

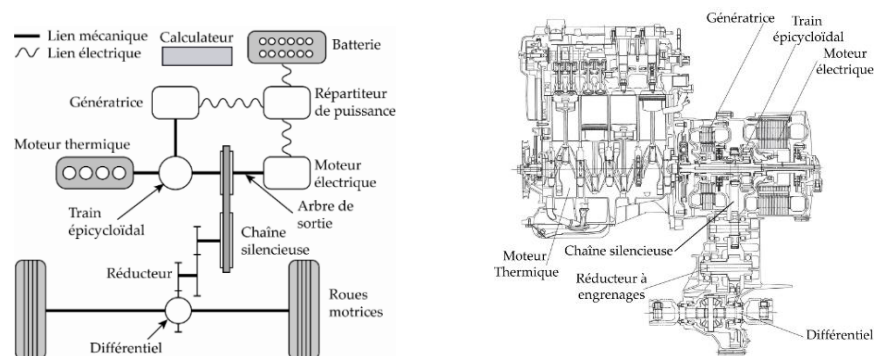
TD3 - Correcteur Avance de Phase : ETUDE DES PERFORMANCES DE LA TECHNOLOGIE HSD DU VEHICULE HYBRIDE TOYOTA PRIUS



Architecture du système hybride HSD TOYOTA

Comme le montre le dessin ci-dessous, la technologie hybride de TOYOTA, nommée HSD (Hybrid Synergy Drive) associe un moteur thermique à essence et sa transmission, à deux machines électriques et une batterie de puissance.

Le schéma de principe et la figure ci-dessous mettent en évidence les deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) reliées au moteur thermique par un train épicycloïdal.



Analyse de la commande du moteur thermique

Objectif : Déterminer les paramètres de l'asservissement associé en mode hybride.

La gestion optimale des **modes de fonctionnement** du système hybride permet d'optimiser la consommation d'énergie chimique.

La vitesse du moteur thermique est asservie (par le biais d'un **asservissement de la vitesse** de la génératrice) à des valeurs optimales définies par le calculateur. Le moteur est ainsi exploité à son rendement maximal.

Présentation des modes de fonctionnement

Dans la suite les notations simplifiées **ME**, **MT** et **GE** désignent respectivement le Moteur Electrique, le Moteur Thermique et la Génératrice Electrique.

Il existe quatre modes principaux de fonctionnement du véhicule hybride :

Mode	Commentaires
Mode 1 : tout électrique	Le moteur électrique entraîne le véhicule en puisant l'énergie électrique dans la batterie. Le moteur thermique est généralement arrêté.
Mode 2 : hybride	Le moteur thermique entraîne le véhicule. La puissance du moteur thermique en fonctionnement se répartit dans le train épicycloïdal entre : - La puissance directement transmise aux roues, - La puissance transmise à la génératrice qui alimente alors directement le moteur électrique.
Mode 3 : récupération d'énergie	Le moteur électrique, entraîné par le véhicule, récupère une partie de l'énergie cinétique et la convertit en énergie électrique qui recharge la batterie.
Mode 4 : mode mixte	Le moteur électrique et le moteur thermique entraînent le véhicule, lors de fortes accélérations. Dans ce mode, le moteur électrique est alimenté non seulement par l'énergie délivrée par la génératrice mais aussi par la batterie, ce qui correspond au cumul des deux modes 1 et 2. Ce mode de fonctionnement ne sera pas étudié ici.

Contrôle de la vitesse du moteur thermique en fonctionnement hybride

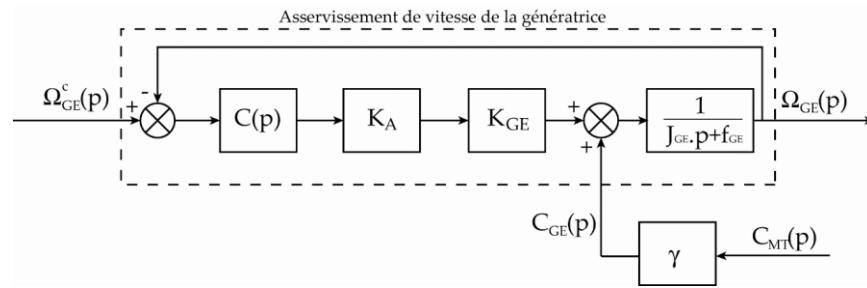
En mode hybride, la vitesse de rotation du moteur thermique est réglée afin de le faire fonctionner à son rendement maximum. Ce contrôle ne pouvant être réalisé au niveau du papillon des gaz, c'est un asservissement en vitesse de la génératrice qui permet de contrôler l'ensemble des autres vitesses de rotation.

La consommation du véhicule est directement liée aux qualités de cet asservissement. Cette partie s'intéresse à la justification et au dimensionnement d'un correcteur approprié.

Les performances attendues de cet asservissement sont les suivantes :

Critères	Niveaux
Précision	Ecart en régime permanent : - nul vis à vis d'une commande en échelon du type $\omega_{GE}^c(t) = \omega_0 \cdot u(t)$, ω_0 constante, et $u(t)$ la fonction échelon unité. - nul vis à vis d'une perturbation constante du type $c_{MT}(t) = C_0 \cdot u(t)$, C_0 constante
Rapidité	Pulsation de coupure à 0 dB de la FTBO : $\omega_{0\text{ dB}} = 1,5 \text{ rad/s}$
Stabilité	Marge de phase $M\varphi \geq 45^\circ$

Le modèle est extrait du modèle complet du système HSD. Un asservissement (non étudié ici) régule le courant dans la génératrice. Ainsi, les comportements mécanique et électrique de la génératrice se modélisent par le schéma bloc ci-dessous où C_{MT} est assimilé à une perturbation extérieure.



Avec $K_{GE} = 2 \text{ N.m/A}$; $K_A = 0,5 \text{ A/V}$; $J_{GE} = 0,2 \text{ kg.m}^2$; $f_{GE} = 0,05 \text{ N.m.s}$; $\gamma = 0,28$.

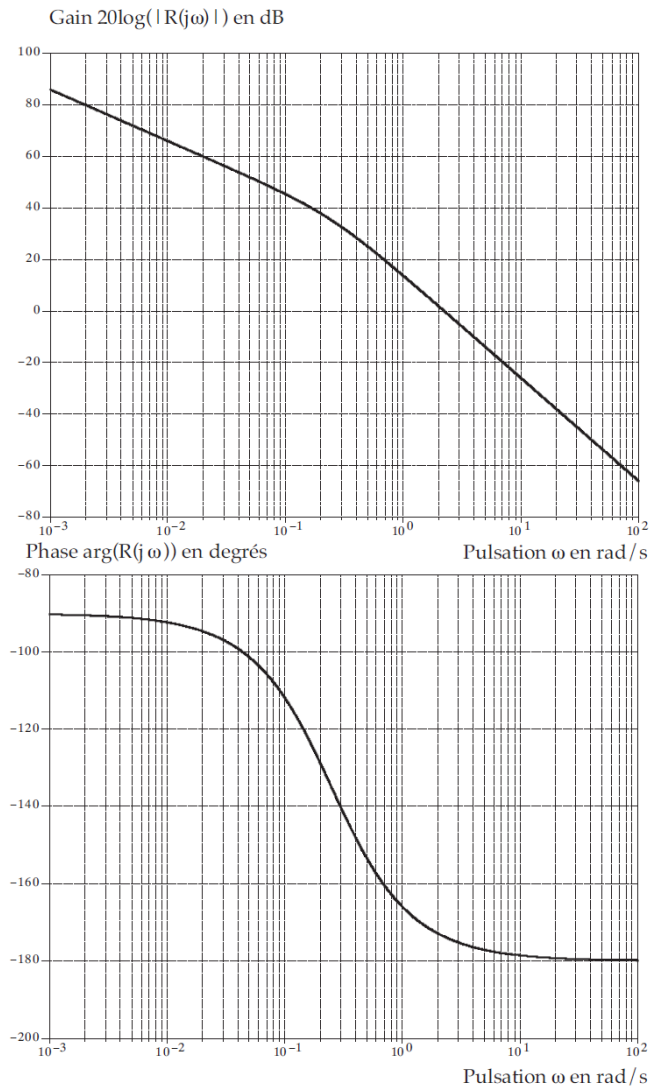
Q1 : Déterminer l'expression de $\Omega_{GE}(p)$ en fonction de $\Omega_{GE}^c(p)$ et de $C_{MT}(p)$.

