

ETUDE DES PERFORMANCES DE LA TECHNOLOGIE HSD DU VEHICULE HYBRIDE TOYOTA PRIUS d'après centrale PSI 2007

1 - Présentation du système et de ses modes de fonctionnement

Objectif : comprendre l'architecture du système HSD par une approche globale.

1.1 - Introduction

Dans le contexte actuel d'économie des énergies fossiles et de réduction des émissions de gaz nocifs, le système de propulsion hybride constitue une alternative intéressante à la propulsion classique par moteur thermique seul car il permet de réduire la consommation.

La spécificité de la solution retenue sur la Prius consiste à :

- Récupérer l'énergie du véhicule lors du freinage,
- Exploiter le moteur thermique à son rendement optimal.



Photo 1

1.2 - Architecture du système hybride HSD TOYOTA

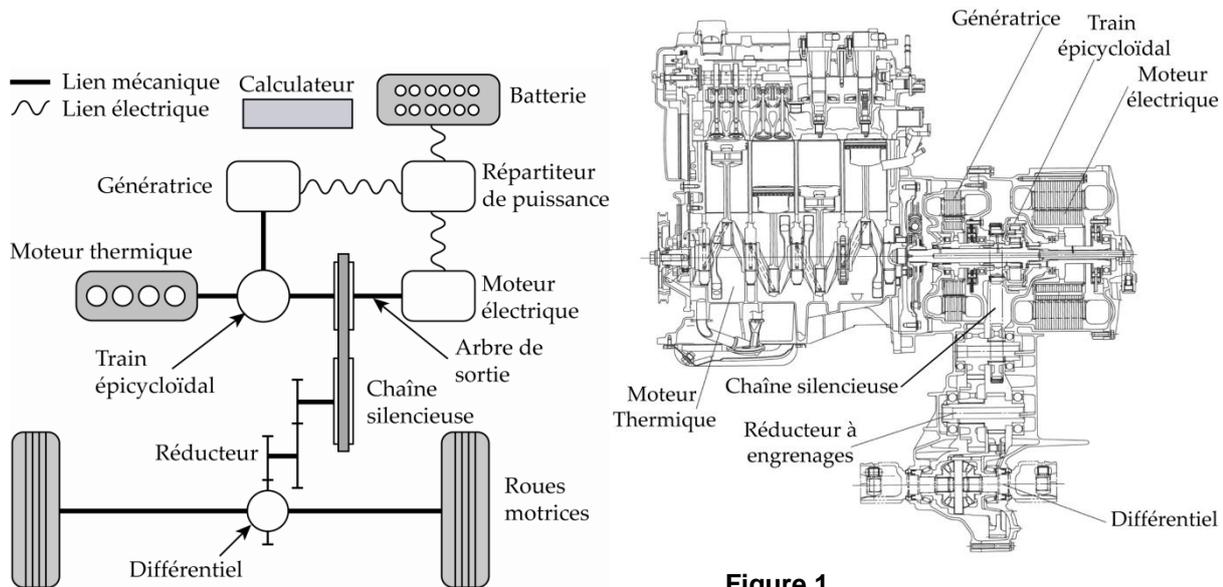


Figure 1

Comme le montre le dessin la figure 1, la technologie hybride de TOYOTA, nommée HSD (Hybrid Synergy Drive) associe un moteur thermique à essence et sa transmission, à deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) et une batterie de puissance.

Le schéma de principe ci-contre et le figure 1 mettent en évidence les deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) reliées au moteur thermique par un train épicycloïdal.

A partir de la position de la **pédale d'accélérateur** et de la vitesse du véhicule, le **calculateur** détermine la **vitesse de rotation optimale** du **moteur thermique** et la consigne d'**ouverture du papillon des gaz**. La puissance en sortie du moteur thermique est transmise, grâce à un **train épicycloïdal**, à la **chaîne silencieuse** et à la **génératrice**. Un **asservissement en vitesse** de la génératrice permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur thermique.

Le **répartiteur de puissance** gère les échanges de puissance électrique entre la **génératrice**, le **moteur électrique** et la **batterie**.

