

AGREGATION

SESSION 2003

CONCOURS INTERNE

Section : GENIE ELECTRIQUE

Option B : ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

ÉTUDE D'UN SYSTEME INDUSTRIEL

DUREE : 8 HEURES, COEFFICIENT : 1

Aucun document n'est autorisé.

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

Soudeuse électrique par points

Ce sujet comporte 2 dossiers distincts :

- 📁 Dossier de présentation, texte du sujet avec le travail demandé (8 pages)
- 📁 Documents annexes 1 à 3 (27 pages)

Ce sujet comporte trois parties indépendantes :

Partie 1. : Etude simplifiée du gradateur à train d'ondes qui commande la soudeuse par point.

Partie 2. : Etude du générateur de tension alternative de la soudeuse.

Partie 3. : Etude de la motorisation qui entraîne les molettes de la soudeuse.



Ces trois parties sont à traiter obligatoirement

Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est identifiée par une police italique et repérées par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

- après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

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.

SUPPORT TECHNIQUE DE L'ETUDE

L'entreprise FEREMBAL, sise à LUDRES près de NANCY, fabrique des boîtes de conserves.

Le processus de fabrication est le suivant. Le cylindre de la boîte de conserves est constitué d'une tôle étamée (flan) que l'on roule puis que l'on soude grâce à des molettes tournantes.



Le but est de réaliser des points de soudure jointifs par l'injection de courant dans des molettes. Cette injection de courant est obtenue grâce à un interrupteur statique, alimenté par un générateur alternatif de fréquence proche de 600 Hz, que l'on commande en train d'ondes.

Les points de soudage ont un diamètre qui dépend de l'intensité injectée (proche de 6 kA). On règle la vitesse du moteur qui entraîne les molettes pour éviter un trop grand recouvrement des points de soudure ou un espacement trop important. Ce moteur est alimenté par un variateur de fréquence classique du type MLI.

Les molettes comportent une gorge dans laquelle se place un fil de cuivre qui assure une bonne conduction de l'électricité et qui participe à la qualité du point de soudure.



On propose trois études distinctes

Partie 1. : Etude simplifiée du gradateur à train d'ondes qui commande la soudeuse par point.

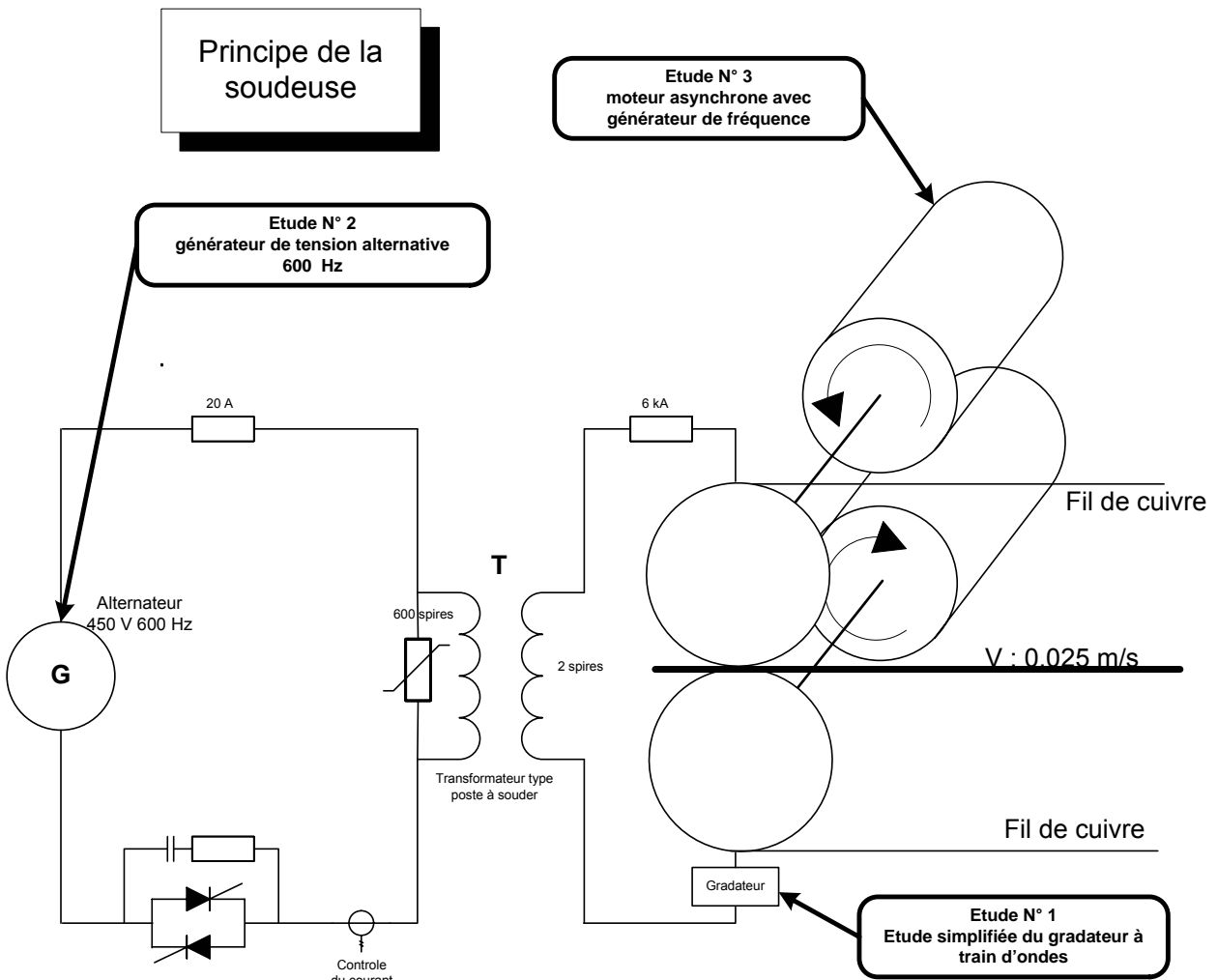
Partie 2. : Etude du générateur de tension alternative de la soudeuse.

Partie 3. : Etude de la motorisation qui entraîne les molettes de la soudeuse.

Chaque étude est composée de deux parties : une partie théorique et une partie pédagogique.

La partie théorique sert de support à la partie pédagogique. Il est conseillé de lire toute l'étude pour comprendre l'esprit des questions théoriques en relation avec les questions pédagogiques associées.

Principe de la soudeuse



PREMIERE PARTIE

ETUDE THEORIQUE SIMPLIFIEE DU GRADATEUR A TRAIN D'ONDES

Hypothèses :

On prendra le schéma de base suivant :

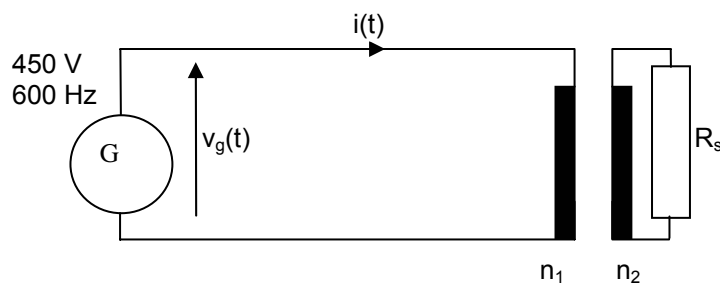


Schéma de base Figure 1.1

On néglige les pertes du transformateur (pertes fer et flux de fuite).

On admet que le transformateur fonctionne en régime non saturé.