Q2 : Expliquer pourquoi un asservissement avec correction unitaire ($C(p) = 1$) ne permet pas de satisfaire le cahier des charges.

Correction intégrale

Le premier correcteur envisagé est un correcteur intégral, tel que $C(p) = C_1(p) = \frac{K_I}{p}$.

Le diagramme de Bode de la fonction $R(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{K_A \cdot K_{GE}}{(J_{GE} p + f_{GE})}$ est fourni ci-dessous.

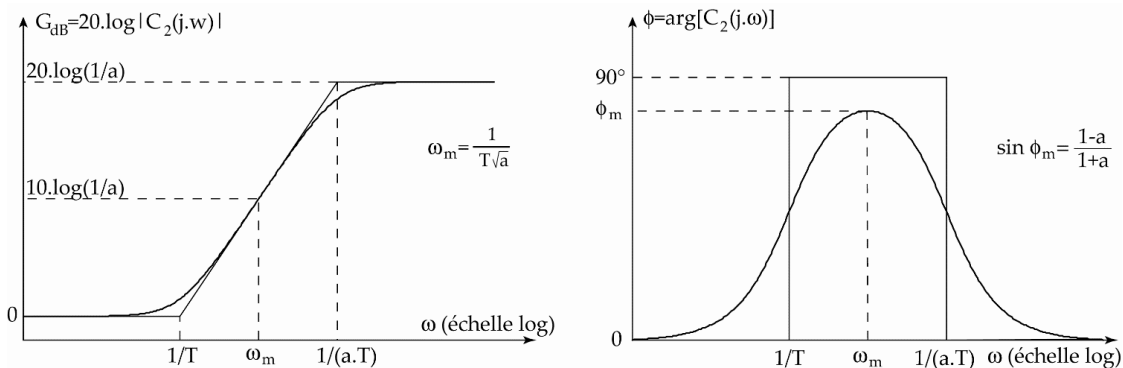


Q3 : Justifier que ce correcteur ne permet pas de satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges.

Correction Intégrale associée à une correction à avance de phase

La fonction de transfert du second correcteur envisagé est notée $C(p) = \frac{K_i}{p} \cdot \frac{1+T.p}{1+a.T.p} = C_1(p) \cdot C_2(p)$ avec $a < 1$ et $C_1(p) = \frac{K_i}{p}$ et $C_2(p) = \frac{1+T.p}{1+a.T.p}$.

Le diagramme de Bode du correcteur $C_2(p)$ est donné ci-dessous.



Afin d'apporter le maximum de marges de stabilité, on décide de placer ω_m en ω_{0dB} .

Q4 : Déterminer ϕ_m pour que la marge de phase soit effectivement de 45° . En déduire la valeur de a et de T . (On pourra se servir du diagramme de Bode de $R(p)$ fourni précédemment).

Q5 : Déterminer finalement K_i pour que la pulsation ω_{0dB} soit en effet la pulsation de coupure à 0 dB.

Q6 : Que peut-on dire de la marge de gain du système ?

Q7 : Conclure sur les capacités du correcteur à satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges.