

Corrigé.

Un cours détaillé qui reprend ce TP est disponible sur le site.

Attention : toutes les mesures faites avec la pince-wattmètre doivent s'effectuer en restant suffisamment éloigné des bobines, afin que le champ magnétique rayonné par celles-ci soit sans influence sur l'intensité du courant mesuré.

La pince Wattmètre sera configurée en mode "Smooth" (= moyenne des mesures faites sur 3 secondes) et en mode AC + DC (**offset de courant réglé après chaque mise sous tension de la pince**). Il est impératif de connaître la précision des mesures. Pour cela la notice de la pince F27 indique les caractéristiques suivantes, à adapter aux mesures réalisées :

courant :	2% Lecture \pm 2 points + 0,2 A
tension :	1% L \pm 2 points
puissance active :	2% L \pm 2 points
puissance réactive :	2% L \pm 2 points
puissance apparente :	2% L \pm 2 points
facteur de puissance :	5% L \pm 2 points pour $0,21 \leq FP \leq 0,50$ 3% L \pm 2 points pour $0,51 \leq FP < 1$
cos φ :	5 % L \pm 2 points.

La bande passante de la sonde de courant est de 100 kHz (10 kHz suffirait pour ce TP).

1.

Les mesures donnent :

courant efficace de ligne :	$I \approx 0,77 \pm 0,02$ A
puissance apparente :	$S \approx 177 \pm 6$ VA
puissance active :	$P \approx 97 \pm 4$ W
puissance réactive :	$Q \approx -40 \pm 3$ Var
cos φ :	$DPF \approx 0,92 \pm 0,06$
facteur de puissance :	$PF \approx 0,55 \pm 0,04$

L'allure du courant est bien celle donnée en page 1 du sujet de TP : elle est typique d'une alimentation redressée avec condensateur de lissage (pour alimentation à découpage ici).

2.

On observe que l'alimentation est $1/PF \approx 2$ fois trop "grosse" (puissance apparente pratiquement 2 fois supérieure à la puissance active). Le cos φ est différent du facteur de puissance, ce qui est normal car le courant n'est pas sinusoïdal : le facteur de puissance prend en compte les harmoniques de courant, contrairement au cos φ .

3.

La puissance réactive est négative : de l'énergie réactive est donc rejetée par l'oscilloscope. Pour annuler cette puissance réactive il faut donc utiliser des composants qui absorbent de l'énergie réactive : c'est le cas des bobines.

A noter que dans les applications industrielles c'est souvent l'inverse : la puissance réactive développée est souvent positive et il faut des batteries de condensateurs pour l'annuler.

4.

Les 3 bobines de 1,4 H sont mises en série. Attention : si elles sont proches les unes des autres leur inductance mutuelle intervient et la valeur des inductances est modifiée !

Les mesures donnent :

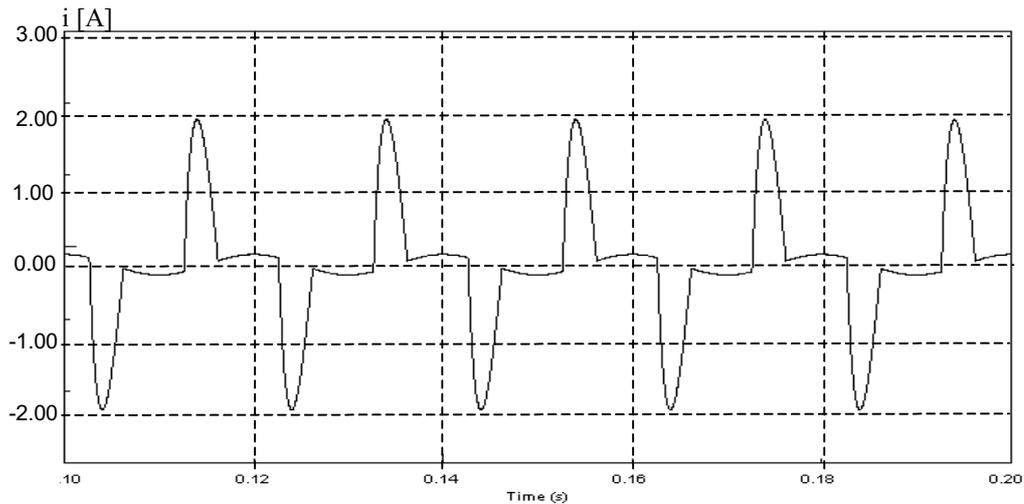
courant efficace de ligne :	$I \approx 0,74 \pm 0,02$ A
puissance apparente :	$S \approx 170 \pm 6$ VA
puissance active :	$P \approx 98 \pm 4$ W
puissance réactive :	$Q \approx 0 \pm 0,02$ Var
cos φ :	$DPF \approx 1,00 \pm 0,07$ (écrire $0,965 \pm 0,035$ serait peut être plus juste !)
facteur de puissance :	$PF \approx 0,57 \pm 0,04$

5.

