



Test d'électrocinétique, électrotechnique, électronique de puissance, électronique et automatique

FIP Génie Electrique - Session 2019

Durée 3h00 – Coefficient 4

L'épreuve est composée d'exercices et de problèmes indépendants.

Les calculatrices non pourvues d'imprimante sont autorisées.

Les réponses aux questions doivent être rédigées et numérotées conformément à l'énoncé.

Les résultats doivent être obligatoirement reportés dans le document réponse.

La rédaction doit être soignée et rédigée en respectant les règles de grammaire et d'orthographe. La syntaxe doit être claire. Sauf indications contraires, les diagrammes et figures seront tracés directement sur le document réponse. Les figures et tracés doivent être à l'échelle, les points particuliers doivent être indiqués sur les figures et les axes doivent être repérés. Sauf indication contraire, l'allure générale des courbes doit être tracée en indiquant les points caractéristiques.

De nombreuses questions au sein d'un même exercice ou problème sont des questions indépendantes. Il faut rendre votre copie rédigée et le document réponse complété.

INDIQUER OBLIGATOIREMENT LES UNITÉS POUR LES RÉSULTATS NUMÉRIQUES. Dans le cas contraire, aucun point ne sera attribué.

1. Montage à amplificateur opérationnel.

On étudie le montage de la figure 1.

La tension d'entrée du montage est V_e et le courant d'entrée est i_e . L'amplificateur opérationnel est supposé parfait. Les grandeurs électriques sont sinusoïdales, on utilise la notation complexe : $\underline{V_e}$, $\underline{i_e}$, $\underline{Z_e}$, etc... La pulsation des grandeurs électriques est notée ω . L'opérateur complexe est noté j . Les résistances R_1 et R_2 sont beaucoup plus grande que la résistance R_3 .

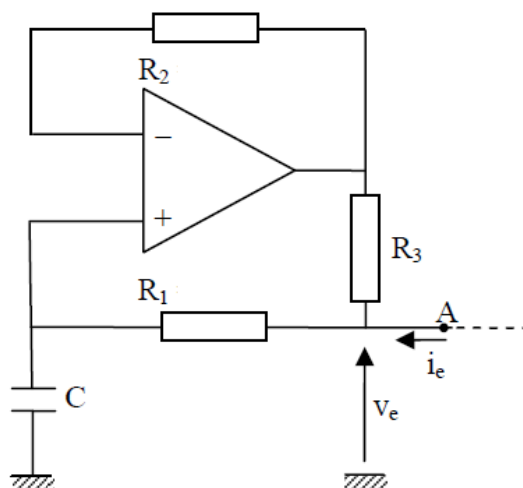


Figure 1.

- 1.1 Indiquer les hypothèses que l'on peut faire pour l'étude du montage, sachant que l'amplificateur opérationnel est supposé parfait. Attention : toute réponse à cette question, mais qui est liée à une autre hypothèse que celle émise, sera considérée comme fausse.

Les hypothèses demandées concernent les caractéristiques d'entrée, de sortie et le gain de l'amplificateur opérationnel.

- 1.2 Démontrer ou expliquer simplement que le montage impose un fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel.

- 1.3 Quelle hypothèse supplémentaire peut faire sachant que l'amplificateur opérationnel est en fonctionnement linéaire ?

- 1.4 Calculer l'impédance d'entrée complexe du montage, définie par $\underline{Z_e} = \frac{V_e}{I_e}$. Cette impédance doit être exprimée en fonction des éléments du montage (résistances, capacité) et de la pulsation ω . Le résultat doit être mis sous la forme suivante :

$$\underline{Z_e} = \frac{a+j.b}{c+j.d} \text{ où } a, b, c \text{ et } d \text{ sont des constantes qui dépendent des éléments du montage et de } \omega.$$

- 1.5 Application numérique : on prend $R_1 = R_2 = 10 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \mu\text{F}$.

Calculer $\underline{Z_e} = A - j. (B / \omega)$ où A et B sont à déterminer numériquement.

- 1.6 A partir de la question 1.5, montrer que le montage est équivalent à un circuit $R' C'$ (un condensateur parfait C' en parallèle ou en série avec une résistance parfaite R' , il est demandé d'indiquer également si c'est un montage parallèle ou série).

