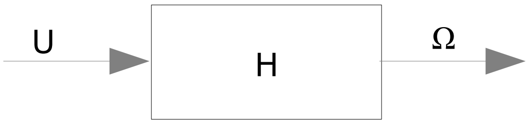
Moteur à courant continu
- excitation constante (aimants permanents)
- constante de couple Kc = constante de vitesse Ke = K
- frottements négligés

Il s'agit de modéliser le moteur et de donner sa fonction de transfert H



1°) Écrire les 4 équations fondamentales U=f(E,I) ; E=f(Ω) ; T=f(I) ; T=f(Ω)

$$U(t)=E(t)+R\,I(t)+L\frac{d}{dt}I(t)$$

$$E(t)=K\,\Omega(t)$$

$$T(t)=K\,I(t)$$

$$T(t)=J\frac{d}{dt}\Omega(t)$$

2°) Transformer ces 4 équations (Laplace)

Rappel : $I(t)\rightarrow I(p)$ et $\frac{d}{dt}I(t)\rightarrow p\,I(p)$

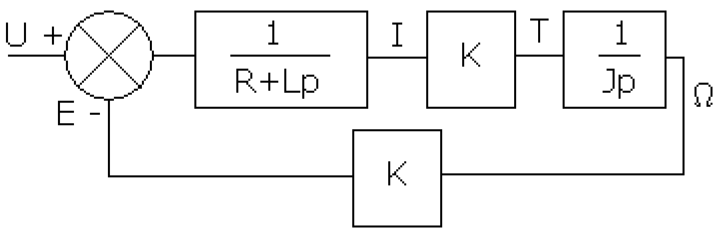
$$U(p)=E(p)+R\,I(p)+L\,p\,I(p) \quad (1)$$

$$E(p)=K\,\Omega(p) \quad (2)$$

$$T(p)=K\,I(p) \quad (3)$$

$$T(p)=J\,p\,\Omega(p) \quad (4)$$

3°) Tracer le schéma-bloc correspondant



4°) Calculer la fonction de transfert H(p) = Ω(p)/U(p)

A partir de (1) et de (2) : $U(p)=K\Omega(p)+(R+Lp)I(p)$

A partir de (3) et de (4) : $I(p)=\frac{(T(p))}{K}=\frac{(Jp)}{K}\Omega(p)$

$$U(p)=K\Omega(p)+(R+Lp)\frac{(Jp)}{K}\Omega(p)=(K+(R+Lp)\frac{(Jp)}{K})\Omega(p)$$

$$H(p)=\frac{(\Omega(p))}{(U(p))}=\frac{1}{(K+(R+Lp)\frac{(Jp)}{K})}=\frac{K}{(K^2+JRp+JLp^2)}$$

5°) Application numérique
Moteur MC23S
Un=172 V ; In=14,8 A ; Nn=3000 tr/mn ; Tn=7 N.m
Résistance aux bornes R=0,9 Ω
Inertie J=230 E-5 kg.m²
K= 0,506 N.m/A
L=250 μH

$$H(p)=\frac{K}{(K^2+JRp+JLp^2)}=\frac{0{,}506}{(0{,}256+2{,}07\times10^{-3}p+5{,}75\times10^{-7}p^2)}$$

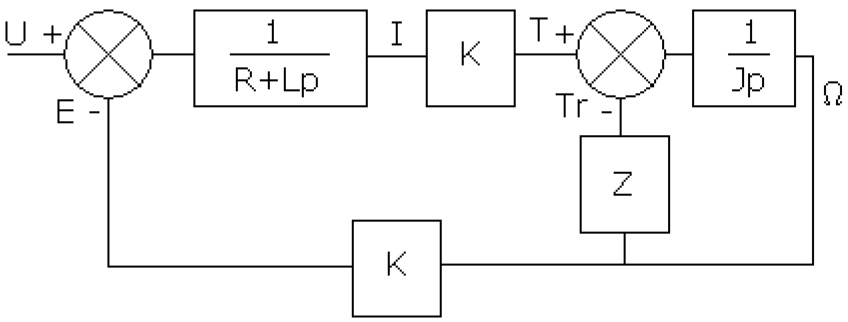
Le moteur entraîne une machine dont le couple (résistant) varie proportionnellement à la vitesse : 6 N.m à 3000 tr/mn
Z=T/Ω=0,0191N.m/rd/s