1.1 - DETERMINATION DU SCHEMA EQUIVALENT DE LA SOUDEUSE

Q1.1) Montrer que le schéma équivalent de la figure 1.1 peut se ramener à celui de la figure 1.2.

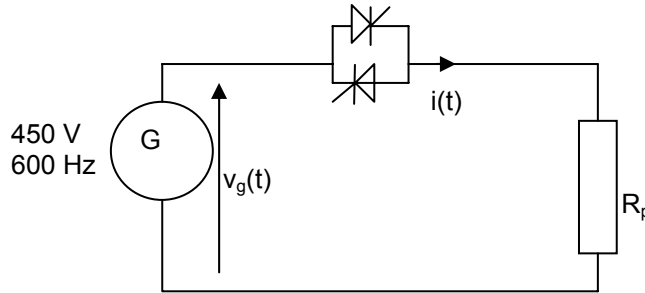


Figure 1.2

Q 1.2) Donner l'expression de R_p à l'aide de R_s , de n_1 et de n_2 .

Q 1.3) Calculer la valeur en ohms de R_p avec $R_s = 1\text{ m}\Omega$ $n_2 = 2$ spires $n_1 = 300$ spires

1.2 - DETERMINATION DE L'INTENSITE ABSORBEE PAR LA SOUDEUSE

Hypothèse :

L'interrupteur statique est continuellement commandé.

Q 1.4) Déterminer la forme temporelle du courant traversant la résistance R_p . Donner les valeurs numériques les plus importantes (fréquence, valeur maximale) sachant que le générateur est parfait et voit une tension de 450 V à ses bornes.

Q 1.5) Calculer la valeur numérique de l'intensité efficace de $i(t)$ appelée I_0 .

Q 1.6) Calculer la puissance active donnée par le générateur G elle sera appelée P_0 .

Hypothèse :

L'interrupteur statique est commandé de manière à obtenir un train d'ondes.

L'interrupteur statique est périodiquement débloqué. Le cycle de fonctionnement de cet interrupteur correspond à p périodes entières de conduction et $(p' - p)$ périodes entières de non conduction ou de blocage.

- Q 1.7) Dessiner la forme temporelle de l'intensité $i(t)$. Donner les valeurs numériques les plus importantes (fréquence, valeur maximale, période de conduction, période de non conduction).**
- Q 1.8) Montrer que si $p' = 2p$ et que $p = 2$, la valeur moyenne du courant $i(t)$ est nulle.**
- Q 1.9) Donner un autre exemple de valeur de p et de p' pour obtenir une valeur moyenne toujours nulle.**
- Q 1.10) Exprimer la valeur efficace I_α du courant $i(t)$ en fonction de I_0 et du rapport p/p' noté α .**
- Q 1.11) Calculer la valeur numérique I_α de l'intensité efficace $i(t)$ dans le cas où $p = 2$ et $p' = 2p$.**
- Q 1.12) Exprimer la valeur de la puissance active P_α donnée par le générateur G en fonction de P_0 et du rapport p/p' .**
- Q 1.13) Calculer la valeur numérique de la puissance active P_α dans la cas ou $p = 2$ et $p' = 2p$.**

1.3 - QUALITE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE, LES HARMONIQUES DE COURANT

L'interrupteur statique est commandé de manière à obtenir un train d'ondes.

L'interrupteur statique est périodiquement débloqué. Le cycle de fonctionnement de cet interrupteur correspond à p périodes entières de conduction et $(p' - p)$ périodes entières de non conduction ou de blocage.

La période du courant $i(t)$ étant égale à $p'T$ ou sa fréquence égale à f/p' son développement en série peut comporter des termes de fréquence :

$$f/p', 2f/p', \dots, (p'-1)f/p', f, (p'+1)f/p', (p'+2)f/p', \dots$$

On désignera par « fondamental » l'harmonique de courant à la fréquence de la source, soit celui de rang $k = p'$.

$$\text{Intensité efficace du rang } k/p' : I_{k/p'} = \sqrt{\frac{A_{k/p'}^2 + B_{k/p'}^2}{2}}$$

Q 1.14) Exprimer la valeur efficace $I_{k/p'}$ de l'harmonique de rang k en fonction de p', I_0 et de α . On rappelle :

$$B_{k/p'} = \frac{1}{p' \pi} * \int_0^{2p\pi} \frac{V\sqrt{2}}{R_p} * \sin \theta * \cos \frac{k\theta}{p'} dv$$
$$A_{k/p'} = \frac{1}{p' \pi} * \int_0^{2p\pi} \frac{V\sqrt{2}}{R_p} * \sin \theta * \sin \frac{k\theta}{p'} d\theta \quad \text{avec } \theta = \omega t$$

Q 1.15) Exprimer $I_{k/p'}/I_0$ en fonction de I_0 et de α .

Q 1.16) Exprimer le fondamental en fonction de α et de I_0 . Calculer sa valeur numérique dans le cas où $p = 2$ et $p' = 2p$.

Q 1.17) Exprimer le facteur de puissance vu par le générateur en fonction de α . On rappelle $PF = P/S$ [avec $PF \rightarrow$ Power Factor].

- P puissance active portée par le premier harmonique à la fréquence f .
- S puissance apparente ou de dimensionnement.

Q 1.18) A part le facteur de puissance qui se trouve dégradé, commenter les autres effets et justifier le choix du constructeur d'utiliser une source alternative indépendante du réseau distribué par EDF (ou une régie privée) à une fréquence plus élevée (600 Hz).

1.4 - ETUDE PEDAGOGIQUE

Dans cette étude, nous nous limiterons qu'à l'effet d'appel régulier d'énergie.

On propose de montrer à des étudiants d'une section de BTS Electrotechnique l'influence d'un appel de charge répété sur le réseau de distribution d'énergie électrique (phénomène de FLICKER).

On donne en Annexe 1 un texte d'études de systèmes en classe de BTS deuxième année (séance de 5 heures).

Q 1.19) Proposer une préparation type à partir du texte donné.

Q 1.20) Choisir la puissance de la charge résistive compte tenu de la distribution de la salle, dans le cas des deux utilisations différentes (utilisation 1 : forte puissance de court-circuit, utilisation 2 : faible puissance de court-circuit) pour faire apparaître le flicker et le rendre visible à des étudiants de deuxième année de BTS.

Q 1.21) Placer les deux points sur la courbe de gêne (correspondant aux deux utilisations dans le cas d'une charge résistive de puissance voisine de 3 kW).

Q 1.22) Résoudre le problème proposé aux étudiants au paragraphe IV de l'annexe 1 : étude industrielle.

Q 1.23) Proposer des choix de composants pour éviter ou corriger le flicker dans les installations électriques et ainsi de proposer aux étudiants une panoplie de solutions. On utilisera le cahier technique fourni en annexe 2.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE THEORIQUE DU GENERATEUR DE LA SOUDEUSE

Le constructeur de la soudeuse propose deux options :

- soit une machine tournante (moteur asynchrone ou moteur à courant continu associé à un alternateur),
- soit un onduleur à résonance dont la tension de sortie est très proche d'une sinusoïde ce qui permettra de conserver la qualité de la soudure.

Dans cette partie nous développerons l'onduleur à résonance de type série, le contacteur statique de la soudeuse sera continuellement commandé, ceci afin de simplifier la mise en fonctionnement de l'onduleur à chaque point de soudure. La soudeuse sera assimilée à la résistance R_p (22,5 Ω).

