

Puissance en monophasé : mesure des puissances active et réactive consommées par un récepteur

16

2006

Bibliographie L. Quaranta, JM Donnini, *Dic. physique tome 4* nouvelle édition, Pierron
H. Prépa Electronique Electronique 1ere année MPSI-PCSI-PTSI Ch.6

Définitions :

À l'instant t , on mesure la tension instantanée $v(t)$ aux bornes d'un récepteur et l'intensité instantanée $i(t)$ dans le circuit.

La puissance consommée par ce récepteur est $p(t) = v(t).i(t)$. C'est la *puissance instantanée*.

Si $v(t) = V_m \cos(\omega t + \phi_v)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi_i)$ la puissance instantanée est :

$p(t) = VI [\cos(\phi_v - \phi_i) + \cos(2\omega t + \phi_v + \phi_i)]$ avec $V = V_m/\sqrt{2}$ et $I = I_m/\sqrt{2}$ grandeurs *efficaces*.

Remarque : $\phi = \phi_v - \phi_i$ est le **déphasage de la tension par rapport au courant**. Si $\phi = \phi_v - \phi_i > 0$ alors la tension est en avance par rapport au courant (circuit inductif).

La puissance électrique moyenne consommée par un dipôle s'exprime par : $P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt$

En régime sinusoïdal $P = VI \cos(\phi)$. Cette puissance est également appelée *puissance active*.

$P_a = VI$ s'appelle *puissance apparente* et $\cos(\phi)$ le *facteur de puissance*.

On définit la *puissance complexe* : $\bar{P} = \frac{1}{2} v i^*$ (ici v et i sont complexes) dont la décomposition en parties réelle et imaginaire s'écrit : $\bar{P} = P + jP_q$ où $P_q = VI \sin(\phi)$ est la *puissance réactive* (*positive ou négative*). Dans le système SI [NF X 02-205], P s'exprime en watts (W), P_a en voltampères (VA) et P_q en vars (var). En régime sinusoïdal, on peut écrire:

$v(t) = V_m \cos(\omega t)$ <i>valeur instantanée</i>	$i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi)$ <i>valeur instantanée</i>	$p(t) = v(t) i(t) = VI [\cos(\phi) + \cos(2\omega t + \phi)]$ <i>puissance instantanée</i>	$V = V_m/\sqrt{2}$ $I = I_m/\sqrt{2}$ <i>valeurs efficaces</i>
$P = VI \cos(\phi)$ <i>puissance active (ou moyenne) (W)</i>	$P_q = VI \sin(\phi)$ <i>puissance réactive (var)</i>	$P_a = VI$ <i>puissance apparente (VA)</i>	$P/P_a = \cos(\phi)$ <i>facteur de puissance</i>

Le théorème de Boucherot sera vérifié avec : $\bar{P} = P + jP_q = \sum_k P_k + \sum_k P_{qk}$

Les wattmètres électrodynamiques permettent de mesurer la puissance moyenne. Les wattmètres électroniques mesurent les puissances moyenne, active et/ou réactive, le déphasage selon les performances de l'appareil. Dans une installation industrielle, on doit avoir ϕ tel que $\tan(\phi) < 0,4$ soit $\cos(\phi) > 0,93$. L'oscilloscope numérique permet de visualiser la puissance instantanée.

1-Utilisation d'un oscilloscope numérique.

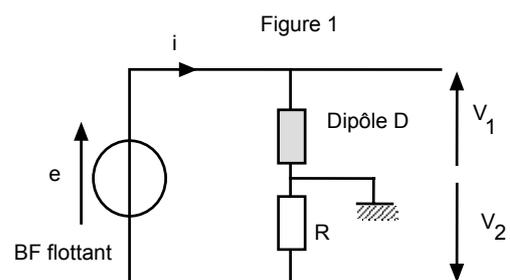
Avec un oscilloscope numérique qui a la fonction *multiplication* : *voie1*voie2*

On branche les entrées X et Y de l'oscillo respectivement sur le dipôle et sur R. Le générateur doit être à masse flottante. On calcule et on visualise le produit (avec la fonction *invert* sur la voie 1)

$v_1 v_2 = R.v(t).i(t)$ qui donne la **puissance instantanée**.