6°) Modifier l'équation (4)

$$T(p)-Tr(p)=T(p)-Z\Omega(p)=Jp\Omega(p) \qquad T(p)=Jp\Omega(p)+Z\Omega(p)=(Jp+Z)\Omega(p)$$

$$I(p)=\frac{(T(p))}{K}=\frac{(Jp+Z)}{K}\Omega(p)$$

7°) Modifier le schéma-bloc



8°) Calculer la nouvelle fonction de transfert $H(p) = \Omega(p)/U(p)$

$$H(p)=\frac{(\Omega(p))}{(U(p))}=\frac{1}{(K+(R+Lp)\frac{(Jp+Z)}{K})}=\frac{K}{(K^2+RZ+(JR+ZL)p+JLp^2)}$$

$$H(p)=\frac{0{,}506}{(0{,}273+2{,}07x10^{-3}p+5{,}75x10^{-7}p^2)}$$

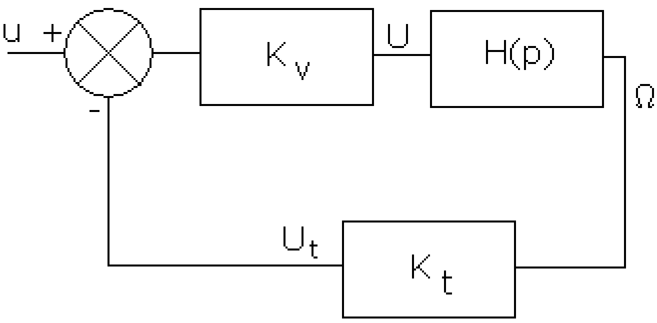
9°) Une génératrice tachymétrique est couplée sur l'arbre du moteur. Elle délivre une tension continu de 10 V à 3000 tr/mn. Son inertie, sa résistance interne, son inductance et ses frottements sont négligés
Donner l'équation de la tachymétrie $U_t = f(\Omega)$

$$U_t(p)=K_t\Omega(p) \quad \text{avec} \quad K_t=\frac{10}{(2\pi\frac{3000}{60})}=0{,}0318\,V/rd/s$$

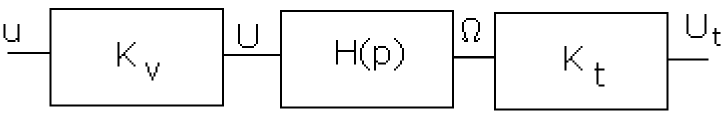
10°) Le moteur est piloté par un variateur de vitesse (hacheur 4 quadrants à IGBT fonctionnant à 20kHz) commandé en tension, qui fournit U=180 V pour une commande de u =10 V (en boucle ouverte)
Donner l'équation du variateur U = f(u)

$$U(p)=K_v u(p)=18u(p)$$

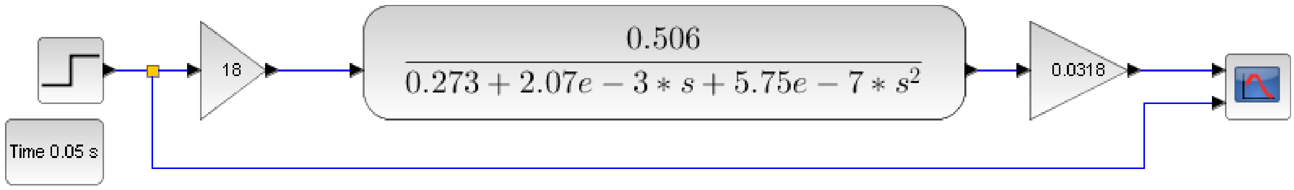
11°) Modifier le schéma-bloc afin d'y intégrer le variateur et la tachymétrie