2.1 - LA THEORIE DE LA RESONANCE

Hypothèses :

On utilisera le schéma équivalent suivant :

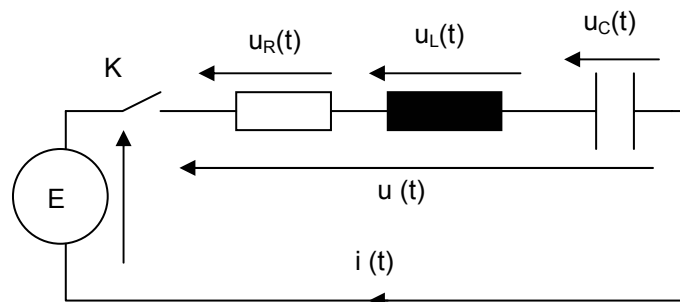


Figure 2.1

A l'instant $t = 0$ on ferme l'interrupteur parfait K d'un circuit série RLC. E est un générateur de tension continue parfait.

Q 2.1) Ecrire l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension aux bornes du condensateur notée $u_c(t)$.

$$2\sigma\omega_0 = \frac{R}{L} \text{ avec } \sigma < 1$$

$$LC\omega_0^2 = 1$$

Q 2.2) On pose conventionnellement : $\omega = \omega_0 * \sqrt{1 - \sigma^2}$

Vérifier que l'expression générale de la tension aux bornes du condensateur est du type

$$v_c(t) = E + Ae^{-\sigma\omega_0 t} * \sin(\omega t + \varphi)$$

A et φ sont des constantes d'intégration à déterminer suivant les conditions initiales.

Q 2.3) Démontrer que l'on peut écrire :

$$i(t) = CAe^{-\sigma\omega_0 t} * [\omega \cos(\omega t + \varphi) - \omega_0 \sigma \sin(\omega t + \varphi)]$$

$$\text{avec } f_0 = 600\text{Hz} \quad \alpha = 0,25 \quad \omega_0 = 2\pi f_0$$

Q 2.4) Dessiner la forme du courant $i(t)$ sur une période dans le cas suivant :

Le condensateur est à l'instant $t = 0$ chargé à une tension proche de 650 V.

2.2 - DETERMINATION DE CERTAINS COMPOSANTS

On utilisera la méthode du premier harmonique.

Le constructeur de la soudeuse utilise un onduleur à structure en pont.

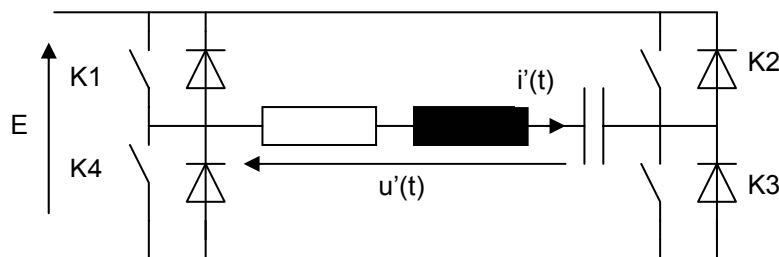


Figure 2.2

Q 2.5) Proposer une loi de commande des interrupteurs pour obtenir une tension $u'(t)$ en créneaux de fréquence proche de 600 Hz aux bornes de la charge R_p, L et C .

Dans la suite de cette partie, on se placera juste à la résonance $\omega = \omega_0$.

Q 2.6) Dessiner la forme de la tension $u'(t)$ (fréquence = 600 Hz, $E = 500$ V).

Q 2.7) Décomposer en série de FOURIER la tension $u'(t)$, exprimer la valeur efficace du premier harmonique en fonction de E . Calculer sa valeur numérique.

Q 2.8) Exprimer la valeur efficace du fondamental du courant $i(t)$ traversant la résistance R_p en fonction de R_p, L et C , calculer sa valeur numérique sachant que $R_p = 22,5 \Omega, L = 8,8$ mH et $C = 8 \mu\text{F}$.

Q 2.9) Exprimer la valeur efficace du courant qui traverse les semi-conducteurs. Calculer sa valeur numérique.

Q 2.10) Exprimer la relation qui permet de calculer la valeur moyenne de l'intensité et la valeur efficace débitée par la source E Calculer sa valeur numérique.

Q 2.11) Exprimer la puissance fournie par la source de tension continue, calculer sa valeur numérique.

2.3 - ETUDE PEDAGOGIQUE

Le but de cette étude est :

- de réaliser une fiche guide de mesurage pour des étudiants de sections BTS Electrotechnique et ainsi observer la résonance d'un circuit RLC,
- de mesurer les valeurs efficaces des différentes intensités dans le but de définir en cours d'électrotechnique les protections thermiques de certains composants.
- de faire un bilan des puissances le long du « parcours de l'énergie ».

Hypothèses :

On utilise un pont du commerce composé de quatre interrupteurs (IGBT associé à une diode anti-parallèle). La fréquence de commande des interrupteurs est de 600 Hz. La charge RLC est constituée par une résistance $R = 22,55 \Omega$, une inductance non saturable $L = 8 \text{ mH}$ et un condensateur non polarisé $C = 8 \mu\text{F}$.

Q 2.12) Calculer la fréquence de résonance de la charge.

Q 2.13) Indiquer les points de mesure nécessaires pour contrôler les intensités dans les semi-conducteurs, la résistance R et la source de tension continue. Préciser les valeurs numériques de ces intensités dans le cas où E est égale à 500 V. Préciser s'il s'agit d'une valeur efficace ou une valeur moyenne.

Q 2.14) Indiquer pour chaque point de mesure le type d'appareil à utiliser et si possible ses principales caractéristiques.

Q 2.15) Rappeler les méthodes de mesure d'une puissance en triphasé, en monophasé et en continu. Distinguer nettement les régimes linéaires et les régimes non linéaires.

La source E est réalisée à l'aide d'un pont de diodes triphasées, filtrée par un filtre en « L » L_f et C_f . Une résistance de soutirage (*Bleeder*) est placée en parallèle sur le condensateur pour assurer une conduction continue dans l'inductance.

On désire mesurer la puissance donnée par le réseau triphasé (50 Hz, 410 V) et celle consommée dans la résistance qui représente la partie active de la soudure par point du cylindre des boîtes de conserves.

Q 2.16) Dessiner les formes d'onde des différents courants relatifs aux mesures proposées.

Par exemple les courants fournis par le réseau triphasé au redresseur, le courant absorbé par l'onduleur et le courant dans la résistance R simulant la soudure.

Q 2.17) Proposer une mesure directe du rendement.

Q 2.18) Proposer une estimation de la valeur du rendement et placer sur un synoptique les différentes pertes.

Une diode du pont de diodes est détruite par effet de surtension lors d'un orage.

Q 2.20) Dessiner les formes d'ondes qui sont modifiées : sortie du pont redresseur triphasé par exemple.

TROISIEME PARTIE

ETUDE DE LA MOTORISATION DES DEUX MOLETTES DE LA SOUDEUSE

Hypothèses :

On étudiera uniquement l'alimentation du moteur asynchrone.

Ce moteur est alimenté par un « variateur de fréquence » de type MLI.

3.1 - ÉTUDE DU MOTEUR

Q 3.1) Démontrer qu'en première approximation, si le moteur est équivalent à son inductance magnétisante, pour obtenir un couple constant à différentes vitesses, il est nécessaire de maintenir le rapport U / f constant, avec U tension efficace entre les bornes du moteur, f la fréquence de cette tension.

