courant de 13A (Fig.2).



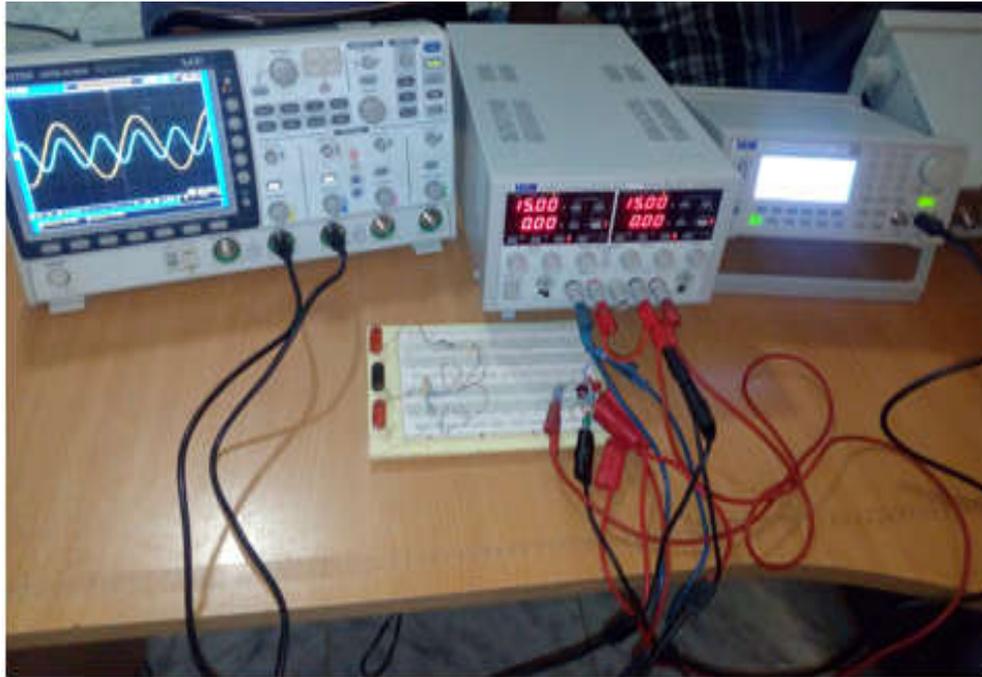
**Fig. IV.2 :** Schéma de la résistance SAGEM pour mesure de courant

La charge réelle dans les installations domestiques atteint les 100Ω et plus les petites résistances de petite taille R égale à 0.1Ω qui supporte 1A et plus ne sont pas disponibles aux laboratoires d'électronique et de recherche. Les seules résistances qui existent supportent vers les 100 mA. Pour notre part, comme on est limité par la résistance de mesure de courant, et comme la charge doit être à peu près 100 fois plus grande, on construit notre wattmètre pour mesurer des puissances à travers une charge  $R_{ch}$  qui a pour résistance un Méga Ohm et plus. Cela nous permet de prendre comme résistance R la valeur de 10 kΩ. Alors la tension d'entrée (X2 - X1) devient :

$$(X2 - X1) = \frac{R}{(R + R_{ch})} i(t) = 0.01 * i(t) \quad (VI.1)$$

Pour la deuxième tension d'entrée ( $Y2 - Y1$ ), la différence de potentiels entre la charge quand on veut mesurer la puissance active  $P$ . Cette tension n'est pas prise directement mais on utilise un diviseur de tension constitué de deux résistances  $R1 = 100 \text{ k}\Omega$  et  $R2 = 1 \text{ M}\Omega$  alors :

$$(Y2 - Y1) = \frac{R1}{(R1 + R2)} v(t) = 0.091 * v(t) \text{ (VI.2)}$$



**Fig.IV.3 :** Schéma de montage

### IV.3 Description du dispositif expérimental

Le dispositif de mesure est composé d'un générateur de fréquence GBF 10V max, d'un générateur de fréquence et de puissance 300V variable, d'un oscilloscope numérique à mémoire, des multimètres, une alimentation continue  $\pm 30V$ .

#### *a) Le générateur de fréquence :*

Le générateur de fréquence est un générateur de type : ACP-2KVA.

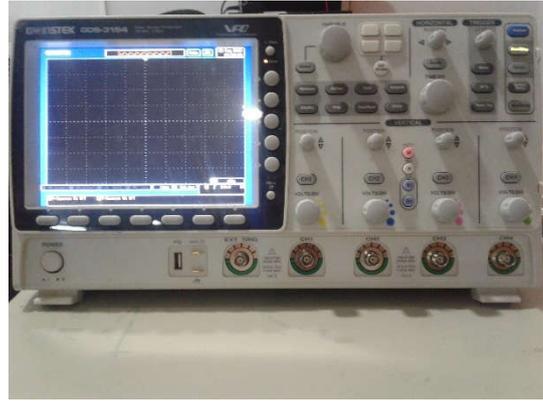
- ❖ Entrée: 1Ø 220VAC, 50 Hz.
- ❖ Sortie: 1Ø 0 ~ 300VAC, 50Hz ~ 999Hz.
- ❖ Puissance de sortie : 1Ø 2KVA.
- ❖ Courant de sortie : 6,5A.



**b) Un oscilloscope numérique à mémoire :**

Nom : Visual Persistence oscilloscope DSO,  
GDS-3000

- ❖ Chaîne : 4
- ❖ Bande passante : 150 MHz
- ❖ Profondeur de la mémoire : 25k points
- ❖ Taux d'échantillonnage R / T: 5GSa/s
- ❖ Affichage : 8 "TFT LCD SVGA
- ❖ Interface : USB Host / Device, RS-232C, Lan, GPIB (Option).
- ❖ Nom du modèle: GDS-3154



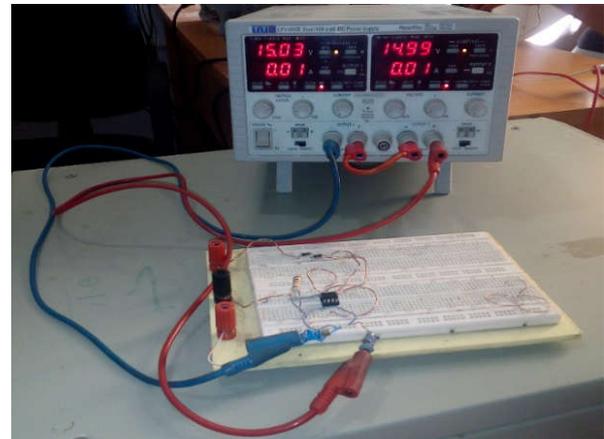
**c) Alimentation continue  $\pm 30V$  max**

