



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Baker Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et d'Electronique

RAPPORT DE PRESENTATION DE PROJET DE FIN D'ETUDES

MASTER en ELECTRONIQUE

Spécialité : Instrumentation Electronique

Présenté par : Souyah Djihene Zouaouia et Berrichi Sofiane

Etude et Réalisation d'un Wattmètre Electronique

Présenté le juin 2017 devant les Jury

M.	DIB Nabil	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Président
M.	HAMZA CHERIF Lotfi	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Examinateur
M.	KERAI Salim	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2016-2017

Etude et Réalisation d'un Wattmètre Electronique

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur monsieur Kerai Salim

Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury monsieur le président de jury Dib Nabil , ainsi que monsieur Hamza Cherif Lotfi pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements s'étendent également au corps professoral et administratif de la Faculté de technologie, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Dédicace 1

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, la plus belle créature que Dieu a créée sur terre ,la source de tendresse, de patience et de générosité et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

*Mes chers frères **Nabil, Imad et Mohammed el Amine** pour leur appui et leur encouragement, je vous souhaite un avenir radieux plein de réussite*

*A toute la famille **Souyah et Sennour** pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

A tous les membres de ma promotion.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Djihene

Dédicace 2

Je dédie ce mémoire à :

A la mémoire de ma chère mère Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A mon père, pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études,

Mon frère et mes sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

Ma tante : Noria et à toute ma famille

A tous les membres de ma famille, petits et grands Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

À tous mes amis et collègues

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Sofiane

Liste des figures :

Figure (I.1) : Principales transformations d'énergies primaires

Figure (I.2) : centrale hydraulique

Figure (I.3) : centrale thermique

Figure (I.4) : centrale nucléaire

Figure (I.5) : parc éolienne

Figure (I.6) : Constitution d'une cellule photovoltaïque

Figure (I.7) : transport et distribution de l'énergie électrique

Figure (I.8) : réseau électrique intelligent

Figure (II-1) : Le compteur électrique d'Edison

Figure (II-2): Publicité pour le Compteur Bleu 1966

Figure (II-3): compteur communicant

Figure (II-4): compteur classique

Figure (II-5): compteur électronique

Figure (II-6) : schéma synoptique d'un compteur d'énergie

Figure (II-7): Schémas de principe (a) shunt en technologie couches épaisses et (b) shunt coaxial.

Figure (II-8) : *Schéma de principe d'un transformateur de courant.*

Figure (II-9): *Schéma de principe d'une bobine de Rogowski munie d'un intégrateur*

Figure (II-10): *Schéma de principe d'un capteur de Hall*

Figure (II-11): Schéma de principe d'un capteur de Hall en boucle fermé

*Figure (II-12): Schéma de principe d'un capteur magnétorésistif
monté en pont de Wheatstone et opérant en boucle fermée.*

Figure (II-13): Schéma de principe d'un capteur fluxgate opérant à flux nul (boucle fermée)

Figure (III.1): schéma électrique d'un capteur de courant réalisé par Isis

Figure (III.2) : circuit électrique de capteur de courant

Figure(III.3) : schéma électrique de capteur de tension réaliser par Isis

Figure (III.4) : circuit électrique de capteur de tension

Figure (III.5) : schéma électrique d'un multiplieur réalisé par Isis

Figure (III.6)

Figure (III.7) : schéma électrique de capteur de tension réaliser par Ares

Figure (III.8) : Simulation d'un multiplieur

Table des matières

Remerciements	2
Chapitre 1	12
Puissance et Énergie électrique	12
I.L'énergie électrique :	13
I .1.Introduction :	13
I .2. Définition	13
I.3Réseaux électrique	13
I.4Production de l'énergie électrique.....	14
I.4.1 introduction.....	14
I .4.2 Types de centrales	15
I.5Transport et distribution	22
I.6. Puissance	24
I.6. 1. Introduction.....	24
I.6. 2 Type de puissance	25
I.7 Coût de l'électricité (tarification)	26
I.8. RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS.....	27
I.8.1 introduction.....	27
I.8. 2 Définition :	28
I.8. 3 Avantages	29
Conclusion	29
Chapitre 2	30
Les compteurs d'énergie électrique.....	30
II .1Introduction :	31
II .2 Définition :	31
II .3 Historique	31
II .4 le rôle du compteur électrique :.....	34
II .5 Les différents types de compteurs d'énergie électrique.....	34
II .5.1 Compteur classique électromécanique.....	35
II .5.2 Compteur électronique	36
II.5.3 Compteur électrique communicant (intelligent)	36
II.5.3.1Définition.....	36
II.5.3.2L'utilité d'un compteur intelligent :	37
II.6 Schéma Synoptique du compteur d'énergie	39
II.7Capteur de courant	40

II.8	Quelques technologies de capteurs	40
II.8.1	Les shunts :	40
II.8.2	Les transformateurs de courant.....	41
II.8.3	Les bobines de Rogowski.....	41
II.8.4	Les capteurs de Hall.....	42
II.8.5	Les magnétorésistances :	44
II.8.6	Les capteurs AMR :	44
II.8.7	Les capteurs GMR et TMR :	45
II.8.8	Les fluxgates	45
II.9	Conclusion	46
Chapitre 3		47
Conception du compteur d'énergie		47
III.1	capteur de courant	48
	Pour réaliser notre circuit nous avons commencé tout d'abord par la réalisation du capteur de courant qui a le schéma électrique suivant :	48
III.1.1	Schéma électrique d'un capteur de courant	48
III.1.2	principe de fonctionnement du capteur de courant.....	49
III.2	Capteur de tension	51
III.2.1	schémas électriques d'un capteur de tension.....	51
III.2.2	Principe de fonctionnement d'un capteur de tension	53
III.3	Mesure de la puissance	53
III.3.1	Multiplieur.....	53
III.3.2	Schéma électrique d'un multiplieur.....	54
III.3.3	Principe de fonctionnement.....	55
III.3.4	Simulation :	56
III.4	Conclusion	56
Conclusion générale :		57
ANEXXE		58
Référence		59

Introduction générale :

L'électricité est une source d'énergie indispensable à notre mode de vie ; Elle permet de faire fonctionner tous les appareils électriques qui nous entourent et que nous utilisons tous les jours au quotidien. Couplée à l'électronique, l'électricité est un remarquable vecteur énergétique elle permet de mettre en œuvre ses usages sans émission de polluants atmosphériques (CO₂ notamment, même s'il ne faut pas oublier les pollutions qui peuvent accompagner sa production dans les centrales).

L'électricité est difficilement stockable en grande quantité, la production de l'énergie électrique est directement liée à la consommation c'est pour cela on utilise des centrales pour la produire en continu, à la sortie de ces centrales, l'électricité est portée à très haute tension (400 000V) afin d'être acheminée via le réseau de transport. Arrivée à proximité des zones d'utilisation, cette énergie électrique est abaissée au travers de postes sources: c'est le début du réseau de distribution qui amènera l'électricité (230V) jusqu'aux utilisateurs.

Le comptage d'énergie électrique industrielle ou résidentielle est basé sur le nombre de kilowattheures consommés durant le mois ; les appareils qui enregistrent cette consommation sont les compteurs d'énergie ou les wattheuremètres; ils sont conçus pour multiplier la puissance consommée par le temps.

Ce mémoire se concentre sur l'étude et la réalisation d'un wattmètre électronique

Ce mémoire est divisé en trois chapitres, réparti comme suit:

Le premier chapitre comprend tout d'abord des généralités sur l'énergie électrique et les façons de sa production ainsi que le mode de son transport et distribution. Ensuite nous décrivons la puissance et ces types ainsi que le cout d'électricité et nous terminerons avec un rappel sur les réseaux intelligents

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés plus au compteur d'énergie son historique ses types et son utilité.

Le troisième chapitre est consacré à la conception, l'étude et la réalisation du wattmètre électronique où tous les étages seront décrits : le capteur de courants, le capteur de tensions et la mesure de la puissance.

Chapitre 1

Puissance et Énergie électrique

I. L'énergie électrique :

I.1.Introduction :

L'énergie électrique ou l'électricité est tellement présente dans nos vies, il ne se passe pas une minute dans une journée sans que nous l'utilisions ; elle est la source de notre civilisation, elle est tellement essentiel au fonctionnement de nos sociétés, pour la produire nous avons construit des installations gigantesques creusées au plus profond de la terre , pour trouver le combustible nécessaire à les faire fonctionner nous avons détourné des fleuves après voisais la force du vents et la chaleur du soleil ; et pour la distribuer nous avons créé des gigantesques réseaux électriques. Mais qu'est-ce que c'est l'énergie électrique ?

I.2. Définition :

Définir l'énergie électrique sous forme d'énergie résultant de l'existence d'une différence de potentiel entre deux points. Lorsque ces deux points les met en contact avec un conducteur électrique obtenir un courant électrique.

L'énergie électrique permet d'évaluer la quantité d'électricité produite ou consommée pendant une période donnée.

L'unité de mesure de l'énergie électrique est le Watt/heure (symbole Wh) qui représente l'énergie consommée par un appareil de puissance 1 watt fonctionnant pendant 1 heure. (1 Wh = 3600 J).

L'énergie électrique n'est pas une énergie primaire, c'est à dire qu'il faut une autre énergie ou d'autre énergie en amont pour la produire. Elle est le résultat d'un transfert énergétique.

I.3Réseaux électrique :

Le réseau électrique est un ensemble de lignes aériennes, de câbles souterrains et de postes, à divers niveaux de tension.

Les réseaux relient entre elles toutes les unités de production et visent à assurer une fonction de secours en cas de pannes et/ou de défaillances. Les réseaux permettent

d'acheminer l'énergie produite par des sources délocalisées vers les points de consommation ; visent à assurer l'acheminement de l'énergie produite en masse à un endroit défini par des machines raccordées en grande partie aux niveaux de tension supérieurs vers des consommateurs en général disséminés sur un territoire donné et raccordés à des niveaux de tension inférieurs .

Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs. Comme on ne peut encore stocker économiquement et en grande quantité l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité :

$$\text{Production} = \text{Consommation} + \text{perte [1]}$$

I.4 Production de l'énergie électrique :

I.4.1 introduction :

La production d'électricité se fait depuis la fin du 19ème siècle à partir de différentes sources d'énergies primaires (énergie nucléaire, énergie hydraulique, énergie solaire, énergie éolienne et biomasse. ...)

Il existe plusieurs façons de produire l'électricité qui peut être classé comme renouvelable ou non renouvelable selon sa source. Les formes d'énergie renouvelable pour produire de l'électricité sont ceux dans lesquels aucun carburant ou combustible utilisé est inépuisable (l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, géothermique, etc.). De plus les moyens de produire de l'électricité non renouvelable nécessitent un combustible abondant qu'il tend à fonctionner comme l'énergie nucléaire, l'énergie thermique (charbon, pétrole, gaz, etc...)

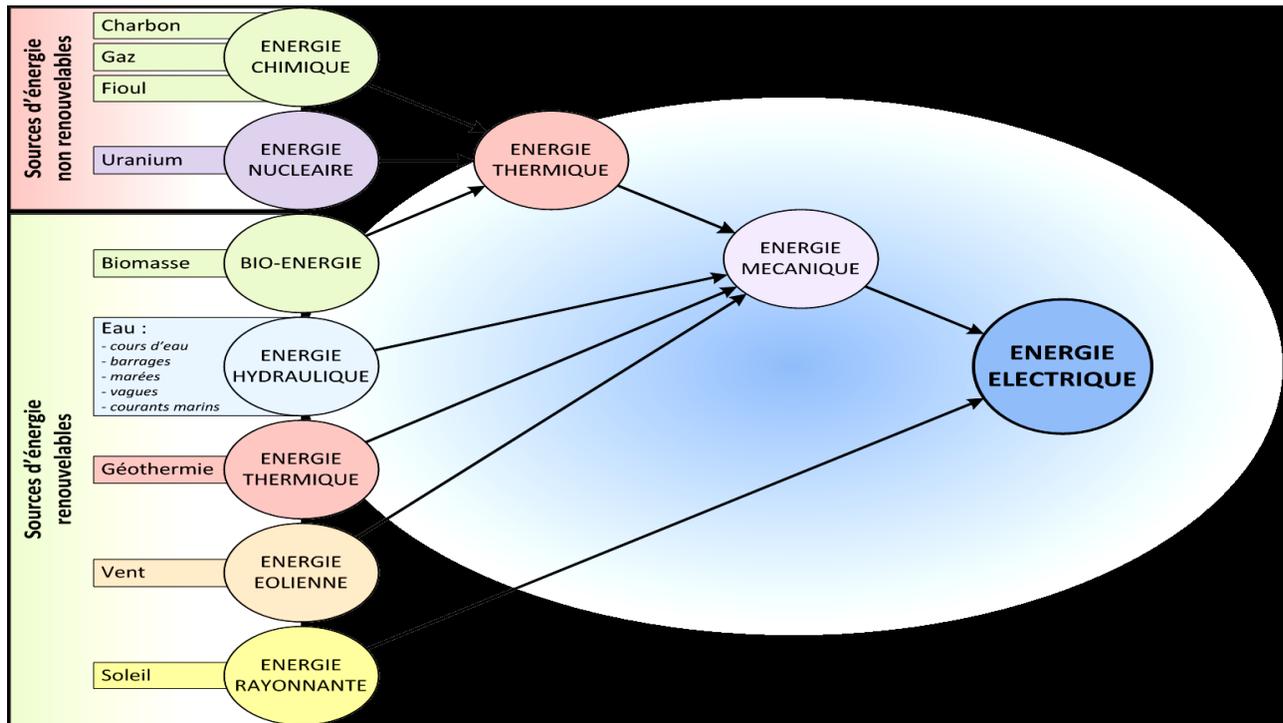


Figure I.1. Principales transformations d'énergies primaires

L'électricité est difficilement stockable en grande quantité, la production de l'énergie électrique est directement liée à la consommation c'est pour cela on utilise des centrales pour la produire en continu

I .4.2 Types de centrales :

Il existe trois principaux types de centrales pour produire de l'énergie électrique:

- a) les centrales hydrauliques
- b) les centrales thermiques
- c) les centrales nucléaires

I .4.2.1 CENTRALES HYDRAULIQUES : La plus grande partie d'énergie électrique provient des centrales hydroélectriques par l'exploitation des chutes d'eau. Les centrales hydro-électriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

a) Types de centrales hydrauliques :

Suivant la hauteur de chute, on distingue:

. Les centrales de haute chute

Les centrales de haute chute ont des hauteurs de chute supérieures à 300m; elles utilisent des turbines Pelton.

. Les centrales de moyenne chute :

Les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30 m et 300 m; elles utilisent des turbines Francis. Ces centrales sont alimentées par l'eau retenue derrière un barrage construit dans le lit d'une rivière de région montagneuse

. Les centrales de basse chute :

Les centrales de basse chute, ou centrales au fil de l'eau, ont des hauteurs de chute inférieures à 30 m; elles utilisent des turbines Kaplan ou Francis.

b) Parties principales d'une centrale hydraulique :

Une centrale hydro-électrique comporte essentiellement:

1. le barrage de retenue et le déversoir
2. la conduite d'amenée
3. la conduite d'échappement
4. l'usine proprement dite

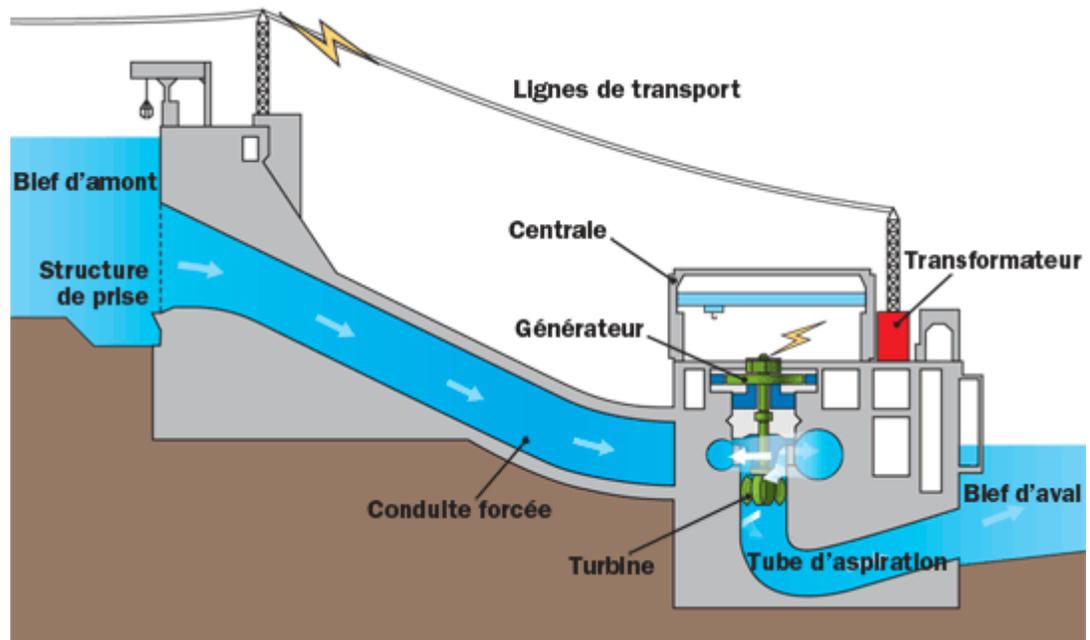


Figure I.2 centrale hydraulique

I.4.2.2 CENTRALES THERMIQUES :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200 MW et 2000 MW afin de réaliser les économies d'une grosse installation. On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines.

Les centrales thermiques modernes se ressemblent beaucoup et la plupart fonctionnent à une température de 550 °C et une pression de 16,5 MPA; elles donnent un rendement global de l'ordre de 40 %. Les quantités d'énergie, les débits de vapeur, etc., ne changent pas beaucoup, même pour des températures et des pressions différentes.

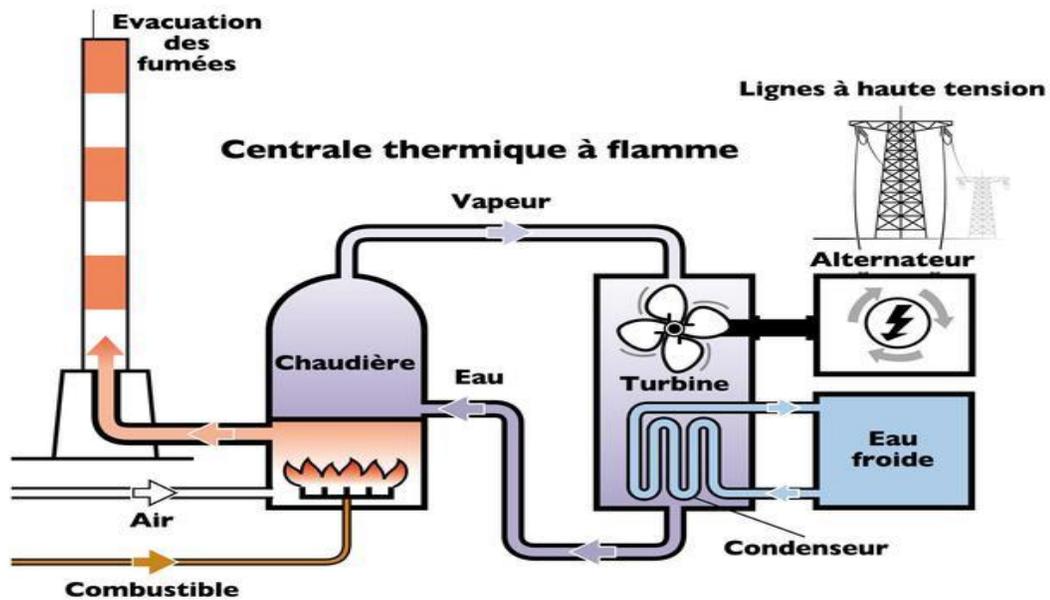


Figure I.3 centrale thermique

I.4.2.3 CENTRALES NUCLÉAIRES :

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé qu'on appelle fission nucléaire. Remarquons qu'une réaction chimique telle que la combustion du charbon produit un simple regroupement des atomes sans que leurs noyaux soient affectés. Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission. Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc., comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est semblable (entre 30 % et 40 %) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement.