Le schéma équivalent du moteur est :

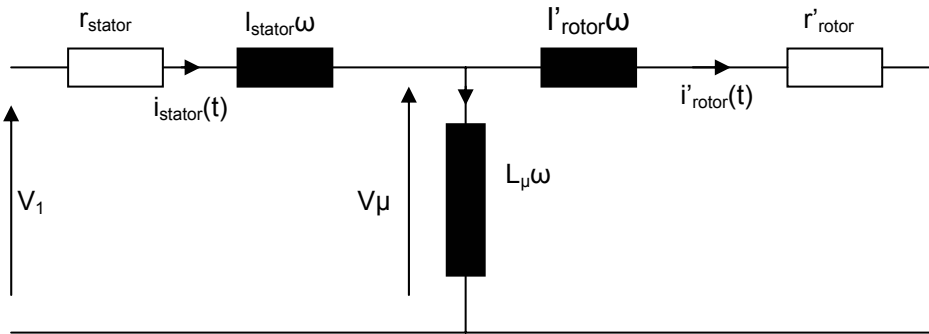


Figure 3.1

Q 3.2) Exprimer le rapport $V/V_n = f(f/f_n)$ et tracer la courbe correspondante afin d'obtenir le couple maximum constant quand $R'_{rotor} = l'_{rotor} * g * \omega$, le couple est maximal.

Dans les calculs, quand cela est nécessaire, on négligera la valeur numérique des inductances cycliques de fuites devant l'inductance magnétisante. La tension d'alimentation du variateur est de 410 V, la fréquence de 50 Hz.

Un étudiant en étude de sous systèmes trouve de façon expérimentale les valeurs numériques suivantes :

- Résistance statorique : 1 Ω
- Inductance de fuite : 4,5 Ω

Q 3.3) Comparer avec vos propres résultats.

Q 3.4) On désire maintenir la vitesse constante. Expliquer le principe de la compensation de glissement qu'il faudra imposer au variateur pour maintenir la vitesse constante. Proposer une loi de commande de la compensation de glissement sachant que le couple du moteur varie de $C_n/3$ à C_n .

3.2 - ETUDE PEDAGOGIQUE

Hypothèses :

Activité de niveau BTS électrotechnique première année située dans le laboratoire d'études de sous systèmes.

Le texte (partiel) de l'activité est fourni en annexe 2, il porte sur l'étude de la variation de vitesse d'un moteur asynchrone triphasé commandé par un variateur de type MLI.

Q 3.5) Proposer plusieurs méthodes permettant d'obtenir un couple constant sur un arbre de moteur asynchrone en salle de systèmes.

Q 3.6) Rédiger les commentaires à joindre à la correction de l'étude de sous systèmes proposée en annexe.

Q 3.7) Expliquer pourquoi un moteur asynchrone peut créer des vibrations dans sa carcasse, les transmettre aux supports et provoquer des altérations dans un processus.

ANNEXE 1 (page 1/4)

2 ^{ème} année	GENIE ELECTROTECHNIQUE – ESSAIS DE SYSTEMES
Série N° 1 TP N° 1-4	Phénomène de flicker

1°/ - OBJECTIFS

- Aborder les problèmes de qualité de l'alimentation électrique.
- Proposer des solutions simples pour résoudre un problème de pollution.

2°/ - PRESENTATION DU PHENOMENE

Les appareils d'éclairage incandescent émettent une lumière fluctuante qui dans certaines conditions peut être gênante pour les opérateurs ou employés d'usine.

Cette variation de luminosité est souvent le fait de charge importante vis-à-vis de la puissance de l'alimentation et dont le fonctionnement est à caractère répétitif (fours de commande par train d'ondes, soudeuses par points, fours à arcs à électrodes oscillantes, etc.).

Le flicker se caractérise par l'amplitude des fluctuations de la tension d'alimentation évaluée par le rapport $\Delta U/U$.

La CEI a établi une courbe dite : « courbe de gêne », en dessous de laquelle il n'y a pas gêne physiologique. Au dessus de cette courbe, la gêne est possible.

3°/ - TRAVAIL DEMANDE

3.1/ Etude théorique

En vous aidant du schéma équivalent par phase (série) de l'ensemble de la distribution de la salle R17 :

1. Calculer l'ensemble des éléments du schéma équivalent « R » et « Y » pour les deux points d'utilisation (branchements).
2. Déterminer le courant de court-circuit aux deux points d'utilisation.
3. Si on place une charge résistive monophasée de 2 kW, calculer la chute de tension obtenue aux deux points considérés.

3.2/ Etude pratique en salle R17

La maquette d'expérimentation est raccordée à une charge résistive d'une puissance de 2 kW sous 230 V. Elle est commandée par un contacteur statique piloté en 0 / 10 V logique. Le cadencement est obtenu par un générateur basse fréquence.

4. Etablir un schéma de principe du montage (gradateur, résistance, lampe à incandescence, GBF) et indiquer la position des appareils de mesure permettant la mesure des chutes de tension à chaque point d'utilisation.
5. Mesurer le rapport $\Delta U/U$ correspondant à chaque point d'utilisation.
6. Placer les points sur la courbe de gêne pour les cadences suivantes :
 - 5 variations par minute
 - 10 variations par minute
 - 1000 variations par minute
7. Observer le scintillement de la lampe témoin pour ces différentes cadences et rechercher la zone d'utilisation en fréquence pour laquelle le phénomène de flicker est le moins gênant.

ANNEXE 1 (page 2/4)

3.3/ Analyse

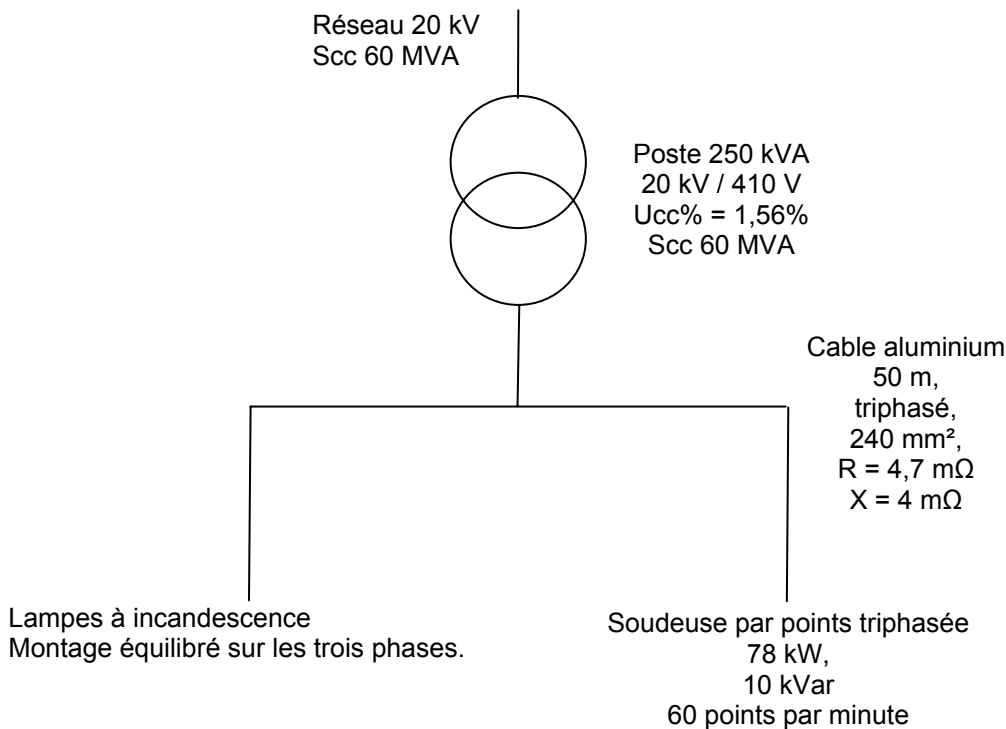
8. Comparer les grandeurs théoriques et pratiques. Commenter les différences constatées.

On définit la puissance de court-circuit d'un réseau de la façon suivante : $S_{cc} = \sqrt{3} \cdot U_{20} \cdot I_{cc}$ au point de raccordement considéré (en monophasé $S_{cc} = V_{20} \cdot I_{cc}$).

9. Déterminer la puissance de court-circuit des deux réseaux.
10. Donner quelques solutions techniques envisageables pour réduire les phénomènes de flicker.

3.4/ Etude industrielle

La distribution électrique dans un atelier de soudage par points est réalisée de la façon suivante :

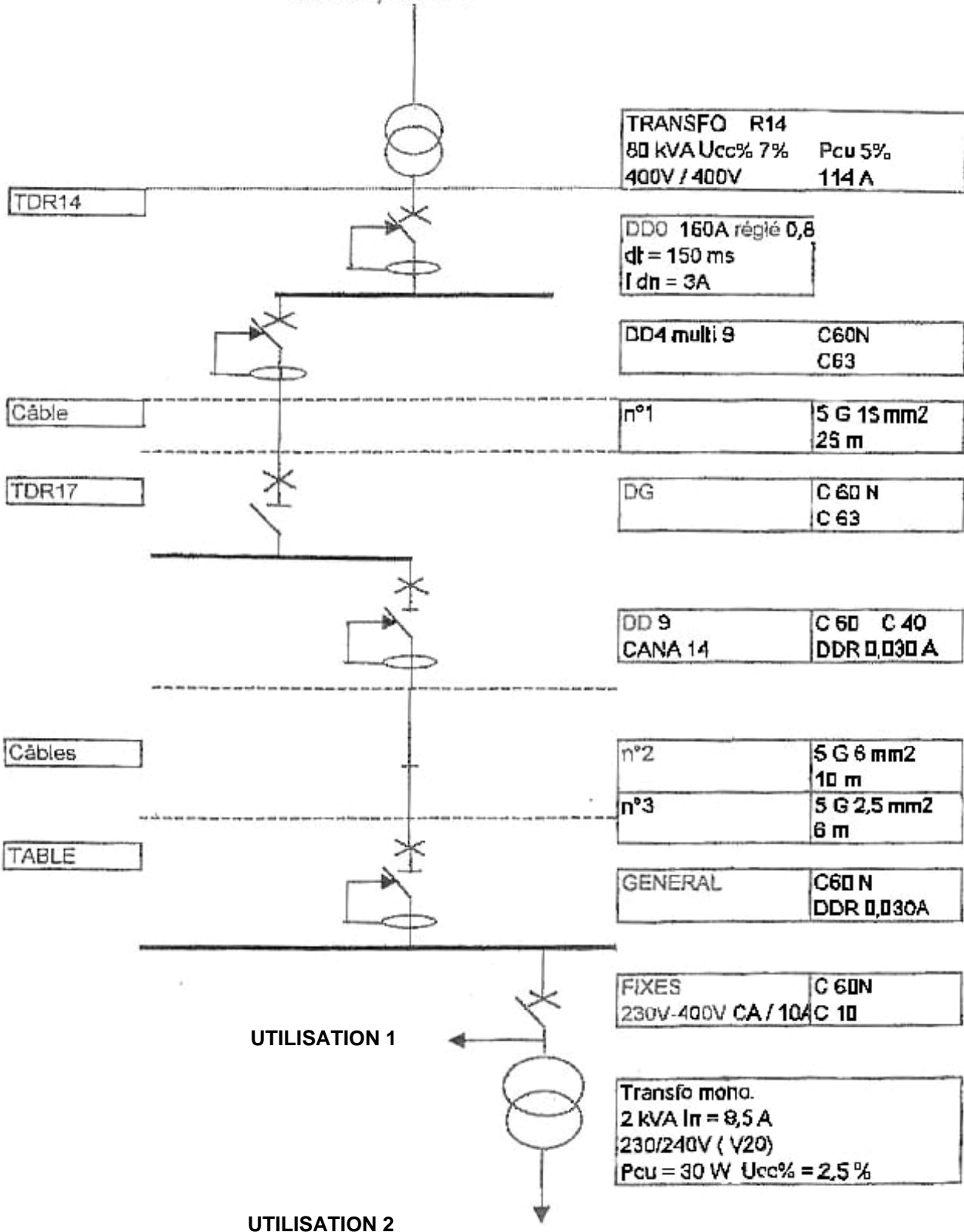


11. Calculer le $\Delta U/U$ sur le point de raccordement des lampes à incandescence et placer ce point sur la courbe de gêne. Conclure sur le confort visuel des utilisateurs de l'installation.
12. Evaluer la puissance de court-circuit nécessaire à l'alimentation de la soudeuse par points pour diminuer l'effet de flicker.

ANNEXE 1 (page 3/4)

