

## ÈLECTROTECHNIQUE

### Travaux dirigés

Licence génie électrique niveau 2

Amari Mansour

Janvier 2014





# Table des matières

<b>1</b>	<b>Le Transformateur monophasé</b>	<b>1</b>
1.1	Exercice 1 . . . . .	1
1.2	Correction . . . . .	2
1.3	Exercice 2 . . . . .	2
1.4	Corrigé . . . . .	3
1.5	Exercice 3 . . . . .	3
1.6	Corrigé . . . . .	4
1.7	Exercice 4 . . . . .	5
1.8	Corrigé . . . . .	6
1.9	Exercice 5 . . . . .	6
1.10	correction . . . . .	7
1.11	Exercice 6 . . . . .	7
1.12	Correction . . . . .	8
1.13	Exercice 7 . . . . .	8
1.14	Correction . . . . .	9
1.15	Exercice 8 . . . . .	9
1.16	Exercice 9 . . . . .	10
1.17	Correction . . . . .	11
1.18	Exercice 10 . . . . .	11
1.19	Correction . . . . .	12
1.20	Exercice 11 . . . . .	12
1.21	Correction . . . . .	12
1.22	Exercice 12 . . . . .	13
1.23	Correction . . . . .	13
1.24	Exercice 13 . . . . .	13
1.25	Correction . . . . .	14

1.26	Exercice 14	14
1.27	Correction	15
1.28	Exercice 15	16
1.29	Correction	17
1.30	Exercice 16	18
1.31	Correction	18
1.32	Exercice 17	19
1.33	Correction	19
1.34	Exercice 18	20
1.35	Correction	20
1.36	Exercice 19	21
1.37	Correction	22
1.38	Exercice 20	22
1.39	Correction	23
1.40	Exercice 21	23
1.41	Correction	24
1.42	Exercice 22	24
1.43	Correction	25
1.44	Exercice 23	25
1.44.1	Correction	26
1.45	Exercice 24	27
1.46	Correction	27
<b>2</b>	<b>Le Transformateur Triphasé</b>	<b>29</b>
2.1	Exercice 1	29
2.2	Correction	29
2.3	Exercice 2	29
2.4	Corrigé	30
2.5	Exercice 3	30
2.6	Corrigé	31
2.7	Exercice 4	31
2.8	Corrigé	32
2.9	Exercice 5	32
2.10	Corrigé	33
2.11	Exercice 6	33

2.12	Corrigé . . . . .	34
2.13	Exercice 7 . . . . .	35
2.14	Corrigé . . . . .	35
2.15	Exercice 8 . . . . .	35
2.16	Corrigé . . . . .	36
2.17	Exercice 9 . . . . .	36
2.18	Corrigé . . . . .	38
2.19	Exercice 10 . . . . .	38
2.20	Corrigé . . . . .	39
2.21	Exercice 11 . . . . .	39
2.22	Corrigé . . . . .	40
2.23	Exercice 12 . . . . .	40
2.24	Corrigé . . . . .	41
2.25	Exercice 13 . . . . .	42
2.26	Corrigé . . . . .	42
2.27	Exercice 14 . . . . .	42
2.28	Corrigé . . . . .	43
2.29	Exercice 15 . . . . .	43
2.30	Exercice 16 . . . . .	44
2.31	Corrigé . . . . .	45
2.32	Exercice 17 . . . . .	45
2.33	Corrigé . . . . .	46
2.34	Exercice 18 . . . . .	47
2.35	Corrigé . . . . .	48
2.36	Exercice 19 . . . . .	48
2.37	Corrigé . . . . .	48
<b>3</b>	<b>Les Machines à courant continu</b>	<b>49</b>
3.1	Exercice 1 . . . . .	49
3.2	Correction . . . . .	50
3.3	Exercice 2 . . . . .	50
3.4	Correction . . . . .	50
3.5	Exercice 3 . . . . .	51
3.6	Corrigé . . . . .	51
3.7	Exercice 4 . . . . .	52

3.8	Corrigé . . . . .	53
3.9	Exercice 5 . . . . .	53
3.10	Corrigé . . . . .	53
3.11	Exercice 6 . . . . .	54
3.12	Corrigé . . . . .	54
3.13	Exercice 7 . . . . .	54
3.14	Corrigé . . . . .	55
3.15	Exercice 8 . . . . .	55
3.16	Corrigé . . . . .	56
3.17	Exercice 9 . . . . .	56
3.18	Corrigé . . . . .	56
3.19	Exercice 10 . . . . .	57
3.20	Corrigé . . . . .	57
3.21	Exercice 11 . . . . .	58
3.22	Corrigé . . . . .	58
3.23	Exercice 12 . . . . .	59
3.24	Corrigé . . . . .	59
3.25	Exercice 13 . . . . .	60
3.26	Corrigé . . . . .	61
3.27	Exercice 14 . . . . .	61
3.28	Corrigé . . . . .	62
3.29	Exercice 15 . . . . .	62
3.30	Corrigé . . . . .	63
3.31	Exercice 16 . . . . .	63
3.32	Corrigé . . . . .	64
3.33	Exercice 17 . . . . .	65
3.34	Corrigé . . . . .	66
3.35	Exercice 18 . . . . .	66
3.36	Corrigé . . . . .	67
3.37	Exercice 19 . . . . .	67
3.38	Corrigé . . . . .	68
3.39	Exercice 20 . . . . .	69
3.40	Corrigé . . . . .	70
3.41	Exercice 21 . . . . .	70

3.42	Corrigé . . . . .	71
<b>4</b>	<b>Les Machines synchrones Triphasés</b>	<b>73</b>
4.1	Exercice 1 . . . . .	73
4.2	Corrigé . . . . .	73
4.3	Exercice 2 . . . . .	74
4.4	Corrigé . . . . .	75
4.5	Exercice 3 . . . . .	75
4.6	Corrigé . . . . .	76
4.7	Exercice 4 . . . . .	76
4.8	Corrigé . . . . .	76
4.9	Exercice 5 . . . . .	77
4.10	Corrigé . . . . .	77
4.11	Exercice 6 . . . . .	78
4.12	Corrigé . . . . .	78
4.13	Exercice 7 . . . . .	79
4.14	Corrigé . . . . .	80
4.15	Exercice 8 . . . . .	80
4.16	Corrigé . . . . .	81
4.17	Exercice 9 . . . . .	81
4.18	Corrigé . . . . .	81
4.19	Exercice 10 . . . . .	82
4.20	Corrigé . . . . .	83
4.21	Exercice 11 . . . . .	83
4.22	Corrigé . . . . .	84
4.23	Exercice 12 . . . . .	84
4.24	Réponse . . . . .	85
4.25	Exercice 13 . . . . .	85
4.26	Réponse . . . . .	86
4.27	Exercice 14 . . . . .	87
4.28	Réponse . . . . .	87
4.29	Exercice 15 . . . . .	88
4.30	Réponse . . . . .	89
4.31	Exercice 16 . . . . .	90
4.32	Réponse . . . . .	90