Le **moteur électrique** entraîne la chaîne silencieuse, seul ou en complément du moteur thermique. Il récupère également l'énergie cinétique ou potentielle du véhicule lors des phases de ralentissement.

Les chaînes d'énergie et d'information, figure 2, permettent de percevoir l'organisation des différents composants du HSD. Les fonctions des capteurs relatifs à l'enfoncement de la pédale de frein, au sélecteur de marche et à la température de l'eau du moteur thermique seront développées ultérieurement.

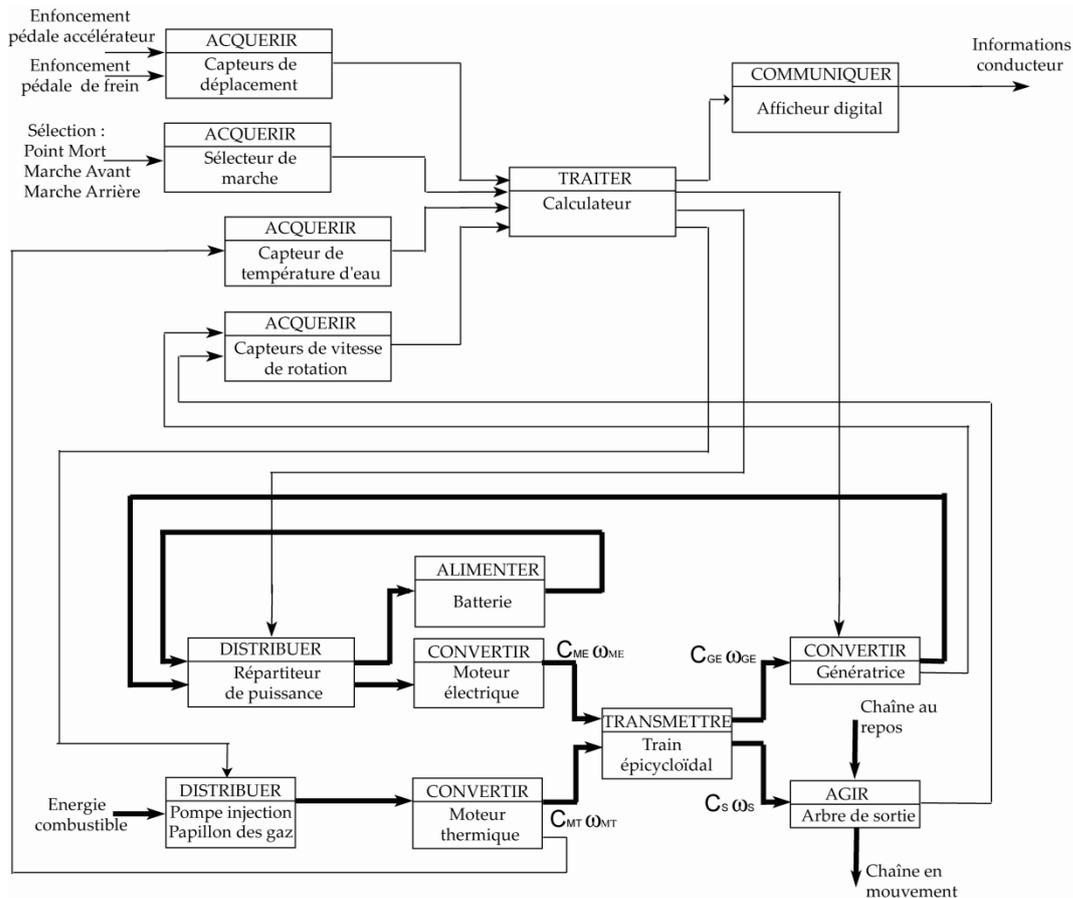


Figure 2 – Chaîne d'information (partie supérieure) et Chaîne d'énergie (partie inférieure)

2 - Analyse de la commande du moteur thermique

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

2.1 - 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.

