

Eléments de correction

Partie A : Etude de l'éolienne

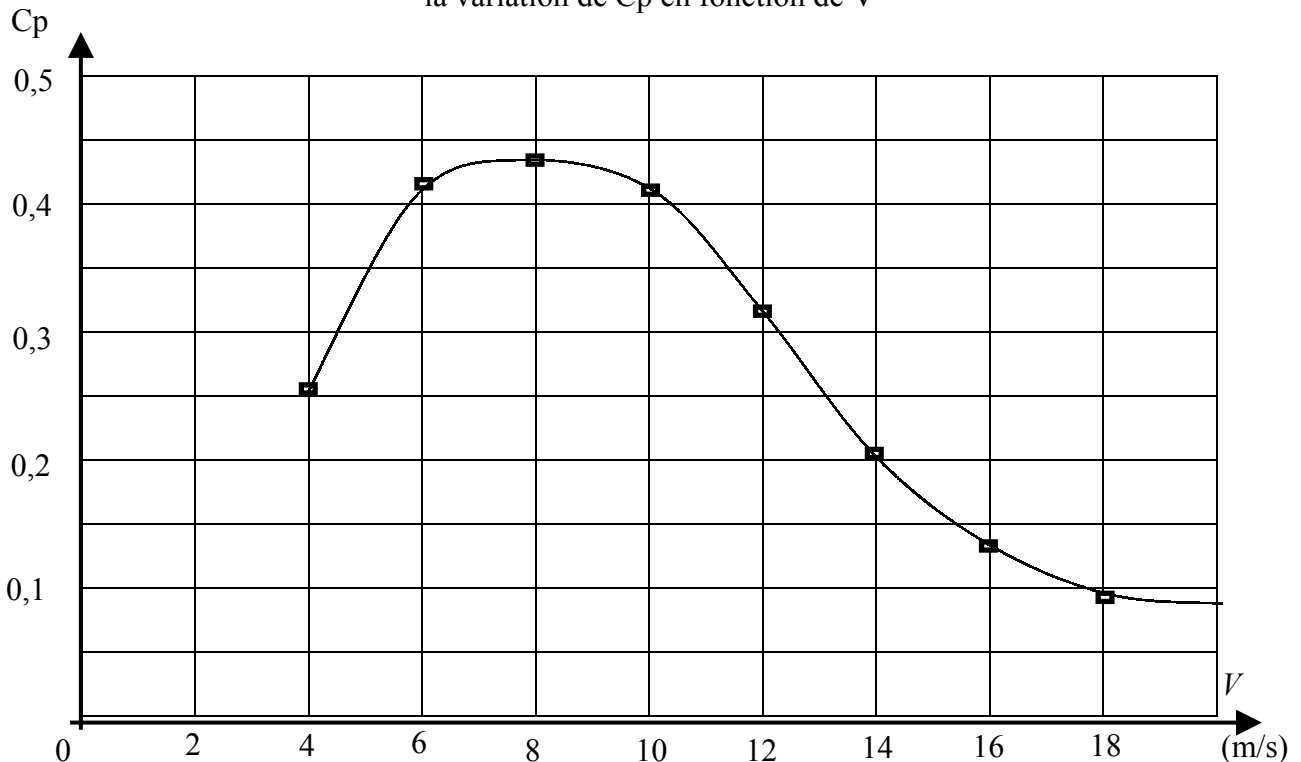
Q.A.1. $\underline{m_a = \delta S V t}$

Q.A.2. $\underline{E = \frac{1}{2} m_a V^2 = \frac{1}{2} \delta S V^3 t}$

Q.A.3. $\underline{P_p = E/t = \frac{1}{2} \delta S V^3}$

Q.A.4. $\underline{Pr = C_p P_p = C_p \frac{1}{2} \delta S V^3 = C_p 2852 V^3}$ avec $S = 77^2 \pi/4 = 4656,6 \text{ m}^2$

la variation de C_p en fonction de V



Vitesse du vent V (m/s)	4	6	8	10	12	14	16	18
Puissance Pr (kW)	47	257	636	1177	1570	1605	1605	1605
Puissance Pp (kW)	182,5	616	1460	2852	4928	7826	11682	16634
Cp	0,258	0,417	0,436	0,413	0,319	0,205	0,137	0,096

Q.A.5.
$$J_r = \int_0^{R_g} 2\pi \cdot x \cdot \rho'' \cdot lb' \cdot x^2 \cdot dx = 2\pi \cdot \rho'' \cdot lb' \int_0^{R_g} x^3 \cdot dx = 2\pi \cdot \rho'' \cdot lb' \cdot \frac{R_g^4}{4} = \frac{\pi \cdot \rho'' \cdot lb' \cdot R_g^4}{2}$$

$M_{rg} = \pi \cdot \rho'' \cdot lb' \cdot R_g^2$ masse du rotor-génératrice $J_r = \frac{M_{rg} \cdot R_g^2}{2} = (3200 \cdot 0,33^2) / 2 = \underline{J_r = 174,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$

Q.A.6. $E_{rg} = \frac{1}{2} J_r \Omega^2 = \frac{1}{2} * 174,2 * (17,3 \cdot N/Ne * \pi/30)^2 = \frac{1}{2} * 174,2 * (17,3 * 104,2 * \pi/30)^2$

$\underline{E_{rg} = 3104580 \text{ Joule} = 3,1 \text{ M.Joule}}$

Q.A.7. $M_r = \pi \cdot \rho \cdot l_b \cdot R_a^2$ masse du rotor-moyeu d'où : $J_m = \frac{M_r \cdot R_a^2}{2} = (19500 \cdot 1^2)/2$

$J_m = 9750 \text{ kg.m}^2$

Q.A.8. $J_p = 3 \cdot \int_0^{L_o} \frac{L_o - x}{L_o} \cdot \rho \cdot p \cdot l_a \cdot x^2 \cdot dx = \frac{3 \cdot \rho \cdot ep \cdot l_a}{L_o} \int_0^{L_o} (L_o \cdot x^2 - x^3) \cdot dx = \frac{3 \cdot \rho \cdot ep \cdot l_a}{L_o} \left(\frac{L_o^4}{3} - \frac{L_o^4}{4} \right)$

avec $M_p = \rho \cdot l_a \cdot ep \cdot L_o/2$ masse d'une pale $J_m = 6 \cdot M_p \cdot L_o^2 \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4} \right) = (M_p \cdot L_o^2)/2 = (6500 \cdot 38,5^2)/2$

$J_p = 4817312 \text{ kg.m}^2$

Q.A.9. $E_r = \frac{1}{2} (J_m + J_p) \Omega^2 = \frac{1}{2} * (9750 + 4817312) * (17,3 \cdot \pi / 30)^2 = 7921407 \text{ Joule} = \underline{7,92 \text{ M.Joule}}$

Q.A.10. Energie totale : $E_T = E_{rg} + E_r = 3,1 + 7,92 = \underline{11 \text{ M.Joule}}$

Q.A.11. $J_T = J_r + (J_m + J_p) / (N/Ne)^2 = 174,2 + (9750 + 4817312) / 104,2^2 = \underline{618,78 \text{ kg.m}^2}$

Q.A.12. $E_T = P \cdot t$ d'où $t = E_T / P = 11 / 1,6 = \underline{6,9 \text{ s}}$

Q.A.13 Nombre totale d'heure pour une année = $365 \cdot 24 = 8760 \text{ h}$

V (m/s)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Puissance (kW)	47	138	257	424	636	905	1177	1410	1570	1605	1605	1605
% du temps	8,2	8	7,8	7	6,8	6,6	5	4,1	2,9	2,5	1,7	1
Temps / 1an (Heures)	718,3	700,8	683,3	613,2	595,68	578,16	438	359,16	254	219	148,92	87,6
Energie (MW.h)	33,8	96,7	175,6	260	378,9	523	515,5	506,4	398,8	731		

La somme d'énergie pour une année vaut : 3620MW.h

Le potentiel maximum serait de $8760 \cdot 1,6 = 14000 \text{ MW.h}$ (soit 26% d'utilisation)

(équivalent à 3h de production d'une centrale nucléaire de 1200MW)

Partie B : Etude du fonctionnement de la génératrice

Fonctionnement à rotor en court – circuit (simple alimentation)

$$\text{Q.B.1. } \underline{I_{10}} = I_{10} \frac{V_s}{\sqrt{R1^2 + X^2}} = \frac{400}{\sqrt{0,0031^2 + 1^2}} = \underline{I_{10} = 400 \text{ A}}$$

$$\text{Q.B.2. } \underline{\cos \varphi_{10}} = P/S = \frac{-3.R1.I_{10}^2}{3.V_s.I_{10}} = \frac{-R1.I_{10}}{V_s} = \underline{\cos \varphi_{10} = -0,0031}$$

$$\text{Q.B.3. } \underline{I_1} = \frac{P_{uN}}{3.V_s.\cos \varphi_{10}} = \frac{1500000}{3*400*0,9507} = \underline{I_1 = 1314,82 \text{ A}}$$

$$\text{Q.B.4. } 3.V_x.I_1 = \sqrt{(P_{uN} + 3.R1.I_1^2)^2 + (3.V_s.I_1.\sin \varphi_{10})^2}$$

$$\text{d'où } \underline{V_x} = \frac{\sqrt{(1500000 + 3*0,0031*1314,82^2)^2 + (3*400*1314,82*\sin(\arccos 0,9507))^2}}{3*1314,82} = \underline{403,88V}$$

$$\text{Q.B.5. } P_{tr} = P_{uN} + 3.R1.I_1^2 = 3.V_x^2/(-R2/g) = 1516077,4 \text{ W}$$

$$g = -1516077,4 * R2 / (3.V_x^2) = \underline{g = -0,93\%}$$

$$\text{Q.B.6. } N = N_s (1-g) = 1500 * 1,0093 = \underline{N = 1514 \text{ t/mn}}$$

$$\text{Q.B.7. } N_s/104,2 < N_e < N_N/104,2 \text{ d'où } N_e \text{ compris entre } \underline{14,39 \text{ t/mn}} \text{ et } \underline{14,53 \text{ t/mn}}$$

(ou entre 1,5 rd/s et 1,52 rd/s)

Q.B.8.

$$\text{Protor} = P_{tr}(1-g)/0,98 = 1516077,4*1,0093/0,98 = 1561405 \text{ W et } \Omega_e = 14,53*\pi/30 = 1,5215 \text{ rd/s}$$

$$\text{Couple rotor} = \text{Protor}/\Omega_e = 1561405/1,5215 = \underline{1026 \text{ kNm}}$$

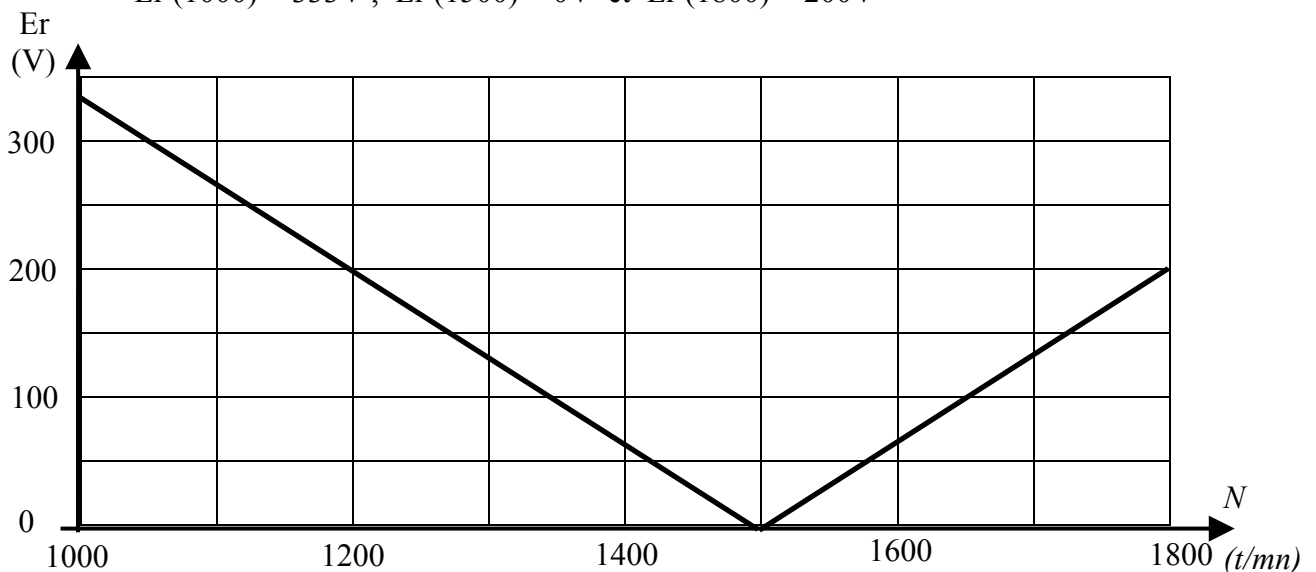
Fonctionnement en double alimentation

$$\text{Q.B.9. } E_r = V_x.m.|g|$$

$$\text{Q.B.10. } m = E_r/(V_x.|g|) \text{ et } g = (1500-900)/1500 = 40\% \text{ d'où } m = 1/(1*0,4) = \underline{m = 2,5}$$