4.33	Exercice 17	91
4.34	Réponse	92
4.35	Exercice 18	93
4.36	Corrigé	94
<b>5</b>	<b>Le Moteur Asynchrone Triphasé</b>	<b>97</b>
5.1	Exercice 1	97
5.2	Correction	97
5.3	Exercice 2	98
5.4	Correction	98
5.5	Exercice 3	98
5.6	Correction	99
5.7	Exercice 4	99
5.8	Correction	100
5.9	Exercice 5	100
5.10	Correction	101
5.11	Exercice 6	102
5.12	Correction	102
5.13	Exercice 7	103
5.14	Correction	103
5.15	Exercice 8	104
5.16	Correction	105
5.17	Exercice 9	105
5.18	Correction	106
5.19	Exercice 10	106
5.20	Correction	107
5.21	Exercice 11	107
5.22	Correction	108
5.23	Exercice 12	108
5.24	Correction	109
5.25	Exercice 13	110
5.26	Corrigé	111
5.27	Exercice 14	111
5.28	Corrigé	112
5.29	Exercice 15	112



5.30 Corrigé . . . . .	113
5.31 Exercice 16 . . . . .	113
5.32 Correction . . . . .	114
5.33 Exercice 17 . . . . .	114
5.34 Corrigé . . . . .	115
5.35 Exercice 18 . . . . .	116
5.36 Correction . . . . .	117
5.37 Exercice 19 . . . . .	117
5.38 Correction . . . . .	119
5.39 Exercice 20 . . . . .	120
5.40 Correction . . . . .	121

**Bibliographie****123**



# Preface

Ces travaux dirigés d'électrotechnique ont été rédigés à l'intention des étudiants qui préparent ,dans le cadre de la réforme L.M.D, une licence dans les domaines de génie électrique deuxième niveau.Il est conforme au programme officiel.

Ce polycope est divisé en trois grandes parties.

La première partie est consacré aux transformateurs monphasés et triphasés que nous présentons aux chapitres 1 et 2.

La deuxième partie, qui est au chapitre 3, porte sur des exercices des machines à courant continu(mode génératrice et mode moteur).

Dans la troisième partie, on présente , dans les chapitres 4 et 5 ,des exercices sur les machines à courant alternatif(machines synchrones et asynchrones)



# Chapitre 1

## Le Transformateur monophasé

### 1.1 Exercice 1

Un transformateur monophasé porte les indications suivantes sur sa plaque signalétique :  $S=2200\text{VA}$ ,  $\eta = 0.95$ , Primaire  $V_{1n} = 220\text{V}$ , Secondaire  $V_{2n} = 127\text{V}$ .

- 1) Calculer le courant primaire nominal :  $I_{1n}$
- 2) Calculer le courant secondaire nominal :  $I_{2n}$
- 3) Le rendement est précisé pour une charge absorbant le courant nominal sous tension secondaire nominale et présentant un facteur de puissance  $\cos\phi = 0,8$ . Calculer la valeur des pertes dans le transformateur dans ces conditions.
- 4) Représenter un schéma équivalent ramené au secondaire du transformateur en faisant apparaître les éléments classiques exposés dans le cours.
- 5) En supposant qu' au régime nominal les pertes sont uniformément réparties entre pertes fer et pertes Joules, calculer alors la valeur de tous les éléments résistifs du schéma.
- 6) La tension secondaire à vide de ce transformateur vaut  $V_{20} = 133\text{V}$ . Calculer alors le rapport de transformation  $m$ . En utilisant la formule simplifiée donnant la chute de tension au point nominal, calculer la valeur de l'inductance de fuite ramenée au secondaire du transformateur.
- 7) Calculer la valeur de la tension secondaire correspondant à une charge absorbant la moitié du courant secondaire nominal, toujours avec un facteur de puissance  $\cos\phi = 0,8$
- 8) Calculer alors le rendement du transformateur lorsqu'il débite sur une charge absorbant la moitié du courant nominal, toujours avec un  $\cos\phi = 0,8$

## 1.2 Correction

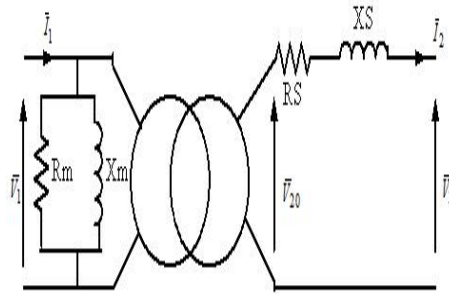
1-Le courant primaire nominal est :  $I_{1n} = S_n/V_{1n} = 10A$

2-Le courant secondaire nominal est :  $I_{2n} = S_n/V_{2n} = 17.32A$

3-Le rendement est :  $\eta = P_{utile}/(P_{utile} + \Sigma pertes) \Rightarrow \Sigma pertes = P_{utile} * (1/\eta - 1)$

A.N  $\Sigma pertes = 2200 * 0.8 * (1/0.95 - 1) = 92.63W$

4- Le schéma équivalent ramené au secondaire est la suivante :



5-Les pertes sont uniformément réparties entre pertes fer et pertes Joules donc

$$R_s = P_{joules}/(I_2)^2 = 0.154\Omega \text{ et } R_m = (V_1)^2/P_0 = 1045\Omega$$

6-Le rapport de transformation est :  $m = V_{20}/V_{10} = 133/220 = 0.604$

La chute de tension est  $\Delta V = V_{20} - V_2 = I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 6V$

donc  $X_s = l_s * w = ((6/17.32) - 0.154 * 0.8)/0.6 \Rightarrow l_s = X_s/100\pi = 1.18mH$

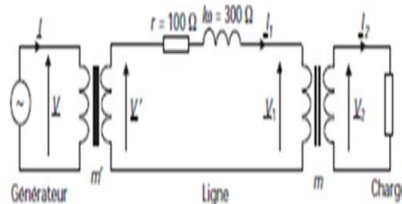
7-Le courant absorbé par la charge est  $I_2 = I_{2n}/2 = 8.66A$  et  $\cos(\varphi) = 0.8AV$

$\Rightarrow \sin(\varphi) = -0.6$  donc  $V_2 = 133 - 8.66 * (0.154 * 0.8 - 0.37 * 0.6) = 134V$

8-Le rendement est égal à  $\eta = 0.94$

## 1.3 Exercice 2

Un ensemble de distribution d'énergie électrique sous tension sinusoïdale à 50 Hz est représenté, en schéma monophasé équivalent, sur la figure suivante :



Les transformateurs représentés sont considérés comme parfaits et les rapports de transformations connus :  $m = 2.10^{-3}$  et  $m' = 100$

Les éléments d'imperfection des transformateurs et de la ligne sont ramenés à la résistance

r et à l'inductance l. La charge consomme, par phase, une puissance de 500 kW sous 230 V et avec un facteur de puissance  $\cos\phi = 0,8AR$ .

