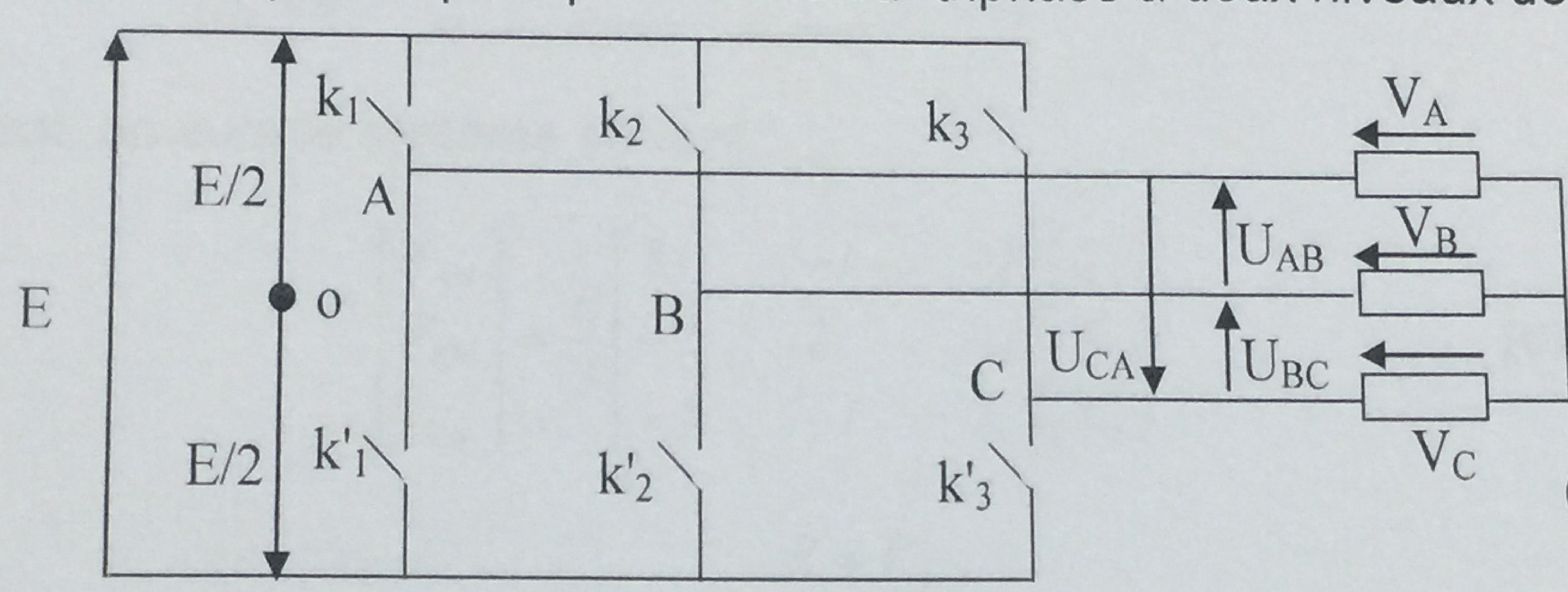
UNIVERSITE DE SIDI BEL ABBES
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE
Dr. Bentaallah A

Le 15/01/2018 AU : 2017/2018
Module : MSSE
Option : Master 2 Electromécanique

Corrigé type de l'EMD
Modélisation et Simulation des Systèmes Electromécanique

Réponse1:
Modèle mathématique simplifié pour l'onduleur triphasé à deux niveaux de tensions.



(01pt)

Les équations de tension simples appliquées aux trois phases statoriques sont :

$$\begin{cases} V_{AN} = V_{AO} + V_{ON} \\ V_{BN} = V_{BO} + V_{ON} \\ V_{CN} = V_{CO} + V_{ON} \end{cases}$$ **(01pt)**

Par addition on a : $V_{AN} + V_{BN} + V_{CN} = V_{AO} + V_{BO} + V_{CO} + 3V_{ON}$

