

Dimensionnement du Convertisseur DC/DC de la Toyota Prius

Présentation de la TOYOTA PRIUS.

Le constructeur automobile japonais **TOYOTA** commercialise un véhicule de tourisme à motorisation hybride, la **TOYOTA PRIUS**. Cette motorisation repose sur la combinaison d'un moteur électrique et d'un moteur à essence. L'idée d'associer à bord d'un même véhicule, un moteur électrique et un moteur thermique permet de conserver un excellent niveau de performances dynamiques, tout en diminuant sensiblement la pollution en milieu urbain, grâce à une gestion énergétique optimisée.

En technologie hybride, un calculateur sélectionne le meilleur mode opératoire en fonction de n'importe quelle situation. Il opte pour la propulsion électrique seule lorsque cela est possible ou pour une répartition entre propulsion électrique et thermique lorsque cela est nécessaire. La batterie se recharge automatiquement grâce au moteur essence mais aussi lors des décélération ou du freinage.

Les émissions de CO_2 sont de 104 g.km^{-1} , soit un niveau qui lui permet de rivaliser avec les voitures diesel citadines, les émissions d'oxyde d'azote et d'hydrates de carbone sont plus faibles que pour n'importe quelle voiture à moteur thermique existante. Quant aux émissions de particules, inconvénient important des moteurs diesel, elles sont réduites à zéro.



Figure 1 : La TOYOTA PRIUS.

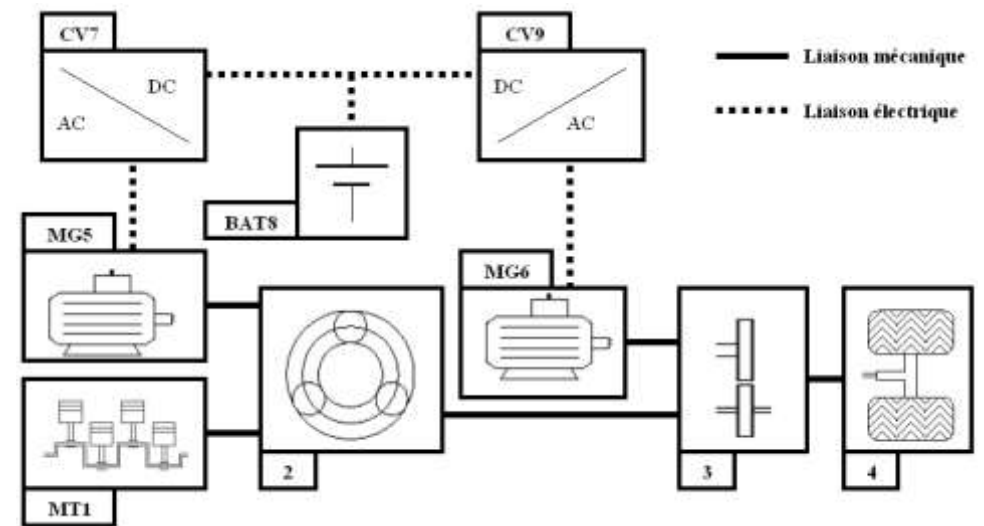


Figure 2 : Chaîne simplifiée de transmission des énergies.

| | |
|-------------|--|
| MT1 | Moteur à essence, puissance utile de 57 kW à 5000 tr.min^{-1} |
| 2 | Répartiteur de puissance (train épicycloïdal) |
| 3 | Réducteur + différentiel |
| 4 | Roues motrices directrices (train avant) |
| MG5 | Machine électrique permettant le démarrage du moteur MT1 et la recharge de la batterie BAT8 . Puissance utile nominale = 18 kW (mode moteur) |
| MG6 | Machine électrique permettant de fournir de l'énergie aux roues ou de recharger la batterie BAT8 . |
| CV7 | Convertisseur AC/DC réversible. |
| BAT8 | Batterie d'accumulateurs Nickel-Métal hydrure. Tension Nominale = 202 V . |
| CV9 | Convertisseur AC/DC réversible. |

Partie III – Dimensionnement du Convertisseur DC/DC placé entre BAT8 et les onduleurs CV7 et CV9.

Dans la première version de la PRIUS (année 2000) les convertisseurs **CV7** et **CV9** étaient directement reliés à la batterie **BAT8** (figure 2). Dans la seconde version de la PRIUS (année 2004), le constructeur a intercalé un convertisseur DC/DC entre la batterie et les convertisseurs **CV7** et **CV9**.

Objectif : déterminer les caractéristiques des interrupteurs utilisés pour réaliser le convertisseur DC/DC. Ce convertisseur permet d'obtenir une tension d'alimentation $U_1 = 500$ V à partir d'une tension aux bornes de la batterie **BAT8** comprise entre 150 V et 260 V.

III.A) Mettez en évidence l'intérêt de la présence du convertisseur **DC/DC** ? Quelles doivent être ses propriétés nécessaires de réversibilité ?

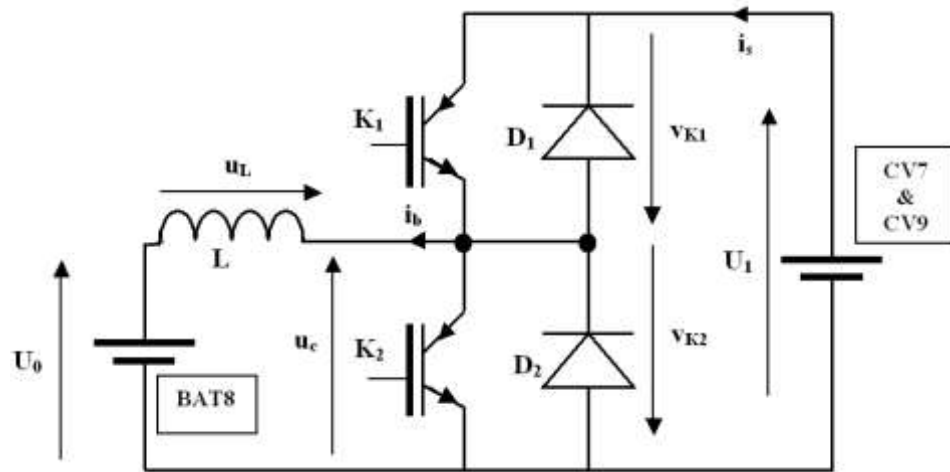


Figure 9: Structure du convertisseur DC/DC.

Les interrupteurs K_1 et K_2 sont des **IGBT** (Insulated Gate Bipolar Transistor).

La période du signal de commande des interrupteurs K_1 et K_2 est $T_h = 50$ μ s.

L'interrupteur K_1 est commandé à la fermeture de l'instant $t = 0$ à l'instant $t = \alpha T_h$, puis à l'ouverture de l'instant $t = \alpha T_h$ à l'instant $t = T_h$.

La commande de l'interrupteur K_2 est complémentaire de la commande de l'interrupteur K_1 .

Les caractéristiques des IGBT et des diodes sont données figure 10.

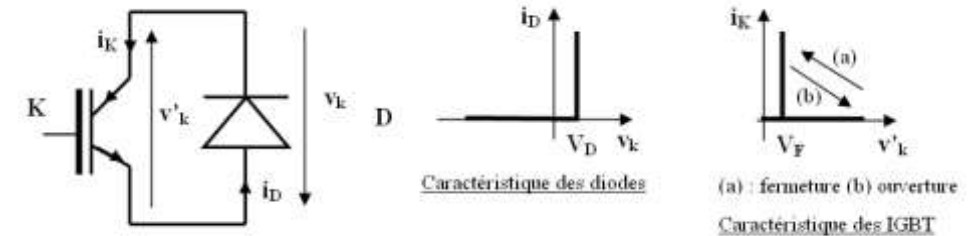


Figure 10: Caractéristiques des diodes et des IGBT.

Les composants seront choisis dans une famille où $V_D = 1,5$ V et $V_F = 1,8$ V.

La tension U_1 est une tension continue constante de 500 V.

La tension U_0 est la tension continue mesurée aux bornes de la batterie. Cette tension U_0 dépend de la température de la batterie, de la quantité d'électricité stockée dans la batterie et de la valeur moyenne du courant i_b . On donne 150 V $< U_0 < 260$ V.

On adopte l'hypothèse de la conduction continue dans **BAT8**. De plus pendant une période de hachage, le courant i_b est soit strictement positif, soit strictement négatif.

III.B) Choix des interrupteurs : Détermination des contraintes en tension.

Pour les questions **III.B.1)** à **III.B.4)** vous distinguerez clairement les cas $i_b > 0$ et $i_b < 0$.

III.B.1) Pour $0 \leq t \leq \alpha T_h$ donner les expressions des grandeurs $u_c(t)$, $v_{K1}(t)$, $v_{K2}(t)$ et $u_L(t)$ en fonction de U_1 , U_0 , V_D et V_F .

