

{ Cours Commande des machines électriques } Association convertisseur-machine.

①

1] Introduction.

Le moteur à courant continu a longtemps été considéré comme le moteur le mieux adapté au fonctionnement à vitesse variable à condition de régler sa vitesse par la tension d'induit.

Dans ce qui suit, on présentera un aperçu sur les différents variateurs associés au moteur à courant continu selon que le réseau d'alimentation est alternatif ou continu.

2] Schémas usuels pour commander MCC :

Les convertisseurs utilisés être classés comme suit :

- Convertisseurs alternatif-continu (Redresseurs) : on distingue les montages non réversibles et les montages réversibles.
- Convertisseurs continu-continu (Hacheur) : il existe, les deux types de montages, non réversibles et réversibles.

2.1] Variateurs à redresseurs :

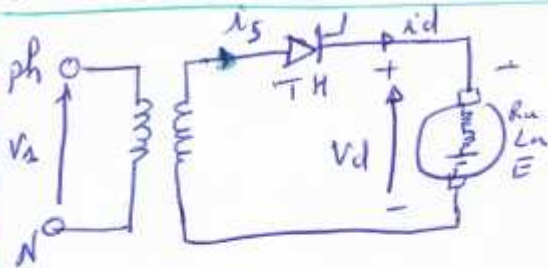
Ce sont les plus répandus dans les applications industrielles puisque'ils partent directement de la tension du réseau.

Association convertisseur-machine.

(avec ou sans transformateur). Ils sont monophasés ou triphasés selon la puissance du moteur. Le tableau ci-dessous montre les différents montages usuels des redresseurs associés avec le moteur à courant continu.

Tableau 1: montages de base.

Redressement mono alternance

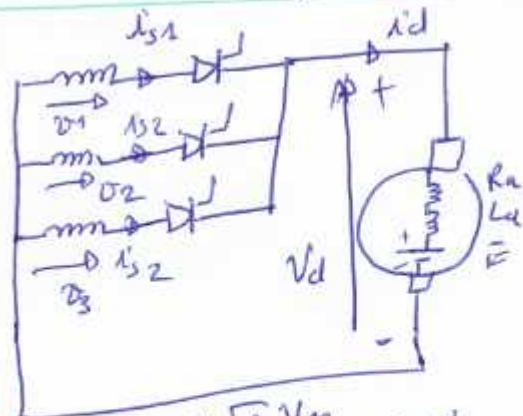


Tension moyenne :

$$U_{ci\alpha} = \frac{V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (P < 8 \text{ kW})$$

utilisé pour les petites puissances

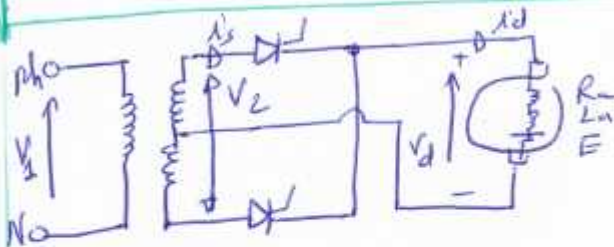
Redressement triphasé simple alternance



$$U_{ci\alpha} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{2\pi} \cos \alpha$$

utilisé pour les moyennes puissances ($8 \text{ kW} < P < 22 \text{ kW}$)

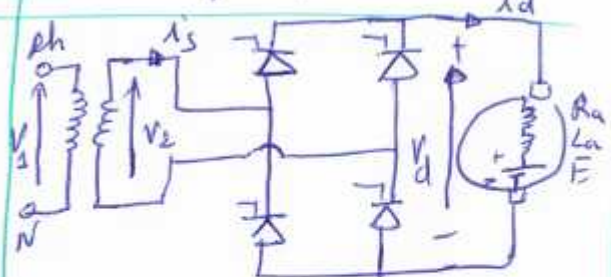
Transformateur à point milieu



$$U_{ci\alpha} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

utilisé pour les petites puissances ($P < 8 \text{ kW}$)