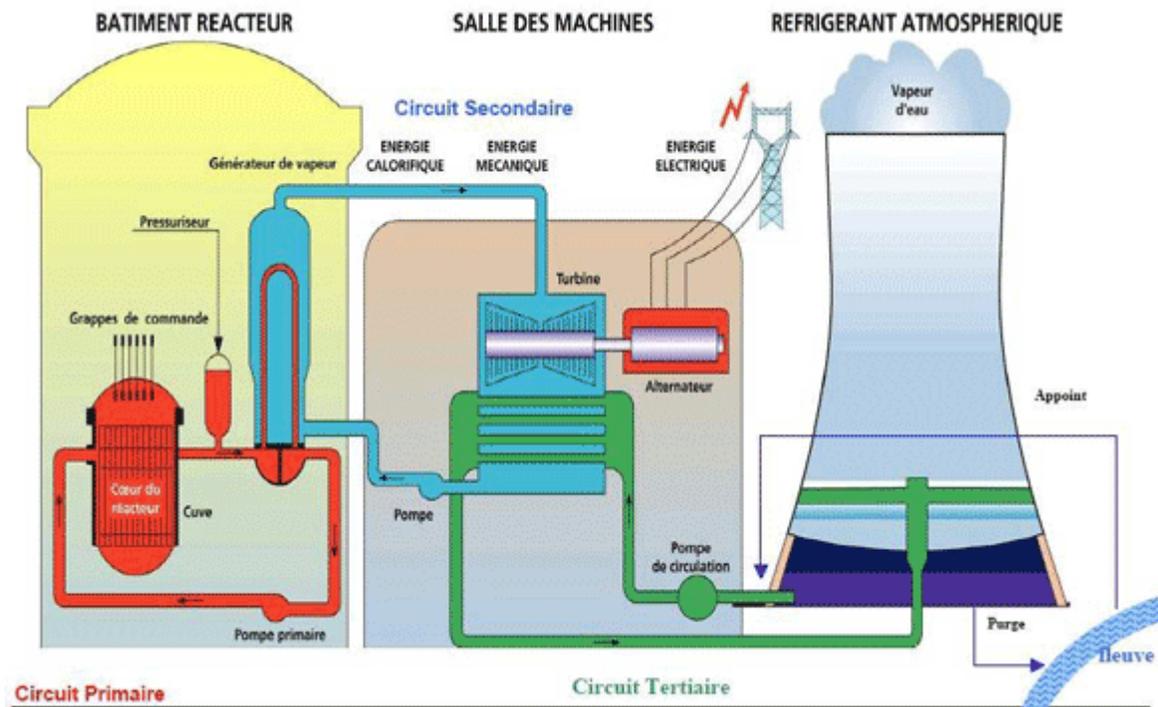


Figure I.4 centrale nucléaire

I .4.2.4 Energie éolienne:

À cause de la masse et de la vitesse de l'air en mouvement, le vent possède une énergie cinétique ; Considérons par exemple un mètre cube d'air se déplaçant à une vitesse de 10 m/s. Comme un mètre cube d'air possède une masse d'environ 1,2 kg, l'énergie cinétique emmagasinée est $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ éq.1-6 = $\frac{1}{2} \times 1,2 \times 10^2 = 60 \text{ J}$ Si l'on réussit à ralentir cette masse d'air à l'aide d'un dispositif quelconque et à l'amener à l'arrêt complet, on pourra récupérer cette énergie cinétique. C'est justement le rôle d'une turbine éolienne de capter cette énergie mécanique. Cette énergie est transformée en énergie électrique par la génératrice couplée à l'arbre de la turbine.[2]

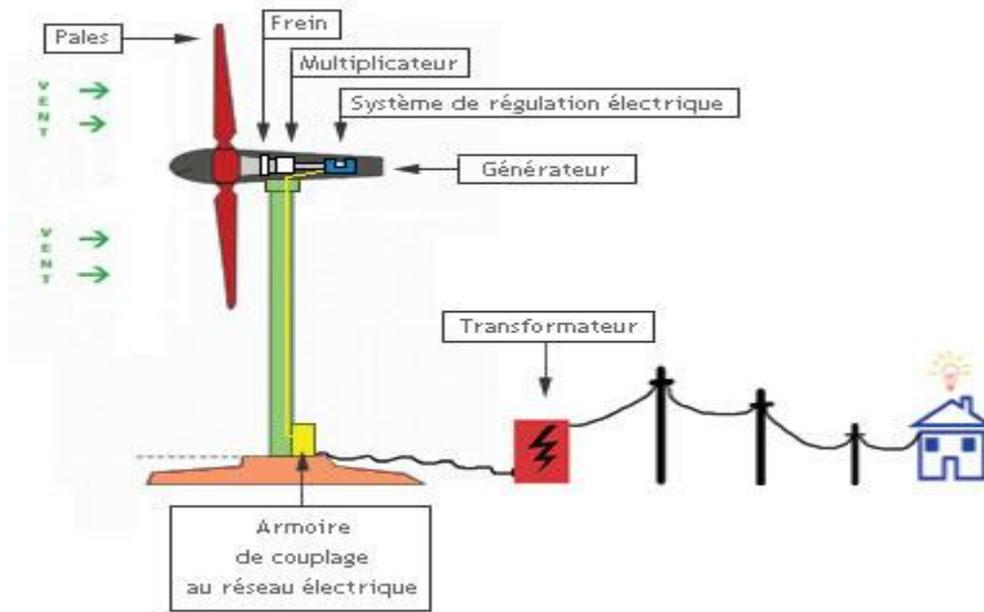


Figure I.5 parc éolienne

I.4.2.5 Energie photovoltaïque:

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro-puissance calculé en watt crête (Wc) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau.

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles.

Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement dans lesquelles vous vous trouvez.

L'avenir du photovoltaïque dans les pays industrialisés passe par son intégration sur les toits et les façades des maisons solaires. [3]

I.4.2.6 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

Une cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. L'une des couches de la cellule est dopée avec des atomes de phosphore qui, eux, comptent 5 électrons (soit 1 de plus que le silicium). On parle de dopage de type n comme négatif, car les électrons (de charge négative) sont excédentaires. L'autre couche est dopée avec des atomes de bore qui ont 3 électrons (1 de moins que le silicium). On parle de dopage de type p comme positif en raison du déficit d'électrons ainsi créé. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

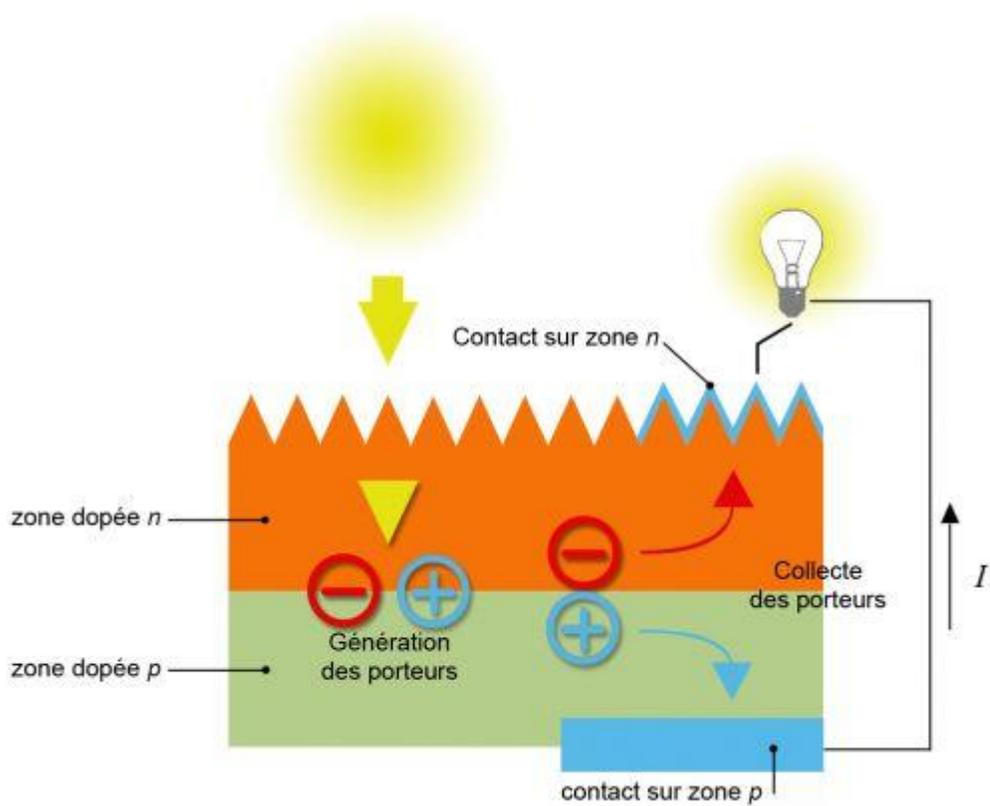


Figure I.6 Constitution d'une cellule photovoltaïque

En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches n et p. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les directions. Après avoir quitté la couche p, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche n. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité. [4]

I.5 Transport et distribution:

L'électricité est une énergie souple et adaptable mais elle est difficilement stockable, alors que la consommation des clients et la coïncidence de la demande sont

constamment variables. Ces exigences nécessitent la permanence du transport et la mise à disposition de l'énergie par un réseau de distribution :

- « Haute Tension » pour les fortes puissances et les longues distances,
- « Basse Tension » pour les moyennes et faibles puissances et les courtes distances. [5]

Pour passer d'un réseau à un autre, les postes de transformation jouent le rôle d'échangeurs

La tension du courant produit par une centrale peut atteindre 13 800 volts

Grâce au transformateur élévateur de tension situé dans le poste de départ d'une centrale, l'électricité est transportée à des tensions beaucoup plus élevées, allant de 44 000 à 765 000 volts.

Une fois dans le réseau de transport, cette électricité se combine à l'électricité produite ailleurs.

– L'électricité passe par des câbles suspendus à des pylônes, qui vont des centrales jusqu'à des postes sources qui abaissent la tension pour ensuite atteindre les postes satellites qui réduisent de nouveau la tension

L'électricité emprunte des lignes souterraines pour quitter les postes satellites. À une certaine distance des postes, le réseau devient aérien et des transformateurs fixés aux poteaux abaissent la tension pour une dernière fois.

· L'électricité transformée à Moyenne Tension est ensuite acheminée sur le réseau de distribution et peut être à son tour transformée en Basse Tension (entre 230 et 400 volts) grâce aux postes de transformation dits « postes de distribution » présents sur le réseau.

L'électricité Basse Tension est ensuite acheminée jusque vers les foyers desservis.

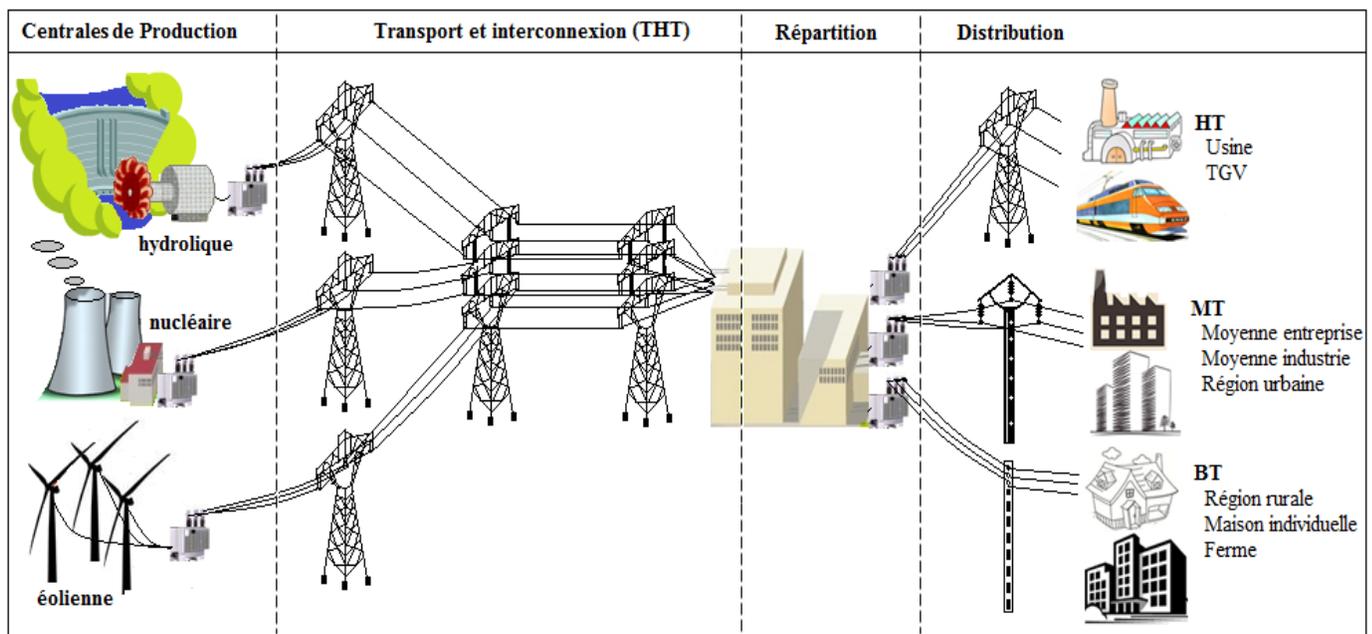


Figure I.7 transport et distribution de l'énergie électrique

I.6. Puissance :

I.6. 1. Introduction :

Sachant que l'énergie est la puissance consommée par unité de temps,

$$\text{Énergie} = \text{Puissance} \times \text{Temps}$$

La puissance électrique que l'on note souvent P et qui a pour unité le watt (symbole W) est le produit de la tension électrique aux bornes de laquelle est branchée l'appareil (en volts) et de l'intensité du courant électrique qui le traverse (en ampères) pour des appareils purement résistifs.[6]

Une charge électrique utilisant le courant alternatif (moteur, lampe, transformateur,...) consomme trois puissances :

- Une puissance active notée P.
- Une puissance réactive notée Q.
- Une puissance apparente notée S.

Il existe 3 types de récepteurs **résistif**, **inductif** ou **capacitif** en fonction de la nature du **récepteur** les valeurs des **puissances active**, **réactive** et **apparente** vont varier.

I.6. 2 Type de puissance :

En monophasé :

Puissance active : est la puissance réellement disponible pour exécuter le travail. Elle se mesure en watts (W).

a) Régime continu :

En régime de tension et de courant continu

Puissance = Tension x Courant

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} * \frac{dq}{dt}$$

D'où :

$$P = U \times I$$

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampère}$$

U et I étant les valeurs constantes de la tension aux bornes du dipôle et de l'intensité du courant à travers le dipôle.

b) Régime alternatif :

Dans les circuits à courant alternatif, le calcul est un peu plus complexe. En alternatif, il existe trois types de récepteur : des résistances, des inductances, des condensateurs.

Puissance = Tension x Courant actif

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

Où " φ " (ou " ϕ ") est le déphasage du courant par rapport à la tension et Le facteur "**cos phi**" s'appelle "**facteur de puissance**" C'est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente : $f_p = P / S$ [7]

Puissance apparente : S [VA]

La puissance apparente S représente l'amplitude des fluctuations de la puissance instantanée p par rapport à sa valeur moyenne. Elle correspond au produit des valeurs efficaces de la tension U et du courant I , mesuré à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre.

$$S = U \cdot I \text{ [VA] (volt-ampère)}$$

Puissance réactive : Q [var]

La puissance réactive Q est l'amplitude de la puissance instantanée. Elle dépend des valeurs efficaces de la tension U et du courant I en régime sinusoïdal, mesurées à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre, ainsi que de leur déphasage mesuré au moyen d'un cosphimètre.

$$Q = U I \sin \phi \text{ [var] volt-ampère réactif [8]}$$

Triphasé :

Les circuits triphasés sont utilisés pour la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique. Ainsi que pour l'alimentation des charges importantes. Il existe deux façons de connecter les branches d'un circuit triphasé : le montage en étoile et le montage en triangle.

Quel que soit le montage triangle ou étoile les formules de puissance sont de la forme :

$$\textbf{Puissance apparente} : S = U I \sqrt{3}$$

$$\textbf{Puissance active} : P = U I \sqrt{3} \cos \phi$$

$$\textbf{Puissance réactive} : Q = U I \sqrt{3} \sin \phi$$

1.7 Coût de l'électricité (tarification) :

La production, le transport et la distribution de l'électricité entraînent des coûts importants que l'on peut diviser en deux catégories principales -les frais courants et les frais fixes.

Les frais fixes (ou de capitalisation) comprennent le coût d'amortissement des barrages, alternateurs, disjoncteurs, transformateurs, lignes de transport et de tout autre équipement utilisé à la production et à la distribution de l'énergie électrique.

Les, frais courants représentent les salaires du personnel, les frais d'administration et d'entretien, le coût du combustible servant à produire l'électricité et toute autre dépense quotidienne ou hebdomadaire. Le coût de l'électricité dépend donc de ces deux types de frais et, afin d'en faire une facturation équitable pour leurs clients, les compagnies d'électricité ont établi une tarification basée sur les trois critères suivants:

1. l'énergie consommée, en kilowattheures
2. l'appel de puissance active, en kilowatts
3. l'appel de puissance apparente, en kilovoltampères [2]

I.8. Réseaux électriques intelligents:

I.8.1 introduction :

Les systèmes d'alimentation électrique étaient traditionnellement caractérisés par la présence de nombreux services publics, des normes hétérogènes, des territoires chevauchants et un manque général d'intégration. Récemment, sous la pression des marchés de l'électricité déréglementés et des nouvelles politiques environnementales, les principales limitations inhérentes à cet environnement sont devenues claires et les structures des systèmes d'énergie modernes ont évolué pour tenir compte les grands changements induits par ces nouvelles tendances de la politique énergétique.

De nos jours le mot « réseau électrique intelligent » (grille intelligente ou Smart Grid (en anglais)) pourrait jouer un rôle stratégique soutenant l'évolution des grilles

électriques classiques vers des réseaux d'énergie Web actifs, flexibles et auto-sécurisés.

Donc qu'est-ce que c'est un réseau électrique intelligent ?

