

CAPET

SESSION 2003

CONCOURS INTERNE

Section : GÉNIE ELECTRIQUE

Option : ELECTROTECHNIQUE ET ÉNERGIE

ÉTUDE D'UN SYSTÈME TECHNIQUE ET/OU D'UN PROCESSUS TECHNIQUE

DURÉE : 6 HEURES, COEFFICIENT : 1

Aucun document n'est autorisé.

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999)

La société Arc en Ciel

Ce sujet comporte :

Cahier N° 1 : Présentation, questionnaire	12 pages.
Cahier N° 2 : Annexes	36 pages.
Documents réponses : DRA-1, DRA-2, DRB-1, DRB-2, DRB-3, DRB-4, DRC-1, DRC-2	8 pages.

Ce sujet comporte trois parties indépendantes :

- Partie **A** : Étude de la distribution d'énergie,
- Partie **B** : Étude d'un départ moteur de pompe,
- Partie **C** : Étude de l'entraînement d'un ventilateur.

Ces trois parties sont à traiter obligatoirement sur des copies séparées.

Il est vivement conseillé au candidat, de lire entièrement le sujet avant de répondre aux questions posées. Le temps de lecture préconisé est d'environ 30 mn.

Les candidats utiliseront les notations propres au sujet, présenteront clairement leurs calculs et encadreront les résultats attendus.

Le passage d'une forme littérale à son application numérique se fera dans le respect de la position de chaque grandeur exprimée. Le résultat numérique sera donné avec son unité.

Les correcteurs apprécient une copie soignée et rédigée lisiblement.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

SUJET : PRESENTATION

La société ARC-EN-CIEL



L'entreprise arc-en-ciel est chargée de l'incinération d'une partie des ordures ménagères du district de l'agglomération Nantaise (75 000 tonnes) et de déchets industriels banals (60 000 tonnes). L'usine fonctionne depuis 1994, dispose de deux fours permettant de traiter 7 tonnes / heure chacun à pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 2 000 kcal/kg.

L'incinération permet la production d'énergie en cogénération :

- vapeur 350°C à 32 bars pour l'entraînement d'un turbo alternateur de 6,2 MW pour l'autoalimentation de l'usine et vente à EDF (production 20 000 MWh/an).
- vapeur 225°C à 18 bars (sortie de la turbine) pour une entreprise voisine (80 000 tonnes par an).

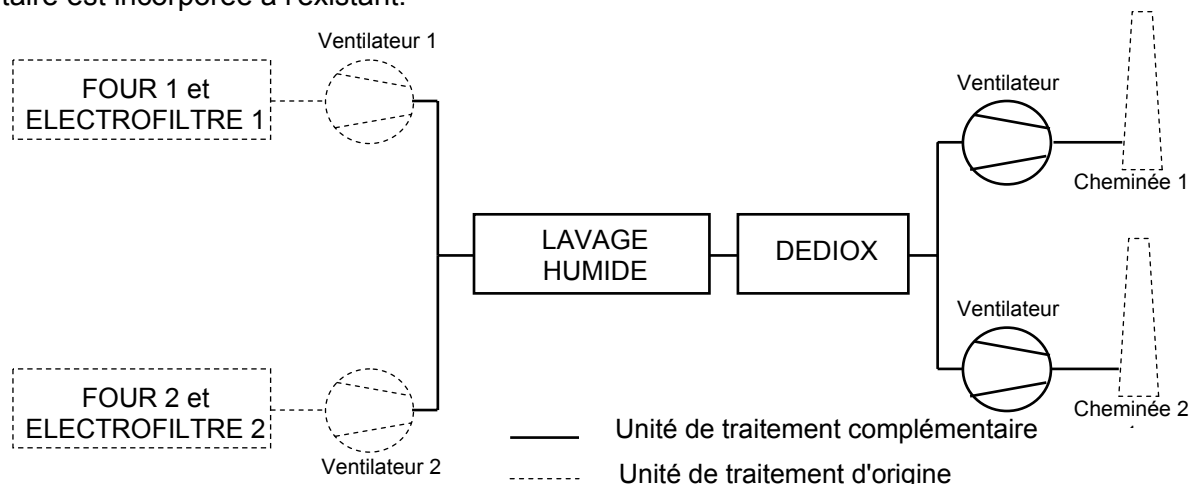
Principe de fonctionnement de l'incinérateur. (Annexe1)

