

1<sup>ère</sup> Partie: Etude d'un alternateur non saturé.

Données: 115V/200V; 3V,  $S_N = 90 \text{ kVA}$ ;  $f_N = 400 \text{ Hz}$ ;  $n_N = 12000 \text{ tr/min}$ .

$0,75 < \cos \varphi < 1$ ;  $R_s = 10 \text{ m}\Omega$ , stator en étoile.

De l'essai à vide  $\Rightarrow E_v(I_e)$  droite d'équation  $E_v = \frac{392}{90} I_e$  soit  $E_v = 4,36 I_e$

De l'essai en CCR  $\Rightarrow I_{cc} = 3,07 I_e$ .

11 - Fonctionnement nominal:

111 - pulsation des courants:  $\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2513 \text{ rad/s}$

112 - nb de paires de pôles:  $p = \frac{60 f}{n_{\text{tr/min}}} \Rightarrow p = 2$

113 -  $I_N = \frac{S_N}{3 \cdot V_N} \Rightarrow I_N = 261 \text{ A}$

12 - Alternateur non saturé. Modèle de BE.

121 - Impédance synchrone  $Z_s = \frac{E_v}{I_{cc}}$  (au m  $I_e$ )  $\Rightarrow Z_s = 1,42 \Omega$   
 $\Rightarrow Z_s = \frac{4,36}{3,07}$

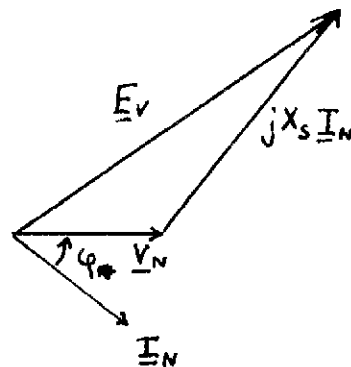
122 - Réactance synchrone  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} \Rightarrow X_s = 1,42 \Omega$

13 - Modèle de BE sans  $R_s$ .

avec  $V_N = 115 \text{ V}$ ;  $I_N = 261 \text{ A}$

$X_s I_N = 370 \text{ V}$

$\cos \varphi = 0,75 \Rightarrow \varphi = 41,4^\circ$



131 -  $I_{e0} = \frac{115}{4,36} \Rightarrow I_{e0} = 26,4 \text{ A}$

132 - Diag. vectoriel (voir + haut)  $\Rightarrow E_v = 454 \text{ V}$

14 - Courant d'excitation pour avoir  $V = 115 \text{ V}$  et  $\cos \varphi = 0,75$  ( $I_N$ )

On a vu qu'alors  $E_v = 454 \text{ V} \Rightarrow I_e = 104 \text{ A}$

Rq: avec  $I = I_N$  et  $\cos \varphi = 0,75$  ( $I_e$  avec sur  $V$ ) on trouve  $I_e = 70,4 \text{ A}$ .

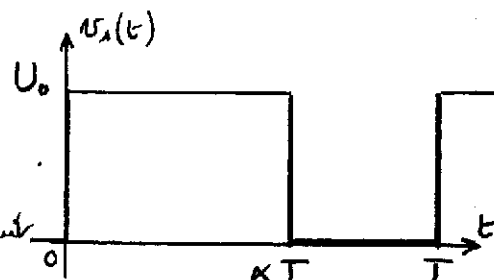
2<sup>ème</sup> partie : Etude du circuit d'excitation.

21. Etude de l'inducteur de l'excitation.

211 -  $v_1(t)$  si  $\alpha = 0,60$  ?

$i_1(t)$  étant ininterrompue,  $v_1(t) = U_0$  quand H conduit.

$v_1(t) = 0$  quand D conduit.



212 -  $V_1 = \alpha U_0$  ( $V_1 \cdot T = U_0 \cdot \alpha T$ ).

213 - De  $v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1$

On tire :  $V_1 = R I_1$  donc  $I_1 = \alpha \frac{U_0}{R_1}$ .

AN : avec  $\alpha = 0,6$  et  $U_0 = 140V$ ,  $R_1 = 9,0\Omega$   $V_1 = 84V$  et  $I_1 = 9,3A$

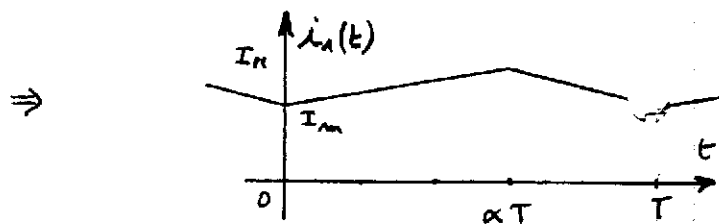
22 - Etude des variations du courant.

221 - Entre 0 et  $\alpha T$  :  $L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 = U_0$

Entre  $\alpha T$  et  $T$  :  $L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 = 0$

222 -  $\frac{L_1}{R_1} = 11,1ms$  et  $T = 0,5ms \Rightarrow \frac{L_1}{R_1} \gg T$ .

On peut annuler les arcs d'exponentielles à des droites.



23 - Ondulation du courant.

Admettant  $\Delta i_1 = \alpha(1-\alpha) \frac{U_0}{2L_1 f}$ , avec  $\frac{U_0}{2L_1 f} = cte$ , puisque

$\frac{d[\alpha(1-\alpha)]}{d\alpha} = 1-2\alpha$  soit  $\frac{d[\alpha(1-\alpha)]}{d\alpha} = 1-2\alpha$ , la dérivée s'annule

pour  $\alpha = 0,5$  et on a :

$\alpha$	0	0,5	1
$\frac{d(\Delta i_1)}{d\alpha}$	+	0	-
$\Delta i_1$	↗		↘

$\Delta i_1$  passe par un maximum pour  $\alpha = 0,5$

La valeur de ce maximum est donc  $(\Delta i_1)_{max} = 0,125 \frac{U_0}{L_1 f}$ .

AN : avec  $U_0 = 140V$ ,  $L_1 = 0,1H$ ,  $f = 20kHz \Rightarrow (\Delta i_1)_{max} = 87,5mA$ .

Etude de l'onduleur de secours.

Caractéristiques des charges : Val. eff. du fondamental :  $V_{s1} = 115V$  ,  $f = 400Hz$

Puissance apparente nominale de sortie  $P_s = 1,02kVA$  ;  $0,7 \leq \cos \varphi \leq 1$

Distorsion globale de la tension de sortie :  $d_g \leq 5\%$

3<sup>ème</sup> Partie : Etude des tensions de sortie de l'onduleur.

31 - Commande pleine onde.

311 - Tracé de  $v_{HN}(t)$  (voir doc réponse n°1a).

312 - Valeur efficace :  $\{ V_{HN} = U_B$

32 - Décomposition en série de Fourier

321 - Fondamental de  $v_{HN}(t)$  :  $\{ v_{s1}(t) = \frac{4U_B}{\pi} \sin \omega t = 1,27 U_B \sin \omega t$

Sa valeur efficace est  $\{ V_1 = 0,9 U_B$

322 - Pour avoir  $V_1 = 115V$  il faut que  $\{ U_B = 128V$

323 - Calcul de la distorsion globale :

$$d_g = \frac{\sqrt{V_{HN}^2 - V_1^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{U_B^2 - 0,9^2 U_B^2}}{0,9 U_B}$$

$$\text{donc } d_g = \frac{\sqrt{1 - 0,9^2}}{0,9} \Rightarrow \{ d_g = 0,484$$

33 - Onduleur MLI

331 - Tracé de  $v_{HN}(t)$  (voir doc réponse n°1b).

332 - Valeur efficace  $V_{HN} \cdot \pi = U_B \cdot \left[ 2(\alpha_2 - \alpha_1) + 2(\alpha_4 - \alpha_3) + 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_5\right) \right]$

durée angulaire de  $v_{HN}$  à l'état  $U_B$  :  $2 \left\{ (27 - 18) + (53 - 37) + (90 - 57) \right\} = 116^\circ$

$$\text{donc } V_{HN} = U_B \sqrt{\frac{116}{180}} \Rightarrow \{ V_{HN} = 0,803 U_B$$

333 - fondamental de  $v_{HN}(t)$  :  $v_{s1}(t) = \frac{4 \times 0,802 U_B}{\pi} \sin \omega t$

$$\Rightarrow \{ v_{s1}(t) = 1,02 U_B \sin \omega t$$

Sa valeur efficace est  $\{ V_1 = 0,722 U_B$

#### 4<sup>ème</sup> Partie : Filtré de sortie de l'onduleur.

##### 41 - Action du filtré sur le fondamental.

411 - Valeur de R dissipant 1 kW sous 115V  $\Rightarrow R = \frac{115^2}{1000} \Rightarrow R = 13,2 \Omega$

412 - On a vu que  $\frac{V_{s1}}{V_1} = 1,06$

Pour que  $V_{s1} = 115V \Rightarrow V_1 = 108,5V$ .

On  $V_1 = \frac{4 \cdot 0,802}{\pi \sqrt{2}} U_B$  soit  $V_1 = 0,722 U_B$   $\Rightarrow U_B = 150V$

##### 42 - Action du filtré sur les harmoniques de $v_{TH}(t)$ .

421 -  $\left\{ \begin{array}{l} Z_{L13} = jL \cdot 13\omega \\ Z_{C13} = \frac{1}{jC \cdot 13\omega} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} Z_{L13} = 15,4 \Omega \\ Z_{C13} = 1,39 \Omega \end{array} \right.$

422 - Pour les harmoniques de  $v_{TH}$ , l'impédance du condensateur est  $\ll 1,39 \Omega$  comparé aux  $13 \Omega$  de R. On peut donc négliger la présence de R.

423 -  $\frac{V_{sm}}{V_m} = \frac{Z_{cm}}{Z_{cm} + Z_{Lm}}$  (diviseur de potentiel)

On peut aussi écrire  $\frac{V_{sm}}{V_m} = \frac{1}{1 + \frac{Z_{Lm}}{Z_{cm}}}$  et  $\frac{Z_{Lm}}{Z_{cm}} = -LC \cdot m^2 \omega^2$

Enfinement,  $\left\{ \frac{V_{sm}}{V_m} = \frac{1}{1 - m^2 LC \omega^2} \right.$

424 - Si  $m=13 \Rightarrow m^2 \cdot LC \cdot (2\pi \cdot 400)^2 \approx 11$ . Donc  $\left\{ \frac{V_{s13}}{V_{A2}} \approx \frac{1}{10} \right.$

Si  $m > 13 \Rightarrow m^2 LC \omega^2 > 11$  donc  $\left\{ \frac{V_{sm}}{V_m} < 10 \right.$

425 - Par analogie:  $d_{gV_s} = \frac{\sqrt{\sum_{m=2}^{\infty} V_{sm}^2}}{V_{s1}}$

D'après 411:  $V_{s1} = 1,06 \cdot V_1$  et  $\sum_{m=2}^{\infty} V_{sm}^2 < \frac{1}{100} \sum_{m=2}^{\infty} V_m^2$

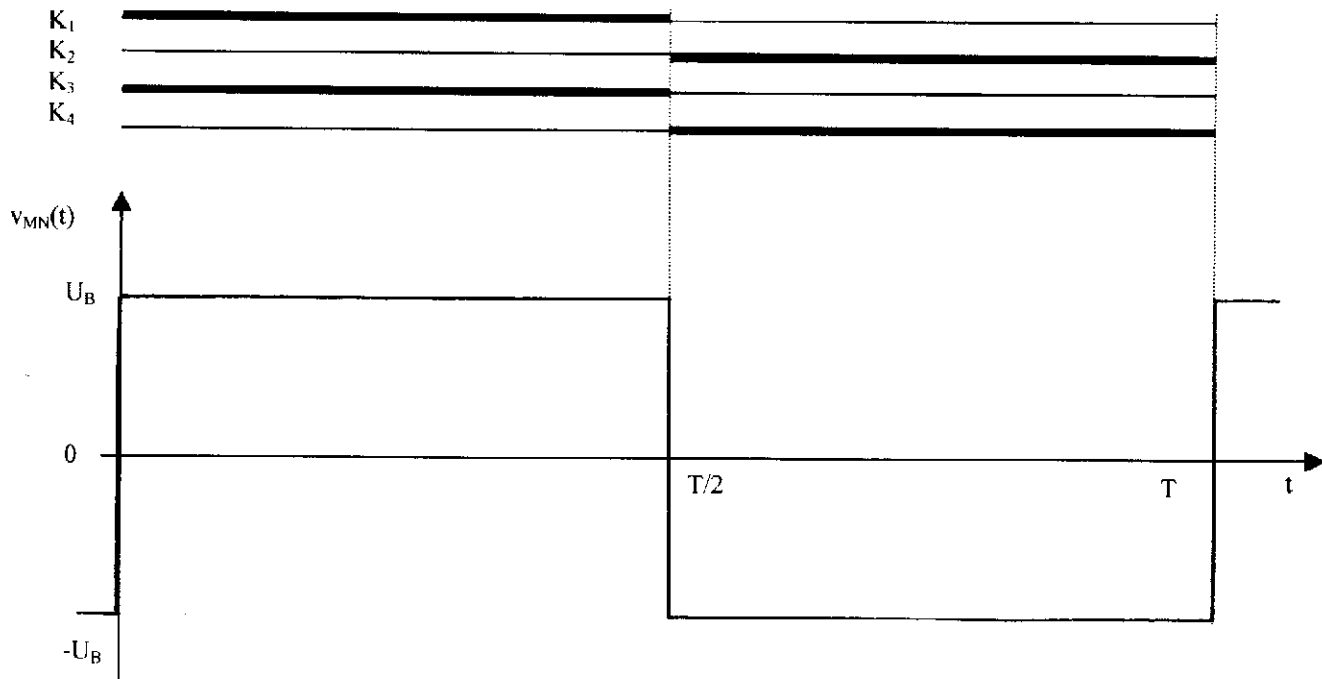
Donc  $d_{gV_s} \ll \frac{1}{10,6} d_{gV_{TH}}$  avec  $d_{gV_{TH}} = 4,9\% \Rightarrow d_{gV_s} < 4,6\%$ .

##### 43 - Retour à la solution pleine onde.

Intérêt de la commande MLI : dimensionnement réduit du filtré et coût moindre.

## DOCUMENT REPONSE N° 1 a

Les parties en trait épais correspondent à l'état fermé des interrupteurs  
 Les parties en trait fin correspondent à l'état ouvert des interrupteurs.



## DOCUMENT REPONSE N° 1 b