I.8. 2 Définition :

Le réseau électrique intelligent ou (la grille intelligente) ou « smart grid » (en anglais) est la convergence de l'information et des technologies opérationnelles appliquées au réseau électrique, offrant des options durables aux clients et une sécurité améliorée. Les technologies SG incluent des systèmes de détection avancés, des communications bidirectionnelles à grande vitesse, des logiciels de surveillance et d'analyse d'entreprise et des services connexes afin d'obtenir des données concrètes spécifiques à la localisation et en temps réel afin de fournir des services améliorés aux deux opérateurs système (c.-à-d. Automatisation de la distribution , Gestion d'actifs, infrastructure de mesure avancée) et les utilisateurs finaux (c.-à-d. La gestion de la demande, la réponse de la demande)

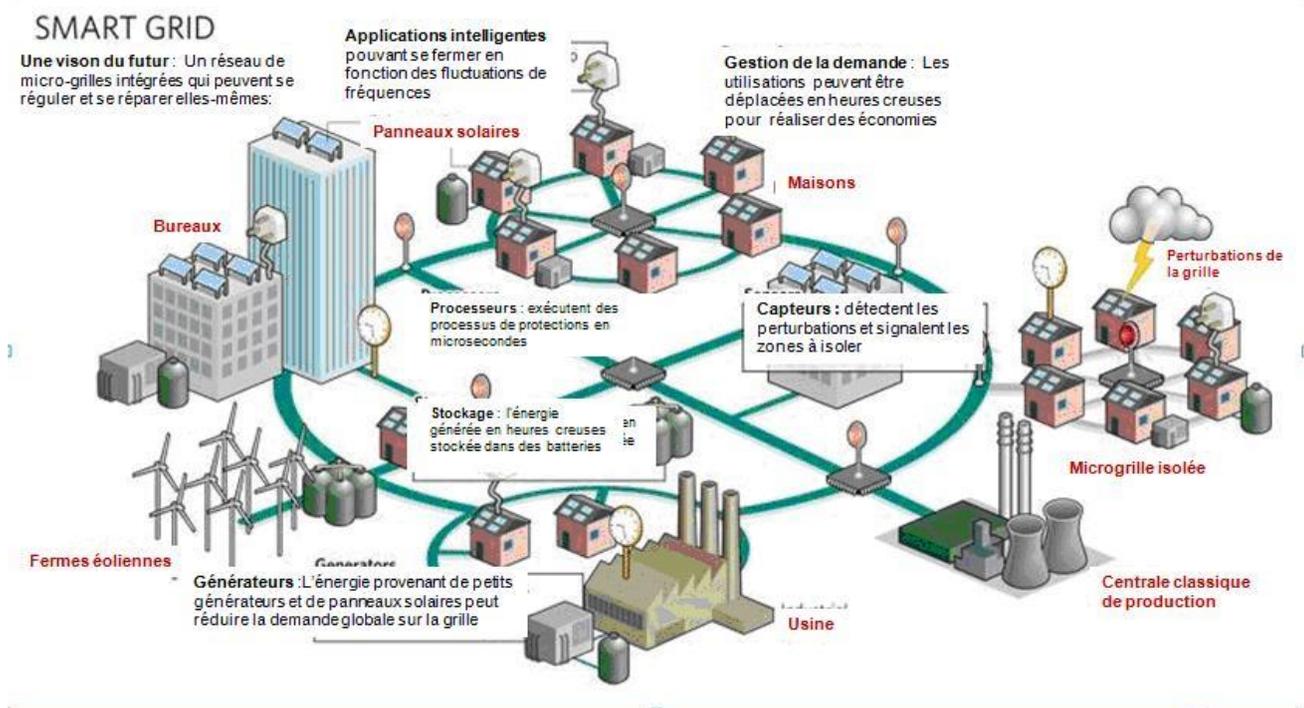


Figure I.8 réseau électrique intelligent

I.8. 3 Avantages :

La nouvelle grille sera capable de:

- gérer et contrôler la production et la distribution d'énergie en temps réel.
- faciliter l'intégration des sources d'énergie renouvelable
- réduire les pertes de système et les émissions de gaz à effet de serre.
- accroître la fiabilité de l'approvisionnement en électricité des clients.
- Réduire le coût de consommation pour les consommateurs.
- assurer le dépannage 24h/24h et 7j/7j
- assurer le comptage de consommation pour les fournisseurs et les producteurs

de l'énergie

- conduire et piloter le réseau à distance
- raccorder les clients au réseau
- accompagner les projets des collectivités locales
- diminuer les pics de consommation. [9]

Conclusion :

Dans ce chapitre consacré à l'énergie électrique et les réseaux intelligents, nous avons défini l'énergie électrique, nous avons présenté les différents types de centrales utilisées pour générer l'électricité dans les grands réseaux. Selon le type d'énergie primaire utilisée, on distingue les centrales hydrauliques utilisant la force motrice de l'eau, les centrales thermiques qui brûlent des combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole ou le gaz naturel, les centrales nucléaires qui tirent leur énergie de la fission de l'uranium, et les parcs éoliens qui exploitent l'énergie du vent., nous avons vu aussi qu'un réseau utilise des lignes de transport et de distribution, différents équipements regroupés dans des postes de transformation pour acheminer l'énergie aux consommateurs.

Enfin, nous avons présenté c'est quoi un réseau électrique intelligent et ces avantages.

Chapitre 2

Les compteurs d'énergie électrique

II .1 Introduction :

Améliorez la sécurité et le confort de votre maison en optant pour une installation électrique respectant les normes. Le compteur est l'un des éléments essentiels du réseau électrique. Chaque appartement ou maison est équipé par un compteur électrique, nécessaire au fournisseur d'énergie pour compter et facturer la quantité d'électricité consommée.

II .2 Définition :

Le compteur d'électricité est un appareil électrotechnique qui permet de mesurer la consommation électrique d'une installation en kWh, que ce soit au sein d'une habitation ou dans des lieux d'activités professionnelles ou industrielles.

Cet appareil s'intègre dans un circuit électrique, et permet aux fournisseurs d'électricité de comptabiliser l'énergie consommée par un client et de facturer ce dernier en conséquence. [10]

II .3 Historique :

A ses débuts pour compter le prix des kWh consommés et établir leurs factures, les fournisseurs d'électricité mesuraient l'électricité au poids chez leurs abonnés. A la fin du 19e siècle parut une différente forme connue qu'aujourd'hui.



Figure II. 1. Le compteur électrique d'Edison

Dans l'année 1880 les abonnés à l'électricité avaient leur facture au forfait par redevance mensuelle en fonction des lampes installées. Cette formule ne répondait pas à la vérité des prix

C'est en 1880 Thomas Edison créa un système beaucoup plus efficace : le compteur électrolytique. Ce compteur électrolytique comprenait deux électrodes de cuivre. La première était sous une solution acide qui créait une matière lorsqu'elle était traversée par de l'électricité. Cette matière se déposait sur la deuxième électrode.

Quand l'abonné consomme plus d'électricité la masse de matière déposée sur la deuxième électrode était importante.

Le poids de la matière accumulée donne la quantité d'énergie consommée !

Pour relever les consommations, le technicien d'électricité devait chaque mois récupérer les électrodes usagées et aller les apporter dans les locaux de la société de distribution pour les faire peser

Le premier compteur à disque enfin un peu de simplicité

en 1894 un ingénieur de la compagnie Westinghouse invente un système pour compter l'électricité reposant sur un disque mu par induction magnétique qui tournait plus vite quand la quantité consommée était grande. Le compteur électrique à disque était né

Le compteur électrique à disque Schallentberger – 1894 - Mechanical Engineering Magazine

1963, le Compteur Bleu entre dans les foyers français



Figure II. 2. Publicité pour le Compteur Bleu 1966

Au début des années 60, EDF entreprend d'équiper les abonnés français à l'électricité d'une nouvelle génération de compteur électromécanique à disque particulièrement robuste et facile d'installation: c'est le Compteur Bleu qui permet enfin de faire fonctionner simultanément la plupart des appareils électriques de la maison sans risque de Faire sauter les fusibles.

Le Compteur Bleu et ses diverses déclinaisons développées depuis 1963 équipent encore un grand nombre de foyers français.

➤ **Les compteurs modernes**

Les compteurs d'aujourd'hui sont plus intelligents et plus communicants. Le compteur électronique à affichage digital qui apporte un plus grand nombre d'informations et incorpore un système anti-foudre plus efficace.



Figure II.3 compteur communicant

Le compteur Linky, amené à équiper la totalité des foyers abonnés à l'électricité à l'horizon 2021. Ce compteur intelligent procède automatiquement et à distance à des opérations qui nécessitent l'intervention d'un technicien : mise en service, relève, modification de contrat. [11]

II .4 le rôle du compteur électrique :

En termes simples, le rôle du compteur *électrique* est de mesurer la quantité d'énergie électrique consommée par l'utilisateur. Cette énergie est donnée en kWh, bien que l'unité légale soit le joule. Ce dispositif permet au fournisseur d'électricité d'établir une facture indiquant la consommation d'énergie du client. La tarification de l'électricité dépend de consommation et suit un code de couleur. Le tarif bleu concerne les consommations résidentielles et les tarifs verts et jaunes correspondent aux consommations industrielles ou professionnelles. Les premiers modèles électromécaniques du XIXe siècle ont été remplacés au XXe siècle par les versions électroniques utilisées actuellement dans tous les foyers. Le compteur électrique montre la consommation par un affichage mécanique ou numérique, selon le modèle installé. Les modèles actuels sont plus modernes et révèlent de nombreuses informations pratiques, tels les tarifs, la tension électrique, etc. [12]

II .5 Les différents types de compteurs d'énergie électrique

Il existe plusieurs types de compteurs électriques. Les plus anciens sont électromécaniques et reconnaissables par leur roue qui tourne sur leur façade. Puis on trouve des compteurs électroniques qui sont moins volumineux avec un affichage

mécanique ou LCD. Enfin, les compteurs modulaires utilisent un système de mesure électronique et ont un affichage manuel ou numérique. À l'heure actuelle, des compteurs intelligents et plus performants sont à l'étude. Ils permettront notamment d'avoir un suivi instantané d'une consommation et de mieux la gérer. [12]

II .5.1 Compteur classique électromécanique



Figure II.4 compteur classique

C'est un compteur qui mesure la quantité d'énergie consommée à la fonction de son disque qui tourne. Le plus ancien compteur peut être bleu, gris, noir ou blanc. Il est facile d'installer. Il s'agit de la première génération de compteurs

II .5.2 Compteur électronique

Le système de comptage est électronique et ils sont souvent moins encombrants que les compteurs classiques. Le fonctionnement se fait à l'aide d'un shunt. La tension mesurée aux bornes de ce shunt est proportionnelle à l'intensité qui le traverse. Ils peuvent être à affichage mécanique ou LCD. Ces compteurs sont plus sensibles aux surintensités et surtensions, et tout particulièrement à la foudre.



Figure II.5 compteur électronique

II.5.3 Compteur électrique communicant (intelligent)

II.5.3.1 Définition :

Avant d'aborder les avantages et inconvénients des compteurs intelligents, il faudrait pouvoir le définir. Il n'existe cependant pas de définition précise faisant l'unanimité. L'adjectif « intelligent » est clairement abusif et a probablement été choisi pour indiquer qu'il s'agit d'un équipement électronique capable d'être programmé. Il ne faut surtout pas l'interpréter au sens informatique « d'intelligence artificielle », vu que ces compteurs agissent comme des « serveurs » obéissant aux requêtes extérieures et ne sont pas munis de capacité de décision et d'action propre. **[13]**

Un compteur dit « intelligent » est un appareil électronique capable de transmettre de façon constante des informations sur la consommation d'un client à un centre de contrôle, c'est-à-dire au fournisseur d'énergie. Il permet donc de relever à distance et automatiquement la consommation d'énergie (sans déplacement d'un agent)

et de piloter la distribution à partir d'un point central (ouverture, fermeture, limitation de puissance, prépaiement, etc.).

II.5.3.2 L'utilité d'un compteur intelligent :

Le compteur intelligent est la première étape en vue de l'implémentation d'un réseaux de distribution d'électricité « intelligent » qui utilise des technologies informatiques de manière à optimiser la production décentralisée, la distribution, la consommation (notamment en vue de l'électro mobilité) ainsi que de mieux mettre en relation l'offre et la demande entre les producteurs et les consommateurs

Ce Pilotage permettrait également aux gestionnaires de réseaux de pouvoir assurer une meilleure

Utilisation du réseau électrique en évitant les pics de consommation. Le consommateur, de son côté, peut « lire » sa consommation en temps réel, ainsi que le coût de celle-ci. Cette vision plus claire de l'énergie utilisée pourrait théoriquement lui permettre de mieux gérer sa consommation et donc de la réduire. Mateur d'électricité.

La gestion technique du réseau électrique : L'efficacité du réseau peut être grandement améliorée par une meilleure connaissance des profils de production et de consommation, l'équilibrage étant un souci majeur des gestionnaires de réseaux

La maîtrise de la consommation électrique : Des études montrent que dans certains cas, des consommateurs bien informés sur leurs habitudes peuvent sensiblement réduire leur consommation électrique et les compteurs intelligents peuvent fournir cette information.

L'amélioration des services énergétiques et une meilleure tarification : Depuis longtemps, il existe des tarifications différentes aussi bien pour des raisons sociales que

pour des raisons de coûts liés à l'équilibrage du réseau. Les nouveaux compteurs offrent des possibilités illimitées pour introduire des mécanismes plus souples que le système bi-horaire actuel. **[14]**

II.6 Schéma Synoptique du compteur d'énergie :

La structure générale d'un compteur d'énergie peut être représentée par la figure suivante :

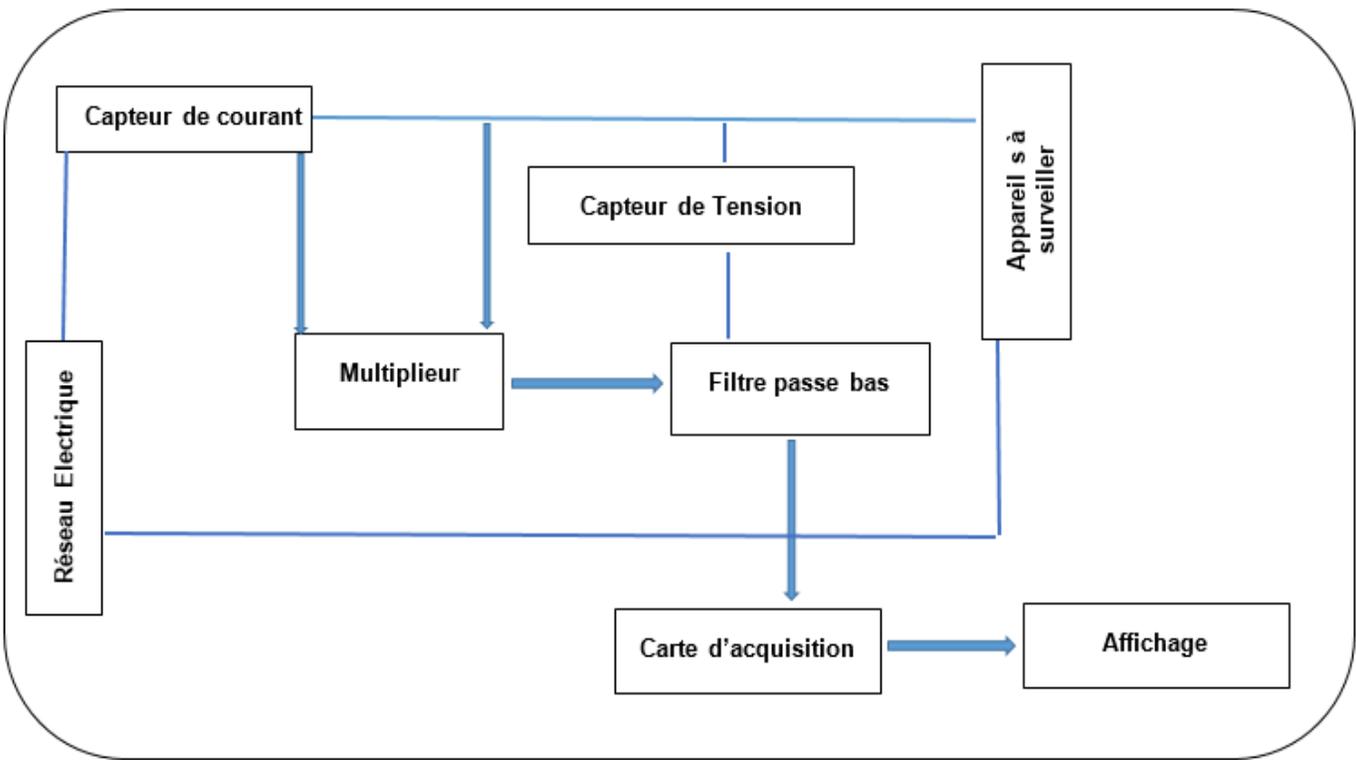


Figure II.6 : schéma synoptique d'un compteur d'energie

II.7 Capteur de courant :

La qualité de fonctionnement et la fiabilité des systèmes qui consomment ou produisent de l'énergie électrique, reposent en partie sur le contrôle et par conséquent sur la mesure de courants. C'est pourquoi les capteurs de courant sont si répandus. On les trouve partout dans les réseaux électriques (de production et de distribution), dans les moyens de transport (ferroviaire, automobile...), dans l'industrie et dans les appareils électriques en général...

II.8 Quelques technologies de capteurs :

II.8.1 Les shunts :

Les shunts sont les seuls capteurs opérant une mesure directe de courant. Un shunt est une résistance r_s calibrée et connue, placée en série avec le conducteur traversé par le courant i_{mes} à mesurer. La mesure de la tension $V_s = r_s \times i_{mes}$ (loi d'Ohm) à ses bornes permet de déterminer ce dernier. On distingue les shunts réalisés en technologie planaire (circuit en couche épaisse) de ceux réalisés en technologie est coaxiale (figure 7). Les premiers sont destinés à être implantés dans des circuits imprimés et les seconds sont utilisés pour la mesure de courant à très hautes fréquences.

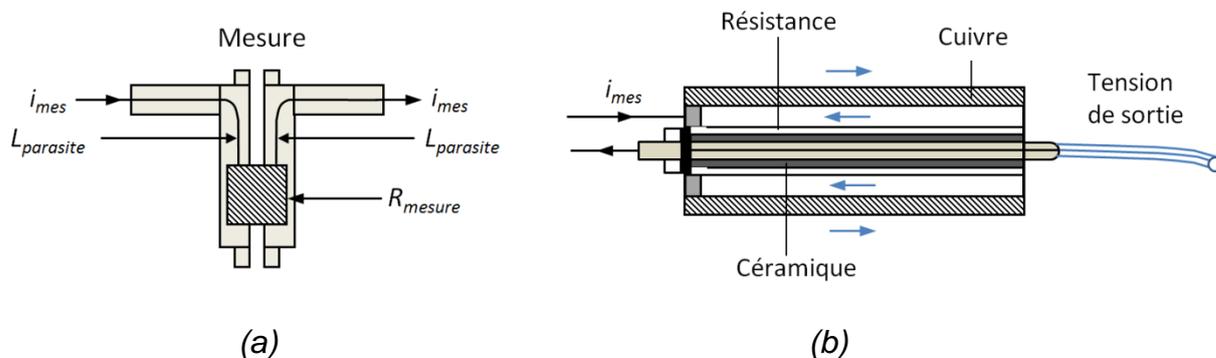


Figure II.7 : Schémas de principe (a) shunt en technologie couches épaisses et (b) shunt coaxial.