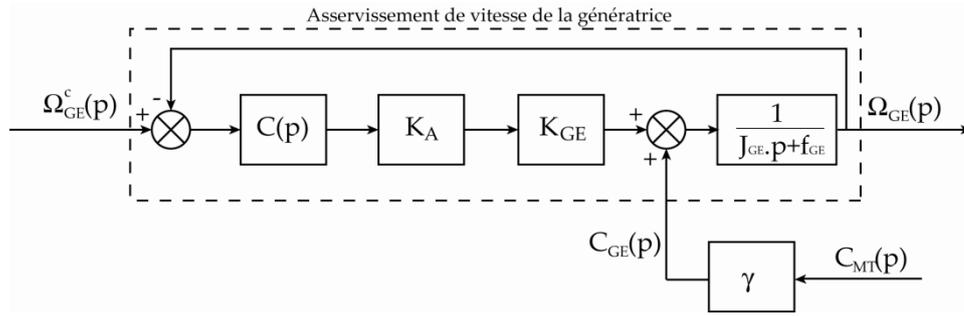
La consommation du véhicule est directement liée aux qualités de cet asservissement. Cette partie s'intéresse à la justification et au dimensionnement d'un correcteur approprié.

Les performances attendues de cet asservissement sont les suivantes :

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

Tableau 1

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 figure 3 où C_{MT} est assimilé à une perturbation extérieure.



Avec $K_{GE} = 2 \text{ N.m.A}^{-1}$; $K_A = 0,5 \text{ A.V}^{-1}$; $J_{GE} = 0,2 \text{ kg.m}^2$; $f_{GE} = 0,05 \text{ N.m.s}$; $\gamma = 0,28$

Figure 3

Q 1 Déterminer l'expression de $\Omega_{GE}(p)$ en fonction de $\Omega_{GE}^c(p)$ et de $C_{MT}(p)$

Q 2 Expliquer pourquoi un asservissement avec correction unitaire ($C(p)=1$) ne permet pas de satisfaire le cahier des charges (tableau 1).

2.2 - 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 $R(p) = \frac{1}{p} \frac{K_A K_{GE}}{J_{GE} p + f_{GE}}$ est fourni sur le document réponses figure 5.

Q 3 Justifier que ce correcteur ne permet pas de satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges (tableau 1).

2.3 - Correction Intégrale associée à une correction à avance de phase

La fonction de transfert du second correcteur envisagé est notée

$$C(p) = \frac{K_i}{p} \frac{1+Tp}{1+aTp} = C_1(p)C_2(p) \text{ avec } a < 1 \text{ et } C_1(p) = \frac{K_i}{p} \text{ et } C_2(p) = \frac{1+Tp}{1+aTp}$$

Le diagramme de Bode du correcteur $C_2(p)$ est donné figure 4.

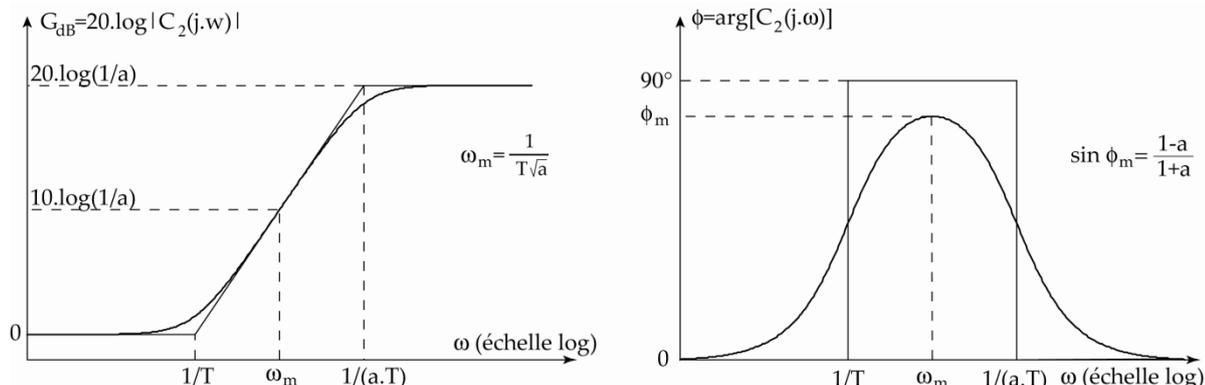


Figure 4

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

Q 4 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 figure 5)

Q 5 Déterminer finalement K_i pour que la pulsation ω_{0dB} soit effectivement la pulsation de coupure à 0 dB.