- 1) Calculer la valeur du courant  $I_2$
- 2) En déduire la valeur du courant  $I_1$  et calculer la valeur de  $V_1$
- 3) Représenter un diagramme de Fresnel faisant apparaître toutes les grandeurs de la maille centrale.
- 4) Calculer alors la valeur de la tension  $V'$  en faisant une hypothèse de colinéarité des tensions  $V_1$  et  $V'$ .
- 5) En déduire la valeur de la tension V nécessaire à assurer 230 V en bout de ligne.
- 6) Reprendre les deux dernières questions en faisant un bilan de puissances actives et réactives. Conclure sur l'hypothèse faite à la question 4.

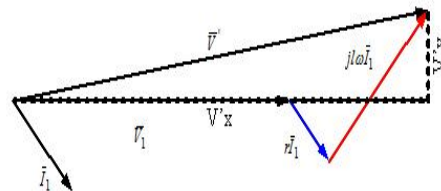
## 1.4 Corrigé

1-Le courant absorbé par la charge est  $I_2 = P_2 / (V_2 * \cos(\varphi)) = 500 * 10^3 / (230 * 0.8) = 2717A$

2-Les deux transformateurs sont parfaits  $I_1 = m * I_2 = 5.43A$  et  $V_1 = V_2 / m = 115KV$

3-La maille centrale nous permet d'écrire  $\vec{V}' = \vec{V}_1 + \vec{I}_1 * (r + jlw)$ .

Le diagramme vectoriel est le suivant :



4-Les deux tensions  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}'$  sont colinéaires  $\Rightarrow V' = V_1 + I_1 * (r * \cos(\varphi_1) + lw * \sin(\varphi_1))$

avec  $\varphi_1 = \arctan(lw/r) = 72$  degrés

A.N  $V' = 116.715KV$

5-La tension  $V = V' / m' = 1167.15V$

6-si on désigne respectivement par P et Q les puissances actives et réactives fournies par

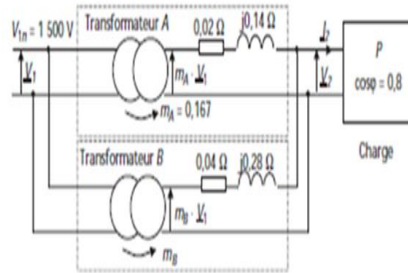
le réseau :  $P = P_2 + r * I_1^2 = 502.948KW$  et  $Q = Q_2 + lw * I_1^2 = 383.845KVAR$

la tension  $V = S/I = \sqrt{P^2 + Q^2} / (m' * I_1) = 1165V$

## 1.5 Exercice 3

Afin d'alimenter une charge demandant plus de puissance fournie par un transformateur A, on associe à celui-ci un transformateur B en parallèle. Le schéma de la figure suivante fait

apparaître cette mise en parallèle ainsi que les éléments d'imperfections des deux transformateurs (les éléments correspondant au fonctionnement à vide ne sont pas pris en compte dans cet exercice).



On notera que les deux transformateurs présentent les puissances apparentes nominales suivantes :  $S_{An} = 24kVA$  et  $S_{Bn} = 12kVA$

- 1) Quelle relation doit exister entre les rapports de transformations  $m_A$  et  $m_B$  pour qu'aucun transformateur ne débite de courant à vide, c'est à dire lorsque la charge n'est pas présente sur cette installation
- 2) Calculer les courants primaires nominaux  $I_{A1n}$  et  $I_{B1n}$ .
- 3) En déduire les courants secondaires nominaux  $I_{A2n}$  et  $I_{B2n}$ .
- 4) Calculer alors la tension secondaire nominale  $V_{2n}$  de chaque transformateur en utilisant la formule classique donnant la chute de tension secondaire. Commenter ce résultat. Que se passerait-il si ces deux valeurs n'étaient pas identiques
- 5) Calculer la valeur du courant total secondaire nominal  $I_{2n}$  que présente cette installation. Calculer alors la puissance apparente nominale de cette association de transformateurs.
- 6) Calculer le rendement du système sur une charge absorbant le courant nominal avec un facteur de puissance de 0,8.
- 7) Calculer la valeur du courant débité par chaque transformateur pour un courant total

## 1.6 Corrigé

1-Il faut que  $m_A = m_B$

2-Les courants primaires nominaux sont :

$$I_{1An} = S_{An}/V_{1An} = 16A$$

$$I_{1Bn} = S_{Bn}/V_{1Bn} = 8A$$

3-Les courants secondaires nominaux sont ;

$$I_{2An} = I_{1An}/m_A = 95.8A$$



$$I_{2Bn} = I_{1Bn}/m_B = 47.9A$$

$$4\text{-Les chutes de tension sont : } \Delta V_A = I_{2An} * (R_{sA} * \cos(\varphi) + X_{sA} * \sin(\varphi)) = \Delta V_B = 9.58V$$

$$\text{La tension secondaire nominale du transformateur } T_A \text{ est : } V_{2A} = V_{20A} - \Delta V_A = 240.92V$$

$$\text{La tension secondaire nominale du transformateur } T_B \text{ est : } V_{2B} = V_{20B} - \Delta V_B = 240.92V$$

Les deux tensions sont identiques, dans le cas contraire, il y'aura un courant qui circule entre les deux secondaires

$$5\text{-Les lois de mailles permet d'ecrire } \vec{I}_{2A} * (R_{sA} + jX_{sA}) = \vec{I}_{2B} * (R_{sB} + jX_{sB})$$

$$\text{Loi des noeuds : } \vec{I}_2 = \vec{I}_{2A} + \vec{I}_{2B}$$

$$\text{or } \vec{Z}_{sB} = 2 * \vec{Z}_{sA} \Rightarrow I_2 = 143.7A$$

$$\text{La puissance apparente } S = V_2 * I_2 = 34620VA$$

6-les pertes fer sont negligables donc le rendement est :

$$\eta = V_2 * I_2 * \cos(\varphi) / (V_2 * I_2 * \cos(\varphi) + R_{sA} * I_{2A}^2 + R_{sB} * I_{2B}^2) = 0.99$$

$$7\text{-Si le courant débité est } I_2 = I_{2n}/2 = 71.85A \Rightarrow I_{2A} = 47.9A \text{ et } I_{2B} = 23.95A$$

## 1.7 Exercice 4

Soit un transformateur monophasé 20 KVA ; 2400V/240V ;50Hz.Les parametres de transformateurs sont :

$$\text{-Résistance primaire } R_1 = 2.7\Omega$$

$$\text{-Reactance primaire } X_1 = 5\Omega$$

$$\text{-Résistance secondaire } R_2 = 0.027\Omega$$

$$\text{Reactance secondaire } X_2 = 0.05\Omega$$

$$\text{Résistance de circuit magnetique } R_m = 3800\Omega$$

$$\text{-Reactance de circuit magnetique } X_m = 27000\Omega$$

1-Calculer le facteur de puissance á vide ainsi que le courant absorbé  $I_0$

2-Sachant que la tension secondaire á vide  $V_{20} = 248V$

a)Calculer le rapport de transformation m

b)Calcluer la resistance ramenée au secondaire  $R_s$  ainsi que la reactance ramenée au secondaire  $X_s$

3-Une charge inductive est connectée au secondaire de facteur de puissance 0.8 .Au primaire on mesure une tension  $V_1 = 2400V ; I_1 = 8.33A$  et une puissance  $P_1 = 16930W$

a)Calculer la tension aux bornes de la charge  $V_2$

b)Déduire dans ce cas le rendement de transformateur

c)Calculer R et L

4-Un condensateur C est placé en parallèle avec pour augmenter le facteur de puissance à 1

a) Calculer les nouvelles valeurs de  $V_2$  et  $I_2$

b) déterminer le rendement dans ce cas

## 1.8 Corrigé

1-Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi_0) = \cos(\arctan(R_m/X_m)) = 0.57$

Le courant à vide  $I_0 = P_0/(V_{10} * \cos(\varphi_0)) = V_{10}/(R_m * \cos(\varphi_0)) = 1.1A$

2-La tension à vide est de 248V

a) Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.102$

b) La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = R_2 + m^2 * R_1 = 0.055\Omega$  et la réactance ramenée au secondaire est  $X_s = X_2 + m^2 * X_1 = 0.103\Omega$

3-La tension au primaire est  $V_1 = 2400V$  et le facteur de puissance est  $\cos(\varphi) = 0.8AR$

a) La tension au secondaire est  $V_2 = V_{20} - I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 239.18V$

b) Le rendement du transformateur est  $\eta = V_2 * I_2 * \cos(\varphi)/P_1 = 0.93$

c) La résistance est  $R = P_2/(I_2)^2 = 2.3\Omega$  et l'inductance est  $L = Q_2/(I_2^2 * 100\pi) = 5.47mH$

4-On insère un condensateur pour avoir  $\cos(\varphi) = 1$

a)  $V_2 = V_{20} - R_s * I_2 = R * I_2 \Rightarrow I_2 = V_{20}/(R_s + R) = 104A$  et  $V_2 = 242.28V$

b) le rendement est  $\eta = V_2 * I_2/(V_2 * I_2 + P_0 + R_s * I_2^2) = 0.948$

## 1.9 Exercice 5

Sur un transformateur monophasé, on a effectué les essais suivants :

-Essai à vide  $U_{10} = U_{1n} = 220V$  ;  $U_{20} = 44V$  ;  $P_0 = 80W$  ;  $I_0 = 1A$

-Essai en court-circuit  $U_{1cc} = 40V$  ;  $P_{cc} = 250W$  ;  $I_{2cc} = 100A$

1-Calculer le rapport de transformation m, déduire le nombre de spires  $N_2$  si  $N_1 = 520spires$

2-Déterminer le facteur de puissance à vide, la résistance  $R_m$  et la réactance  $X_m$

3-Déterminer la résistance ramenée au secondaire  $R_s$  et la réactance  $X_s$

4- pour quel courant du secondaire, le rendement du transformateur est maximal

5-le transformateur alimente une charge constituée par une résistance R en série avec une inductance L ayant un facteur de puissance 0.8

a) Calculer la tension aux bornes de la charge (on suppose que le rendement est maximal)

b) Déduire ce rendement maximal

c) Déterminer les valeurs de R et L

## 1.10 correction

1-Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.2$  et  $N_2 = m * N_1 = 104 \text{spires}$

2-Le facteur de puissance à vide est  $\cos(\varphi_0) = P_0/(U_{10} * I_0) = 0.36$

La résistance  $R_m = U_{10}^2/P_0 = 605\Omega$

La réactance  $X_m = U_{10}^2/Q_0 = 233\Omega$

3-la résistance ramenée au secondaire  $R_s = P_{cc}/I_{2cc}^2 = 0.025\Omega$  et la réactance

$X_s = \sqrt{(mU_{1cc}/I_{2cc})^2 - R_s^2} = 0.076\Omega$

4-Le rendement est maximal si et seulement si  $I_2 = \sqrt{P_0/R_s} = 56.56A$

5-

a) La tension aux bornes de la charge est  $V_2 = V_{20} - \Delta V = 40.3V$

b) le rendement maximal est  $\eta_{max} = 0.92$

c)La résistance  $R = V_2 \cos(\varphi)/I_2 = 0.57\Omega$  et l'inductance  $L = V_2 \sin(\varphi)/(I_2 \omega) = 1.36mH$

## 1.11 Exercice 6

Une série de mesures sur un transformateur monophasé a permis d'établir les caractéristiques suivantes :

-Tensions à vide :  $U_{1n} = 21kV$  ;  $U_{20} = 380V$

-Impédances : primaire :  $R_1 = 61\Omega$  ;  $l_1 * w = 141\Omega$

-Secondaire :  $R_2 = 0.02\Omega$  ;  $l_2 * w = 0.04\Omega$

D'autre part, la puissance nominale, indiquée sur la plaque signalétique est :  $S_n = 76KVA$ .

Sauf indications contraire, dans tout le problème le transformateur sera alimenté par un réseau de tension 21 KV-50 Hz.

1-Donner le schéma équivalent ramené au secondaire en précisant les valeurs :

- Du rapport de transformation m.

-De la résistance totale du secondaire  $R_s$

-De l'inductance de fuite totale au secondaire  $l_s$

2-Le secondaire du transformateur débite sur une charge absorbant un courant nominal, de facteur de puissance égal á 0,8. Calculer, en utilisant une relation algébrique simplifiée, la chute de tension  $\delta_{U_2}$ . En déduire la tension au secondaire du transformateur.

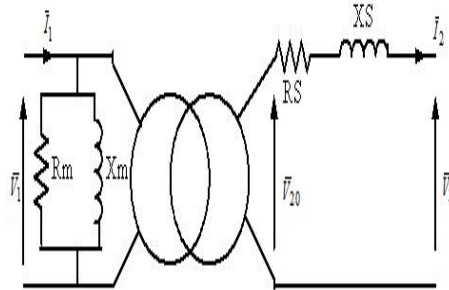
3- Le primaire étant toujours alimenté sous une tension de 21KV, les bornes de sortie du secondaire sont mises en courtcircuit franc, calculer le courant de courtcircuit  $I_s$ .

4-A quelle valeur  $U_{1cc}$  faut il réduire la tension primaire pour limiter en courtcircuit, le courant circulant au secondaire à la valeur  $I_{2cc} = I_{2n}$

5-Calculer la puissance absorbée  $P_{1cc}$  dans l'essai en courtcircuit sous tension réduite  $U_{1cc}$ .