III.B.2) Pour $\alpha T_h \leq t \leq T_h$ donner les expressions des grandeurs $u_c(t)$, $v_{K1}(t)$, $v_{K2}(t)$ et $u_L(t)$ en fonction de U_1 , U_0 , V_D et V_F .

III.B.3) Déterminer l'expression de $\langle u_c \rangle$ en fonction de α , U_1 , V_D et V_F .

III.B.4) Déterminer l'expression de $\langle u_c \rangle$ en fonction de U_0 . Exprimer alors α en fonction de U_0 , U_1 , V_D et V_F .

III.B.5) Donner la plage de variation du rapport cyclique α .

III.B.6) Compte-tenu des réponses précédentes, indiquez les valeurs numériques maximales des tensions qui participent au choix des composants K_1 , D_1 , K_2 et D_2 .

III.C) Dimensionnement de la bobine de lissage L.

Pour cette question, on néglige les chutes de tension V_D et V_F , si bien que quelle que soit la valeur de i_s , on a la relation $U_0 = \alpha U_1$.

À $t = 0$, $i_b = I_{b0}$.

III.C.1) Pour $0 \leq t \leq \alpha T_h$ établir l'expression de $i_b(t)$ en fonction de U_1 , α , I_{b0} et L .

III.C.2) Établir l'expression de l'ondulation $\Delta I_b = (i_b)_{\max} - (i_b)_{\min}$ en fonction de U_1 , α , T_h et L .

III.C.3) Montrer que l'ondulation ΔI_b est maximale pour une certaine valeur de α , notée α_1 . Déterminer la valeur de α_1 et établir l'expression de $\Delta I_b(\alpha_1)$.

La durée de vie et la quantité d'électricité que l'on peut stocker dans les batteries de type NiMH dépendent beaucoup de la valeur de l'ondulation du courant i_b . Afin d'obtenir une durée de vie de la batterie d'environ **150.000 km**, on souhaite limiter l'ondulation de ce courant à **2 A** maximum, quel que soit le mode de fonctionnement de la batterie.

III.C.4) Calculer la valeur minimale de l'inductance L de la bobine de lissage.

III.D) Choix des interrupteurs : Détermination des contraintes en courant.

Pour cette question, les hypothèses émises à la question **III.C)** sont toujours valides.

On néglige l'ondulation du courant $i_b(t)$. D'où $i_b = I_b$ avec $-200 \text{ A} \leq I_b \leq 80 \text{ A}$.

III.D.1) Pour $0 \leq t \leq T_h$ dessiner $i_{D1}(t)$, $i_{K1}(t)$, $i_{K2}(t)$, $i_{D2}(t)$ et $i_s(t)$ pour $\alpha = 0,45$. L'orientation des courants est indiquée *figure 10* et *figure 9*.

Vous envisagerez les cas $I_b > 0$ puis $I_b < 0$.

III.D.2) À partir de la réponse à la question **III.D.1)**, déterminer les valeurs efficaces et moyennes des courants $i_{D1}(t)$, $i_{K1}(t)$, $i_{K2}(t)$, $i_{D2}(t)$ et $i_s(t)$ en fonction de α et de I_b .

III.D.3) Compte-tenu des réponses aux questions **III.B.5)** et **III.D.2)**, indiquez les valeurs numériques maximales des courants moyens qui participent au choix des composants K_1 , D_1 , K_2 et D_2 .

III.E) Choix des interrupteurs : Détermination des références.

Le constructeur de composants **MITSUBISHI** a développé des modules IGBT qui regroupent dans un même boîtier les composants K_1 , D_1 , K_2 , D_2 .

Les caractéristiques principales des modules sont :

V_{CES} : Tension collecteur-émetteur maximale.

I_C : courant collecteur moyen maximal pour l'IGBT.

I_E : courant direct moyen pour la diode.

I_{CM} : courant crête maximal pour l'IGBT.

I_{EM} : courant crête maximal pour la diode.

| V_{CES} en V | I_C en A | | | | |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 |
| 600 | | CM150-DY12NF | CM200-DY12NF | CM300-DY12NF | CM400-DY12NF |
| 1200 | CM100-DY24NF | CM150-DY24NF | CM200-DY24NF | CM300-DY24NF | CM400-DY24NF |

Pour tous les modules du tableau $I_E = I_C$ et $I_{EM} = I_{CM} = 2I_C$.

En prenant un coefficient de sécurité de **1,1** sur les tensions et de **1,2** sur les courants, choisir le module qui convient à l'application étudiée.



Figure 11: Convertisseur DC/DC + Onduleurs CV7 et CV9