Q 6 Que pensez vous de la marge de gain du système ?

Q 7 Conclure sur les capacités du correcteur à satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges (tableau 1).

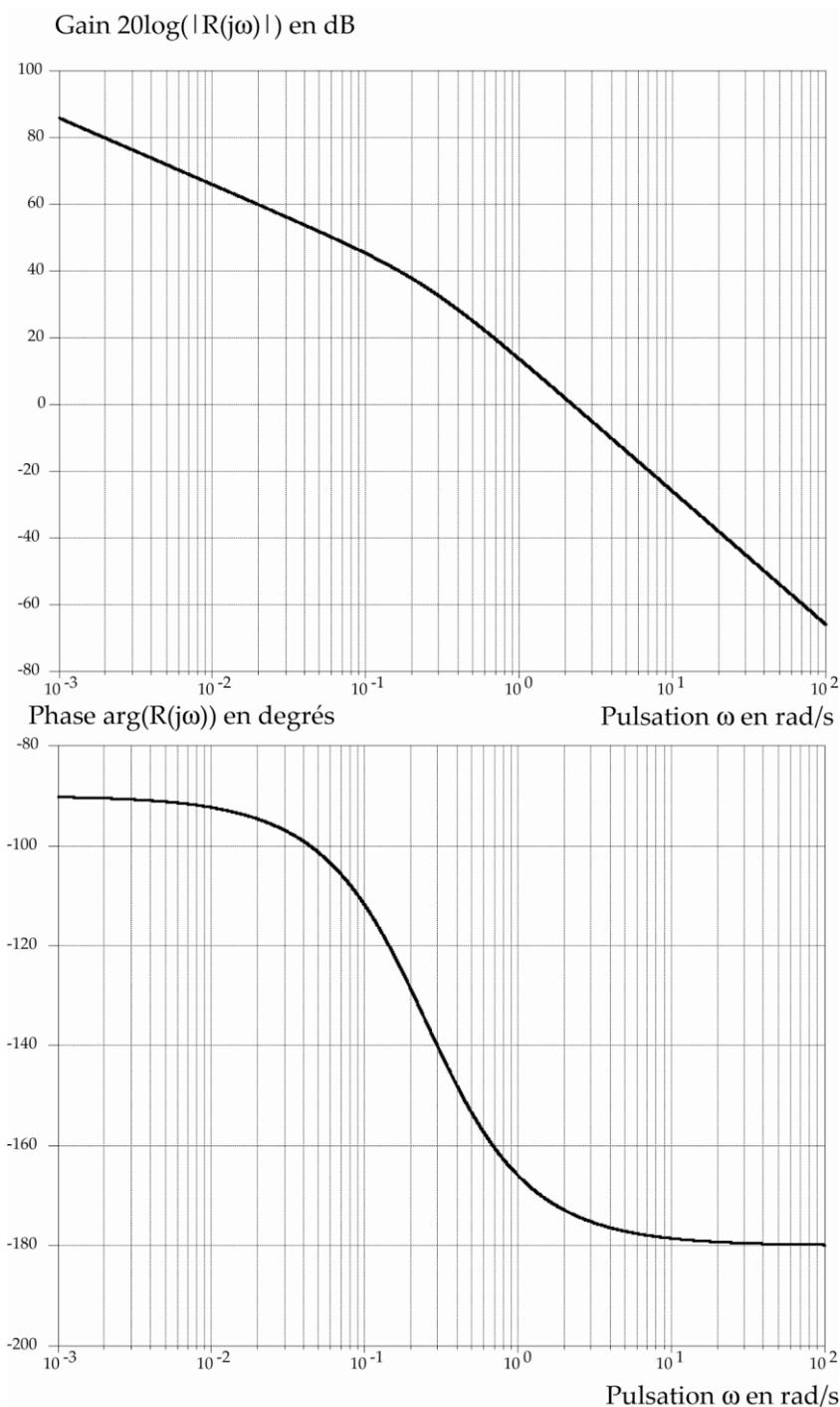


Figure 5