

GEL-2003 <b>ÉLECTROTECHNIQUE</b>	<b>EXAMEN FINAL</b> Le 30 avril 2020 De 8h30 à 16h30 À la maison
Documents autorisés	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documents imprimés.</li> <li>- Documents électroniques stockés sur un ordinateur déconnecté de l'Internet.</li> </ul>
Recommandations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'examen doit être écrit à la main. <b>Les textes et les graphiques créés sur l'ordinateur ne sont pas acceptés.</b></li> <li>- Écrivez proprement et lisiblement. <b>On ne peut pas donner des points si le texte est illisible.</b></li> <li>- Les points sont donnés pour le résultat et la démarche. <b>On ne peut pas donner des points si le résultat est faux.</b></li> <li>- La démarche de votre solution doit être clairement explicitée. <b>On ne peut pas donner des points pour la démarche si elle n'est pas clairement montrée.</b></li> <li>- Les erreurs d'inattention et de transcription ne sont pas acceptées. <b>On ne peut pas donner des points si les fausses données entraînent des faux résultats.</b></li> <li>- Les formes d'onde doivent être faites avec soin. <b>On ne peut pas donner des points si les graphiques sont faux.</b></li> </ul>
Recommandations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le cahier d'examen doit avoir une page titre avec les renseignements suivants: titre de l'examen, titre du cours, date, nom et prénom, matricule 9 chiffres, déclaration sur l'honneur et signature.</li> <li>- La version numérisée du cahier d'examen doit être en format PDF seulement.</li> <li>- La version numérisée du cahier d'examen et une déclaration d'intégrité UL signée doivent être remises dans la boîte de dépôt sur monPortail avant 16h30 du 30 avril 2020. Tout retard entraînera une note zéro.</li> </ul>

**Problème no. 1 (25 points)**

a) Soit un transformateur monophasé 60 Hz, 30 kVA, 14.4 kV / 600V.

Les paramètres du transformateur sont:

Résistance du primaire  $R_1 = 72 \Omega$

Réactance de fuite du primaire  $X_1 = 144 \Omega$

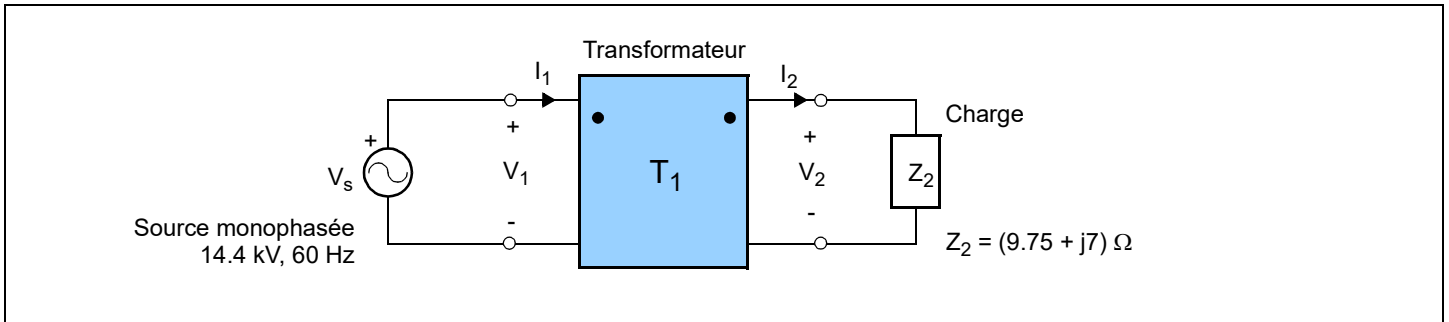
Résistance "Pertes Fer"  $R_c = 250 \text{ k}\Omega$

Résistance du secondaire  $R_2 = 0.125 \Omega$

Réactance de fuite du secondaire  $X_2 = 0.25 \Omega$

Réactance magnétisante  $X_m = 200 \text{ k}\Omega$

Le primaire est relié à une source de tension 14.4 kV, 60 Hz. Une charge  $Z_2$  est connectée au secondaire du transformateur.