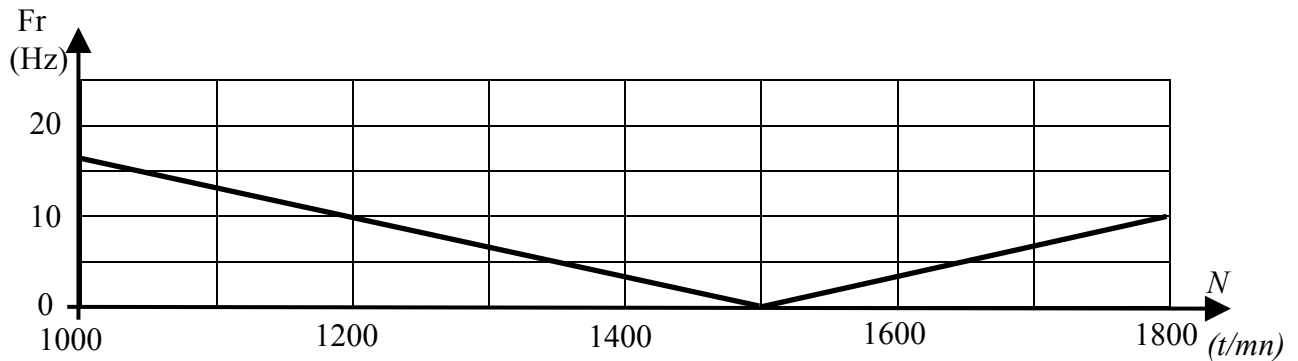
$$\text{Q.B.11. } E_r = 400*2,5 |1500-N|/1500 = 2/3 * |1500-N|$$

$$E_r(1000) = 333V, E_r(1500) = 0V \text{ et } E_r(1800) = 200V$$



Q.B.12. $f_r = |g|.f_s$

Q.B.13. $f_r = |g|.f_s = (|1500-N|/1500) * 50 = |1500-N|/30$
 $f_r(1000) = 16,7\text{Hz}$, $f_r(1500) = 0\text{Hz}$ et $f_r(1800) = 10\text{Hz}$



Q.B.14. Pour les vitesses 1200 et 1800 t/mn, la valeur efficace de E_r et la fréquence f_r sont identiques. La différence se fait par le sens du système de tensions délivrées par le convertisseur statique qui change de sens (direct – inverse) pour la vitesse de 1500t/mn.

Q.B.15. $R_2 = R_r/m^2$ d'où $R_r = R_2.m^2 = 0,003*2,5^2 = \underline{R_r = 0,01875 \Omega}$

Q.B.16. $I_2 = m.I_r$ et $I_2 = I_o = 400 \text{ A}$ (réponse de la question B1) d'où $I_r = 400/2,6 = \underline{I_r = 154 \text{ A}}$

Q.B.17. $E_r = V_x.m.|g| = E_r = 347\text{V}$ (tension V_x (aux bornes d'une inductance) ramenée au rotor)

D'où $V_r = \sqrt{E_r^2 + (R_r.I_r)^2} = \sqrt{347^2 + (0,02*154)^2} = \underline{V_r \approx 347\text{V}}$

Fonctionnement nominal :

Q.B.18. Couple électromagnétique = $P_{\text{méca}} / \Omega = 1572000/60.\pi = \underline{C_{\text{elm}} = 8340 \text{ Nm}}$

Q.B.19. $P_{tr} = C_{\text{elm}}.\Omega_s = 8340 * 50.\pi = \underline{P_{tr} = 1310 \text{ kW}}$

Q.B.20. $P_s = P_{tr} - 3.R_1.I_1^2 = 3.V_s.I_1$ où $3.R_1.I_1^2 + 3.V_s.I_1 - P_{tr} = 0$
 $0,0093I_1^2 + 1200I_1 - 1310000 = 0$ donc $\underline{I_1 = 1083 \text{ A}}$

Q.B.21. $P_s = 3.V_s.I_1 = \underline{P_s = 1299 \text{ kW}}$

Q.B.22. $P_{J_s} = 3.R_1.I_1^2 = 3*0,0031*1083^2 = \underline{P_{J_s} = 10,9 \text{ kW}}$

Q.B.23. $3.V_x.I_1 = P_{tr}$ d'où $V_x = P_{tr}/(3.I_1) = 1310000/(3*1083) = \underline{V_x = 403,2\text{V}}$

(remarque : $V_x = V_s + R_1.I_1$ car $\cos \varphi = 1$)

Q.B.24. $\bar{I}_2 = \bar{I}_o + \bar{I}_1$ d'où $I_2 = \sqrt{I_o^2 + I_1^2}$ avec $I_o = V_x/X = 403,2/1 = 403,2 \text{ A}$

d'où $I_2 = \sqrt{403,2^2 + 1083^2} = \underline{I_2 = 1156 \text{ A}}$

Q.B.25. $P_{J_r} = 3.R_r.I_r^2 = 3.R_r.(I_2/m)^2 = 3*0,02*(1156/2,6)^2 = \underline{P_{J_r} = 11,86 \text{ kW}}$ et $I_r = 444,6\text{A}$

Q.B.26. Le rotor fournit de la puissance qui est absorbée par le convertisseur statique.

$g = (1500-1800)/1500 = -0,2$

Le rotor fournit $P_{\text{conv}} = g.P_{tr} + P_{J_r} = -0,2*1310\text{k} + 11,86\text{k} = \underline{P_{\text{conv}} = -250,14 \text{ kW}}$ (convention Récept)

Q.B.27. $P_{\text{transfo}} = P_s - 0,99 P_{\text{conv}} = 1299\text{k} + 0,99*250,14\text{k} = \underline{P_{\text{transfo}} = 1546,6 \text{ kW}}$

Q.B.28. $f_r = |g|.f_s = \underline{f_r = 10 \text{ Hz}}$

Q.B.29. $E_r = V_x.m.|g| = 403,2*2,6*0,2 = \underline{E_r = 209,66\text{V}}$

Q.B.30. $Q_{conv} = 3.V_x.I_o.(fr/fs) = 3*403,2*403,2/5 = \underline{Q_{conv} = 97510 \text{ VAR}}$

Cette puissance réactive est fournie par le convertisseur statique

Q.B.31. $\text{tg } \varphi_r = Q_{conv}/P_{conv} = 97,51/-250,14 = -0,39$ d'où $\varphi_r = 158,7^\circ$ et $\underline{\cos \varphi_r = -0.932}$

Q.B.32. $V_r = S_{conv}/3.I_r = \frac{\sqrt{P_{conv}^2 + Q_{conv}^2}}{3.I_r} = \frac{\sqrt{250,14k^2 + 97510^2}}{3*444,6} = \underline{V_r = 201,3V}$

Fonctionnement à puissance réduite :

Q.B.33. Couple électromagnétique = $P_{méca} / \Omega = 250000/40.\pi = \underline{C_{elm} = 1989 \text{ Nm}}$

Q.B.34. $P_{tr} = C_{elm}.\Omega_s = 1989 * 50.\pi = \underline{P_{tr} = 312,5 \text{ kW}}$

Q.B.35. $P_s = P_{tr} - 3.R_1.I_1^2 = 3.V_s.I_1$ où $3.R_1.I_1^2 + 3.V_s.I_1 - P_{tr} = 0$
 $0,0093I_1^2 + 1200I_1 - 312500 = 0$ donc $\underline{I_1 = 259,9 \text{ A}}$

Q.B.36. $P_s = 3.V_s.I_1 = \underline{P_s = 311,9 \text{ kW}}$

Q.B.37. $P_{js} = 3.R_1.I_1^2 = 3*0.0031*259,9^2 = \underline{P_{js} = 628 \text{ W}}$

Q.B.38. $3.V_x.I_1 = P_{tr}$ d'où $V_x = P_{tr}/(3.I_1) = 312500/(3*259,9) = \underline{V_x = 400,8V}$

(remarque : $V_x = V_s + R_1.I_1$ car $\cos \varphi = 1$)

Q.B.39. $\bar{I}_2 = \bar{I}_o + \bar{I}_1$ d'où $I_2 = \sqrt{I_o^2 + I_1^2}$ avec $I_o = V_x/X = 400,8/1 = 400,8 \text{ A}$

d'où $I_2 = \sqrt{400,8^2 + 259,9^2} = \underline{I_2 = 477,7 \text{ A}}$

Q.B.40. $P_{jr} = 3.R_r.I_r^2 = 3.R_r.(I_2/m)^2 = 3*0,02*(477,7/2,6)^2 = \underline{P_{jr} = 2025 \text{ W}}$ et $I_r = 183,7 \text{ A}$

Q.B.41. Le rotor absorbe de la puissance qui est fournie par le convertisseur statique.