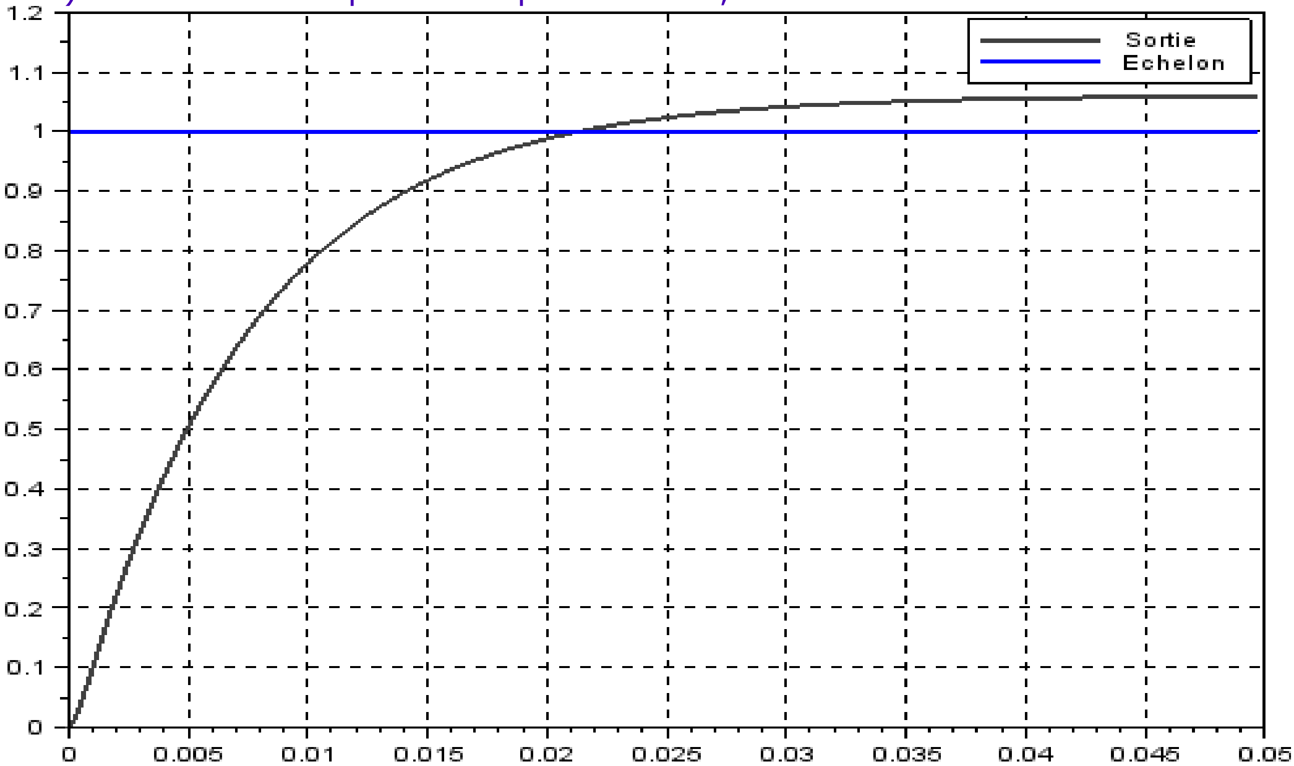
12°) On ouvre la boucle au niveau du comparateur (U_t). Donner le nouveau schéma-bloc



13°) Entrer le schéma bloc précédent dans le logiciel Scilab-Xcos avec les valeurs des paramètres (échelon d'amplitude 1 V)



14°) Effectuer une réponse temporelle sur 0,05 seconde



15°) On assimile ce procédé à un système du premier ordre avec retard dont la fonction de transfert est de la forme : $H(p) = \frac{K\,e^{-Tp}}{1+\tau p}$