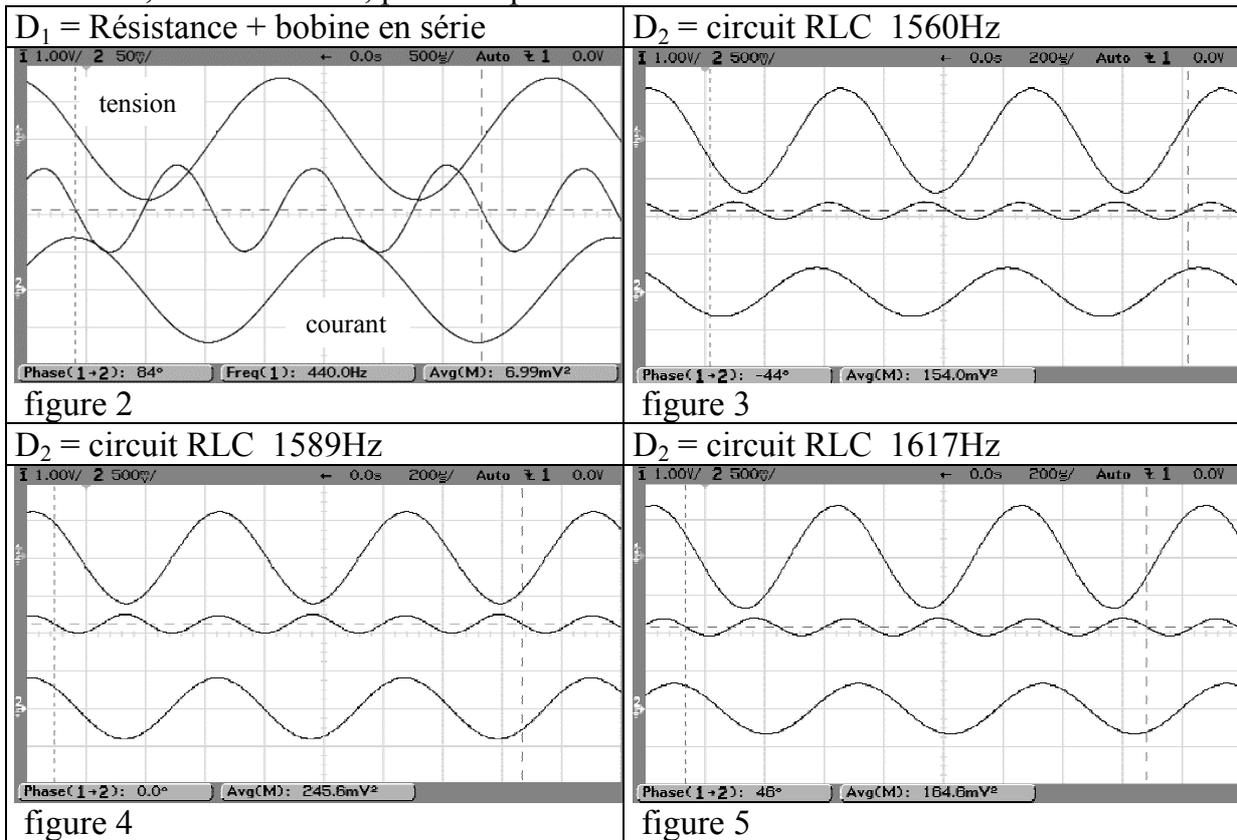
La fonction « valeur moyenne » de ce signal permet

d'atteindre la **puissance moyenne ou puissance active**. La fonction « RMS » permet d'atteindre la **puissance apparente** : $RMS(v_1) RMS(v_2) = R V I$.



Si tous les signaux sont sinusoïdaux, l'oscilloscope permet d'obtenir directement le facteur de puissance $\cos(\phi)$ par la fonction « déphasage » de (v_1, v_2) .

