
MOTEUR CC à excitation séparée en régime de fonctionnement STATIQUE

Etude du moteur Leroy-Somer ref LSK 1124M-05

Un	260	V
Pun	8200	W
Nn	1200	tr/mn
Cun	65	Nm
In	40	A
η	0,79	
L	0,014	H
R	1,39	Ω

1- *Constante de couple*

1.1- Calculer Ω_n

1.2- Calculer E_n. En déduire K.

1.3- Calculer la valeur nominale C_n du couple moteur C_m.

Comparer la valeur trouvée aux données constructeur. Conclusion.

2- *Caractéristique électrique*

2.1- Établir la relation littérale $I(E)$ avec pour paramètres U et R.

2.2- Pour $U = U_n$, calculer $I_{\max}$, valeur du courant lorsque le moteur démarre. Que vaut alors le couple moteur ?

2.3- Si l'on connecte brusquement le moteur, départ arrêté, à une source de tension de valeur égale à U_n, combien faut-il de temps pour que le courant atteigne 95% de cette valeur ?

2.4- Conclusion : on veut assurer un démarrage "en douceur" du moteur, avec un couple de démarrage tel que $C_d = 1{,}6C_n$. Quelle doit être la valeur U_d de la tension d'alimentation à cet instant ?

3- *Bilan des puissances en <u>fonctionnement nominal</u>*

3.1- Calculer P_a et P_{JR}

3.2- Conversion électro-mécanique : calculer successivement P_{em} par $P_{em} = P_a - P_{JR}$, puis $P_{em} = E_nI_n$, enfin par $P_{em} = C_m\Omega_n$.

3.3- Comparer ces résultats aux données constructeur (P_u et η). Conclusion : que peut-on dire des pertes "Fer" ?

4- *Réseau de caractéristiques mécaniques statiques*

4.1- Établir la relation $C_m(\Omega)$ avec pour paramètres K, U et R.

4.2- Calculer $C_d = C_m(0)$ (couple de démarrage) et la vitesse à vide $\Omega_{\max}$ puis $N_{\max}$ pour $U = 0{,}25U_n$; $0{,}5U_n$; $0{,}75U_n$; U_n .

4.3- Tracer le réseau de caractéristiques statiques du moteur dans le plan $C_m(N)$ pour $0 \leq C_m \leq 100$ Nm. *Échelle* :

X : 10 cm ↔ 2000 tr/mn. Graduer également cet axe en volts (valeurs de E)

Y : 10 cm ↔ 100 Nm. Graduer également cet axe en ampères (valeurs de I)

5- *Point de fonctionnement de l'ensemble { moteur + charge } <u>sous tension nominale</u>*

5.1- On pose $C_m = -A.N + B$. Calculer A et B pour $U = U_n$.

Au point de fonctionnement de l'ensemble {moteur + charge}, on a : $C_m = C_r$. Dans chacun des cas suivants, calculer les coordonnées (vitesse en tr/mn et couple) de ce point pour $U = U_n$:

5.2- Couple résistant constant (ex. : traction) : $C_r = C_{un} = 65$ Nm

5.3- Couple résistant proportionnel à la vitesse (ex. : pompe) : $C_r = f_1.N$ avec $f_1 = 0{,}03$

5.4- Couple résistant proportionnel au carré de la vitesse (ex. : ventilateur) : $C_r = f_2.N^2$ avec $f_2 = 2.10^{-5}$.

ISBN 2-9520781-2-2

6- ***Réglage de la vitesse du moteur par variation de la tension d'alimentation***

6.1- Au point de fonctionnement de l'ensemble {moteur + charge}, on a : $C_m = C_r$. Établir la relation $\Omega(U)$ avec pour paramètres K, C_r et R.

Cas particulier du fonctionnement à vide : écrire cette relation sous sa forme simplifiée si $C_r = 0$,

6.2- C_r est un couple de frottements secs constant C_f . Calculer la tension de seuil de démarrage U_0 à partir de laquelle le moteur peut démarrer. En déduire la relation $N(U)$. A.N.: $C_f = 5$ Nm.

6.3- C_r est un couple tel que :$C_r = f_1.N + C_f$. Établir la relation $N(U)$. A.N.: $f_1 = 0{,}03$; $C_f = 5$ Nm.

6.4- Tracer les courbes de réglage de la vitesse $N(U)$ pour $0 \leq U \leq 260$ V, dans ces deux cas.

7- ***Étude des performances du moteur seul***

7.1- Établir les relations $P_a(\Omega)$, $P_{em}(\Omega)$ et $\eta(\Omega)$ lorsque le moteur est alimenté sous sa tension nominale ($U = U_n$).

7.2- Montrer que P_{em} est maximale pour une valeur Ω_P que l'on précisera. A.N : calculer P_{em}, N et η , C_m et I en ce point. Ce point de fonctionnement est-il réellement utilisable ?

7.3- Montrer que le rendement η est maximal pour $\Omega = \Omega_{max}$ (vitesse à vide).

7.4- Tracer les courbes $P_a(N)$ $P_{em}(N)$ et $\eta(N)$ pour $0 \leq N \leq N_{max}$.

8- ***Fonctionnement en survitesse***

Le constructeur indique que la vitesse de rotation de la machine ne doit pas dépasser 2380 tr/mn.

On suppose que le moteur fonctionne à vide ($C_r = 0$). On néglige la résistance R.

Pour des vitesses inférieures à la vitesse de base Ω_{max}, , le moteur est alimenté sous une tension d'induit variable (comme en Q. 6.1). La constante de couple k a pour valeur K calculée en Q. 1.2. Cette grandeur est dans ce cas indépendante de la vitesse.

8.1- Pour des vitesses supérieures à la vitesse de base Ω_{max}, l'excitation est commandée par une chaîne auxiliaire. La tension d'induit est maintenue constante ($U = U_n$). Etablir la relation $k(\Omega)$ avec pour paramètres K et Ω_{max}.

8.2- Tracer la courbe $k(N)$ pour $0 \leq N \leq 2380$ tr/mn.

MOTEUR CC à excitation séparée en régime variable

On donne : moment d'inertie du moteur : $J_m = 0{,}053$ kg.m^2

moment d'inertie de la charge ramené à l'arbre moteur : $J_r = 1$ kg.m^2

On note J l'ensemble des moments d'inertie ramené à l'arbre moteur ($J = J_m + J_r$).

9- ***Démarrage sous tension variable***

On rappelle que, au démarrage : $C_m = C_d = J\,\dfrac{\Delta\Omega}{\Delta t} + C_r$

(on suppose que la vitesse varie linéairement de 0 à Ω_{max})

Le moteur entraîne une charge qui exerce un couple résistant constant C_r égal à $0{,}2C_u$.

Au démarrage, on limite le couple moyen à : $C_d = 1{,}6C_u$.

9.1- Calculer le temps de démarrage Δt pour passer de 0 à Ω_{max}.

9.2- En déduire la relation entre Ω et t.

9.3- En déduire l'expression de la rampe de tension $U(t)$ qu'il faut appliquer au moteur pour réaliser ce démarrage.

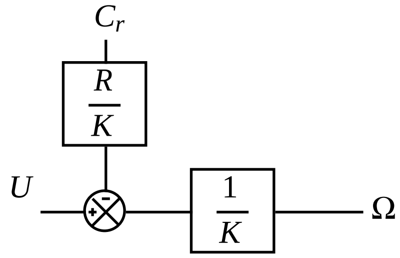
ISBN 2-9520781-2-2

10- ***Contrôle de vitesse : précision statique en boucle ouverte***

10.1- Rappeler la relation $\Omega(U,C_r)$ établie au § 6.1

Montrer que cette relation équivaut au schéma fonctionnel ci-contre :

A.N. : écrire $\Omega(C_r)$ pour $U = U_n = 260$ V

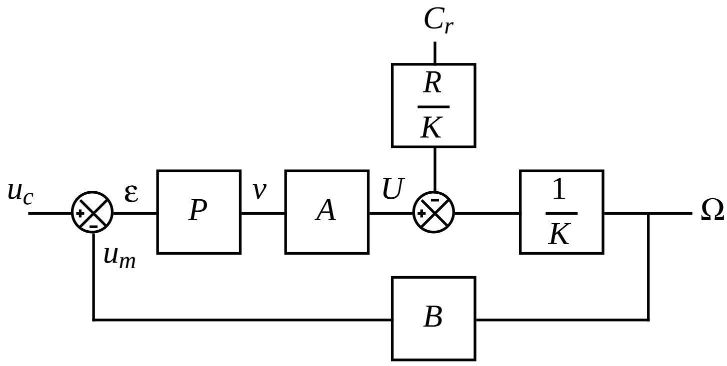


10.2- Sachant que $U = U_n = c^{te}$, rappeler les valeurs de Ω pour $C_r = 0$ puis pour $C_r = C_{un} = 65$ Nm.

