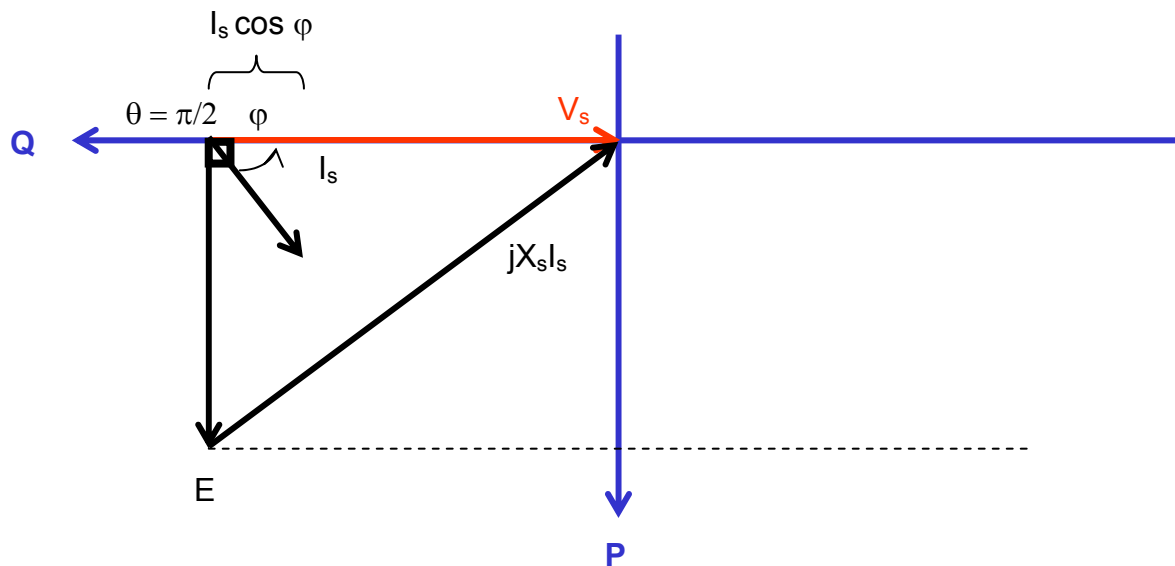


Corrigé Exercice 1:

On arrête le moteur synchrone et on permute 2 phases de l'induit.

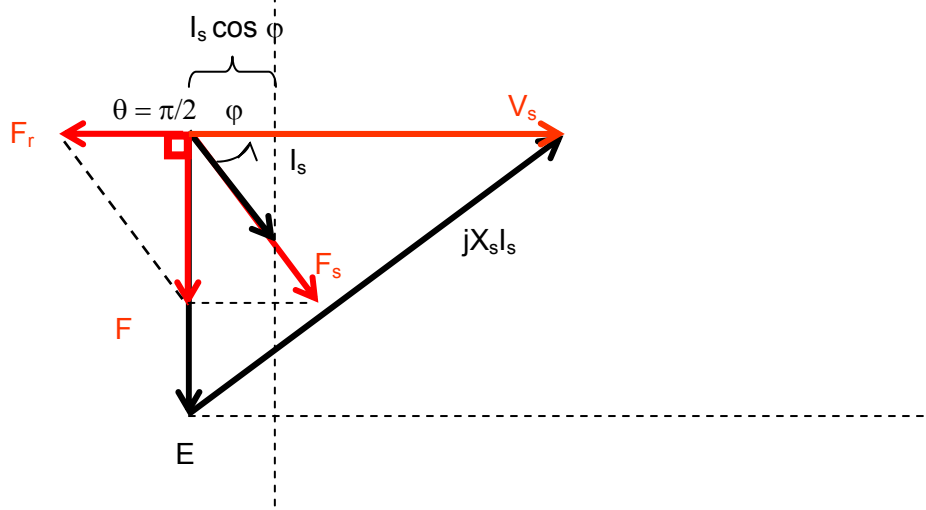
Corrigé Exercice 2:

1- Convention récepteur



$\pi/2 > \varphi > 0$   $P = 3V_s I_s \cos \varphi > 0$  En convention récepteur  $P > 0$  est une puissance absorbée par la machine. Elle fonctionne bien en moteur.  $Q = 3V_s I_s \sin \varphi > 0$  En convention récepteur  $Q > 0$  est une puissance absorbée par la machine.

2- Diagramme des forces magnétomotrices

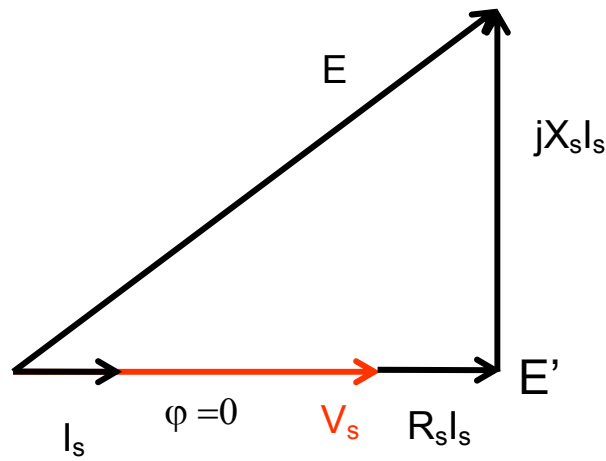


Convention récepteur :  $e = +d\varphi/dt$   $e_r = +d\varphi_r/dt$  Les fmm sont en retard sur les tensions.