Pont de Graëtz monophasé P D 2



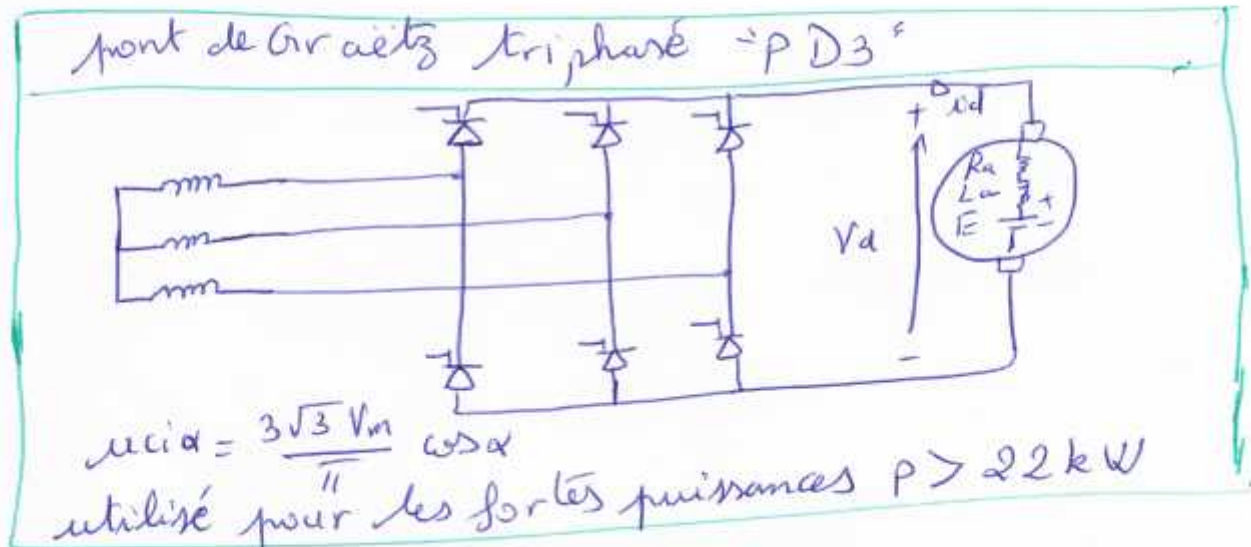
$$U_{ci\alpha} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

utilisé pour les petites puissances ($P < 8 \text{ kW}$)

{ cours Commande des machines électriques }

3

Association convertisseur-machine.



2.1.1] Montages non réversibles:

Lorsque le moteur à courant continu ne doit tourner que dans un sens et que l'entraînement ne nécessite pas un freinage rapide, on utilise un variateur non réversible permettant la marche de machine en moteur dans le 1^{er} quadrant dans le plan couple-vitesse.

• Montages alimentés en monophasé:

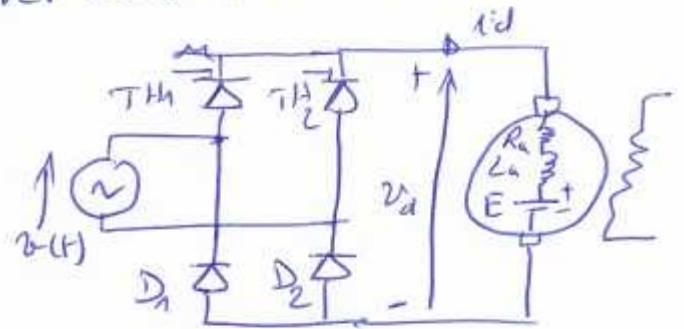
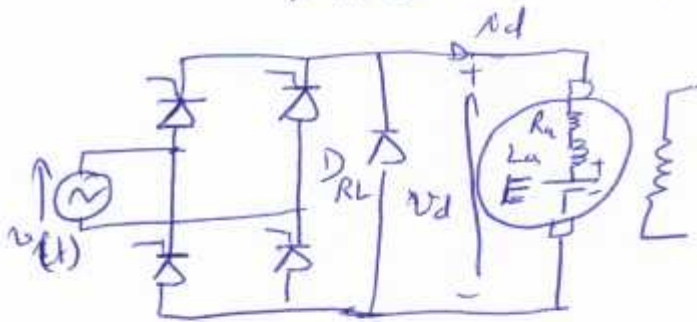
il y a deux possibilités:

- ✓ Pont complet à quatre thyristors avec une diode de roulibre DRL.
- ✓ pont complet mixtes à deux thyristors et deux diodes.