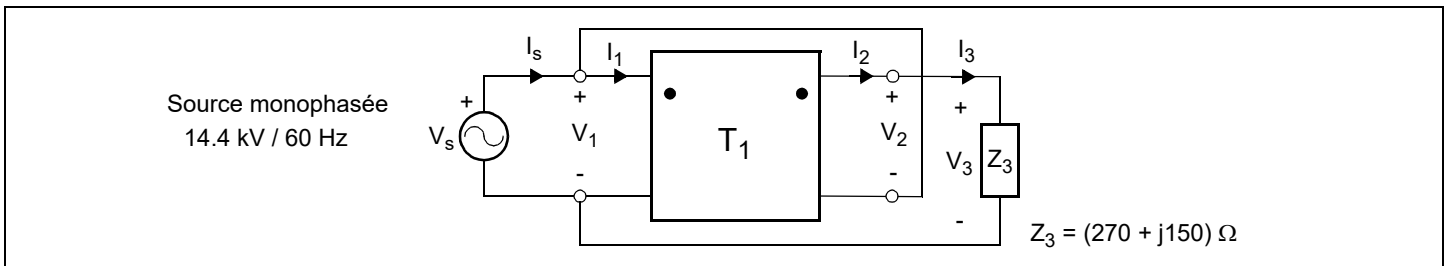
- **Tracer** un circuit équivalent du système en utilisant le modèle complet (réfléchi au primaire) du transformateur (Bien indiquer les valeurs des éléments). (4 points)

- À l'aide du circuit équivalent, **calculer** les quantités suivantes:

- le courant  $I_1$  au primaire et le courant  $I_2$  au secondaire, (3 points)
- la tension  $V_2$  au secondaire, (2 points)
- la puissance active  $P_2$  délivrée à la charge et la puissance active  $P_1$  absorbée au primaire, (4 points)
- le rendement du transformateur dans ces conditions de fonctionnement. (2 points)

b) *Pour la suite du problème, on suppose que le transformateur  $T_1$  est idéal.*

On utilise les deux enroulements de ce transformateur monophasé pour câbler un autotransformateur.



- **Déterminer** le rapport de transformation ( $V_1/V_3$ ) et la capacité en puissance de l'autotransformateur. (5 points)
- **Calculer** le courant  $I_s$  (valeur efficace) et la puissance active  $P_s$  fournie par la source. (5 points)

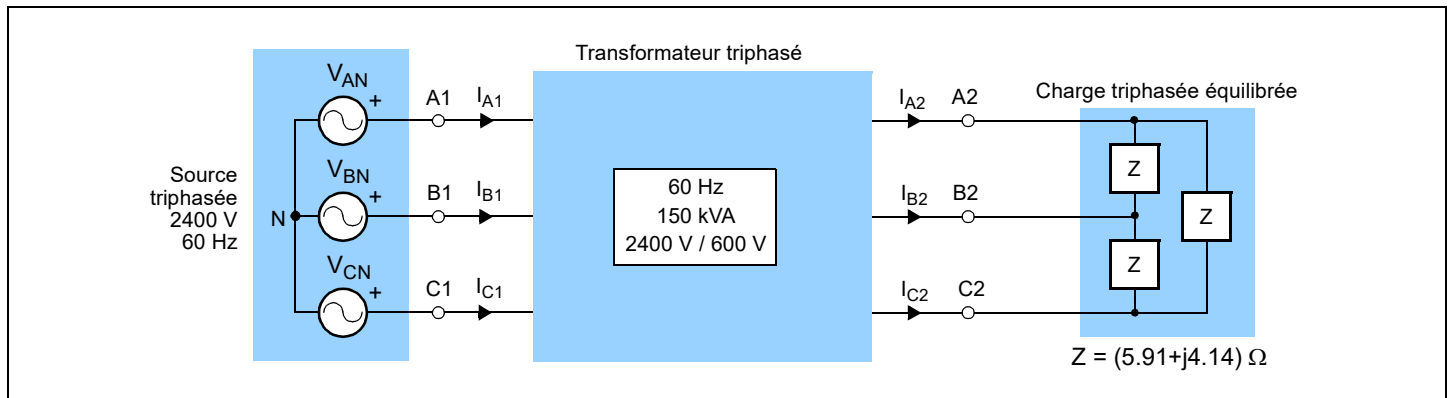
### Problème no. 2 (25 points)

On utilise un transformateur triphasé 60 Hz, 150 kVA, 2400V/600V pour alimenter une charge équilibrée composée de trois impédances identiques connectées en  $\Delta$ .