(L'entreprise dispose de 2 incinérateurs identiques)

- Les déchets sont déversés dans la fosse [repère 1].
- De là, un grappin saisit les déchets pour les déverser dans la trémie d'entrée du four [repère 2].
- Les résidus de la combustion, mâchefers et scories sont éteints puis déversés dans une fosse [repère 4].
- La chaudière [repère 3] absorbe l'énergie thermique dégagée par la combustion. La vapeur produite est utilisée pour entraîner un turboalternateur et est vendue à une entreprise voisine.
- Les fumées qui sortent de la chaudière à 240°C sont refroidies jusqu'à 130°C dans un réacteur [repère 6] par injection d'eau. Le lait de chaux, également injecté dans le réacteur permet de capter le chlore contenu dans les fumées.
- Les particules de métaux lourds et sels chlorés sont ensuite retenus par un électro-filtre [repère 8].
- Les résidus d'épuration [repère 7] sont conditionnés puis transportés dans un centre de stockage spécialisé.
- Un ventilateur [repère 9] permet la circulation d'air dans le four.
- La cheminée [repère 10] permet la dispersion des fumées épurées.

Amélioration du traitement des fumées. (Annexes 1 et 2)

Pour satisfaire aux nouvelles normes en matière de rejets des fumées, une unité de traitement complémentaire est incorporée à l'existant.



Elle est située entre le ventilateur [repère 9] et la cheminée [repère 10].

Le système se compose d'un **lavage humide** et d'une **DEDIOX**.

Le **lavage humide** désigne le procédé qui permet d'éliminer les acides, les métaux lourds et les poussières contenues dans les fumées.

La **DEDIOX** désigne le procédé de réduction de la teneur en composés dioxines /furannes.

Le **lavage humide** est constitué :

- D'une colonne de lavage co-courant à l'eau [repère 11].
- D'une colonne de lavage contre-courant à la soude [repère 12].
- D'un échangeur de chaleur [repère 15] en aval de la colonne contre courant permettant :
 - De refroidir les fumées sortant des électro-filtres [repère 8].
 - De réchauffer les fumées sortant des colonnes de lavage [repère 11] et [repère 12] à 135°C environ avant leur introduction dans le filtre à manche [repère 20].

La **DEDIOX** est constitué d'un filtre à manches [repère 20] avec une injection de charbon actif [repère 18].

Deux ventilateurs complémentaires de tirage [repère 21] sont installés en queue de traitement pour vaincre les pertes de charges des nouveaux équipements et pour maintenir l'installation en dépression. Le réacteur [repère 6] n'est plus utilisé.

Principales caractéristiques des équipements

Laveur co-courant [repère 11] :

Diamètre : 2,3 m
Hauteur : 9,5 m

Trois pompes [repère 13] permettent la circulation de l'eau du pied du laveur jusqu'au distributeur de liquide.

Laveur contre courant [repère 12] :

Diamètre : 4 m
Hauteur : 15 m

Trois pompes [repère 14] permettent la circulation de l'eau du pied du laveur jusqu'au distributeur de liquide.

De la soude [repère 17] est injectée dans la boucle de circulation.

Filtre à manches [repère 20] :

Nombre de manches : 1 248
Hauteur : 5 m

Ventilateurs complémentaires [repère 21] :

Vitesse de rotation : 1 485 tr/ min
Puissance nécessaire sur l'arbre : 340 kW.

SUJET : QUESTIONNEMENT

Partie A

ETUDE DE LA DISTRIBUTION D'ENERGIE

Lors de la mise en place du nouveau système de traitement des fumées, il a fallu modifier la distribution d'énergie électrique de l'usine. Pour alimenter l'ensemble de la nouvelle installation, il a été décidé d'utiliser un départ existant de 400 kVA en changeant le transformateur pour l'adapter à la nouvelle puissance désirée. (Voir schéma Annexe A0).