Pour un signal sinusoïdal, un dipôle D et $R=12\Omega$, on peut obtenir avec un oscillo Agilent: Voie1=tension, voie2=courant, par exemple :



Avec une sonde de courant à effet Hall (pour visualiser et mesurer I), on pourra supprimer la résistance R, et s'affranchir des problèmes de masses.

2- Puissance active en courant monophasé et théorème de Boucherot.

21. Avec un oscilloscope numérique.

On utilisera un oscilloscope type Agilent 54621A, pour mesurer la tension $v_1(t)$ aux bornes du dipôle, la tension $v_2(t) = R i(t)$ aux bornes de la résistance $R = 100\Omega$ (si on n'a pas de sonde de courant) et calculer le produit $v_1(t) \cdot v_2(t) = R p(t)$ avec la fonction Math (1*2), et pour mesurer le déphasage entre $v_1(t)$ et $v_2(t) = R i(t)$ (**ou $v_2(t) = i(t)/10$ avec la sonde PR20**).

Avec un dipôle alimenté par un générateur **BF amplifié**, on peut effectuer les mesures suivantes :

Dipôle = RLC ou RL Oscillo Math=1*2	Aux bornes de RLC	Aux bornes de R	Aux bornes de L	Aux bornes de C
Fréquence				
RMS(v_1) = V				
RMS(v_2) -> I				
Avg(Math) mV^2 -> $V I \cos(\phi)$ = puissance active				
Facteur de puissance				
Phase1->2 °				
puissance réactive				

Calculer dans chaque cas puissances active et réactive et $\cos(\phi)$.

22. Utilisation d'un wattmètre électronique en courant monophasé.

On utilisera le wattmètre ISW8000

Compte tenu de la sensibilité du wattmètre utilisé, nous mesurons la puissance dans un circuit pouvant dissiper une puissance suffisante.

221. Circuit RLC série.

Le choix des composants sera tel que $\cos(\phi) < 0.5$. Avec une bobine « standard », type Suter 11Ω , $1H$ ($0.07H$ à vide), une capacité de $40\mu F$ ($100V$ minimum) et une résistance de 21Ω , alimentés en $24V$ $50Hz$ par exemple,

Dipôle = RLC wattmètre ISW8000	Aux bornes de RLC*	Aux bornes de R	Aux bornes de L	Aux bornes de C	Total : Th.de Boucherot
Puissance active W	7,10	4,75	2,32	0,04	
Puissance réactive Var	12,6	0,1	5,1	17,7	
Facteur de puissance PF	0,49	1,00	0,41	0	
V	30,5	9,92	11,78	37,47	
I	0,474	0,473	0,475	0,475	
$ \phi $	59	0	68	90	
ϕ	i en avance sur v $\rightarrow -59^\circ$	0	v en avance sur i $\rightarrow 68^\circ$	i en avance sur v $\rightarrow -90^\circ$	

*Dans cette expérience, on peut aussi vérifier que le montage total est capacitif en introduisant le noyau de fer doux dans la bobine. En effet, on augmente L et on voit que le $\cos(\phi)$ augmente vers 1 puis diminue lorsque le montage est devenu inductif.

222. Bobine ou moteur

Le dispositif est une électrovanne pour arrosage intégré avec les indications $24Vac$ - $0.23A$ ou bien un petit moteur $24Vac$ $20W$.

* électrovanne (marque Nelson)

La résistance de l'électrovanne en continu est de 27Ω .

On utilise le wattmètre ou ISW8000, l'électrovanne est alimentée en $24Vac$ avec une alimentation Jeulin 6-12-24V (281047 ou 281274).

On peut obtenir les mesures suivantes ;

U=30.1V	I=0.36A	W=5.7 watt	UI=10.8VA
Cos(ϕ)=0.53 $\phi=58^\circ$	Puissance apparente = Pa = 10.8VA	Puissance active = P =5.7 W	Puissance réactive = Pq =9.2 var

Diminution des pertes en lignes :

Si on met un condensateur C en parallèle aux bornes de la bobine, le facteur de puissance remonte, par exemple $I_c=0.21A$ si $C=24\mu F$, $P_a=6.3VA$, $\cos(\phi)=0.9$. Les pertes en lignes ont diminué dans le rapport $(I/I_c)^2 = 2.9$, EDF appréciera la compensation par le condensateur.

Expliquer pourquoi $\cos(\phi)$ reste < 1 et diminue si on augmente trop la capacité.

* moteur $24Vac$ $20W$

U=30.1V	I=0.758A	W=18.1 watt	UI=22.8VA
Cos(ϕ)=0.79 $\phi=37.5^\circ$	Puissance apparente = Pa = 22.8 VA	Puissance active = P =18.1 W	Puissance réactive = Pq =13.9 var

223. Dispositifs alimentés en 230VAC avec le Wattmètre Leybold ref 531831 (ou équivalent)

2231 Tube fluorescent,

On étudie avec le wattmètre un tube fluorescent alimenté par le secteur (figure 6).

U=235V	I=0.408A	W=25.4 watt	UI=95.9VA
Facteur de puissance =0.26 (courant non sinusoïdal)	Puissance apparente Pa = 95.9VA	Puissance active P =25.4W	Puissance réactive = Pq = $(Pa^2-P^2)^{0.5}$ =92.5var

2232. Lampe basse consommation,

On étudie avec le wattmètre une lampe «basse consommation 21W», alimentée par le secteur. La visualisation de la forme du courant avec un oscilloscope montre que le courant n'est pas du tout sinusoïdal, on ne peut pas définir simplement le $\cos(\phi)$ (figure 7).

U=233V	I=0.153A	W=19.5 watt	UI=35.6VA
Facteur de puissance =0.55 (courant non sinusoïdal)	Puissance apparente = Pa = 35.6VA	Puissance active = P =19.5W	Puissance réactive = Pq =29.9var

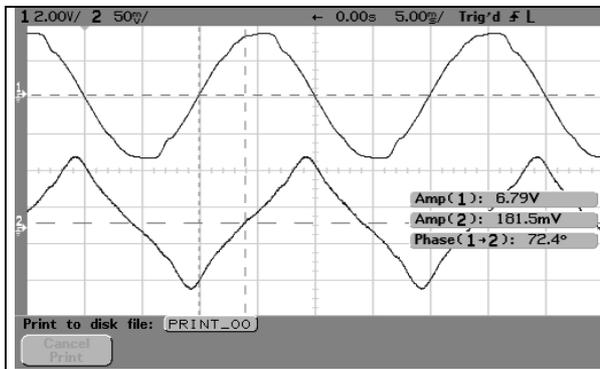


figure 6

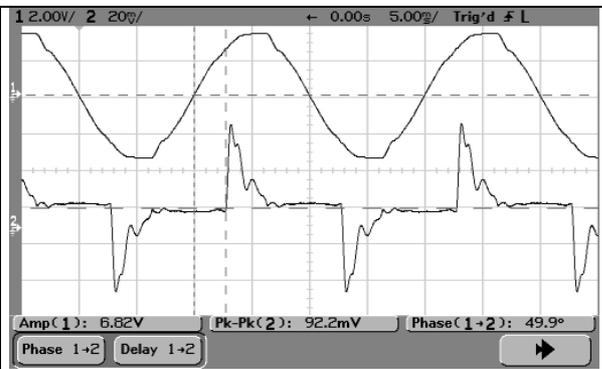


figure 7

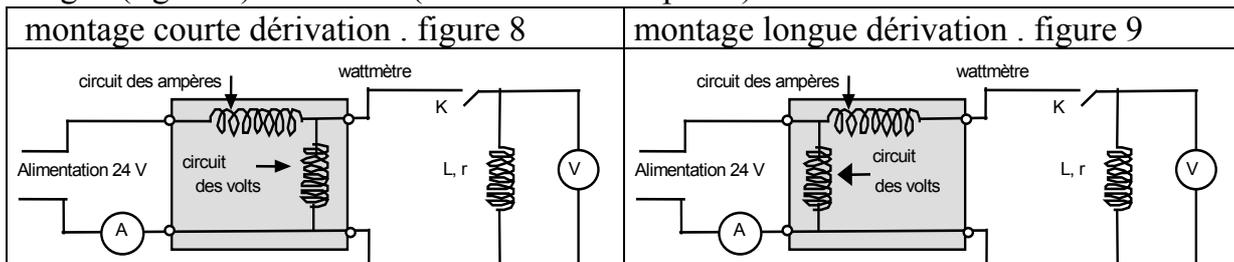
2233. Lampe halogène basse tension 20W 12V