Outre le fait d'être intrusifs (puisque placés en série avec le conducteur parcouru par le courant à mesurer), les shunts présentent l'inconvénient (problème de connectique) de générer une inductance parasite aux points de prélèvement de la tension. Il faut savoir que les shunts pour la mesure de forts courants sont massifs et qu'ils présentent des pertes joules (dissipation de chaleur). Néanmoins ils représentent une solution robuste et bon marché, utilisée lorsque l'isolation de la mesure de courant n'est pas nécessaire.

II.8.2 Les transformateurs de courant

Un transformateur de courant (TC) est un tore ferromagnétique comportant un enroulement primaire de N_1 spires parcouru par le courant à mesurer i_{mes} et un enroulement secondaire comportant un nombre N_2 élevé de spires terminé par une charge résistive R

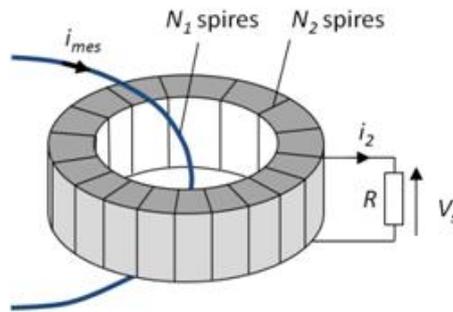


Figure II.8 : Schéma de principe d'un transformateur de courant.

Son principe repose sur le théorème d'Ampère et la loi de Lenz : le premier veut que le courant parcourant le conducteur primaire crée une induction qui, pour peu que son flux varie, engendre, en vertu de la seconde, une force électromotrice (*f.e.m.*) variable aux bornes du secondaire. Il en résulte aux bornes de la charge R une tension V_s proportionnelle à i_{mes} , telle que la sensibilité du transformateur vérifie la relation :

$$\frac{V_s}{i_{mes}} = R \frac{N_1}{N_2} \quad [\text{V/A}]$$

Il est à noter qu'en pratique lorsque les courants à mesurer ont une intensité supérieure à 50A, on ne fait passer qu'une seule fois le conducteur primaire autour du circuit magnétique : $N_1 = 1$.

Les transformateurs de courant constituent une solution robuste et simple, notamment du fait qu'ils ne nécessitent pas l'apport d'une alimentation externe.

II.8.3 Les bobines de Rogowski

A l'instar des transformateurs de courant, les bobines de Rogowski reposent sur le théorème d'Ampère et la loi de Lenz. La différence réside dans le noyau des bobines, qui est non magnétique. Elles se présentent comme un enroulement hélicoïdal, généralement de plusieurs centaines à plusieurs milliers de spires, dont une extrémité du fil est ramenée par le centre du noyau jusqu'à l'autre extrémité (figure 9). Le conducteur — primaire — parcouru par le courant à mesurer est encerclé par le bobinage. La tension induite en sortie de l'enroulement est proportionnelle à la dérivée de la variation du courant (loi de Lenz). Pour s'affranchir de l'opération de dérivée, un circuit intégrateur est placé en sortie du capteur (il en constitue le circuit de conditionnement). La tension de sortie est ainsi proportionnelle au courant et en phase avec celui-ci.

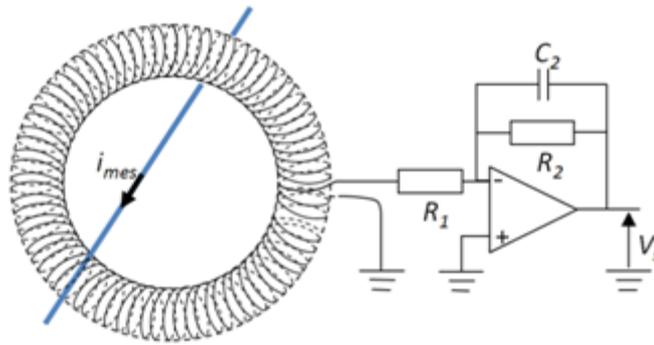


Figure II.9 : Schéma de principe d'une bobine de Rogowski munie d'un intégrateur

Les bobines de Rogowski se présentent généralement sous forme de capteurs ouvrants que l'on vient « clipser » autour du câble parcouru par la courant à mesurer. Cette facilité d'installation est d'un grand intérêt pratique. Le système d'ouverture entraîne cependant une discontinuité de bobinage qui affecte légèrement la précision de la mesure. Par ailleurs, il est à noter que celle-ci est théoriquement insensible au centrage du capteur par rapport au conducteur primaire (propriété qui découle du théorème d'Ampère). Cette facilité l'installation du capteur est un avantage.

II.8.4 Les capteurs de Hall

La plupart des capteurs magnétiques qui sont produits utilisent l'effet Hall. Ils peuvent être appliqués à la mesure de courant. Les capteurs de Hall sont réalisés à partir de matériaux semi-conducteurs. Ils nécessitent d'être alimentés par un courant I . Lorsqu'un champ magnétique (induit par le courant à mesurer i_{mes}) est appliqué au capteur, les porteurs de charges du semi-conducteur subissent la force de Lorentz et sont déviés au cours d'un régime transitoire, mais l'apparition de charges surfaciques au sommet et à la base de l'échantillon semi-conducteur vient créer un champ électrique et engendrer une force s'opposant exactement à celle de Lorentz. Une différence de potentiel, appelée tension de Hall, apparaît ainsi entre les faces de l'échantillon. C'est cette tension qui se trouve être proportionnelle à I (fixé par l'utilisateur) et au champ magnétique, et qui dépend donc de i_{mes} , qui constitue le signal de sortie du capteur.

De nombreux capteurs de courant continu utilisent des éléments de Hall montés dans l'entrefer d'un noyau magnétique (figure II.10), ce qui permet d'accroître la sensibilité de la mesure, de la protéger de l'influence des champs extérieurs et de diminuer celle de la position du conducteur parcouru par le courant à mesurer. Cependant, en raison de l'entrefer du noyau, les capteurs ne sont pas totalement affranchis de ces influences indésirables. En outre, les capteurs de Hall pâtissent des sérieux offset (tensions continues indésirables) qui peuvent être causés par la rémanence du noyau magnétique, et seuls

quelques composants commerciaux disposent d'un circuit AC de démagnétisation leur permettant de se réinitialiser lorsqu'ils ont été exposés à un fort courant DC ou champ extérieur.

Notons qu'afin d'obtenir de bonnes caractéristiques de linéarité, mais aussi de les affranchir des dérives en température inhérentes aux matériaux semi-conducteurs, les capteurs de Hall sont souvent associés à une boucle de rétroaction (figure II.11). Cette dernière compense l'effet du courant à mesurer (champ magnétique) à l'aide d'un bobinage, et c'est en mesurant le courant de rétroaction via un shunt que l'on peut déterminer précisément i_{mes} .

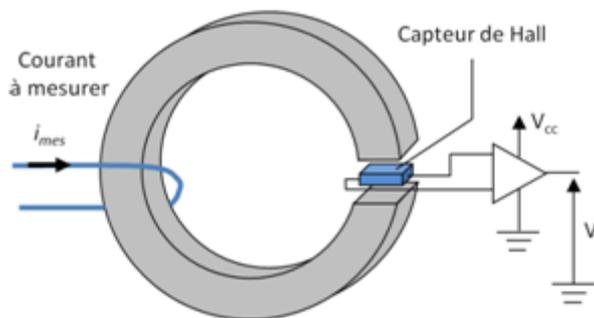


Figure II.10 : Schéma de principe d'un capteur de Hall

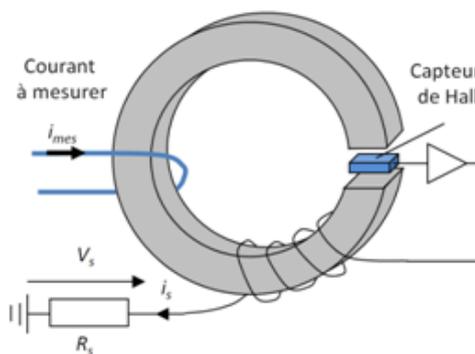


Figure II.11 : Schéma de principe d'un capteur de Hall en boucle fermée

II.8.5 Les magnétorésistances :

Les magnétorésistances sont des capteurs magnétiques à base de matériaux ferromagnétiques. Il en existe différentes sortes. Les principales étant les magnétorésistances anisotropes (AMR)¹, les magnétorésistances géantes (GMR)² et les magnétorésistances à effet tunnel (TMR)³. A l'origine, ces technologies ont été développées en raison du besoin de miniaturisation des têtes de lecture des disques durs, où les AMR ont tout d'abord remplacé les bobines, avant d'être supplantées par les GMR, qui à leur tour se sont vues remplacer par les TMR. Mais les magnétorésistances ont d'autres applications, comme la mesure de courant.

II.8.6 Les capteurs AMR :

Ils sont constitués d'un matériau ferromagnétique (comme le permalloy) dont la résistance dépend de l'angle entre l'aimantation et la direction du courant injecté (les AMR nécessitent une alimentation en courant). Sous l'influence d'un champ magnétique (celui qu'il s'agit de mesurer) supposé perpendiculaire à l'axe de facile aimantation, celle-ci subit une rotation dont découle une variation de résistance, de laquelle, par mesure de la tension aux bornes de l'échantillon, on peut déduire la valeur du champ.

La résistance R varie comme le carré du cosinus de l'angle entre l'aimantation et le courant de commande. Cette caractéristique présente l'inconvénient de n'être pas linéaire. Cependant, il est possible d'obtenir une réponse qui soit linéaire à champ nul grâce à une structure dite de barber pole qui permet de forcer l'orientation du courant à 45° de l'aimantation. Toutefois, même dans ce cas de figure la linéarité des capteurs n'est pas très bonne. C'est pourquoi, comme pour les sondes de Hall, un circuit de compensation (boucle fermée) est souvent mis en œuvre.

La topologie de capteur la plus répandue est le pont de Wheatstone qui permet d'accéder à la variation de champ engendrée par le courant à mesurer. La structure en pont a également pour effet d'affranchir la mesure des effets des variations de magnétorésistance liés à la température.

Les AMR offrent une meilleure résolution de mesure que les capteurs de Hall, mais leur direction de mesure est située dans le plan de la puce, ce qui empêche de les placer dans l'entrefer d'un circuit magnétique.

¹ AMR : Anisotropic MagnetoResistance

² GMR : Giant MagnetoResistance

³ TMR : Tunnel MagnetoResistance

II.8.7 Les capteurs GMR et TMR :

Comme les AMR, les GMR et TMR sont des composants dans lesquels on injecte un courant de commande et qui voient leur résistance varier lorsqu'elles sont plongées dans un champ magnétique orienté suivant une direction privilégiée.

Leur structure est cependant différente, puisque constituée de multiples couches (nanométriques) de matériaux magnétiques séparées par des couches non magnétiques (conductrices dans un cas, isolantes dans l'autre). La résistance de ces structures dépend de l'orientation de leur aimantation, laquelle tend à tourner sous l'influence d'un champ extérieur, ce qui fait varier la résistance.

Ces composants sont sensibles à la température, et pour s'affranchir de cette dépendance ils sont habituellement montés en ponts de Wheatstone (figure II.12). Ils offrent des variations de résistance supérieures à celles des AMR.

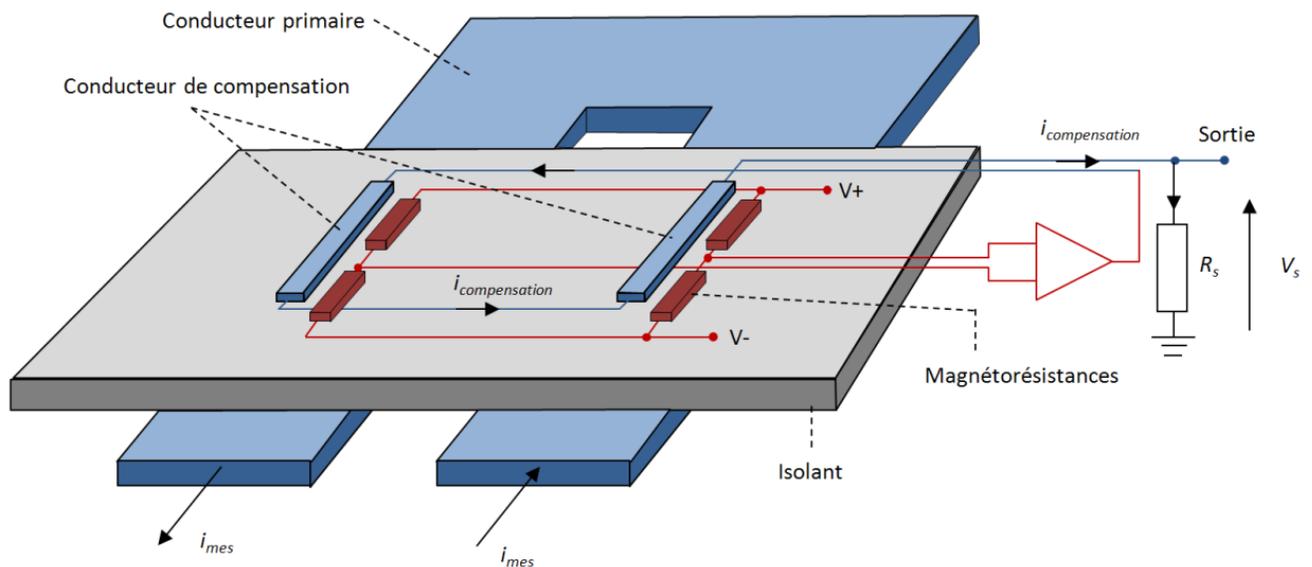


Figure II.12 : Schéma de principe d'un capteur magnéto résistif monté en pont de Wheatstone et opérant en boucle fermée.

II.8.8 Les fluxgates

Le principe des capteurs flux gâtes (porte de flux) repose sur l'utilisation d'un noyau ferromagnétique doux dont on module la perméabilité au moyen d'un flux magnétique périodique créé par un bobinage d'excitation.

L'intensité du courant induisant le flux d'excitation est choisie suffisamment grand pour amener (périodiquement) l'aimantation du noyau magnétique à saturation. A ce flux se superpose celui du

champ que l'on souhaite mesurer dont l'effet est de dissymétriser la saturation. Le flux total est capté par un second bobinage à la sortie duquel apparait une tension égale à la dérivée du flux magnétique (loi de Lenz) qui se présente, compte tenu de l'excitation appliquée, sous forme d'impulsions.

En pratique, c'est via le second harmonique du signal de sortie que se fait la mesure. Afin de maximiser la sensibilité du capteur, le matériau magnétique doit présenter un cycle carré, raison pour laquelle on emploie des matériaux doux.

Les flux gâtes se distinguent par leur précision de mesure. La linéarité de ces capteurs et leur précision sont encore accrues lorsqu'on les fait fonctionner en boucle fermée (figure II.13).

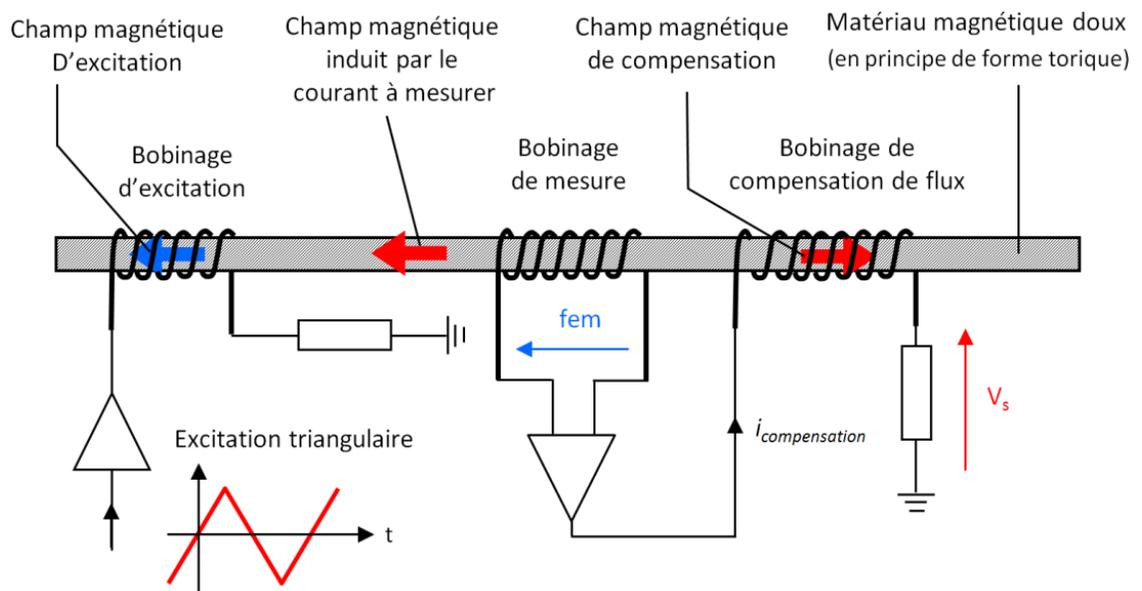


Figure II.13 : Schéma de principe d'un capteur fluxgate opérant à flux nul (boucle fermée)

II.9 Conclusion :

Nous avons présenté dans Ce chapitre c'est quoi un compteur d'énergie électrique en général et son historique nous avons montré aussi son rôle et ses types ; nous avons ajouté un coup d'œil sur le compteur intelligent et ses avantages ainsi q'une généralité sur les capteurs de courants et leurs types.