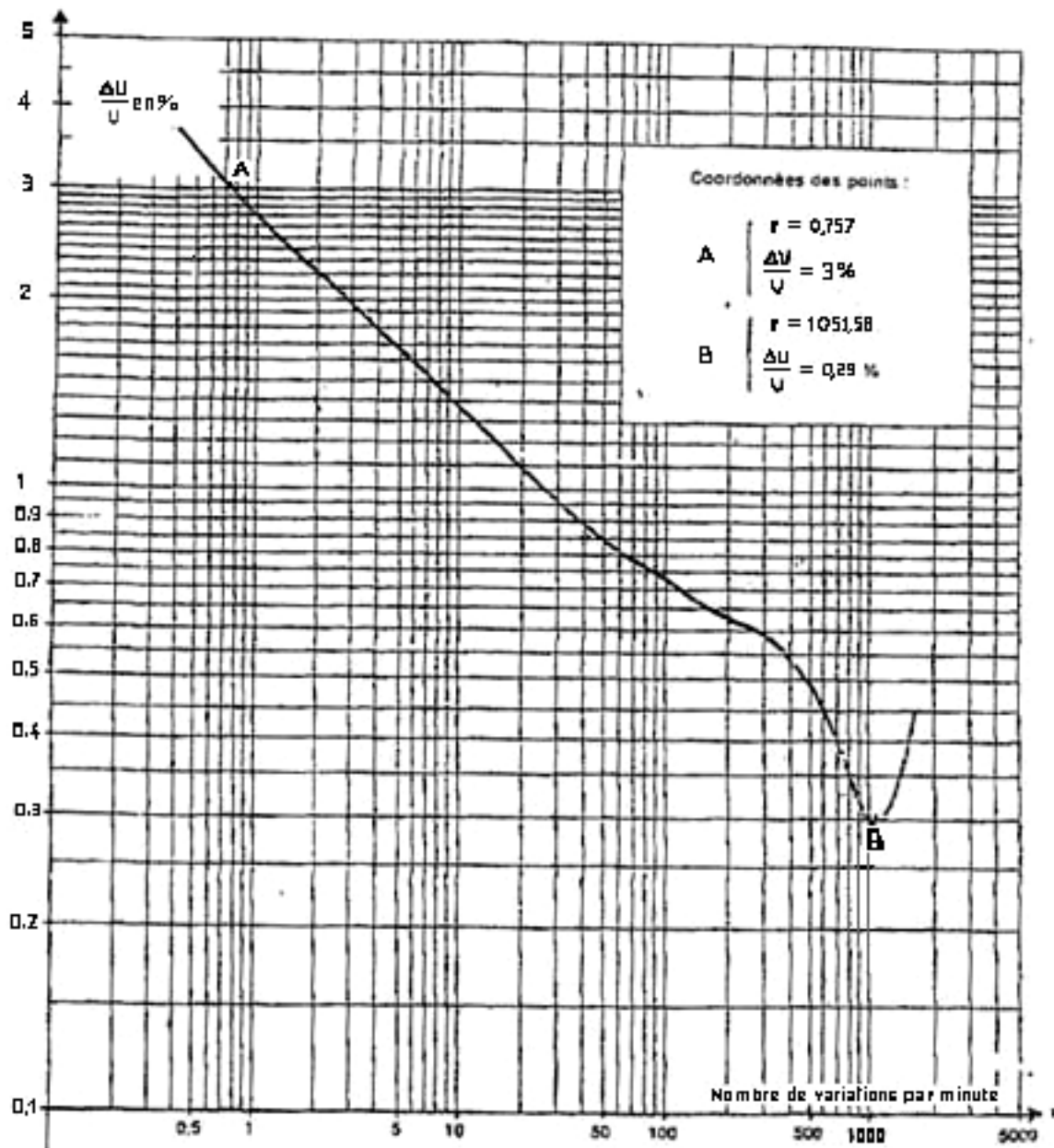
Distribution de la salle R17

Réseau Lycée 400V



ANNEXE 1 (page 4/4)

Amplitude maximale des variations relatives de tension en fonction du nombre de variations par minute (« courbe de gêne »)

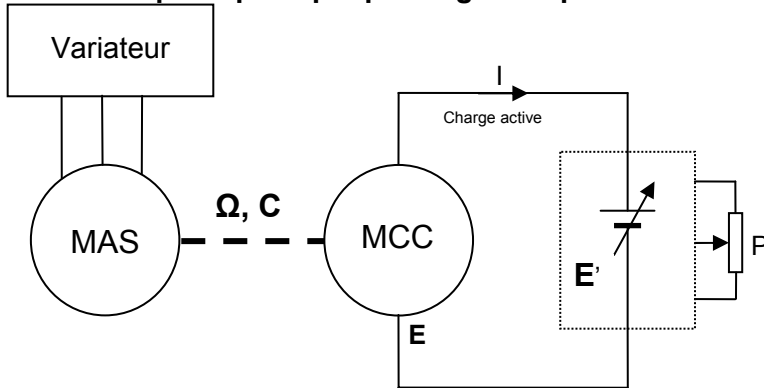


ANNEXE 2

1^{ère} année	GENIE ELECTROTECHNIQUE
Série N° 1	Sujet n° 3 : variateur de vitesse pour MAS triphasée

1°/ - PREPARATION avant la séance de TP.

Schéma de principe et plaques signalétiques des moteurs



MAS
 3 Ph 380 /220 V
 9,0 / 15,5 A
 4 kW
 $\cos \varphi = 0,82$
 1 440 trs/mn

Mcc
 $N_{max} = 2\ 000$ trs/mn
 $U_{max} = 150$ V
 $C = 26$ Nm/A

**Génératrice
 Tachymétrique**
 20 V / 1 000 trs/mn

Donner la relation entre le couple et le courant induit pour un MCC
 Déterminer l'expression du couple résistant C et montrer qu'il est proportionnel à E' .

2°/ - MESURES PRELIMINAIRES

Mise en œuvre

Réaliser le câblage de l'ensemble.
 On utilisera la « poquette » pour effectuer tous les réglages et toutes les commandes.
 Adapter le variateur à la charge.
 Limiter l'étendue de la variation de vitesse entre 200 et 1 800 trs/mn.

Essais

Enregistrer $N(\text{trs/mn}) = f(t)$ pour différents réglages :
 ○ Rampe d'accélération et de décélération,
 ○ Vitesse HSP et LSP.
 Comparer les résultats avec ce que vous aviez prévu.

3°/ - ESSAIS EN CHARGE

On utilisera la charge active.
 Vérifier que la compensation de glissement ne soit pas validée.

On désire tracer la caractéristique $C = f(N)$ pour différentes valeurs N_s de la vitesse de synchronisme qui sera fixée par la consigne de fréquence de la « poquette » (67 Hz, 50 Hz, 40 Hz, 25 Hz).

Mesurer simultanément la tension U (tension efficace appliquée au moteur) pour chaque consigne de fréquence. Tracer $U = f(f)$. Conclure.

Régler la compensation de glissement pour le point de fonctionnement nominal $N = 1\ 500$ trs/mn et le couple nominal. Conclure.

4°/ - MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS

On désire relever la forme d'onde et le spectre du convertisseur.
 On utilisera un oscilloscope à mémoire numérique.

ANNEXE 3

Cahier technique Merlin Gerin n° 176

Flicker ou scintillement des sources lumineuses par René Wierda

22 pages au format A4

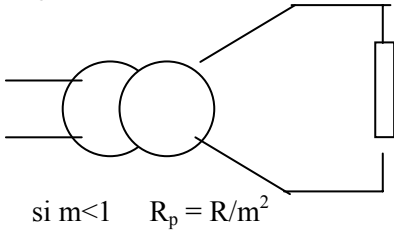
Téléchargeable (115 Ko) au format Pdf sur le site <http://www.schneider-electric.fr>

CORRIGE Etude d'un système industriel

PREMIERE PARTIE : GRADATEUR A TRAIN D'ONDES

1.1 DETERMINATION DU SCHEMA EQUIVALENT DE LA SOUDEUSE

Q1.1



Q1.2

$$300 / 2 = 150$$

$$m = 1 / 150$$

$$R_p = 10^{-3} * 150^2 = 22,5 \Omega$$

Q1.3

$$R_p = 22,5 \Omega$$

Q1.4

Sinusoïde valeur maximale 28,28 A

Q1.5

$$450 / 22,5 = 20 \text{ A}$$

Q1.6

$$P = 450 * 20 = 9 \text{ kW}$$

Q1.7

Conduction $2 * \pi * p$

Non conduction $2 * \pi * (p - p')$

Période du train d'ondes $2 * \pi * p'$

Q1.8

Nombre identique de demie période $p' = 2 p$

Q1.9

$$p' = 4 p$$

Q1.10

$$I_\alpha = I_0 * \sqrt{\alpha}$$

Q1.11

$$I_\alpha = 20 * \frac{1}{\sqrt{2}} = 14,14 \text{ A}$$

Q1.12

$$P = P_0 * \alpha$$

Q1.13

$$P = 4,5 \text{ kW}$$

Q1.14

$$A_{k/p'} = -\frac{\sqrt{2}}{\pi} * I_0 \frac{p'}{p'^2 - k^2} \sin 2k\pi\alpha$$

$$B_{k/p'} = -\frac{\sqrt{2}}{\pi} * I_0 \frac{p'}{p'^2 - k^2} * (1 - \cos 2k\pi\alpha)$$

Q1.15

$$I_{k/p'} = I_0 * \frac{1}{\pi} * \frac{2p'}{p'^2 - k^2} * \sin(k\pi\alpha)$$

Q1.16

$$K = p'$$

$$A_1 = \sqrt{2} * \alpha * I_0$$

$$B_1 = 0 \quad \text{donc } I_1 = \alpha I_0$$

Q1.17

$$P = R * I^2$$

$$S = V * I$$

$$FP = \sqrt{\alpha}$$

Q1.18

Problème de flicker

PEDAGOGIE

Etude industrielle :

Réseau 20 kV

Scc = 60 MVA soit une impédance de 2,78 mΩ

L'impédance du transformateur est de 26 mΩ avec une intensité de 352 A.

La résistance du transformateur 0,01049Ω.

