

Q 1.1 : On peut supposer que les conditions nominales sont données pour $F=50\text{Hz}$.

- Couplage : réseau 400V et moteur 230/400V donc étoile seule couplage possible,
- Courant nominal I_n : $P_{abs_n} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n$ avec $P_{abs_n} = \frac{P_{u_n}}{\eta}$ donc on en déduit

$$I_n = \frac{P_{u_n}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi_n} = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,896 \cdot 0,81} = 43,75 \text{ A}$$

- Couple nominal C_n : $P_{u_n} = C_n \cdot \Omega_n = C_n \frac{N_n \cdot \pi}{30}$ ainsi $C_n = \frac{P_{u_n} \cdot 30}{N_n \cdot \pi} = \frac{22000 \cdot 30}{975 \cdot \pi} = 215,47 \text{ N.m}$

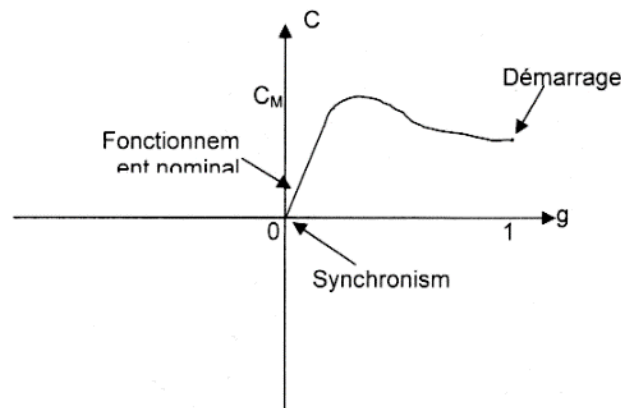
- Nbre de paires de pôles, p : $g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{\frac{60F}{p} - N}{\frac{60F}{p}}$ Or aux conditions nominales g est

faible et donc $\frac{60F}{p}$ est proche de N_n . Seule valeur possible de p , $p = 3$ (si F est bien égale à 50 Hz)

- Couple de démarrage nominal C_D : $C_D = 2,1 \cdot C_n = 452,50 \text{ N.m}$
- Couple maximum C_m : $C_m = 2,8 \cdot C_n = 603,3 \text{ N.m}$

- Glissement nominal, g : $g_n = \frac{N_s - N_n}{N_s} = \frac{\frac{60F}{p} - N_n}{\frac{60F}{p}} = \frac{1000 - 975}{1000} = 2,5\%$

Q 1.4 :



Q 1.5 : Déterminer la puissance électromagnétique fonction des éléments du montage :

$$P_{em} = 3 \frac{R}{g} I_T^2 \text{ or } I_T = \frac{V}{\sqrt{\frac{R^2}{g^2} + X^2}} \text{ et donc}$$

$$P_{em} = 3 \frac{R}{g} \frac{V^2}{\frac{R^2}{g^2} + X^2}$$

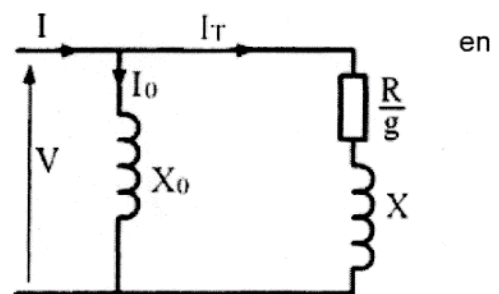


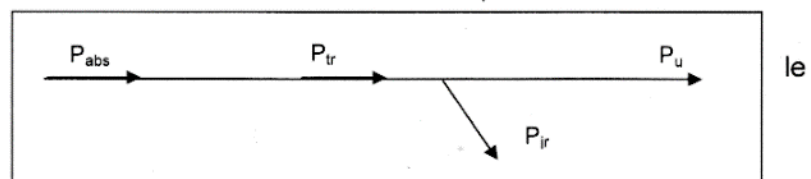
Fig. 12

Schéma équivalent du MAS

Q 1.6 : Expression des pertes Joules et de la

puissance utile
A partir du schéma équivalent
bilan des puissances est
donné ci-contre :

$$P_{tr} = P_{jr} + P_u$$



Q 1.7 : Expression du couple C_{em}

$$P_{em} = 3 \frac{R}{g} \frac{V^2}{R^2 + X^2} \text{ et } P_{em} = C_{em} \cdot \Omega_s \text{ donc } C_{em} = \frac{3.V^2}{\Omega_s} \frac{\frac{R}{g}}{\frac{R^2}{g^2} + X^2} = \frac{3.V^2}{\Omega_s} \frac{R.g}{R^2 + g^2.X^2} = \frac{3.V^2}{R.\Omega_s} \frac{g}{1 + g^2.\frac{X^2}{R^2}}$$

