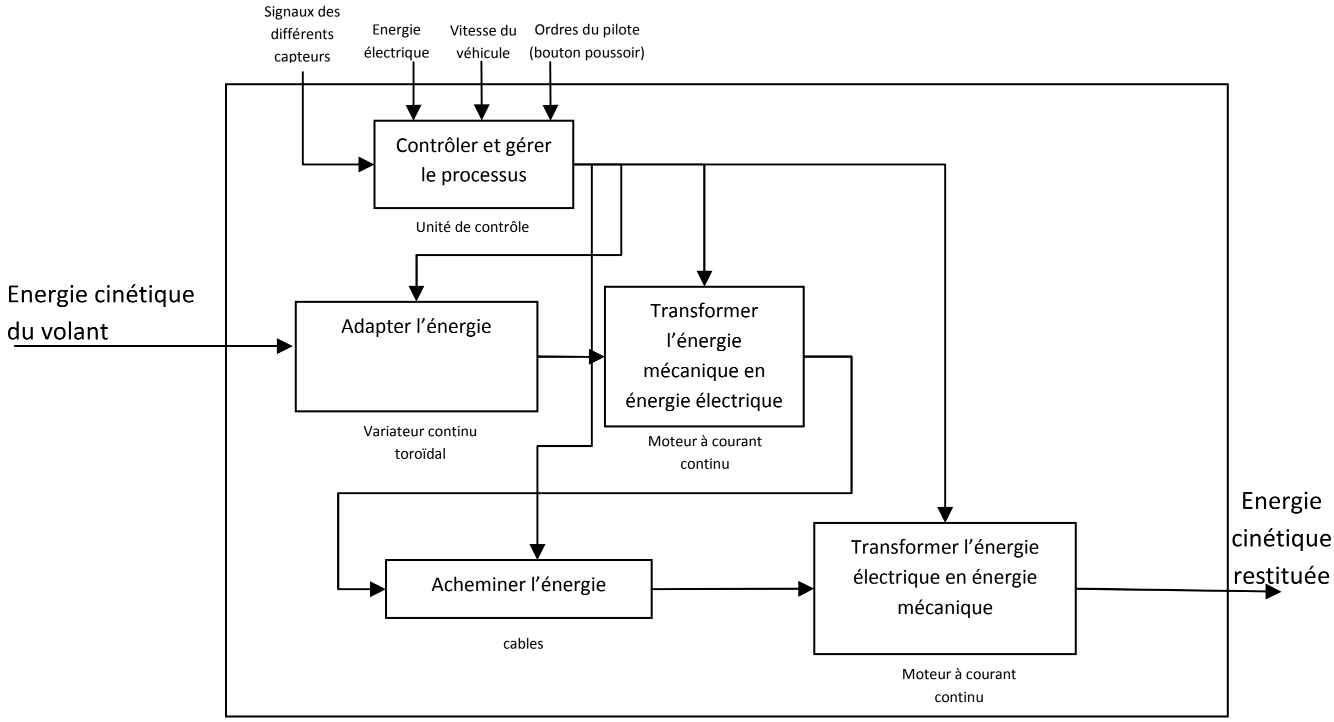
Concours EPITA 2011
Epreuve de Sciences Industrielles pour l'ingénieur

Le Système de Récupération de l'Energie Cinétique (SREC)
Corrigé

1.



2. Dans le repère lié à la Terre supposé Galiléen, la variation d'énergie cinétique entre 240 km/h et 80 km/h est égale à : $\boxed{E_{CR} = \Delta Ec = \frac{1}{2} M \left(V_f^{\,2} - V_i^2\right)}$

   AN : $V_f = 80\,\text{km/h} = 22{,}2\,\text{m/s}$ et $V_i = 240\,\text{km/h} = 66{,}7\,\text{m/s}$, ce qui donne $\boxed{\Delta Ec = -1{,}19\,MJ}$. Les 400kJ sont ainsi facilement récupérables sur un tour.