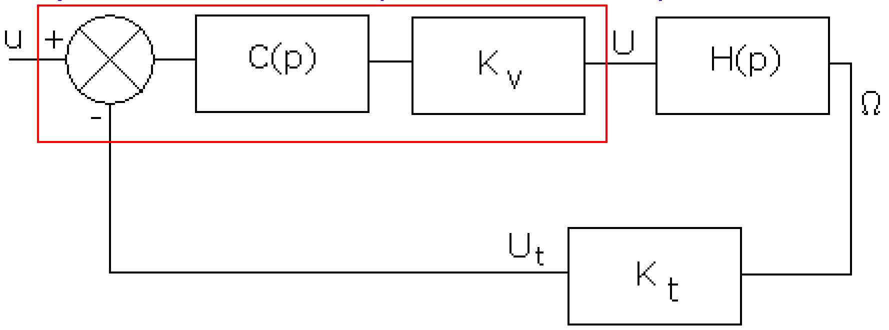
En appliquant la méthode de Broïda, déterminer K, T et τ (on utilisera la fonction « démarrer le gestionnaire de datatips » pour déterminer t1, t2 et ΔS)

ΔS = 1,06 V   ΔE = 1 V   K = ΔS/ΔE = 1,06
0,28 x 1,06 = 0,297 V   t1 = 0,002535 s
0,4 x 1,06 = 0,424 V   t2 = 0,003742 s
T = 2,8 t1 – 1,8 t2 = 0,000362 s
τ = 5,5 (t2 – t1) = 0,00664 s
T/τ= 0,05   < 0,25   => modèle optimal

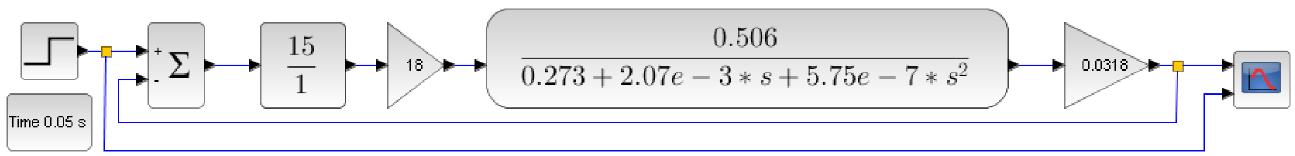
Le correcteur proposé est de type P

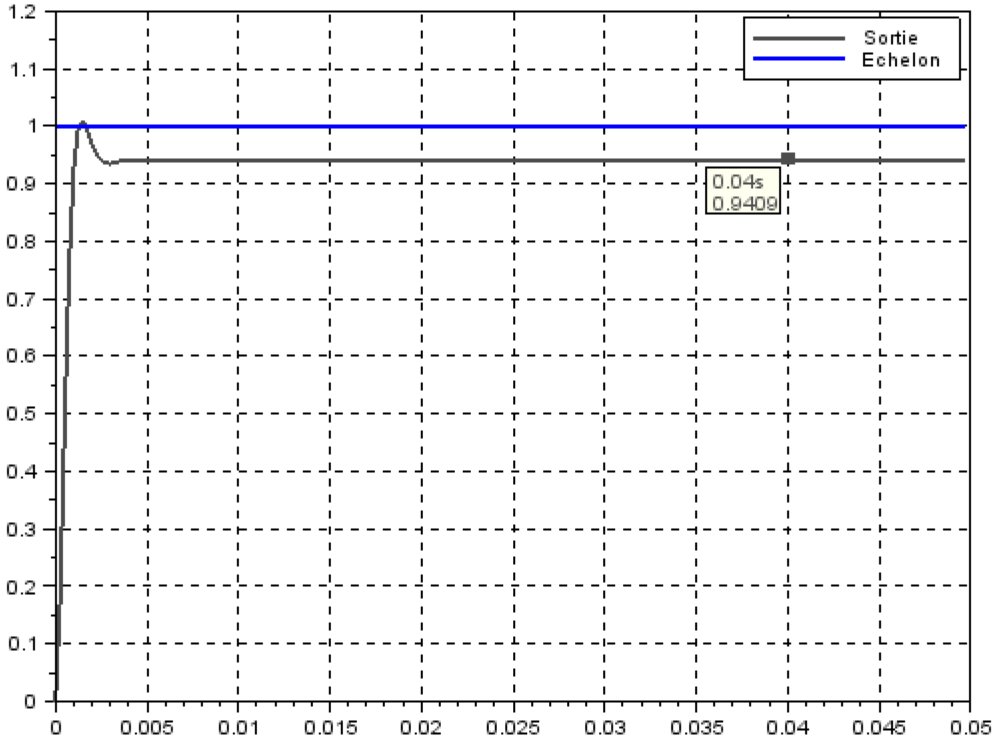
$Xp=\frac{125\times K\times T}{\tau}=7{,}22$ (en%) le gain du correcteur est de 100/7,22 = 13,8
On prendra pour la suite un gain de 15