Sachant que le système des tensions triphasées statoriques est symétrique, donc :

$$V_{AO} + V_{BO} + V_{CO} + 3V_{ON} = 0$$

D'où : $$V_{ON} = -\frac{1}{3}(V_{AO} + V_{BO} + V_{CO})$$

On remplace les trois équations de tensions dans cette dernière, on aura le système suivant :

$$\begin{cases} V_{AN} = \frac{2}{3}V_{AO} - \frac{1}{3}V_{BO} - \frac{1}{3}V_{CO} \\ V_{BN} = -\frac{1}{3}V_{AO} + \frac{2}{3}V_{BO} - \frac{1}{3}V_{CO} \\ V_{CN} = -\frac{1}{3}V_{AO} - \frac{1}{3}V_{BO} + \frac{2}{3}V_{CO} \end{cases}$$

On peut écrire le système ci-dessus sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{AN} \\ V_{BN} \\ V_{CN} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} V_{AO} \\ V_{BO} \\ V_{CO} \end{bmatrix}$$ **(01pt)**

Avec :

$$\begin{cases} V_{AO} = E.S_1 \\ V_{BO} = E.S_2 \\ V_{CO} = E.S_3 \end{cases}$$

Tel que:

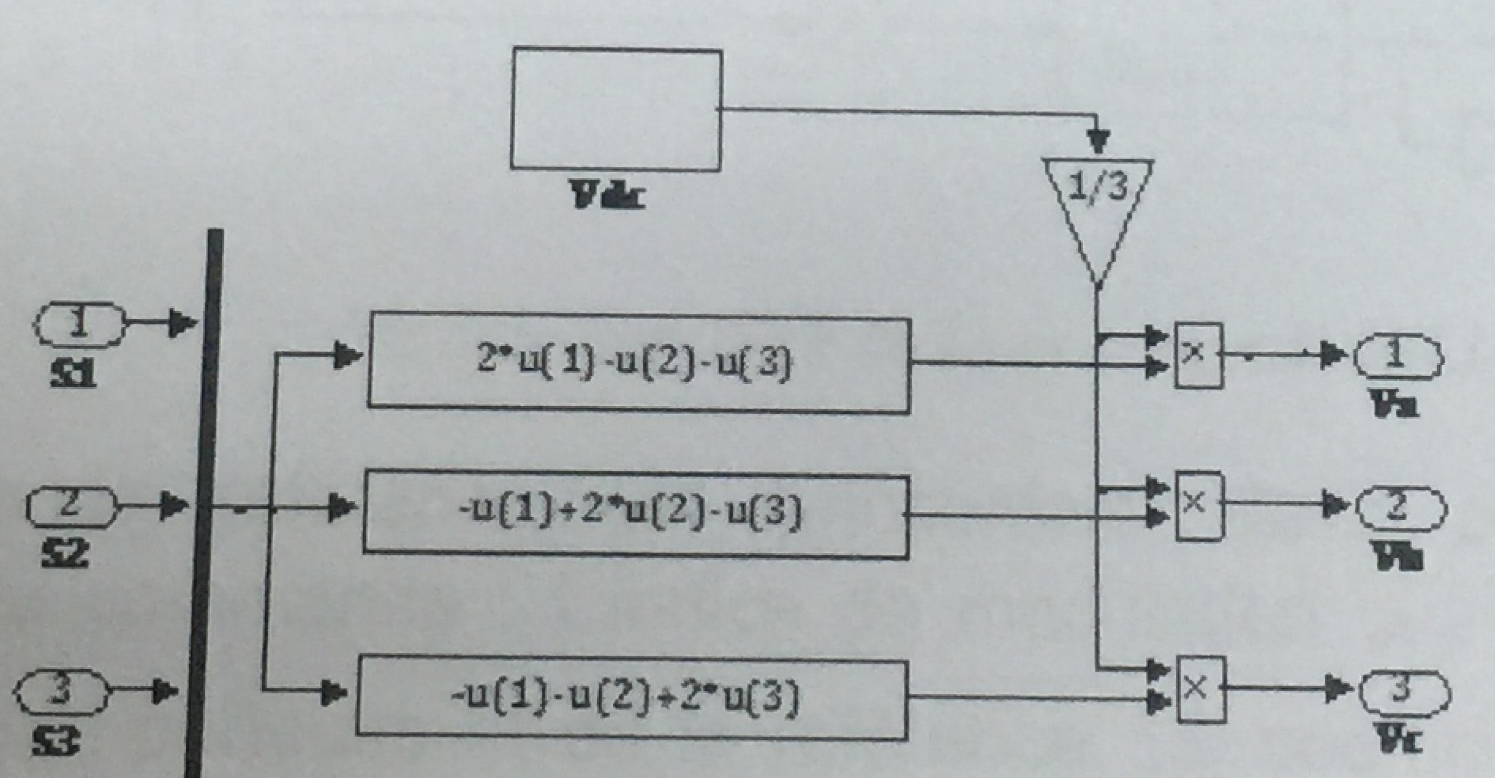
$$\begin{cases} S_1 = 1 \quad si \ k_1 \ fermé \ \ si \ non \ \ S_1 = 0 \\ S_2 = 1 \quad si \ k_2 \ fermé \ \ si \ non \ \ S_2 = 0 \\ S_3 = 1 \quad si \ k_3 \ fermé \ \ si \ non \ \ S_3 = 0 \end{cases}$$