F en avance sur Fr dans le sens de rotation. F entraîne bien Fr dans le sens de rotation et exerce un couple moteur sur Fr. C'est bien un fonctionnement en moteur. F perpendiculaire à Fr. Fonctionnement à la limite du décrochage.

### Corrigé Exercice 3:

#### 1- Convention générateur

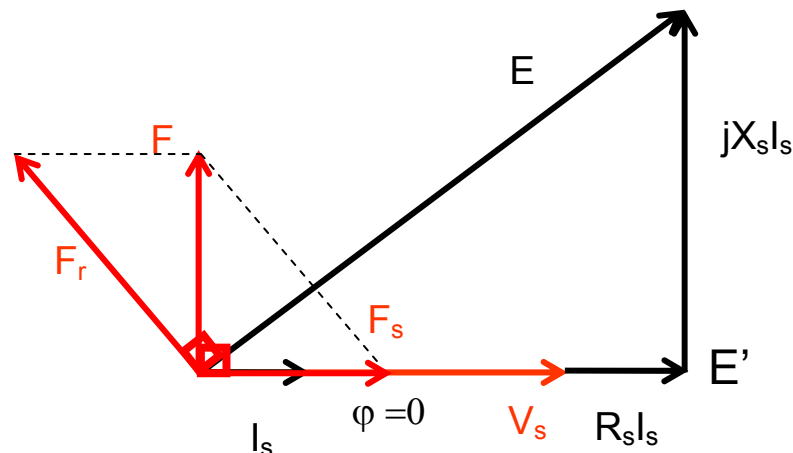


$\varphi=0$   $P=3V_s I_s > 0$  En convention générateur  $P > 0$  est une puissance produite par la machine. Elle fonctionne bien en générateur.  $Q=0$ . En convention générateur  $Q > 0$  est une puissance produite par la machine. Aucune puissance réactive échangée entre la machine synchrone et le réseau.

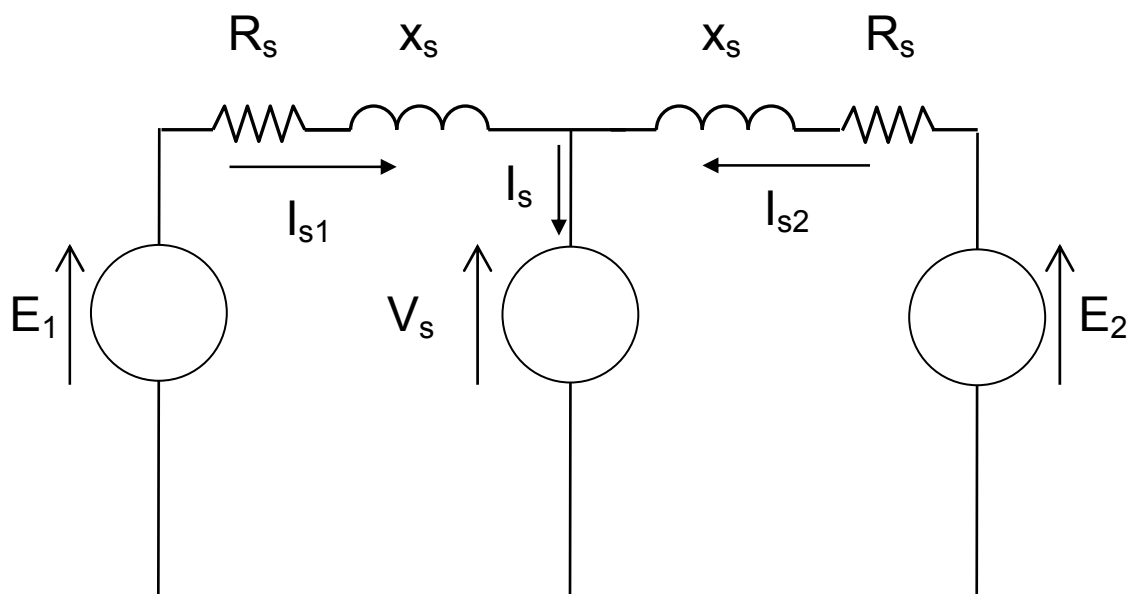
#### 2- Diagramme des forces magnétomotrices

Convention générateur :  $e = -d\varphi/dt$   $e_r = -d\varphi_r/dt$  Les fmm sont en avance sur les tensions.

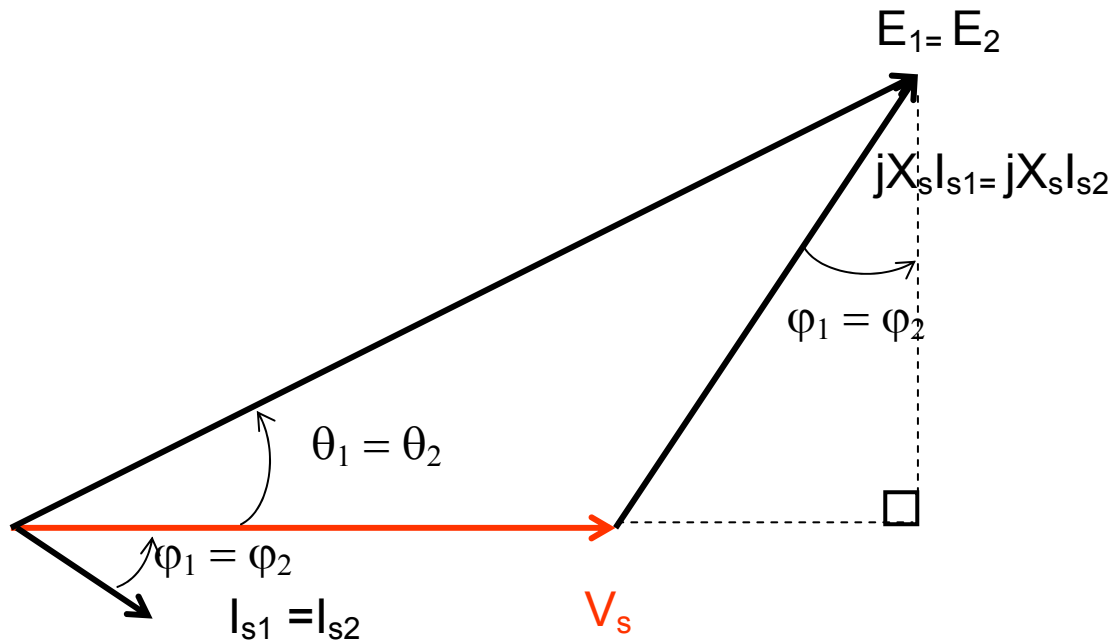
Fr en avance sur F dans le sens de rotation. F exerce bien un couple résistant sur Fr. C'est bien un fonctionnement en générateur.