- 1.7 Quelle est la valeur numérique de la capacité du condensateur équivalent C' ?

- 1.8 Quelle est la fonction de ce montage ? Répondre en deux lignes au maximum.

2. Circuit capacitif en régime sinusoïdal.

On étudie l'association en parallèle de deux condensateurs parfaits C_1 et C_2 (figure 2) :

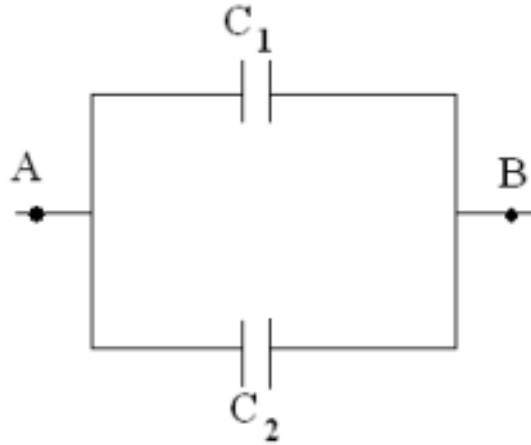


Figure 2

Les valeurs numériques sont $C_1 = 150 \mu\text{F}$ et $C_2 = 4,7 \text{ nF}$.

Le dipôle est alimenté au niveau des bornes A et B, par une tension sinusoïdale $v(t) = 230 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t)$.

En convention récepteur, le courant circulant dans le dipôle AB est noté $i(t)$.

Pour la notation des angles, **seuls les radians sont à utiliser**. Toute réponse exprimant un angle dans une autre unité que le radian ne sera pas prise en compte.

2.1 Calculer la valeur numérique du dipôle équivalent vu des bornes A et B, exprimé en μF . Reporter la réponse dans la case 2.1 du document réponse.

2.2 Dans la case 2.2 du document réponse, représenter par des flèches orientées la tension $v(t)$ et le courant $i(t)$.

2.3 On exprime le courant $i(t)$ sous la forme : $i(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$.

Déterminer les valeurs numériques de \hat{I} et φ . Reporter la réponse dans la case 2.3 du document réponse.

2.4 Reporter dans la case 2.4 du document réponse la valeur numérique du déphasage du courant $i(t)$ par rapport à la tension $v(t)$.

2.5 En convention récepteur, on exprime le courant dans C_1 par :

$$i_1(t) = \hat{I}_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi).$$

Déterminer la valeur numérique de la valeur efficace du courant dans C_1 . Reporter la réponse dans la case 2.5 du document réponse.

3. Modèle simplifié d'un condensateur réel.

On étudie encore le montage de la figure 2, avec les valeurs numériques de C_1 et de C_2 inchangées par rapport à la question 2. Les condensateurs sont supposés parfaits.

La tension d'alimentation vaut maintenant : $v(t) = v_1(t) + v_2(t)$

avec $v_1(t) = 230 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t)$

et $v_2(t) = 10^{-1} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(10^5 \cdot \pi \cdot t)$

Les valeurs efficaces des courants dans C_1 et C_2 sont respectivement notées I_1 et I_2 .

On utilise le théorème de superposition.

- 3.1 Dans la case 3.1 du document réponse, expliquer en 3 lignes au maximum pour quelles raisons on peut réutiliser les résultats de la deuxième partie (questions 2.1 à 2.5) pour l'étude, avec comme tension d'alimentation $v(t) = v_1(t) + v_2(t)$. Indiquer en particulier quelles grandeurs physiques on peut sommer, en précisant leurs natures (temporelle, complexe, efficace, moyenne, etc ...)
- 3.2 Le montage est alimenté uniquement par la tension $v_1(t)$. Calculer les valeurs numériques de I_1 et I_2 . Reporter les résultats dans la case 3.2 du document réponse.
- 3.3 Le montage est alimenté uniquement par la tension $v_2(t)$. Calculer les valeurs numériques de I_1 et I_2 . Reporter les résultats dans la case 3.3 du document réponse.
- 3.4 Le montage est alimenté par la tension $v(t)$. Calculer les valeurs numériques de I_1 et I_2 . Reporter les résultats dans la case 3.4 du document réponse.
- 3.5 Afin de déterminer la valeur efficace du courant en ligne, peut-on additionner les carrés des valeurs efficaces des courants ? Justifier la réponse. Répondre en deux lignes au maximum dans la case 3.5 du document réponse.