Il s'agit d'une lampe à incandescence purement résistive mais l'alimentation se fait par un transformateur 220/12V ,

U=233.8V	I=97.8mA	W= 21.26 watt	UI=22.9VA
Cos(φ)=0.83 φ=22°	Puissance apparente = Pa = 22.9VA	Puissance active = P =21.26W	Puissance réactive = Pq =8.41var

23 Wattmètre électrodynamique

En fonction de l'impédance du dispositif étudié, on utilisera le montage courte (figure 8) ou longue (figure 9) dérivation (voir dictionnaire p 495).



En ouvrant l'interrupteur K, le dipôle étudié est débranché mais le wattmètre est toujours en circuit dans le cas courte dérivation. Il indique alors la puissance p qu'il consomme lui-même. Si elle n'est pas négligeable, elle devra être retranchée de la lecture P faite lorsque K est fermé.

À l'aide du voltmètre et de l'ampèremètre, on mesure V et I donc P_a .
 Le wattmètre permet de mesurer P (effectuer éventuellement la correction $P = P_{luc} - p$).
 On en déduit $\cos \phi = P/P_a$ et on vérifie que la valeur obtenue est compatible avec $\tan \phi = L\omega/r$

24 Méthode des trois voltmètres et méthode des trois ampèremètres

Méthodes désuètes.

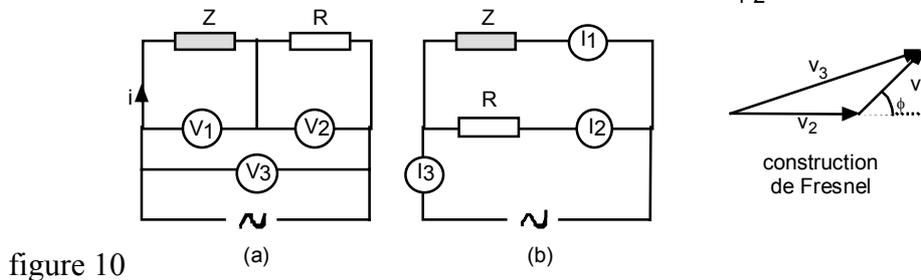
a) *Trois voltmètres* (figure 10 a)

On a : $v_3(t) = v_1(t) + v_2(t)$ et $v_2(t) = Ri(t)$. A partir de la construction de Fresnel (voir figure 10) on calcule le facteur de puissance : $\cos \phi = \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1V_2}$

donc $P = \frac{1}{T} \int_0^T v_1(t)i(t)dt = \frac{1}{2R}(V_3^2 - V_2^2 - V_1^2)$ avec $V_{1,2,3}$ valeurs efficaces (indications des voltmètres).

b) *Trois ampèremètres* (figure 10 b)

Montage dual du précédent, on obtient : $P = \frac{R}{2}(I_3^2 - I_2^2 - I_1^2)$ et $\cos \phi = \frac{I_3^2 - I_2^2 - I_1^2}{2I_1I_2}$.



En résumé ce qu'il faut retenir au minimum :

Introduction : Définitions, puissances instantanée, active, réactive, apparente, facteur de puissance, théorème de Boucherot.

1 Visualisation Oscillo numérique

2 Mesures

21 Oscillo numérique circuit RLC et/ou haut-parleur

22 Wattmètre électronique et th Boucherot

221 RLC et th Boucherot

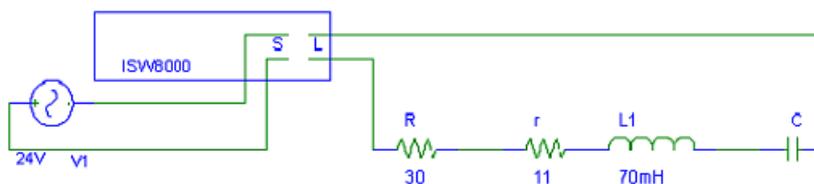
222 Bobine ou moteur, calcul du $\cos(\phi)$ et amélioration avec une capacité

223 ... En fonction du matériel disponible lampe basse consommation, halogène 12V...