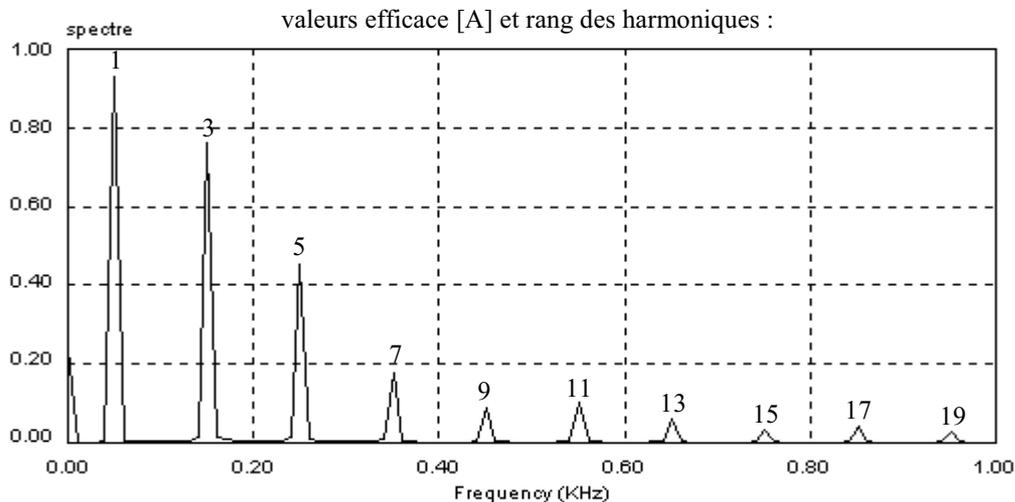
avec 4,2 H, la bobine développe la puissance réactive $Q_B = \frac{U^2}{L\omega} = \frac{230^2}{4,2 \times (2\pi \times 50)} \approx 40 \text{ Var}$ qui est bien l'opposée de la puissance réactive initialement développée par l'oscilloscope : la compensation (annulation) de la puissance réactive est bien réalisée. Le $\cos \varphi$ est bien relevé à 1...mais le facteur de puissance est toujours aussi mauvais. On pouvait s'y attendre car le $\cos \varphi$ était déjà proche de 1 précédemment, la faible valeur du facteur de puissance était donc essentiellement due à la distorsion du courant et non à un déphasage courant / tension.

6.

Le courant de ligne a l'allure suivante (il est toujours loin d'être sinusoïdal !)



On peut brancher la sortie de la sonde de courant à l'entrée de l'analyseur de spectre, on observe approximativement ceci :



Remarquer l'absence d'harmoniques de rang pair (due à la symétrie de glissement du courant). Le premier harmonique à éliminer sera finalement l'harmonique 3 (fréquence 150 Hz). Pour éliminer l'harmonique 3 il faudra "filtrer" le courant : on le réalisera à l'aide d'un filtre LC.

7.

L'impédance vaut $Z_{3s} = |Z_{3s}| = |jL_{3s} \times \omega_3 - j/(C_{3s} \times \omega_3)| \Rightarrow Z_{3s} = \left| L_{3s} \times 3\omega - \frac{1}{C_{3s} \times 3\omega} \right|$

$$Z_{3s} \text{ est nulle pour } L_{3s} \times 3\omega = \frac{1}{C_{3s} \times 3\omega} \text{ c'est - à - dire pour } \boxed{L_{3s} \times C_{3s} = \frac{1}{(3.\omega)^2}} \approx \frac{1}{(3 \times 2\pi \times 50)^2} \approx 1,13.10^{-6} \text{ rad}^{-2}.\text{s}^2$$

8.