A1. Dimensionnement du transformateur

A1.1. Bilan des puissances

- A1.1.1. Compléter le document réponse DRA-1 permettant d'établir le bilan des puissances électriques.
- A1.1.2. Calculer la puissance apparente nécessaire pour la nouvelle installation.
- A1.1.3. Choisir la puissance du transformateur directement supérieure à partir du document Annexe A1-1

A1.2. Compensation de l'énergie réactive

- A1.2.1. Quels avantages économiques et techniques présentent la compensation de l'énergie réactive ?
- A1.2.2. Comment est facturée l'énergie réactive en Tarif Vert et en Tarif Jaune ?
- A1.2.3. Dans le cas d'un comptage en BT réalisé en aval du transformateur, la valeur de $\text{tg } \varphi$ maximum imposée par EDF est de 0,31 au lieu de 0,4 en comptage HTA, pourquoi ?

La puissance réactive à compenser pour le transformateur est donnée par les formules suivantes :

$$\text{Compensation totale : } Q_c = Q_0 + Q_{ch}$$

$$\text{Compensation à vide : } Q_0 = \frac{S_n \times I_0}{100}$$

$$\text{Compensation en charge : } Q_{ch} = S_n \times \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \times \frac{U_{cc}}{100}$$

- A1.2.4. Calculer la compensation à vide et en charge et la compensation totale.
- A1.2.5. Vérifier que la valeur de $\text{tg } \varphi$ de 0,31 imposée par EDF se justifierait dans notre cas.
- A1.2.6. Calculer la puissance de la batterie de condensateurs nécessaire à la compensation de l'installation en tenant compte du transformateur pour avoir une valeur de $\text{tg } \varphi$ de 0,4 au primaire du transformateur.
- A1.2.7. Calculer la réserve de puissance en % disponible après compensation en utilisant la valeur de la batterie calculée à la question précédente.

A1.3. Protection du transformateur

Déterminer le calibre du fusible de protection du transformateur à partir des documents Annexe A1.2 et A1.3 en expliquant chaque condition de choix.

A2. Etude harmonique

Après la réalisation du système, l'entreprise a décidé de mener une étude sur les harmoniques générées sur son installation.

A2.1. Questions préliminaires

A2.1.1. Donner la définition du fondamental et des harmoniques d'un signal périodique.

Le taux de distorsion harmonique TDH_F est donné par

$$TDH_F(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} (Y_n)^2}}{Y_1}$$

Y : valeur efficace de l'harmonique

n : rang de l'harmonique

A2.1.2. Quels sont les inconvénients d'un TDH_F important pour les câbles, les condensateurs et le transformateur de l'installation ?

A2.1.3. Quels sont les éléments susceptibles d'entraîner les perturbations harmoniques les plus importantes dans l'installation étudiée ici ?

A2.2. Effets des harmoniques sur le transformateur

A2.2.1. A partir des relevés effectués sur l'installation donnés ci-après, justifier le TDH_F mesuré en prenant en compte uniquement les taux harmoniques supérieurs à 1%.

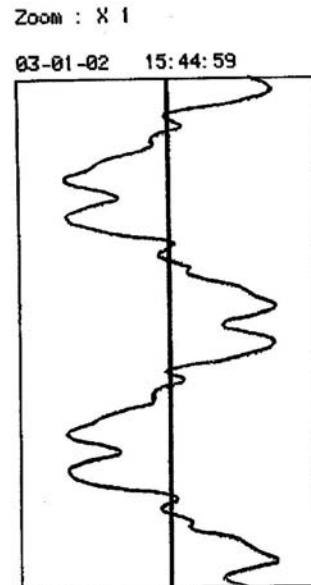
HARMONIQUES COURANT ALIMENTATION TGBT

HARMONIQUES DE COURANT en % du fondamental

Forme du courant

h2 =	0,11%
h3 =	1,89%
h4 =	0,08%
h5 =	25,70%
h6 =	0,09%
h7 =	13,68%
h8 =	0,10%
h9 =	0,65%
h10 =	0,17%
h11 =	12,24%
h12 =	0,08%
h13 =	6,04%
h14 =	0,04%
h15 =	0,13%

TDH_F = 32,22%
Frq = 50,00 Hz
 I_f = 1 220 A



- A2.2.2. Les effets des harmoniques sur le transformateur entraînent un déclassement de celui-ci. Une formule empirique permet de calculer ce déclassement.