Alimentation  $\pm 15V$  Rated voltage 110v-240v

~250/60 Hz

:1250 VA MAX

This instrument has a Universal operating  
rang pef er to manual



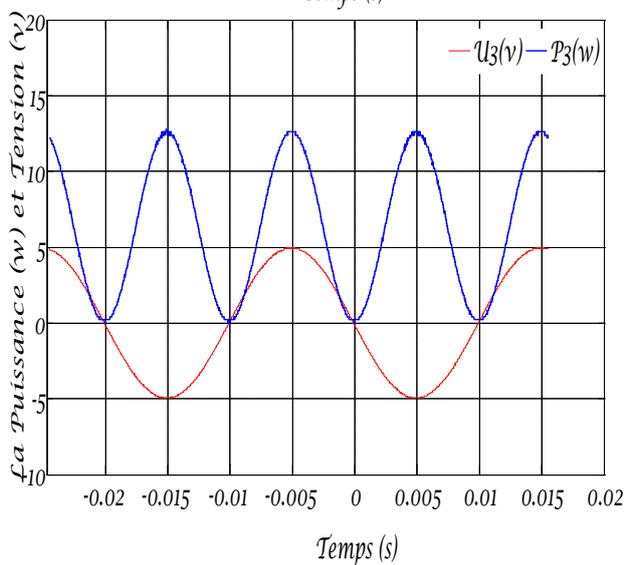
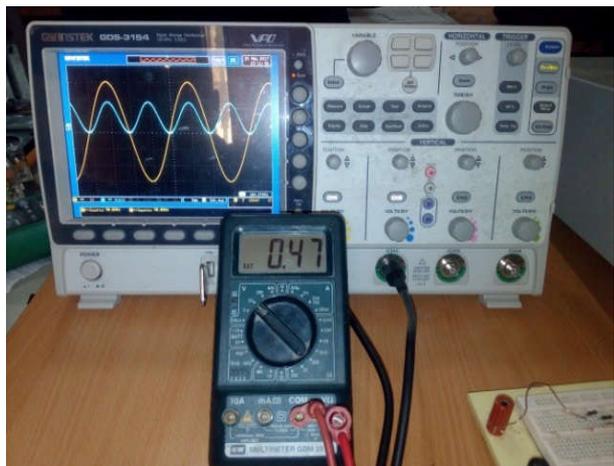
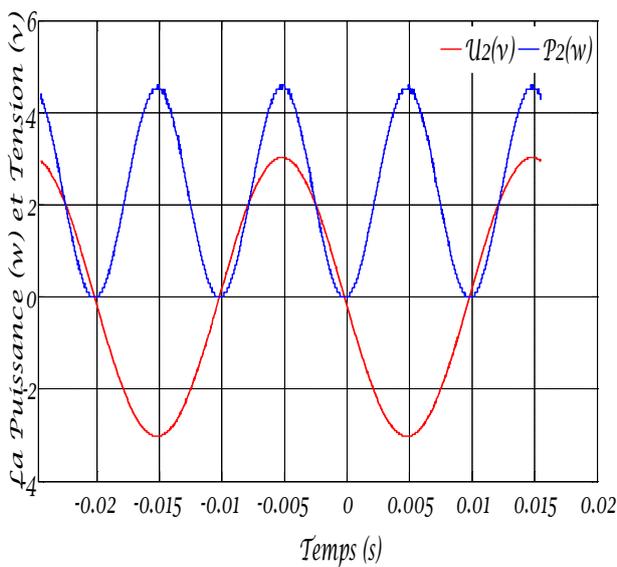
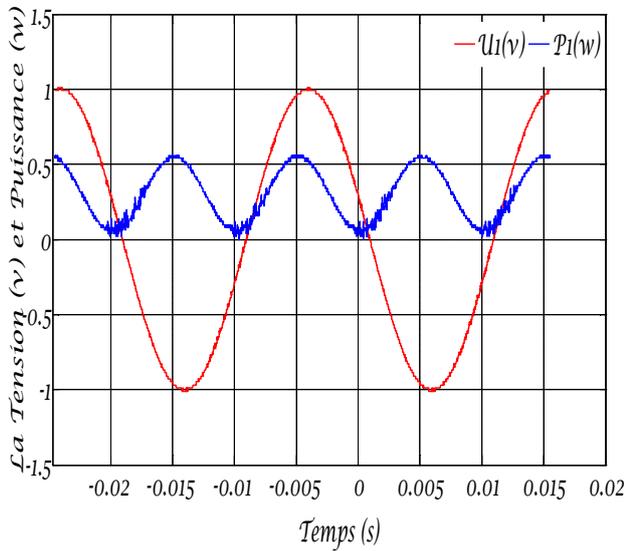
**IV.4 Résultats demesure**

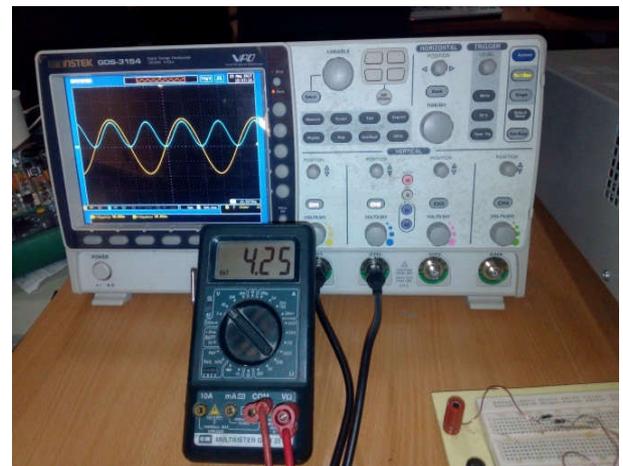
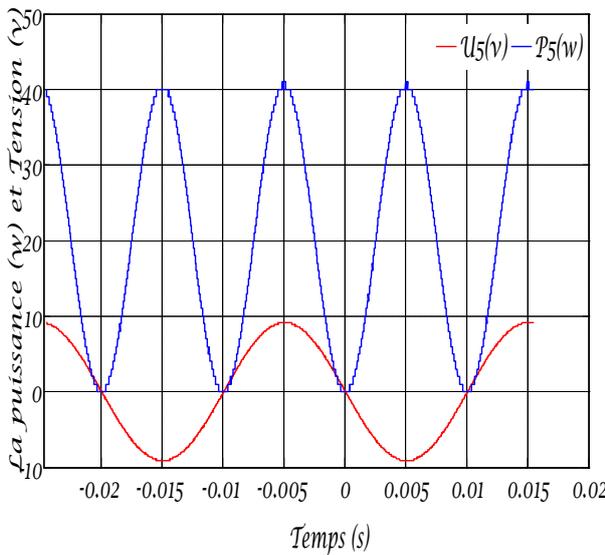
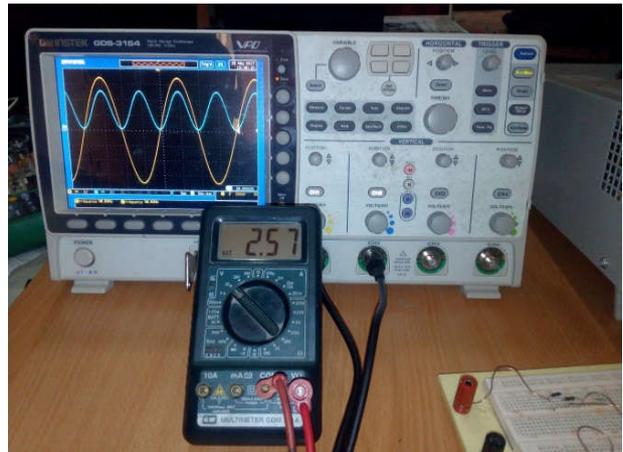
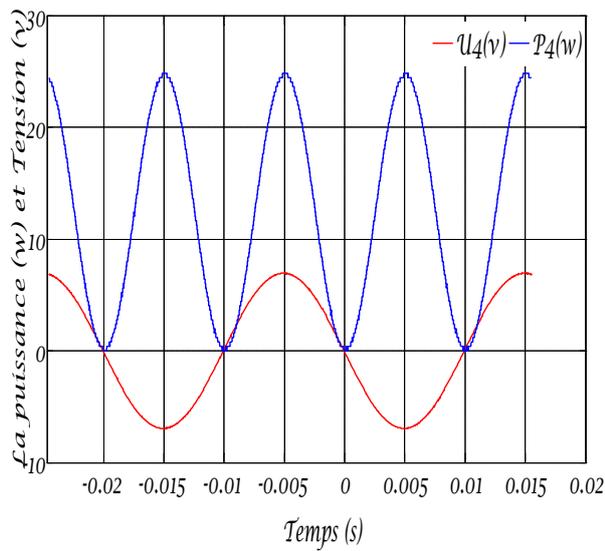
Deux testes ont été effectués : le premier sur l'AD633JN seul pour voir ses performances et le deuxième test sur le Wattmètre.