$g = (1500-1200)/1500 = 0,2$

Le rotor fournit $P_{conv} = g.P_{tr} + P_{jr} = 0,2*312,5k + 2025 = \underline{P_{conv} = 64525 \text{ W}}$ (convention Récept)

Q.B.42. $P_{transfo} = P_s - P_{conv} / 0,99 = 311,9k - 64525/0,99 = \underline{P_{transfo} = 246,7 \text{ kW}}$

Q.B.43. $E_r = V_x.m.|g| = 400,8*2,6*0,2 = \underline{E_r = 208,4V}$

Q.B.44. $Q_{conv} = 3.V_x.I_o.(fr/fs) = 3*400,8*400,8/5 = \underline{Q_{conv} = 96,38 \text{ kVAR}}$

Cette puissance réactive est fournie par le convertisseur statique

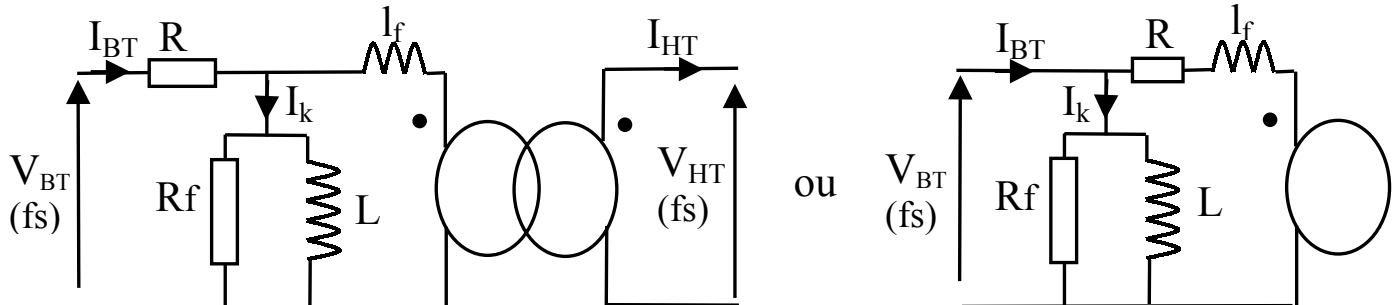
Q.B.45. $\text{tg } \varphi_r = Q_{conv}/P_{conv} = 96380/64525 = 1,49$ d'où $\varphi_r = 56,2^\circ$ et $\underline{\cos \varphi_r = 0,556}$

Q.B.46. $V_r = S_{conv}/3.I_r = \frac{\sqrt{P_{conv}^2 + Q_{conv}^2}}{3.I_r} = \frac{\sqrt{64525^2 + 96,38k^2}}{3*183,7} = \underline{V_r = 210,5V}$

Partie C : La connexion au réseau

Q.C.1. Dyn5 : couplage triangle en HT et étoile avec neutre en BT et indice horaire de 5h.

Q.C.2. Schéma équivalent par phase (ramené coté basse tension) du transformateur de chaque paramètre du modèle



Plusieurs schémas sont possibles, comme R est petit et R_f et L relativement grand, les valeurs numériques des éléments sont presque identiques dans tous les schémas.

$$I_{BT} = 1600000 / (3 \cdot 400) = 1333 \text{ A}, \quad I_k = 0,03 I_{BT} = 0,03 \cdot 1333 = 40 \text{ A} \quad \text{et} \quad V_k = 0,06 V_{BT} = 24 \text{ V}$$

$$R \approx P_{cu} / 3 I_{BT}^2 = 20000 / (3 \cdot 1333^2) = \underline{R = 3,75 \text{ m}\Omega}$$

$$R_f \approx 3 V_{BT}^2 / P_{vide} = 3 \cdot 400^2 / 1700 = \underline{R_f = 282 \Omega}$$

$$L \approx V_{BT} / (\omega I_k) = 400 / 314 \cdot 40 = \underline{L = 31,8 \text{ mH}} \quad \text{ou} \quad \underline{(L\omega = 10 \Omega)}$$

$$Z_{cc} \approx \sqrt{R^2 + (l_f \omega)^2} = V_k / I_{BT} = 24 / 1333 = 0,018 \Omega \quad \text{d'où} \quad \underline{(l_f \omega = 0,0176 \Omega)} \quad \text{ou} \quad \underline{l_f = 56 \mu\text{H}}$$

Q.C.3. $I_{cc} = U / (2 \cdot Z_{cc}) = 690 / (2 \cdot 0,018) = \underline{I_{cc} = 19245 \text{ A}}$

Q.C.4. Le sigle I > signifie la présence d'une protection contre les courts-circuits (protection magnétique). Celle-ci protège le transformateur et tous les câbles.

Q.C.5. Le sigle U < signifie la présence d'une protection contre les sous tensions. Celle-ci protège la machine.

Q.C.6. Le sigle \sqcup signifie la présence d'une protection contre les surcharges permanentes (protection thermique). Celle-ci protège la machine, le transformateur et les câbles d'alimentation de la machine.

Q.C.7. DMX 2500, 3p fixe 1600A, Pcoupure de 50kA + unité de protection Mp17 + déclencheur de minimum de tension + commande motorisée + bobine de fermeture.

Q.C.8. Tout intervenant (ou responsable direct du personnel intervenant) travaillant à proximité d'équipements électriques présentant un risque électrique (électricien et non électricien).

Q.C.9. L'habilitation électrique est délivrée par l'employeur.

Q.C.10.