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \sum H_i^{1,6} \cdot T_i^2}}$$

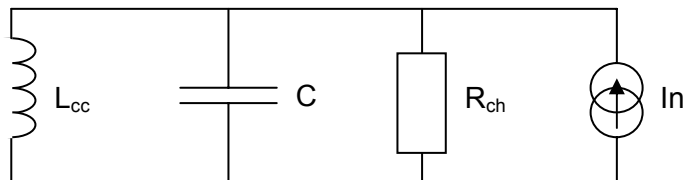
H_i : rang de l'harmonique

T_i : Taux de l'harmonique exprimé en %

Recalculer la réserve de puissance en % calculée à la question A1.2.7 après le déclassement du transformateur dû aux harmoniques en prenant en compte uniquement les taux harmoniques supérieurs à 1%.

A2.3. Effets des harmoniques sur les condensateurs

On peut donner un schéma équivalent simplifié entre phase et neutre de l'installation du point de vue des harmoniques, permettant de représenter le transformateur (L_{cc}), la batterie de condensateurs (C), la charge et les générateurs d'harmoniques. L'impédance de l'alimentation du transformateur est négligée.



- A2.3.1. Calculer la valeur du condensateur C lorsque trois gradins de la batterie sont en service, soit une puissance de 150 kvar.

- A2.3.2. Justifier l'approximation suivante :

$$L_{cc} \cdot \omega \approx \frac{U_n^2}{S_{cc}}$$

avec S_{cc} puissance de court-circuit du transformateur $S_{cc} = \frac{S_n}{U_{cc}} \times 100$

S_n est la puissance nominale du transformateur

U_{cc} est et la tension de court-circuit du transformateur exprimé en %

U_n est la tension secondaire nominale.

- A2.3.3. Calculer la valeur de R_{ch} représentant la puissance active totale absorbée. On prendra la puissance active totale absorbée égale à 1 255 kW.
- A2.3.4. Calculer L_{cc} sachant que le transformateur installé est de 1 600 kVA.
- A2.3.5. Donner l'expression littérale de l'impédance Z_{LC} du circuit parallèle L_{cc} C seul pour une fréquence donnée f_n .

Etablir la forme littérale de la fréquence de résonance et la calculer pour une batterie de 150 kvar. Situer cette fréquence par rapport aux harmoniques de courant présents sur l'installation.

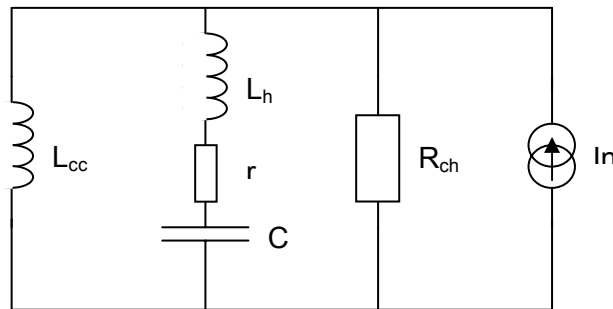
A3. Choix de la batterie de condensateurs

A3.1. La puissance Q_c de la batterie installée est de 250 kvar. Choisir le type de condensateur à installer à partir des documents fournis en Annexe A3-1 et des résultats des questions A1.1.

A3.2. Choisir la batterie de compensation à partir des documents fournis en Annexe A3-2 et des résultats de la question A1.2.6.

A3.3. Quels sont les différences technologiques entre les différents types de batterie de compensation proposées : Type Standard, Type H, Type SAH?

A3.4. Le nouveau schéma équivalent à l'installation est le suivant :



A3.4.1.

- Déterminer l'impédance Z_{hc} de la branche condensateur en série avec l'inductance L_h et la résistance r .
- Déterminer sa fréquence de résonance série f_r .
- Comment se comporte la branche du circuit pour la fréquence f_r .

A3.4.2.

- Etablir la relation entre le produit $L_h.C$ et ω_0 , n .

avec : ω_0 pulsation à 50 Hz et $n = \frac{\omega_r}{\omega_0}$, ω_r étant la pulsation de résonance.

- A l'aide du document Annexe A3-2, pour la batterie déterminée à la question A3.2 calculer la valeur de n .

A3.4.3. Déterminer l'expression de la puissance réactive Q_{LhC} pour le circuit L_h C série (on négligera l'influence de r).

A3.4.4. Calculer la valeur de C pour obtenir une valeur de Q_{LhC} de $\frac{50}{3}$ kvar (1 gradin) à la fréquence de 50 Hz à partir des résultats des deux questions précédentes.