3. La partie en carbone peut être vue comme la différence entre deux cylindres de rayons r4 et r5.

   $$\boxed{J_C = \pi.h.r_4^{\,2}.\frac{r_4^{\,2}}{2} - \pi.h.r_5^{\,2}.\frac{r_5^{\,2}}{2} = \frac{\pi.h}{2}.\left(r_4^{\,4} - r_5^{\,4}\right)}$$

   AN : $\underline{J_C = 5{,}56.10^{-2}\,kg.m^2}$

4. Le volant d'inertie est soumis à plusieurs critères :
   a. La masse doit être faible
   b. Son moment d'inertie doit être élevé
   c. L'encombrement doit être limité.
   Ces trois critères conduisent à ce que la matière soit concentrée loin de l'axe suivant un tube par exemple.

5. $E_{MAX} = Ec(volant) = \frac{1}{2} J \omega_V^{\,2}$ => $\boxed{\omega_V = \sqrt{\frac{2E_{MAX}}{J}}}$. AN : $\underline{\omega_V = \sqrt{\frac{2.400.10^3}{0{,}0776}} = 3210\,rad/s = 30660\,tr/\min}$

6. On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble constitué par la voiture et son volant d'inertie :

L'énergie cinétique du système par rapport à la Terre est : $Ec=\frac{1}{2}M.V^2+\frac{1}{2}J.\omega_V{}^2$.

La puissance des forces extérieures est : $P_{ext}=C_m.\omega_m-k.V^2$

La puissance des efforts intérieurs est nulle.

On applique le théorème : $M.\dot{V}.V+J.\dot{\omega}_V.\omega_V=C_m.\omega_m-k.V^2$

Il suit : $M.\dot{V}=-J.\dot{\omega}_V.\frac{\omega_V}{V}+C_m.\frac{\omega_m}{V}-k.V$ et donc $M.\dot{V}=-J.\dot{\omega}_V.\frac{\omega_V}{\omega_m}.\frac{\omega_m}{V}+C_m.\frac{\omega_m}{V}-k.V$

On a ainsi : $\boxed{M.\dot{V}=-J.\dot{\omega}_V.R.R_2+C_m.R_2-k.V}$

7. La puissance maximale délivrée par le SREC est de 60 kW, ce qui implique : $-J.\dot{\omega}_V.\omega_V=P_{MAX}$.

   On en déduit que $\boxed{\dot{\omega}_V.R.V=-\frac{P_{MAX}}{J.R_2}=Cte}$.

8. V est variable (augmente), $\dot{\omega}_V$ aussi, il est donc nécessaire pour que la puissance délivrée par le SREC soit la plus constante possible que R soit une fonction continue. Le variateur toroïdal doit donc avoir un rapport continu.

9. Sur une accélération durant environ 5 s, la différence de distance parcourue est d'environ 17 m, ce qui peut être convenable pour un dépassement.

10. $\overrightarrow{\Omega_{V/0}}=\omega_V\vec{x}$

11. $\overrightarrow{V_{I,V/0}}=\overrightarrow{V_{O,V/0}}+\overrightarrow{\Omega_{V/0}}\wedge\overrightarrow{OI}=\vec{0}+\omega_V\vec{x}\wedge\left(\overrightarrow{OK}+\overrightarrow{KI}\right)$

    $\overrightarrow{V_{I,V/0}}=\omega_V\vec{x}\wedge\left(a\vec{x}+b\vec{y}-L\cos\theta\vec{x}-L\sin\theta\vec{y}\right)$

    $\boxed{\overrightarrow{V_{I,V/0}}=\omega_V\left(a-L\sin\theta\right)\vec{z}}$

12. $\overrightarrow{V_{I,1/0}}=\overrightarrow{V_{I,V/0}}$ car il y a roulement sans glissement en I entre V et 1.

    $\boxed{\overrightarrow{V_{I,1/0}}=\omega_V\left(a-L\sin\theta\right)\vec{z}}$

13. $\boxed{\overrightarrow{V_{K,1/0}}=\vec{0}}$

14.

    $\overrightarrow{V_{J,1/0}}=\overrightarrow{V_{K,1/0}}+\overrightarrow{\Omega_{1/0}}\wedge\overrightarrow{JK}=\overrightarrow{\Omega_{1/0}}\wedge\overrightarrow{JK}$.

