

Pour faciliter la correction et la surveillance, merci de répondre aux 3 questions sur des feuilles différentes et d'écrire immédiatement votre nom sur **toutes** les feuilles employées, de bien indiquer dans la réponse la structure en sous-questions **1.1** , **1.2**. ... Quand une sous-question demande la valeur numérique d'une grandeur ou une réponse par oui/non, indiquez d'abord cette valeur numérique ou le choix oui/non en l'encadrant. Justifiez toujours votre réponse de façon suffisamment détaillée et en fournissant suffisamment de valeurs numériques intermédiaires pour que le correcteur puisse vérifier chaque étape de votre raisonnement. Indiquez et justifiez les hypothèses et approximations utilisées.

Les exemples de solution donnés ci-dessous sont calculés avec un nombre excessif de chiffres afin de bien fixer les idées. En pratique, seuls deux ou trois chiffres sont significatifs !

Question 1 :

On dispose d'un transformateur triphasé qui porte les indications suivantes

kVA 25.0	Hz 50
Primaire V 230	Secondaire V 400

A l'aide d'un pont DC, on mesure entre deux lignes du primaire une résistance de 0.04Ω et entre deux lignes du secondaire une résistance de 0.11Ω .

Lors d'un essai à vide standard effectué par le primaire, on mesure un courant de 5.5 A et une puissance de 350 W . Lors d'un essai en court-circuit effectué à courant nominal, on mesure une tension primaire de 7 V .

.....

Faute de mesures de puissance lors de l'essai en court-circuit, on considèrera que les résistances des enroulements sont celles mesurées en courant continu. On a donc dans le circuit équivalent monophasé (c'est-à-dire par phase étoilée).

$$R_1 = 0.04 \Omega / 2 = 0.02 \Omega$$

$$R_2 = 0.11 \Omega / 2 = 0.055 \Omega$$

Si on néglige l'impédance série primaire lors de l'essai à vide, on obtient pour le rapport de transformation

$$k = \frac{230}{400} = 0.575$$

Alors

$$R'_e = 0.02 + (0.575)^2 0.055 = 0.02 + 0.01818 = 0.03818 \Omega$$

ou, de façon équivalente

$$R_e = 0.02 / (0.575)^2 + 0.055 = 0.1155 \Omega$$

Le courant primaire nominal du transformateur est

$$I_{1 \text{ nom}} \approx \frac{25000}{230 \sqrt{3}} = 62,7555 \text{ A}$$

L'impédance de court-circuit est donc de

$$Z_{cc1} = \frac{7}{\sqrt{3} I_{1nom}} = 0.06440 \Omega$$

Comme on pouvait s'y attendre, cette impédance est supérieure à R'_e .
Par ailleurs, à vide

$$Z_{01} = \frac{230}{\sqrt{3} 5.5} = 24.144 \Omega$$

Un calcul approché est donc acceptable car $Z_{01} \gg Z_{cc1}$.

1.1. Quel est le rendement de ce transformateur en pleine charge pour un facteur de puissance unitaire ?

96.9 %

En pleine charge, les pertes ohmiques valent (on néglige l'effet du courant magnétisant sur les pertes ohmiques au primaire)

$$3 \times 0.03818 \times 62.7555^2 = 451.087 \text{ W}$$

On considère que les pertes fixes sont données par l'essai à vide, ce qui consiste à négliger la chute de tension sur les éléments série du primaire

Donc

$$\eta = \frac{25000}{25000 + 451.087 + 350} = 96.90 \%$$

1.2. Quel est son rendement en pleine charge si $\cos \phi = 0.8$ inductif ?

96.2 %

En pleine charge, le courant reste égal au courant nominal. Les pertes ohmiques sont donc inchangées. Cependant, puisque le facteur de puissance est de 0.8, la puissance active est réduite à $25000 \times 0.8 = 20000 \text{ W}$. Le rendement devient donc

$$\eta = \frac{20000}{20000 + 451.087 + 350} = 96.15 \%$$

1.3. Quel est son rendement à mi-charge si $\cos \phi = 0.8$ capacitif ?

95.6 %

A mi-charge, le courant est réduit de moitié, donc les pertes ohmiques ne valent plus que le quart de leur valeur à pleine charge, soit $451.087 / 4 = 112.772 \text{ W}$. La puissance utile est réduite à cause de la réduction de courant et de la présence d'un facteur de puissance de 0.8, et tombe donc à $25000 \times 0.5 \times 0.8 = 10000 \text{ W}$. Le rendement vaut

$$\eta = \frac{10000}{10000 + 112.772 + 350} = 95.577\%$$

1.4. Pour quel $\cos \phi$ et quelle puissance le rendement de ce transformateur sera-t-il maximal ?

f.p. = 1 et $P = 22000 \text{ W}$

On sait (cours) que le rendement est maximum pour $\cos \phi = 1$.