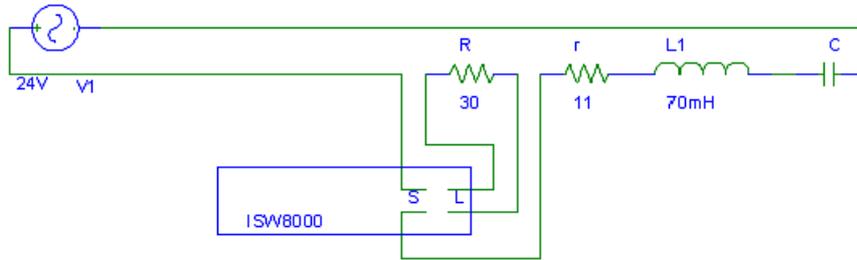
Conclusion : amélioration de $\cos(\phi)$ et pertes en lignes

Annexes : Utilisation du Wattmètre ISW8000

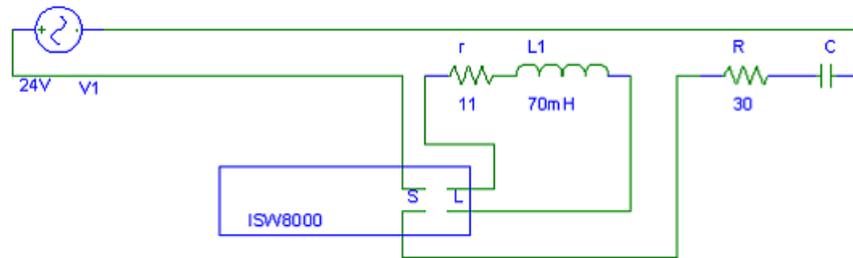
Mesure aux bornes de RLC :



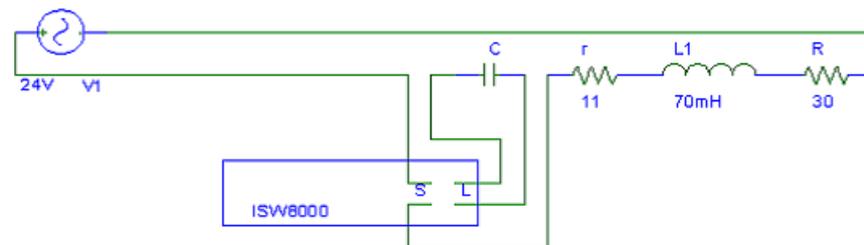
Mesure aux bornes de R :



Mesure aux bornes de L :



Mesure aux bornes de C :



Remarque 1:

À l'oscilloscope, ne pas calculer $RMS(v1.v2)$; Calcul Maple de $RMS(v1.v2)$, $v_2=R i$,

$$prms = \frac{1}{8} \sqrt{2} \sqrt{\frac{V_{eff} I_{eff} (8\pi + 16\pi \cos(\phi)^2 - 10\cos(\phi) \sin(\phi) + 5 \sin(2\phi))}{\pi}}$$

ou

$$prms = \frac{1}{8} \sqrt{\frac{v_{max}^2 i_{max}^2 (-8\pi - 16\pi \cos(\phi)^2 + 10\cos(\phi) \sin(\phi) - 5 \sin(2\phi))}{\pi}}$$

Remarque 2:

On trouve dans la littérature, les conventions,

$v(t)$ (est la grandeur de référence,

$v(t) = V_m \cos(\omega t)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t - \phi)$ ou $v(t) = V_m \cos(\omega t)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi)$ et

si $i(t)$ est la grandeur de référence,

$v(t) = V_m \cos(\omega t + \phi)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t)$ ou $v(t) = V_m \cos(\omega t - \phi)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t)$

En choisir une et s'y tenir.