Par identification, on a $\alpha = \frac{3.V^2}{R.\Omega_s}$ et $\beta = \frac{X^2}{R^2}$

Q 1.8 : C_{em} nul à la vitesse de synchronisme : à cette vitesse $\Omega = \Omega_s$, alors $g = 0$ et dans l'expression précédente, on retrouve $C_{em} = 0$.

Q 1.9 : Expression des coordonnées de ce maximum : Il suffit de calculer la dérivée de C_{em} en fonction de g et de déterminer la valeur de g annulant cette dérivée :

$$\frac{d(C_{em})}{dg} = \frac{\alpha(1 + \beta g^2) - \alpha.g.2\beta g}{(1 + g^2.\beta)^2} = \frac{\alpha(1 - \beta g^2)}{(1 + g^2.\beta)^2} \text{ donc } \frac{d(C_{em})}{dg} = 0 \Leftrightarrow \alpha(1 - \beta g^2) = 0 \Leftrightarrow g = \frac{1}{\sqrt{\beta}} = \frac{R}{X}$$

$$\text{Pour cette valeur de } g, \text{ alors } C_{em_max} = \frac{3.V^2}{\Omega_s} \frac{R.g}{R^2 + g^2.X^2} = \frac{3.V^2}{2\Omega_s X}$$

$$\text{Ce maximum a pour coordonnées } (g, C_{em}) = \left(\frac{R}{X}, \frac{3.V^2}{2\Omega_s X} \right).$$

Q 1.10 et Q 1.11 : Expression du couple autour de la vitesse de synchronisme :

Alors g est très faible et ainsi $1 + g^2.\beta^2 \cong 1$.

L'expression du couple devient :

$$C_{em} = \frac{3.V^2}{R.\Omega_s} g \text{ or la tension et la fréquence sont constantes donc } C_{em} = K.g. \text{ D'où } K = \frac{3.V^2}{R.\Omega_s}.$$

Q 1.12 : Calcul de K , R et X

$C_{em} = K.g$ or cette relation est aussi vraie aux conditions nominales (et selon le bilan des

puissances précédent, on a donc $C_{em} = C_u$ d'où $C_{u_n} = K.g_n \Leftrightarrow K = \frac{C_{u_n}}{g_n} = 8618,8 N.m$

$$\text{Or } K = \frac{3.V^2}{R.\Omega_s} \text{ d'où } R = \frac{3.V^2}{K.\Omega_s} = \frac{3.230^2}{8618,8 \cdot \frac{100.\pi}{3}} = 0,176 \Omega$$

$$\text{Or } C_{u_max} = \frac{3.V^2}{2\Omega_s X} \Leftrightarrow X = \frac{3.V^2}{2\Omega_s C_{u_max}} = \frac{3.230^2}{2 \cdot \frac{100\pi}{3} \cdot 603,3} = 1,26 \Omega$$

Q 1.13 : Calcul de Couple de démarrage théorique C_D

Ce couple existe pour $g=1$.

$$C_D = \frac{3.V^2}{\Omega_s} \frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{3.230^2.3}{100.\pi} \frac{0,176}{(0,176)^2 + (1,26)^2} = 172,76 N.m$$

L'association d'un onduleur pour alimenter le moteur permet de contrôler la loi de couple dans la zone de faible glissement. On peut ainsi obtenir le couple maximum du moteur dès le démarrage

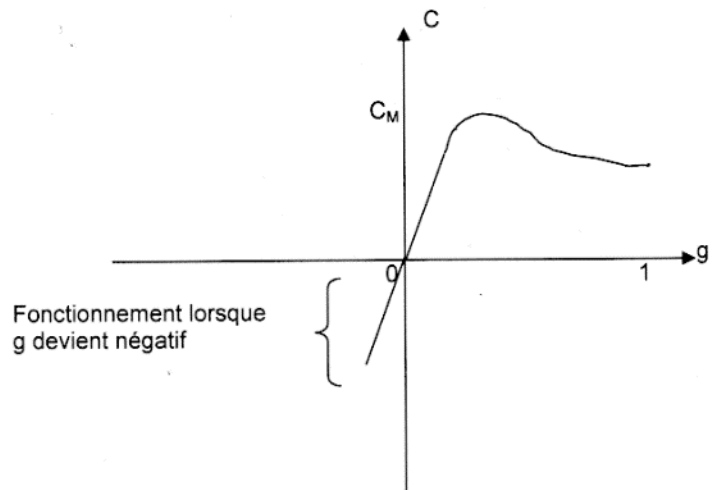
Q 1.14 :

Ainsi la puissance devient négative :
Fonctionnement génératrice.

$$C_{em_max} = \frac{3.V^2}{2\Omega_s X} \text{ dans cette expression,}$$

$$X = L\omega = L(2\pi.f) \text{ et } \Omega_s = \frac{2\pi f}{p}$$

$$\text{donc } C_{em_max} = \frac{3p.V^2}{8\pi^2 L.f^2} = K' \left(\frac{V}{f} \right)^2$$



Ce mode dit contrôle scalaire permet de conserver un couple max constant.

Etude du convertisseur continu/alternatif à fréquence variable

Q 1.16 Fréquence d'alimentation du moteur pour les cadences extrêmes :

C : Cadence par minute
Ns = 4 . C (en tenant compte du rapport de réduction) et Ns en tr/min

$$\text{Donc } f = \frac{N_s \cdot p}{60} = \frac{4 \cdot C \cdot p}{60} \text{ or } p = 3 \text{ d'où}$$

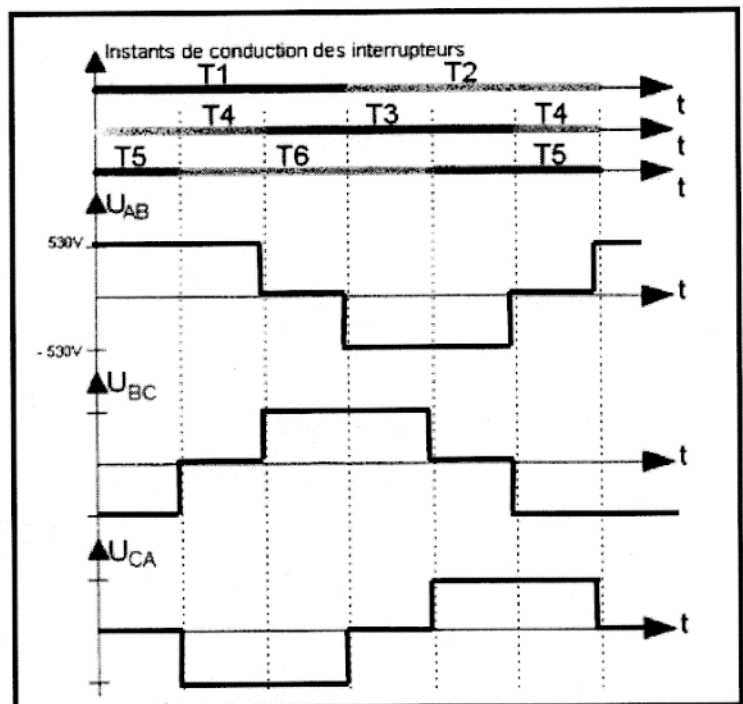
$$f = \frac{C}{5}$$

$$16 \text{ Hz} < f < 48 \text{ Hz}$$

Q 1.17 : Allure des tensions obtenues par l'onduleur : ci-contre

Q 1.18 : Paramètres pour agir sur la fréquence d'alimentation du moteur :

Il suffit de modifier les instants de conduction des interrupteurs et donc la période du cycle.



Q 1.19 : Valeur efficace de ces tensions :

Elle est identique pour les trois tensions soit U_{eff} :

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt} \text{ soit } U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \left[\int_0^{\frac{T}{3}} U_c^2 dt - \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2} + \frac{T}{3}} U_c^2 dt \right]} = \sqrt{\frac{U_c^2}{3} + \frac{U_c^2}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_c$$

Or U_c = 530 V donc U_{eff} = 432,7 V Cette valeur est supérieure à la tension nominale du moteur.

Q 1.20 : Technique industrielle : Onduleur MLI

Le stator du MAS se comportant comme un filtre, le courant se limite alors à son fondamental.