

Énergies

Examen de contrôle continu n°3

Enseignant : E. Laroche

Durée : 2 heure

Documents interdits ; calculatrices fournies (calculatrices personnelles interdites)

NB. Vous prendrez soin de répondre aux questions avec précision. La méthode permettant d'aboutir au résultat doit être expliquée. Les unités doivent être données quand cela est pertinent. Les expressions mathématiques doivent être simplifiées au maximum.

1 Redresseur monophasé à diodes

On considère un redresseur à 4 diodes alimenté à partir d'une source de tension alternative sinusoïdale de valeur efficace 230 V et de fréquence 50 Hz. Une inductance L_1 est placée en amont. En aval du filtre est placé en série une inductance L_2 puis en parallèle un condensateur C . Le redresseur est supposé débiter sur une charge résistive R . Dans l'ensemble du problème, on considère les interrupteurs réalisés par les diodes comme parfaits (chute de tension nulle en conduction, courant de fuite nul en ouverture et commutations infiniment rapides).

1.1 Questions générales

1. Donnez un schéma électrique du système faisant intervenir les différents éléments. Donnez des notations pour chacune des tensions et courants.
2. Donnez l'allure de la tension délivrée par la source de tension. Précisez son amplitude et sa période.
3. Expliquez l'effet des inductances L_1 et L_2 ainsi que celui du condensateur C .
4. Qu'est-ce qu'on appelle conduction continue et conduction discontinue ?

5. Quelle contrainte de type inégalité s'applique sur le courant instantané délivré en aval du redresseur (celui qui traverse L_2) ?
6. Comment fonctionne une diode utilisée en électronique de puissance ? Quels sont ses modes de fonctionnement et ses commutations ?
7. Qu'est-ce qu'un bon facteur de puissance ; pourquoi est-ce important pour une installation d'avoir un bon facteur de puissance ?

1.2 Étude en conduction continue

Pour simplifier l'analyse, on néglige l'inductance amont L_1 et on considère le courant délivré en aval du redresseur (c'est-à-dire dans L_2) comme constant égal à I_c . Pour les applications numériques, on prendra $I_c = 10$ A.

1. Expliquez quelles sont les deux topologies du redresseur. A quelle condition correspond chacune d'entre elles ?
2. Donnez un modèle de simulation du redresseur en conduction continue ayant comme entrées la tension amont et le courant aval et comme sorties la tension aval et le courant amont.
3. Déterminez les formes d'ondes du courant amont et de la tension aval.
4. Calculez le taux d'harmoniques du courant amont.
5. Calculez la puissance active absorbée par l'installation.
6. Déterminez le facteur de puissance de l'installation.

1.3 Étude de l'empiètement

On s'intéresse ici à la commutation entre une paire de diodes et une autre. A cette échelle de temps, on peut considérer que le courant en aval du redresseur est constant égal à I_c . On tiendra compte de l'inductance amont L_1 . On pourra considérer que la tension amont s'écrit $v_1(t) = V_m \sin(\omega t)$ et on s'intéresse à la commutation qui a lieu sur un court laps de temps à partir de $t = 0$. On notera $i_1(t)$ le courant amont ainsi que $i_{D1}(t)$, $i_{D2}(t)$, $i_{D3}(t)$ et i_{D4} les courants dans les diodes. Vous préciserez les notations dans un schéma.

1. A partir des lois des nœuds et en tenant compte de la symétrie diagonale entre les courants dans les diodes (par exemple $i_{D1}(t) = i_{D4}(t)$ et $i_{D2}(t) = i_{D3}(t)$ avec les conventions du cours), déterminez l'expression du courant dans chacune des diodes en fonction uniquement de $i_1(t)$ et de I_c .
2. Avant $t = 0$, seules deux diodes conduisent. Lesquelles ? Justifiez.

3. A $t = 0$, les deux autres diodes se mettent à conduire. Expliquez ce qui entraîne leur mise en conduction.
4. Donnez l'équation différentielle déterminant le courant $i_1(t)$ pour $t \geq 0$.
5. Donnez l'allure du courant $i_1(t)$ (pas besoin de résolution analytique, l'allure suffit).
6. Quelle est la condition de fin de la séquence de conduction simultanée des quatre diodes ?
7. Donnez l'allure du courant amont $i_1(t)$ sur une période, en tenant compte de l'empîement.

2 Modèle de Park de la machine synchrone

La transformation de Park est la combinaison de la transformée de Concordia permettant de passer d'une machine triphasée à une machine diphasée et d'un changement de repère. Dans le repère lié au rotor, les équations des flux s'écrivent :

$$\phi_d = L_s i_d + \phi_f \quad (1)$$

$$\phi_q = L_s i_q \quad (2)$$

Les équations des tensions s'écrivent :

$$v_d = R_s i_d - p\Omega i_q + \frac{d\phi_d}{dt} \quad (3)$$

$$v_q = R_s i_q + p\Omega i_d + \frac{d\phi_q}{dt} \quad (4)$$

Le couple s'écrit :

$$C = \frac{3}{2} p \phi_f i_q \quad (5)$$

Dans ces équations, p est le nombre de paires de pôles; Ω est la vitesse de rotation du rotor; ϕ_f est le flux du rotor supposé constant. On considère le système ayant comme entrées les tensions v_d et v_q ainsi que la vitesse Ω et comme sorties les courants i_d et i_q et le couple C .

1. Comment est produit le flux du rotor ?
2. Donnez un schéma-bloc du système implantable sous Simulink.
3. Donnez une représentation d'état du système.

3 Rappels

Un signal $x(t)$ de période T est décomposable en série de Fourier sous la forme :

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t) \quad (6)$$

où les coefficients de sa série de Fourier s'expriment de la manière suivante :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_T x(t) dt \quad (7)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_T x(t) \cos(k\omega t) dt, \quad k \geq 1 \quad (8)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_T x(t) \sin(k\omega t) dt, \quad k \geq 1 \quad (9)$$

Le théorème de Parseval exprime que l'énergie du signal est la somme des énergies de ses différentes harmoniques, soit :

$$X_{\text{eff}}^2 = a_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} (a_k^2 + b_k^2) \quad (10)$$

Le *taux d'harmoniques* se définit comme le rapport entre la valeur efficace des harmoniques et la valeur efficace du signal :

$$T_H = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} X_k^2}}{X_{\text{eff}}} \quad (11)$$