Une infinité de valeurs sont possibles pour le choix de L_{3s} et C_{3s} . L'impédance du filtre à 50 Hz est donnée par la relation

$$Z_s = \left| \frac{L_{3s} \cdot C_{3s} \cdot \omega^2 - 1}{C_{3s} \cdot \omega} \right|$$

Puisque le produit $L_{3s} \cdot C_{3s}$ est constant (calculé précédemment), il devient nécessaire de prendre C_3 aussi faible que possible pour assurer Z_s élevée à 50 Hz (le filtre ne doit pas court-circuiter le courant fondamental !). Attention cependant à ne pas prendre C_{3s} trop faible car cela reviendrait à prendre L_{3s} élevée avec les problèmes que cela engendre (taille, coût, consommation de puissance active...).

On peut choisir les valeurs suivantes : $L_{3s} \approx 1,1$ H et $C_{3s} \approx 1,0$ μ F qui donnent bien le produit $L_{3s} \times C_{3s}$ nécessaire. Cela se règle au GBF en appliquant une tension sinusoïdale au bornes du circuit LC série (amplitude réduite pour conserver un courant inférieur au courant maximal délivrable par le GBF). A 150 Hz on doit observer un maximum d'amplitude aux bornes du condensateur (on ajuste la bobine pour cela).

On obtient alors une allure de $i(t)$ pratiquement identique à celle vue à la question 4 précédente (rien ne semble avoir changé) et les mesures donnent :

courant efficace de ligne :	$I \approx 0,80 \pm 0,02$ A
puissance apparente :	$S \approx 180 \pm 6$ VA
puissance active :	$P \approx 110 \pm 4$ W
puissance réactive :	$Q \approx 0 \pm 0,02$ Var
cos φ :	DPF $\approx 1,00 \pm 0,07$ (écrire $0,965 \pm 0,035$ serait peut être plus juste !)
facteur de puissance :	PF $\approx 0,61 \pm 0,04$

Les puissances apparente et active ont...augmenté : la bobine L_{3s} possède des pertes fer. Le facteur de puissance n'a pas beaucoup augmenté (aux incertitudes près). Le procédé semble inefficace : cela est dû à la très faible impédance du réseau à 150Hz : le filtre LC série possède une impédance série supérieure à celle du réseau, ce qui annule son efficacité !

9.

L'impédance du filtre est donnée par la relation $Z_{3p} = jL_{3p} \times \omega_3 // \frac{1}{jC_{3p} \times \omega_3}$. On aboutit à $Z_{3p} = \left| \frac{3 \times L_{3p} \cdot \omega}{9 \times L_{3p} \cdot C_{3p} \cdot \omega^2 - 1} \right|$

$$Z_{3p} \text{ est infinie pour } 9 \times L_{3p} \cdot C_{3p} \cdot \omega^2 = 1 \text{ c'est - à - dire } \boxed{L_{3p} \times C_{3p} = \frac{1}{(3.\omega)^2}} = \frac{1}{9 \times (2\pi \times 50)^2} \approx 1,13.10^{-6} \text{ rad}^{-2}.\text{s}^2$$

C'est identique au produit $L_{3s} \times C_{3s}$ précédent (normal puisqu'on se place à la résonance).

10.

Une infinité de valeurs sont encore possibles pour le choix de L_{3p} et C_{3p} . On peut prendre des valeurs qui assurent l'impédance la plus faible possible de Z_p à 50 Hz, afin que le filtre ne provoque pas une chute de tension trop élevée à 50Hz, ce qui serait préjudiciable pour le bon fonctionnement de l'oscilloscope. L'impédance du filtre à 50z est donnée par la relation

$$Z_p = \left| \frac{L_{3p} \cdot \omega}{L_{3p} \cdot C_{3p} \cdot \omega^2 - 1} \right|$$

Puisque le produit $L_{3p} \times C_{3p}$ est constant, il devient nécessaire de prendre L_{3p} aussi faible que possible pour assurer Z_{3p} faible lorsque $f = 50$ Hz. Dans ce cas c'est la grande valeur de C_{3p} qui, pour des raisons d'encombrement, va limiter la valeur de L_{3p} .