**IV.4.1 Teste sur l'AD633JN**

Pour tester les performances de l'AD633JN, nous avons utilisé une source alternative fournie par le GBF qui délivre une tension maximale de 10V. Pour simuler le fonctionnement du wattmètre, on a utilisé la même tension du générateur pour les deux entrées  $(X2-X1)=(Y2-Y1)$  et  $Z=0$ . Cela veut dire : 'si comme on a utilisé une résistance de 1ohm qui support 9 A'. Nous avons appliqué des tensions variables sur le GBF pour avoir une tension aux bornes de la charge simulée de 1V, 3V, 5V, 7, 9 V. Les résultats de mesure et d'affichage sont données sur les figures suivantes.

La tension instantanée est la même pour les deux entrées, elle est représentée en rouge sur les figures ci-dessous et la puissance instantanée est représentée en bleu. La puissance est prise directement par un multimètre en position voltmètre DC (Figures à droites).





La fig.VI.4 récapitule l'ensemble des tensions instantanées et la fig.VI.5 donne l'ensemble des puissances instantanées et la fig.VI.6 donne la puissance moyenne pour différentes tensions.

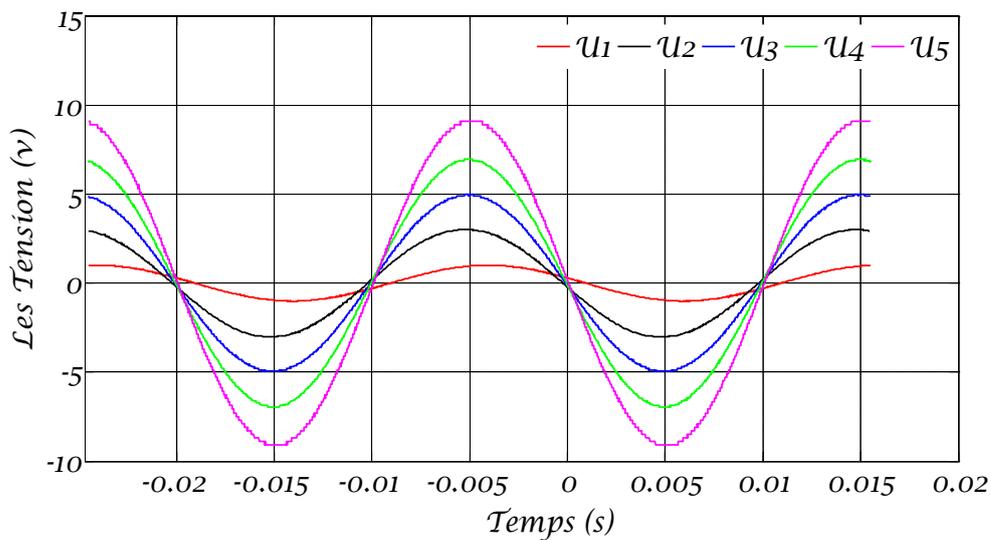


Fig.VI.4 : L'ensemble des tensions instantanées.

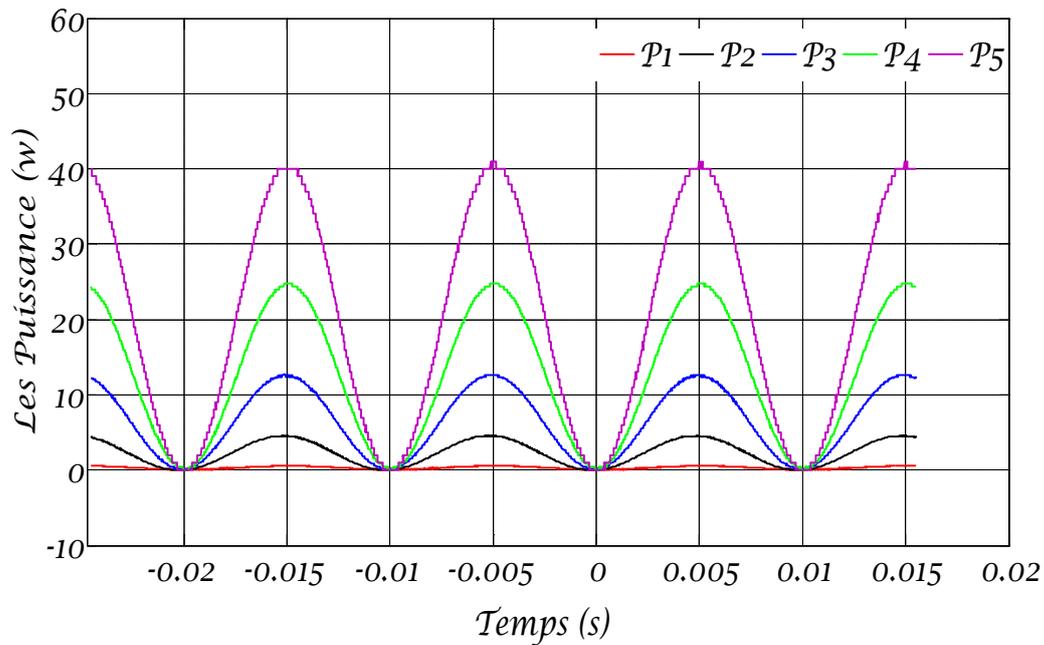


Fig.VI.5 : L'ensemble des puissances instantanées.

