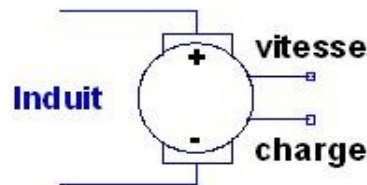


TP n°18 : étude par la simulation d'un moteur à courant continu .

→ But du TP : le but de ce TP de seconde année est l'étude d'un moteur à courant continu en utilisant un modèle du logiciel LTSPICE. On alimentera le moteur par un échelon de tension ou un échelon de couple et on demande de relever les courbes de réponse. On validera ensuite les valeurs du régime permanent en utilisant la représentation de Laplace. Enfin, on alimentera le moteur par une tension de rapport cyclique variable pour faire varier sa vitesse .

1) Présentation du modèle LTSPICE du moteur à courant continu.

Le moteur est symbolisé par le symbole suivant:



Le symbole comporte deux entrées et une sortie.

En entrée :

- la tension appliquée au niveau de l'induit
- le couple résistant C_r du à la charge mécanique à entraîner (ce couple est matérialisé par une source de tension ; une tension de 1V appliquée correspond à un couple de 1 N.m)

En sortie : la vitesse de rotation Ω générée par une source de tension interne (une tension relevée de 1V correspond à une vitesse angulaire de 1 rd/s).

Les attributs du moteur seront à définir dans les fichiers de simulation étudiés.

On désire qu'ils soient conformes au moteur FI75G140 déjà étudié dans le TP précédent et dont les données constructeur figurent en annexe.

Compléter le tableau ci dessous en se référant à la documentation constructeur et en prenant une valeur moyenne pour K_e (constante de f.c.e.m.).

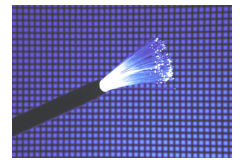
Résistance d'induit : R_m	Inductance d'induit : L_m	Constante de f.e.m. : K_e	Coefficient de frottement visqueux : f	Moment d'inertie : J
			$3 \cdot 10^{-6}$ U.S.I	

2) Comportement du moteur alimenté par un signal échelon.

Ouvrir le fichier « moteur.asc »

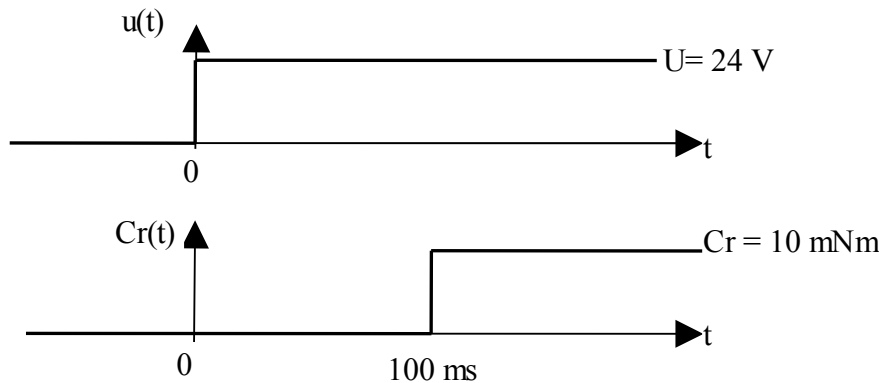
Indiquer les valeurs caractéristiques du moteur.

L'objectif de la simulation est d'étudier le comportement du moteur soumis à un échelon de tension à partir de $t = 0$ et à un échelon de couple à $t = t_0$.



Modifier les attributs des deux sources (clic droit puis renseigner la fenêtre) pour :

- alimenter à $t = 0+$ le moteur sous la tension d'induit nominale
- imposer à partir de $t = t_0$ un couple résistant de valeur $Cr = 10 \text{ mNm}$



$t_1 = 0$	$V_1 = 0$
$t_2 = 0,1\text{m}$	$V_2 = 24$
$t_3 = 10 \text{ m}$	$V_3 = 24$
$t_1 = 0$	$Cr_1 = 0$
$t_2 = 99,99\text{m}$	$Cr_2 = 0$
$t_3 = 100 \text{ m}$	$Cr_3 = 10\text{m}$
$t_4 = 200 \text{ m}$	$Cr_4 = 10\text{m}$

a) *Obtention des courbes de vitesse et de courant d'induit sur l'intervalle [0,200ms] :*

On fera la simulation pour relever :

- l'évolution de la vitesse de rotation
- l'évolution du courant d'induit absorbé

Noter sur les graphes, les grandeurs caractéristiques à savoir :

- I_d : la valeur du courant de démarrage
- Ω_v et Ω_c respectivement les valeurs finales atteintes par la vitesse à vide et en charge
- I_v et I_c respectivement les valeurs finales atteintes par le courant absorbé à vide et en charge

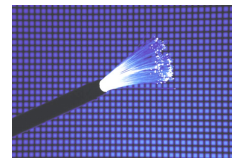
Attention aux unités.

b) *Justification des résultats de simulation.*

En notant $u(t)$ la tension appliquée au niveau de l'induit du moteur et $Cr(t)$ le couple résistant, on rappelle les équations régissant le comportement du moteur :

- aux bornes de l'induit : $u(t) = R_m i(t) + L_m \frac{di(t)}{dt} + K_e \cdot \Omega(t)$ (Équation 1)

- au niveau mécanique : $J \frac{d\Omega(t)}{dt} = K_t \cdot i(t) - f \cdot \Omega(t) - Cr(t)$ (Équation 2)



Dans ces conditions, on admet, en négligeant l'influence de l'inductance de l'induit, que :

- la loi d'évolution de la vitesse est régie par :

$$\frac{R_m J}{Ke^2 + R_m f} \cdot \frac{d\Omega(t)}{dt} + \Omega(t) = \frac{Ke}{Ke^2 + R_m f} u(t) - \frac{R_m}{Ke^2 + R_m f} \cdot Cr(t) \quad (\text{Éq 3})$$

- la loi d'évolution du courant est régi par :

$$\frac{R_m J}{Ke^2 + R_m f} \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) = \frac{J}{Ke^2 + R_m f} \frac{du(t)}{dt} + \frac{f}{Ke^2 + R_m f} \cdot u(t) + \frac{Ke}{Ke^2 + R_m f} \cdot Cr(t) \quad (\text{Éq 4})$$

Dans la suite, pour alléger l'écriture, on posera : $\tau_m = \frac{R_m J}{Ke^2 + R_m f}$

On rappelle qu'une équation diff du premier ordre de la forme : $\frac{\tau \cdot ds(t)}{dt} + s(t) = S_f$ admet comme

solution $s(t) = (S_i - S_f) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + S_f$ avec S_i la valeur initiale et S_f la valeur finale atteinte .

Travail à effectuer :

- Sur l'intervalle de temps (0, 100 ms), réécrire les équations diff avec $u(t) = U$ et $Cr(t) = 0$.
En déduire les valeurs littérales puis numériques de Ω_v et I_v .
Noter la cohérence avec les valeurs obtenues par simulation.
- Sur l'intervalle (100, 200 ms), réécrire les équations diff avec $u(t) = U$ et $Cr(t) = 10 \text{ mNm}$.
En déduire les valeurs littérales puis numériques de Ω_c et I_c .
Noter la cohérence avec les valeurs obtenues par simulation.
- Faire apparaître sur les relevés la constante de temps τ_m .
Valider de façon théorique la valeur obtenue de façon graphique.
- Justifier également l'appel de courant présent lors de la mise en rotation du moteur.

Remarque : On pourra travailler indifféremment avec les équations différentielles, ou avec le formalisme de Laplace pour cela il faudra :

→ traduire les équations 3 et 4 en Laplace

→ établir l'expression de $\Omega(p)$ et de $I(p)$ en exprimant $U(p)$ et $Cr(p)$

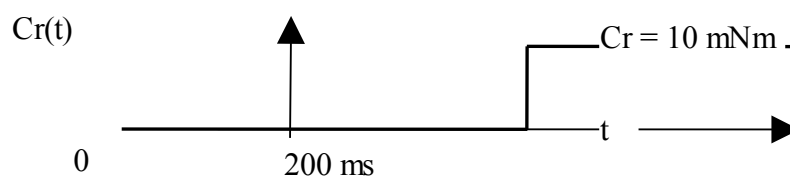
→ établir la valeur finale des grandeurs en utilisant le théorème de la valeur finale :
 $\lim_{t \rightarrow \infty} \Omega(t) = \lim_{p \rightarrow 0} \Omega(p)$

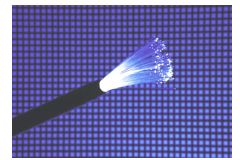
3) étude simulée du comportement du moteur alimenté par un hacheur.

On réutilise le bloc hacheur étudié dans le TP précédent et commandé par un signal de rapport cyclique variable PWM.

Ouvrir le fichier : « moteur-hacheur.asc »

Comme dans l'étude précédente, le moteur devra vaincre un couple résistant conforme à :





a) Courbes :

Sur l'intervalle de temps [0 , 200ms], visualiser:

- l'évolution de la vitesse de rotation du moteur
- l'évolution du courant d'induit absorbé

Noter sur les graphes, les grandeurs caractéristiques à savoir :

- Ω_v et Ω_c respectivement les valeurs atteintes en régime permanent par la vitesse, le moteur fonctionnant à vide et en charge
- $Imoy_v$ et $Imoy_c$ respectivement les valeurs moyennes atteintes en régime permanent par le courant absorbé, le moteur fonctionnant à vide et en charge.

Remarque : pour obtenir la valeur moyenne d'une grandeur affichée, il suffit de cliquer sur l'étiquette de cette grandeur tout en appuyant sur la touche « Ctrl ». La valeur moyenne sera calculée sur l'intervalle de temps de la fenêtre; donc pour obtenir $Imoy$ en régime établi, il faudra au préalable faire un zoom sur l'intervalle de temps adéquat.

Attention aux unités.

Comment se traduit la présence d'une bobine de forte valeur dans le circuit d'induit ?

b) Justification des résultats de simulation.

A cause de l'inertie de la partie tournante, la vitesse n'a pas le temps d'évoluer sur l'intervalle de temps de 100 us ; elle va donc se stabiliser à une valeur moyenne notée Ω_v ou Ω_f .

Le comportement du moteur est toujours décrit par les équations 1 et 2 données page 2 ; il suffit de remplacer L_m par $L + L_m \approx L$.

- Sur l'intervalle de temps (0, 100 ms), $Cr(t) = 0$.

Réécrire les équations 1 et 2 en ne considérant que les valeurs moyennes de chaque grandeur. On aboutit ainsi à 2 équations avec les 2 inconnues Ω_v et $Imoy_v$

Résoudre le système d'équations.

Donner les valeurs littérales puis numériques de Ω_v et $Imoy_v$.

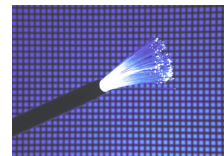
Noter la cohérence avec les valeurs obtenues par simulation.

- Sur l'intervalle de temps (100, 200 ms), $Cr(t) = Cr$.

Effectuer le même raisonnement que dans la question précédente.

Donner les valeurs littérales puis numériques de Ω_c et $Imoy_c$.

Noter la cohérence avec les valeurs obtenues par simulation.



Annexe : caractéristiques du moteur utilisé.

**moteurs à courant continu avec
génératrice tachymétrique asservie
faible inertie - rotor sans fer**

RTG

FI 75G140

Avril 1981

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES	
MOTEUR	GENERATRICE TACHYMETRIQUE
Tension nominale 24 V	Nombre de paires de pôles 72
Vitesse nominale 2800 t/min	Tension obtenue à 3000 t/min > 650 mV
Couple nominal 10 mNm	Fréquence d'oscillation à 3150Hz > 0,11%

Ce moteur présente les caractéristiques suivantes :

- un rotor sans fer supportant un bobinage en oblique et assurant un très bon rendement.
- un faible moment d'inertie permettant à la fois un couple de démarrage élevé et une faible constante de temps.
- un ensemble collecteur-balais assurant une excellente commutation et des paliers auto-lubrifiants qui garantissent une longue durée de vie et un faible niveau de bruit.
- une génératrice tachymétrique équipée d'une roue dentée de 72 dents montée dans le prolongement de l'axe du moteur. Le stator de cette génératrice est constitué d'un boîtier en acier embouti dont la circonférence intérieure reçoit un anneau plastifié aimanté par 72 pôles et une bobine.
- la fréquence et la tension délivrées aux bornes de la bobine sont fonction de la vitesse de rotation et du nombre de paires de pôles.

EXEMPLES D'APPLICATION

Cette association, moteur à courant continu - génératrice tachymétrique est destinée à des applications dans lesquelles la vitesse doit être rigoureusement contrôlée et ou une accélération élevée et un excellent rendement sont demandés.

- magnétophones Hi Fi
- magnétoscopes
- lecteurs de cartes
- enregistreurs de mesures, etc.

CARACTERISTIQUES GENERALES

Les caractéristiques de fonctionnement sont données pour une température ambiante de 22±5°C une pression atmosphérique de 890 à 1090 mbar et une humidité relative de 45 à 75%.

RTG FI 75 G 140 - Page 3

MOTEUR TYPE	FI 75 G 140
Tension nominale V	24
Vitesse à vide t/min	3200 voir fig. 2
Vitesse en charge nominale t/min	2800
Couple de démarrage minimal mNm	69
Couple nominal mNm	10
Courant à vide maximal mA	14,5
Courant en charge maximal mA	180.
Tension induite mV/t/min	6,3 à 8,3
Courant d'entrée spécifique mA/mNm	12,5 à 16,5
Résistance du rotor mΩ	24,5 ± 10 %
Inductance du rotor mH	3,3
Puissance d'entrée W	4,3
Température ambiante de fonctionnement °C	-10 à +60
de stockage °C	-40 à +70
Catégorie climatique CEM 68	10/050/21
Résistance d'isolement entre sorties et masse du boîtier MΩ	> 2
Tension d'essai (50 Hz) entre sorties et masse du boîtier pendant 1 minute V	250
Moment d'inertie du rotor gm ²	41
Constante de temps mécanique ms	20
Sens de rotation	réversible autolubrifiants
Paliers	
Force radiale maximale à 8 mm du plan de montage N	5
Force axiale maximale N	0,5
Poids approximatif g	225

VALEURS LIMITES DE FONCTIONNEMENT

Ces valeurs maximales permettent un fonctionnement sans détérioration, mais limitent considérablement la durée de vie.

MOTEUR TYPE	FI 75 G 140
Tension V	30
Couple mNm	20
Courant mA	275
Vitesse t/min	4000
Puissance de sortie W	5
Pointe de courant répétitive 10 ms-1 Hz mA	1200
Tension max. permettant le blocage continu du rotor V	10,5