## Corrigé Exercice 4:



Question 1	resultat	unite	Expression litterale
fs_	60	Hz	
p_	2		
Ns_	1800	rpm	fs_*60/p_
Us_	208	V	
Vs_	120	V	Us_/RACINE(3)
Nso_	900	rpm	
Knso_	60		
Kccnso_	10		
Xsnso_	6	Ohm	Knso_/Kccnso_
K_	120		Knso_*Ns_/Nso_
Xs_	12	Ohm	Xsnso_*Ns_/Nso_



Question 2	resultat	unite	Expression litterale
Pu1_	4000	W	
Pu2_	4000	W	
Ir1_	2	A	
Ir2_	2	A	
P1_	4000	W	Pu1_
P2_	4000	W	Pu2_
Ptot_	8000	W	P1_ +P2_
E1_	240	V	$K \cdot Ir1_$
sinteta1_	0,56		$P1_ \cdot X_s /3/Vs_ /E1_$
costeta1_	0,83		$RACINE(1-sinteta1_^2)$
Is1_	12,93	A	$RACINE((E1_ \cdot costeta1_ -Vs_ )^2+(E1_ \cdot sinteta1_ )^2)/Xs_$
E2_	240	V	$K \cdot Ir2_$
cosphi1_	0,86		$P1_ /3/Vs_ /Is1_$
sinphi1_	0,51		$RACINE(1-cosphi1_^2)$
sinteta2_	0,56		$P2_ \cdot X_s /3/Vs_ /E2_$
costeta2_	0,83		$RACINE(1-sinteta2_^2)$
Is2_	12,93	A	$RACINE((E2_ \cdot costeta2_ -Vs_ )^2+(E2_ \cdot sinteta2_ )^2)/Xs_$
cosphi2_	0,86		$P2_ /3/Vs_ /Is2_$
sinphi2_	0,51		$RACINE(1-cosphi2_^2)$
Is_	25,861185	A	$RACINE((Is1_ \cdot cosphi1_ +Is2_ \cdot cosphi2_ )^2+(Is1_ \cdot sinphi1_ +Is2_ \cdot sinphi2_ )^2)$
cosphi_	0,8586528		$Ptot_ /3/Vs_ /Is_$
Q1_	2387,7293	VAR	$3 \cdot Vs_ \cdot Is1_ \cdot sinphi1_$

	2		
Q2_	2387,7293	2	VAR
			$3 \cdot V_s \cdot I_{s2} \cdot \sin \phi_{i2}$
Qtot_	4775,4586	5	VAR
			$Q1\_ + Q2\_$

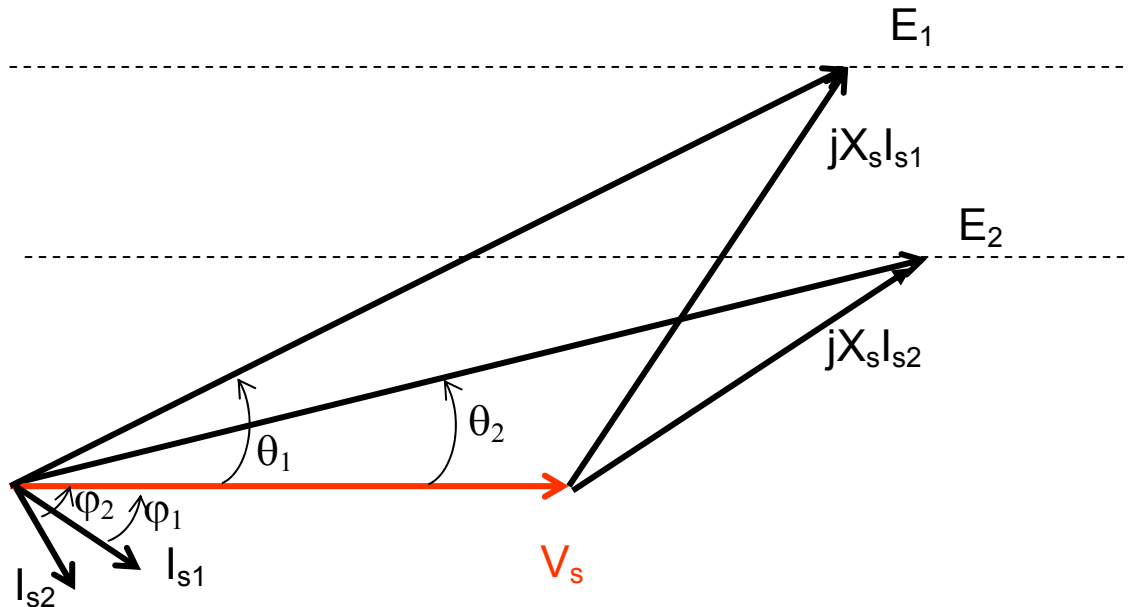
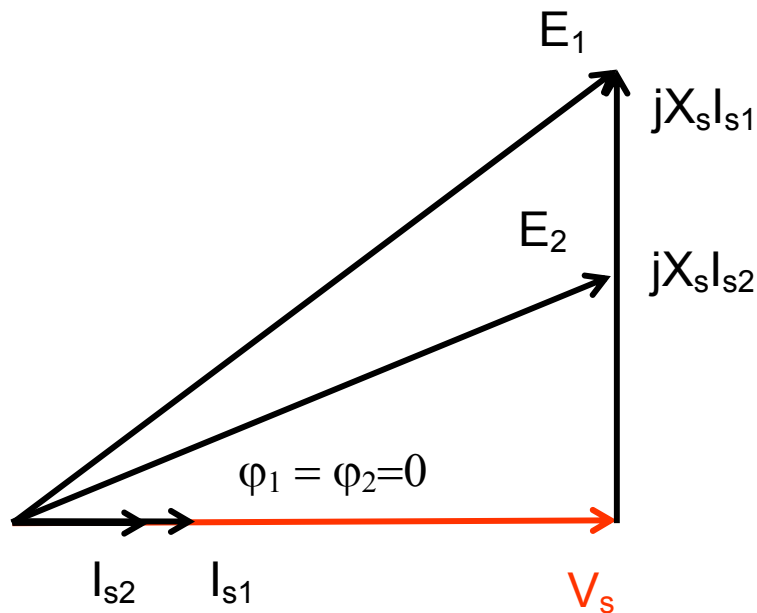


Diagramme question 3

Question 3	resultat	unite	Expression litterale
Pu1_	6000	W	
Pu2_	2000	W	
Ir1_	2	A	
Ir2_	2	A	
P1_	6000	W	Pu1_
P2_	2000	W	Pu2_
Ptot_	8000	W	P1_+P2_
E1_	240	V	$K \cdot Ir1$
sinteta1_	0,83		$P1\_Xs\_/3/Vs\_/E1\_$
costeta1_	0,55		$RACINE(1-sinteta1\_^2)$
Is1_	16,69	A	$RACINE((E1\_costeta1\_ - Vs\_)^2 + (E1\_sinteta1\_)^2)/Xs\_$
E2_	240	V	$K \cdot Ir2$
cosphi1_	1,00		$P1\_/3/Vs\_/Is1\_$
sinphi1_	0,06		$RACINE(1-cosphi1\_^2)$
sinteta2_	0,28		$P2\_Xs\_/3/Vs\_/E2\_$
costeta2_	0,96		$RACINE(1-sinteta2\_^2)$
Is2_	10,75	A	$RACINE((E2\_costeta2\_ - Vs\_)^2 + (E2\_sinteta2\_)^2)/Xs\_$
cosphi2_	0,52		$P2\_/3/Vs\_/Is2\_$
sinphi2_	0,86		$RACINE(1-cosphi2\_^2)$
Is_	24,47	A	$RACINE((Is1\_cosphi1\_ + Is2\_cosphi2\_)^2 + (Is1\_sinphi1\_ + Is2\_sinphi2\_)^2)$

			)
cosphi_	0.91		Ptot_ /3/Vs_ /Is_
Q1_	384,25	VAR	3*Vs_ *Is1_ *sinphi1_
Q2_	3316,86	VAR	3*Vs_ *Is2_ *sinphi2_
Qtot_	3701,12	VAR	Q1_ +Q2_

Question 4 : les courants  $I_{s1}$  et  $I_{s2}$  sont minimaux lorsqu'on ajuste  $I_{r1}$  et  $I_{r2}$  tels que  $\cos\phi_1 = \cos\phi_2 = 1$ . On en déduit la valeur de  $I_{s1}$  et  $I_{s2}$  à partir de  $P_{u1}$  et  $P_{u2}$ . Tracer le diagramme vectoriel pour  $\cos\phi_1 = \cos\phi_2 = 1$ . On en déduit la valeur de  $E_1$  à partir de  $V_s$  et  $X_s I_{s1}$  (Pythagore) et celle de  $E_2$  à partir de  $V_s$  et  $X_s I_{s2}$  (Pythagore). On déduit de  $E_1$  et  $E_2$  les valeurs de  $I_{r1}$  et  $I_{r2}$ .



Question 4	resultat	unite
Pu1_	6000.00	W
Pu2_	2000.00	W
Ir1_	1.94	A
Ir2_	1.14	A
P1_	6000.00	W
P2_	2000.00	W
Ptot_	8000.00	W
E1_	233	V
sinteta1_	0.86	
costeta1_	0.52	
Is1_	16.65	A
E2_	137	V
<b>cosphi1_</b>	<b>1.00</b>	
sinphi1_	0.00	

sinteta2_	0.49	
costeta2_	0.87	
ls2_	5.55	A
<b>cosphi2_</b>	<b>1.00</b>	
sinphi2_	0.00	
ls_	22.21	A
<b>cosphi_</b>	<b>1.00</b>	
Q1_	0.00	VAR
Q2_	0.00	VAR
Qtot_	0.00	VAR

### Exercice 5:

1- Non. Il faut inverser le sens de rotation de  $F_s$  en permutant 2 phases de l'induit.

2- Convention générateur:

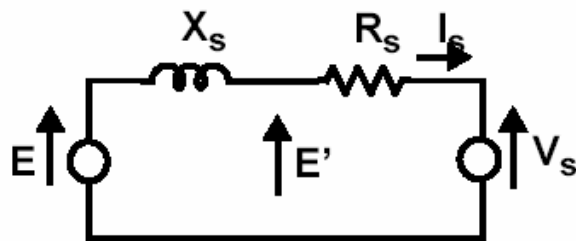
$$\bar{E} = \bar{V}_s + jX_s \bar{I}_s + R_s \bar{I}_s$$

$$\bar{E}' = \bar{V}_s + R_s \bar{I}_s$$

$$\bar{E}' = \bar{E} - jX_s \bar{I}_s$$

$$e' = -\frac{d\phi}{dt} \quad e = -\frac{d}{dt}\phi_r$$

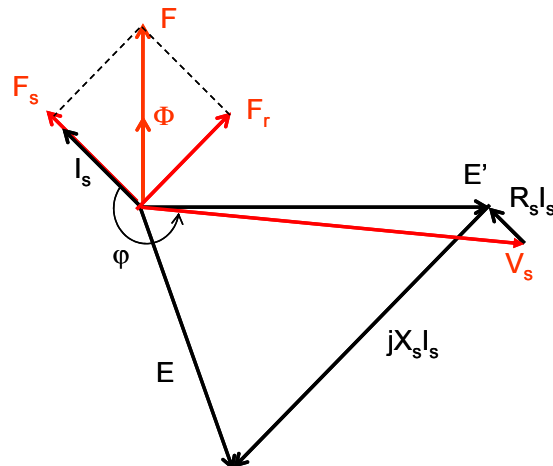
$$\Rightarrow \begin{matrix} P > 0 \\ Q > 0 \end{matrix}$$



Fonctionnement en moteur:  $E'$  en avance sur  $E$

Fonctionnement en moteur:  $\cos\phi < 0$  en convention générateur

Moteur consomme puissance réactive  $\sin\phi < 0$  en convention générateur



$F$  en avance de  $+\pi/2$  sur  $E'$      $F_r$  en avance de  $+\pi/2$  sur  $E$

Vérification:

F en avance sur  $F_r$  : c'est bien un fonctionnement en moteur

$\cos\phi < 0$   $P < 0$  c'est bien un fonctionnement en moteur

$\sin\phi < 0$   $Q < 0$  la MS absorbe bien de la puissance réactive.

Exercice 6:

1-

$$N_s = \frac{60 \cdot f_s}{p} = \frac{3600}{3} = 1200 \text{ rpm}$$

$$R_s = 0 \rightarrow X_s = \frac{E}{I_{scc}} = \frac{60 \cdot I_r}{10 \cdot I_r} = 6 \Omega$$

2-

$$P_u = T_{ru} \cdot \Omega_s \quad T_{ru} = \frac{4 \cdot 10^3}{\frac{1200 \cdot 2\pi}{60}}$$

$$P_{em} = P_u + P_{mec} + P_{mag}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_{mec} + P_{mag} + 3 \cdot R_s \cdot I_s^2}$$

$$R_s = 0 \quad \eta = \frac{P_u}{P_{em}} \quad P_{em} = 5 \text{ kW}$$

3-

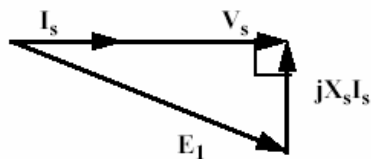
$$P_{in} = 3 \cdot V_s \cdot I_{s1} \cdot \cos\phi = P_{em} + 3 \cdot R_s \cdot I_s^2$$

$$R_s = 0 \quad \cos\phi = 1 \quad 3 \cdot V_s \cdot I_{s1} = P_{em}$$

$$I_{s1} = \frac{P_{em}}{3 \cdot V_s} = 13,88 \text{ A}$$

Diagramme en convention récepteur moteur avec facteur de puissance unitaire





$$V_s = E + j \cdot X_s \cdot I_s$$

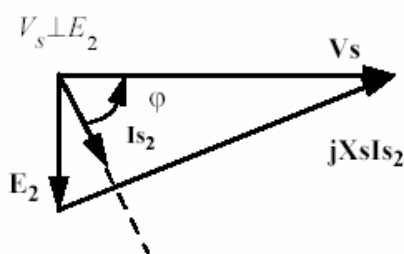
$$E_1 = 60 \cdot I_{r1} = \sqrt{V_s^2 + \langle X_s \cdot I_{s1} \rangle^2} = 146,13 V$$

$$I_{r1} = \frac{\sqrt{V_s^2 + \langle X_s \cdot I_{s1} \rangle^2}}{60} = 2,44 A$$

4-

Limite du décrochage  $P_{em}$  a la même valeur.

Diagramme du moteur à la limite du décrochage en convention récepteur



$$P_{em} = \frac{3 \cdot V_s \cdot E_2}{X_s} \cdot \sin \theta \quad \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$E_2 = \frac{X_s \cdot P_{em}}{3 \cdot V_s} = 60 \cdot I_{r2} = 83,27 V$$

$$I_{r2} = 1,39 A$$

$$\langle X_s \cdot I_{s2} \rangle^2 = E_2^2 + V_s^2 \quad I_{s2} = \frac{\sqrt{E_2^2 + V_s^2}}{X_s} = 24,36 A$$

Le moteur synchrone absorbe de la puissance réactive ( $\sin \phi > 0$  en convention récepteur).

$$I_{r3} = 3,2 A \quad E_3 = 60 \cdot I_{r3} = 192 V > \frac{U_s}{\sqrt{3}} = 120 V$$

5-

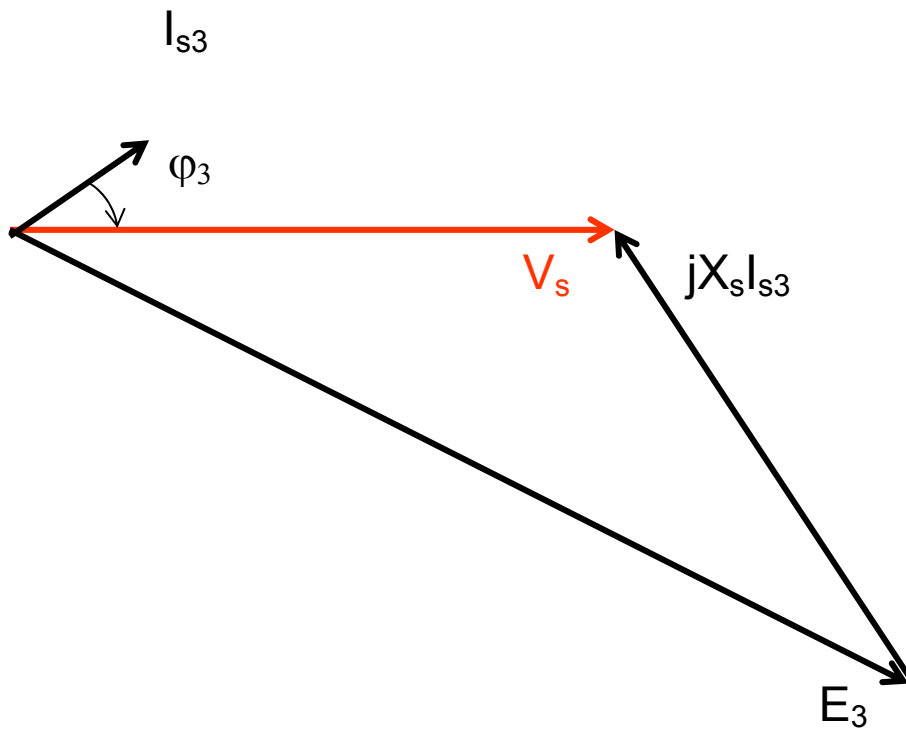
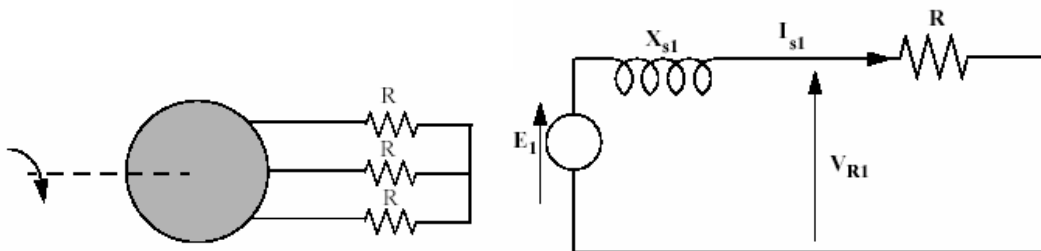


Diagramme vectoriel moteur fonctionne avec  $E_3 > E_1$  de la question 3 (facteur de puissance unitaire). La puissance active n'a pas changé.

Le moteur synchrone produit de la puissance réactive (on vérifie aussi  $\sin\phi_3 < 0$  en convention récepteur).

### Exercice 7:

1-



$$N_1 = \frac{60f_{s1}}{p} \quad f_{s1} = \frac{pN_1}{60} = \frac{\omega_{s1}}{2\pi} \quad \omega_{s1} = \frac{2\pi pN_1}{60} = 377 \text{ rad/s}$$

$$E_1 = \phi_r \omega_{s1} \quad I_{s1} = \frac{E_1}{\sqrt{R^2 + X_{s1}^2}} = 10,44 \text{ A} \quad X_{s1} = L_s \omega_{s1}$$

$$V_{R1} = RI_{s1} = 104,45 \text{ V}$$

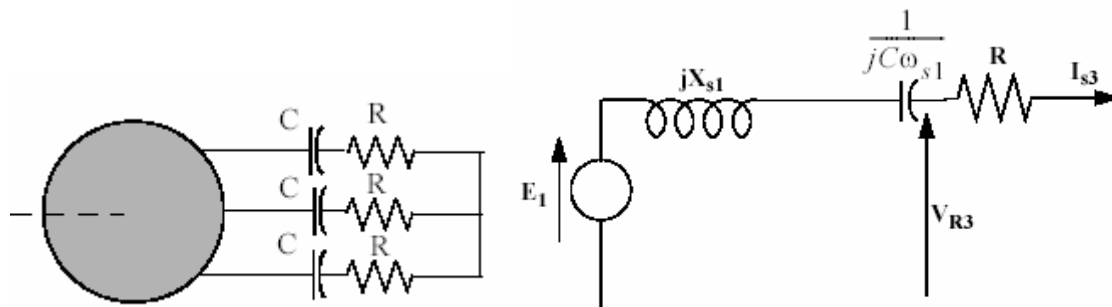
$$P_{R1} = 3RI_{s1}^2 = 3273 \text{ W}$$

2-

$$\omega_{s2} = \frac{2\pi p N_2}{60} \quad E_2 = \phi_r \omega_{s2} = 60 \text{ V} \quad I_{s2} = \frac{E_2}{\sqrt{R^2 + X_{s2}^2}} = 5,77 \text{ A} \quad X_{s2} = L_s \omega_{s2}$$

$$V_{R2} = RI_{s2} = 57,73 \text{ V} \quad P_{R2} = 3RI_{s2}^2 = 1000 \text{ W}$$

3-



$$E_1 = \left( R + j \left( X_{s1} - \frac{1}{C\omega_{s1}} \right) \right) I_{s3}$$

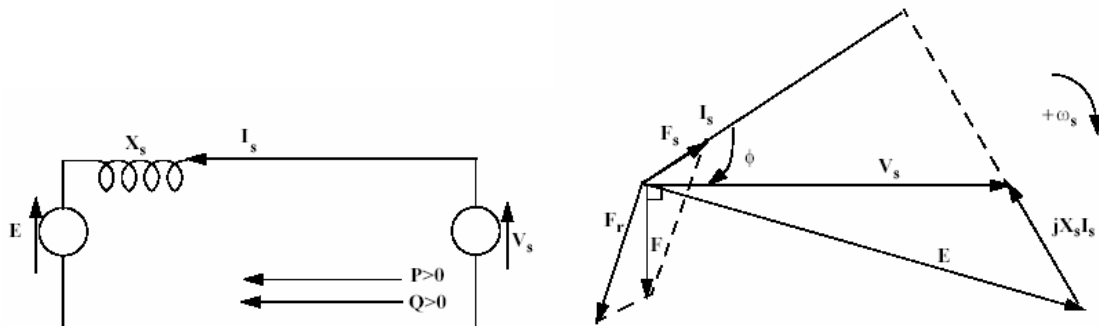
$$V_{R3} = E_1 \frac{R}{R + j \left( X_{s1} - \frac{1}{C\omega_{s1}} \right)} = E_1 \quad \text{si} \quad X_{s1} = \frac{1}{C\omega_{s1}}$$

$$C = \frac{1}{L_s \omega_{s1}^2} = 469 \text{ } \mu\text{F} \quad P_{R3} = 3 \frac{E_1^2}{R} = 4320 \text{ W}$$

$$\text{à } N_2 \quad V_{R4} = E_2 \frac{R}{R + j\left(X_{s2} - \frac{1}{c\omega_{s2}}\right)} = 45,75 V \quad P_{R4} = \frac{3V_{R4}^2}{R} = 628 W$$

### Exercice 8:

1-



Moteur synchrone qui produit de la puissance réactive en convention récepteur. La résistance  $R_s$  des enroulements de l'induit est négligée.

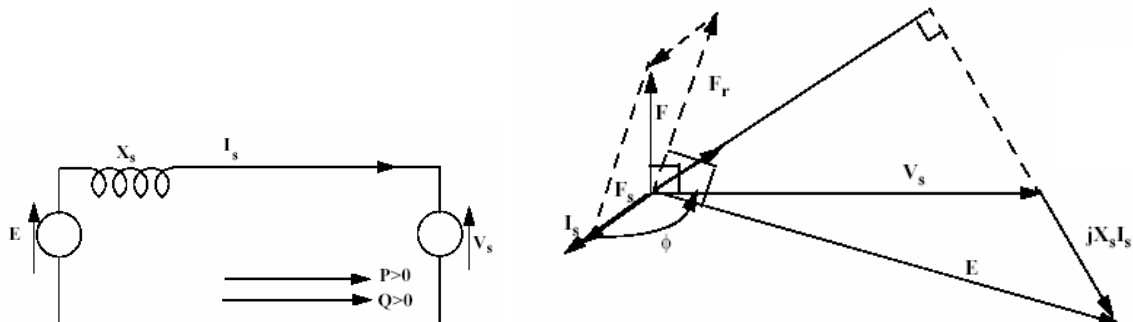
Vérification:

$F$  en avance sur  $F_r$  : c'est bien un fonctionnement en moteur

$\cos\phi > 0$   $P > 0$  c'est bien un fonctionnement en moteur

$\sin\phi < 0$   $Q < 0$  le moteur produit bien de la puissance réactive.

2-



Moteur synchrone qui produit de la puissance réactive en convention générateur. La résistance  $R_s$  des enroulements de l'induit est négligée.

Vérification:

$F$  en avance sur  $F_r$  : c'est bien un fonctionnement en moteur

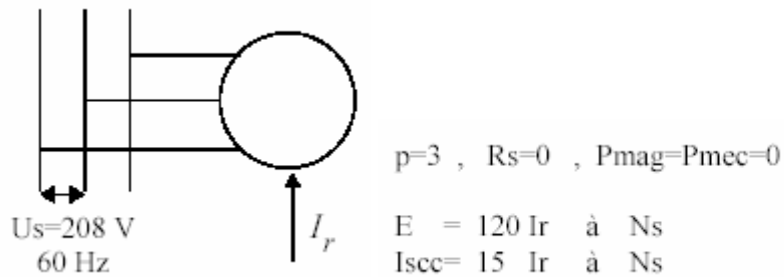
$\cos\phi < 0$   $P < 0$  c'est bien un fonctionnement en moteur

$\sin\phi > 0$   $Q > 0$  le moteur produit bien de la puissance réactive

3-  $p=3$   $f_s=60\text{Hz}$   $N_s=92.31\text{rpm}$

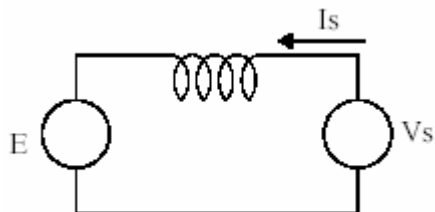
### Exercice 9:

1-



$$N_s = \frac{60f_s}{p} \quad X_s = L_s \omega_s = \frac{E}{I_{scc}} = \frac{120 I_r}{15 I_r} = 8\Omega$$

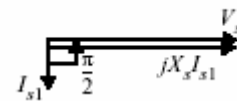
2-



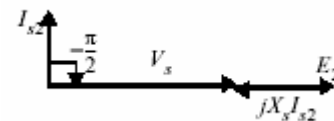
$Q_{1\text{max}}$  absorbée

$$E_1 < V_s \quad \text{pour} \quad E_1 = 0 \text{ et } I_{r1} = 0$$

$$I_{s1} = \frac{V_s}{X_s} = 15\text{A}$$



$Q_{\text{max}}$  produite



$$I_{s2} = \frac{E_2 - V_s}{X_s} = 15A \quad \text{avec } E_2 = 120I_{rmax} = 240V$$

**Exercice 10:**

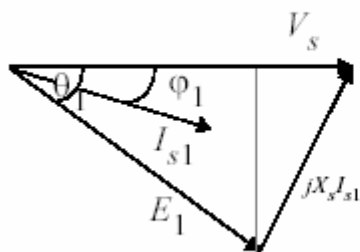
1-

$$P_u = P_{em} - P_{mag} - P_{mec} \approx P_{mec} = T_{em} \Omega_s$$

$$T_{em} = \frac{P_u}{\Omega_s} = \frac{P_u 60}{2\pi N_s}$$

$$P_{em} = 3 \frac{V_s E_1}{X_s} \sin \theta_1 \quad \text{avec } E_1 = 120I_r = 120V$$

$$\sin \theta_1 = \frac{X_s P_{em}}{3 V_s E_1} = 0,833$$



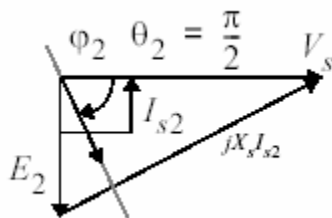
$$X_s I_{s1} \cos \phi_1 = E_1 \sin \theta_1$$

$$X_s I_{s1} \sin \phi_1 = V_s - E_1 \cos \theta_1$$

$$I_{s1} = \frac{\sqrt{(E_1 \sin \theta_1)^2 + (V_s - E_1 \cos \theta_1)^2}}{X_s} = 9,46.$$

$$\tan \phi_1 = \frac{V_s - E_1 \cos \theta_1}{E_1 \sin \theta_1} \rightarrow \cos \phi_1 = 0,88$$

2-

 $I_{r2} \downarrow \quad \theta \uparrow \quad \text{valeur limite} \rightarrow \text{décrochage} \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2}$ 


$$P_{em} = cte = 3 \frac{V_s E_2}{X_s} \quad \left( \theta_2 = \frac{\pi}{2} \right) \quad E_2 = \frac{X_s P_{em}}{3 V_s} = 120 I_{r2}$$

$$\text{d'où } E_2 = 100 V \quad I_{r2} = \frac{E_2}{120} = 0,833 A$$

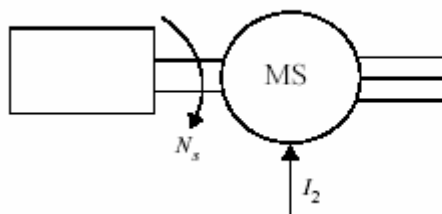
$$(X_s I_{s2})^2 = E_2^2 + V_s^2 \quad I_{r2} = \frac{1}{X_s} \sqrt{(E_2^2 + V_s^2)} = 13 A$$

$$P_{em} = 3 V_s I_{s2} \cos \varphi_2 - 3 R_s I_{s2}^2$$

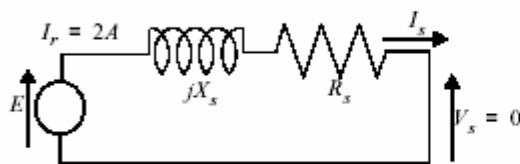
$$R_s = 0 \text{ donc } \cos \varphi_2 = \frac{P_{em}}{3 V_s I_{s2}} = 0,64$$

### Exercice 11:

1-



$$\begin{aligned} p &= 2 & N_s &= 1800 \text{ rpm} \\ E &= 60 & I_r &= K I_r \quad (N_s = 1800 \text{ rpm}) \\ L_s &= 0.04 \text{ H} & R_s &= 0.5 \Omega \\ P_{mec} &= P_{mag} = 0 \end{aligned}$$



$$P_u = P_{em} + P_{mag} + P_{mec}$$

$$P_{em} = 3 R_s I_s^2$$

$$P_{em} = 3 R_s \frac{E^2}{X_s^2 + R_s^2} = T_{em} \Omega_s = T_u \Omega_s$$

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$$

$$T_u = \frac{3p}{\omega_s} \frac{K^2 I_r^2 R_s}{(L_s \omega_s)^2 + R_s^2} = 0,5 Nm$$

$$\omega_s = 2\pi f_s$$

$$f_s = \frac{N_s p}{60} = 60 Hz$$

$$I_s = \frac{E}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}} = \frac{K I_r}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}} = 7,95 A$$