A3.4.5. Calculer la valeur de la self L_h associée au condensateur C .

A3.4.6.

- Calculer la fréquence de résonance f_{ar} du circuit L_{cc} , L_h et C (on négligera r).
- Conclure sur l'intérêt de la self L_h .

A4. Régulateur varométrique

- A4.1.** Quel est le rôle du régulateur varométrique dans l'installation ?
- A4.2.** A quelles contraintes sont soumis les contacteurs d'enclenchement des gradins de condensateurs et quelles sont les solutions technologiques possibles ?
- A4.3.** Donner une représentation simplifiée sur le document réponse DRA1 du branchement de type PP proposé par le constructeur au document Annexe 4-1. La partie mesure du relais varométrique est représentée par un wattmètre.
- A4.4.** Montrer que le montage permet de mesurer la puissance réactive sur le wattmètre du document DRA1 si on suppose le réseau équilibré.
- A4.5.** A l'aide du document Annexe 4-1, calculer le rapport C/K sachant que le transformateur de courant est un 2 500 / 5 A et que les gradins ont une puissance de 50 kvar.

Partie B

ETUDE DU DEPART MOTEUR de la POMPE DE LAVAGE CO-COURANT

Le système de lavage co-courant des fumées est constitué de 3 pompes identiques. Deux pompes fonctionnent simultanément, la troisième est en secours. Les pompes sont entraînées par des machines asynchrones à cage.

Caractéristiques des machines asynchrones utilisées :

- Tension: 230 V / 400 V
- Puissance: 22 kW
- $\cos \varphi = 0,83$
- $\eta = 0,924$
- $I_d / I_n = 7$
- Moteurs équipés d'une sonde PTC 150

La mise en fonctionnement des moteurs se fait par démarrage direct.

La protection de chaque moteur est réalisée par un relais de protection multifonction LT6 P. Un fonctionnement à vide de la pompe ($I \text{ moteur} < 30 \text{ A}$) doit provoquer un arrêt de celle-ci après 10 s.

La lecture des courants moteurs (informations utilisées par la supervision), la commande des moteurs, sont réalisées par l'automate programmable à l'aide de la liaison RS 485 et du protocole de communication Modbus.

B1. Choix du contacteur de puissance : (annexe B1)

B1.1. Calculer le courant nominal d'un moteur.

B1.2. Donner les définitions des catégories d'emploi: AC1, AC3, AC4.

B1.3. Donner la référence du contacteur (circuit de commande : 230 V alternatif).
Préciser le nombre de manœuvres garanti par le constructeur.

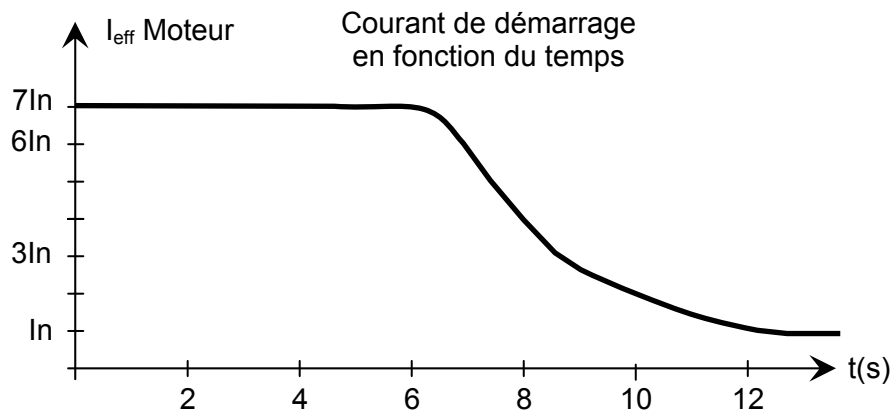
B2. Protection du moteur asynchrone et de la canalisation : (Annexes B2 à B4)

B2.1. Donner la référence du relais de protection LT6 P et des transformateurs nécessaires.

B2.2. Donner la valeur de I_r (en %).

B2.3. Donner la valeur de I_v (en %).

B2.4. Donner la classe thermique à laquelle doit être configuré le relais de protection en tenant compte de l'allure du courant de démarrage ci-dessous. Utiliser le document réponse DRB-1 pour justifier le choix.