Comme les pertes ohmiques sont quadratiques en le courant, le rendement est maximum quand les pertes ohmiques sont égales aux pertes fixes, soit

$$3 \times 0.03818 I^2 = 350 \quad \text{donc } I = 55.278 \text{ A} \quad \text{donc charge } 55.278 / 62.7555 = 0.88085 \text{ p.u.}$$

$$\text{ou encore } P = 25000 \times 0.88085 = 22021 \text{ W}$$

1.5. Quel sera le rendement correspondant à la sous-question 1.4. ?

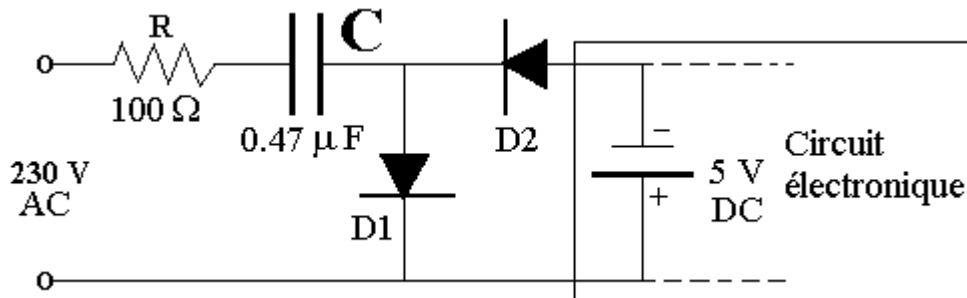
96.9 %

$$\eta = \frac{22021}{22021 + 350 + 350} = 96.92\%$$

Comme on pouvait s'y attendre, ce rendement est plus élevé que ceux calculés à d'autres régimes.

Question 2 :

Une cafetière électrique de grande marque comporte un circuit électronique alimenté par le montage de la figure ci-dessous. Le circuit électronique maintient à ses bornes une tension de 5V DC aussi longtemps qu'il est alimenté. On peut donc considérer qu'il se comporte comme une source de tension idéale et nous l'avons pour cette raison représenté comme une batterie.



Ce montage reste connecté au réseau 230 V aussi longtemps que la fiche de courant est insérée dans une prise (il n'y a pas d'interrupteur : la machine reste en stand-by même quand on croit l'avoir arrêtée complètement). Indication : on supposera que les diodes ont un seuil de conduction de 0.7 V et une résistance incrémentale de 0.23 Ω .

.....
La chaîne formée de la résistance et du condensateur reçoit à gauche une tension de 230 V AC. A droite, la tension est (aux chutes de diode près) proche de 0 V quand le courant est positif et proche de -5 V quand le courant est négatif. La tension de droite est donc minime par rapport à celle de gauche. Cela nous incite à proposer une solution approchée où l'on calcule le courant en tenant compte uniquement de la tension appliquée à gauche. Pour améliorer le calcul, nous ajoutons à la résistance de 100 Ω la résistance incrémentale d'une diode, puisque le courant (sauf aux instants où il est nul) passe par une et une seule diode.

2.1. Quelle est la forme (graphe et expression analytique) du courant consommé au repos par cette machine ?

La tension appliquée à gauche est sinusoïdale à 50 Hz. Le courant dû à cette tension est aussi sinusoïdal puisque le circuit RC considéré est linéaire. A 50 Hz, la mise en série d'une résistance de $100 + 0.23 = 100.23 \Omega$ avec une capacité de $0.47 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ correspond à une impédance de

$$Z = \sqrt{100.23^2 + \left(\frac{1}{2 \pi 50 0.47 \cdot 10^{-6}} \right)^2} = 6773.292 \Omega$$

Le courant efficace vaut donc $230 / 6773.292 = 0.0339569 \text{ A}$. Le courant est un courant sinusoïdal dont la valeur de crête est de $0.0339569 * \sqrt{2} = 0.0480223 \text{ A}$.

On peut facilement en tracer le graphe. Le courant est en avance d'un peu moins de 90° par rapport à la tension de 230 V.

Graphe à faire

On pourrait améliorer cette réponse en calculant le déphasage du courant sinusoïdal et en calculant aussi le courant dû à la tension présente à droite de la chaîne RC. Cette tension vaut 0.7 V quand le courant est positif et $-5 - 0.7 \text{ V} = -5.7 \text{ V}$ quand le courant est négatif. Cette tension est constante tant que le courant garde le même signe. Elle donne lieu à un courant exponentiel décroissant de constante de temps $\tau = 100.23 \times 0.47 \cdot 10^{-6} = 47.108 \mu\text{s}$ et de valeur initiale à déterminer par les conditions initiales au moment de la mise en conduction d'une diode. En outre, au moment du passage par zéro du courant, le courant reste nul pendant un temps court le temps que la tension d'entrée ait varié d'un $0.7 + 5.7 = 6.4 \text{ V}$. Comme aucun étudiant n'a abordé cette étude, nous n'avons pas eu à la faire non plus.

2.2. Quelle est la valeur efficace de ce courant ?

0.0340 A

Voir sous-question précédente

2.3. Quelle est la puissance moyenne dissipée dans la résistance de 100 Ω ?

0.115 W

En ne tenant compte que de la composante sinusoïdale du courant, on a

$$100 * 0.0339569^2 = 0.115307 \text{ W}$$

2.4. Quelle est la puissance moyenne dissipée dans la capacité de 0.47 μF ?

0 W

Si on suppose le condensateur idéal (donc pure capacité), sa puissance active est nulle.

2.5. Quelle est la valeur moyenne du courant dans la diode D1 ?

0.0153 A

En nous limitant à nouveau à la composante sinusoïdale du courant dans la chaîne RC, le courant dans la diode est formée d'arches de sinusoïde de valeur de crête 0.0480223 A. Comme le courant ne comporte qu'une alternance, sa valeur moyenne est la moitié du courant redressé moyen de la sinusoïde complète. La valeur moyenne du courant s'obtient donc en divisant la valeur de crête par π et non par $\pi/2$. On obtient

$$0.0480223 / \pi = 0.0152860 \text{ A}$$

2.6. Quelle est la puissance moyenne dissipée par la diode D1 ?

0.0108 W

Avec les approximations ci-dessus, la puissance correspondant à la résistance incrémentale de la diode vaut la moitié de ce qu'elle serait si les deux arches de courant traversaient cette résistance, soit $0.23 * 0.0339569^2 / 2 = 0.000132603 \text{ W}$.

En ajoutant à cette puissance celle due à la présence d'un seuil de 0.7 V, on obtient

$$0.0152860 * 0.7 + 0.000132603 = 0.0108328 \text{ W}$$

2.7. Quelle est la puissance moyenne dissipée par la diode D2 ?

0.0108 W

Les deux arches de courant étant rigoureusement symétriques, on peut reprendre la réponse de la sous-question précédente

2.8. Quelle est la puissance moyenne consommée par le circuit électronique ?

0.0764 W

Le courant moyen de ce circuit est le même que celui d'une diode. La puissance consommée est donc de $5 * 0.0152860 = 0.07643 \text{ W}$

2.9. Quelle est la puissance moyenne consommée au repos ?

0.213 W

Il suffit d'additionner les puissances précédentes, puisque tout le circuit reste actif même quand l'appareil est au repos (absence d'interrupteur).

$$0.115307 + 0.07643 + 2 * 0.0108328 = 0.2134026 \text{ W}$$

2.10. Si le tarif de l'électricité est de 0.20 € / kWh , combien en coûtera-t-il au bout d'un an à l'utilisateur qui laisse cette machine connectée au secteur même quand elle n'est pas utilisée ?

Il faut multiplier la puissance consommée par le nombre d'heures de l'année, soit

0.37 €

$$0.2134026 * 365.25 * 24 = 1870.7 \text{ Wh} = 1.8707 \text{ kWh}$$

Le coût est donc de $1.8707 * 0.2 = 0.374 \text{ €}$

Question 3 :

On veut utiliser le moteur asynchrone sur lequel VOUS avez effectué la séance de laboratoire pour entraîner une charge qui absorbe un couple égal à seulement 1/3 du couple que ce moteur fournit en régime nominal. La vitesse n'est pas imposée de façon précise : on lui impose seulement de se trouver dans la plage allant de 1300 t/m à 1600 t/m. Le moteur est alimenté en triphasé 50 Hz. Sous tension nominale, on constate que le courant consommé est relativement important. Un ingénieur propose alors de réduire la tension d'alimentation pour diminuer le courant consommé, mais son collègue pense que cela aura l'effet opposé à celui recherché, le moteur cherchant à compenser la diminution de la tension par une augmentation du courant.

.....

Les machines utilisées cette année au laboratoire ont toutes une puissance nominale de 1500 W et une vitesse de rotation nominale de 1423 t/m.

.....

3.1. Quel est le couple absorbé par la charge ?

3.36 Nm

$$C_{ut \text{ nom}} = 1500 / \left[2 \pi \left(\frac{1423}{60} \right) \right] = 10.066 \text{ Nm}$$

Le couple au point de fonctionnement considéré est donc $10.066 / 3 = 3.3553 \text{ Nm}$

3.2. à 3.5.

Les réponses à ces points dépendent des résultats engrangés au laboratoire. Il n'est donc pas possible de fournir une réponse adaptée à tous les groupes !

Merci de me prévenir si vous trouvez des erreurs dans les réponses ci-dessus : les réponses faites par les étudiants ne m'ont pas permis de tester complètement ces résultats.