{ cours Commande des machines électriques }

(2)

Association convertisseur-machine.



$$v(t) = V_m \sin \omega t$$

La tension moyenne est:

$$U_a = U_{ci\alpha} = U_{ci0} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$$

avec α est l'angle d'amorçage des thyristors. loi de commande

$$U_{ci0} = \frac{P}{\pi} V_m \sin \left(\frac{\pi}{P} \right) / \underline{P=2} \Rightarrow U_{ci0} = \frac{2 V_m}{\pi}$$

$$U_{ci\alpha} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

• Détermination de la loi de commande de la vitesse:

$$U_a = R_a i_a + E$$

pour une excitation constante $E = k_e \cdot \Omega$

$$\text{constante } E = k_e \cdot \Omega$$

$$U_a = R_a i_a + k_e \Omega$$

$$\text{et nous avons: } U_a = U_{ci\alpha} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$\frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) = R_a i_a + k_e \Omega$$

{ cours : commande - des } { machines électriques }

5

Association convertisseur machine.

$$d = \cos^{-1} \left(\frac{\pi}{V_m} (R_a i_a + K_e \Omega) - 1 \right)$$

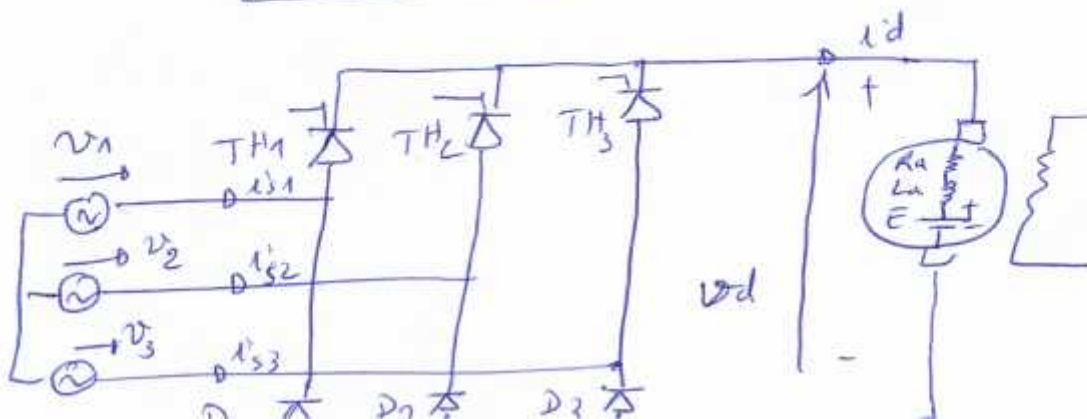
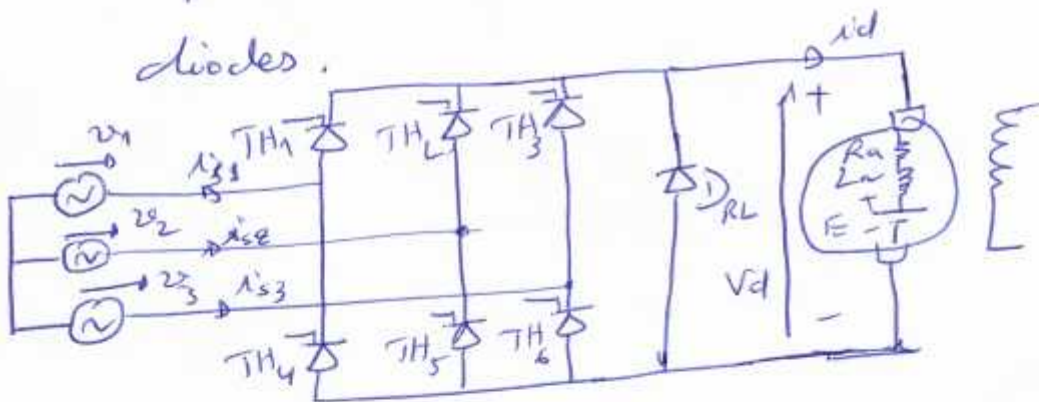
• Montages alimentés en triphasé:

On utilise les montages en pont pour éviter l'emploi d'un transformateur. Il y a deux possibilités:

✓ pont triphasé avec une diode de roulibre DRL.

✓ pont triphasé mixte à trois thyristors et trois

diodes.



Cours / Commande des machines électriques

6

Association convertisseur-machine

Avec:

$$\begin{cases} v_1(t) = V_m \sin(\omega t) \\ v_2(t) = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3(t) = V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases}$$

La tension moyenne est:

$$U_a = U_{ci\alpha} = U_{ci0} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$$

$$U_{ci\alpha} = U_a$$

~~$$U_{ci0} = \frac{P}{\pi} U_m (1 + \cos \alpha)$$~~

$$U_{ci0} = \frac{P}{\pi} U_m \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) / p = 6$$

$$U_{ci0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

$$U_a = \boxed{U_{ci\alpha} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos \alpha)}$$

• Détermination de la loi de commande:

$$U_a = R_a i_a + E$$

$$E = K_e \Omega, \quad U_a = U_{ci\alpha} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos \alpha)$$

$$\Omega = \frac{U_a - R_a i_a}{K_e} = \frac{\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos \alpha) - R_a i_a}{K_e}$$

Cours : commande des machines électriques

7

Association convertisseur-machine

$$U_a = R_a i_a + K_e \Omega$$

$$\frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) = R_a i_a + K_e \Omega$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\pi}{3\sqrt{3} V_m} [R_a i_a + K_e \Omega] - 1$$

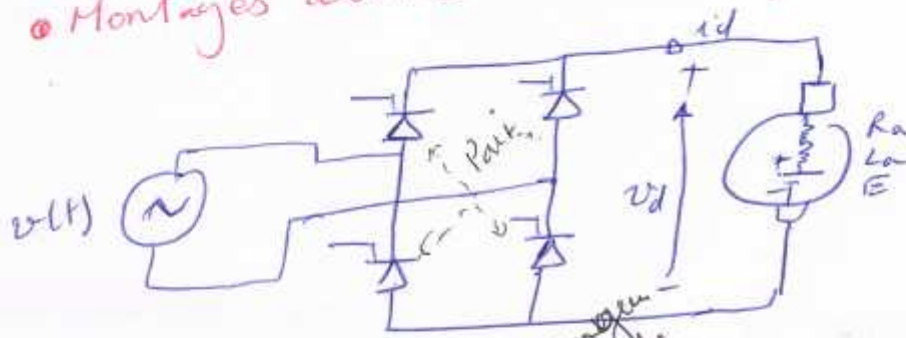
$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\pi}{3\sqrt{3} V_m} (R_a i_a + K_e \Omega) - 1 \right]$$

2.1.2] Montages réversibles:

pas variateur réversible, on entend un entraînement permettant une inversion rapide du sens de rotation.

• Montages alimentés en monophasé:

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$



La tension moyenne : tension moyenne de la diode

$$U_a = U_{ci\alpha} = U_{ci0} \times \cos \alpha, \quad U_{ci0} = \frac{2 V_m}{\pi}$$

$$U_{ci\alpha} = \frac{2 V_m}{\pi} \cos \alpha$$

Cours : Commande des machines électriques

8

Association convertisseur-machine.

- Détermination de la loi de commande :

$$M_a = R_a i_a + E \quad E = k_e \Omega$$

$$M_a = \frac{2 V_m}{\pi} \cos \alpha$$

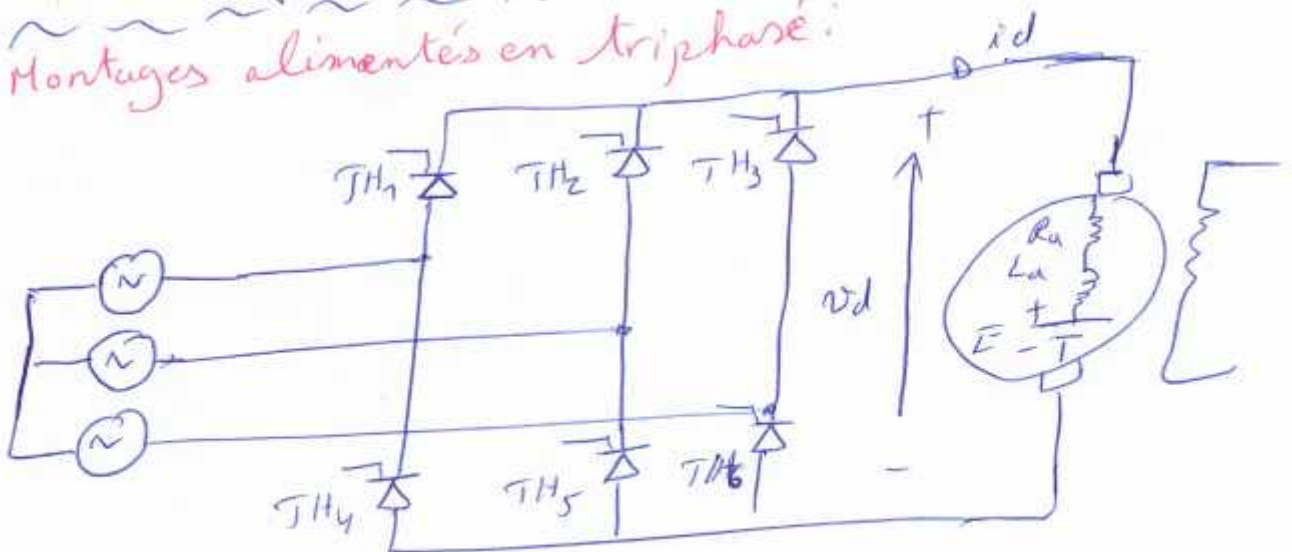
$$M_a = R_a i_a + k_e \Omega = \frac{2 V_m}{\pi} \cos \alpha$$

$$\Omega = \frac{\frac{2 V_m}{\pi} \cos \alpha - R_a i_a}{k_e}$$

$$\cos \alpha = \frac{\pi}{2 V_m} (R_a i_a + k_e \Omega)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\pi}{2 V_m} (R_a i_a + k_e \Omega) \right)$$

- Montages alimentés en triphasé :



Par

Cours commande des machines élect. fines

9

Association du convertisseur-machine

Tension moyenne :

$$u_{ci\alpha} = u_{ci0} \cos \alpha, \quad u_{ci0} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi}$$

$$u_{ci\alpha} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha$$

• Détermination de la loi de commande :

$$u_a = R_a i_a + E, \quad E = K_e \cdot \Omega$$

$$u_a = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha$$

$$u_a = R_a i_a + K_e \Omega$$

$$\Omega = \frac{-R_a i_a + u_a}{K_e} = \frac{\frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha - R_a i_a}{K_e}$$

$$\Omega = \frac{\frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha - R_a i_a}{K_e}$$

$$\cos \alpha = \frac{\pi}{3\sqrt{3} V_m} (R_a i_a + K_e \Omega)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\pi}{3\sqrt{3} V_m} (R_a i_a + K_e \Omega) \right)$$

cas : commande des machines électriques

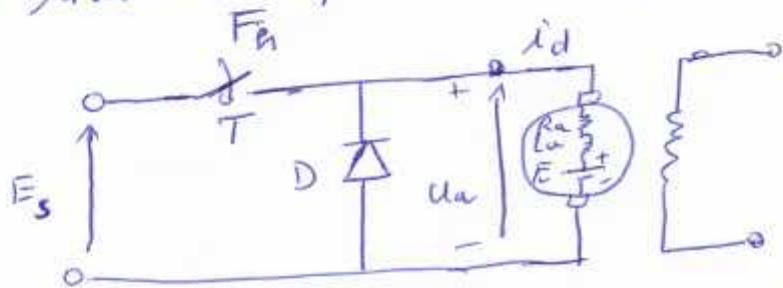
10

Association convertisseur-machine

2.2] Variateurs à hacheur :

lorsque l'équipement est alimenté en courant continu, comme c'est le cas avec une batterie d'accumulateurs ou la caténaire à courant continu en traction électrique, l'obtention de la tension continue variable appliquée à l'induit U_a est réalisée au moyen d'un hacheur.

2.2.1] Hacheur Série : (non réversible ~~↔~~ tension courant)
On emploie le hacheur série lorsque le moteur ne doit travailler que dans le quadrant 1;



F_h : fréquence de Hachage

La tension moyenne :

$$U_a = \delta E_s$$

• Détermination de la loi de commande :

$$U_a = R_a i_a + E \quad E = k_e \Omega$$

$$\left\{ \Omega = \frac{U_a - R_a i_a}{k_e} = \frac{\delta E_s - R_a i_a}{k_e} \right\}$$

Association convertisseur-machine.

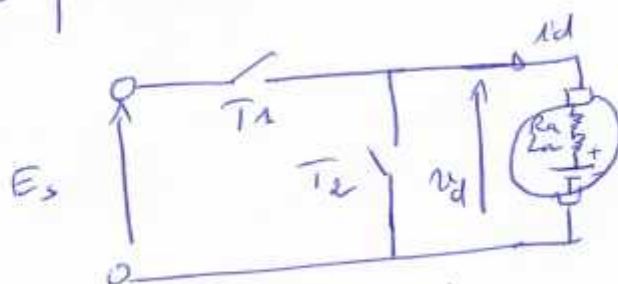
$$U_a = R_a i_a + K_e \Omega$$

$$\delta \cdot E_s = R_a i_a + K_e \Omega$$

$$\delta = \frac{R_a i_a + K_e \Omega}{E_s}$$

2.2.2] Hacheur réversible en courant :

Le hacheur à deux interrupteurs réversible en courant est utilisé lorsque le moteur doit travailler dans les quadrants 1 et 2 :



• Principe de la commande complémentaire :

* $0 \leq t \leq \delta T$: T_1 : commandé à l'amorçage ($T_1 = 1$)
 T_2 : " - au blocage ($T_2 = 0$)

* $\delta T \leq t \leq T$: T_1 : commande - au blocage ($T_1 = 0$)
 T_2 : " à l'amorçage ($T_2 = 1$)

{ cours : commande des machines électriques }

12

Association des convertisseurs - machines.

• Valeur moyenne :

$$U_a = \delta \cdot E_s$$

or $U_a = R_a i_a + E$ $E = k_e \Omega$

$$i_a = \frac{\delta \cdot E_s - E}{R_a}$$

l'ondulation $\Delta i_a = \frac{\delta(1-\delta)E_s T}{L}$

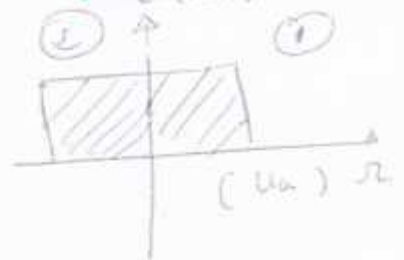
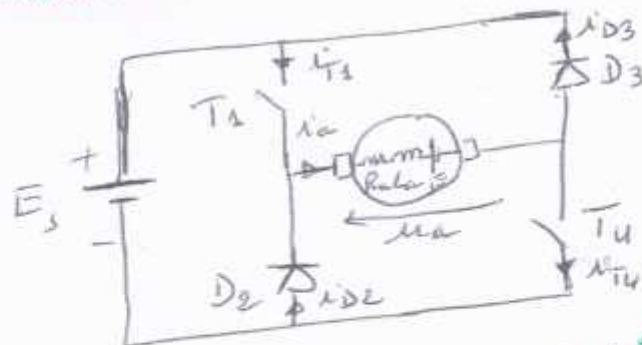
* Remarque :

pour que les ~~com~~ réponse soient linéaires

il faut que $\left\{ \frac{L_a}{R_a} \gg T \right.$ " fonctionnement

continu " $\rightarrow$ La constante du Moteur

2.2.3] Hacheur réversible en tension $\left(\frac{L_a}{R_a} \gg T \right)$



- $0 \leq \delta \leq \delta T$: T_1, T_4 commandes à l'amorçage.
- $\delta T < \delta < T$: T_1, T_4 commandes au blocage.

{ Cours: Commande des
machines électriques }

13

• Valeur moyenne:

$$M_a = (2\delta - 1) \cdot E_s$$

• Détermination de la loi de commande

$$M_a = R_a i_a + E \quad E = k_e \Omega$$

$$M_a = R_a i_a + k_e \Omega = (2\delta - 1) \cdot E_s$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega = \frac{(2\delta - 1) E_s - R_a i_a}{k_e} \end{array} \right\}$$

$$(2\delta - 1) E_s = R_a i_a + k_e \Omega$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = \frac{1}{2} \left(\frac{R_a i_a + k_e \Omega}{E_s} + 1 \right) \end{array} \right\}$$

* Étude du courant i dans la charge:

$$0 \leq t \leq \alpha T: L_a \frac{di_a}{dt} = E_s - M_a = 2(1 - \delta) E_s$$

$$i_a(t) = \frac{2(1 - \delta) E_s}{L_a} t + I_{amin}$$

$$\alpha T \leq t \leq T: L_a \frac{di_a}{dt} = -E_s - M_a = -2\delta \cdot E_s$$

$$i_a(t) = \frac{-2\delta \cdot E_s}{L_a} (t - \alpha T) + I_{amax}$$

{ Cours : Commande des machines électriques }

14

Ondulation du courant :

$$\Delta i_a = i_{a \max} - i_{a \min}$$

$$\Delta i_a = \frac{2\gamma(1-\gamma) \cdot E_s T}{L_a}$$

pour $\gamma = 0,5$ l'ondulation est maximale :

$$(\Delta i_a)_{\max} = \frac{E_s}{2L_a \cdot f} \quad \left| \quad f = \frac{1}{T} \right|$$