## 1.12 Correction

1-Le schema equivalent ramené au secondaire est le suivant :



-Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.018$

-La résistance ramenée au secondaire  $R_s = R_2 + m^2 * R_1 = 0.04\Omega$

-L'inductance totale ramenée au secondaire  $l_s = (X_2 + m^2 X_1)/100\pi = 209\mu H$

2-La charge possède un facteur de puissance égal à 0.8AR et absorbe un courant nominal. La chute de tension  $\Delta U_2 = I_{2n} * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 14.27V \Rightarrow U_2 = 365.72V$

3-Le courant de courtcircuit est limité uniquement par l'impédance ramenée au secondaire  $I_{2cc} = m * U_1/Z_s = 4916A$

4-La tension de courtcircuit appliquée  $U_{1cc} = Z_s * I_{2cc}/m = 65.68V$

5-La puissance de courtcircuit  $P_{1cc} = R_s * I_2^2 = 1600W$

## 1.13 Exercice 7

Un transformateur monophasé possède les caractéristiques suivantes :

- Puissance apparente nominale 3500KVA

-Tension primaire nominale  $V_{1n} = 25KV$

-Tension secondaire nominale  $V_{2n} = 980V$

-Fréquence 50Hz

Pour caractériser ce transformateur on a réalisé les essais suivants :

-Essai à vide sous tension primaire nominale : on mesure alors le courant  $I_0 = 10A$  , la puissance absorbée à vide  $P_0 = 1400W$  et la tension secondaire à vide  $V_{20} = 1KV$

-Essai en courtcircuit sous une tension réduite telle que le courant primaire soit le courant nominal .On relève alors la tension en court circuit au primaire  $V_{1cc} = 1812V$  et le facteur de puissance  $\cos(\phi_{cc}) = 0.3$

- 1-A partir de l'essai à vide , calculer  $R_m$  et  $X_m$
- 2-Déterminer la valeur de rapport de transformation  $m$
- 3-Déduire de l'essai en courtcircuit les valeurs des paramètres  $R_s$  et  $X_s$
- 4-Le transformateur alimente une charge de facteur de puissance  $\cos(\phi) = 0.9AR$  sous une tension  $V_{2n}$ 
  - a) Calculer la chute de tension
  - b) Déduire le courant débité par le secondaire
  - c) Calculer le rendement du transformateur
- 5-Le transformateur alimente la meme charge précédente
  - a) Pour quel courant le rendement est maximal
  - b) Calculer la tension aux bornes de la charge
  - c) Déduire le rendement maximal

## 1.14 Correction

1-La résistance de circuit magnétique est  $R_m = V_{10}^2/P_0 = 446428\Omega$

La réactance du circuit magnétique  $X_m = V_{10}^2/Q_0 = 25K\Omega$

2-Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.04$

3-La résistance ramenée au secondaire est :

$$R_s = Z_s * \cos(\varphi_{cc}) = m^2 * V_{1cc} * \cos(\varphi_{cc})/I_{1cc} = 0.62\Omega$$

La réactance ramenée au secondaire est :

$$X_s = Z_s * \sin(\varphi_{cc}) = m^2 * V_{1cc} * \sin(\varphi_{cc})/I_{1cc} = 1.97\Omega$$

4-Le secondaire alimente une charge de facteur de puissance 0.9AR sous une tension nominale

a) La chute de tension est  $\Delta V = V_{20} - V_{2n} = 20V$

b) Le courant débité par le secondaire est  $I_2 = \Delta V / (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 14.11A$

5-Le transformateur alimente la meme charge

a) le rendement est maximal  $\Rightarrow I_2 = \sqrt{P_0/R_s} = 47.51A$

b) La tension aux bornes de la charge est  $V_2 = V_{20} - I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 932.7V$

c) Le rendement est  $\eta = V_2 * I_2 * \cos(\varphi) / (V_2 * I_2 * \cos(\varphi) + 2 * P_0) = 0.934$

## 1.15 Exercice 8

Soit un transformateur monophasé ayant 10 000 spires au primaire et 120 spires au

secondaire. Des mesures effectuées en charge ont données les résultats suivants :

-Tension primaire : 20 KV

-Tension au secondaire : 230 V

-Courant au secondaire : 100 A

-Facteur de puissance : 0,93

-Puissance absorbée au primaire : 22 kW

1-Calculer le rapport de transformation  $m$

2-Calculer, lorsque le transformateur est à vide, la tension au secondaire du transformateur  $V_{20}$  lorsqu'il est alimenté sous la tension  $V_1 = 20kV$

3-Calculer la puissance active au secondaire  $P_2$  du transformateur en charge

4- Calculer le rendement du transformateur en charge

### Correction

1-Le rapport de transformation  $m = N_2/N_1 = 0.012$

2-La tension à vide au secondaire est  $V_{20} = m * V_{10} = 240V$

3-La puissance active fournie par le secondaire est  $P_2 = V_2 * I_2 * \cos(\varphi) = 21390W$

4-Le rendement du transformateur est  $\eta = P_2/P_1 = 0.972$

## 1.16 Exercice 9

L'étude d'un transformateur monophasé 1500 V/220 V, 50 Hz de puissance apparente 44 kVA a donné les résultats suivants :

-Essai en continu au primaire :  $U_1 = 2,5V ; I_1 = 10A$ .

-Essai à vide :  $U_{10} = 1500V ; I_{10} = 2A ; U_{20} = 225V ; P_{10} = 300W$ .

-Essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 22,5V, I_{1cc} = 22,5A, P_{1cc} = 225W$ .

1- Déterminer le rapport de transformation à vide.

2-Calculer la composante active du courant lors de l'essai à vide.

3-Vérifier que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de l'essai à vide.

4- Montrer que les pertes dans le fer sont négligeables dans l'essai en courtcircuit en admettant qu'elles sont proportionnelles au carré de la tension primaire.

5-Calculer les éléments  $R_s$  (résistance totale) et  $X_s$  (réactance totale) des enroulements ramenés au secondaire.

6-Le transformateur alimenté au primaire sous une tension  $U_1 = 1500V$  débite un courant constant d'intensité  $I_2 = 200A$  quelle que soit la charge.

a) Déterminer la valeur de  $\phi$ , déphasage entre courant et tension secondaires, pour que la

chute de tension  $\delta U_2$  soit nulle.

b) Calculer la chute de tension relative pour  $\cos\phi = 0,8$  (inductif).

7- Déterminer le rendement du transformateur quand il débite 200 A avec un facteur de puissance  $\cos\phi = 0,8$  (charge inductive) le primaire étant alimenté sous 1 500 V

## 1.17 Correction

1-Le rapport de transformation  $m = 0.15$

2-La composante active est  $I_0 * \cos(\varphi_0) = P_0/V_{10} = 0.2A$

3-Les pertes joules à vide sont  $P_{j0} = R_{81} * I_0^2 = 1W \ll (P_0 = 300W)$

4-Les pertes fer en courtcircuit sont  $P_{fcc} = 300 * (22.5/1500)^2 = 0.06W$

5-La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.01\Omega$

La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = \sqrt{(m * V_{1cc}/I_{2cc})^2 - R_s^2} = 0.02\Omega$

6-Le courant débité par le secondaire est  $I_2 = 200A$

a) La chute de tension est nulle  $\Rightarrow R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi) = 0$

$\Rightarrow \varphi = \arctan(-R_s/X_s) = -26$  degrés

b)La chute de tension est  $\Delta V = I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 4V$

7-Le rendement est  $\eta = V_2 * I_2 * \cos(\varphi)/(V_2 * I_2 * \cos(\varphi) + P_0 + R_s * I_2^2) = 0.98$

## 1.18 Exercice 10

On étudie un transformateur dont les caractéristiques sont les suivantes :Tension primaire nominale  $U_1 = 220V$ , fréquence,  $f=50$  Hz, nombre de spires au primaire  $N_1 = 500$ spires.