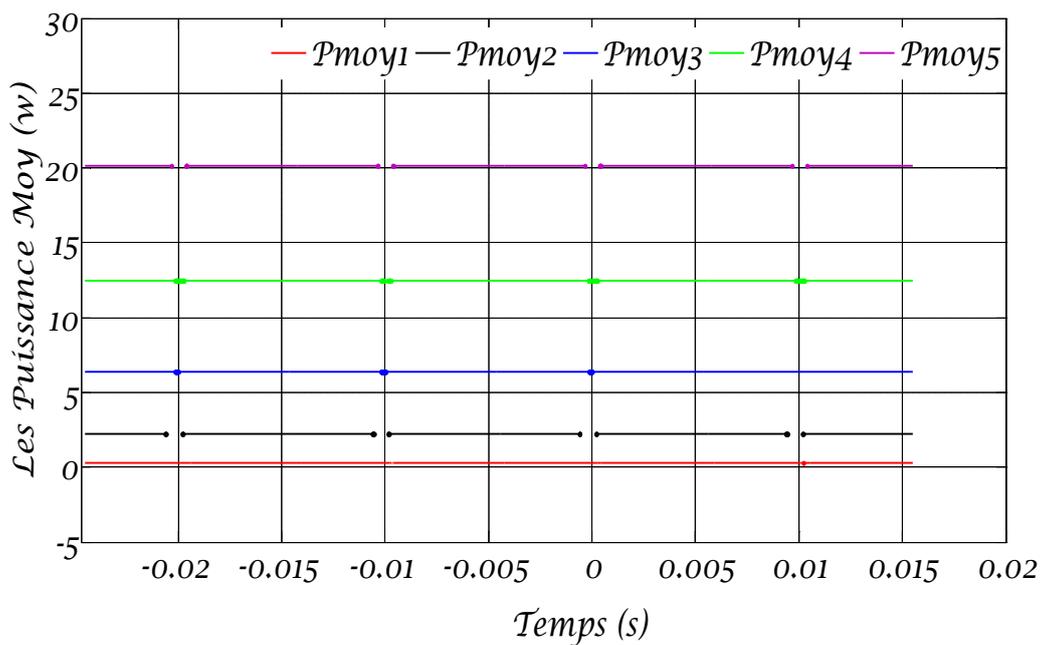


Fig.VI.6 : L'ensemble des puissances moyennes instantanées.

Le tableau IV.I donne la puissance mesurée et la puissance calculée pour différentes tensions maximales. On voit que l'erreur ne dépasse pas 5% :

$$\varepsilon_{erur} \% = \frac{P_{mes} - P_{thé}}{P_{thé}} \cdot 100 \quad (VI.3)$$

Tableau.VI.1 : Comparaison de la puissance mesurée et théorique.

$P(w)$ $V_m(V)$	$P_{mes}$	$P_{thé}$	Erreur (%)
1V	0.5	0.5	0
3V	4.7	4.5	4.44
5V	13.1	12.5	4.8
7V	25.7	24.5	4.9
9V	42.5	40.5	4.93

**IV.4.2 Testes sur le Wattmeter (Compteur numérique)**

Plusieurs difficultés ont été rencontrées pour le dimensionnement du Wattmètre destinée pour compteur d'énergie. Vu que le composant AD633JN nous a été livré que tardivement, nous avons pu faire des mesures qui sont acceptables. Pour ne pas endommager les composant, nous avons pris des précautions en choisissant une charge de grande valeur  $R_{ch}=1M\Omega$ . Nous avons fait deux tests, on alimente la résistance de charge  $R_{ch}$  par des tensions  $U=30V$ ,  $U=40V$ ,  $U=50V$ ,  $U=60V$  et  $U=70V$  efficace. Le schéma du dispositif est le suivant :