16°) Le variateur est représenté dans la partie encadrée du schéma-bloc



C(p) est un correcteur de type P (action proportionnelle) : C(p) = 15
Modifier le schéma et étudier la réponse temporelle



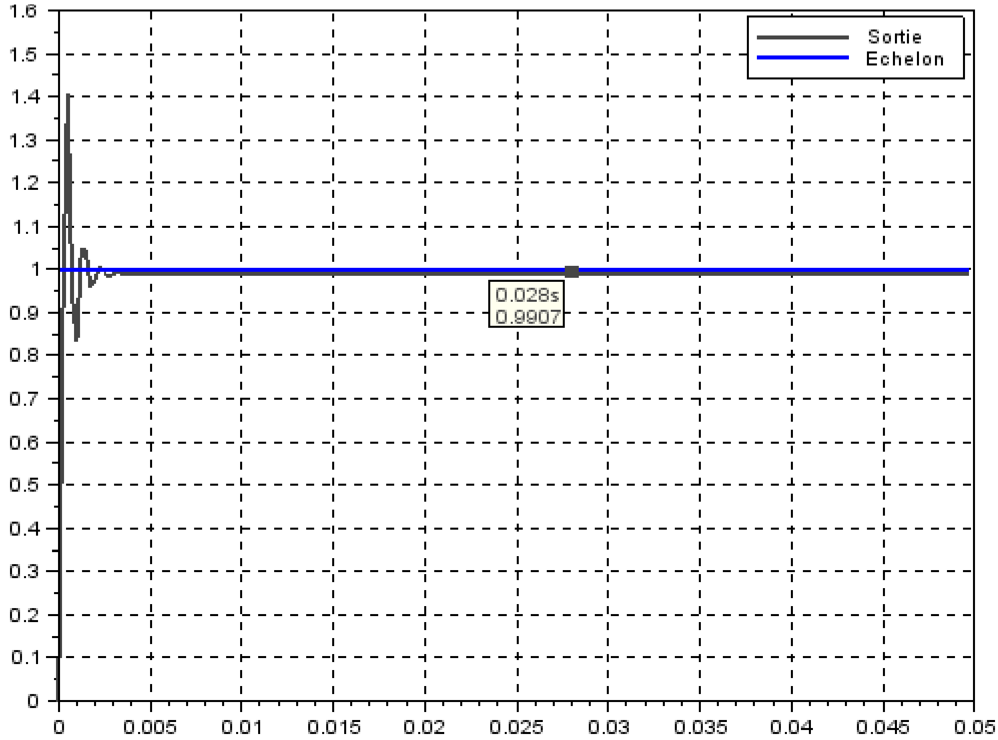


On constate que l'erreur statique est de : 1 – 0,94 = 0,06 V soit 6%

17°) On désire limiter l'erreur statique à moins de 1%. Quelles solutions peut-on envisager ?

Augmenter le gain du correcteur ou mettre un correcteur du type PI

18°) Vérifier que pour un gain du correcteur = 100, l'erreur statique est inférieure à 1%



Erreur statique = 100x(1-0,9907)/1= 0,93%

Inconvénient : fort dépassement et forte oscillation

19°) On remplace le correcteur P par un correcteur PI (action proportionnelle intégrale) dont la fonction de transfert est $C(p)=15(1+\frac{1}{(\tau_i p)})$

qui peut se mettre sous la forme $C(p)=15(\frac{(1+\tau_i p)}{(\tau_i p)})$ avec $\tau_i=\tau$

Étudier la nouvelle réponse