- B2.5.** Donner la signification : sonde PTC 150.
Donner le principe de son fonctionnement.
Quelle protection complémentaire apporte la sonde PTC ?
- B2.6.** La protection contre les court-circuits est assurée par un disjoncteur Q1 équipé d'un déclencheur interchangeable. (Annexes B3.1 à B3.4).
Donner la référence du disjoncteur et de son déclencheur (ne pas tenir compte du pouvoir de coupure).
- B2.7.** Calculer, en utilisant le document réponse DRB-2 le courant de court-circuit maximal I_{k3max} aux points A, B, C (annexe A0).
Donner la référence de Q1 en précisant son pouvoir de coupure.
- B2.8.** Utilisation de la filiation entre disjoncteurs :
Donner le principe de la filiation et l'avantage de l'utilisation de cette technique.
A partir des tableaux de filiation, donner et justifier la nouvelle référence du disjoncteur Q1

B3. Protection des personnes : (annexe B4)

- B3.1.** Donner le schéma de liaison à la terre (SLT) mis en oeuvre, préciser sa signification. Donner les avantages et inconvénients de ce SLT (annexe A0).
- B3.2.** Calculer, en utilisant le document réponse DRB-3 le courant de défaut aux points A, B, C (annexe A0).
- B3.3.** La protection des personnes est assurée par le disjoncteur Q1. Le réglage du déclencheur magnétique est donné à $\pm 20\%$.
Donner la plage de réglage du déclencheur magnétique de Q21 pour assurer la protection des personnes et le démarrage du moteur.

B4. Schéma de commande et puissance : (annexe B2)

- B4.1.** L'affichage du courant moteur en face avant de l'armoire de commande est réalisé par un ampèremètre analogique (calibre 1 A, affichage 100 A). Cet ampèremètre utilise un des transformateurs de courant du LT 6.
Réaliser le schéma de puissance et de commande du moteur de pompe.
Les ordres de démarrage et d'arrêt sont donnés par l'automate, par l'intermédiaire de la liaison série RS 485, représenter le câblage de l'ampèremètre (document réponse DRB-4).

B5. Communication :

- B5.1.** Le module de protection possède une liaison série RS 232 et une liaison série RS 485.
Donner la principale différence entre ces deux liaisons série.
- B5.2.** Le protocole de communication utilisé est : Modbus.
Définir la notion de protocole.
- B5.3.** Avec le protocole Modbus, 64 adresses (0 à 63) peuvent être définies pour le relais de protection LT6 P.
Donner le nombre de bits nécessaire au codage de ces 64 adresses.
- B5.4.** L'adresse de l'un des LTP6 utilisé est 27 en décimal.
Donner l'adresse codée en binaire sur 8 bits.
Donner l'adresse codée en hexadécimal.

Partie C

ETUDE DE L'ENTRAÎNEMENT D'UN VENTILATEUR D'ASPIRATION DES FUMÉES

Le système d'aspiration des fumées est constitué de deux ventilateurs identiques qui fonctionnent simultanément.

Caractéristiques d'un ventilateur :

Pression à l'aspiration :	-1 062 mmCE
Pression au refoulement :	59 mmCE
Débit à l'aspiration :	90 000 m ³ .h ⁻¹
Température à l'aspiration :	144°C
Puissance absorbée :	340 kW
Vitesse de rotation :	1 490 tr.mn ⁻¹

Pour réguler la dépression dans les fours, la vitesse des ventilateurs est variable.

Chaque ventilateur est entraîné par un moteur asynchrone alimenté par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence.

C1. Motorisation des ventilateurs : (annexe C1)

C1.1. Donner les différentes motorisations possibles pour un entraînement à vitesse variable de cette puissance.

Pour chaque motorisation, donner le principe utilisé pour faire varier la vitesse.

C1.2. Justifier le choix d'une machine asynchrone associée à un convertisseur de fréquence pour l'entraînement des ventilateurs.

C1.3. Le moteur utilisé est de type 355, fixation à pattes, couplage étoile.

Choisir la référence du moteur.

C1.4. Donner la signification des informations de la plaque signalétique du moteur : IP 55, classe F, S1.

C1.5. Pour une machine asynchrone, alimentée à fréquence constante et vitesse de rotation variant de 0 à 1 500 trs.mn⁻¹, compléter le document réponse DRC-1.