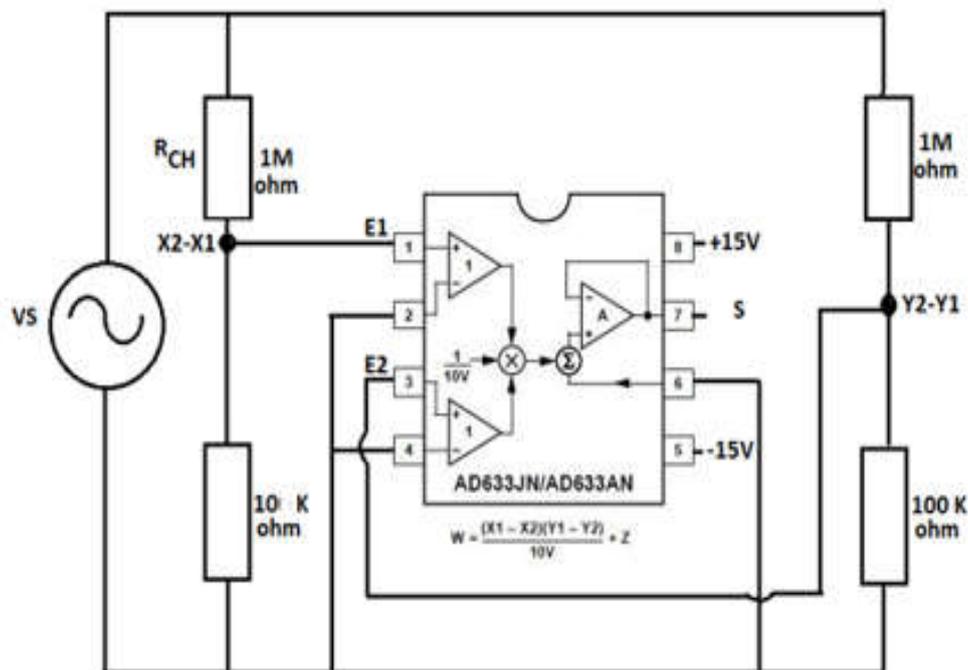


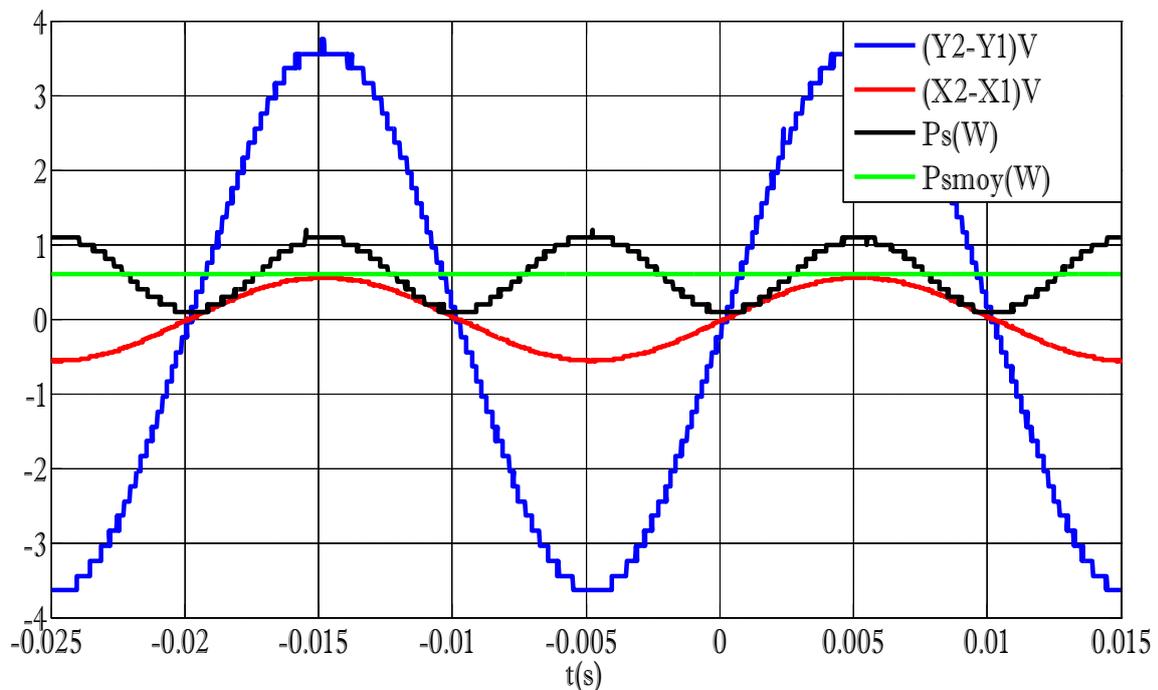
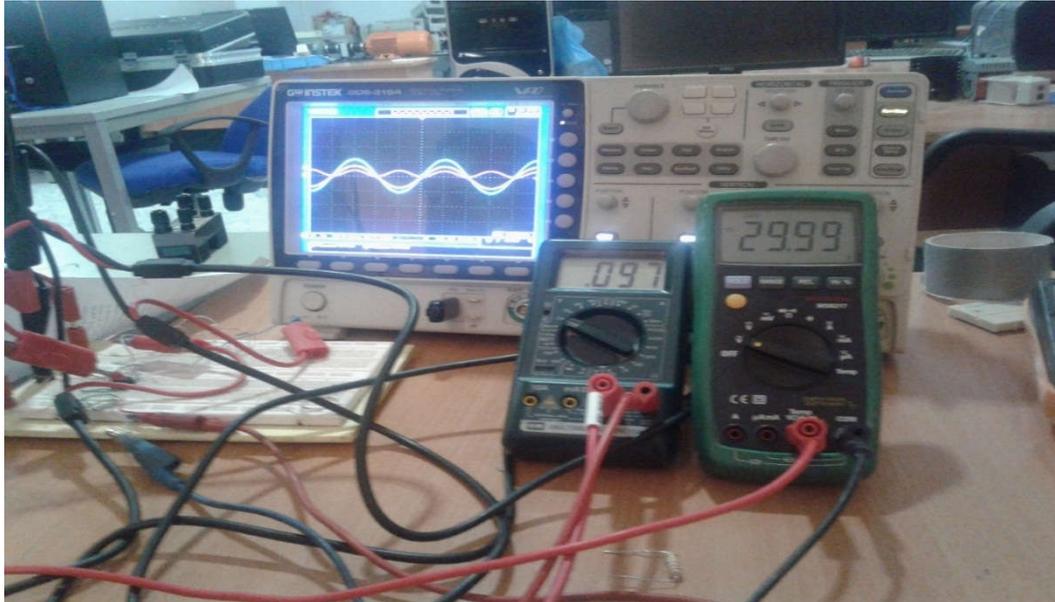
Fig. IV.7 Schéma du compteur d'énergie (Wattmètre)

**A. Test 1 : U = 30V**

Pour la valeur de la tension d'alimentation U égale à 30V appliquée sur la charge  $R_{ch} = 1\text{ M}$ , les tensions d'entrée instantanées (X2-X1) et (Y2-Y1) et les puissances instantanée  $P_s$  et moyenne  $P_{smoy}$  sont visualisées sur la figure IV.8 prises sur l'oscilloscope.

La lecture mesurée sur le Voltmètre nous donne  $P_{sv} = 0.97\text{ mW}$ .

La puissance théorique est  $P_{sth} = U/R_{ch} * U = 30/1M * 30 = 0.9\text{ mW}$



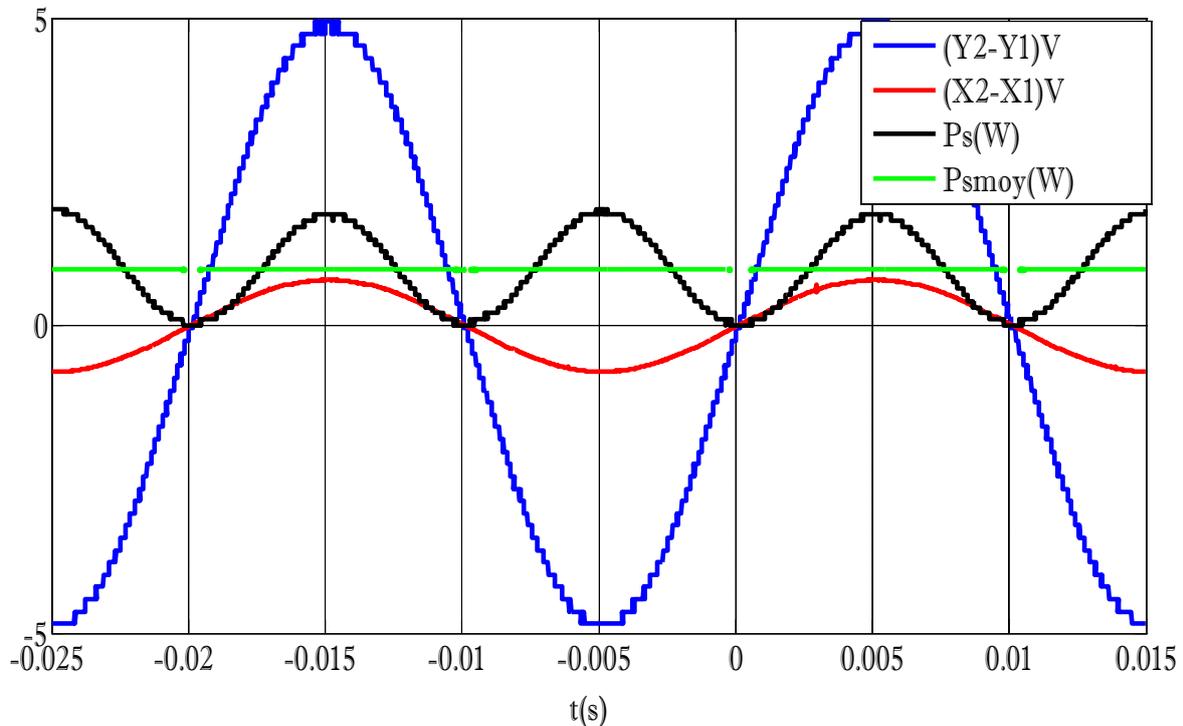
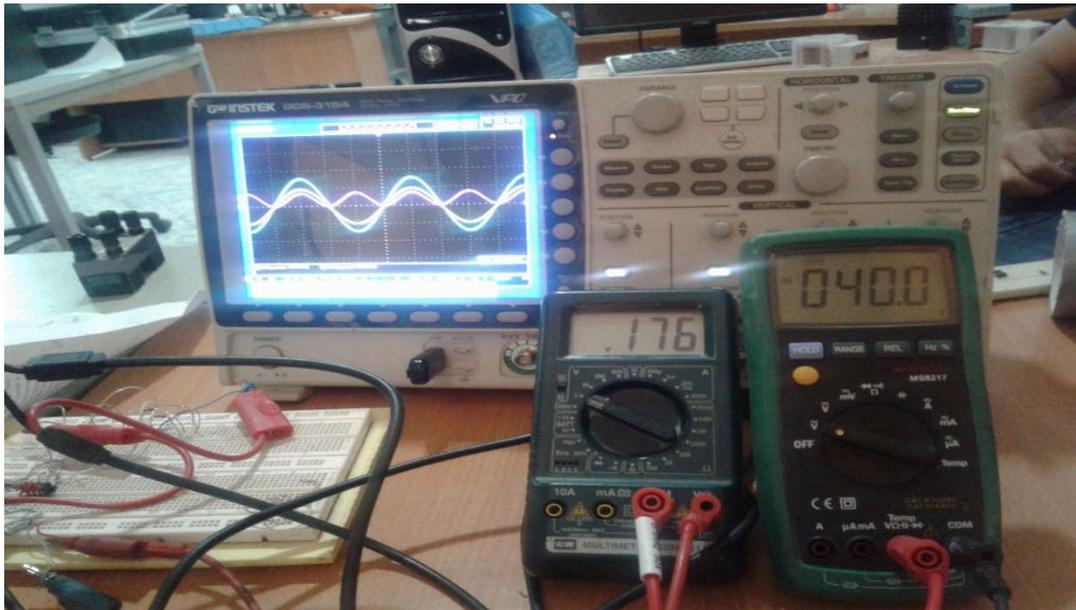
**Fig.VI.8**Tensions d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissances  $P_s$  et  $P_{smoy}$  pour  $U=30V$