Chapitre 3

Conception du compteur d'énergie

III.1 capteur de courant :

Pour réaliser notre circuit nous avons commencé tout d'abord par la réalisation du capteur de courant qui a le schéma électrique suivant :

III.1.1 Schéma électrique d'un capteur de courant :

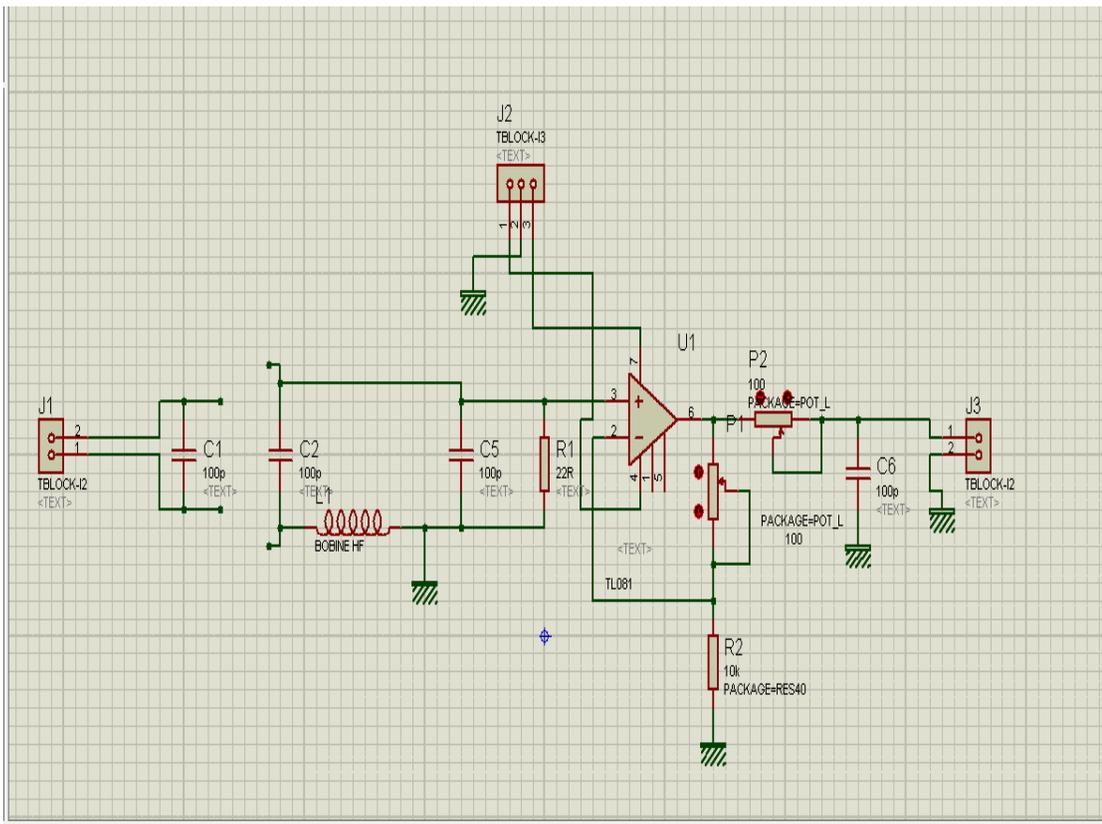


Figure III.1: schéma électrique d'un capteur de courant réaliser par Isis

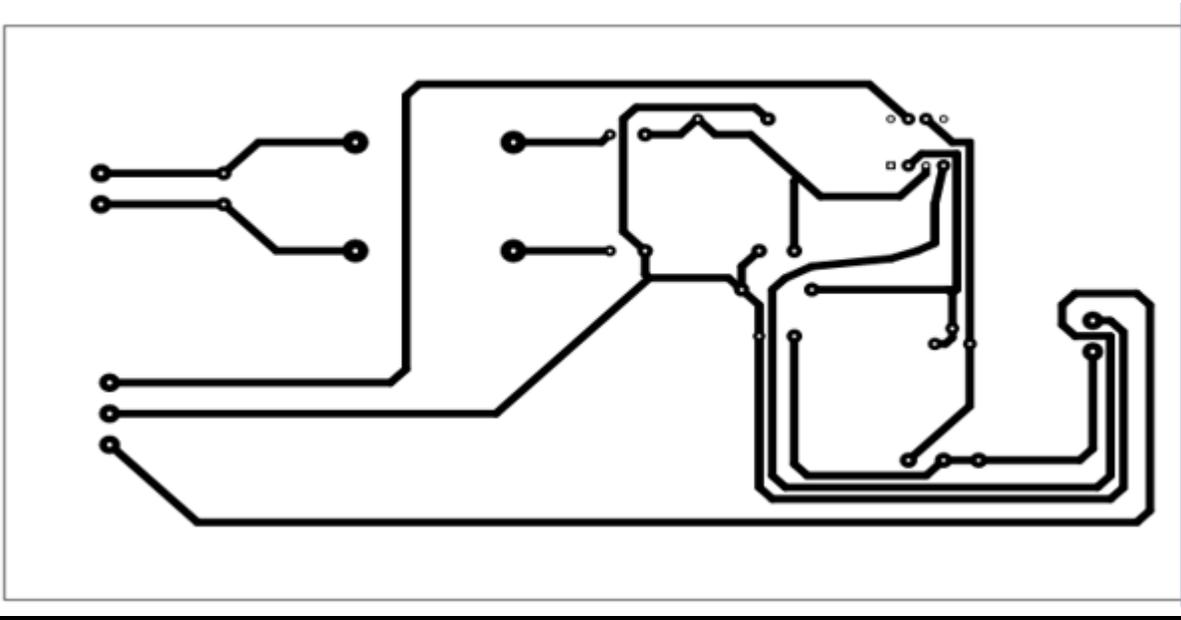


Figure III.2: schéma électrique d'un capteur de courant réaliser par ares

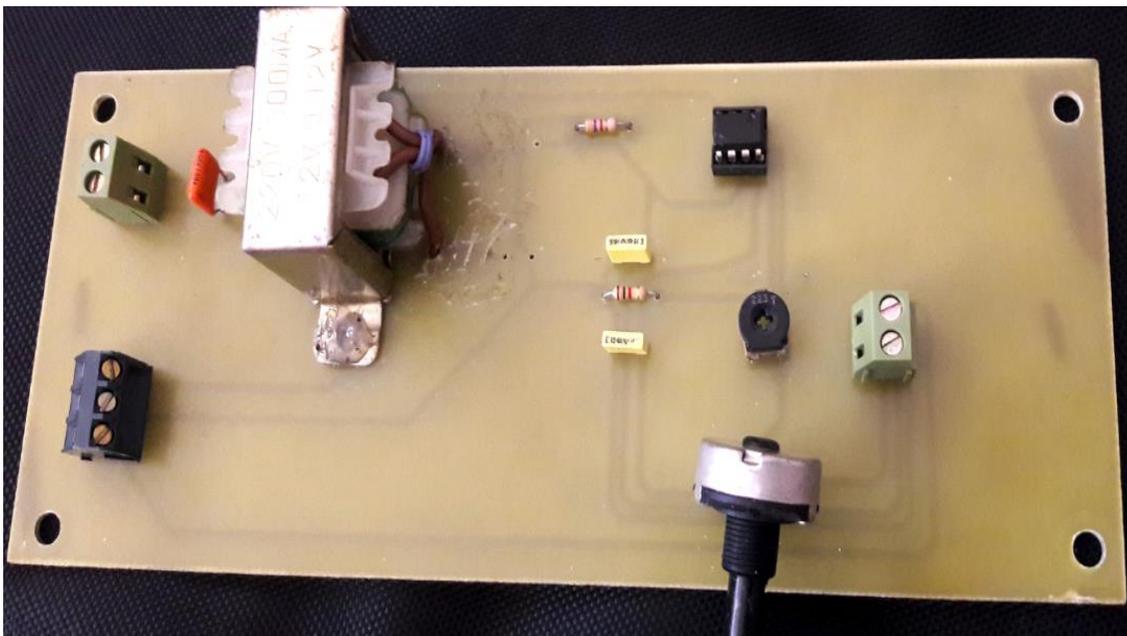


Figure III.3: circuit électrique de capteur de courant

III.1.2 principe de fonctionnement du capteur de courant

Pour la mesure du courant nous avons utilisé un transformateur 220v/12V.

La structure d'un transformateur de courant est différente de celle d'un transformateur de tension. La bobine secondaire est constituée d'un enroulement ou bien une seul spire et le noyau magnétique à la forme d'un anneau. Avec cette conception, il est possible de brancher facilement le courant secondaire dans le transformateur de courant, et par conséquent tout courant qu'on désire à mesurer. Ce courant

secondaire crée un champ magnétique dans le noyau qui se trouve autour du fil et le champ magnétique induit un courant dans la bobine primaire. Cette dernière est constituée de quelques enroulements placés autour du noyau.

Dans cette partie nous avons fait une petite modification sur le transformateur 220V/12V. On a éliminé complètement l'enroulement secondaire et on l'a remplacé par une boucle de fil isolé de 2 mm de diamètre en suite on a fermé et fixé la boucle avec un petit serre câble pour constituer le secondaire.

On a ajouté un potentiomètre pour amplifier le courant à la borne de secondaire

Et on a ajouté aussi des capacités et un filtre passe bas pour corriger le déphasage entre V et I : ça veut dire que le courant au niveau de primaire ont la même phase avec le courant de secondaire

On peut calculer le courant au niveau du secondaire par cette formule

$$\frac{v2}{v1} = \frac{N2}{N1} = \frac{I1}{I2}$$

III.2 Capteur de tension :

Un capteur de tension va pouvoir déterminer et même surveiller et mesurer l'alimentation en tension. Il est alors capable de prendre ces mesures et de les transformer en un signal que l'on pourra alors lire. Le signal entrera souvent dans un dispositif électronique spécialisé pour l'enregistrement, mais parfois, un observateur sera présent pour lire manuellement la sortie du capteur

Le fonctionnement d'un compteur de tension est strictement identique de celui de capteur de courant au circuit primaire

Prototype :

III.2.1 schémas électriques d'un capteur de tension

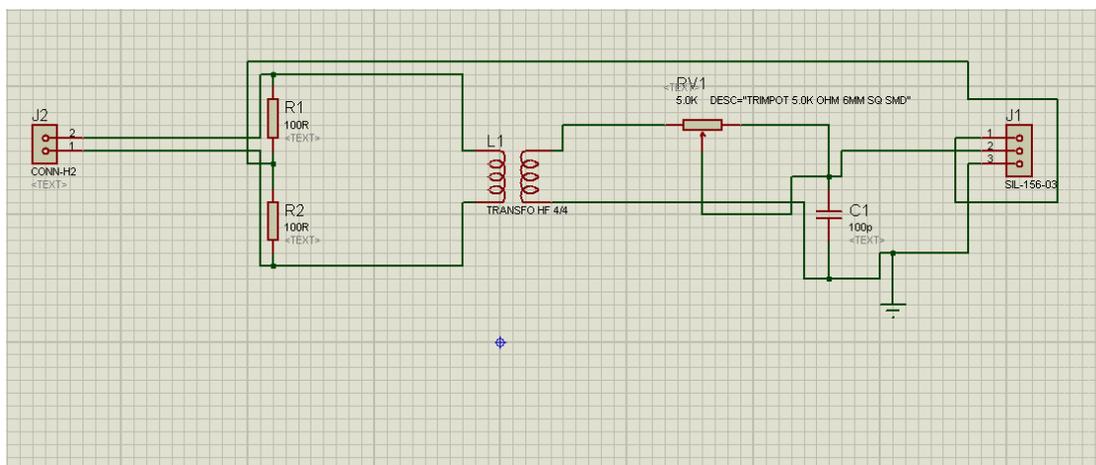


Figure III.4: schéma électrique de capteur de tension réaliser par Isis

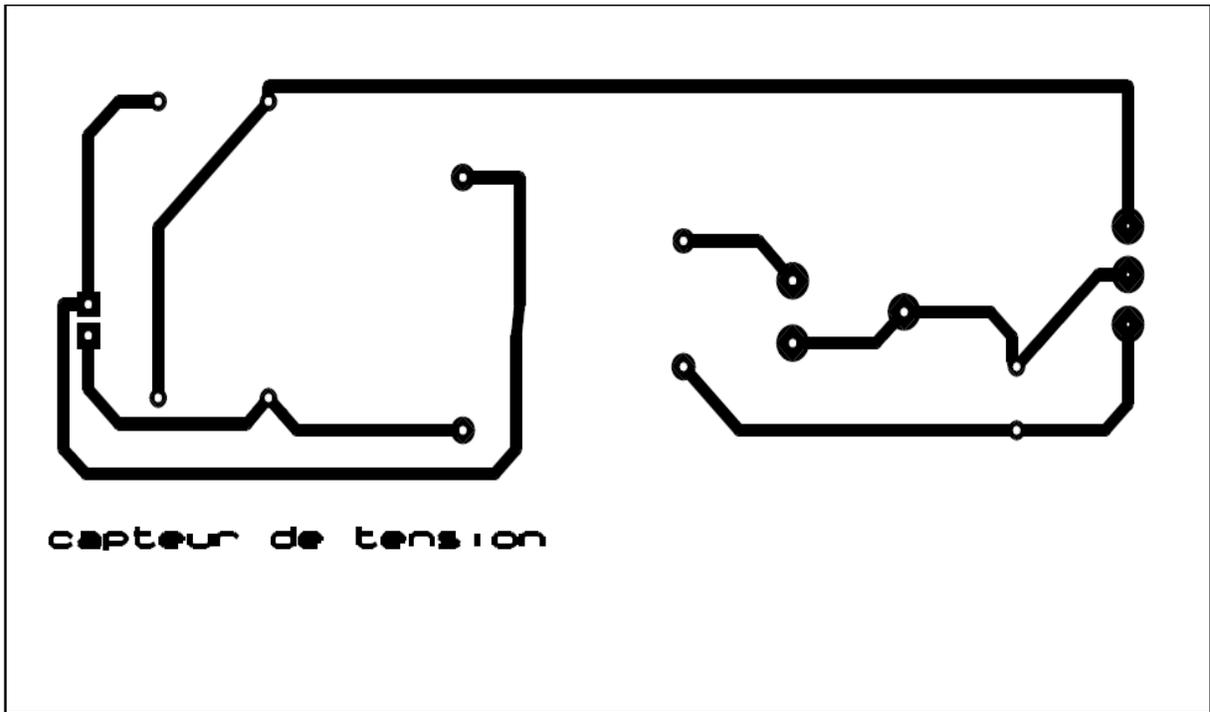


Figure III.5: schéma électrique de capteur de tension réaliser par Ares

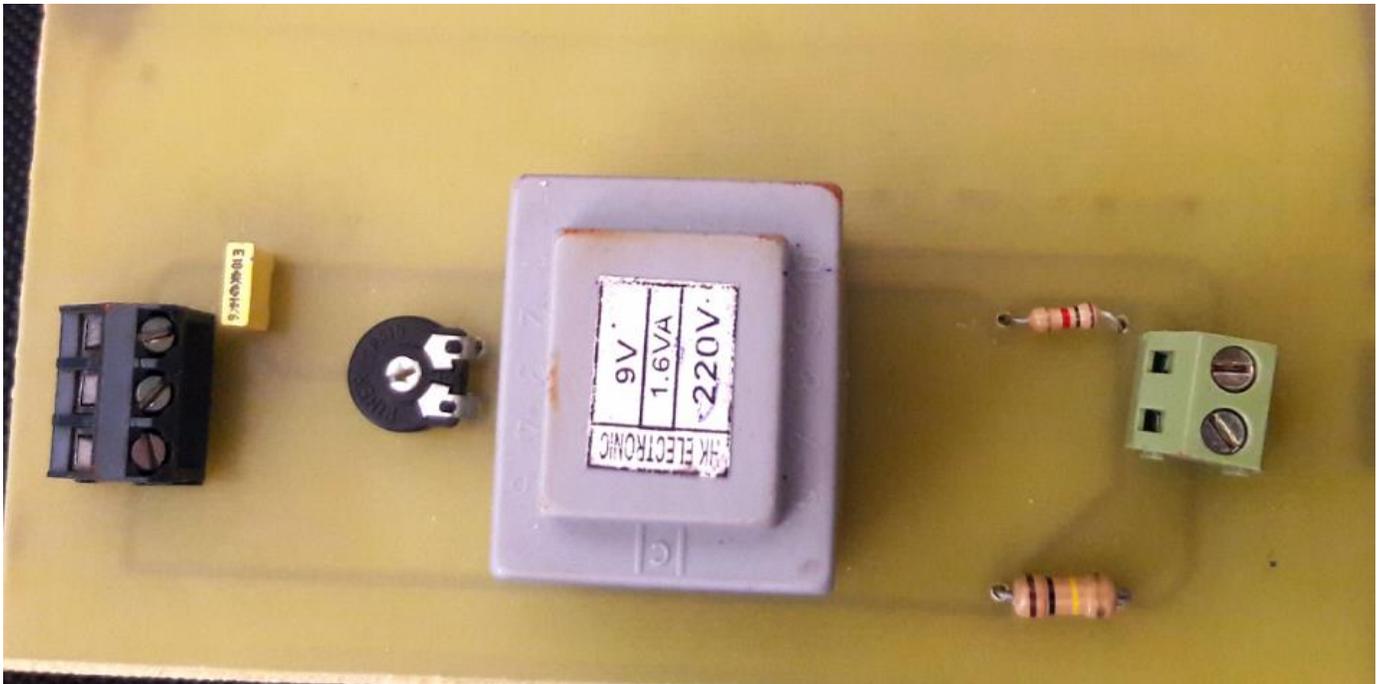


Figure III.6: circuit électrique de capteur de tension

III.2.2 Principe de fonctionnement d'un capteur de tension

Pour la mesure de tension on a utilisé un transformateur 220V/9V

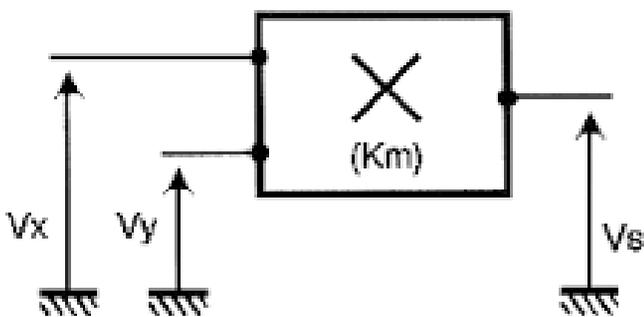
On a utilisé un diviseur de tension au niveau de primaire pour abaisser la tension de réseau électrique et la comparer sa phase avec la tension du secondaire.

Ensuite on a utilisé un filtre passe bas avec un potentiomètre réglable pour corriger le déphasage entre la tension abaissée et la tension de sortie au niveau du transformateur

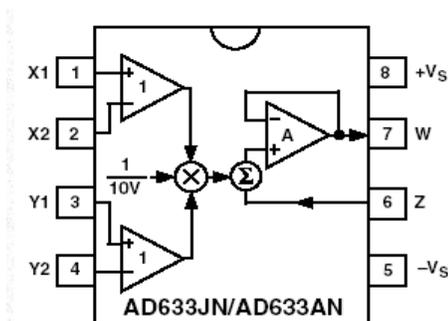
III.3 Mesure de la puissance :

III.3.1 Multiplieur :

On appelle multiplieur analogique un composant à 2 entrées (v_x et v_y) et une sortie V_s



Un exemple est l'AD633 dont le schéma fonctionnel est le suivant :



V_X , v_y sont alors les différences de potentiel entre deux bornes du composant (X_1 et X_2) ou (Y_1 et Y_2) qui ne sont pas nécessairement reliées à la masse: on parle d'entrée ou de sortie flottantes.