4. Lignes de distribution.

On souhaite comparer deux lignes de distribution d'énergie : une ligne monophasée et une ligne triphasée. Ces deux lignes sont représentées sur les figures a et b ci-dessous et sont destinées à véhiculer le courant électrique sur une distance L_g . La fréquence des tensions vaut 50Hz.

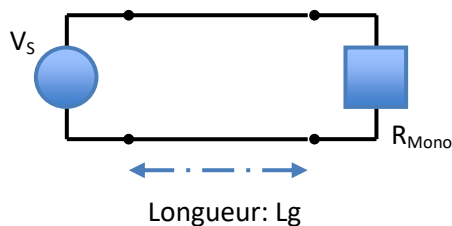


Figure a

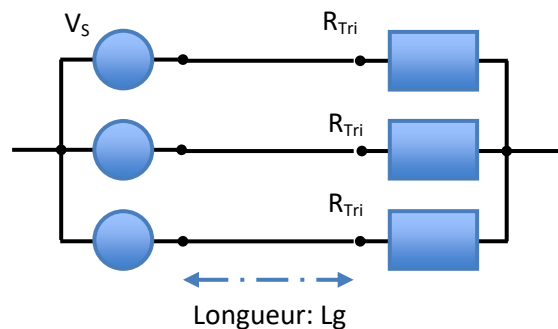


Figure b

Le montage monophasé de la figure « a » comporte une source alternative de tension efficace $V_S = 230V$ et une charge monophasée R_{Mono} de valeur R .

Le montage triphasé de la figure « b » comporte trois sources alternatives de même tension efficace simple $V_S = 230V$. Cette source triphasée forme un réseau direct équilibré. La charge est symétrique (même impédance sur chacune des phases) et connectée en étoile (couplage Y). Cette charge symétrique est composée de trois résistances R_{Tri} connectées en Y.

On a la relation $R_{Tri} = 3R$.

Entre la (les) source(s) et la (les) charge(s) une ligne de distribution de longueur L_g est installée.

Etude du cas monophasé de la figure « a », on suppose que la ligne est un conducteur parfait.

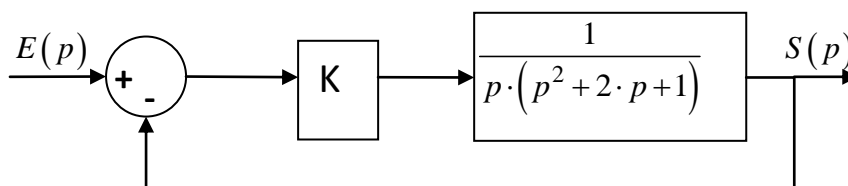
- 4.1 Déterminer l'expression du courant efficace I_M circulant dans le circuit monophasé.
- 4.2 Donner l'expression de la puissance active totale P_M consommée par la charge monophasée en fonction de V_S et R .

Etude du cas triphasé de la figure « b », on suppose que la ligne triphasée est composée de conducteurs parfaits.

- 4.3 Déterminer l'expression de la valeur efficace du courant de ligne I_T circulant dans une phase du circuit triphasé.
- 4.4 Donner l'expression de la puissance active totale P_T consommée par la charge triphasée en fonction de V_S et R .
- 4.5 Que peut-on dire des propriétés de transport d'énergie de ces deux installations ?

5. Asservissement.

Soit le système suivant où K est un gain variable.



- 5.1 Calculer la fonction de transfert FTBF(p) de ce système en boucle fermée.
On rappelle que la fonction de transfert en boucle fermée avec retour unitaire se calcule de la manière suivante :

$$FTBF(p) = \frac{FTBO(p)}{1 + FTBO(p)}$$

- 5.2 Quels sont l'ordre et le gain statique K' correspondants à FTBF(p).

5.3 En posant $K=1$, le lieu du transfert en boucle ouverte du système dans l'abaque de Black est représenté dans le document réponse case 5.3.

Déterminer graphiquement la valeur particulière de K telle que le système soit en limite de stabilité. Représenter sur la figure la manière dont K est déterminé.