    Or $\overrightarrow{V_{I,1/0}}=\overrightarrow{V_{K,1/0}}+\overrightarrow{\Omega_{1/0}}\wedge\overrightarrow{IK}=\overrightarrow{\Omega_{1/0}}\wedge\overrightarrow{IK}$

    Comme $\overrightarrow{IK}=-\overrightarrow{JK}$, on en déduit que $\overrightarrow{V_{J,1/0}}=-\overrightarrow{V_{I,1/0}}$ et donc $\boxed{\overrightarrow{V_{J,1/0}}=-\omega_V\left(a-L\sin\theta\right)\vec{z}}$

15. $\overrightarrow{V_{J,S/0}}=\overrightarrow{V_{O,S/0}}+\overrightarrow{\Omega_{S/0}}\wedge\overrightarrow{OI}=\vec{0}+\omega_S\vec{x}\wedge\left(\overrightarrow{OK}+\overrightarrow{KJ}\right)$

    $\overrightarrow{V_{J,S/0}}=\omega_S\vec{x}\wedge\left(a\vec{x}+b\vec{y}+L\cos\theta\vec{x}+L\sin\theta\vec{y}\right)$

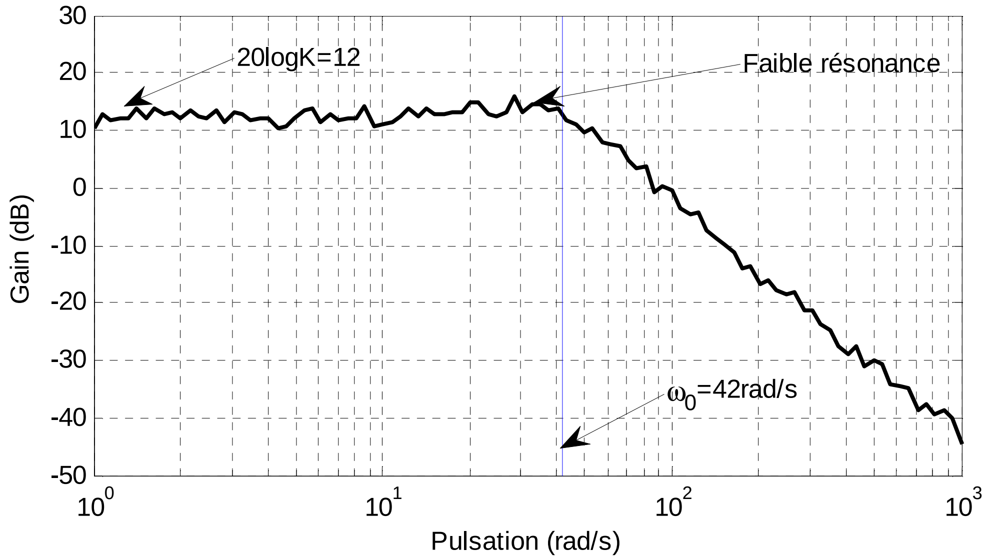
    $\boxed{\overrightarrow{V_{J,S/0}}=\omega_S\left(a+L\sin\theta\right)\vec{z}}$

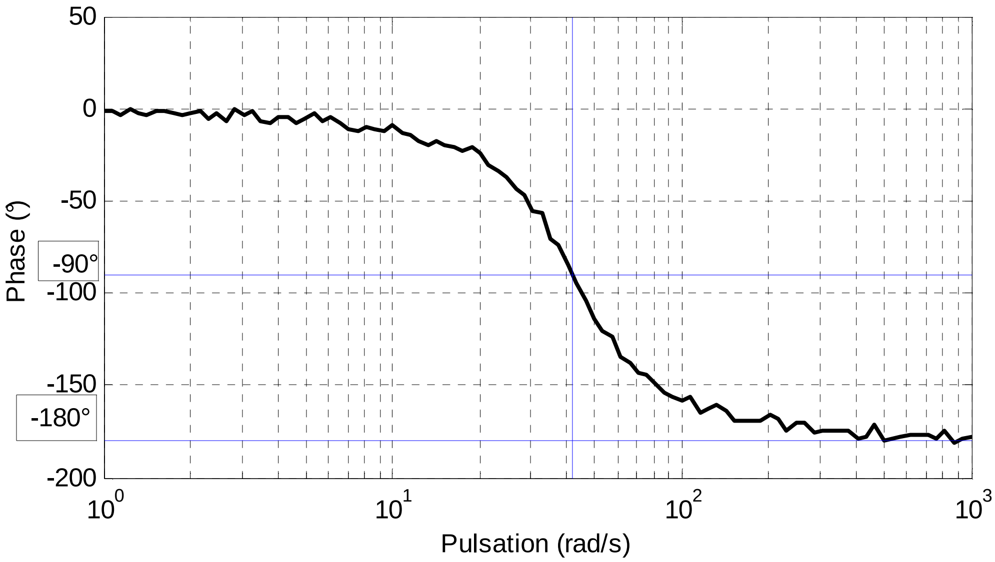
16.