Tracer l'allure des courbes :

- $C / C_n = f(N)$ de la machine asynchrone pour $f = 50$ Hz et $U = U_N$.
- $C / C_n = f(N)$ de la machine asynchrone pour $f = 25$ Hz et $U \approx U_N/2$.
- $C / C_n = f(N)$ du ventilateur. Le couple est proportionnel au carré de la vitesse
- $I_d / I_n = f(N)$ de la machine asynchrone pour $f = 50$ Hz.

N : vitesse de rotation C : Couple

C_n : couple nominal de la machine asynchrone

La machine asynchrone possède les caractéristiques suivantes :

$$\frac{C_d}{C_n} = 1,6 \qquad \frac{C_{max}}{C_n} = 2,8 \qquad \frac{I_d}{I_n} = 6,9$$

C2. Variateur de vitesse : (annexe C2)

C2.1. Choisir la référence du variateur.

C2.2. Le constructeur du variateur indique un $\cos\varphi_1$ du fondamental de 0,97.

Que représente φ_1 ?

Donner la définition du facteur de puissance (Fp).

C2.3. Valeur efficace du courant en ligne du variateur I_{LV} .

Le courant en ligne du variateur est constitué du fondamental et d'harmoniques 5, 7, 11, 13

Courant efficace du fondamental : $I_1 = 615 \text{ A}$

Courant efficace de l'harmonique 5 : $I_5 = 50\% I_1$

Courant efficace de l'harmonique 7 : $I_7 = 25\% I_1$

Courant efficace de l'harmonique 11 : $I_{11} = 7\% I_1$

Courants efficaces des harmoniques ≥ 13 négligeables.

Calculer I_{LV} .

Pour effectuer la mesure de ce courant quel type d'ampèremètre doit-on utiliser ?

C3. Câblage du variateur de vitesse : (annexe C2, C3)

C3.1 Le variateur possède en standard une entrée de consigne vitesse en tension (0 à 10 V) et deux entrées de consigne vitesse en courant (0 ou 4 à 20 mA) résolution 10 bits.

Comparer ces deux modes de commandes.

Justifier l'emploi d'une commande en courant 4 à 20 mA pour cette application.

C3.2 Pour une commande 4 à 20 mA (résolution 10 bits) :

Donner la valeur de l'incrément de consigne minimum que peut détecter le variateur.

Donner la valeur de variation de vitesse correspondante.

C3.3 Indiquer les deux précautions à prendre mentionnées par le constructeur sur le schéma annexe C2-4 pour le câblage des entrées / sorties analogiques.

Réaliser le schéma de câblage de la partie commande du variateur (DRC-2).

- Consigne vitesse 4 à 20 mA (sortie analogique automate).

- Information courant (utilisée par la supervision) envoyée à l'automate.

- Ordre de fonctionnement donné par sortie TOR de l'automate.

- Informations envoyées à l'automate: prêt, marche, défaut.

C4. Etude simplifiée de la tension et du courant de sortie du variateur :

C4.1 Etude harmonique de la tension simple.

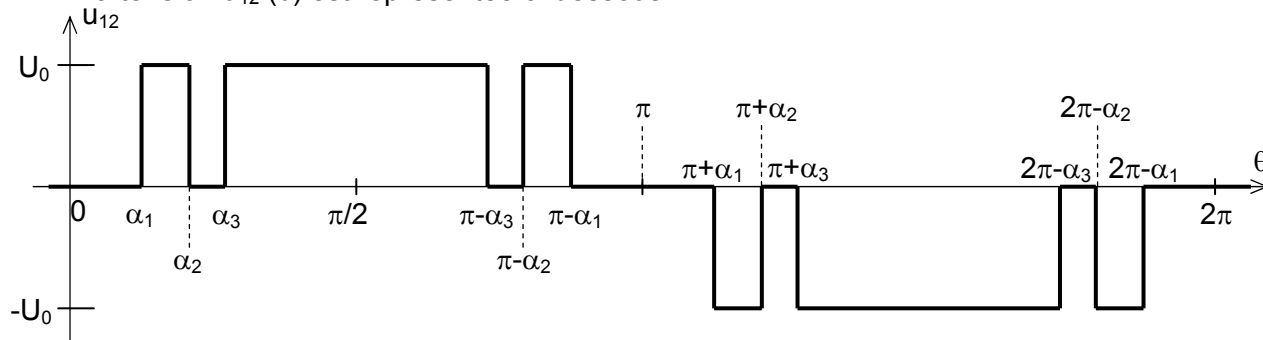
$u_{12}(\theta)$, $u_{23}(\theta)$, $u_{31}(\theta)$: tensions composées en sortie du variateur.