Finalement, on aura le système suivant :

$$\begin{bmatrix} V_{AN} \\ V_{BN} \\ V_{CN} \end{bmatrix} = \frac{E}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}$$ **(01pt)**

$$E = V_{dc}$$

Ce dernier système d'équation représente le modèle mathématique de l'onduleur triphasé à MLI représenté par un schéma bloc suivant:



(01pt)

<u>Réponse2:</u>

Parmi les techniques des commandes à MLI les plus utilisées, on trouve la technique triangulo-sinusoïdale. Elle est obtenue par la comparaison entre deux signaux, un signal de porteuse V_p et les signaux de références V_{ref}. **(01pt)**

Définissant la fonction logique S_j comme le montre la figure ci-dessous. Ces fonctions logiques associées au signal de commande sont définies par :

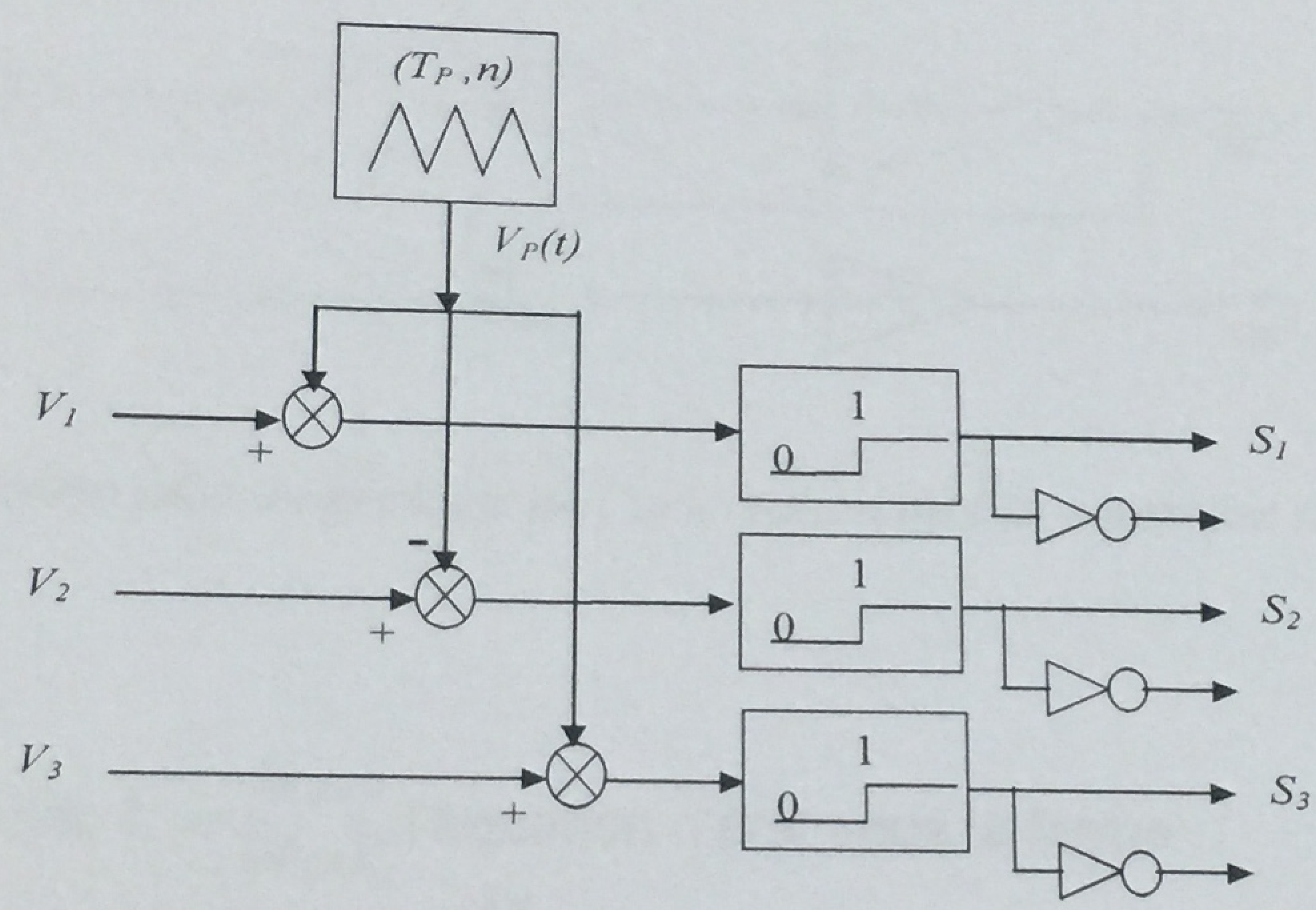
$$S_j = \begin{cases} 1 & si \quad V_{ref} \geq V_P \\ 0 & si \quad V_{ref} < V_P \end{cases}$$