Les paramètres du circuit monophasé équivalent du transformateur sont donnés:

$$R_1 = 0.48 \, \Omega \quad X_1 = 0.77 \, \Omega \quad R_2 = 30 \, \text{m}\Omega \quad X_2 = 45 \, \text{m}\Omega \quad X_m = 12 \, \text{k}\Omega \quad R_c = 5 \, \text{k}\Omega$$

Le primaire du transformateur triphasé est relié à une source triphasée de 2400 V (ligne-ligne).

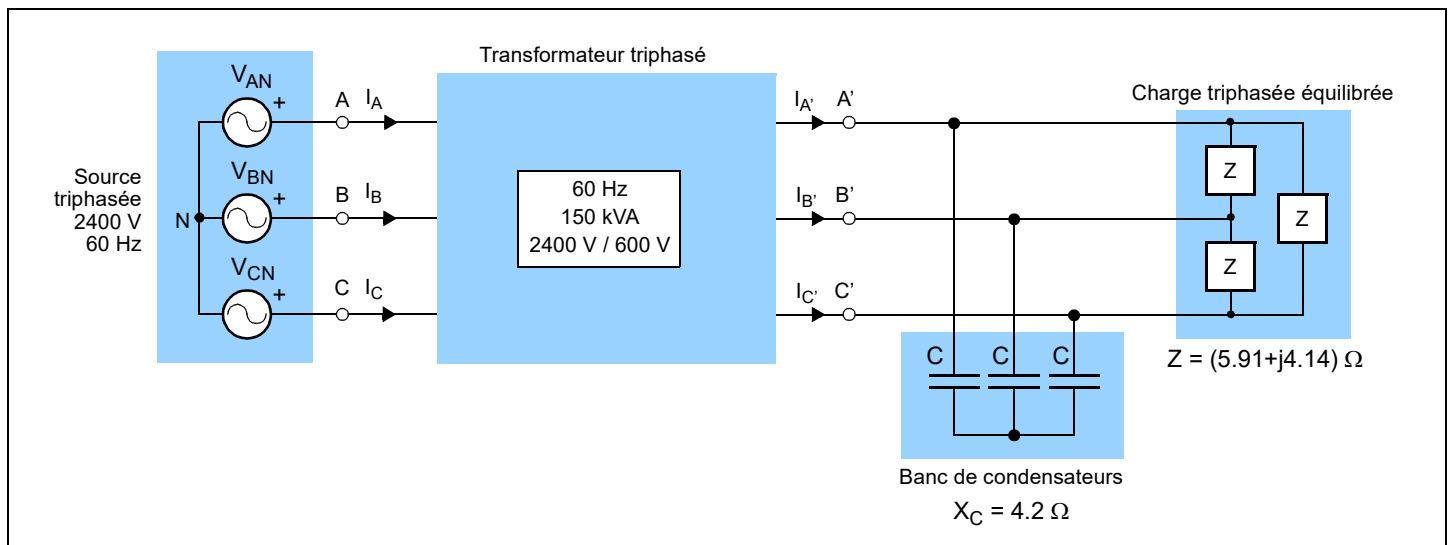


- **Tracer** le circuit monophasé équivalent simplifié (réfléchi au primaire) du système. (Bien indiquer les valeurs des éléments) (5 points)

- **Calculer:**

- . le courant de ligne au primaire (valeur efficace) (3 points)
- . la tension ligne-ligne au secondaire (valeur efficace) (3 points)
- . la puissance active totale  $P_2$  délivrée à la charge et la puissance active totale  $P_1$  absorbée au primaire (3 points)
- . le rendement du transformateur triphasé dans ces conditions de fonctionnement (3 points)

b) Un banc de condensateurs triphasé en Y [composé de trois condensateurs ayant une réactance de  $4.2 \, \Omega$  chaque] est connecté en parallèle avec la charge.

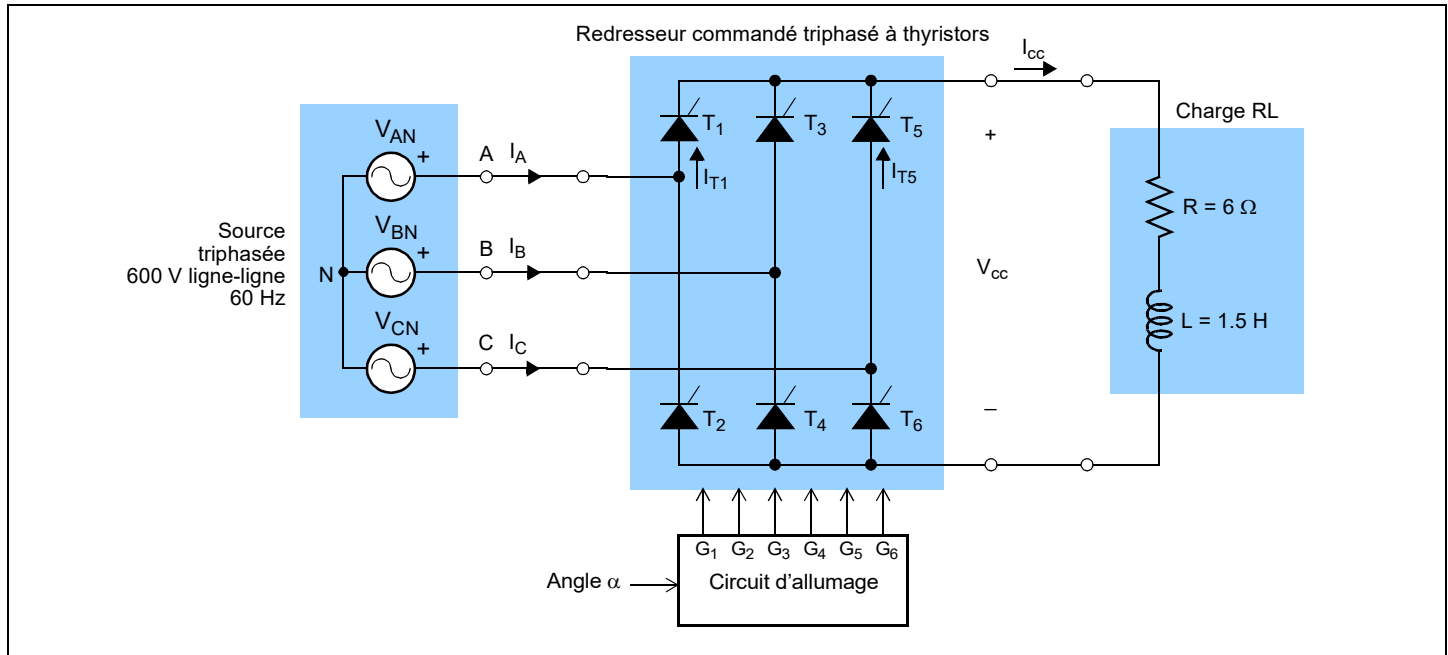


- **Calculer:**

- . le courant de ligne au primaire (valeur efficace) (4 points)
- . la tension ligne-ligne au secondaire (valeur efficace) (4 points)

### Problème no. 3 (25 points)

Considérons le montage de redresseur commandé à thyristors montré dans la figure suivante.



On suppose que:

- la source triphasée est idéale (l'inductance série zéro donc l'angle de commutation nul)
- la tension en conduction des thyristors est égale à  $V_F = 1.2 \text{ V}$
- la charge est très inductive (les ondulations du courant  $I_{cc}$  sont négligeables)
- l'angle d'amorçage est égal à  $\alpha = 30^\circ$ .

a) **Déterminer et tracer** en fonction du temps la tension  $V_{cc}$  et le courant  $I_{cc}$ . (4 points)

**Notes:** - Utiliser la feuille graphique dans le cahier d'examen pour tracer les courbes  
- Bien indiquer les valeurs particulières de  $V_{cc}$  et  $I_{cc}$

**Calculer** la valeur moyenne de la tension  $V_{cc}$  et la valeur moyenne du courant  $I_{cc}$ . (3 points)

b) **Calculer** les quantités suivantes:

- la puissance  $P_{cc}$  dissipée dans la charge (2.5 points)
- la puissance  $P_{conv}$  dissipée dans les 6 thyristors (pertes par conduction) (2.5 points)

c) **Déterminer et tracer** en fonction du temps la tension  $v_{AN}(t)$  et le courant  $i_A(t)$ . (3 points)

**Notes:** - Utiliser la feuille graphique dans le cahier d'examen pour tracer les courbes  
- Bien indiquer les valeurs particulières de  $v_{AN}(t)$  et  $i_A(t)$

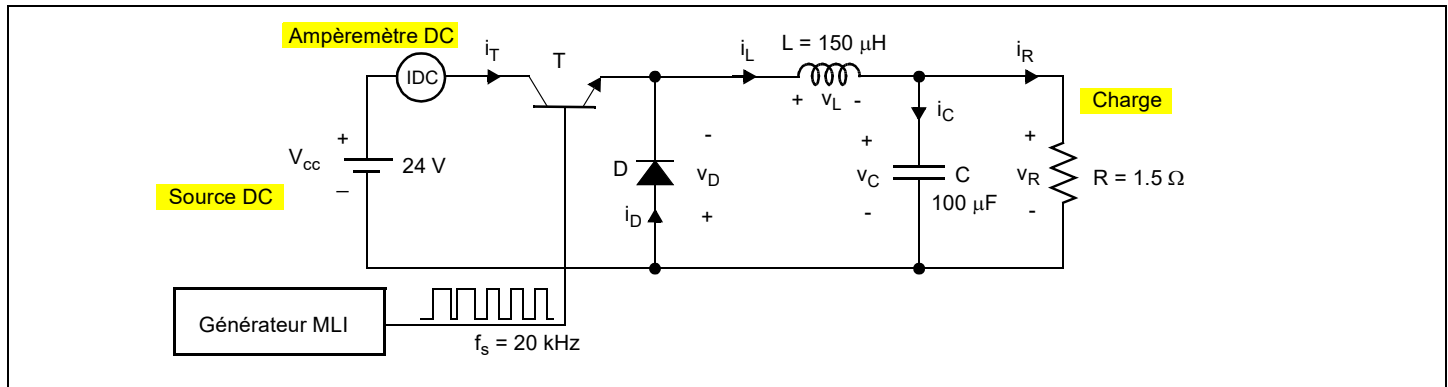
**Calculer** la valeur efficace du courant  $i_A(t)$  (2.5 points)

d) **Calculer** les quantités suivantes:

- la puissance active  $P_{src}$  fournie par la source (2.5 points)
- la puissance apparente  $S_{src}$  de la source (2.5 points)
- le facteur de puissance à l'entrée du convertisseur (2.5 points)

**Problème no. 4 (25 points)**

On utilise un hacheur dévolteur (convertisseur buck) pour produire une tension continue de 12 V à partir d'une source continue de 24 V.



La chute de tension en conduction du transistor est  $V_{CE(on)} = 1.0 \text{ V}$ . La chute de tension en conduction de la diode est  $V_F = 0.5 \text{ V}$ . Les temps de commutation du transistor et de la diode sont de  $1.0 \mu\text{s}$  pour la montée et  $1.0 \mu\text{s}$  pour la descente. La fréquence de hachage est de  $20 \text{ kHz}$ .

**Remarque:** On tient compte de la commutation uniquement dans le calcul des pertes par commutation.

a) **Déterminer** le rapport cyclique  $\alpha$  du hacheur. (5 points)

b) **Tracer** en fonction du temps la tension  $v_L$  aux bornes de l'inductance, le courant  $i_L$  dans l'inductance, le courant  $i_T$  dans le transistor, le courants  $i_D$  dans la diode D, le courant  $i_C$  dans le condensateur C et la tension  $v_C$  aux bornes du condensateur C. (6 points)

**Notes:**

- Utiliser la feuille graphique dans le cahier d'examen pour tracer les courbes
- Ne pas tenir compte de la commutation
- Bien indiquer les valeurs particulières des tensions et courants
- Il est suffisant de tracer une période de fonctionnement du hacheur.

c) **Calculer** l'ondulation  $\Delta I$  (crête-crête) du courant  $i_L$  et l'ondulation  $\Delta V$  (crête-crête) de la tension  $v_C$ . (5 points)

d) **Déterminer** l'indication de l'ampèremètre DC connecté à l'entrée du hacheur. (3 points)

e) **Calculer** les pertes par conduction et les pertes par commutation dans le transistor et dans la diode. (4 points)

**Déduire** le rendement du hacheur (2 points).