B0 : Non électricien habilité n'a pas le droit d'exécuter des opérations d'ordre électrique

B1 : Exécutant électricien a le droit d'exécuter des opérations d'ordre électrique

B2 : Chargé de travaux a le droit d'exécuter des opérations d'ordre électrique

Br : Chargé d'intervention a le droit d'exécuter des opérations d'ordre électrique

BC : Chargé de consignation a le droit d'exécuter des opérations d'ordre électrique

Q.C.11. VAT : appareil permettant de faire une Vérification d'Absence de Tension

Q.C.12. EPI : Casque avec écran facial, Gants de travail et gants isolants, vêtement de protection

Partie D : Le convertisseur statique AC-AC

Q.D.1. $v_{ino} = v_{in} + v_{nno}$ ($i = a, b$ ou c)

Q.D.2. $v_{nno} = (v_{ano} + v_{bno} + v_{cno})/3$

Q.D.3. $v_{an} = (2/3)v_{ano} - (1/3)v_{bno} - (1/3)v_{cno}$

$v_{bn} = - (1/3)v_{ano} + (2/3)v_{bno} - (1/3)v_{cno}$

$v_{cn} = - (1/3)v_{ano} - (1/3)v_{bno} + (2/3)v_{cno}$

Q.D.4. $\langle v_{ino} \rangle = (2 \alpha_i - 1)V_o$

Q.D.5. $\langle v_{in} \rangle = \langle v_{ino} \rangle$

Q.D.6. $\langle v_{in} \rangle(\omega t) = V \cdot \sin(\omega t) = (2 \alpha_i - 1)V_o$ d'où $\alpha_i = 1/2 + (V/2V_o) \sin(\omega t)$

Q.D.7. $V_o = V = 400 \sqrt{2} = 566V$

Q.D.8. Les inductances λ et λ' servent à donner une nature courant aux sources triphasées d'entrée et de sortie de façon à respecter les lois de connexion des convertisseurs directs (liaison directe entre deux sources de nom différent) vis-à-vis de la nature tension de la source $2V_o$.

Fonctionnement à vide

Q.D.9. $\cos \varphi' = P/S = \frac{1350}{3 \cdot 355 \cdot 150} = 0,00845 = \cos \varphi' = 0.0031$ d'où $\varphi' = 89,5^\circ$

Q.D.10. $\langle i_{o'} \rangle = \langle i_o \rangle = P/(2V_o) = 1350/980 = \langle i_o \rangle = 1,38 \text{ A}$

Q.D.11. $\cos \varphi = 1$

Q.D.12. $I_i = \frac{P}{3 \cdot V_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1350}{3 \cdot 400} = I_i = 1,125 \text{ A}$

Fonctionnement nominal

Q.D.13. $I_{act} = P/(3 \cdot V) = 240000/(3 \cdot 200) = 400 \text{ A}$ et $I_{i'} = \sqrt{I_{react}^2 + I_{act}^2} = \sqrt{150^2 + 400^2} = 427 \text{ A}$

Q.D.14. $\cos \varphi' = -I_{act}/I_{i'} = -400/427 = -0,936$ (avec P négatif en convention récepteur)

d'où $\varphi' = 159,55^\circ$ et $i_{i'}$ est en retard de $159,55^\circ$ sur la tension $\langle v_{i'n} \rangle(\omega t)$

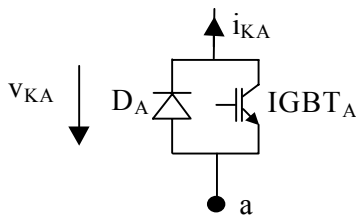
Q.D.15. $\langle i_{o'} \rangle = P/(2V_o) = 240000/980 = \langle i_{o'} \rangle = 245 \text{ A}$

Q.D.16. $\cos \varphi = -1$

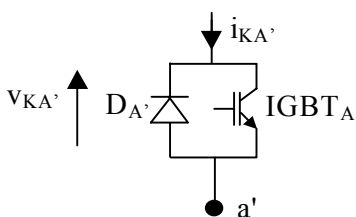
Q.D.17. $I_i = \frac{P}{3 \cdot V_s \cdot \cos \varphi} = \frac{240000}{3 \cdot 400} = I_i = 200 \text{ A}$

Définition des composants de puissance

Q.D.18.



Q.D.19.



Q.D.20. l'interrupteur K_A

$$V_{DA} = 2V_o = 980V$$

$$I_{DA} = I_{i_{crête}} = 200 \cdot \sqrt{2} = 283 \text{ A}$$

$$V_{IGBTA} = 2V_o = 980V$$

$$I_{IGBTA} = I_{i_{crête}} = 200 \cdot \sqrt{2} = 283 \text{ A}$$

Q.D.21. l'interrupteur K_A ,

$$V_{DA'} = 2V_o = 980V$$

$$I_{DA'} = I_{i'_{crête}} = 427 \cdot \sqrt{2} = 604 \text{ A}$$

$$V_{IGBTA'} = 2V_o = 980V$$

$$I_{IGBTA'} = I_{i'_{crête}} = 427 \cdot \sqrt{2} = 604 \text{ A}$$

Q.D.22. $\langle I_{IGBTA} \rangle = I_{i_{crête}}/\pi = 283/\pi = 90 \text{ A}$ (solution option B)

$\langle I_{IGBTA} \rangle = I_{i_{crête}}/\pi = 280/\pi = 89 \text{ A}$ et $\langle I_{IGBTA'} \rangle = I_{i'_{crête}}/\pi = 600/\pi = 191 \text{ A}$ (solution option A)

Q.D.23. IGBT A : $I_c > 1,5 \cdot 90 = 135 \text{ A}$, $V_{CES} > 980V$ et V_{CESat} minimum

Choix : 1200V Low Loss IGBT ref : SKM 100GB124D

IGBT A' : $I_c > 1,5 \cdot 191 = 286 \text{ A}$, $V_{CES} > 980V$ et V_{CESat} minimum

Choix : 1200V Low Loss IGBT ref : SKM 200GB124D (solution option A)

Q.D.24. Les pertes dans le convertisseur sont les pertes par conduction et les pertes par commutation. les pertes par conduction dépendent de l'amplitude du courant conduit et les pertes par commutation dépendent de l'amplitude du courant commuté, de l'amplitude de la tension aux bornes du composant à l'état bloqué et de la fréquence de commutation.

Commande des interrupteurs

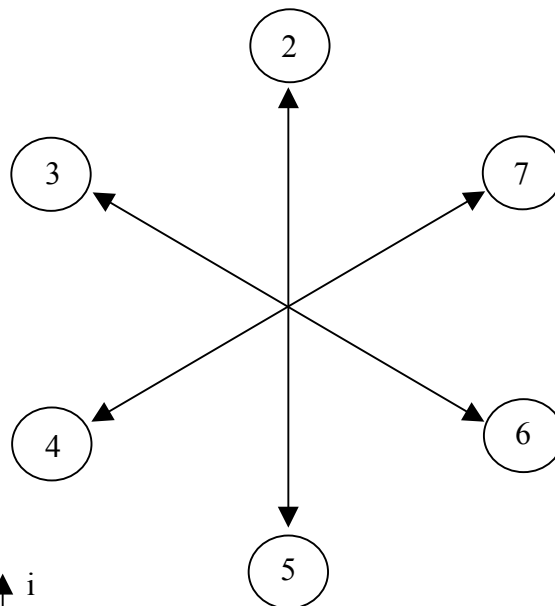
Q.D.25. Configuration (1) : $v_{an} = 0$

Configuration (2) : $v_{an} = (2/3)U_{DC}$

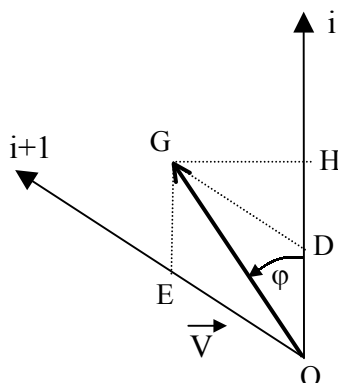
Configuration (3) : $v_{an} = (1/3)U_{DC}$

Q.D.26.