5.4 Que vaut l'erreur statique \mathcal{E}_s en régime permanent ?

5.5 On choisit K tel que la fonction de transfert en boucle fermée avec retour unitaire soit :

$$FTBF(p) = \frac{1}{2p^3 + 4p^2 + 2p + 1}$$

On rappelle que l'erreur de vitesse (erreur de traînage) est déterminée de la manière suivante :

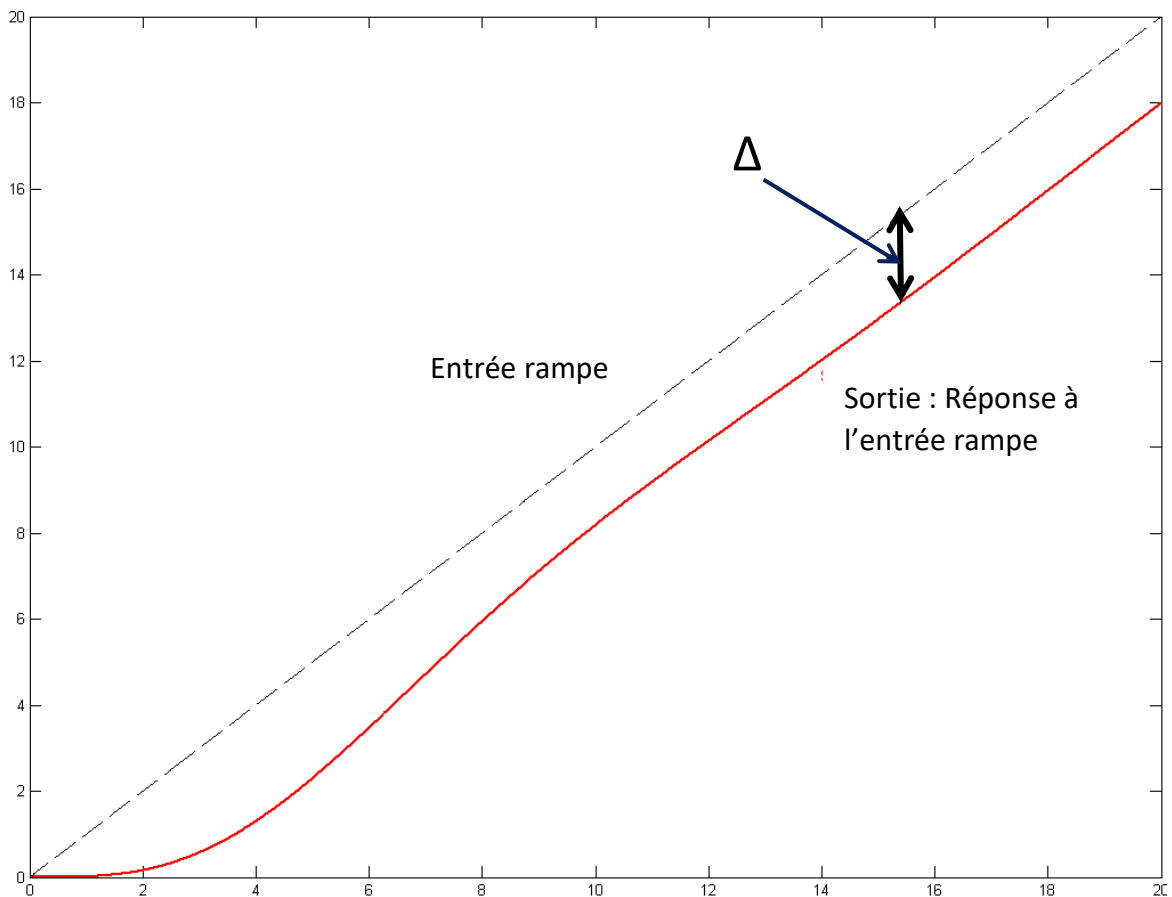
$$\mathcal{E}_v = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) - \lim_{t \rightarrow \infty} s(t)$$

$$(e(t) = t \text{ pour } t \geq 0)$$

$$\mathcal{E}_v = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot [E(p) - FTBF(p) \cdot E(p)] \quad \text{avec } E(p) = \frac{1}{p^2}$$

Calculer l'erreur de traînage \mathcal{E}_v .

5.6 Ci-dessous est représenté la réponse du système en boucle fermée avec retour unitaire pour une entrée de type rampe unitaire.



A quoi correspond l'écart Δ entre l'entrée rampe (trait discontinu) et la sortie du système (trait continu) en réponse à cette entrée rampe ?

5.7 Afin d'atteindre la précision souhaitée on rajoute un correcteur $C(p)$ à action proportionnelle et dérivée.

$$C(p) = K \cdot (1 + \tau_d \cdot p)$$

Déterminer FTBOC(p), la fonction de transfert en boucle ouverte du système avec le correcteur $C(p)$.

5.8 A quoi correspond τ_d dans l'équation précédente de $C(p)$?

5.9 On souhaite que le système corrigé soit d'ordre 2. Que doit valoir τ_d ?

5.10 On prend $K = 1,5$ ce qui permet d'avoir un coefficient d'amortissement en boucle fermée valant $\xi = 0,41$.

Que représente le coefficient d'amortissement ?

5.11 Calculer la nouvelle erreur de traînage.

6. Charge non linéaire.

Un récepteur monophasé est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur moyenne nulle et il absorbe un courant non sinusoïdal de valeur moyenne nulle. Les expressions générales des tensions et courants non sinusoïdaux sont indiqués ci-dessous.

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h=1}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad i(t) = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h=1}^{\infty} I_h \sin(h\omega t + \beta_h)$$

Les valeurs efficaces de $v(t)$ et $i(t)$ sont déterminées de la manière suivante :

$$V = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} \quad I = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

6.1 La valeur crête de la tension $v(t)$ est de 100V et sa fréquence de 100Hz.

A $t=0$ on $v(t) = 100V$. Que valent V_0 , V_1 , V_2 ?

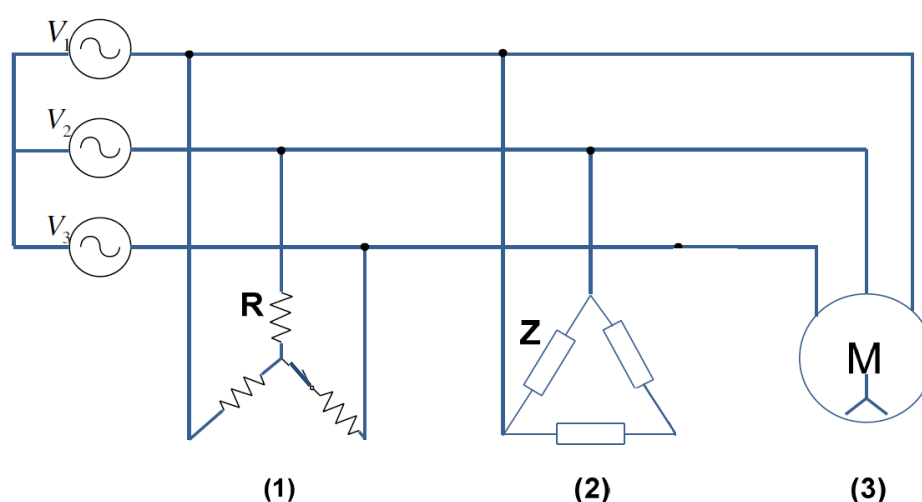
6.2 On a $I_1 = 10A$ et $I_2 = 2A$. Les autres valeurs efficaces des harmoniques de courant sont négligeables. Le fondamental du courant est en retard d'un quart de période par rapport au fondamental de la tension. α_2 vaut 0.

Ecrire l'expression numérique du courant $i(t)$ en fonction du temps t (il faut donc remplacer toutes les valeurs par des nombres, sauf la variable temps).

- 6.3 Calculer la puissance active P absorbée par la charge.
- 6.4 Calculer la puissance réactive Q absorbée par la charge.
- 6.5 Calculer la puissance apparente S .
- 6.6 Calculer la puissance déformante D .
- 6.7 Calculer le facteur de puissance K .

7. Triphasé équilibré.

Une source triphasée 230/400V, 50 Hz, alimente les trois récepteurs triphasés symétriques suivants :

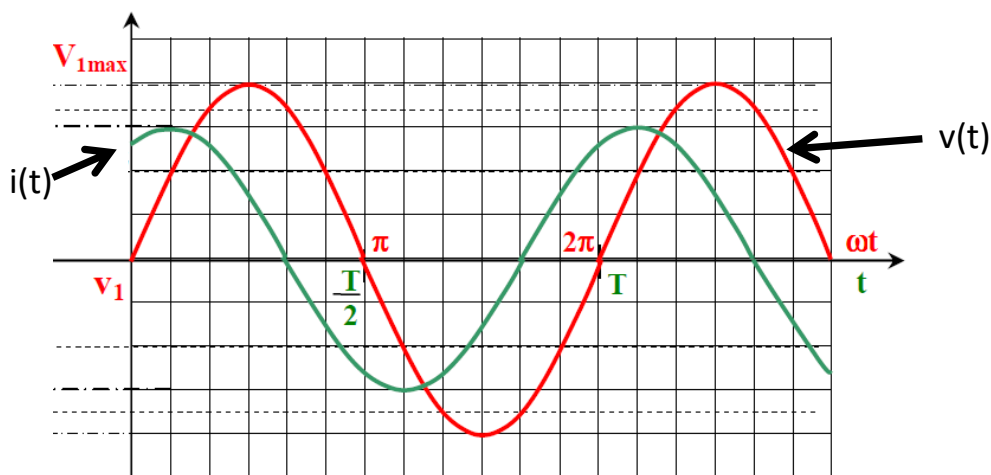


Objet	Désignation	Caractéristiques :
1	Chauffage	$R = 65 \, \Omega$
2	récepteur triphasé équilibré Z	$Z = 100 \, \Omega / \cos \varphi = 0,95$
3	Moteur M	raccordé en étoile / $\cos \varphi = 0,85$, l'impédance de chaque enroulement $Z_{\text{impédance}} = 20,43 \, \Omega$

- 7.1 Calculer la puissance active P_1 et la puissance réactive Q_1 absorbée par le récepteur triphasé 1 (chauffage).
- 7.2 Calculer la valeur efficace du courant circulant dans une des impédances Z du récepteur 2.
- 7.3 La tension nominale d'un enroulement du moteur est de 230V. La plaque signalétique du moteur indique-t-elle 230/400V, 400/690V ou 127/230V. Justifier la réponse.

8. Régime sinusoïdal.

On effectue le relevé de la tension $v(t)$ et du courant $i(t)$ d'une installation électrique alimentée par le réseau monophasé 230V / 50Hz. Le relevé est représenté ci-dessous. La tension vaut 0 à $t = 0$. La valeur crête du courant $i(t)$ vaut 15A.

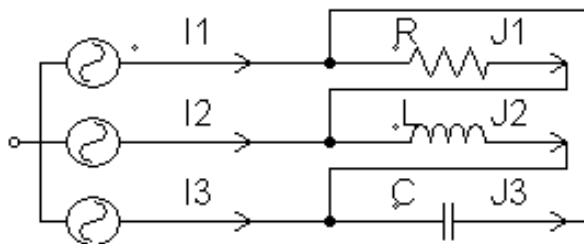


- 8.1 Déterminer graphiquement le déphasage φ du courant par rapport à la tension.
- 8.2 La charge est-elle inductive (type RL) ou capacitive (type RC) ? Justifier la réponse.
- 8.3 Calculer la puissance active P fournie par le réseau.
- 8.4 Calculer la puissance réactive Q fournie par le réseau.
- 8.5 Déterminer l'impédance complexe de la charge en l'écrivant sous la forme $\underline{Z} = [\text{module} ; \text{argument}]$.

9. Réseau triphasé.

Un récepteur couplé en triangle est alimenté par un réseau triphasé direct de tensions composées équilibrées 400 V - 50Hz (figure ci-dessous).

Les trois impédances du récepteur valent : $R = 10 \, \Omega$ $L\omega = R$ $LC\omega^2 = 1$



- 9.1 Calculer les courants \underline{J}_1 , \underline{J}_2 , \underline{J}_3 circulant dans chacune des impédances du récepteur. Les courants seront exprimés sous la forme d'un nombre complexe.
- 9.2 Tracer le diagramme de Fresnel des courants dans les impédances et des tensions composées.
- 9.3 Calculer le courant de lignes \underline{I}_1 . Le courant sera exprimé sous la forme d'un nombre complexe.
- 9.4 Que vaut le déphasage φ du courant circulant dans le condensateur par rapport à la tension aux bornes du condensateur.
- 9.5 Calculer le courant homopolaire \underline{J}_0 correspondant aux courants \underline{J}_1 , \underline{J}_2 , \underline{J}_3 .

10. Etude d'un transformateur monophasé.

On étudie un transformateur monophasé de puissance apparente 40kVA et de tension primaire / secondaire 10kV / 380V et de fréquence 50 Hz. La section nette du circuit magnétique est $S = 100 \text{ cm}^2$ et l'induction maximale vaut $B_{\max} = 1 \text{ T}$.

Lors de l'essai à vide sous tension nominale on a relevé $U_{20} = 400 \text{ V}$; $I_{10} = 0,224 \text{ A}$ et $P_{10} = 1000 \text{ W}$.

Lors de l'essai en court-circuit sous tension réduite on a relevé $U_{1\text{cc}} = 520 \text{ V}$; $I_{2\text{cc}} = 100 \text{ A}$ et $P_{1\text{cc}} = 2000 \text{ W}$.

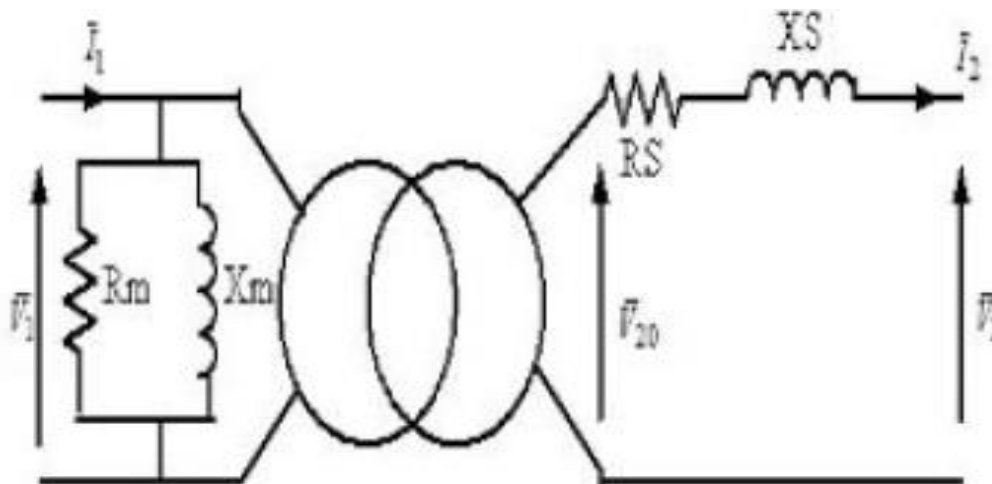
10.1 Déterminer le nombre de spires N_1 et N_2 des enroulements primaire et secondaire.

10.2 Déterminer le facteur de puissance à vide $\cos(\varphi_0)$.

10.3 Déterminer la puissance magnétisante Q_0 .

10.4 Que vaut le rapport de transformation à vide m ?

10.5 Le schéma équivalent utilisé est le suivant :



Quel est le nom de ce schéma équivalent ?

Déterminer les valeurs numériques des quatre éléments du schéma équivalent R_m , X_m , R_s , X_s et indiquer leurs noms.

10.6 Un récepteur inductif absorbe le courant nominal I_{2n} avec un facteur de puissance égal à 0,8. Calculer la chute de tension ΔU_2 au secondaire du transformateur.

10.7 Un récepteur ayant un comportement capacitif absorbe le courant nominal I_{2n} avec un facteur de puissance égal à 0,8. Calculer la tension U_2 aux bornes du récepteur.

10.8 Pour une charge de type R,L (comportement inductif) absorbant le courant secondaire nominal, calculer la chute de tension secondaire maximale $\Delta U_{2\max}$.

10.9 Calculer le rendement η du transformateur dans les conditions de la question 10.8.

10.10 Pour une charge résistive pure, calculer le rendement maximal η_{\max} .