L'inductance de fuite 0,0248 Ω.

Alors la chute de tension est de $\Delta V_2 = 8,285 \text{ V}$ soit 3,6% à 60 variations par minute, il y a gêne des employés.

Il faudrait $\Delta V_2 \quad V_2 = 0,8\%$, soit 1,84 V donc une impédance de 5,22 m Ω ou une Pcc de 32,15 MVA soit un transformateur de 1,28 MVA.

Q1.121

Utilisation 1 R = 0,162Ω
 X = 0,162 Ω
 Z = 0,23 Ω

Utilisation 2 R = 0,608 Ω
 X = 0,507 Ω
 Z = 0,79 Ω

$$p_{1cc} = 230 \text{ kVA}$$

$$p_{2cc} = 60 \text{ kVA}$$

Chute de tension pour 1 = 2,11 V soit 0,9 %

Chute de tension pour 2 = 5,06 V soit 2,11 %

Q1.122

Impédances au jeu de barre

$$R_t = 10,49 \text{ m}\Omega$$

$$X_t = 24,8 \text{ m}\Omega$$

Soixante variations avec une chute de tension relative de 3.6% entraîne une gêne des employés. Le processus ne peut être changé, il faudrait une chute relative de 0,8% soit une de tension absolue de 1,84 V ou une impédance au jeu de barre de 5,22m Ω .

La puissance de court circuit doit avoir dans ce cas une valeur de 32,15 MVA, ce qui correspond à un transformateur dont la puissance de dimensionnement est supérieur à 1,3MVA.

DEUXIEME PARTIE : GENERATEUR de la SOUDEUSE

Q2.1

$$LC \frac{d^2 v_c}{dt^2} + RC \frac{dv_c}{dt} + v_c = 0$$

Q2.2

On remplace la valeur de $v_c(t)$ dans l'équation différentielle

$$v_c(t) = E - Ve^{-\alpha t} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\alpha = -\sigma \omega_0$$

$$V_0 = E - V \cos \varphi$$

$$I_0 = I_M \sin \varphi$$

Q2.3

$$i(t) = C \frac{dv_c}{dt}$$

$$i(t) = I_M e^{-\alpha t} \sin(\omega t + \phi)$$

$$\frac{R}{2L} = \alpha = \omega_0 \sin \psi$$

$$RI_M = RCV\omega = 2V \sin \psi$$

Q2.4

$i(t)$ est une sinusoïde $I_M = 28,28A$

Q2.5

K1 et K3 commutent ensemble.

Un temps mort.

K2 et K4 commutent ensemble.

Q2.7

$$u'(t) = \frac{2E\sqrt{2}}{\pi} \sqrt{2} * \sin(\omega t) + \dots + U'_n * \sqrt{2} * \sin(n\omega t)$$

$$\text{avec } U'_n = \frac{U'_1}{n} \text{ et } U'_1 = \frac{2 * \sqrt{2}}{\pi} E$$

$$U'_1 = 450 \text{ V}$$

Q2.8

$$I = 450 / 22,5 = 20 \text{ A}$$

Q2.9

$$I_{\max} / 2 = 14,14 \text{ A}$$

Q2.10

$2 * I_{\max} / \pi = 18 \text{ A}$ valeur moyenne débitée par la source continue

$$I_{\text{rms}} = 20 \text{ A}$$

Q2.11

$$P = 500 * 18 \text{ ou } 22,5 * 20^2 = 9 \text{ kW}$$

PEDAGOGIE**Q2.12**

S'il y a résonance parfaite :

$$LC\omega_0^2 = 1$$

$$f_0 = 629,1 \text{ Hz}$$

L mesurée au pont de Sauty CHAUVIN ARNOUX (fréquence de mesure 1 kHz)

C lecture 8 μF tolérance +ou- 20%

$$f_0 \in [574,3\text{Hz}; 703,3\text{Hz}]$$

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \sigma^2} \text{ avec } \sigma = \frac{R}{L * 2 * \omega_0}$$

$$\sigma = 0,35$$

$$\omega = 3\,694,1 \text{ rd/s}$$

Q2.14

Grandeur continue (FL123 FLUKE)

MX557 sur « average » (METRIX)

F27 CHAUVIN ARNOUX

Pince MX 200 inutilisable.

Pince MX210 peut donner de bonnes valeurs.

Puissance FL43B (50 * 50 Hz)

Valeurs numériques calculées :

I charge RMS : 19,96 A soit 20 A

Bien choisir le matériel, la bande passante et le facteur de crête.

I sc moyen : 8,98 A

I sc rms : 14,11 A

I source Ie moyen 17,96 A

I source Ie rms : 19,95 A

Puissance de la source continue : nécessite une pince à effet Hall : 8 982 W

Puissance dans la charge : $V_{h1} * I_{\text{ch rms}}$: 8,985 kW

Remarques : les pertes sont difficiles à mesurer, si la puissance aux bornes du récepteur baisse c'est un bon indicateur de glissement de fréquence.

Q2.15

En régime linéaire :

Un seul wattmètre entre neutre et phase ; on trouve des wattmètres triphasés : tension composée et intensité de l'autre, phase position généralement 3Ø.

On peut appliquer la méthode des deux wattmètres surtout dans le cas d'une distribution 3 fils car la condition nécessaire et suffisante est que le courant soit nul dans le neutre.

Remarque : la mesure avec les wattmètres modernes est peu précise quand le facteur de puissance est faible, il est nécessaire de faire des corrections.

En régime non linéaire, on se limitera au cas d'une tension sinusoïdale et d'un courant déformé, mais périodique, la puissance active est portée par le premier harmonique.

Remarquons que la méthode des deux wattmètres conserve uniquement le premier harmonique et élimine les autres.

Q2.16

Pour assurer un courant de nature persistante dans l'inductance du filtre L_f , C_f il faudra assurer la relation suivante $L_f > R_b / 10 \cdot 10^3$. Dans le cas d'un redressement sous 410 V, les valeurs suivantes sont généralement admises $R_b = 500 \Omega$, $L_f > 50 \text{mH}$ et $C_f < 1 \cdot 10^{-6} \text{F}$

Les formes d'ondes sont classiques, les courants absorbés par le pont de diodes ne sont pas à front raide car l'inductance L_f provoque un empiètement dépendant de l'inductance de ligne de l'alimentation du pont redresseur.

Q2.17

On place un wattmètre 1 sur l'entrée alternative Ph1.

On place un wattmètre 2 sur le récepteur ou un ampèremètre RMS en série avec la résistance.

Le rendement est le rapport des deux mesures.

Q2.18

Suivant le type de semi-conducteurs, le rendement peut être de l'ordre de 70%. La perte dans les semi-conducteurs est de l'ordre de 10%. La puissance perdue est consommée par les résistances « parasites ».

Q2.20

Si une diode est détruite, à la place des deux calottes de sinusoïdes, nous observons une décharge de condensateurs plus ou moins accentuée, cela dépend de la charge de l'onduleur. La puissance absorbée par le montage redresseur est plus petite, on utilisera un capteur de puissance triphasé pour contrôler le bon fonctionnement du pont redresseur.

TROISIEME PARTIE : MOTORISATION des DEUX MOLETTES

Q3.1

Méthode simplifiée :

$$\underline{V} = jL_\mu \omega I_n$$

On peut écrire :

$$\frac{V}{f} = 2\pi L_\mu I_n$$

si I_n est constant alors V / f est constant.

Méthode développée :

Expression du Couple Electromagnétique en considérant que $V_\mu = V_1$:

$$P_{TR} = 3 \cdot \frac{r_2}{g} I'^2 = 3 \frac{V_\mu^2 \cdot \frac{r_2}{g}}{\left(\frac{r_2}{g}\right)^2 + (l_r \omega_s)^2} = 3 \cdot V_\mu^2 \frac{g \cdot r_2}{(r_2)^2 + (g l_r \omega_s)^2}$$

$$C_{EM} = \frac{P_{TR}}{\Omega_s} = p \cdot \frac{P_{TR}}{\omega_s} = 3 \cdot p \cdot \frac{V_\mu^2}{\omega_s^2} \frac{g \cdot \omega_s \cdot r_2}{(r_2)^2 + (g l_r \omega_s)^2}$$

En posant : $\omega_r = g \cdot \omega_s$ et $\Phi = \frac{V_\mu}{\omega_s}$

$$C_{EM} = 3.p.\Phi^2 \frac{\omega_r r_2}{(r_2)^2 + (l_r \omega_r)^2}$$

Le couple électromagnétique est maximum pour $\omega_r = \frac{r_2}{l_r}$

$$C_{EM \max} = 3.p.\Phi^2 \frac{1}{2.l_r}$$

Dans la partie utile de la caractéristique mécanique : $(\omega_r \rightarrow 0)$

$$C_{EM \max} = 3.p.\Phi^2 \frac{\omega_r}{r_2}$$

A ω_s variable, pour obtenir des caractéristiques $C_{EM} = f(\Omega)$ parallèles les unes aux autres et $C_{EM \max}$ constant, il faut donc que le flux Φ soit constant.

$$D'où : \frac{V_s}{f_s} = 2.\pi.\Phi = \text{constante}$$

Pour maintenir le couple maximum constant et garantir des caractéristiques mécaniques parallèles les unes autres pour les basses fréquences statoriques, il faut maintenir le flux Φ constant. Pour cela, il faut établir la relation entre la tension V_1 et la fréquence statorique f_s tel que Φ soit constant.

Q3.2

On admet que le moteur est à couple maximal

On pose :

D'une manière générale :

$$r'_2 = l'_2 g \omega_s$$

$$\omega^2 > \omega$$

$$\frac{V_1}{V_{1n}} = \left[\frac{(l_1 \omega_n + l'_2 \omega_n)^2 * \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + \left(r_1 + l'_2 \omega_n * \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right)^2}{(l_1 \omega_n + l'_2 \omega_n)^2 + (r_1 + l'_2 \omega_n)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Méthode développée : La résistance des bobinages et les flux de fuites au stator ne sont plus négligés.

Pour maintenir le couple maximum constant et garantir des caractéristiques mécaniques parallèles les unes autres pour les basses fréquences statoriques, il faut maintenir le flux Φ constant. Pour cela, il faut établir la relation entre la tension V_1 et la fréquence statorique f_s tel que Φ soit constant.

$$\text{On pose : } \underline{Z}_1 = r_1 + j l_1 \omega_s \text{ et } \underline{Y}_2 = \frac{1}{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s} + \frac{1}{j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g}} = \frac{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s + j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g}}{\left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right) (j \cdot L_\mu \cdot \omega_s)}$$

On a donc :

$$\frac{V_\mu}{V_1} = \frac{1}{Z_1 Y_2 + 1}$$

$$\frac{V_\mu}{V_1} = \frac{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}{\left(r_1 + j \cdot l \cdot \omega_s \right) \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + j \cdot L_\mu \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right) + j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}$$

Sachant que : $L_\mu \cdot \omega_s \gg l_r \cdot \omega_s$:

$$\frac{V_\mu}{V_1} = \frac{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}{\left(r_1 + j \cdot l \cdot \omega_s \right) \cdot \left(j \cdot L_\mu \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right) + j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}$$

$$\frac{V_\mu}{V_1} = \frac{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(r_1 + \frac{r_2}{g} \right) + \frac{r_1 \cdot r_2}{g} - (l_1 + l_r) L_\mu \cdot \omega_s^2}$$

$$\frac{j \cdot \Phi \cdot \omega_s}{V_1} = \frac{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(r_1 + \frac{r_2}{g} \right) + \frac{r_1 \cdot r_2}{g} - (l_1 + l_r) L_\mu \cdot \omega_s^2}$$

Soit :

$$\frac{V_1}{V_\mu} = \Phi \cdot \frac{j \cdot L_\mu \cdot \omega_s \cdot \left(r_1 + \frac{r_2}{g} \right) + \frac{r_1 \cdot r_2}{g} - (l_1 + l_r) L_\mu \cdot \omega_s^2}{L_\mu \cdot \left(j \cdot l_r \cdot \omega_s + \frac{r_2}{g} \right)}$$

Fonctionnement à flux constant :

$$V_1 = \Phi \cdot \frac{\sqrt{\left(L_\mu \omega_s \cdot \left(r_1 + \frac{r_2}{g} \right) \right)^2 + \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{g} - (l_1 + l_r) L_\mu \omega_s^2 \right)^2}}{L_\mu \sqrt{\left(l_r \omega_s \right)^2 + \left(\frac{r_2}{g} \right)^2}}$$

En supposant que $g > 0$ (partie utile de la caractéristique de la machine) cette expression se simplifie :

$$V_1 = \Phi \cdot \frac{\sqrt{\left(r_1 \right)^2 + \left(L_\mu \cdot \omega_s \right)^2}}{L_\mu}$$

Q3.3

$$\frac{V_1}{V_{1n}} = \left[\frac{9^2 * (x)^2 + (1 + 4,5x)^2}{111,25} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Avec :

$$x = \frac{f}{f_n}$$

Q3.4

En première approximation :

$$T = g / r^2$$

Compensation de glissement C_g en Hz.

On peut alors exprimer numériquement $C_g = 0,075 T$ en utilisant les valeurs de la plaque signalétique du moteur proposée dans la partie pédagogique.

$C_g = G_{gn} / T_n * T$ ou $C_g = G_{gn} / T_n * (k * I_{dc})$ si on peut mesurer le courant continu intermédiaire émis par le pont redresseur k : constante en le courant continu et la puissance nominale du moteur.

Q3.5

Deux méthodes :

- frein à poudre
- par variateur à contrôle de couple (on peut utiliser un convertisseur alternatif/continu, consigne de vitesse nulle puis réglage du couple avec la boucle de courant - nécessite un étalonnage de la machine).

Q3.6

Il faut être attentif au choix des appareils de mesures, une bande passante suffisante ($h > 15$) (MX554).

Oscilloscope OX8100

Préciser l'utilisation de la bande passante et de la fonction mémoire, de la fonction calcul ou utiliser EXCEL.

$$U = f(f)$$

Faire prévoir aux étudiants la courbe théorique et faire reporter les valeurs expérimentales.

Faire observer que vers les petites fréquences la loi n'est plus suivie.

Sans compensation de glissement les courbes $T = f(g)$ sont des parallèles jusqu'à 10 Hz en moyenne.

Q3.7

Un moteur asynchrone est le siège d'efforts importants entre le rotor et le stator. Ces efforts peuvent entraîner des vibrations basse fréquence qui se transmettent à l'accouplement et provoquent des vibrations parasites.

On peut faire simplement écouter le bruit émis par un moteur asynchrone lors de son alimentation par un générateur de fréquence du type MLI. Si le moteur est muni d'un capteur de vibrations, un filtre sur la mesure des fréquences dues aux vibrations sera nécessaire pour éliminer les vibrations dues aux vibrations électriques du moteur. On ne considérera que les vibrations d'ordre mécanique, généralement basse fréquence (alignement ou roulement à billes).