Comme on a roulement sans glissement en J entre S et 1, on a $-\omega_V\left(a-L\sin\theta\right)=\omega_S\left(a+L\sin\theta\right)$ et donc :

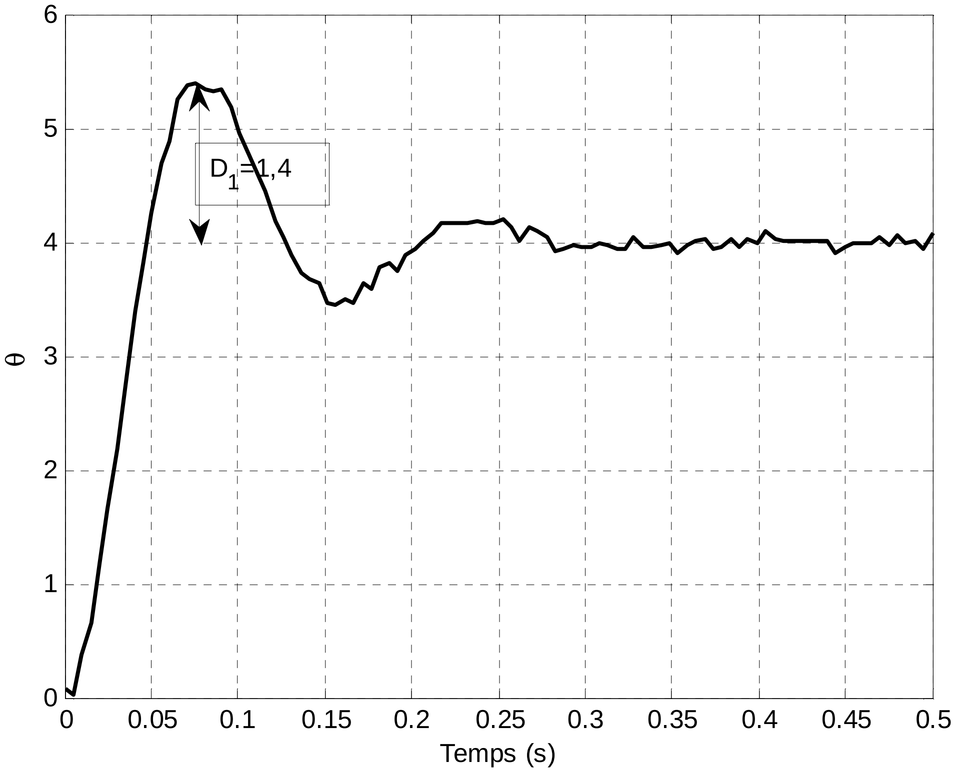
$$\boxed{R'=\frac{\omega_S}{\omega_V}=-\frac{\left(a-L\sin\theta\right)}{\left(a+L\sin\theta\right)}}$$

17. On reconnait une forme du second ordre de forme canonique $\boxed{H\left(p\right)=\dfrac{K}{\dfrac{p^2}{\omega_0^2}+2m\dfrac{p}{\omega_0}+1}}$





On peut déterminer facilement le gain statique $K=10^{12/20}=4$ et la pulsation propre $\omega_0=42\,rad\,/\,s$.

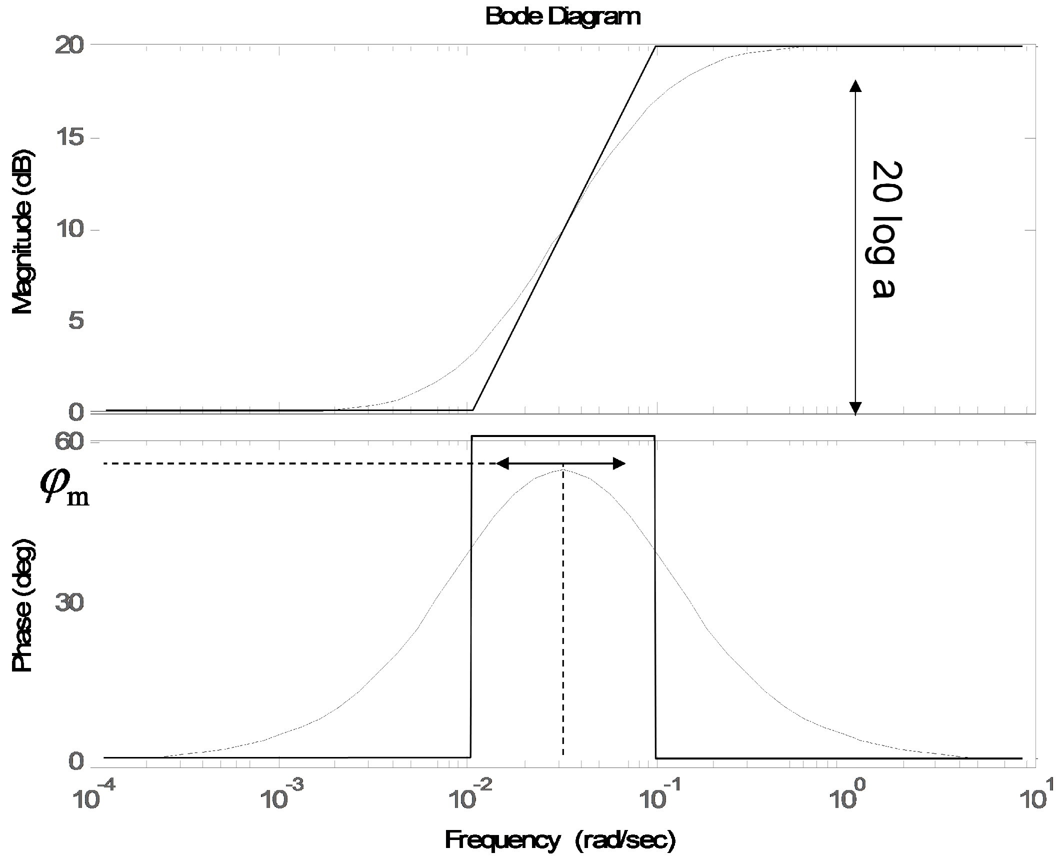


A l'aide du premier dépassement, on en déduit le coefficient d'amortissement : $\frac{D_1}{S_\infty} = e^{-\frac{m\pi}{\sqrt{1-m^2}}}$, ce qui conduit

à $m = \sqrt{\frac{\left(\ln\frac{1,4}{4}\right)^2}{\pi^2 + \left(\ln\frac{1,4}{4}\right)^2}} = 0,316$ et donc $\boxed{H(p) = \frac{4}{5,7.10^{-4}p^2 + 0,015p + 1}}$

18. On lit : $\begin{cases} MG = \infty \\ M\phi° = 20° \end{cases}$

19. Ce correcteur est le produit d'un intégrateur pur qui va annuler l'erreur statique et d'un correcteur à avance de phase qui va augmenter la stabilité à précision constante.



20.

a. Pour 40 rad/s, la phase du système est de -175°. L'apport de phase doit donc être de 40°. On en déduit $a=\dfrac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m}=\dfrac{1+\sin 40°}{1-\sin 40°}=4,6$.

b. On en déduit $T=\dfrac{1}{\omega_{0dBc}\sqrt{a}}=0,0117\ s$.

c. Le gain pour une pulsation de 40 rad/s est de -16 dB. On en déduit K tel que $20\log K+10\log a-16=0$, ce qui donne $K=2,9$.