

PARTIE 2 - PROJET ELECTRICITE

Répondre sur des copies différentes de celles utilisées pour la partie Projet Mécanique

Afin d'assurer les fonctions de services FS1 et FS3 (figure 3, tableau 1), il est nécessaire de mettre en œuvre un ensemble de puissance (transformateur, convertisseur, moteur électrique-chaîne cinématique) et sa partie contrôle-commande. Le schéma global de l'installation est représenté ci-dessous.

Principales hypothèses

L'ensemble mécanique préalablement décrit à la figure 1 se résume, pour l'étude de la partie électrique, à : un réducteur (de rapport de réduction $k_r = \Omega_p / \Omega_m$), une seule poulie d'inertie J_{pm} , un câble, un chariot-tracteur et le véhicule de transport.

La résistance au roulement de l'ensemble mobile (câble-lanceur, chariot-tracteur et véhicule de transport) se traduit par une force supposée constante F_r s'opposant au déplacement (composante tangentielle de la force de résistance au roulement appelée T en mécanique).

On néglige les frottements visqueux et l'on suppose les pertes ferromagnétiques et mécaniques de la machine à courant continu négligeables. Le rendement du réducteur ainsi que celui de l'ensemble poulie-courroie sont respectivement notés η_r et η_p .

La vitesse de glissement du câble-lanceur par rapport à la poulie est considérée nulle.

La machine électrique utilisée est une machine à courant continu à excitation séparée dont les caractéristiques sont données en annexe (document DAE 1).

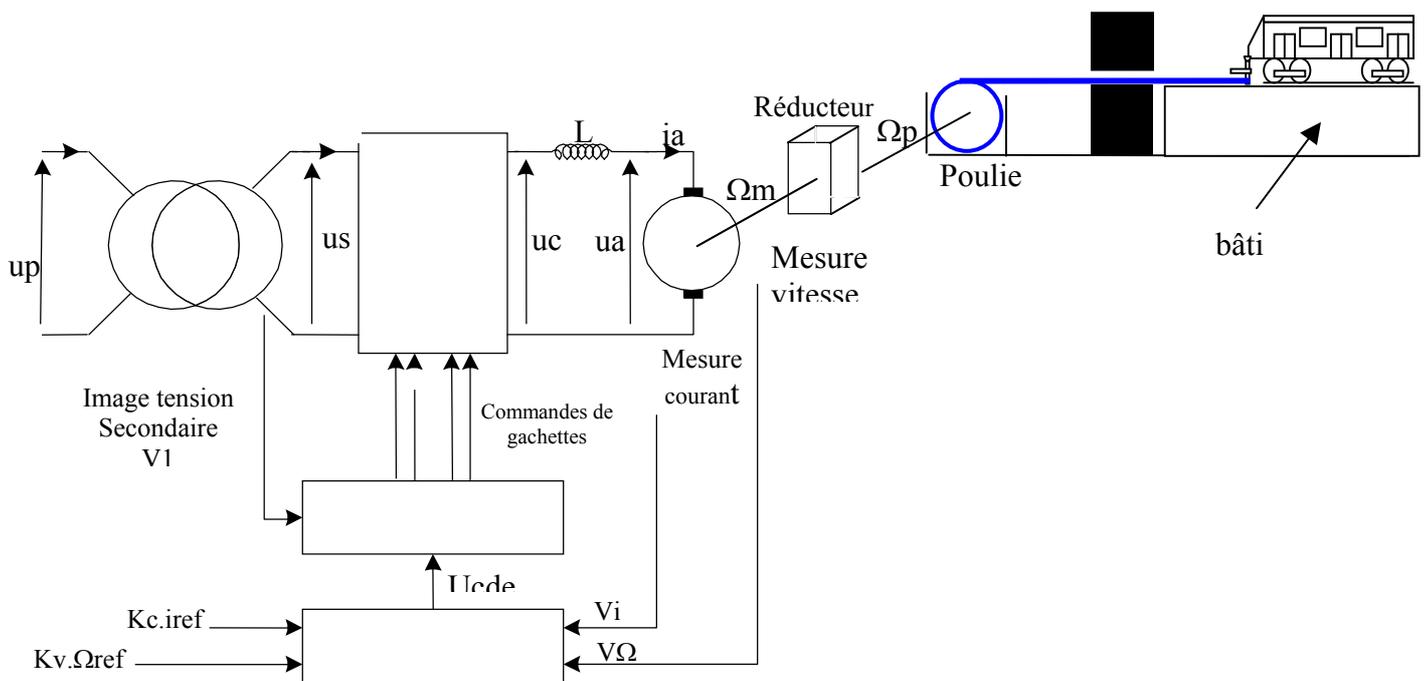


Figure E1

Notations et valeurs numériques utilisées

•	u_a : la tension instantanée aux bornes de l'induit (en V)	
•	i_a : le courant instantané dans l'induit (en A)	
•	e : la f.é.m. instantanée induite dans le bobinage induit (en V)	
•	R_a : la résistance d'induit (en Ω)	
•	L_a : l'inductance de l'induit (en H)	
•	C_{em} : le couple électromécanique développé au niveau de l'induit (en N.m)	
•	C_u : le couple utile en sortie de l'arbre moteur ($C_u = C_{em}$ d'après les hypothèses) (en N.m)	
•	C_r : couple résistant ramené sur l'arbre de la machine (en N.m)	
•	F_r : force s'opposant au déplacement (en N)	2298
•	Ω_m : la vitesse de rotation de la M.C.C. (en rad./ s)	
•	N_m : la vitesse de rotation de la M.C.C. (en tr / min)	
•	Ω_p : la vitesse de rotation de la poulie (en rad./ s)	
•	K : la constante de couple (en N.m / A)	
•	J_{pm} : l'inertie de la poulie (en $kg.m^2$)	100
•	J_m : l'inertie du rotor de la M.C.C. (en $kg.m^2$)	3
•	J_{eq} : inertie équivalente ramenée sur l'arbre de la machine (en $kg.m^2$)	
•	M_v, M_{ct}, M_c les masses respectives du véhicule, du chariot-tracteur et du câble-lanceur (en kg)	2000
•	M_v	30
•	M_{ct}	315
•	M_c	
•	k_r : le rapport de réduction du réducteur	0,3
•	η_r, η_p les rendements respectifs du réducteur et de l'ensemble poulie-courroie	0,82
•	D : diamètre de la poulie (en m)	1

PARTIE A : PUISSANCE (Motorisation et convertisseur)

Les profils dimensionnant la M.C.C. sont les suivants :

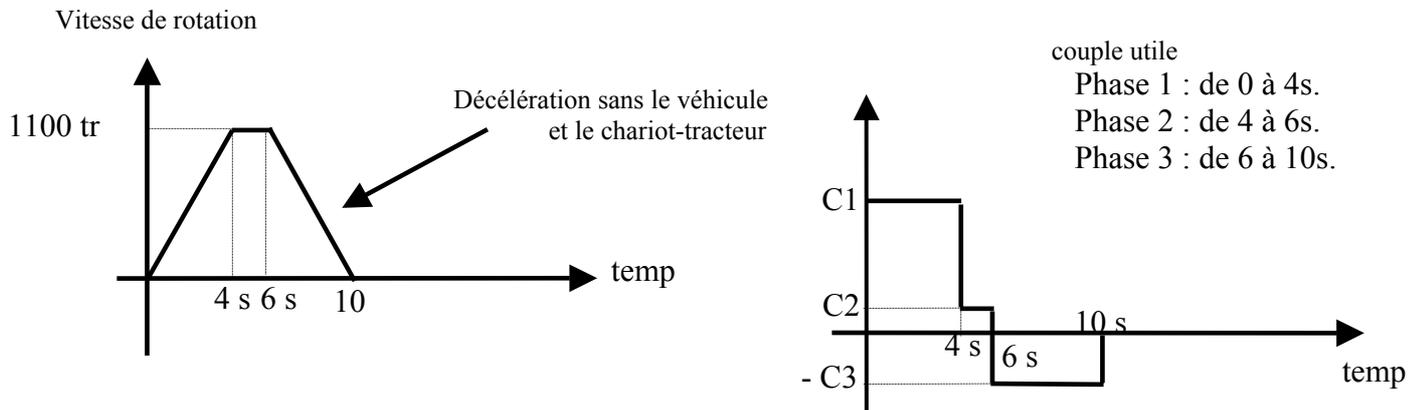


Figure E2

Motorisation

Question 1. Exprimer le couple résistant C_r , dû à la force F_r , ramené sur l'arbre moteur en fonction de D , F_r , η_r , η_p et k_r .
Effectuer l'application numérique.
Lorsque le véhicule de transport est désolidarisé du câble, $C_r = 0$.

Question 2. L'arbre de la M.C.C. présente une inertie J_m de 3 kg.m^2 . En exprimant les énergies cinétiques des différentes parties en mouvement, déterminer littéralement (en respectant les notations proposées), puis numériquement les inerties équivalentes ramenées sur l'arbre de la machine pour les phases 1 et 3 de fonctionnement.

On ne tiendra pas compte de la modification du moment d'inertie de la poulie ainsi que de celle de la masse du câble en translation, durant l'enroulement. On gardera donc $J_{pm} = 100 \text{ kg.m}^2$ et $M_c = 315 \text{ kg}$.

Question 3. Vérifier alors que $C_1 = 3175 \text{ N.m}$, $C_2 = 513 \text{ N.m}$ et $C_3 = -436 \text{ N.m}$.

Question 4. Montrer que la M.C.C. choisie permet d'assurer ces profils et déterminer la constante de couple K pour le courant d'excitation nominale.

Question 5. Préciser le mode de fonctionnement de la M.C.C. pour chacune des trois phases.

Convertisseur

Dans un premier temps, le convertisseur d'électronique de puissance est constitué d'un pont monophasé tout thyristor.

On suppose que la charge est assimilable à une source de courant constant de valeur I_0 .

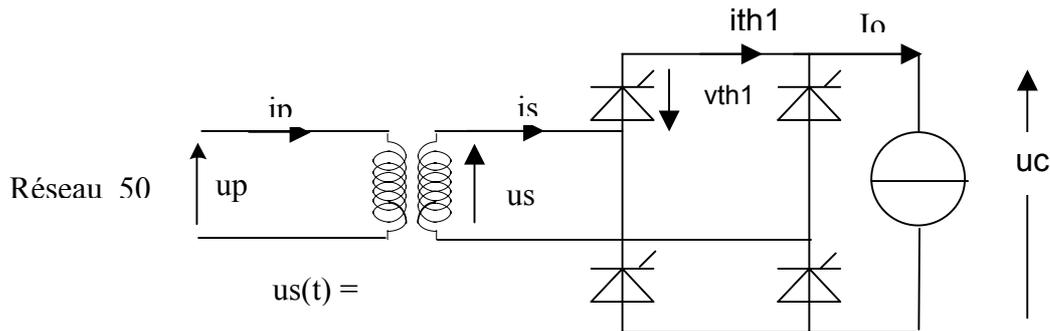


Figure E3

On appelle ψ l'angle de retard à l'amorçage du thyristor.

- Question 6.** Rappeler les conditions d'amorçage et de blocage d'un thyristor et préciser la signification de l'angle de retard à l'amorçage.
- Question 7.** Pour un angle ψ de 45° :
- Tracer sur un même chronogramme, les allures de la tension instantanée $us(t)$ au secondaire du transformateur, de la tension $uc(t)$ aux bornes de la charge et de la tension instantanée $v_{th1}(t)$ aux bornes du thyristor $th1$.
 - Sur un autre chronogramme, tracer l'allure du courant instantané $is(t)$ fourni par le secondaire du transformateur ainsi que celle ($ith1$) circulant dans le thyristor $th1$.
- Question 8.** Donner l'expression de la valeur moyenne uc_{moy} de la tension redressée uc , et du facteur de puissance vu du secondaire.
- Question 9.** La charge est maintenant constituée de la M.C.C. associée à une inductance de lissage (voir figure E1). Quelle relation existe-t-il entre u_a et u_c (i_a périodique et strictement positif) ?
- Question 10.** Préciser les quadrants de fonctionnement du convertisseur. Correspondent-ils aux besoins de l'application ?
On dispose de deux convertisseurs identiques à celui étudié précédemment ; proposer une association permettant d'assurer les profils de couple et de vitesse.

Pour la suite du sujet, on prendra $uc_{moy} = 440 \cdot \cos(\psi)$ avec $0 \leq \psi \leq \pi$.

PARTIE B : CONTROLE-COMMANDE
(Commande rapprochée du convertisseur et régulation)

Commande rapprochée

Le but de la commande rapprochée (figure E1) est de générer le retard à l'amorçage ψ en fonction de la tension U_{cde} de façon à ce qu'il y ait linéarité entre u_{cmoy} et U_{cde} . Le convertisseur considéré est un pont monophasé tout thyristor (figure E3). Il s'agit d'une commande numérique (figure E4) constituée :

- d'une détection de passage par zéro délivrant une impulsion logique.
- d'une multiplication de fréquence générant un signal logique périodique de fréquence 512 fois plus élevée que celle du réseau électrique.
- d'une mémoire.
- d'un décompteur pré-positionnable (voir document DAE2).

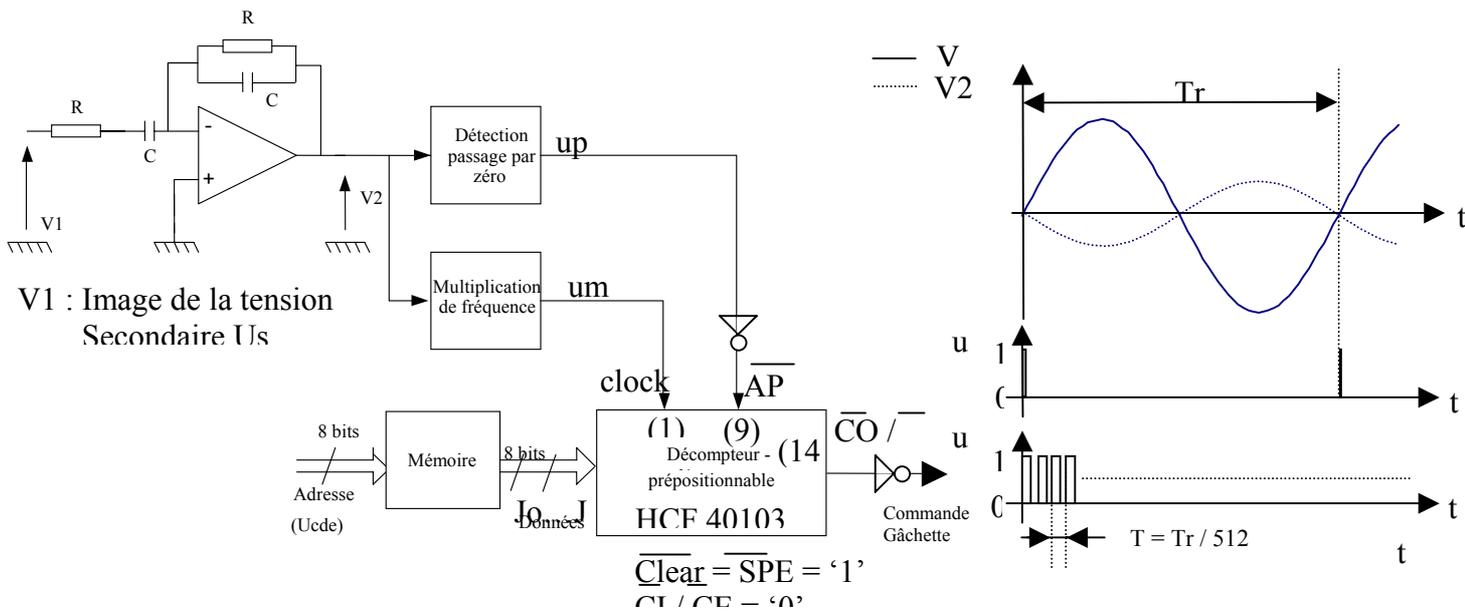


Figure E4

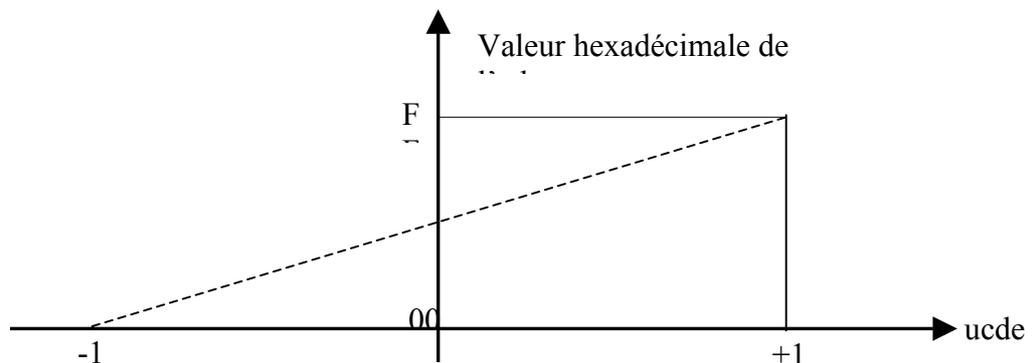
Question 11. Quelle relation doit-il exister entre ψ et U_{cde} pour obtenir $u_{cmoy} = 440 \cdot U_{cde}$ avec $-1 \leq U_{cde} \leq 1$? Représenter l'allure de l'angle de retard à l'amorçage ψ en fonction de U_{cde} en précisant les valeurs extrémales.

Question 12. L'amplificateur opérationnel étant supposé parfait, montrer que

$$H(j\omega) = \frac{V_2(j\omega)}{V_1(j\omega)} = \frac{-j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2 \cdot j \cdot \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{-\frac{1}{2}}{1 + j \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Tracer les diagrammes de Bode (gain et phase) pour $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ rad.s}^{-1}$.

- Question 13.** Le mot de données en sortie de mémoire est 01010101 (bit de poids faible à droite). En vous aidant de la documentation constructeur relative au décompteur (document DAE2), représenter sur un même graphe les tensions v_1 , v_2 , le signal \overline{APE} ainsi que le signal « commande gâchette » en renseignant avec précision l'axe des temps. Etablir la relation liant ψ à la valeur décimale (binaire naturel) du mot de données de huit bits.
- Question 14.** La mémoire réalise de façon numérique la loi établie à la question 11. L'adresse correspond à U_{cde} codé sur huit bits (codage linéaire conformément à la figure E5), les données représentent la valeur de ψ codée sur huit bits en binaire naturel. Proposer une relation permettant de déterminer le contenu de la mémoire.
- Question 15.** En pratique, des tensions parasites s'ajoutent à la tension v_1 , créant des passages intempestifs par zéro, et la fréquence du réseau varie au cours du temps ($f_{réseau} = 50 \text{ Hz} + \Delta f$). Après analyse des diagrammes de Bode de la question 12., que pensez-vous du choix du filtre ?



Figure

Ensemble de régulation

Durant la phase 1, il est nécessaire d'assurer une accélération de $4,17 \text{ m.s}^{-2}$ pour le véhicule, lors de la phase 2, sa vitesse doit atteindre 60 km/h. L'étude de l'ensemble de régulation porte seulement sur ces deux phases.

- Question 16.** Le schéma bloc associé à l'ensemble de régulation est représenté à la figure E6. Préciser les grandeurs asservies lorsque le commutateur est en position 1, puis, lorsqu'il est en position 2.
- Question 17.** Lors de la phase 1, le commutateur est en position 1, il passe en position 2 pour la phase 2. Justifier ce choix de pilotage.
- Question 18.** Donner l'expression littérale des fonctions de transfert (en respectant les notations proposées dans le tableau de la page 2/9) $\underline{H}_1(j\omega)$, $\underline{H}_2(j\omega)$, $\underline{H}_3(j\omega)$ et $\underline{H}_4(j\omega)$ intervenant dans la modélisation de la machine à courant continu associée à sa charge mécanique. Quelle relation existe-t-il entre $\underline{H}_m(j\omega) = \frac{\underline{I}_a(j\omega)}{\underline{U}_a(j\omega)}$ et les fonctions de transfert précédentes lorsque le couple résistant est supposé nul ? L'application numérique donne : $\underline{H}_m(j\omega) = \frac{7,26 \cdot j\omega}{(1 + 0,3 \cdot j\omega) \cdot (1 + 0,002 \cdot j\omega)}$.
- Question 19.** Pour l'obtention de la phase 1, le commutateur est positionné en 1. La fonction de transfert du bloc « correcteur-courant » a pour expression $\frac{10 \cdot (1 + 0,3 \cdot j\omega)}{j\omega}$. Vérifier que $\frac{\underline{I}_a(j\omega)}{\underline{I}_{ref}(j\omega)} \approx \frac{I}{1 + 6 \cdot 10^{-6} j\omega}$ (couple résistant supposé nul). En déduire l'expression de i_a en fonction du temps et tracer son allure lorsque $K_c \cdot I_{ref}$ est un échelon de tension d'amplitude 9,94 Volts. On suppose les conditions initiales nulles. Déterminer alors l'expression de Ω_m en fonction du temps et tracer son allure.
- Question 20.** Une simulation de l'ensemble décrit à la figure E6 a été effectuée avec les hypothèses suivantes :
- Prise en compte du couple résistant $C_r = 703 \text{ N.m}$.
 - $K_v \cdot \Omega_{ref} = cte = 9,2 \text{ V}$.
 - La tension $K_c \cdot I_{ref}$ n'est plus un échelon mais une rampe allant de 0 à 9,94 V en 1s, suivie d'un palier constant de 9,94 V.
 - Le bloc « correcteur-vitesse » est de type proportionnel intégral.
 - Le commutateur est positionné en 1 pour $0 \leq t < 4 \text{ s}$ et passe instantanément en position 2 à l'instant $t = 4 \text{ s}$.

Les résultats de la simulation sont donnés à la figure E7.

Justifier l'allure de la vitesse pour $0 < t < 1 \text{ s}$.

Commenter le passage de la phase 1 à la phase 2.

L'évolution temporelle de la vitesse s'apparente à une courbe dite « courbe en S » ; quel en est l'intérêt pour notre application ?

Fin de l'énoncé

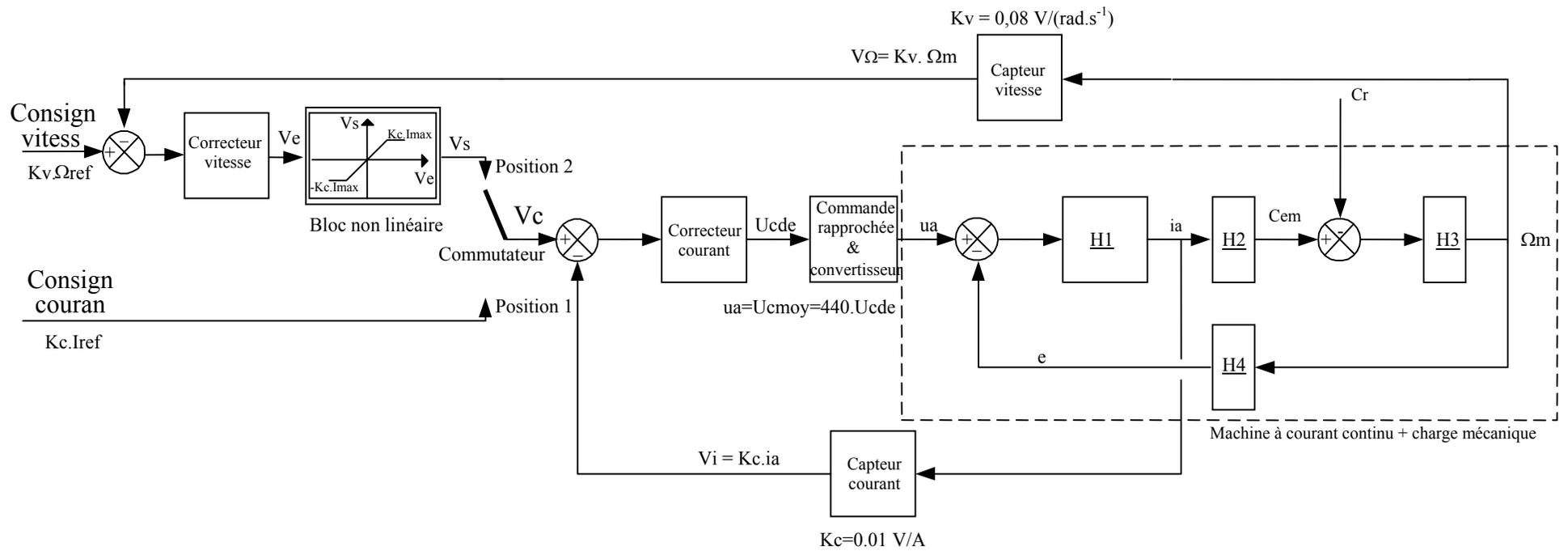


Figure E6

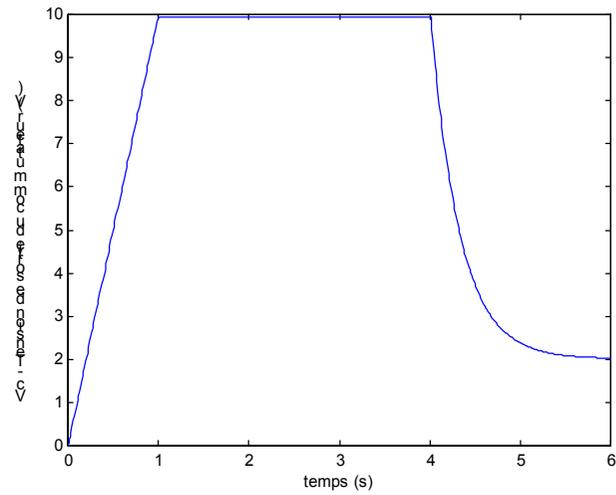
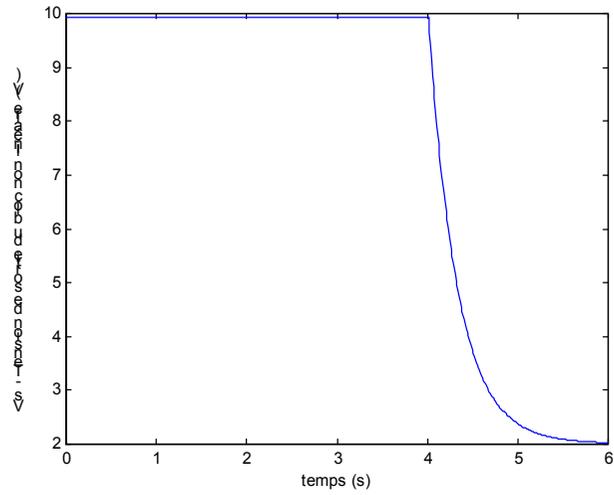
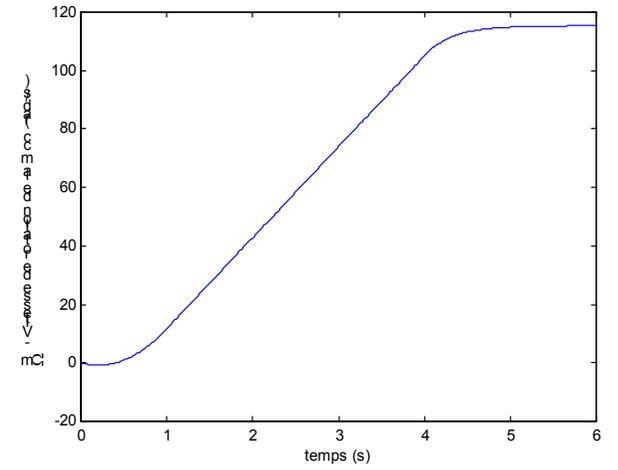
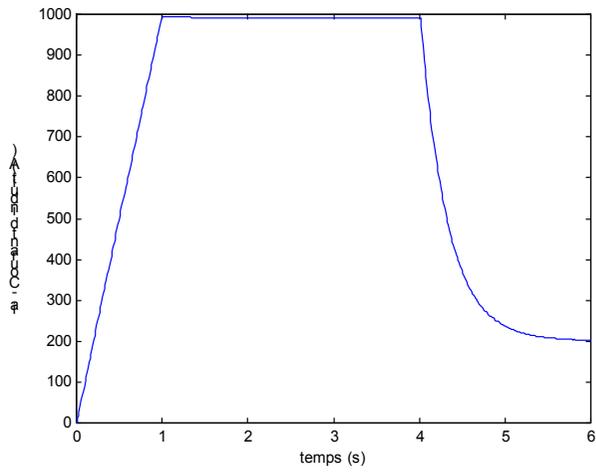
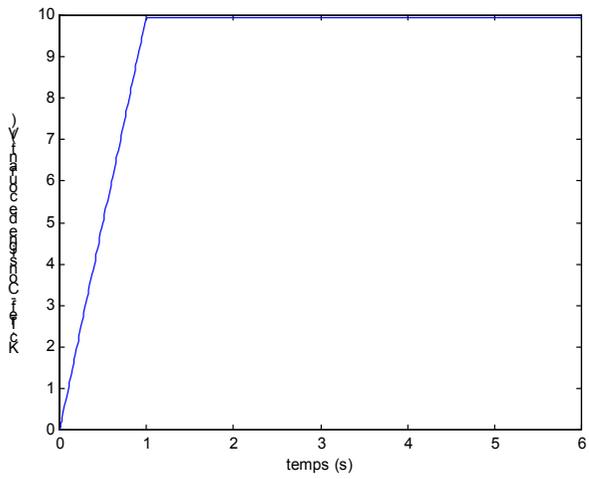


Figure E7

ANNEXES

PARTIE 2 – PROJET ÉLECTRICITÉ

Document DAE1

General data Caractéristiques generale Generelle Daten		$I_{max}/I_N = 180\%$	$J = 3.0 \text{ kgm}^2$	$P_f = 4900 \text{ W}$	$p_\Delta = 1800 \text{ Pa}$					
		$T_{max}/T_N = 160\%$	$n_0 = 10 \text{ min}^{-1}$	$V_{diss} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$	$W = 1000 \text{ kg}$					
$U_N \text{ (V)}$									Cat. No.	
400	440	470	520	550	620	750	815	No de catalogue Bestellnummer		
		$n \text{ (min}^{-1}\text{)}$	U_{vN} (V)	U_{Nmax} (V)	P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min ⁻¹)	n_3 (min ⁻¹)
473			400	400	101	299	2044	81.5	1419	1419
528			400	440	113	299	2043	83.0	1475	1583
569			400	470	122	299	2042	83.9	1476	1707
637			500	520	136	299	2039	85.1	1478	1912
678			500	550	145	298	2037	85.8	1479	1922
774			500	620	165	298	2033	87.1	1481	1925
952			690	750	202	297	2025	88.8	1484	1930
621			400	400	131	374	2019	85.2	1512	1863
690			400	440	146	374	2018	86.2	1512	1966
742			400	470	157	374	2016	86.9	1513	1967
829			500	520	175	373	2012	87.9	1516	1970
881			500	550	185	373	2009	88.4	1517	1972
1005			500	620	202	356	1917	89.5	1587	2063
800			400	400	171	484	2043	86.4	2400	2400
888			400	440	190	484	2042	87.3	2665	2665
955			400	470	203	482	2032	87.9	2864	2864
1066			500	520	225	478	2015	88.8	3086	3197
1132			500	550	238	476	2004	89.2	3100	3397
1288			500	620	267	471	1980	90.0	3134	3400
1576			690	750	319	461	1934	91.1	3200	3400
1721			690	815	345	456	1912	91.5	3233	3400
1016			400	400	217	602	2044	88.6	2929	3049
1126			400	440	241	602	2042	89.3	2929	3377
1208			400	470	258	602	2040	89.8	2929	3400
1346			500	520	283	593	2007	90.4	2973	3400
1429			500	550	297	587	1985	90.7	3003	3400
1622			500	620	328	573	1934	91.3	3076	3400



Symbols used in data tables / Symboles utilisés dans les tableaux de données / In Datentabellen verwendete Symbole

I_N	Nominal (rated) armature current	Courant d'induit nominal (assigné)	Nominaler (Nenn-) Läuferstrom
I_{max}/I_N	Maximum overload in current	Surcharge maximale de courant	Maximale Stromüberlastung
J	Moment of inertia	Moment d'inertie	Trägheitsmoment
L_a	Armature inductance, theoretically at 0 Hz	Inductance d'induit, théoriquement à 0 Hz	Läuferinduktivität, theoretisch bei 0 Hz
n	Catalogue base speed (without trimming)	Vitesse de base catalogue (sans trimming)	Katalog-Grundgeschwindigkeit (ohne Trimmer)
n_0	Minimum speed at constant torque	Vitesse minimale à couple constant	Max. Geschwindigkeit bei konstantem Drehmoment
n_2	Electrical speed limit at rated load, continuous drive ¹⁾	Limite de vitesse électrique à charge nominale, entraînement continu ¹⁾	Elektrische Geschwindigkeitsbegrenzung bei Nennlast, kontinuierlicher Betrieb ¹⁾
n_3	Electrical speed limit at rated load, interrupted drive ¹⁾	Limite de vitesse électrique à charge nominale, entraînement interrompu ¹⁾	Elektrische Geschwindigkeitsbegrenzung bei Nennlast, unterbrochener Betrieb ¹⁾
n_{re}	Real maximum speed in operation	Vitesse maximale réelle en service	Tatsächliche maximale Geschwindigkeit im Betrieb
n_{max}	Mechanical speed limit	Limite de vitesse mécanique	Mechanische Geschwindigkeitsgrenze
P	Mechanical power	Puissance mécanique	Mechanische Leistung
P_f	Excitation power	Puissance d'excitation	Erregerleistung
p_Δ	Static air pressure drop	Chute de pression, air statique	Druckfall
R_a	Armature resistance at 130 °C (115 °C for class F utilization)	Résistance d'induit à 130 °C (115 °C pour utilisation classe F)	Läuferwiderstand bei 130 °C (115 °C für Ausnutzung Isolierstoffklasse F)
T	Torque	Couple	Drehmoment
T_{max}/T	Maximum overload in torque	Surcharge maximum de couple	Maximale Drehmomentüberlast
U_N	Nominal (rated) armature DC-voltage related to U_{vN}	Tension c.c. d'induit nominale (assignée) par rapport à U_{vN}	Nominale (Nenn-) Läufer-Gleichstromspannung relativ zu U_{vN}
U_{Nmax}	Maximum armature voltage	Tension d'induit maximale	Maximale Läuferspannung
U_{IN}	Rated DC-voltage of field exciter according to table on next side	Tension c.c. assignée d'excitation de champ selon le tableau de la page suivante	Nenn-Gleichstromspannung des Felderregers gemäß Tabelle auf der nächsten Seite
U_{vN}	AC supply voltage at rated load ²⁾	Tension d'alimentation c.a. à charge nominale ²⁾	Wechselstrom-Versorgungsspannung bei Nennlast ²⁾
V_{diss}	Volume of cooling air (for heat dissipation)	Volume d'air de refroidissement (pour la dissipation de la chaleur)	Luftvolumen Kühlluft (zur Wärmeableitung)
W	Weight	Poids	Gewicht
η	Efficiency according to IEC	Rendement selon CEI	Leistung gemäß IEC

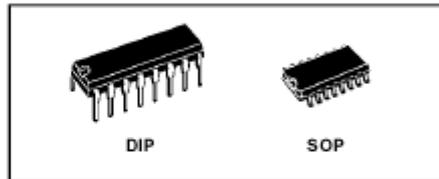
¹⁾ Detailed explanation see the chapter "Electrical design"
Explications détaillées, voir le chapitre "Conception électrique"
Genauere Erklärung siehe Kapitel "Elektrische Ausführung"

²⁾ May be different for armature and field circuits
Peut être différente pour les circuits d'induit et de champ
Kann für Läufer- und Feldkreise unterschiedlich sein

HCF40103B

8-STAGE PRESETTABLE SYNCHRONOUS 8 BIT BINARY DOWN COUNTERS

- SYNCHRONOUS OR ASYNCHRONOUS PRESET
- MEDIUM -SPEED OPERATION :
 $f_{CL} = 3.6\text{MHz}$ (Typ.) at $V_{DD} = 10\text{V}$
- CASCADABLE
- QUIESCENT CURRENT SPECIF. UP TO 20V
- 5V, 10V AND 15V PARAMETRIC RATINGS
- INPUT LEAKAGE CURRENT
 $I_l = 100\text{nA}$ (MAX) AT $V_{DD} = 18\text{V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$
- 100% TESTED FOR QUIESCENT CURRENT
- MEETS ALL REQUIREMENTS OF JEDEC JESD13B "STANDARD SPECIFICATIONS FOR DESCRIPTION OF B SERIES CMOS DEVICES"



ORDER CODES

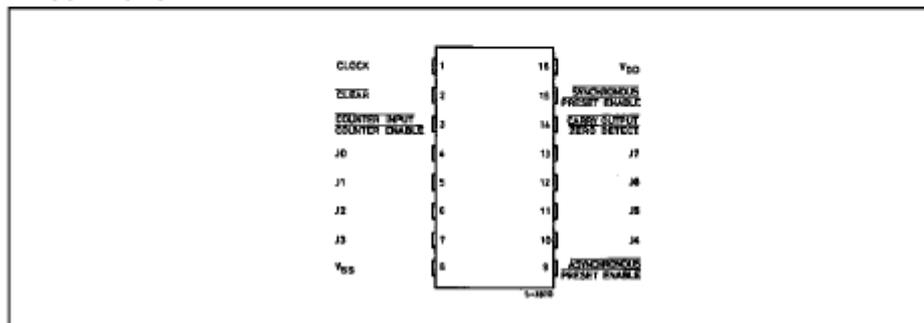
PACKAGE	TUBE	T & R
DIP	HCF40103BEY	
SOP	HCF40103BM1	HCF40103M013TR

DESCRIPTION

HCF40103B is a monolithic integrated circuit fabricated in Metal Oxide Semiconductor technology available in DIP and SOP packages. HCF40103B consists of an 8-stage synchronous down counter with a single output that is active when the internal count is zero. This device contains a single 8-bit binary counter. It has control inputs for enabling or disabling the clock, for clearing the counter to its maximum count, and for presetting the counter either synchronously or asynchronously. All control inputs and the CARRY-OUT/ZERO DETECT output are active-low logics. In normal operation, the counter is decremented by one count on each positive transition of the CLOCK. Counting is inhibited when the CARRY-IN/COUNTER ENABLE (CI/

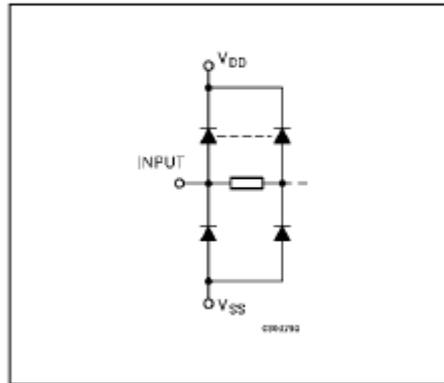
CE) input is high. The CARRY-OUT/ZERO DETECT (CO/ZD) output goes low when the count reaches zero if the CI/CE input is low, and remains low for one full clock period. When the SYNCHRONOUS PRESET ENABLE (SPE) input is low, data at the JAM input is clocked into the counter on the next positive clock transition regardless of the state of the CI/CE input. When the ASYNCHRONOUS PRESET ENABLE (APE) input is low, data at the JAM inputs is asynchronously forced into the counter regardless of the state of the SPE, CI/CE, or CLOCK inputs. JAM inputs J0-J7 represent a single 8 bit binary word. When the CLEAR (CLR) input is low, the counter is asynchronously cleared to its maximum count (255_{10}) regardless of the state of any other input. The precedent relationship between control input is indicated in the truth table. If all control

PIN CONNECTION



inputs are high at the time of zero count, the counters will jump to the maximum count, giving a counting sequence of 256 clock pulses long.

INPUT EQUIVALENT CIRCUIT

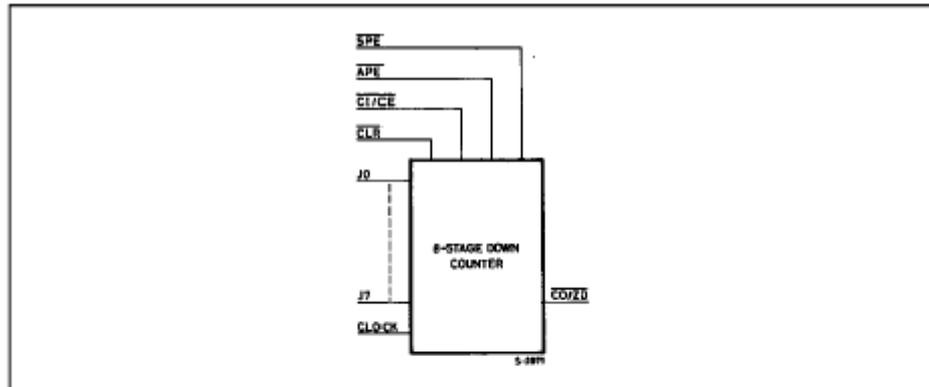


HCF40103B may be cascaded using the $\overline{CI/CE}$ input and the $\overline{CO/ZD}$ output, in either a synchronous or ripple mode.

PIN DESCRIPTION

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1	CLOCK	Clock Input (LOW to HIGH edge triggered)
2	$\overline{\text{CLEAR}}$	Asynchronous Master Reset Input (Active Low)
3	$\overline{CI/CE}$	Terminal Enable Input
4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13	J0 to J7	Jam Inputs
9	\overline{APE}	Asynchronous Preset Enable Inputs (Active Low)
14	$\overline{CO/ZD}$	Terminal Count Output (Active Low)
15	\overline{SPE}	Synchronous Preset Enable Input (Active Low)
8	V_{SS}	Negative Supply Voltage
16	V_{DD}	Positive Supply Voltage

FUNCTIONAL DIAGRAM



TRUTH TABLES

CONTROL INPUTS				PRESET MODE	ACTION
$\overline{\text{CLR}}$	$\overline{\text{APE}}$	$\overline{\text{SPE}}$	$\overline{\text{CI/CE}}$		
H	H	H	H	Synchronous	Inhibit Counter
H	H	H	L		Count Down
H	H	L	X		Preset on Next Positive Clock Transition
H	L	X	X	Asynchronous	Preset Asynchronously
L	X	X	X		Clear to Maximum Count

X : Don't Care
 Clock connected to Clock input
 Synchronous Operation : changes occur on negative to positive clock transitions.

TIMING CHART