Origine des phases : Phase : a



Vecteurs associés aux configurations



Q.D.27. $t_1 = (OD/V_v) \cdot T_{MLI}$

$OH = V \cos \varphi$, $GH = V \sin \varphi$, $HD/GH = \tan 30$ d'où $HD = GH \cdot \tan 30$

$OD = OH - HD = V \cos \varphi - V \sin \varphi \cdot \tan 30$ et $\tan 30 = 1/\sqrt{3}$

$t_1 = (V/V_v) \cdot (\cos \varphi - 1/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi) \cdot T_{MLI}$

ou $t_1 = (V/V_v) \cdot (2/\sqrt{3} \cdot \cos(\varphi + \pi/6)) \cdot T_{MLI}$

Figure D.5

Q.D.28. $t_2 = (OE/V_V) \cdot T_{MLI}$ et $OE = GD = HD/\cos 30 = 2 \cdot HD = 2 \cdot V \sin \varphi \cdot \tan 30$
 $t_2 = (V/V_V) \cdot (2/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi) \cdot T_{MLI}$

Q.D.29. $t_3 = 0$ et $T_{MLI} = (t_1 + t_2)$ d'où $(V/V_V) \{(\cos \varphi - 1/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi) + (2/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi)\} = 1$
 $(V/V_V) (\cos \varphi + 1/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi) = 1$ d'où $V = V_V / (\cos \varphi + 1/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi)$

Q.D.30. V minimum pour $(\cos \varphi + 1/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi)$ maximum

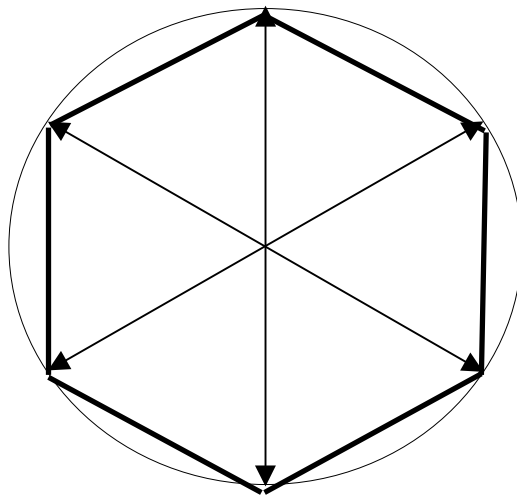
Où la dérivée de $(\cos \varphi + 1/\sqrt{3} \cdot \sin \varphi)$ par rapport à $\varphi = 0$ et $60 > \varphi > 0$

D'où $\sin \varphi = 1/\sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ ou $\tan \varphi = 1/\sqrt{3}$, donc $\varphi = 30^\circ$

Et $V_{\min} = V_V / (\cos 30 + 1/\sqrt{3} \cdot \sin 30) = V_V / (\sqrt{3}/2 + 1/(2\sqrt{3})) = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot V_V / 4$

$V_{\min} = (\sqrt{3}/2) \cdot V_V$ et comme $V_V = (2/3) \cdot U_{DC}$ alors $V_{\min} = U_{DC} / \sqrt{3}$

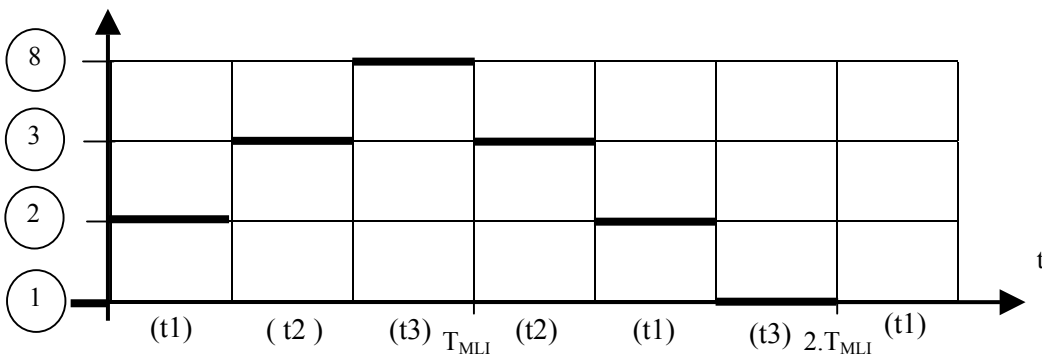
Q.D.31.



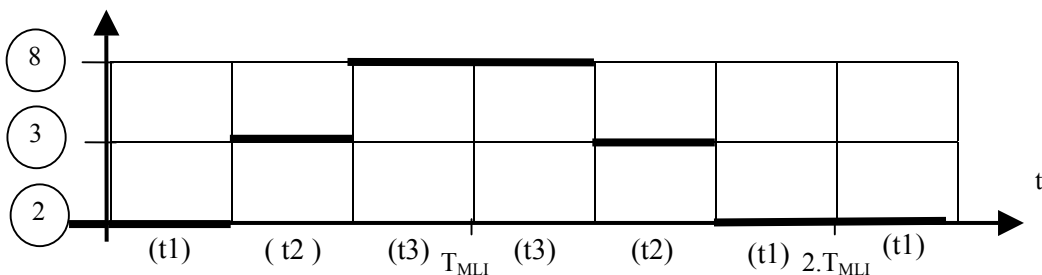
Extrémité de \vec{V} pour $t_3=0$

Q.D.32.

Chronogramme des différentes configurations en minimisant le nombre de commutation pour $t_1 = t_2 = t_3 = T_{MLI}/3$



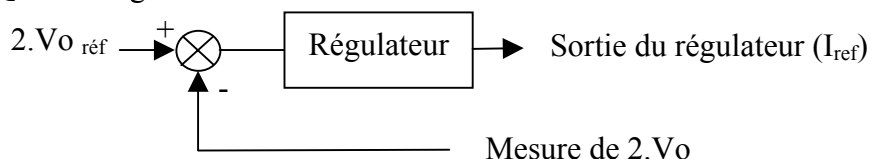
Ou



Partie E : La commande du convertisseur statique

Onduleur 1

Q.E.1. Régulation de la tension du bus



$2.Vo_{réf}$: Référence d'amplitude constante

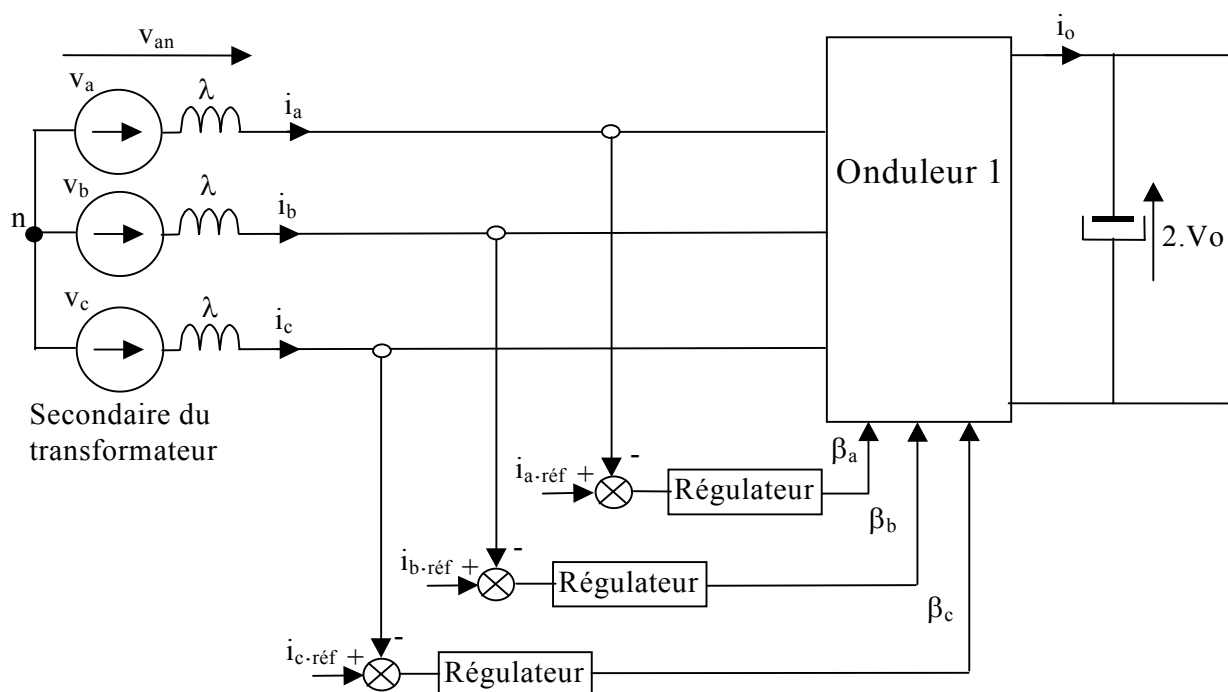
Mesure de $2.Vo$ avec un capteur de tension aux bornes de la somme des condensateurs

La sortie du régulateur sert de référence des boucles internes

Q.E.2. La sortie du régulateur représente l'amplitude ($I_{réf}$) des courants (i_a, i_b, i_c).

Q.E.3. Le capteur utilisé nécessite une isolation galvanique entre la tension mesurée et la sortie, pour isoler galvaniquement le circuit de commande du circuit de puissance.

Q.E.4.



Nature des capteurs : 3 Capteurs de courant

Q.E.5. Les sorties des régulateurs ($\beta_a, \beta_b, \beta_c$) représentent les tensions délivrées par chaque bras de l'onduleur 1.

Q.E.6. Les capteurs utilisés nécessitent une isolation galvanique entre chaque courant mesuré et les circuits de commande, pour isoler galvaniquement les circuits de commande de la puissance et aussi chaque capteur entre eux pour éviter le court-circuit entre phase (car tous les circuits de commande sont référencés au même potentiel).

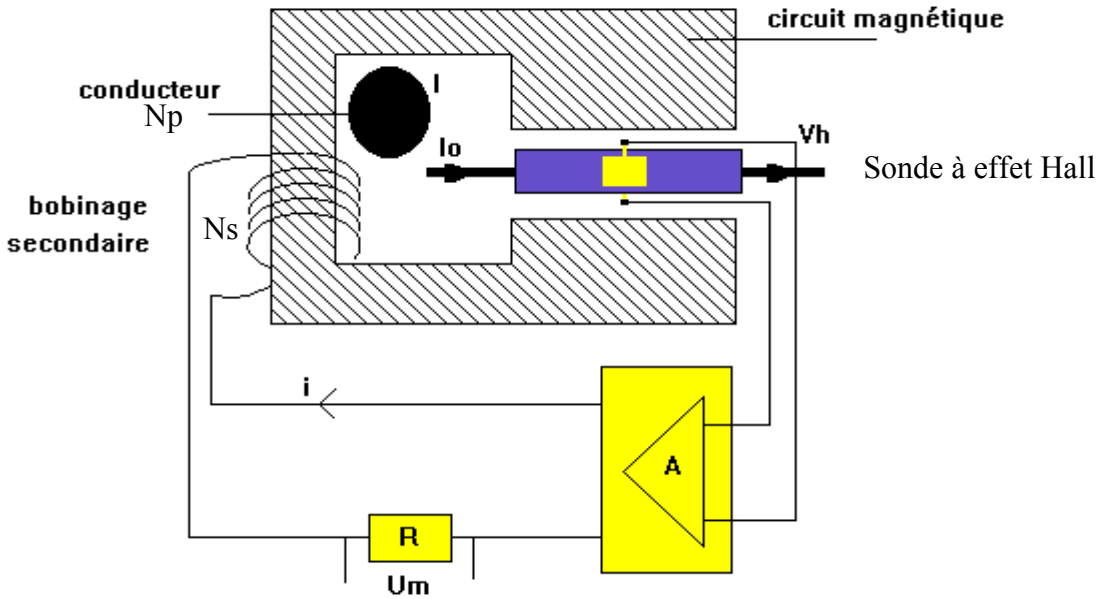
Q.E.7. Classiquement on utilise des capteurs à effet Hall.

Principe des capteurs à effet Hall :