- Essai à vide :  $U_1 = 220V ; U_{20} = 110V$  .Intensité au primaire á vide  $I_{10} = 0,3A$  ; puissance consommée au primaire à vide  $P_{10} = 36W$

- Essai en court circuit : tension primaire  $U_{1cc}=10V$  ; intensité secondaire  $I_{2cc} = 10A$  ; puissance consommée au primaire  $P_{1cc} = 30W$

-Charge nominale pour  $U_1 = 220V$  : intensité au secondaire  $I_2 = 20A$  sur charge inductive de facteur de puissance  $\cos(\phi_2) = 0,8$  :

1-Calculer :

a) Le facteur de puissance de l'essai à vide

b) Le nombre de spires au secondaire

2- Déterminer pour la charge nominale

a) La tension secondaire  $U_2$

b)Calculer les puissances actives au secondaire et au primaire .En déduire le rendement

## 1.19 Correction

1-Fonctionnement à vide

a) Le facteur de puissance à vide  $\cos(\varphi) = P_0/V_{10} * I_0 = 0.545$

b) Le nombre de spires au secondaire  $N_2 = m * N_1 = m * V_{20} * /V_{10} = 250 \text{spires}$

2-Fonctionnement en charge

a) La tension en charge est  $V_2 = V_{20} - I_2(R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi))$

avec  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.3\Omega$  et  $X_s = \sqrt{((m * V_{1cc}/I_{2cc}^2) - R_s^2)} = 0.4\Omega$

A.N  $V_2 = 110 - 20(0.3 * 0.8 + 0.4 * 0.6) = 100.4V$

b) La puissance active fournie par le secondaire à la charge  $P_2 = V_2 * I_2 * \cos(\varphi) = 1606.4W$

La puissance active absorbée par le primaire est  $P_1 = P_2 + P_0 + R_s * I_2^2 = 1762.4W$

Le rendement du transformateur est  $\eta = P_2/P_1 = 0.91$

## 1.20 Exercice 11

Un transformateur monophasé possède les caractéristiques suivantes :

$U_{1n} = 20KV ; U_{2n} = 400V ; S = 100KVA ; f=50 \text{ hz}$

-Essai à vide  $U_{10} = 20KV ; U_{20} = 410V ; P_0 = 210W$

-Essai en charge pour un récepteur de facteur de puissance 0.8 AR on a mesuré :  $\eta = 0.97 ;$

$\delta U = 3.75\%$  de  $U_{2n} ; p_{joule} = 2150W$  et  $I_2 = I_{2n}$

-Essai en courtcircuit  $I_{2cc} = I_{2n} ; U_{1cc} = 4\%$  de  $U_{1n}$

1-Calculer les intensités nominales des courants primaires et secondaire

2-Calculer la tension efficace secondaire  $U_2$

3-Déterminer la résistance  $R_s$  et la réactance  $X_s$

4-Sachant que le récepteur est constitué par une résistance R en série avec une inductance

L , déterminer R et L

## 1.21 Correction

1-Les courants nominaux sont :

-au primaire  $I_{1n} = S_n/V_{1n} = 5A$

-Au secondaire  $I_{2n} = S_n/V_{2n} = 250A$

2-La tension aux bornes de la charge  $V_2 = V_{20} - \Delta V = 410 - 0.0375 * 400 = 395V$

3-La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = P_j/I_{2n}^2 = 0.034\Omega$

La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = \sqrt{((m * V_{1cc}/I_{2cc}^2) - R_s^2)} = 0.056\Omega$



4-La resistance  $R = V_2 * \cos(\varphi)/I_2 = 1.264$

L'inductance  $L = \sqrt{(V_2/I_2)^2 - R^2}/100\pi = 3mH$

## 1.22 Exercice 12

Un transformateur monophasé a une tension secondaire à vide  $U_{20} = 380V$  ;  $f=50Hz$  .Il alimente une charge constituée par une résistance R en série avec un condensateur C .

On donne :

-Chute de tension pour un récepteur purement résistif :  $I_2 = 10A$  ;  $\delta U_1 = 1.26V$

-Chute de tension pour un récepteur purement inductif :  $I_2 = 10A$  ;  $\delta U_2 = 3.18V$

1-Sachant que la tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 380V$  ; déterminer la constante du temps  $R * C$

2-Les pertes fer sont égales à 142W ; pour quel courant le rendement est maximal

3-Déterminer R et C dans ces conditions

4-En déduire le rendement maximal de transformateur

## 1.23 Correction

1-On constate que la tension en charge est égale à la tension à vide  $\Rightarrow \Delta V = 0$

$\Rightarrow \varphi = \arctan(-R_s/X_s) = \arctan(-RC\omega) \Rightarrow RC = R_s/(X_s * \omega)$

Calculons  $R_s$  et  $X_s$

$R_s = \Delta U_1/I_2 = 0.126\Omega$  et  $X_s = \Delta U_2/I_2 = 0.318\Omega$

A.N :  $R.C = 1.26ms$

2-Le rendement est maximal  $\Rightarrow I_2 = \sqrt{P_0/R_s} = 33.57A$

3-L'impédance connectée au secondaire est  $\overline{Z_{ch}} = R + 1/jC\omega = \overline{U_2}/\overline{I_2}$

$Z_{ch} = U_2/I_2 = \sqrt{(R^2 + (1/C\omega)^2)} = 11.32\Omega \Rightarrow 128.14 = R^2 + (1/C\omega)^2$

or  $C = 1.26 * 10^{-3}/R \Rightarrow R = 6\Omega$  et  $C = 209\mu F$

4-Le rendement maximal est  $\eta_{max} = U_2 * I_2 * \cos(\varphi)/(U_2 * I_2 * \cos(\varphi) + 2 * P_0) = 0.96$

## 1.24 Exercice 13

Un transformateur monophasé : 110/220V-50Hz a donné aux essais :

-À vide  $U_{10} = 110V$  ;  $I_0 = 3A$  ;  $U_{20} = 220V$  ;  $P_0 = 67W$

-en courtcircuit  $U_{1cc} = 7V$  ;  $I_{1cc} = 20A$  ;  $P_{1cc} = 105W$

1-Calculer :

a) Le rapport de transformation  $m$

b) La résistance  $R_m$  et la réactance  $X_m$

2-En utilisant l'hypothèse de Kapp, calculer  $R_s$  et  $X_s$

3-Le primaire est soumis à 110V, déterminer la tension secondaire  $U_2$  pour les cas suivants :

a)  $I_2 = 10A$  et  $\cos\phi = 1$

b)  $I_2 = 5A$  et  $\cos\phi = 0.8AR$

4-Calculer le rendement pour le fonctionnement défini en 3-b)

5-Le transformateur débite sur une charge inductive dont  $\cos(\varphi) = 0.8$

a) Quelle est l'intensité qui permet d'obtenir le rendement maximal

b) Déterminer ce rendement maximal

## 1.25 Correction

1-

a) Le rapport de transformation  $m = U_{20}/U_{10} = 2$

b) La résistance du circuit magnétique  $R_m = U_{10}^2/P_0 = 180.6\Omega$

La réactance  $X_m = U_{10}^2/Q_0 = 33.44\Omega$

2-L'hypothese de Kapp  $\Rightarrow I_{2cc} = I_{1cc}/m = 10A$

L a résistance equivalente ramenée au secondaire est  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 1.05\Omega$

L'impédance equivalente ramenée au secondaire est  $Z_s = m * U_{1cc}/I_{2cc} = 1.4\Omega$

La réactance equivalente ramenée au secondaire est  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0.92\Omega$

3-Le primaire est soumise à une tension de 110V

a) $U_2 = U_{20} - \Delta U = U_{20} - I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 209.5V$

b) $U_2 = 220 - 5 * (1.05 * 0.8 + 0.92 * 0.6) = 213V$

4-Le rendement est  $\eta = 213 * 5 * 0.8 / (213 * 5 * 0.8 + 67 + 1.05 * 5^2) = 0.9$

5-Le facteur de puissance de la charge est 0.8AR

a) Le rendement est maximal si  $I_2 = \sqrt{P_0/R_s} = 8A$

b)Calculons tout d'abord la tension  $U_2 = 220 - 8 * (1.05 * 0.8 + 0.92 * 0.6) = 208.8V$

Le rendement maximal est  $\eta_{max} = 208.8 * 8 * 0.8 / (208 * 8 * 0.8 + 2 * 67) = 0.908$

## 1.26 Exercice 14

La plaque signalétique d'un transformateur monophasé porte les indications suivantes :

220/110V-50hz-550VA

L'induction magnétique maximale  $B_{max} = 1.1T$  ; le nombre de spires  $N_1 = 150spires$  ; la résistance de primaire est  $R_1 = 4\Omega$

1-Calculer la section du circuit magnétique

2-Calculer les intensités  $I_{1n}$  et  $I_{2n}$

3-Un essai à vide sous tension nominale au primaire a donné :  $P_0 = 50W$  ;  $Q_0 = 400VAR$

a) Calculer  $R_m$  et  $X_m$

b) Déterminer le facteur de puissance à vide

c) Déduire le courant  $I_0$

4-Un essai en charge sous tension primaire nominale a donné :

-Pour un récepteur purement inductif  $I_2 = I_{2n}$  et  $U_2 = 105V$

-Pour un récepteur purement capacitif  $I_2 = I_{2n}$  et  $U_2 = 115V$

a)Déterminer la tension à vide au secondaire  $U_{20}$

b)Déterminer le rapport de transformation  $m$  et le nombre de spires au secondaire  $N_2$

c) Calculer la réactance  $X_s$

d) Sachant que  $R_2 = 2\Omega$  , calculer  $R_s$

e)Calculer la puissance de court circuit  $P_{cc}$  et la tension  $U_{1cc}$

f) Que devient le courant de court circuit si par accident la tension de courtcircuit  $U_{1cc} = U_{1n}$

5-Le transformateur fonctionne en charge ; il alimente un récepteur qui est constitué par une résistance  $R$  en série avec une inductance  $L$  .On donne  $\cos(\phi) = 0.8$

a) Le secondaire débite son courant nominal, calculer la tension  $U_2$

b)Calculer  $R$  et  $L$

c) Déterminer le rendement du transformateur

6-On veut que le rendement du transformateur soit maximal , pour cela on remplace la résistance  $R$  par une résistance variable appelée  $R_h$  . On suppose que  $U_2 = 110V$

a) Déterminer le courant optimal

b) Calculer la valeur de  $R_h$  ( l'inductance  $L$  est la meme que celle du question 5)

c)Déterminer le rendement maximal

## 1.27 Correction

1-On applique la formule de boucherot  $S = U_{10}/(4.44 * N_1 * B_{max} * f) = 60cm^2$

2-Les courants nominaux sont :  $I_{1n} = S_n/U_{1n} = 5A$  et  $I_{2n} = S_n/U_{2n} = 10A$

3-Essai à vide

a) La résistance  $R_m = U_{10}^2/P_0 = 968\Omega$  et la réactance  $X_m = U_{10}^2/Q_0 = 121\Omega$

b)  $\cos(\varphi_0) = \cos(\arctan(Q_0/P_0)) = 0.121$

c) Le courant á vide est  $I_0 = P_0/(U_{10} * \cos(\varphi_0)) = 2.06A$

2-Essai en charge a)  $105V = U_{20} - X_s * I_{2n}$  et  $115V = U_{20} + X_s * I_{2n} \Rightarrow U_{20} = 110V$

b) Le rapport de transformation  $m = U_{20}/U_{10} = 0.5$  et  $N_2 = m * N_1 = 75spires$

c) on a  $X_s = (110 - 105)/10 = 0.5\Omega$

d) La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = R_2 + m^2 * R_1 = 3\Omega$

e) La puissance en courtcircuit est  $P_{1cc} = R_s * I_{2n}^2 = 300W$

La tension de courtcircuit  $U_{1cc} = I_{2cc} * \sqrt{R_s^2 + X_s^2}/m = 60.8V$

5-Le secondaire debite sont courant nominal

a) La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 110 - 10(3 * 0.8 + 0.5 * 0.6) = 83V$

b) L'impedance  $Z = U_2/I_{2n} = 8.3\Omega$ ;  $R = Z * \cos(\varphi) = 6.64\Omega$

L'inductance  $L = Z * \sin(\varphi)/w = 15.8mH$

c) Le rendement du transformateur est  $\eta = 83 * 10 * 0.8 / (83 * 10 * 0.8 + 300 + 50) = 0.65$

6-Le rendement est maximal et  $U_2 = 110V$

a) Le courant qui correspond au rendement maximal est égal á  $I_2 = \sqrt{P_0/R_s} = 4A$

b) La résistance  $R_h = \sqrt{(U_2/I_2)^2 - (Lw)^2} = 27\Omega$

c) Le rendement maximal est  $\eta_{max} = 110 * 4 * 0.98 / (110 * 4 * 0.98 + 100) = 0.81$

## 1.28 Exercice 15

On dispose d'un transformateur monophasé de distribution de puissance apparente 40KVA et de tension primaire/ secondaire 10KV/380V pour une fréquence de 50hz

-Dans un essai á vide sous la tension nominala , on a relevé :  $U_{20} = 400V$  ;  $I_{10} = 0.224A$  et  $P_{10} = 1000W$

-Dans un essai en courtcircuit , sous tension réduite a donné :  $U_{1cc} = 520V$  ;  $I_{2cc} = 100A$  et  $P_{1cc} = 2000W$

1-Sachant que la section nette est  $S = 100cm^2$  et que l'induction maximale  $B_{max} = 1T$

a) Déduire le nombre de spires au primaire et au secondaire

b) Déterminer le facteur de puissance á vide

c) Déterminer la puissance magnétisante  $Q_0$

2-Donner le schéma equivalent ramené au secondaire et calculer les valeurs numériques de paramètres

3-Calculer pour le courant nominal  $I_{2n}$ , la tension aux bornes d'un récepteur de facteur de puissance successivement égal á 0.8AR et 0.8AV