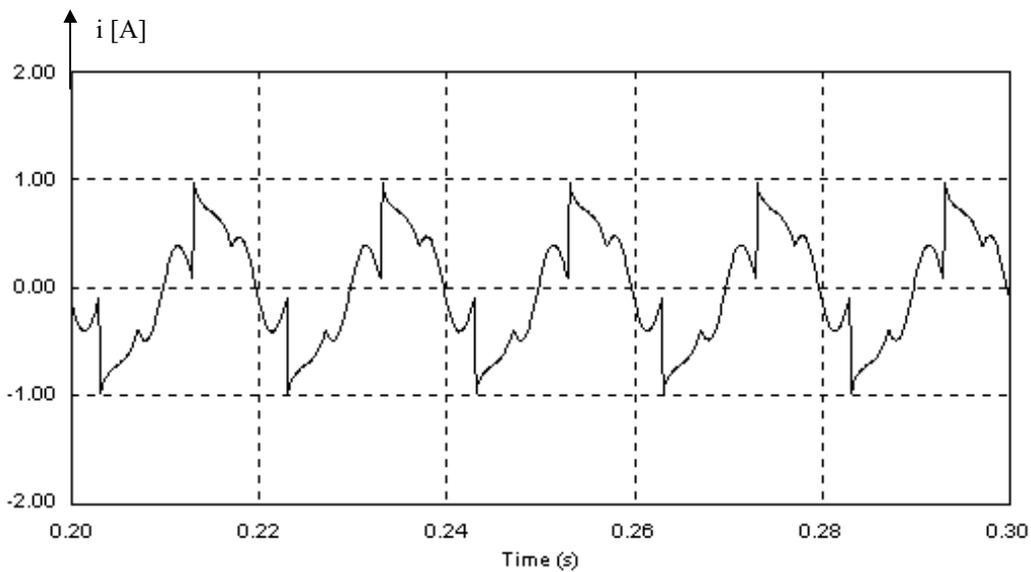
On peut choisir les valeurs suivantes : $C_3 \approx 5,0$ μ F $L_3 \approx 226$ mH qui assurent le produit $L_{3p} \times C_{3p} = 1,13.10^{-6} \text{ rad}^{-2}.\text{s}^2$. On les ajuste en prenant un GBF et en plaçant une résistance en série avec le circuit LC. A 150 Hz on doit ajuster l'inductance de la bobine pour obtenir la tension la plus faible possible (théoriquement nulle) aux bornes de la

résistance. **Attention** : la résonance aux bornes du condensateur implique une tension élevée (713 V crête avec notre type de bobine) : **il faut mettre 2 condensateurs de 10 µF / 350 V en série** afin qu'ils tiennent cette tension. On ajuste encore la bobine de compensation pour obtenir un DPF proche de 1. Les mesures donnent :

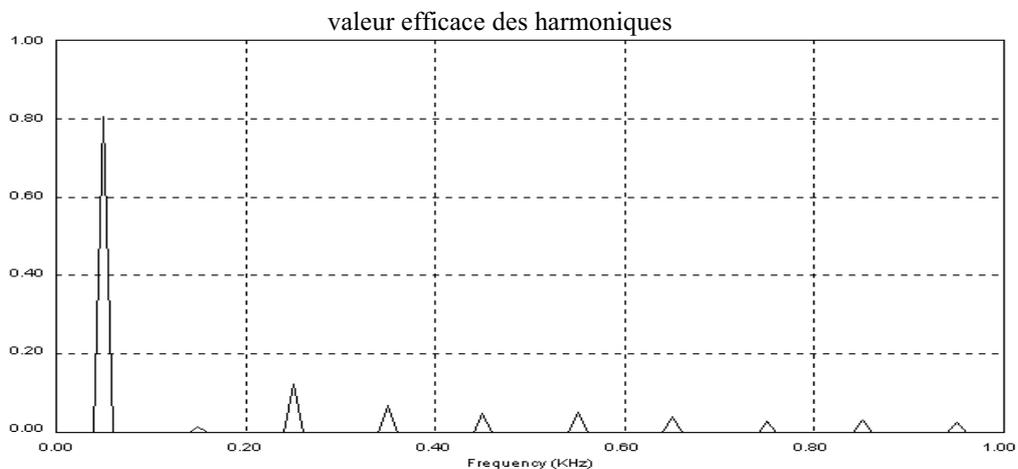
avec L_{3S}, C_{3S} :	sans L_{3S}, C_{3S} :
courant efficace de ligne : $I \approx 0,56 \pm 0,2$ A	courant efficace de ligne : $I \approx 0,52 \pm 0,2$ A
puissance apparente : $S \approx 123 \pm 4$ VA	puissance apparente : $S \approx 125 \pm 4$ VA
puissance active : $P \approx 110 \pm 4$ W	puissance active : $P \approx 116 \pm 4$ W
puissance réactive : $Q \approx 0 \pm 0,02$ Var	puissance réactive : $Q \approx 0 \pm 0,02$ Var
cos φ : DPF $\approx 1 \pm 0,07$	cos φ : DPF $\approx 1 \pm 0,07$
facteur de puissance : PF $\approx 0,94 \pm 0,04$	facteur de puissance : PF $\approx 0,93 \pm 0,04$

On observe que le filtre série n'a pas d'influence (au précisions de mesures près) : on peut donc, sans complexe, le supprimer du montage. Le facteur de puissance est largement relevé (proche de 0,94 à 0,04 près), preuve de l'efficacité du dispositif.

L'allure du courant observé est la suivante :



Le spectre de $i(t)$ nous confirme visuellement l'action du circuit LC parallèle :



L'amplitude des harmoniques à largement diminué sous l'action du filtre. En pratique, pour les puissance plus élevées, on calcule un filtre pour l'harmonique 3 puis un second filtre pour l'harmonique 5 (pas plus de 2 filtres passifs). L'oscilloscope développe une puissance trop faible pour que les constructeurs aient pris le soin de mettre ces filtres. La

faible valeur du courant mesuré peut nous amener à doubler (voire tripler) le nombre de spires pour la pince wattmètre afin d'avoir une meilleure précision dans les mesures du courant.

11.

Faisons l'expérience suivante : si l'on éloigne les 3 inductances de 1,4 H de l'oscilloscope on constate que son écran n'est plus perturbé : le problème n'était donc pas lié à l'alimentation de l'oscilloscope mais à la position relative des bobines par rapport à l'oscilloscope.

L'interprétation est la suivante : les bobines possèdent un noyau de fer, mais le circuit magnétique emprunté par les lignes de champ se referme essentiellement dans l'air et perturbent, de ce fait, ou bien les bobines déviateuses de l'oscilloscope et/ou le faisceau électronique lui-même.

Solutions : on peut modifier la position des bobines ou interposer une plaque de tôle (matériau ferromagnétique) suffisamment épais (pour qu'il ne sature pas, ce qui rendrait son efficacité nulle) entre les bobines et l'oscilloscope, on obtient alors une canalisation des lignes de champ dans la plaque de tôle (effet de "confinement de ligne de champ"), d'où la réalisation d'un blindage magnétique.

12.

On promène la pince ampèremétrique (à vide) à proximité des bobines et on observe qu'elle affiche une valeur non nulle de courant !!! la pince (effet Hall) capte un champ magnétique qui est rayonné par les bobines et non par le courant qui la parcourt, elle l'interprète comme la présence d'un courant !

Conclusion : attention quand on lit les valeurs affichées, il ne faut pas se trouver à proximité d'un champ magnétique perturbateur.

13.

En déplaçant les bobines l'une par rapport à l'autre la valeur du DPF est modifiée, preuve que l'inductance des bobines est modifiée. En fait les flux créés par les bobines s'interpénètrent ce qui crée un phénomène d'inductance mutuelle et modifie l'inductance apparente des bobines. Chaque bobine devrait posséder un circuit magnétique fermé (tore par exemple) pour que leur inductance soit stable (confinement des lignes de champ dans le tore) et donc indépendante de leurs positions respectives.

14.

On vient de voir 2 choses :

D'une part les problèmes de rayonnement magnétique peuvent perturber le fonctionnement d'un appareil (écran de l'oscilloscope par exemple). D'une façon générale ces perturbations ne sont pas toujours aussi visibles et il convient de bien déterminer leur origine (conduite, rayonnée, source perturbatrice).

D'autre part il faut s'assurer que les mesures faites par un appareil sont répétibles afin de s'affranchir au mieux des changements de conditions extérieures (branchement des bobines par exemple). Si les mesures sont répétibles, c'est - à dire identiques d'un jour à l'autre, d'une nuit à l'autre, d'une heure à une autre, indépendantes de la position de l'appareil de mesure, alors on peut raisonnablement envisager qu'elles sont fiables.

Attention danger : un appareil de contrôle (ou de mesure) soumis à une perturbation peut amener l'opérateur humain à faire le mauvais choix face à une situation donnée : la catastrophe possible. Un gros problème peut venir de l'appareil lui-même qui peut provoquer des dégâts en pilotant une vanne par exemple (chaîne de production automatisée par exemple). Ces problèmes de perturbations sont fondamentaux lorsque les lignes véhiculent des signaux informatiques. Pour s'en affranchir on blinde des câbles, on transmet des informations numériques (plus difficilement perturbables que les signaux analogiques) etc.