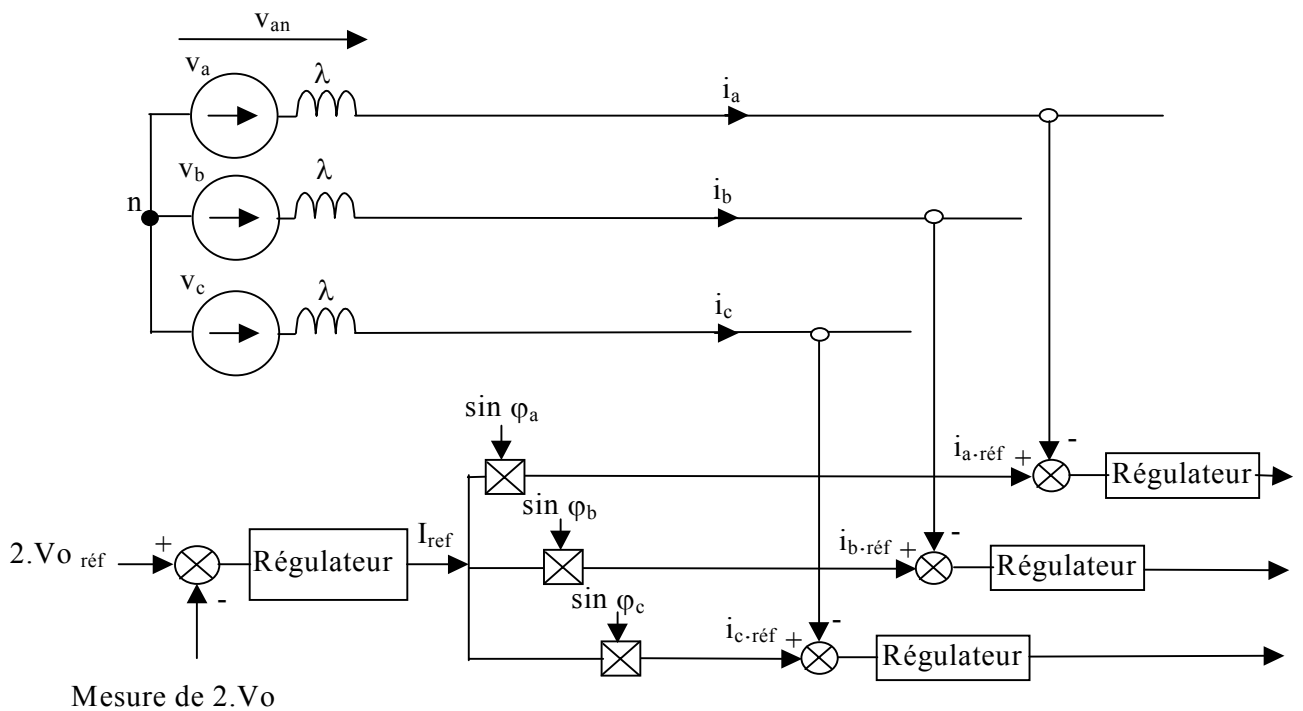
I : courant à mesurer

U_m : tension de sortie proportionnelle à I ; $U_m = R \cdot i = R \cdot (N_p/N_s) \cdot I$

avec N_s : nombre de spires du circuit secondaire et N_p : nombre de spires du circuit primaire



<http://pedagogie.ac-aix-marseille.fr/disciplines/sti/genelec/cours/abati/hall.htm> de Patrick ABATI



Q.E.8. Schéma pour relier les deux boucles de régulation

On a $I_{a.ref} = I_{ref} \cdot \sin \varphi_a$ avec $\sin \varphi_a = V_{an}/V$ et V amplitude de (V_{an}, V_{bn}, V_{cn})
 $I_{b.ref} = I_{ref} \cdot \sin \varphi_b$ avec $\sin \varphi_b = V_{bn}/V$
 $I_{c.ref} = I_{ref} \cdot \sin \varphi_c$ avec $\sin \varphi_c = V_{cn}/V$

Ainsi les références de courant sont en phase avec les tensions ; $\cos \varphi = 1$ (ou -1 si I_{ref} est <0)

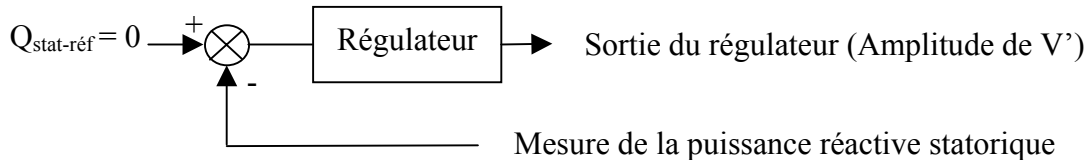
Onduleur 2

Q.E.9. Pour une vitesse de rotation donnée, L'amplitude de la tension (V') qui alimente le rotor agit directement sur l'amplitude du courant magnétisant de la machine.

Q.E.10. Si le courant magnétisant rotor est trop petit, la machine complètera ses ampères-tours manquants en absorbant de la puissance réactive au stator. Car, la machine travaille à flux constant du fait que son stator soit relié directement au secteur.

Q.E.11. Si le courant magnétisant rotor est trop grand, la machine diminuera ses ampères-tours en fournissant de la puissance réactive au réseau par son stator. Car, la machine travaille à flux constant du fait que son stator soit relié directement au secteur.

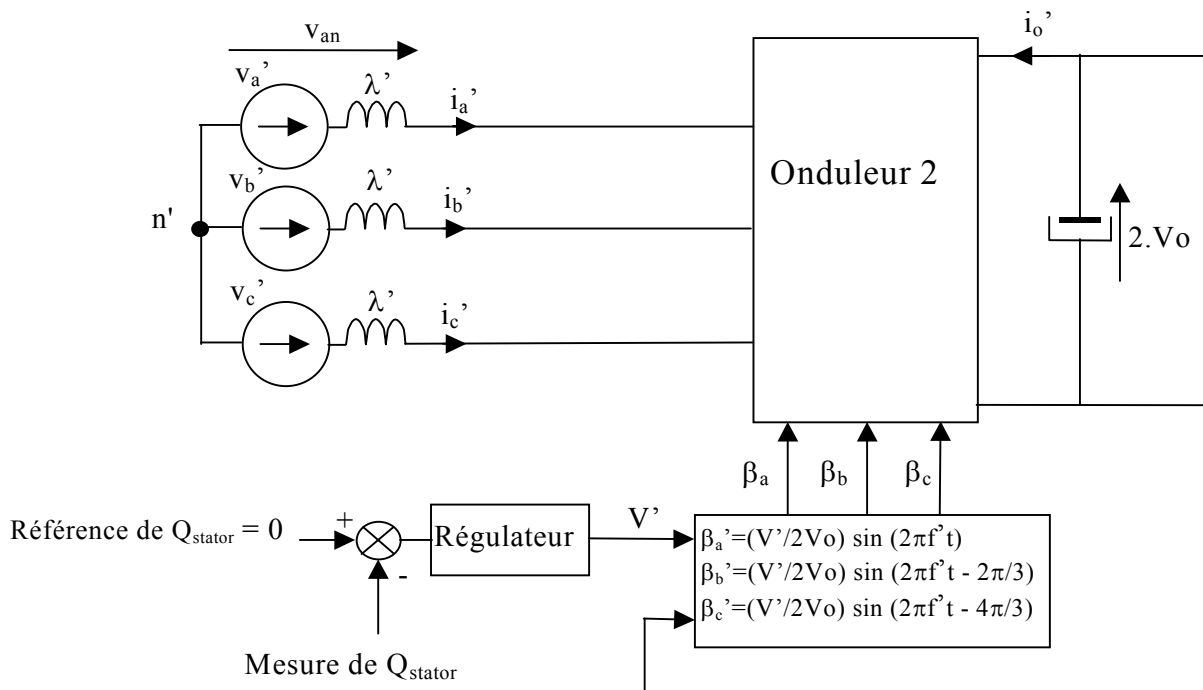
Q.E.12.



Q.E.13. La sortie du régulateur est modifiée lors d'un changement de vitesse de l'éolienne, car lorsque la machine fonctionne à flux constant, la tension de magnétisation (V') est proportionnelle à la fréquence de cette tension, et la fréquence de $V' = |g| \cdot f_s$ est lié à la vitesse de l'éolienne.

Q.E.14. C'est la fréquence de V' qui permet de fixer g ; donc la vitesse de l'éolienne.

Q.E.15. Proposer une solution pour calculer le vecteur \vec{V}' , qui est l'entrée de commande de l'onduleur 2, compte tenu des réponses précédentes



f' : délivrée par le système de gestion de l'énergie fixant la vitesse de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent.