

Seminar 2004 - Production d'électricité avec une éolienne

Qq données : Puissance nominale de l'éolienne 300 kW ; 3 pales de 15 m ; mât de 40 m
vitesse du vent entre 50 et 80 km/h.

Partie A - Etude de la machine asynchrone fonctionnant en moteur.

caract. nominales : $p = 2$, rota CCT, stator 230V/400V-50Hz, $P_u = 300$ kW ;

$N = 1485$ tr/min ; rendement 96% nominal

pertes méca $P_m = 1,0$ kW ;

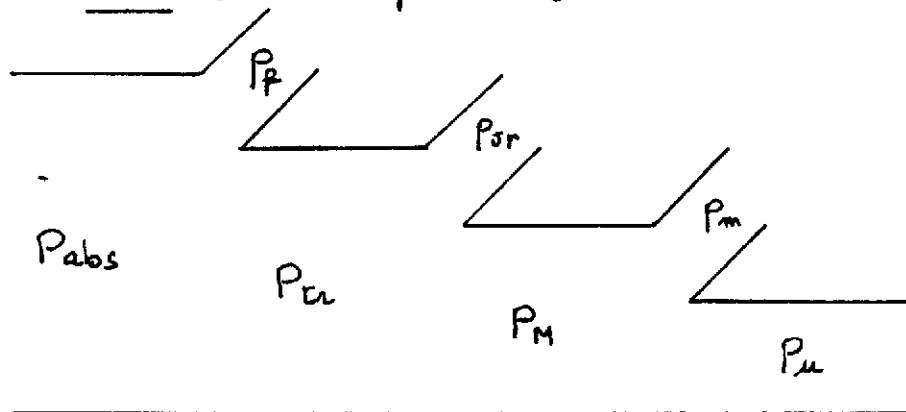
pertes fa rotor et pertes Joule stator négligées.

A1 - Questions préliminaires.

A11 - Sous réseau à 50 Hz avec $p = 2 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N_s = 1500 \text{ tr/min.} \\ \Omega_s = 157 \text{ rad/s.} \end{array} \right. \quad 0,5$

glissement nominal : $g_m = \frac{N_s - N_m}{N_s} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} g_m = 1\% \end{array} \right. \quad 0,5$

A12 - Bilan des puissances



A2 - Calcul des couples nominaux

A21 - $T_u = \frac{P_u}{\Omega}$ avec $\Omega = \frac{\pi \cdot 1485}{30} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_u = 1,93 \text{ kNm} \end{array} \right. \quad 0,5$

A22 - $T_m = \frac{P_m}{\Omega}$ avec $P_m = 1 \text{ kW} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_m = 6,43 \text{ Nm} \end{array} \right. \quad 0,5$

A23 - $T_e = \frac{P_u}{\Omega_s}$ avec aussi $T_e = T_m + T_u \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_e = 1,94 \text{ Nm} \end{array} \right. \quad 0,5$

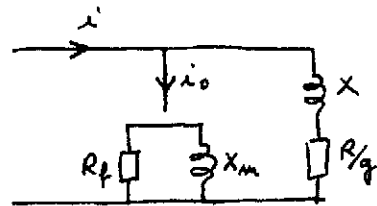
A3 - Calcul des puissances nominales.

A31 - $P_u = T_e \cdot \Omega_s$ et $P_{Jr} = g P_u \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_u = 304 \text{ kW} \text{ et } P_{Jr} = 3,04 \text{ kW} \end{array} \right. \quad 0,5$

A32 - $P_{abs} = \frac{P_u}{\eta}$ et $P_f = P_{abs} - P_u \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_{abs} = 313 \text{ kW} \text{ et } P_f = 8,46 \text{ kW} \end{array} \right. \quad 0,5$

A4 - Modèle électrique équivalent d'une phase de la machine asynchrone.

on admet le modèle suivant:



A41 -
$$P_{ps} = 3 \frac{V^2}{R_f} \Rightarrow R_f = 18,8 \Omega$$

A42 -
$$I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + X^2}} \Rightarrow I_r = 44 \text{ SA}$$

A43 -
$$P_u = 3 \frac{R}{g} I_r^2 \Rightarrow P_u = 297 \text{ kW}$$

en A31 on a trouvé $P_u = 304 \text{ kW}$ soit un écart de 2,4% non significatif du fait de la précision (à deux chiffres) des données du problème.

Partie B - Machine fonctionnant en génératrice hypersynchrone.

B1 - Vitesse et glissement en condition nominale.

B11 - Si la vitesse de rotation des ples est $N_v = 43,3 \text{ tr/min}$, avec le multiplicateur de vitesse de rapport $m = 35 \Rightarrow N = m \cdot N_v \Rightarrow N = 1516 \text{ tr/min}$ 0,5

B12 -
$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \text{ avec } N_s = 1500 \text{ tr/min} \Rightarrow g = 1,03\%$$
 0,5

La vitesse de rota est supérieure à la vitesse de synchronisme \Rightarrow fcrt hypersynchrone

B2 - Caractéristique couple-vitesse de la machine

B21 -
$$T_e \Omega_s = 3 \frac{R}{g} I_r^2 \text{ et si } I_r \approx \frac{gV}{R} \Rightarrow T_e \approx \frac{3}{\Omega_s} \frac{R}{g} \frac{g^2 V^2}{R^2}$$

Avec $g = 1 - \frac{\Omega}{\Omega_s} \Rightarrow T_e = \frac{3V^2}{R \cdot \Omega_s} \left(1 - \frac{\Omega}{\Omega_s}\right)$ 0,5

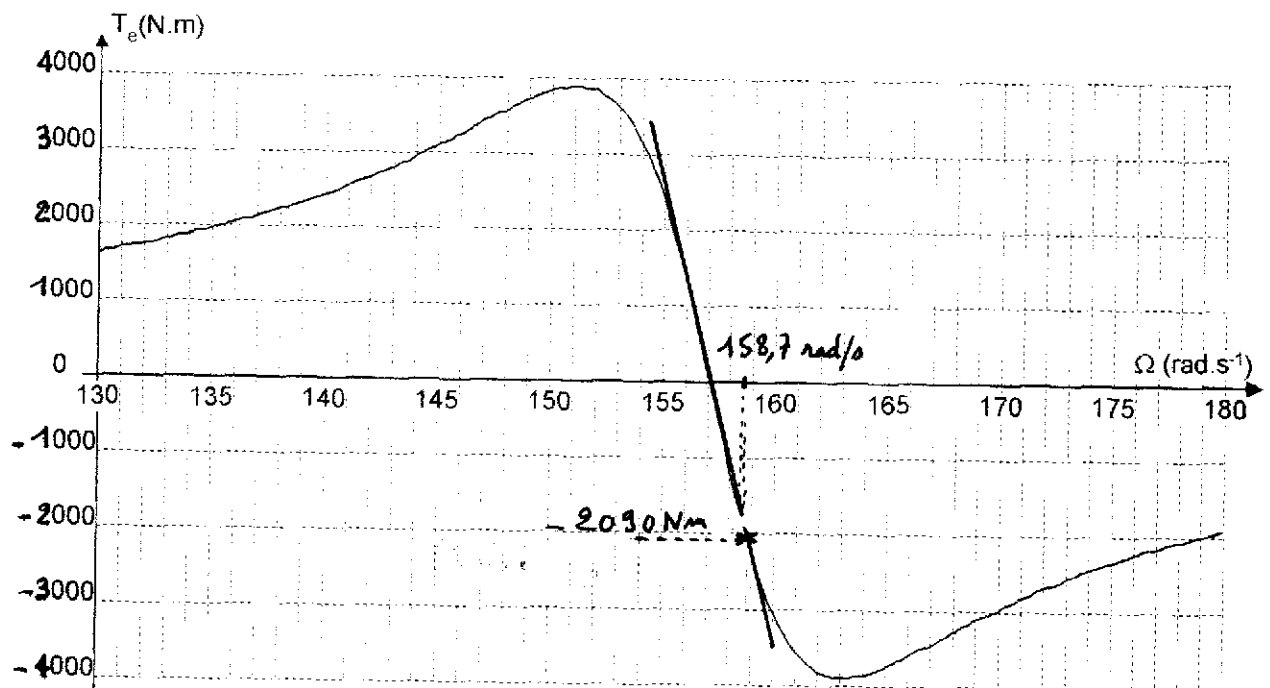
Alors

Ω	$0,99 \Omega_s$	Ω_s	$1,01 \Omega_s \text{ (rad/s)}$
T_e	2020	0	-2020 (Nm)

B22 - La caractéristique approchée est tangente à la caractéristique exacte pour $\Omega = \Omega_s$. D'où la courbe (en B23).

B23 - Point de fonctionnement nominal de l'éolienne : Si $N = 1515 \text{ t/j}$.

on a $\Omega = 158,7 \text{ rad/s}$.



B3 - Application

B31: Puissance P_v à l'entrée du multiplicateur.

Avec la convention de signe retenue : $\{ P_v = -306 \text{ kW} \}$

B32: D'après B21 : $T_e \cdot \Omega_s \cdot R \approx 3gV^2 \Rightarrow \left\{ g \approx \frac{T_e \cdot \Omega_s \cdot R}{3V^2} \right\}$

avec $T_e = -1882 \text{ Nm}$, $\Omega_s = 157 \text{ rad/s}$, $R = 5 \text{ m}\Omega \Rightarrow \left\{ g \approx -0,93\% \right\}$

B33: avec $I_r \approx \left| \frac{g \cdot V}{R} \right| \Rightarrow \left\{ I_r = 428 \text{ A} \right\}$

B34: Expression de la puissance réactive consommée par la machine asynchrone : $Q_G = 3 \cdot \frac{V^2}{X_m} + 3 \cdot X \cdot I_r^2 \Rightarrow \left\{ Q_G = 3 \left[\frac{V^2}{X_m} + X I_r^2 \right] \right\}$

AN: $\left\{ Q_G = 194 \text{ kVAR} \right\}$ 0,5

B35: Puissance apparente : $S_G^2 = P_G^2 + Q_G^2 \Rightarrow \left\{ S_G = 347 \text{ kVA} \right\}$

Facteur de puissance $f_p = \frac{P_G}{S_G} \Rightarrow \left\{ f_p = 0,83 \right\}$ 0,5

B36: amélioration de f_p en ajoutant en // de condensateurs. 0,5

Partie C - Etude de l'onduleur.

C1 - Tensions délivrées par l'onduleur.

C11 - Si les interrupteurs présents sur un même bras sont commandés en même temps à la fermeture, la source de tension est mise en "court-circuit". (terme à pondérer par le fait que le courant dans un inter électronique est limité par sa commande)

C12 - Voir document réponse n° 2.

C13 - Voir document réponse n° 2.

C14 - Allure des fondamentaux V_{A1}, V_{B1}, V_{C1} -

Remarque: Avec une source de valeur E_B , la tension V_1 évolue en escaliers entre $\frac{2}{3} E_B$ et $-\frac{2}{3} E_B$ et l'amplitude du fondamental est $\frac{2}{\pi} E_B$.
 \Rightarrow le sommet de $V_{A1}(t)$ est légèrement en dessous de celui de $V_A(t)$.

d'où les courbes V_{A1}, V_{B1}, V_{C1} sur document réponse n° 2.

$$\underline{C15} - \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot E_B = 230 \quad \Rightarrow \quad \left\{ \underline{E_B = 511 V} \right.$$

C2 - L'onduleur alimente la charge seule (l'éolienne ne fonctionne pas).

C21 - Voir document réponse n° 3.

C22 - Courant débité par la batterie

Sur chaque intervalle de conduction on remarque que 3 interrupteurs conduisent (2 côté + batterie et 1 côté - batterie) ou (1 côté + batt et 2 côté - batt).

Donc i est à chaque instant la somme de 2 courants de phases motrices; comme $i_A + i_B + i_C = 0 \Rightarrow i$ est l'opposé du 3^{ème} courant (au signe près).

Ainsi: pour $0 < \theta < \frac{\pi}{3}$, T_1 et T_3 conduisent $\Rightarrow i = i_A + i_C \Rightarrow i = -i_B$.

pour $\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{2\pi}{3}$, T_2 et T_3 conduisent $\Rightarrow i = -(i_B + i_C) \Rightarrow i = i_A$.

pour $\frac{2\pi}{3} < \theta < \pi$, T_1 et T_2 conduisent $\Rightarrow i = i_A + i_B \Rightarrow i = -i_C$. etc.

$$\underline{C23} - \text{Comme } P_{ch} = E_B \cdot \langle i \rangle \Rightarrow \left\{ \underline{\langle i \rangle = 392 A} \right.$$

C3 - Onduleur connecté à la charge et à l'éolienne.

P_1, P_2, Q_1, Q_2

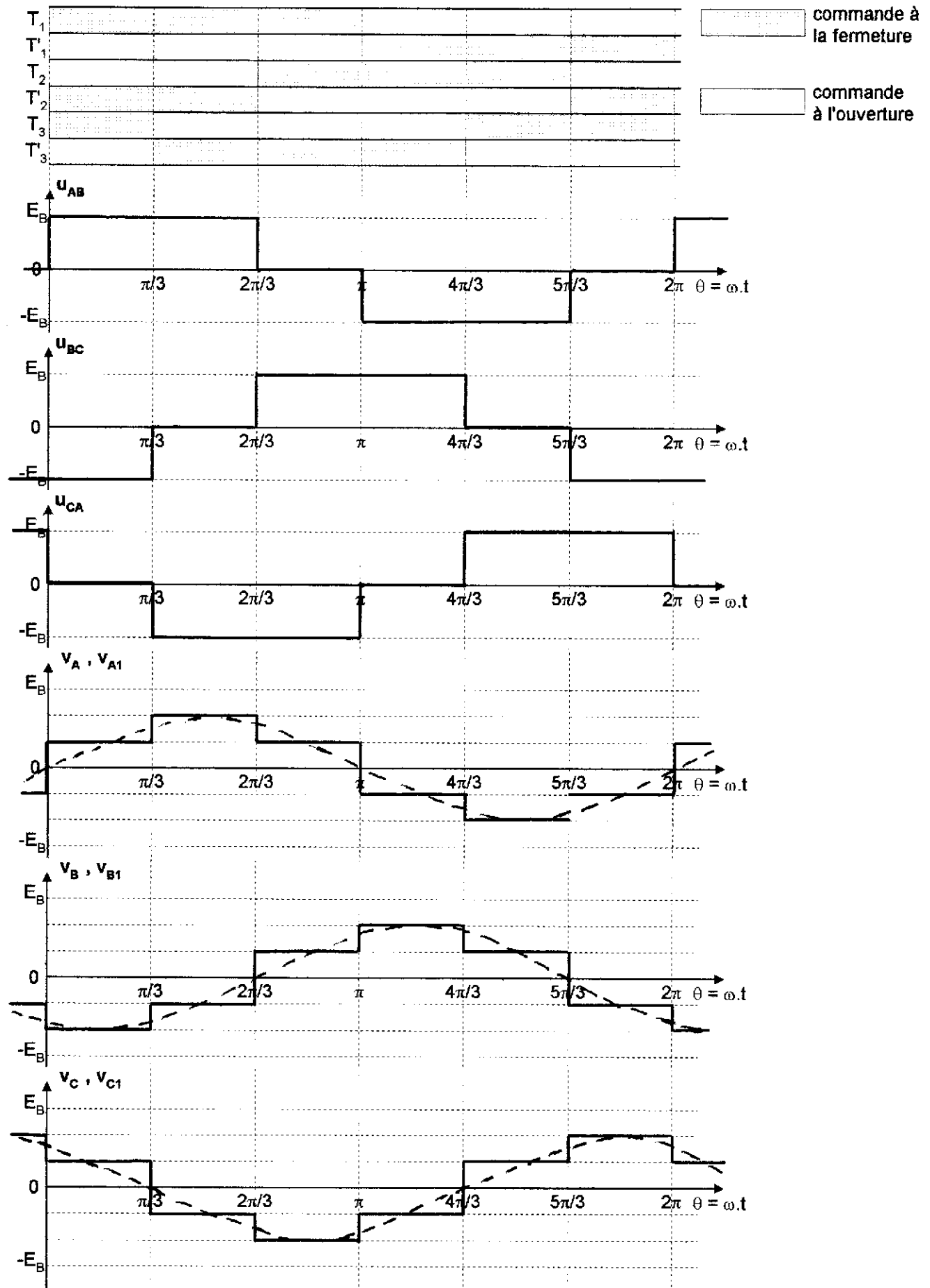
C31 - Avec Bouclier: $\left\{ \begin{array}{l} P_1 = 100 \text{ kW} \quad Q_1 = -350 \text{ kVAR} \\ P_2 = -177 \text{ kW} \quad Q_2 = -273 \text{ kVAR} \end{array} \right.$