Le multiplicateur est un composant actif: il faut lui appliquer les tensions d'alimentation $+V_s$ et $-V_s$ avant de l'attaquer par les signaux. (Les tensions d'alimentation ne sont pas flottantes: il est nécessaire de tenir compte de la masse pour elles.) [16]

III.3.2 Schéma électrique d'un multiplieur

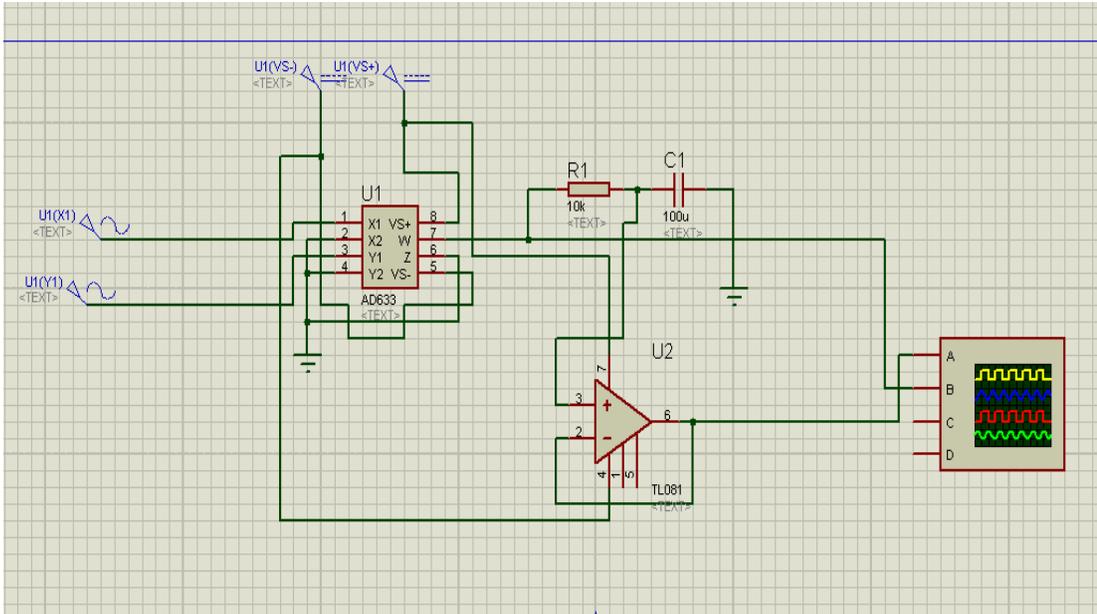


Figure III.7 : schéma électrique d'un multiplieur réaliser par Isis

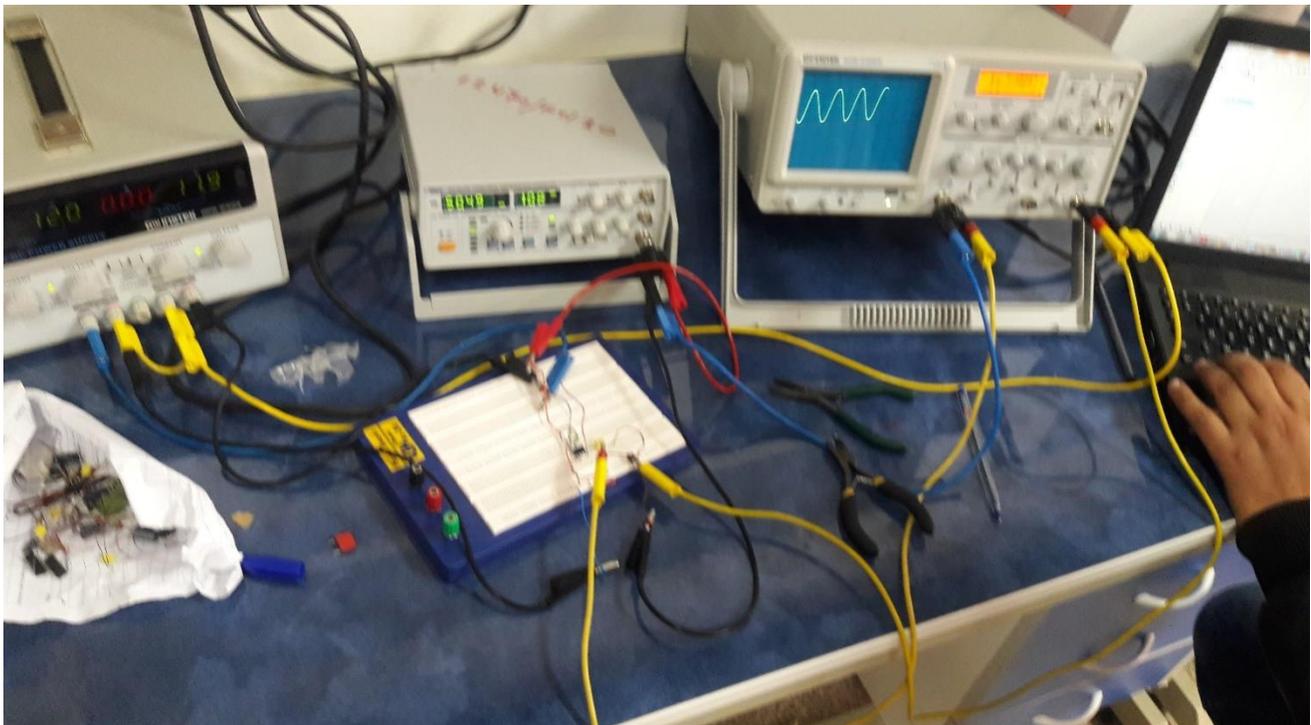


Figure III.8

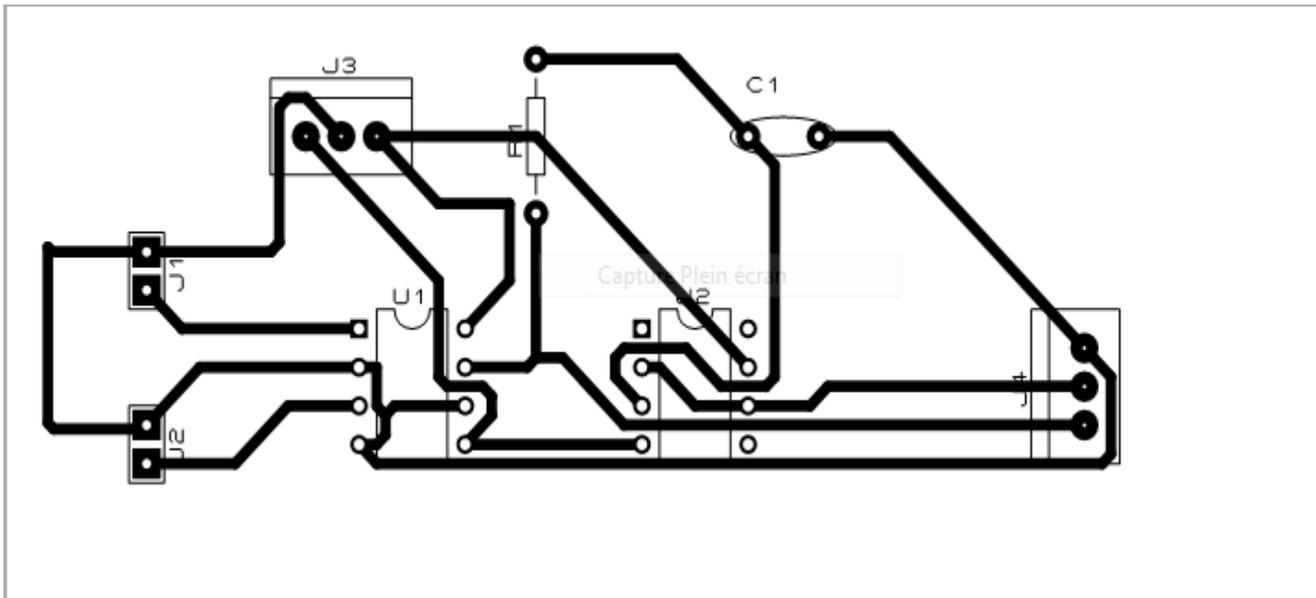


Figure III.9: schéma électrique de capteur de tension réaliser par Ares

Ce circuit permet de récupérer la puissance instantanée $p(t)=v(t).i(t)$

$I(t)$ signal de sortie de capteur de courant

$V(t)$ signal de sortie de capteur de tension

III.3.3 Principe de fonctionnement

Pour mesurer la puissance nous avons utilisé un AD633 comme un multiplieur qui va multiplier le courant fois la tension et le produit c'est la puissance instantanée

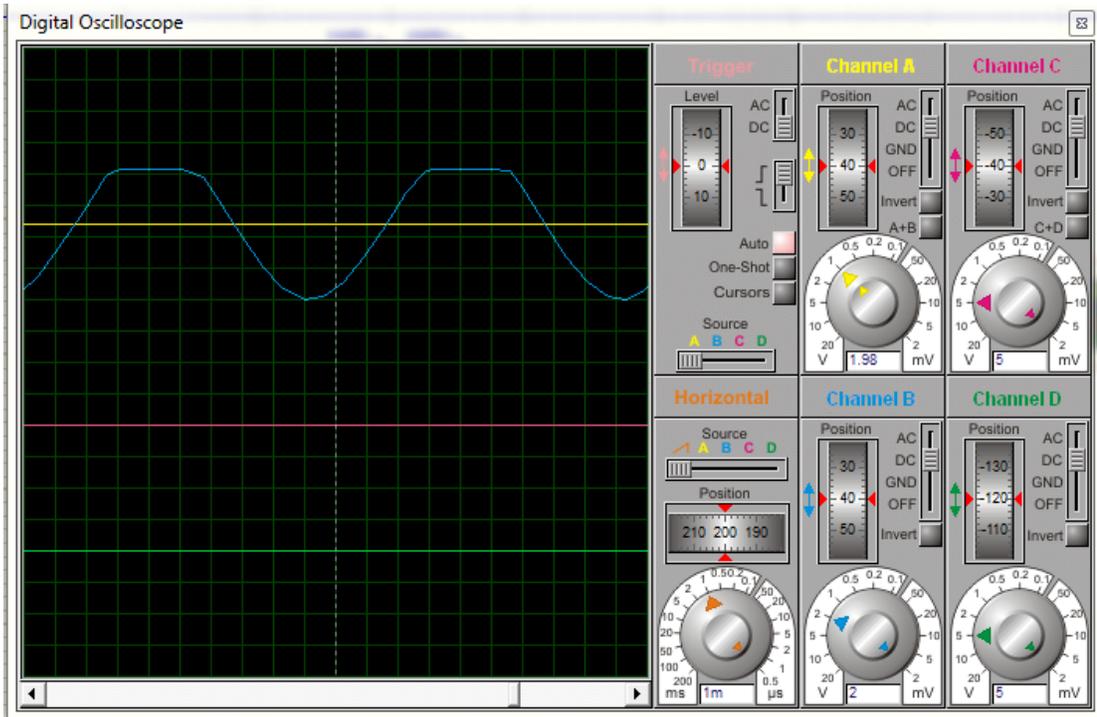
$$P(t)=v(t) * i(t)$$

Ensuite on va suivre la puissance instantanée par un amplificateur TL081 la puissance instantanée après on a injectée cette dernière à l'entrée d'un filtre passe bas pour la récupération de la puissance moyenne avec une fréquence

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Tel que la fréquence de coupure est inférieure de 100 Hz

III.3.4 Simulation :



III.4 Conclusion :

Nous avons montré dans ce chapitre les éléments important qui compose un compteur électrique, les différents types d'un capteur de courant et les étapes qu'on a suivi pour le réaliser. Nous avons vu aussi le principe de fonctionnement et la réalisation du capteur de tension et du multiplieur.

Conclusion générale :

Le compteur électrique est l'un des équipements le plus important dans un réseau électrique c'est un dispositif qui mesure la quantité d'énergie électrique consommée par une résidence, une entreprise ou un appareil électriquement alimenté. C'est pour cette raison que ce travail s'articule sur le fonctionnement du compteur d'énergie.

Dans ce projet nous nous sommes intéressés par l'étude et la réalisation d'un prototype d'un wattmètre électronique à base de deux transformateurs comme capteur de tension et de courant.

Tout d'abord, nous avons fait un état d'art sur l'énergie électrique, son origine et les principales étapes suivies pour l'acheminer et la distribuer depuis les centrales jusqu'aux clients.

Nous avons rappelé aussi les différents types de puissances et nous avons défini ce décrit le réseau électrique intelligent et ses avantages.

Ensuite nous avons présenté le compteur d'énergie électrique et son historique. On a montré aussi son rôle et ses types ; ainsi une généralité sur le compteur intelligent

Nous avons conçu à la base de deux transformateurs montés en capteurs de tension et de courants un prototype d'un wattmètre électronique qui a été détaillé, ainsi que sa structure qui a été présenté en décrivant chaque bloc électronique, tel que les capteurs de tension, de courant et le multiplieur. Ensuite nous avons présenté les étapes que nous avons suivies pour la réalisation de notre prototype.

Nous avons constaté qu'il existe des différentes méthodes pour réaliser le wattmètre électronique basé sur les différents types de capteurs de courants et de tension.

Nous espérons dans les futurs projets, le développement de ce prototype pour la réalisation d'un compteur d'énergie électronique doté d'un module d'émission et de réception de données. Ce type de compteur est la première étape de l'implémentation d'un réseau électrique intelligent qui utilise des technologies informatiques de manière à optimiser l'utilisation des énergies renouvelables ainsi que de mieux mettre en relation l'offre et la demande entre les producteurs et les consommateurs d'électricité.

ANEXXE

Référence :

- [1] Transport et Distribution de l'Energie Electrique (Cours donné à l'Institut d'Electricité Montefiore Université de Liège J.L. LILIEEN 2010)
- [2] Electrotechnique Wildi / Sybille 4ème édition (Theodore Wildi / Sybille Gilbert)
- [3] http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaique.asp
- [4] <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>
- [5] <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/3863/3863-reseaux-de-distribution-eleve.pdf>
- [6] Wikipédia
- [7] <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11495#c4630+c4631>
- [8] Electrotechnique / □ Editions de la Dunanche /décembre 2000
- [9] Réseaux électriques intelligents (livre blanc des industriels de l'intelligence énergétique)
- [10] <http://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-compteur-electricite-10598/>
- [11] <https://www.happ-e.fr/compteur-electrique-historique>
- [12] <http://lebonelectricien.pro/le-compteur-electrique/>
- [13] Mémoire de Fin d'Etudes présenté par Klopfert, Frédéric
- [14] <http://luxmetering.lu/pdf/FAQ-compteurs-intelligents.pdf>
- [15] <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/6902/6902-capteurs-pour-la-mesure-de-courant-ens.pdf>

[16]http://famillecoq.pagesperso-orange.fr/physique/tp/electronique/multiplieur/multip_l1.htm

III.8 ANEX

FEATURES

- 4-quadrant multiplication
- Low cost, 8-lead SOIC and PDIP packages
- Complete—no external components required
- Laser-trimmed accuracy and stability
- Total error within 2% of full scale
- Differential high impedance X and Y inputs
- High impedance unity-gain summing input
- Laser-trimmed 10 V scaling reference

APPLICATIONS

- Multiplication, division, squaring
- Modulation/demodulation, phase detection
- Voltage-controlled amplifiers/attenuators/filters

GENERAL DESCRIPTION

The [AD633](#) is a functionally complete, four-quadrant, analog multiplier. It includes high impedance, differential X and Y inputs, and a high impedance summing input (Z). The low impedance output voltage is a nominal 10 V full scale provided by a buried Zener. The [AD633](#) is the first product to offer these features in modestly priced 8-lead PDIP and SOIC packages.

The [AD633](#) is laser calibrated to a guaranteed total accuracy of 2% of full scale. Nonlinearity for the Y input is typically less than 0.1% and noise referred to the output is typically less than 100 μV rms in a 10 Hz to 10 kHz bandwidth. A 1 MHz bandwidth, 20 V/ μs slew rate, and the ability to drive capacitive loads make the [AD633](#) useful in a wide variety of applications where simplicity and cost are key concerns.

The versatility of the [AD633](#) is not compromised by its simplicity. The Z input provides access to the output buffer amplifier, enabling the user to sum the outputs of two or more multipliers, increase the multiplier gain, convert the output voltage to a current, and configure a variety of applications. For further information, see the [Multiplier Application Guide](#).

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

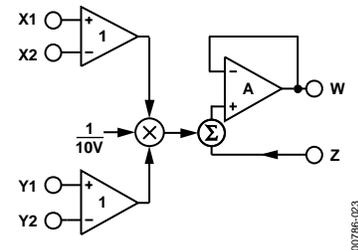


Figure 1.

The [AD633](#) is available in 8-lead PDIP and SOIC packages. It is specified to operate over the 0°C to 70°C commercial temperature range (J Grade) or the -40°C to +85°C industrial temperature range (A Grade).

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The [AD633](#) is a complete four-quadrant multiplier offered in low cost 8-lead SOIC and PDIP packages. The result is a product that is cost effective and easy to apply.
2. No external components or expensive user calibration are required to apply the [AD633](#).
3. Monolithic construction and laser calibration make the device stable and reliable.
4. High (10 M Ω) input resistances make signal source loading negligible.
5. Power supply voltages can range from ± 8 V to ± 18 V. The internal scaling voltage is generated by a stable Zener diode; multiplier accuracy is essentially supply insensitive.

TABLE OF CONTENTS

Features	1
Applications.....	1
Functional Block Diagram	1
General Description	1
Product Highlights	1
Revision History	2
Specifications.....	3
Absolute Maximum Ratings.....	4
Thermal Resistance	4
ESD Caution.....	4
Pin Configurations and Function Descriptions	5
Typical Performance Characteristics	6
Functional Description	8
Error Sources.....	8
Applications Information	9
Multiplier Connections	9

REVISION HISTORY

3/15—Rev. J to Rev. K

Changes to General Description Section	1
Changes to Figure 12 Caption and Figure 14 Caption	9
Added Model Results Section, Examples of DC, Sin, and Pulse Solutions Using Multisim Section, and Figure 24 Through Figure 29, Renumbered Sequentially.....	13
Added Examples of DC, Sin, and Pulse Solutions Using PSPICE Section, Examples of DC, Sin, and Pulse Solutions Using SIMetrix Section, and Figure 30 Through Figure 37	14
Added Figure 38 Through Figure 41	15

9/13—Rev. I to Rev. J

Reorganized Layout.....	Universal
Change to Table 1	3
Changes to Figure 4.....	6
Added Figure 10, Renumbered Sequentially	7
Changes to Figure 15.....	9
Changes to Figure 20.....	10
Changes to Figure 31	14
Added Figure 32.....	15

2/12—Rev. H to Rev. I

Changes to Figure 1	1
Changes to Figure 2.....	5
Changes to Generating Inverse Functions Section	8
Changes to Figure 15.....	9
Added Evaluation Board Section and Figure 23 to Figure 29,	

Squaring and Frequency Doubling.....	9
Generating Inverse Functions	9
Variable Scale Factor	10
Current Output.....	10
Linear Amplitude Modulator	10
Voltage-Controlled, Low-Pass and High-Pass Filters.....	10
Voltage-Controlled Quadrature Oscillator.....	11
Automatic Gain Control (AGC) Amplifiers	11
Model Results.....	13
Examples of DC, Sin, and Pulse Solutions Using Multisim..	13
Examples of DC, Sin, and Pulse Solutions Using PSPICE....	14
Examples of DC, Sin, and Pulse Solutions Using SIMetrix ..	14
Evaluation Board	16
Outline Dimensions	19
Ordering Guide	20

Renumbered Sequentially	12
Changes to Ordering Guide	15

4/11—Rev. G to Rev. H

Changes to Figure 1, Deleted Figure 2.....	1
Added Figure 2, Figure 3, Table 4, Table 5	5
Deleted Figure 9, Renumbered Subsequent Figures.....	6
Changes to Figure 15.....	9

4/10—Rev. F to Rev. G

Changes to Equation 1	6
Changes to Equation 5 and Figure 14.....	7
Changes to Figure 21.....	9

10/09—Rev. E to Rev. F

Changes to Format	Universal
Changes to Figure 21.....	9
Updated Outline Dimensions.....	11
Changes to Ordering Guide	12

10/02—Rev. D to Rev. E

Edits to Title of 8-Lead Plastic SOIC Package (RN-8)	1
Edits to Ordering Guide	2
Change to Figure 13	7
Updated Outline Dimensions.....	8

SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$.

Table 1.

Parameter	Conditions	AD633J, AD633A			Unit
		Min	Typ	Max	
TRANSFER FUNCTION		$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10\text{ V}} + Z$			
MULTIPLIER PERFORMANCE					
Total Error	$-10\text{ V} \leq X, Y \leq +10\text{ V}$		± 1	$\pm 2^1$	% full scale
T_{MIN} to T_{MAX}			± 3		% full scale
Scale Voltage Error	SF = 10.00 V nominal		$\pm 0.25\%$		% full scale
Supply Rejection	$V_S = \pm 14\text{ V}$ to $\pm 16\text{ V}$		± 0.01		% full scale
Nonlinearity, X	$X = \pm 10\text{ V}$, $Y = +10\text{ V}$		± 0.4	$\pm 1^1$	% full scale
Nonlinearity, Y	$Y = \pm 10\text{ V}$, $X = +10\text{ V}$		± 0.1	$\pm 0.4^1$	% full scale
X Feedthrough	Y nulled, $X = \pm 10\text{ V}$		± 0.3	$\pm 1^1$	% full scale
Y Feedthrough	X nulled, $Y = \pm 10\text{ V}$		± 0.1	$\pm 0.4^1$	% full scale
Output Offset Voltage ²			± 5	$\pm 50^1$	mV
DYNAMICS					
Small Signal Bandwidth	$V_O = 0.1\text{ V rms}$		1		MHz
Slew Rate	$V_O = 20\text{ V p-p}$		20		V/ μs
Settling Time to 1%	$\Delta V_O = 20\text{ V}$		2		μs
OUTPUT NOISE					
Spectral Density			0.8		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Wideband Noise	$f = 10\text{ Hz}$ to 5 MHz		1		mV rms
	$f = 10\text{ Hz}$ to 10 kHz		90		$\mu\text{V rms}$
OUTPUT					
Output Voltage Swing			$\pm 11^1$		V
Short Circuit Current	$R_L = 0\ \Omega$		30	40^1	mA
INPUT AMPLIFIERS					
Signal Voltage Range	Differential		$\pm 10^1$		V
	Common mode		$\pm 10^1$		V
Offset Voltage (X, Y)			± 5	$\pm 30^1$	mV
CMRR (X, Y)	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{ V}$, $f = 50\text{ Hz}$	60^1	80		dB
Bias Current (X, Y, Z)			0.8	2.0^1	μA
Differential Resistance			10		M Ω
POWER SUPPLY					
Supply Voltage					
Rated Performance			± 15		V
Operating Range		$\pm 8^1$		$\pm 18^1$	V
Supply Current	Quiescent		4	6^1	mA

¹ This specification was tested on all production units at electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All minimum and maximum specifications are guaranteed; however, only this specification was tested on all production units.

² Allow approximately 0.5 ms for settling following power on.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 2.

Parameter	Rating
Supply Voltage	±18 V
Internal Power Dissipation	500 mW
Input Voltages ¹	±18 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
AD633J	0°C to 70°C
AD633A	−40°C to +85°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C
ESD Rating	1000 V

¹ For supply voltages less than ±18 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Stresses at or above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the product. This is a stress rating only; functional operation of the product at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Operation beyond the maximum operating conditions for extended periods may affect product reliability.

THERMAL RESISTANCE

θ_{JA} is specified for the worst-case conditions, that is, a device soldered in a circuit board for surface-mount packages.

Table 3.

Package Type	θ_{JA}	Unit
8-Lead PDIP	90	°C/W
8-Lead SOIC	155	°C/W

ESD CAUTION



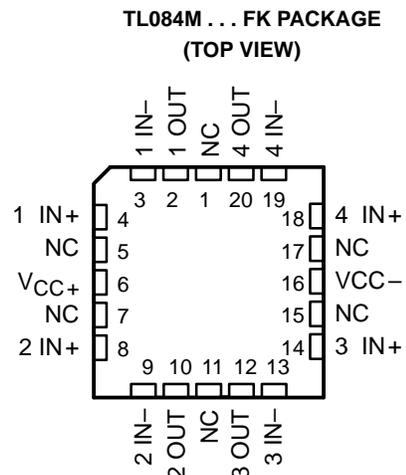
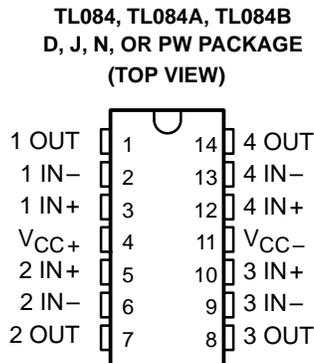
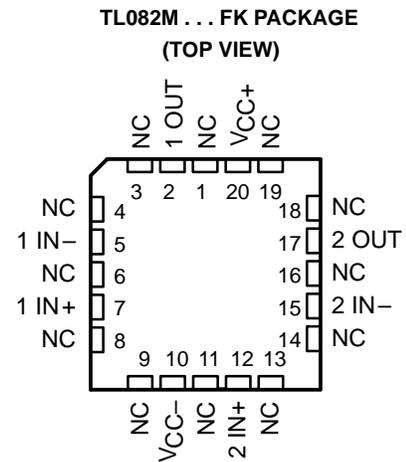
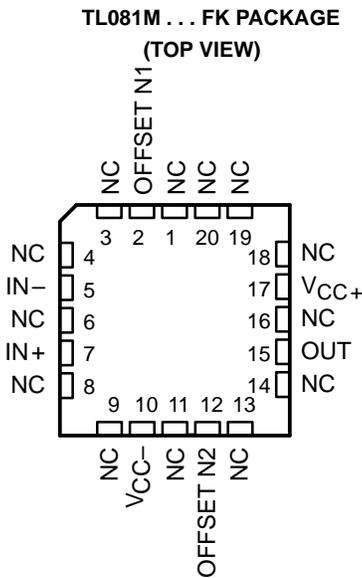
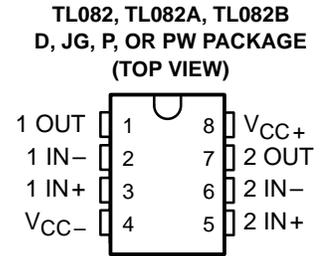
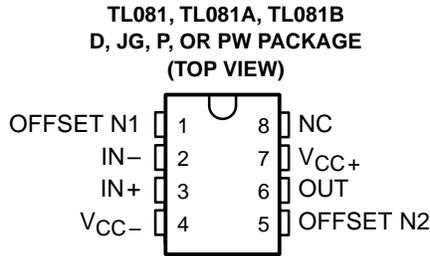
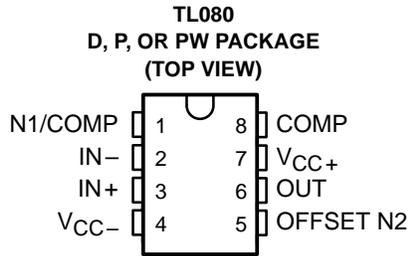
ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

TL080, TL081, TL082, TL084, TL081A, TL082A, TL084A TL081B, TL082B, TL084B, TL082Y, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081A–D2297, FEBRUARY 1977–REVISED NOVEMBER 1992

24 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low-Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation (Except TL080, TL080A)
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ μ s Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC+}



NC—No internal connection

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



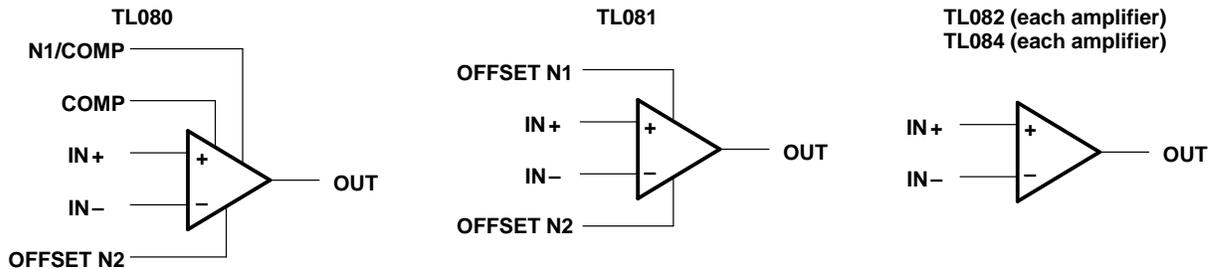
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
POST OFFICE BOX 1443 • HOUSTON, TEXAS
77251-1443

Copyright © 1992, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-STD-883, Class B, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TL080, TL081, TL082, TL084, TL081A, TL082A, TL084A TL081B, TL082B, TL084B, TL082Y, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081A–D2297, FEBRUARY 1977–REVISED NOVEMBER 1992

symbols



description

The TL08_ JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08_ family.

Device types with a C suffix are characterized for operation from 0°C to 70°C, those with an I suffix are characterized for operation from –40°C to 85°C, and those with an M suffix are characterized for operation over the full military temperature range of –55°C to 125°C.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} MAX at 25°C	PACKAGE								CHIP FORM (Y)
		SMALL OUTLINE (D008)	SMALL OUTLINE (D014)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (N)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP (PW)	
0°C to 70°C	15 mV	TL080CD						TL080CP	TL080CPW	
	15 mV	TL081CD	—	—	—	—	—	TL081CP	TL081CPW	—
	6 mV	TL081ACD						TL081ACP		
	3 mV	TL081BCD						TL081BCP		
	15 mV	TL082CD						TL082CP	TL082CPW	TL082Y
	6 mV	TL082ACD	—	—	—	—	—	TL082ACP		
	3 mV	TL082BCD						TL082BCP		
	15 mV		TL084CD				TL084CN		TL084CPW	TL084Y
	6 mV	—	TL084ACD	—	—	—	TL084ACN	—		
	3 mV		TL084BCD				TL084BCN			
–40°C to 85°C	6 mV	TL081ID						TL081IP		
	6 mV	TL082ID						TL082IP	—	—
	6 mV	TL084ID	TL084ID	—	—	—	TL084IN			
–55°C to 125°C	6 mV			TL081MFK		TL081MJG				
	6 mV	—	—	TL082MFK		TL082MJG	—	—	—	—
	9 mV			TL084MFK	TL084MJ					

The D package is available taped and reeled. Add R suffix to device type, (e.g., TL080CDR).



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

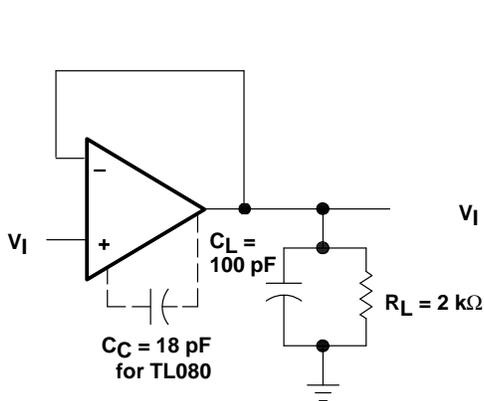


Figure 1. Unity-Gain Amplifier

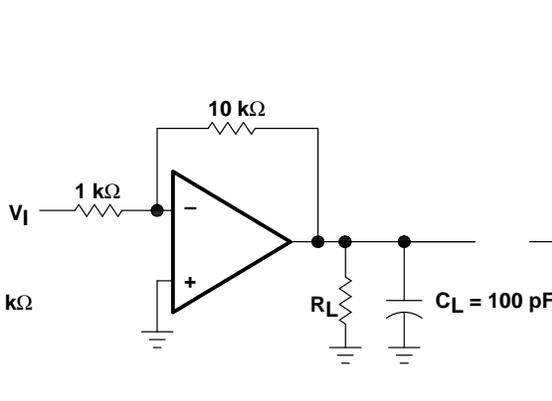


Figure 2. Gain-of-10 Inverting Amplifier

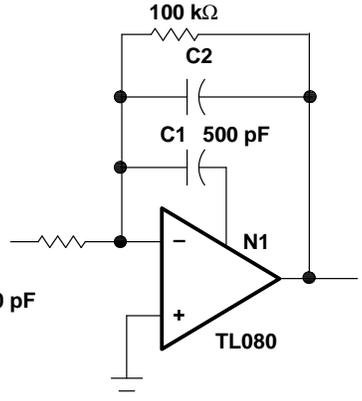


Figure 3. Feed-Forward Compensation

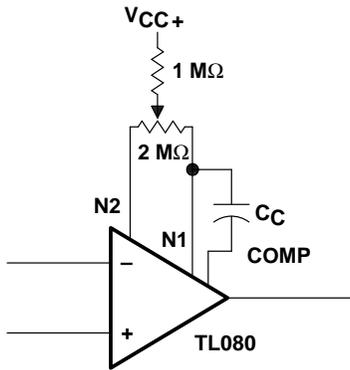


Figure 4. TL080 Input Offset Voltage Null Circuit

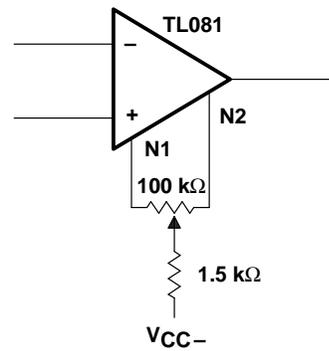


Figure 5. TL081 Input Offset Voltage Null Circuit

TYPICAL CHARACTERISTICS†

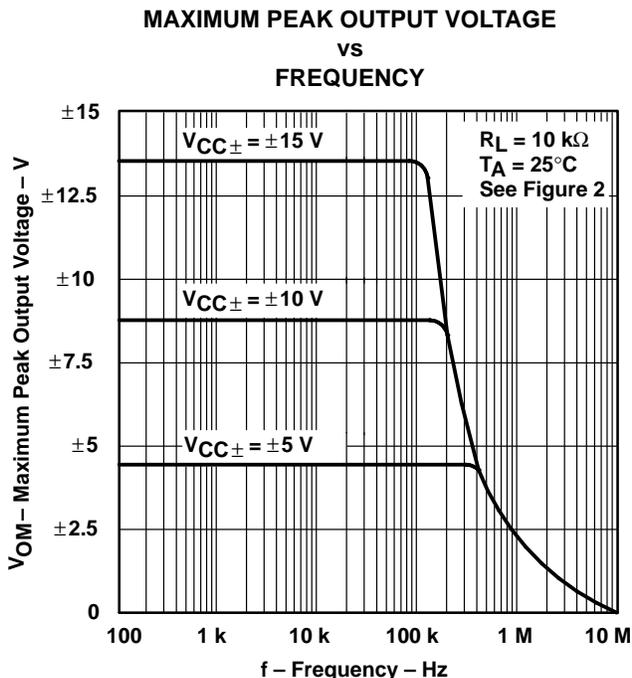


Figure 6

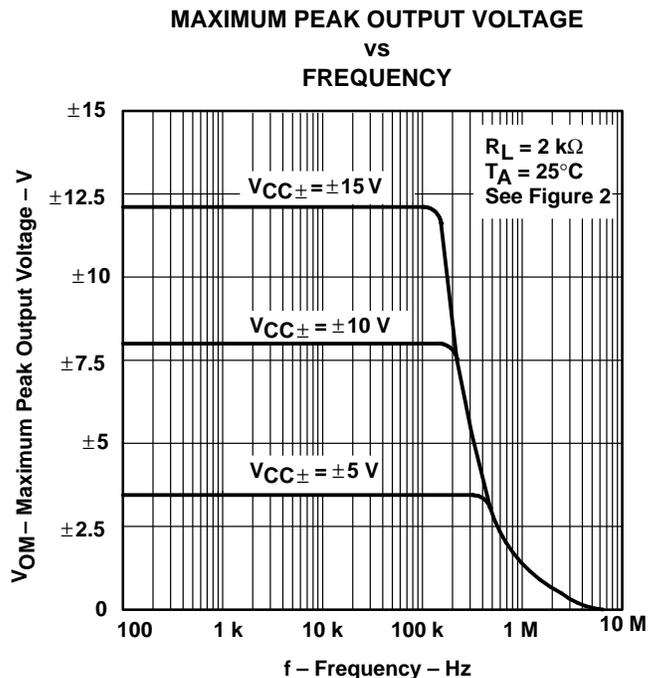


Figure 7

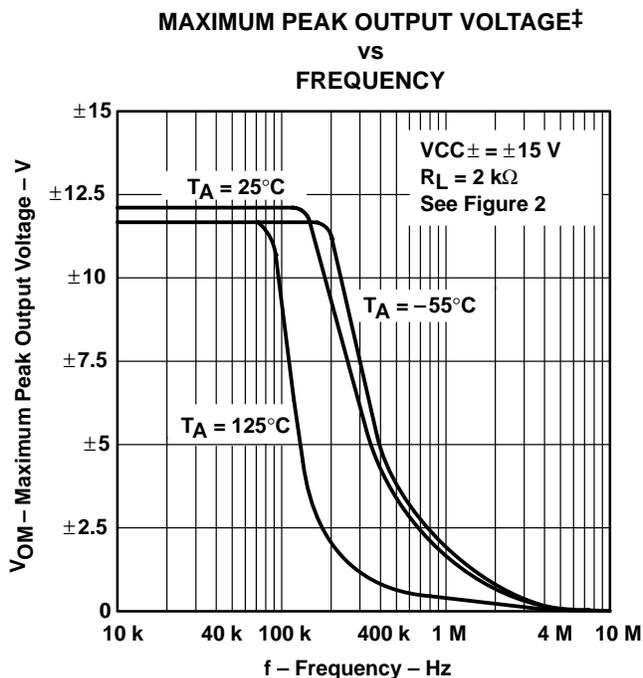


Figure 8

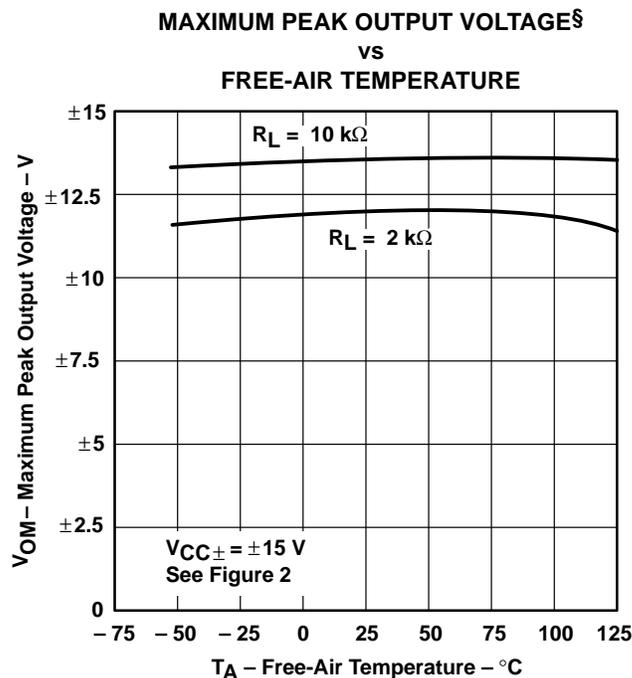


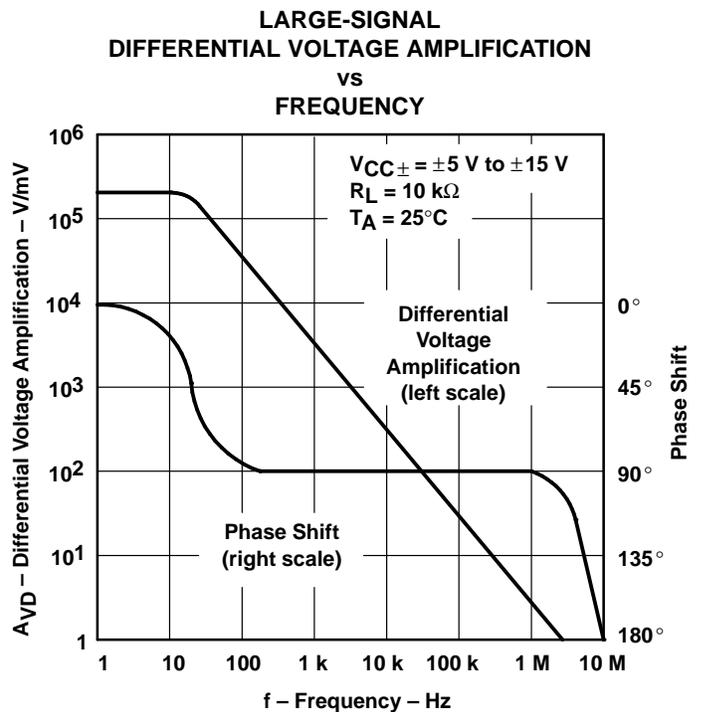
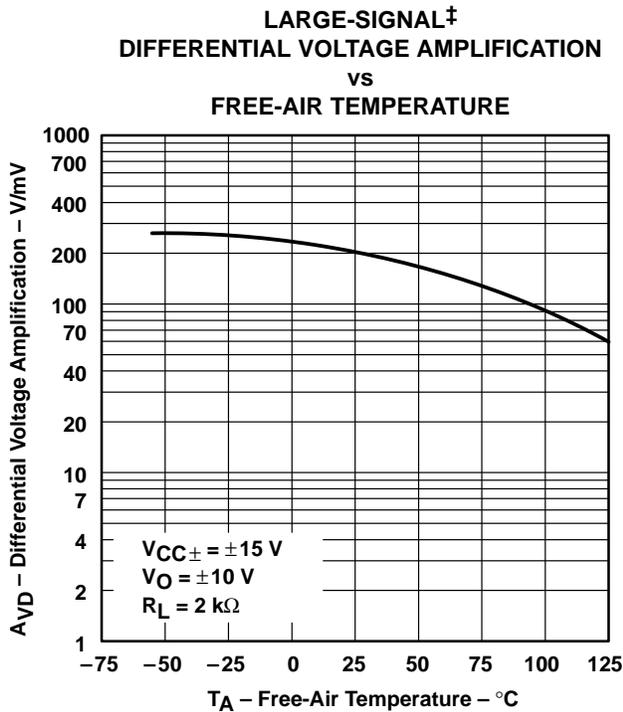
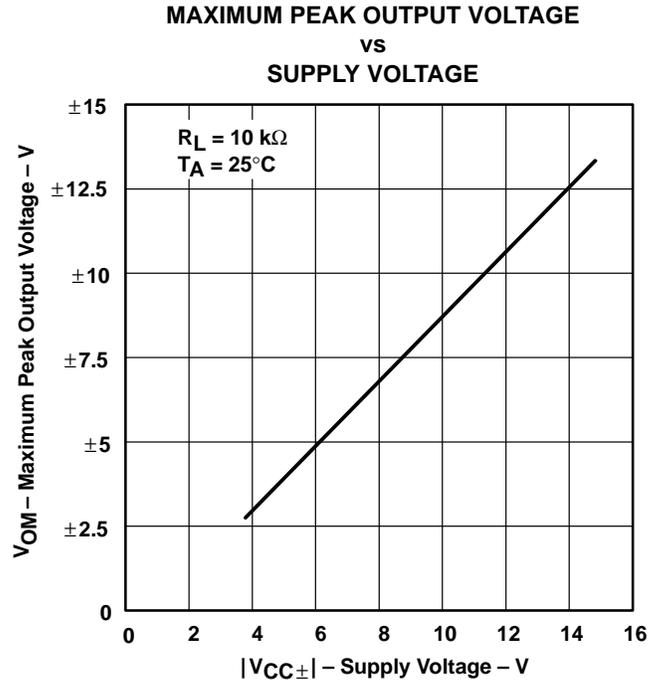
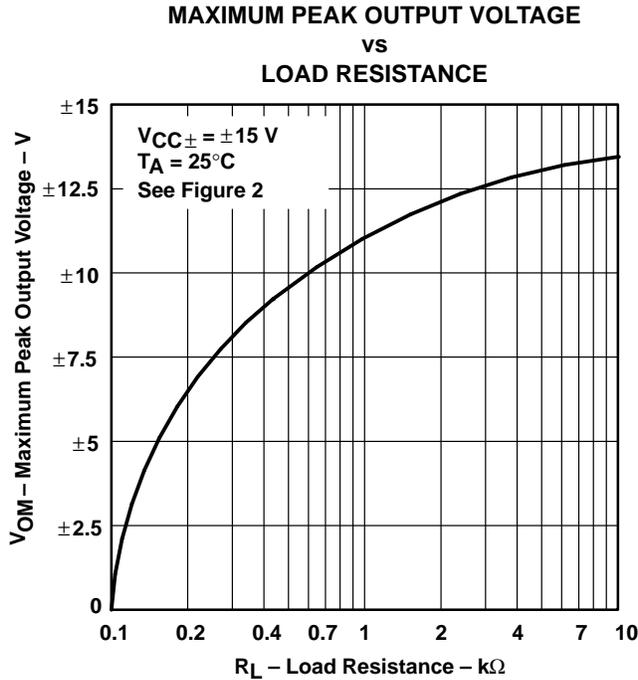
Figure 9

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080.

‡ The -55°C curve and the 125°C curve apply only to the M version.

§ The temperature range of the C version is 0°C to 75°C , the I version is -40°C to 85°C , and the M version is -55°C to 125°C .

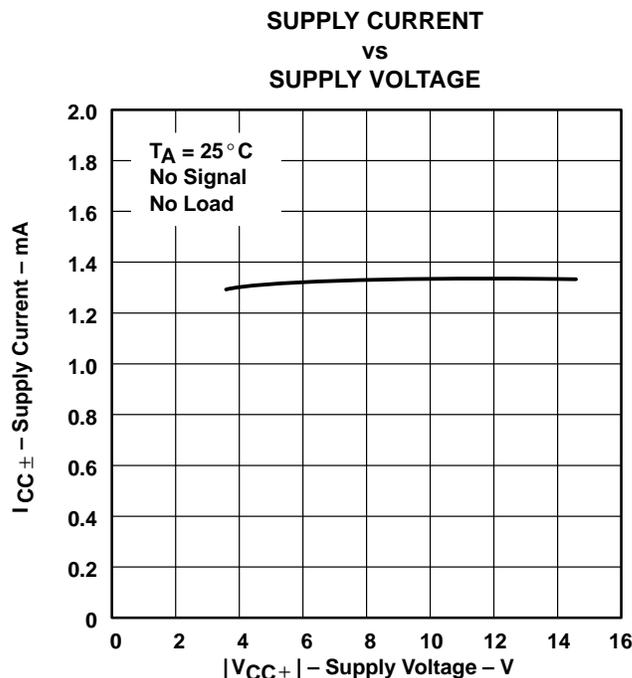
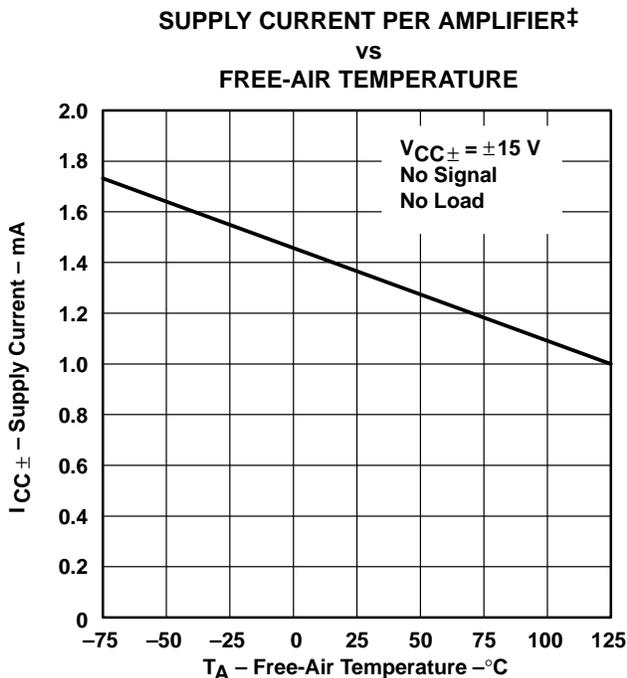
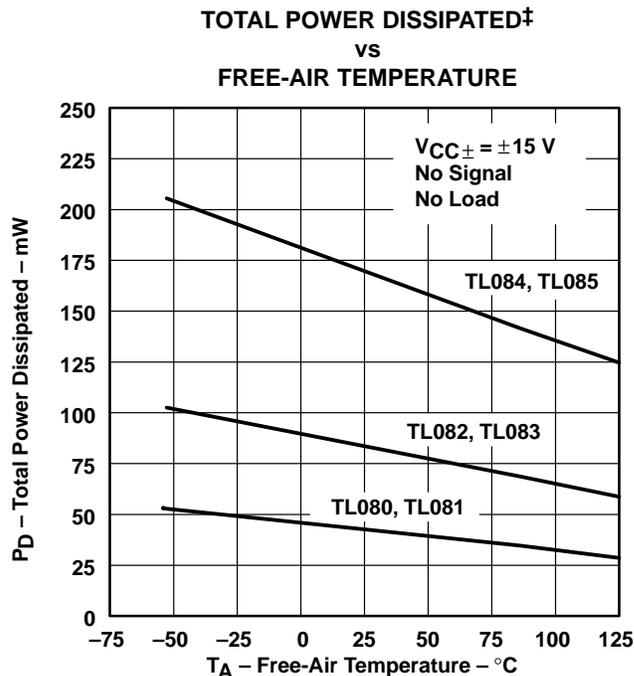
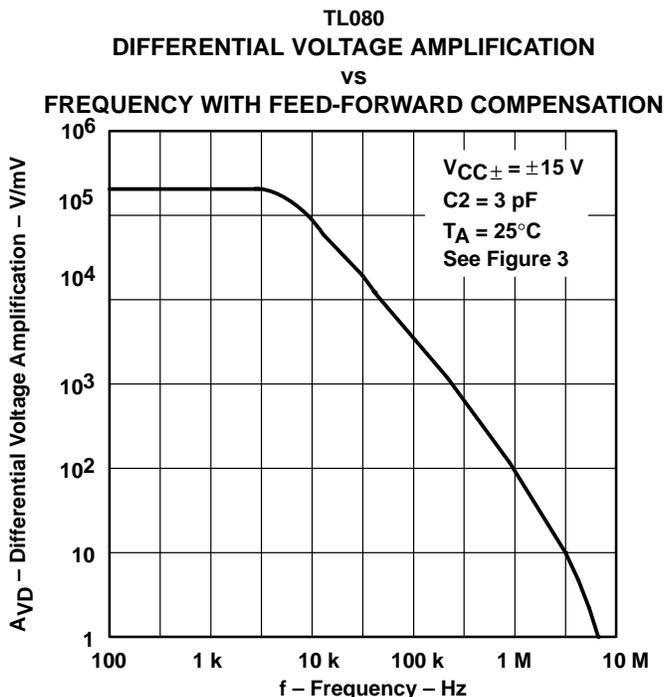
TYPICAL CHARACTERISTICS†



† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080.

‡ The temperature range of the C version is 0°C to 75°C, the I version is –40°C to 85°C, and the M version is –55°C to 125°C.

TYPICAL CHARACTERISTICS†



† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080.

‡ The temperature range of the C version is 0°C to 75°C, the I version is -40°C to 85°C, and the M version is -55°C to 125°C.

TRANSFORMATEUR DE TENSION MONOPHASÉ À 2 PÔLES ISOLÉS - SÉRIE U36



UBH



UBHc



UBN

- Intérieur
- 7,2 - 12 - 17,5 - 24 - 36 kV
- Tension primaire jusqu'à 36.000 V

Transformateurs de tension à 2 pôles isolés en résine époxy moulée auto-extinguible pour la mesure de tensions alternatives entre phases jusqu'à 36 kV.

Cette gamme permet aussi l'alimentation des auxiliaires jusqu'à 5.000 VA c.l.a.

En option, un dispositif anti explosion permet de se prémunir de toute projection de résine ou de gaz chaud en cas de défaut externe (surtension externe, résonance ferromagnétique, choc mécanique, etc...).

Caractéristiques générales

Niveau d'isolement	De 3,6/16/45 kV à 36/70/170 kV
Tension primaire U_{pn}	Jusqu'à 36.000 V
Tension secondaire U_{sn}	100 - 110 - 120 - 230 V
Fréquence	50 ou 60 Hz
Puissance de précision	Jusqu'à 100 VA cl 0,2 - 150 VA cl 0,5 - 200 VA cl 1
Classe de précision	0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3 - 3P - 6P
Facteur de tension	1,9 U_n 8h
Puissance d'échauffement	Jusqu'à 5000 VA
Classe d'isolement	E
Température ambiante	De - 25°C à + 40°C
Normes	CEI 60044 - CEI 61869 - NF C42501 - VDE 0414

Autres caractéristiques sur demande

Tension secondaire U_{sn}	De 10 à 600 V
Enroulements secondaires séparés	Jusqu'à 3
Température ambiante	Jusqu'à + 110°C
Puissances simultanées	Mesure et/ou Protection
Normes	ANSI C57.13 - CAN3 C13 - AS 1675
Facteur de tension	1,2 U_n - 1,5 U_n 30s

Accessoires / Options

Embase de fixation	Série
Capot plombable pour bornes secondaires	Série
Traitement de surface	Silicone ou peinture polyuréthane
Borne de terre	Option
Dispositif anti-explosion	Option (lettre A en finale de type)

TRANSFORMATEUR DE TENSION MONOPHASÉ À 2 PÔLES ISOLÉS - SÉRIE U36

Gamme

Type	Un	Up	Puissance			Puissance thermique Jusqu'à (VA)
	Jusqu'à (kV)	Jusqu'à (kV)	Max en VA			
			cl 0.5	cl 1	cl 3	
U7BH	7.2/20/60	6.6	50	100	150	300
U7BM	7.2/20/60	6.6	100	200	350	400
U7DM	7.2/20/60	6.6	150	250	450	1000
U7BN	7.2/20/60	6.6	200	400	700	2500
U7CO	7.2/20/60	6.6	300	600	1000	3500
U12BH	12/28/75	11	50	100	150	300
U12BM	12/28/75	11	100	200	350	400
U12DM	12/28/75	11	150	250	450	1000
U12BN	12/28/75	11	200	400	700	2500
U12CO	12/28/75	11	300	600	1000	3500
U17BH	17.5/38/95	16.5	50	100	150	300
U17BM	17.5/38/95	16.5	100	200	350	400
U17DM	17.5/38/95	16.5	150	250	450	1000
U17BN	17.5/38/95	16.5	200	400	700	2500
U17CO	17.5/38/95	16.5	300	600	1000	3500
U24BH	24/50/125	22	50	100	150	300
U24BM	24/50/125	22	100	200	350	400
U24DM	24/50/125	22	150	250	450	1000
U24BN	24/50/125	22	200	400	700	2500
U24CO	24/50/125	22	300	600	1000	3500
U36DM	36/70/170	35	150	250	450	1000
U36BN	36/70/170	35	200	400	700	2500
U36CO	36/70/170	35	300	600	1000	3500

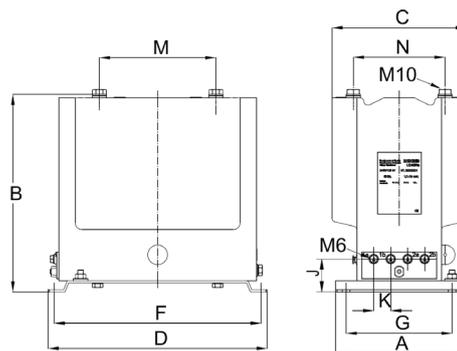
Dimensions

Type	Masse kg	A mm	B mm	C mm	D mm	F mm	G mm	J mm	K mm	M mm	N mm
U7BH	30	180	280	190	310	290	150	47	24	165	130
U7BM	34	178	285	240	411	290	150	35	24	165	130
U7DM	40	178	290	220	349	240	150	21	60	251	-
U7BN	34	230	415	220	380	350	200	35	24	325	-
U7CO	60	230	341	370	441	350	200	26	23	320	100
U12BH	30	180	280	190	310	290	150	47	24	165	130
U12BM	34	178	285	240	411	290	150	35	24	165	130
U12DM	40	178	290	220	349	240	150	21	60	251	-
U12BN	34	230	415	220	380	350	200	35	24	325	-
U12CO	60	230	341	370	441	350	200	26	23	320	100
U17BH	30	180	280	190	310	290	150	47	24	165	130
U17BM	34	178	285	240	411	290	150	35	24	165	130
U17DM	40	178	290	220	349	240	150	21	60	251	-
U17BN	34	230	415	220	380	350	200	35	24	325	-
U17CO	60	230	341	370	441	350	200	26	23	320	100
U24BH	30	180	280	190	310	290	150	47	24	165	130
U24BM	34	178	285	240	411	290	150	35	24	165	130
U24DM	40	178	290	220	349	240	150	21	60	251	-
U24BN	34	230	415	220	380	350	200	35	24	325	-
U24CO	60	230	341	370	441	350	200	26	23	320	100
U36DM	40	178	290	220	349	240	150	21	60	251	-
U36BN	34	230	415	220	380	350	200	35	24	325	-
U36CO	60	230	341	370	441	350	200	26	23	320	100

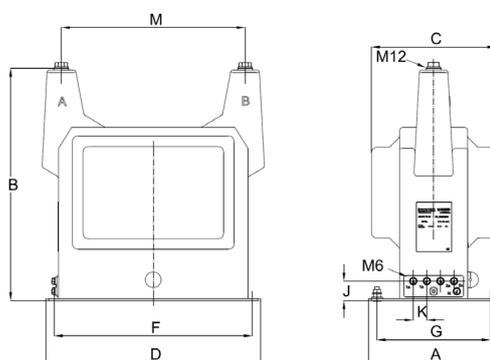
Installation

- Ce transformateur de courant peut être installé dans n'importe quelle position.
- Couple de serrage des connexions primaires : 35 N.m
- Connexions primaires M12x23 utile
- Couple de serrage des connexions secondaires M6 : 4 N.m
- Ne jamais laisser ouvert le circuit secondaire du transformateur quand celui-ci est sous tension. Des tensions élevées pourraient apparaître aux bornes du circuit secondaire, qui pourraient être dangereuses pour les personnes et provoquer la destruction du transformateur.
- Ce transformateur de courant n'a besoin d'aucun entretien.

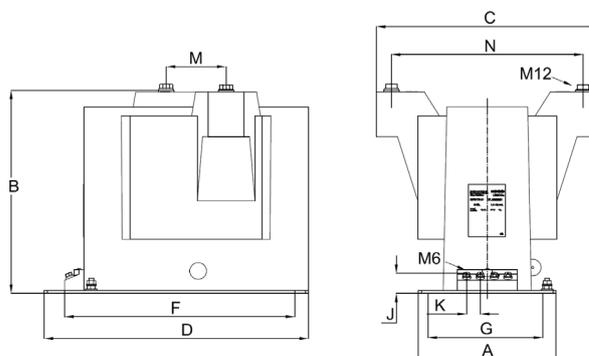
UBHA-UBMA



UBNA



UCOA



UDMA