**B. Test 2 : U =40V**

Pour la valeur de la tension d'alimentation U égale à 40V appliquée sur la charge  $R_{ch} =1 M$ , les tensions d'entrée instantanées (X2-X1) et (Y2-Y1) et les puissances instantanée Ps et moyenne Psmoy sont visualisées sur la figure IV.9 prises sur l'oscilloscope.

La lecture mesurée sur le Voltmètre nous a donnée  $P_{sv} =1.76 mW$

La puissance théorique est  $P_{sth} = U/R_{ch} * U = 40/1M * 40 = 1.6 mW$



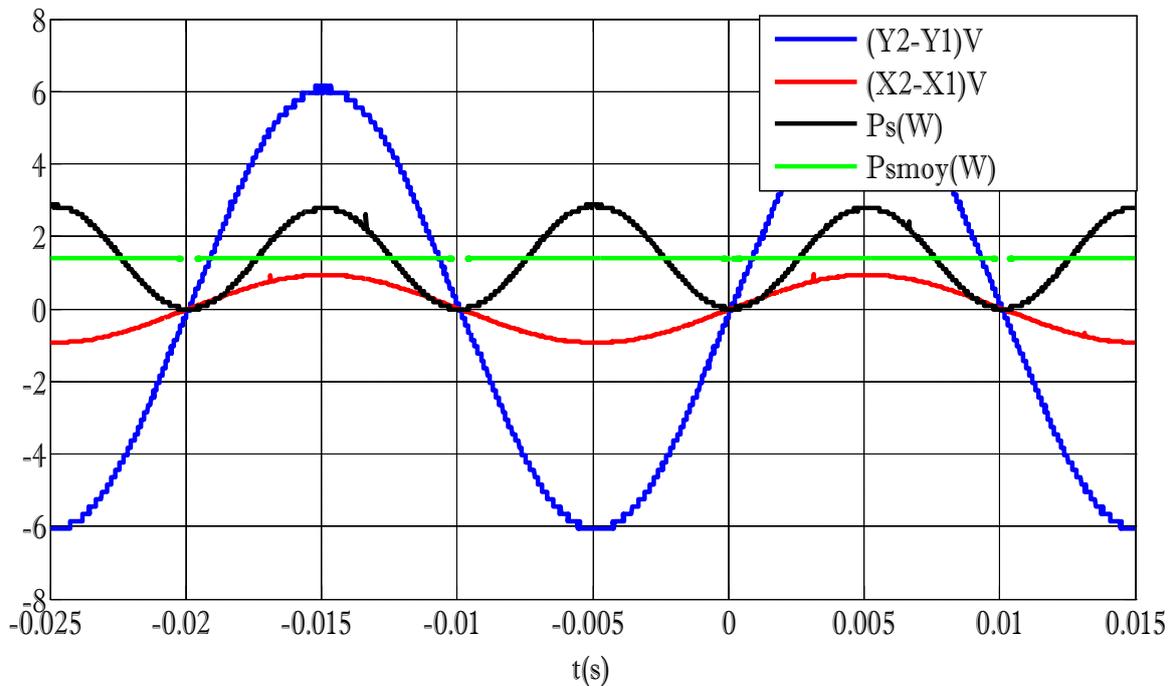
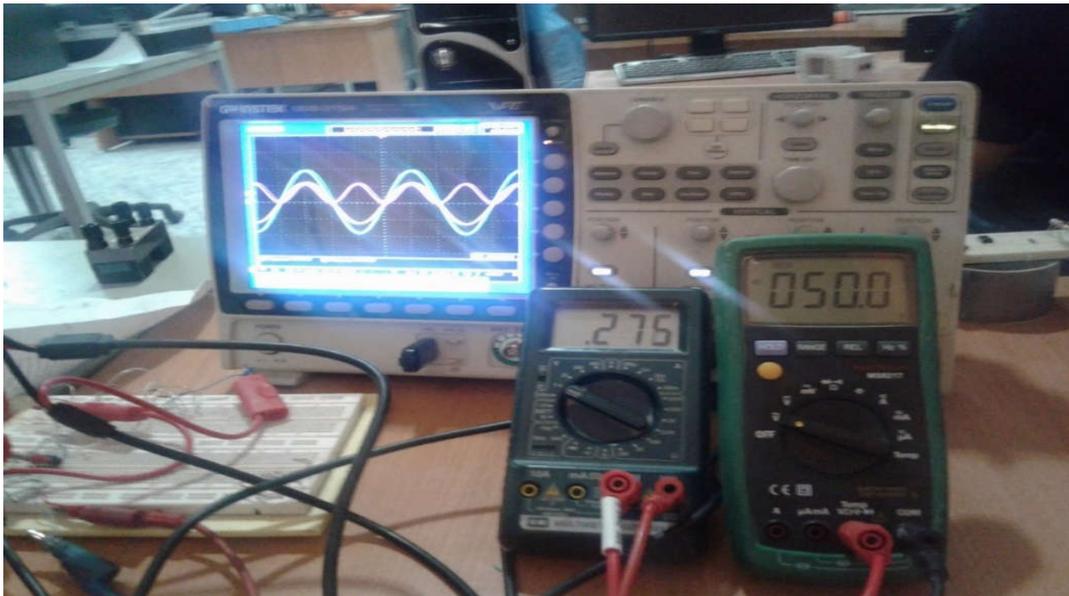
**Fig .VI.9 :** Tensions d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissances Ps et Psmoy pour U=40V

C. Test 3 : U = 50V

Pour la valeur de la tension d'alimentation U égale à 50V appliquée sur la charge  $R_{ch} = 1 M$ , les tensions d'entrée instantanées (X2-X1) et (Y2-Y1) et les puissances instantanée  $P_s$  et moyenne  $P_{smoy}$  sont visualisées sur la figure IV.10 prises sur l'oscilloscope.