La porteuse est définie par la formule suivante avec n : entier naturel.

$$V_P = \begin{cases} \dfrac{4t}{T_P} - (4n+1) & si \quad t \in \left[nT_P, \left(n+\dfrac{1}{2}\right).T_P \right] \\ \dfrac{-4t}{T_P} + (4n+3) & si \quad t \in \left[\left(n+\dfrac{1}{2}\right).T_P, (n+1).T_P \right] \end{cases}$$ **(01pt)**

Les signaux de référence sont donnés par l'équation suivante :

$$V_{ref} = \sqrt{2}V_{eff}.sin\left[(2\pi f).t - 2.(j-1).\frac{\pi}{3} \right]$$, avec j = 1, 2, 3



(02pt)

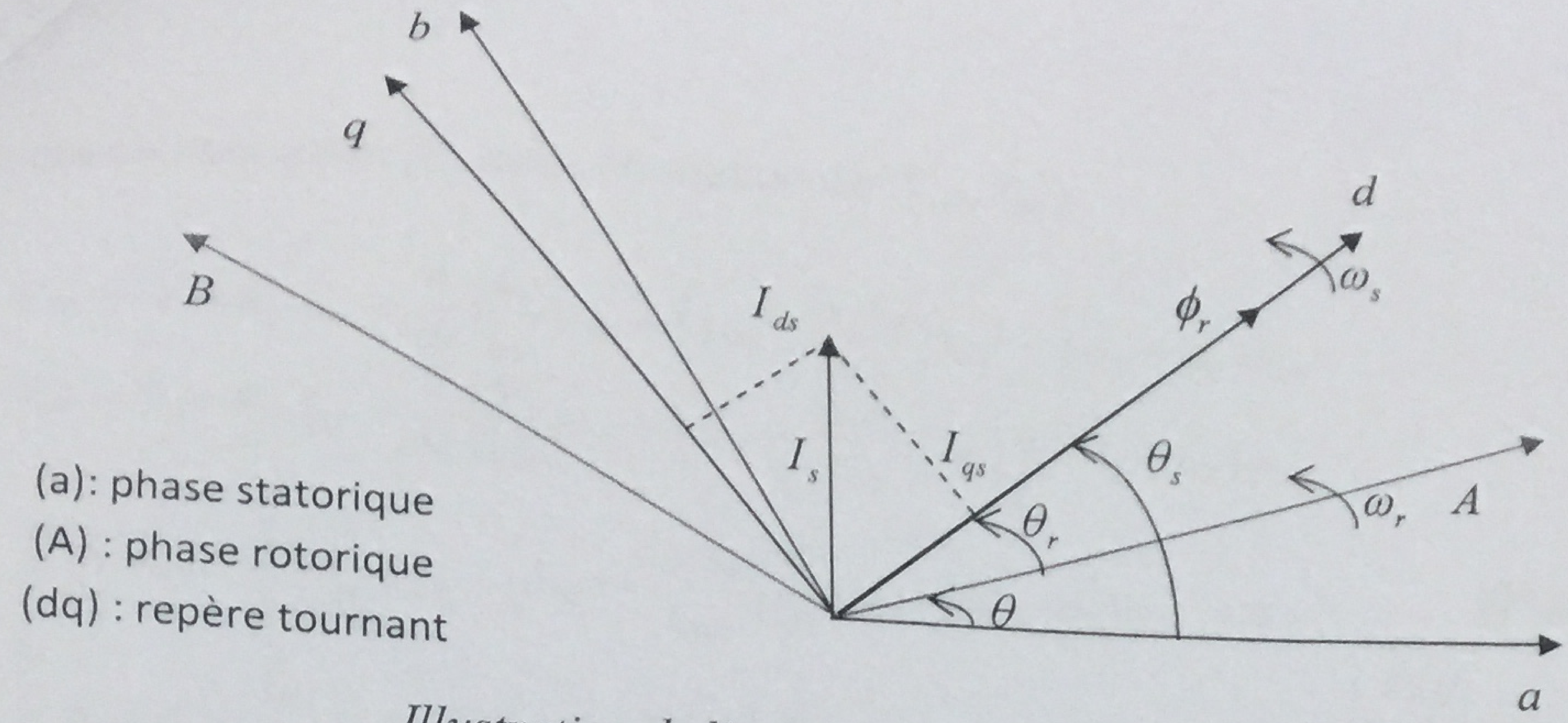
Modele simulink de la commande MLI-ST

Lorsque la référence est sinusoïdale, dans ce cas deux paramètres caractérisant la commande : L'indice de modulation $m = f_p / f_{ref}$ est le rapport des fréquences de la porteuse et de la référence. Le coefficient de réglage en tension (taux de modulation) $r = V_{ref} / V_p$ est le rapport de l'amplitude de tension de référence par rapport à l'amplitude de la porteuse. **(01pt)**

<u>Réponse3:</u>

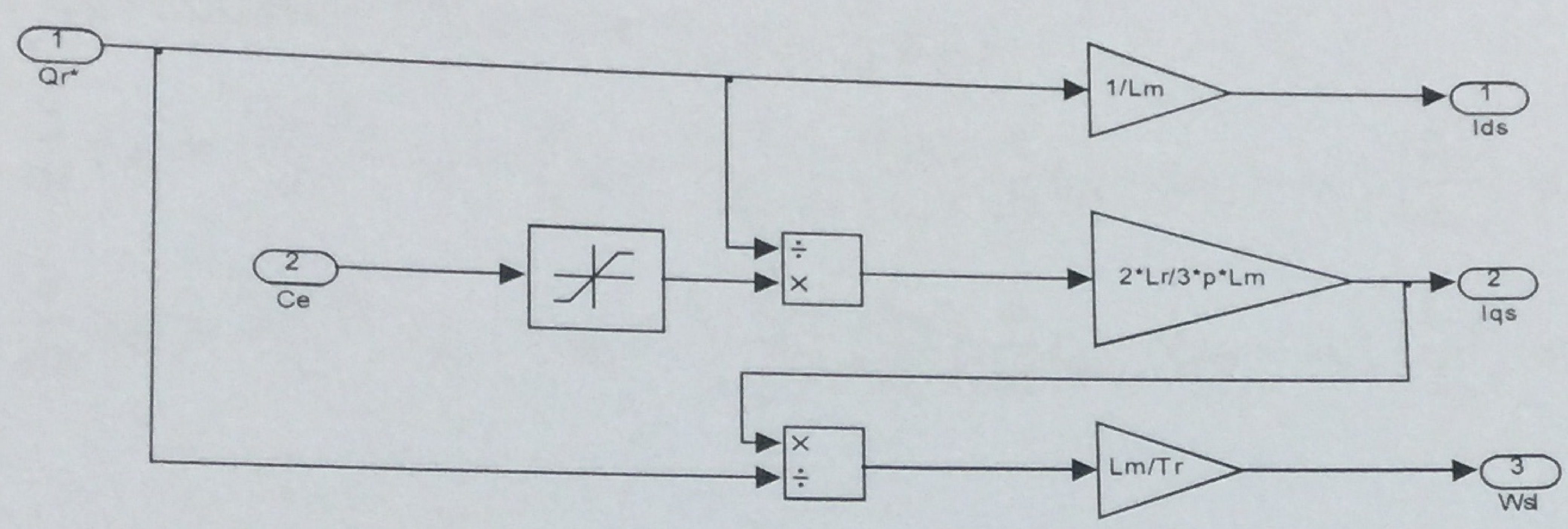
Le principe de la commande par orientation du flux consiste à placer le repère (d-q) tournant tel que l'axe 'd' coïncide avec l'axe du vecteur flux rotorique .