$v_1(\theta)$, $v_2(\theta)$, $v_3(\theta)$: tensions simples en sortie du variateur.

$i_1(\theta)$, $i_2(\theta)$, $i_3(\theta)$: courants en ligne du moteur asynchrone alimenté par le variateur.

$u_{23}(\theta) = u_{12}(\theta - 2\pi/3)$ et $u_{31}(\theta) = u_{12}(\theta + 2\pi/3)$.

La tension $u_{12}(\theta)$ est représentée ci-dessous.



On peut mettre $u_{12}(\theta)$ sous la forme :

$$u_{12}(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} A'_n \times \sin(n \times \theta) \text{ avec :}$$

$$A'_n = \frac{4 \times U_0}{n \times \pi} [(\cos(n \times \alpha_1) - \cos(n \times \alpha_2) + \cos(n \times \alpha_3))] \text{ si } n \text{ impair.}$$

$$A'_n = 0 \text{ si } n \text{ pair}$$

$$\alpha_1 = 22,7^\circ \quad \alpha_2 = 33,8^\circ \quad \alpha_3 = 46,8^\circ \quad U_0 = 540 \text{ V}$$

La valeur efficace de l'harmonique de rang n de la tension simple $v_1(\theta)$ s'écrit :

$$V_n = \left| \frac{2 \times A'_n}{3} \sin\left(n \times \frac{\pi}{3}\right) \right| \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Calculer la valeur efficace du fondamental de la tension simple V_1 .

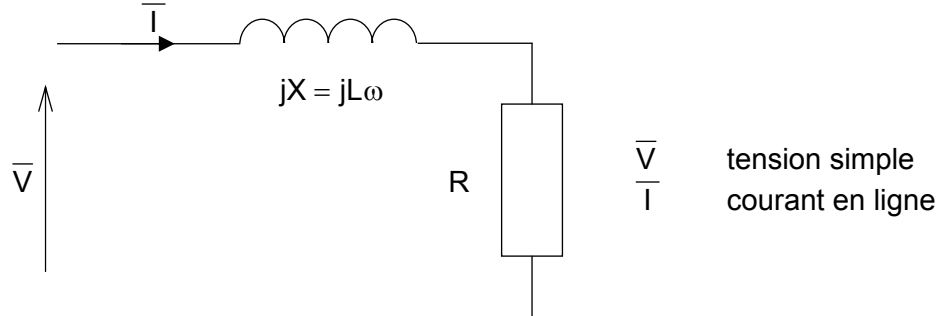
Calculer la valeur efficace des harmoniques 3, 5, 7 et multiples de 3 de la tension simple.

Calculer la valeur efficace de l'harmonique 11 de la tension simple V_{11} .

Calculer le rapport des valeurs efficaces V_1 / V_{11} de $v_1(\theta)$.

C4.2 Pour évaluer le comportement de la machine asynchrone en présence de l'alimentation précédente, on compare le rapport des tensions simples V_1 / V_{11} au rapport des courants efficaces en ligne de la machine asynchrone I_1 / I_{11} .

On envisage le schéma simplifié entre phase et neutre de la machine, ramené au stator, représenté ci-dessous.



La machine asynchrone est alimentée sous 400 V 50 Hz.

Caractéristiques du moteur utilisé :

- Puissance : 400 kW
- $I_N = 685 \text{ A}$
- $\cos\varphi = 0,87$

Déterminer les valeurs numériques de R , X et l'impédance Z d'une phase pour le point de fonctionnement nominal de la machine asynchrone.

La machine asynchrone est alimentée par la tension étudiée précédemment.

Calculer l'impédances Z_{11} présentée par la machine asynchrone, pour l'harmonique 11 de la tension simple.

Calculer la valeur efficace de l'harmonique de courant I_{11} .

Calculer le rapport des valeurs efficaces I_1 / I_{11} de $i_1(\theta)$.

Que peut on conclure sur la forme du courant $i_1(\theta)$?