Si le couple résistant varie de 0 à C_u, en déduire la variation relative de vitesse $\dfrac{\Delta\Omega}{\Omega_{max}} = \dfrac{\Omega_{max} - \Omega}{\Omega_{max}}$.

11- ***Contrôle de vitesse : précision statique en boucle fermée***

Le moteur est inséré dans la boucle de régulation suivante (correction proportionnelle) :



amplificateur (A) :
$v = 0 \Leftrightarrow U = 0$
$v = 10$ V $\Leftrightarrow U = 260$ V
mesure de vitesse (B) :
$\Omega = 0 \Leftrightarrow u_m = 0$ V
$\Omega = \Omega_{max} \Leftrightarrow u_m = 10$ V
correcteur proportionnel :
$P = 10$

11.1- Calculer les coefficients A et B.

11.2- Établir la relation qui lie Ω à u_c et C_r (avec pour paramètres K, A, B, P et R). A.N.

11.3- Calculer Ω_0 pour $u_c = 10{,}8$ V et $C_r = 0$, puis Ω pour $u_c = 10{,}8$ V et $C_r = C_u$.

En déduire la variation relative de vitesse $\dfrac{\Delta\Omega}{\Omega_{0x}} = \dfrac{\Omega_0 - \Omega}{\Omega_0}$. Conclusion.

MOTEUR CC à excitation séparée en régime de fonctionnement DYNAMIQUE

12- ***Fonction de transfert***

12.1- *En boucle ouverte.* En utilisant la notation de Laplace, établir la fonction de transfert $H(p) = \dfrac{\Omega(p)}{U(p)}$ de l'ensemble { moteur + charge }. On note H_0 le gain statique.

Remarque : on posera $U' = U - U_0$ et $H'(p) = \dfrac{\Omega(p)}{U'(p)}$.

ISBN 2-9520781-2-2

CORRIGÉ

Tableau de calculs :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Un	260	V						
2		Pun	8200	W						
3		Nn	1200	tr/mn						
4		Cun	65	Nm						
5		In	40	A						
6		η	0,79							
7		L	0,014	H						
8		R	1,39	Ω						
9	11	Ωn = 2πNn/60	125,7	rad/s						
10	12	En = Un - R*I	204,4	V						
11	12	K = En/Ω	1,627	Vs/rad						
12	13	Cm = K*In	65	Nm						
13	22	Imax = Un/R	187	A	Cmax	304	Nm			
14	23	tr = 3*L/R	0,030	s						
15	24	Ud = 1,6*In*R	89	V						
16	31	Pa = Un*In	10400	W						
17		Pjr = R*I^2	2224	W						
18	32	Pem = Pa - Pjr	8176	W						
19		Pem = E*I	8176	W						
20		Pem = Cm*In	8176	W						
21	33	η	0,79							
22	41	A = (2π/60)*K^2/R	0,20	Nm/tr/mn						
23		B = K.U/R	304	Nm						
24	42	Cmax = KU/R	304	Nm						
25		Ωmax = U/K	160	rad/s						
26		Nmax = 60*Ωmax/2π	1526	tr/mn						
27	43	U (V)	260		195		130		65	
28		démarrage (0 tr/mn ; Cd)	0	304	0	228	0	152	0	76
29		marche (Nmax ; 0 Nm)	1526	0	1145	0	763	0	382	0
30	51	N=(B-30)/A	1376	tr/mn						
31		N = B/(A+0,03)	1327	tr/mn						
32		N	1345	tr/mn						
33	62	Uo = RCf/K	4,3	V						
34	72	Pumax = U^2/4R	12158	W						
35		η	0,5							
36		Ω = U/2K => Np	763	tr/mn						
37		Cm = KU/2R	152	Nm						
38		I = U/2R	94	A						
39										

ISBN 2-9520781-2-2

Réponses :

1.1- $\Omega_n = 2\pi N_n / 60 = 125{,}7$ rad/s

1.2- $E_n = U_n - R.I = 204{,}4$ V $\Rightarrow K = E_n / \Omega = 1{,}627$ Vs/rad ou Nm/A

1.3- $C_m = K.I_n = 65$ Nm $\Rightarrow C_m \approx C_u \Rightarrow$ pertes "Fer" négligeables

2.1- $I = (U - E) / R$

2.2- $\Omega = 0 \Rightarrow E = 0 \Rightarrow I = I_{\max} = U_n / R = 187$ A ! $\Rightarrow C_m = C_{d\max} = K.I_{\max} = 304$ Nm !

2.3- $t_r = 3\tau = 3L / R = 0{,}03$ s !

2.4- $C_d = 1{,}6C_n \Rightarrow I_d = 1{,}6I_n = 64$ A $\Rightarrow U_d = R.I_d = 89$ V

3.1- $P_a = U_n.I_n = 10400$ W ; $P_{JR} = R.I^2 = 2224$ W

3.2- $P_{em} = P_a - P_{JR} = 8176$ W ; $P_{em} = E_n I_n = 8176$ W ; $P_{em} = C_m \Omega_n = 8176$ W

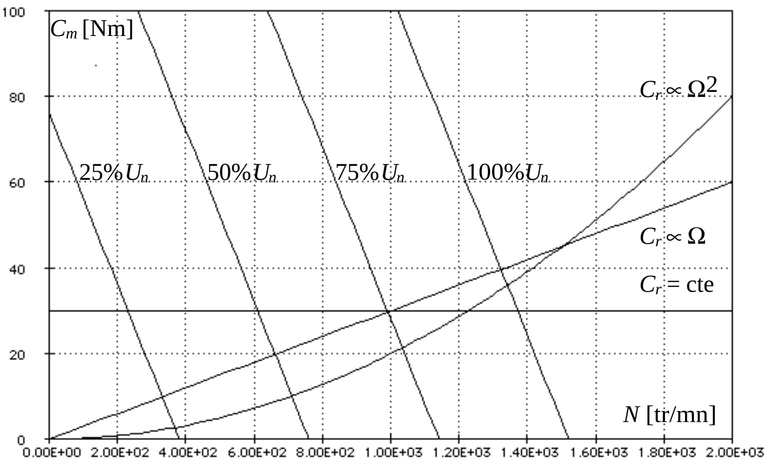
3.3- $\eta = P_{em} / P_a = 0{,}79 \Rightarrow$ on vérifie que les pertes "Fer" sont négligeables.

4-.1- $\left.\begin{array}{l} U = E + R.I \\ E = K.\Omega \\ C_m = K.I \end{array}\right\} \Rightarrow C_m = -\dfrac{K^2}{R}\Omega + \dfrac{K}{R}U$

4.2- avec : $C_d = \dfrac{K}{R}U$ et $\Omega_{\max} = \dfrac{U}{K}$; $N_{\max} = \dfrac{60}{2\pi}\Omega_{\max}$

U	260	195	130	65
démarrage (Cd)	304	228	152	76
marche (Ωmax)	159,8	119,9	79,9	40,0
marche (Nmax)	1526	1145	763	382

4.3-



ISBN 2-9520781-2-2

5.1- $C_m = -\frac{K^2}{R}\Omega + \frac{K}{R}U = -\frac{2\pi}{60}\frac{K^2}{R}N + \frac{K}{R}U = -A.N + B$ avec A = 0,20 Nm/tr/mn et B = 304 Nm

5.2- – 0,2N + 304 = 65 ⇒ N = (304 – 32,5) / 0,2 = 1200 tr/mn

5.3- – 0,2N + 304 = 0,03N ⇒ N = 304 / (0,03 + 0,2) = 1322 tr/mn

5.4- – 0,2N + 304 = $2.10^{-5}N^2$ ⇒ $N = \frac{-0,2 + \sqrt{0,2^2 + 4.2.10^{-5}.304}}{2.2.10^{-5}}$ = 1340 tr/mn

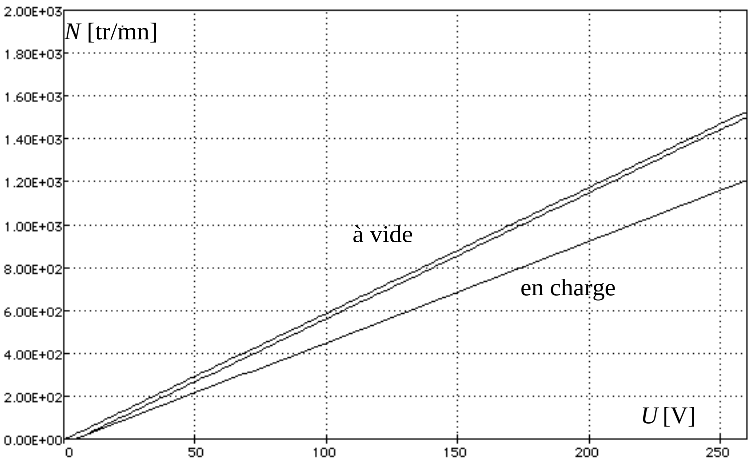
6.1- $\left.\begin{matrix} U = K\Omega + R\frac{C_m}{K} \\ C_m = C_r \end{matrix}\right\} \Rightarrow \Omega = \frac{U}{K} - \frac{RC_r}{K^2} = \frac{1}{K}\left(U - \frac{RC_r}{K}\right)$