en conv récepteur

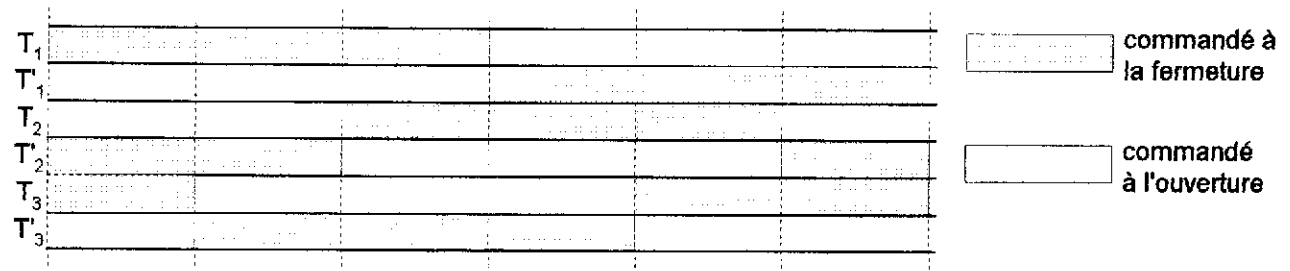
C32 - Cas 1: la batterie se charge. Cas 2: elle se décharge.

Document réponse n°2

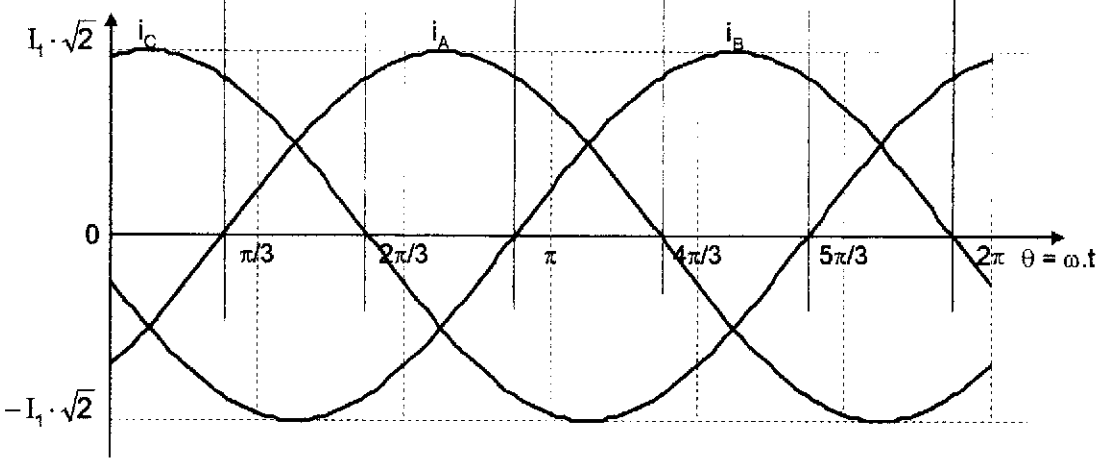
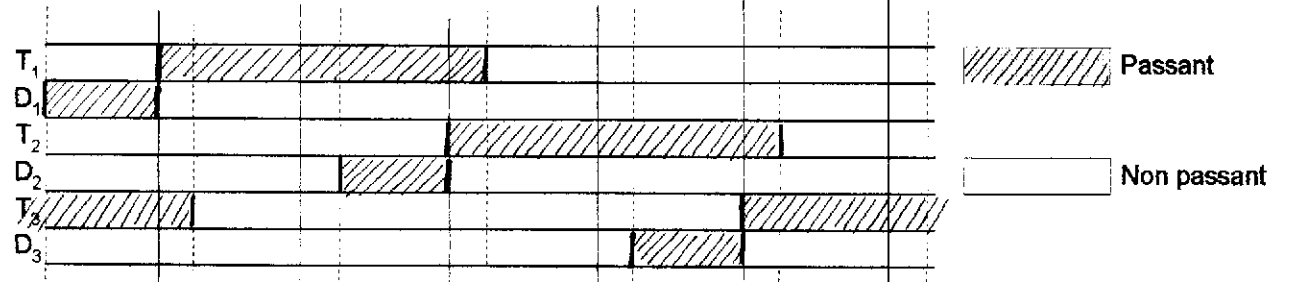
C.1 - Tensions délivrées par l'onduleur



Document réponse n°3



C.2.1 – Séquence de conduction des éléments



C.2.2 – Chronogramme du courant i délivré par la batterie