En imposant les conditions de l'orientation du flux rotorique $(\phi = \phi_{dr} = \phi_r \quad et \quad \phi_{qr} = 0)$. **(01pt)**



(01pt)

Illustration de l'orientation du flux rotorique.



(02pts)

Schéma bloc du principe de l'orientation du flux rotorique (OFR).

Réponse4:

Les variables d'état sont: $X = \begin{bmatrix}\varphi_{ds}\\ \varphi_{qs}\end{bmatrix}$, l'équation d'état sous la forme :

$$\dot{X} = A.X + B_1.U + B_2\frac{dU}{dt}$$

A partir de l'équation de flux statorique $(\varphi_{ds}, \varphi_{qs})$, on tire les expressions de (i_{dr}, i_{qr}) :

$$\begin{cases} i_{dr} = \dfrac{1}{L_m}\varphi_{ds} - \dfrac{L_s}{L_m}i_{ds} \\ \\ i_{qr} = \dfrac{1}{L_m}\varphi_{qs} - \dfrac{L_s}{L_m}i_{qs} \end{cases} \qquad \boxed{\text{Eq (5)}}$$

(01pt)

On remplace l'équation (5) dans l'équation de flux rotorique $(\varphi_{dr}, \varphi_{qr})$:

$$\begin{cases} \varphi_{dr} = L_r.\left[\dfrac{1}{L_m}\varphi_{ds} - \dfrac{L_s}{L_m}i_{ds}\right] + L_m.i_{ds} = \dfrac{L_r}{L_m}\varphi_{ds} - \dfrac{L_r.L_s}{L_m}i_{ds} + L_m.i_{ds} \\ \varphi_{qr} = L_r.\left[\dfrac{1}{L_m}\varphi_{qs} - \dfrac{L_s}{L_m}i_{qs}\right] + L_m.i_{qs} = \dfrac{L_r}{L_m}\varphi_{qs} - \dfrac{L_r.L_s}{L_m}i_{qs} + L_m.i_{qs} \end{cases}$$

(01pt)

$$\begin{cases} \varphi_{dr} = \dfrac{L_r}{L_m}\varphi_{ds} + (L_m - \dfrac{L_r.L_s}{L_m})i_{ds} \\ \\ \varphi_{qr} = \dfrac{L_r}{L_m}\varphi_{qs} + (L_m - \dfrac{L_r.L_s}{L_m})i_{qs} \end{cases} \qquad \boxed{\text{Eq (6)}}$$

On remplace l'équation (6) dans l'équation de (V_{dr}, V_{qr}) :

$$\begin{cases} V_{dr} = 0 = R_r . i_{dr} + \frac{d}{dt}[\frac{L_r}{L_m}\varphi_{ds} + \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) i_{ds}] - (\omega_s - \omega_r)\varphi_{qr} \\ V_{qr} = 0 = R_r . i_{qr} + \frac{d}{dt}\left[\frac{L_r}{L_m}\varphi_{qs} + \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) i_{qs}\right] + (\omega_s - \omega_r)\varphi_{dr} \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_r . i_{dr} + \frac{L_r}{L_m}\frac{d}{dt}\varphi_{ds} + \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right)\frac{d}{dt} i_{ds} - (\omega_s - \omega_r)\varphi_{qr} = 0 \\ R_r . i_{qr} + \frac{L_r}{L_m}\frac{d}{dt}\varphi_{qs} + \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right)\frac{d}{dt} i_{qs} - (\omega_s - \omega_r)\varphi_{dr} = 0 \end{cases}$$

(01pt)

Eq (7)

A partir de l'équation (7), on tire $(\frac{d}{dt}\varphi_{ds}, \frac{d}{dt}\varphi_{qs})$

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}\varphi_{ds} = \frac{L_m . R_r}{L_r} . i_{dr} - \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . \frac{d}{dt} i_{ds} + (\omega_s - \omega_r) . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . \varphi_{qr} \\ \frac{d}{dt}\varphi_{qs} = \frac{L_m . R_r}{L_r} . i_{qr} - \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . \frac{d}{dt} i_{qs} - (\omega_s - \omega_r) . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . \varphi_{dr} \end{cases}$$

Eq (8)

(01pt)

On remplace l'équation (5) et (6), dans l'équation (8) :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}\varphi_{ds} = -\frac{L_m . R_r}{L_r} . \left[\frac{1}{L_m}\varphi_{ds} - \frac{L_s}{L_m} i_{ds}\right] - \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . \frac{d}{dt} i_{ds} + \omega_{sr} . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . [\frac{L_r}{L_m}\varphi_{qs} + \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) i_{qs}] \\ \frac{d}{dt}\varphi_{qs} = -\frac{L_m . R_r}{L_r} . \left[\frac{1}{L_m}\varphi_{qs} - \frac{L_s}{L_m} i_{qs}\right] - \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . \frac{d}{dt} i_{qs} - \omega_{sr} . \left(\frac{L_m}{L_r}\right) . [\frac{L_r}{L_m}\varphi_{ds} + \left(L_m - \frac{L_r . L_s}{L_m}\right) i_{ds}] \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}\varphi_{ds} = -\frac{1}{T_r}\varphi_{ds} + \omega_{sr} . \varphi_{qs} + \frac{L_s}{T_r} . i_{ds} - L_s . \omega_{sr} . \sigma . i_{qs} + L_s . \sigma . \frac{d}{dt} i_{ds} \\ \frac{d}{dt}\varphi_{qs} = -\omega_{sr} . \varphi_{ds} - \frac{1}{T_r} . \varphi_{qs} + L_s . \omega_{sr} . \sigma . i_{ds} + \frac{L_s}{T_r} . i_{qs} + L_s . \sigma . \frac{d}{dt} i_{qs} \end{cases}$$

(01pt)

Eq (9)

A partir de l'équation (9), on déduit l'équation d'état sous la forme

$$\dot{X} = A . X + B_1 . U + B_2 \frac{dU}{dt}$$

Avec : $X = \begin{bmatrix} \varphi_{ds} \\ \varphi_{qs} \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & \omega_{sl} \\ -\omega_{sl} & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix}$,

$B_1 = \begin{bmatrix} \frac{L_s}{T_r} & -L_s . \omega_{sl} . \sigma \\ L_s . \omega_{sl} . \sigma & \frac{L_s}{T_r} \end{bmatrix}$, $B_2 = \begin{bmatrix} L_s . \sigma & 0 \\ 0 & L_s . \sigma \end{bmatrix}$, $U = \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}$

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_{ds} \\ \dot{\varphi}_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & \omega_{sr} \\ -\omega_{sr} & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \varphi_{ds} \\ \varphi_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{L_s}{T_r} & -L_s . \omega_{sr} . \sigma \\ L_s . \omega_{sr} . \sigma & \frac{L_s}{T_r} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s . \sigma & 0 \\ 0 & L_s . \sigma \end{bmatrix} . \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}$$

(01pt)