C_r = 0 ⇒ Ω = U / K = 159,8 rad/s

6.2- $C_r = C_f \Rightarrow U_0 = \frac{RC_f}{K}$ = 4,3 V et $N = \frac{60}{2\pi}\frac{U - U_0}{K}$ = 5,87(U – 4,3) tr/mn

6.3- $C_r = f_1.N + C_f \Rightarrow N = \frac{60}{2\pi}\frac{U - U_0}{K + \frac{60}{2\pi}\frac{Rf_1}{K}}$ = 5,78(U – 4,3) tr/mn

6.4-



7.1- *Rappel :* $C_m = -\frac{K^2}{R}\Omega + \frac{K}{R}U$

$\Rightarrow P_a = U.I = U\frac{C_m}{K} = -\frac{KU}{R}\Omega + \frac{U^2}{R}$; $P_{em} = C_m.\Omega = -\frac{K^2}{R}\Omega^2 + \frac{KU}{R}\Omega$; $\eta = \frac{P_{em}}{P_a} = \frac{K.\Omega}{U} = \frac{\Omega}{\Omega_{max}}$

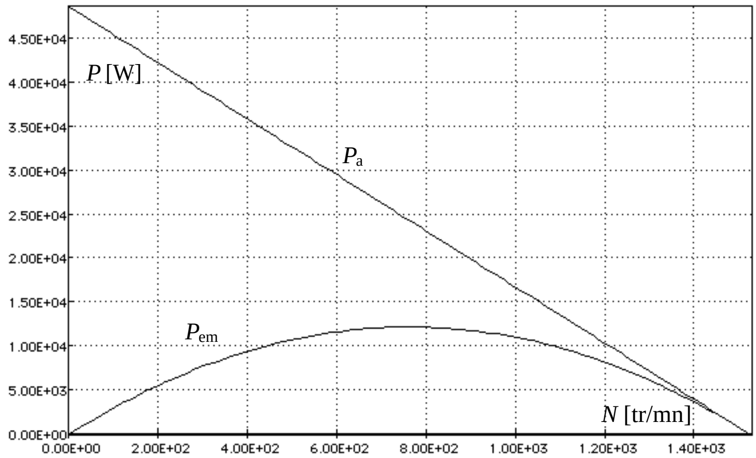
7.2- $\Rightarrow \frac{dP_{em}}{d\Omega} = -2\frac{K^2}{R}\Omega + \frac{K}{R}U = 0 \Rightarrow P_{em\max} = \frac{U^2}{4R}$ pour $\Omega_P = \frac{U}{2K}$

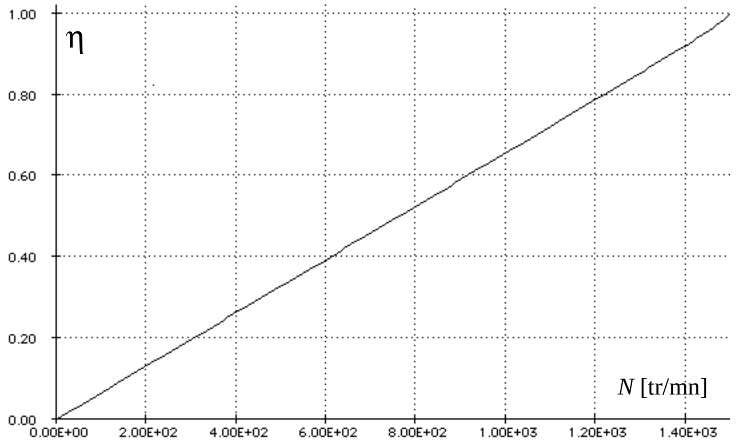
avec η = 0,50 ; C_m = KU / 2R ; I = C_m / R = 94 A ! Point de fonctionnement inutilisable !