La lecture sur le Voltmètre nous a donnée  $P_{sv} = 2.76 mW$

La puissance théorique est  $P_{sth} = U/R_{ch} * U = 50/1M * 50 = 2.5 mW$



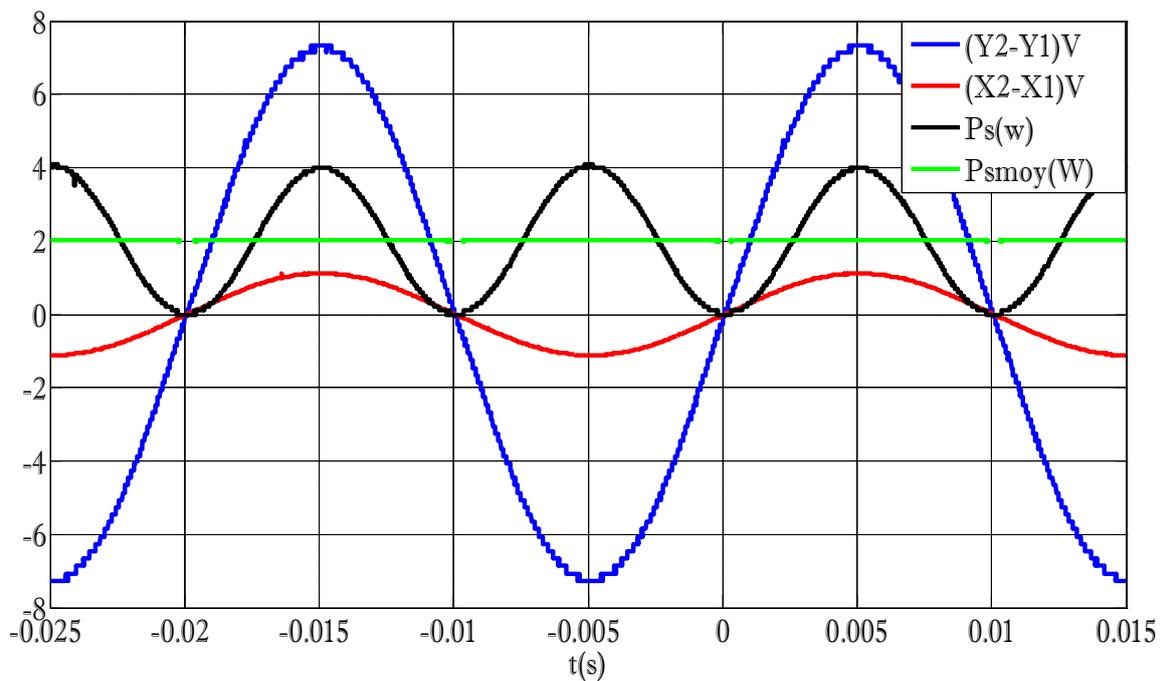
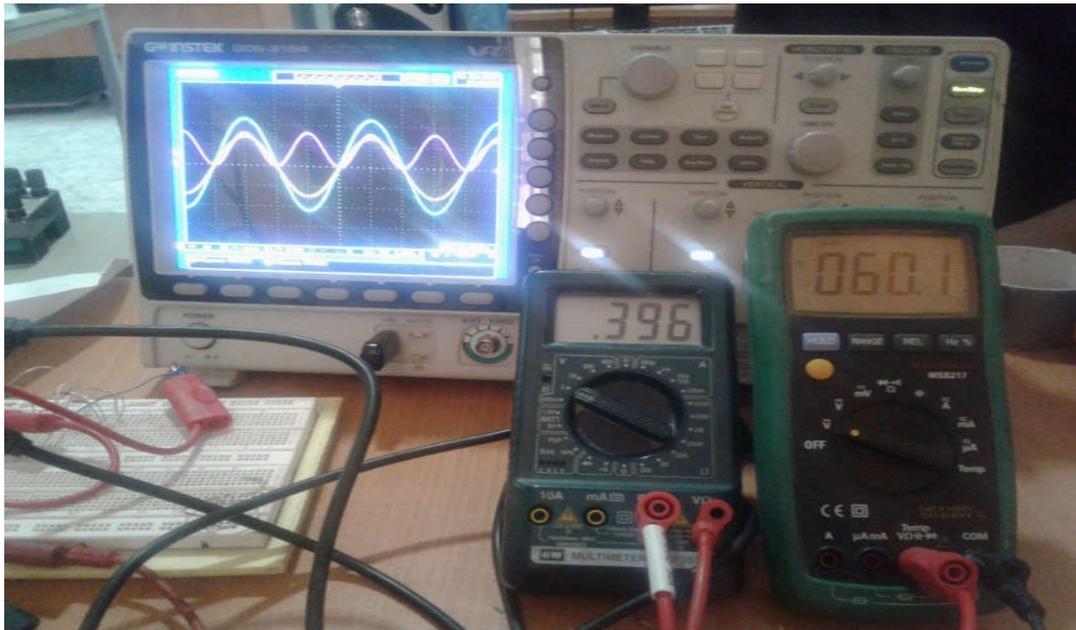
**Fig.VI.10**Tensions d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissances  $P_s$  et  $P_{smoy}$  pour  $U=50V$

**D. Test 4 : U = 60V**

Pour la valeur de la tension d'alimentation U égale à 60V appliquée sur la charge  $R_{ch} = 1\text{ M}$ , les tensions d'entrée instantanées (X2-X1) et (Y2-Y1) et les puissances instantanée Ps et moyenne Psmoy sont visualisées sur la figure IV.11 prises sur l'oscilloscope.

La lecture sur le Voltmètre nous a donnée  $P_{sv} = 3.96\text{ mW}$

La puissance théorique est  $P_{sth} = U/R_{ch} * U = 60/1M * 60 = 3.6\text{ mW}$



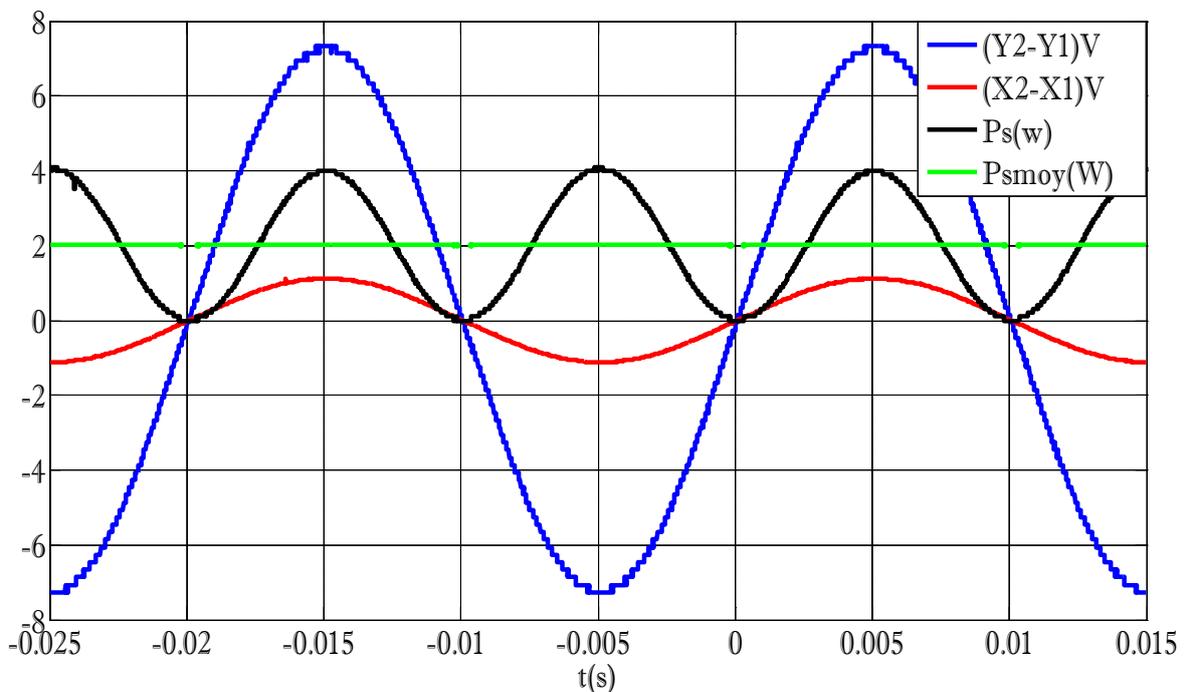
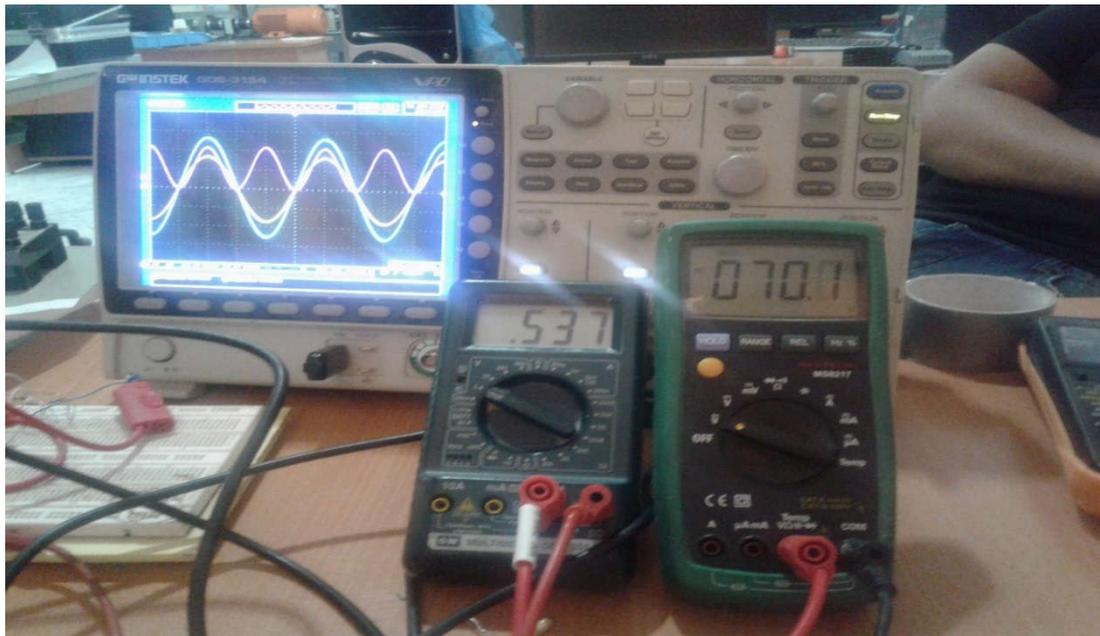
**Fig.VI.11**Tensions d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) et puissances Ps et Psmoy pour U=60V

**E .Test 5 : U = 70V**

Pour la valeur de la tension d'alimentation U égale à 70V appliquée sur la charge  $R_{ch} = 1\text{ M}$ , les tensions d'entrée instantanées (X2-X1) et (Y2-Y1) et les puissances instantanée Ps et moyenne Psmoy sont visualisées sur la figure IV.12 prises sur l'oscilloscope.

La lecture sur le Voltmètre nous a donnée  $P_{sv} = 5.37\text{ mW}$

La puissance théorique est  $P_{sth} = U/R_{ch} * U = 70/1M * 70 = 4.9\text{ mW}$



**Fig.VI.12**Tensions d'entrée (X2-X1), (Y2-Y1) etpuissances Ps et Psmoy pour U=70V

Le tableau suivant donne la puissance mesurée par le Voltmètre comparée au à la puissance théorique.

**Tableau VI.2 :** La puissance mesurée par le Voltmètre comparée au à la puissance théorique

<i>U(V)</i> \ <i>P(mW)</i>	<i>Pmes</i>	<i>Pthé</i>	<i>Erreur (%)</i>
30V	0.97	0.9	7.77
40V	1.76	1.6	10
50V	2.75	2.5	10
60V	3.96	3.6	10
70V	5.37	4.9	9.60

On voit que le Wattmètre ainsi réalisé qui est inséré dans un compteur d'énergie monophasé nous donne une mesure de la puissance qui est acceptable par rapport à celle théorique avec une erreur de 10 %.

### **VI.5 : Conclusion**

Nous avons essayé de réaliser un wattmètre par les moyens disponibles. Le travail nous semble suffisants. Vue plusieurs contraintes, nous ne nous somme arrivé à faire des tests directs de mesure de puissance sur un circuit en opération que sur des charges de  $1M\Omega$  et plus avec une erreur de 10%.

## ***CONCLUSION GENERALE***

Les appareils numériques sont de plus en plus utilisés. Il ne faut pas s'imaginer que les appareils analogiques vont disparaître complètement. Dans la pratique, le technicien aura à sa disposition durant plusieurs années les deux types d'appareils analogique et numérique. En général leur coût est moins élevé que celui de leurs homologues numériques. Enfin un certains nombres d'utilisateurs préfèrent l'affichage par aiguille que par valeur numérique.

Nous avons présenté une étude du wattmètre et son utilisation pour la mesure de puissance électrique (wattmètre). Cette étude nous a aidé dans la réalisation du wattmètre.

Nous avons décrit le circuit intégré AD633 qui est un élément essentiel et de base pour la réalisation du wattmètre. Plus d'information sont détaillé dans sa fiche de description.

Nous avons essayé de réaliser un wattmètre par les moyens disponibles. Le travail nous semble suffisants main incomplet. Vue plusieurs contraintes, nous nous sommes arrivé à faire des tests directs de mesure de puissance sur un circuit en opération d'une charge de  $1M\Omega$  une erreur de 10%.

## ***BIBLIOGRAPHIE***

- [1] : A. Mechernene et M. A. brikci Nigassa ‘‘TRAVAUX PRATIQUES D’ELECTROTECHNIQUE’’ université Abou bekre bekaid-tlemcen faculté de technologie
- [2] : Mr Hechmi KHATERCHI Catégorie : Réalisation de cartes électroniques 20/11/2013
- [3] : [https://sti2d.ecolelamache.org/le\\_wattmtre.html](https://sti2d.ecolelamache.org/le_wattmtre.html) .
- [4] : Cours ‘‘systèmes triphasés équilibrés’’ ENS.EA 2009-2010 PP (10-13).
- [5] : <http://www.epsic.ch/cours/electrotechnique/theorie/instrufonct/240.html> .
- [6] : [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD633.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD633.pdf)