ISBN 2-9520781-2-2

7.3- $\eta = \dfrac{P_{em}}{P_a} = \dfrac{K.\Omega}{U} = \dfrac{\Omega}{\Omega_{\max}} \Rightarrow \eta = 1 \text{ pour } \Omega = \Omega_{\max}$

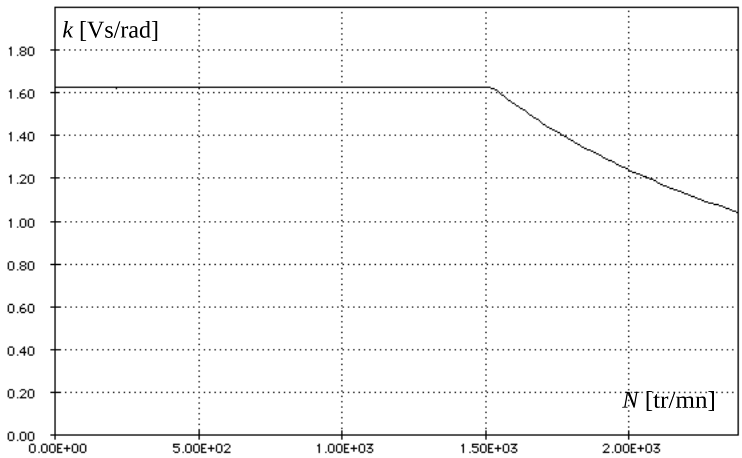
7.4-





8.1- $$\left.\begin{array}{l} \Omega < \Omega_{\max} \;:\; U = K.\Omega \Rightarrow U_n = K.\Omega_{\max} \\ \Omega > \Omega_{\max} \;:\; U = k.\Omega \end{array}\right\} \Rightarrow k = K\frac{\Omega_{\max}}{\Omega} = K\frac{N_{\max}}{N}$$

8.2-



ISBN 2-9520781-2-2

9.1- J = 1,053 k.m^2 $\Rightarrow 1{,}6C_u = J\,\dfrac{\Omega_{max}}{\Delta t} + 0{,}2C_u \Rightarrow \Delta t = \dfrac{J.\Omega_{max}}{1{,}4C_u} \approx 1{,}45s$

9.2- $\Rightarrow \Omega = \dfrac{\Omega_{max}}{\Delta t}t = 86{,}4t$

9.3- *rappel :* $C_d = 1{,}6C_n$ = 104 Nm $\Rightarrow I = C_d / K$ = 64 A $\Rightarrow U = K\Omega + RI = 140t + 89$ [V]

10.1- $\left.\begin{array}{l} U = E + R.I \\ E = K.\Omega \\ C_m = K.I = C_r \end{array}\right\} \Rightarrow \Omega = \dfrac{1}{K}\left(U - \dfrac{R.C_r}{K}\right)$ = 159,8 – 0,525 C_r

10.2- $C_r = 0 \Rightarrow \Omega = \Omega_{max} = U / K$ = 159,8 rad/s et C_r = 65 Nm $\Rightarrow \Omega$ = 125,7 rad/s $\Rightarrow \dfrac{\Delta\Omega}{\Omega_{max}}$ = 21%

11.1- A = 26 ; $B \approx$ 0,08 Vs/rad

11.2-

$$\left.\begin{array}{r} K\Omega = U - \dfrac{RC_r}{K} \\ U = AP\varepsilon = APu_c - APB\Omega \end{array}\right\} \Rightarrow \Omega(K + APB) = APu_c - \frac{RC_r}{K} \Rightarrow \Omega = \frac{AP}{K+APB}u_c - \frac{R}{K(K+APB)}C_r$$

$$\Rightarrow \Omega = 11{,}6\ u_c - 0{,}038\ C_r$$

11.3- u_c = 10,8 V et $C_r = 0 \Rightarrow \Omega_0$ = 125,2 rad/s

u_c = 10,8 V et $C_r = C_u \Rightarrow \Omega$ = 122,7 rad/s $\Rightarrow \Delta\Omega/\Omega_0 \approx 2\%$

Conclusion : la variation de vitesse est environ 10 fois plus faible avec régulation (21% de variation si pas de régulation : voir question 10.2)

12.1- *Voir cours :* $H'_M(p) = \dfrac{\Omega}{U'} = \dfrac{\frac{1}{K}}{1 + \frac{RJ}{K^2}p} = \dfrac{H_0}{1 + \tau p}$

ISBN 2-9520781-2-2