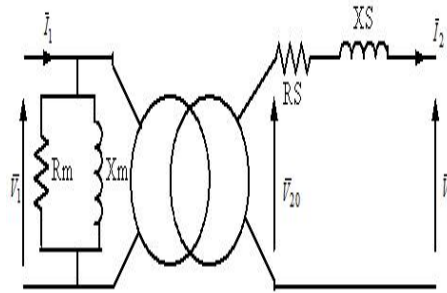
- 4-Pour une charge( R,L) qui absorbe un courant secondaire nominal , calculer la chute de tension maximale
- 5-Déterminer dans ce cas le rendement
- 6-Pour quel courant secondaire le rendement est maximal, le calculer pour une charge purement résistive

## 1.29 Correction

1-Fonctionnement à vide

- a) Le nombre de spires aux primaire est  $N_1 = U_1 / (4.44 * B_{max} * S * f) = 4505 \text{spires}$
- b)Le facteur de puissance á vide est  $\cos(\varphi_0) = P_0 / (U_{10} * I_0) = 0.446$
- c)La puissance magnétisante  $Q_0 = U_{10} * I_0 * \sin(\varphi_0) = 2004 \text{VAR}$

2-Le schéma equivalent ramené au secondaire est le suivant :



- Le rapport de transformation  $m = V_{20} / V_{10} = 0.04$
- La résistance ramenée au secondaire  $R_s = P_{cc} / I_{2cc}^2 = 0.2 \Omega$
- La réactance totale ramenée au secondaire  $X_s = \sqrt{(mU_{1cc} / I_{2cc})^2 - R_s^2} = 0.05 \Omega$
- La résistance  $R_m = U_{10}^2 / P_0 = 100 \text{K} \Omega$
- La réactance  $X_m = U_{10}^2 / Q_0 = 49900 \Omega$
- 3-La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = U_{20} - I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi))$   
 si  $\cos(\varphi) = 0.8AR$  ,  $U_2 = 380 \text{V}$   
 si  $\cos(\varphi) = 0.8AV$  ,  $U_2 = 386 \text{V}$
- 4-La chute de tension est maximale  $\Rightarrow \frac{d\Delta U}{d\varphi} = 0 \Rightarrow \varphi = \arctan(X_s / R_s)$   
 donc  $\Delta U = I_{2n} * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 21.64 \text{V}$
- 5- Le rendement est  $\eta = 0.923$
- 6-Le rendement est maximal si le courant  $I_2 = \sqrt{P_0 / R_s} = 70.7 \text{A}$  donc  $\eta_{max} = 0.931$

### 1.30 Exercice 16

Les essais sur un transformateur monophasé 50 Hz ont donné les résultats suivants :

- Essai en continu au primaire :  $U_{1c} = 4,2V ; I_{1c} = 13A$ .
- Essai à vide :  $U_{10} = U_{1n} = 230V ; f = 50Hz ; U_{2o} = 115V ; I_{10} = 1.1A ; P_{10} = 120W$ .
- Essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 12,4V ; I_{2cc} = 24A ; P_{1cc} = 60W$ .

1- Calculer  $R_1$  la résistance de l'enroulement primaire.

2-Exploitation des résultats de l'essai à vide :

a) Calculer le rapport de transformation  $m$ .

b) Montrer que les pertes par effet joule sont négligeables par rapport à  $P_{10}$ . En déduire une relation approchée entre  $P_{10}$  et  $P_{fer}$ .

3-Exploitation des résultats de l'essai en court-circuit :

a) Montrer que les pertes fer sont négligeables par rapport à  $P_{1cc}$  (en admettant qu'elles sont proportionnelles au carré de la valeur efficace de la tension primaire).

b) Calculer l'impédance interne  $Z_s$  du transformateur ramenée au secondaire.

c) Calculer la résistance équivalente  $R_s$  du transformateur ramenée au secondaire.

d) Calculer la réactance équivalente de fuites  $X_s$  du transformateur ramenée au secondaire.

Pour la suite du problème, on prendra,  $R_s = 0.104\Omega$  et  $X_s = 0.236\Omega$

4-Fonctionnement avec une charge globalement inductive de facteur de puissance

$\cos(\phi_2) = 0,80$  l'intensité efficace du courant secondaire est  $I_2 = 24A$ . Déterminer pour ce fonctionnement :

a) L'intensité efficace du courant primaire, en admettant que le transformateur est parfait pour les courants

b) La valeur approchée de la chute de tension au secondaire

c) La valeur efficace de la tension secondaire, sachant que  $U_1$  garde sa valeur nominale

d) Les pertes dans le fer et les pertes par effet Joule

e) Le rendement du transformateur.

### 1.31 Correction

1-Essai à courant continu

La résistance de l'enroulement primaire est  $R_1 = U_{1c}/I_{1c} = 0.32\Omega$

2-Essai à vide

a) Le rapport de transformation est  $m = V_{20}/V_{10} = 0.5$

b) Les pertes joule à vide sont  $P_{j0} = R_1 * I_{10}^2 = 0.38W$  donc les pertes fer sont

égales à  $P_0$

3-Essai en courtcircuit

a) Les pertes fer en courtcircuit sont  $P_{fcc} = (U_{1cc}/U_{10})^2 * P_0 = 0.34W \ll (P_{1cc} = 60W)$

b) L'impédance  $Z_s = mV_{1cc}/I_{2cc} = 0.258\Omega$

c) La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.104\Omega$  et la réactance est  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0.236\Omega$

4-Essai en charge

a) Le transformateur est parfait en courants  $\Rightarrow I_{1n} = m * I_{2n} = 12A$

b) La chute de tension au secondaire est  $\Delta U = I_2(R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 5.4V$

c) La tension  $U_2 = U_{20} - \Delta U = 109.6V$

d) Les pertes fer sont  $P_{fer} = 120W$  et les pertes joule sont  $P_{joule} = R_s * I_2^2 = 15W$

e) Le rendement du transformateur est  $\eta = 0.94$

## 1.32 Exercice 17

L'étude d'un transformateur monophasé a donné les résultats suivants :

-Mesure en continu des résistances des enroulements :  $R_1 = 0,2\Omega$  et  $R_2 = 0,007\Omega$ .

Essai à vide :  $U_1 = U_{1n} = 2300V$  ;  $U_{20} = 240V$  ;  $I_{10} = 1,0A$  et  $P_{10} = 275W$ .

Essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 40V$  ;  $I_{2cc} = 200A$

1- Calculer le rapport de transformation  $m$

2- Montrer que dans l'essai à vide les pertes Joule sont négligeables devant  $P_{10}$

3- Déterminer la valeur de la résistance ramenée au secondaire  $R_s$ .

4- Calculer la valeur de  $P_{1cc}$ .

5- Déterminer  $X_s$

6- Déterminer la tension aux bornes du secondaire lorsqu'il débite un courant d'intensité  $I_2 = 180A$  dans une charge capacitive de facteur de puissance 0,9

7- Quel est alors le rendement

## 1.33 Correction

1-Le rapport de transformation est  $m = V_{20}/V_{10} = 0.104$

2-Les pertes joule à vide sont  $P_{j0} = R_1 * I_{10}^2 = 0.2W \ll P_{10}$

3-La résistance ramenée est  $R_s = R_2 + R_1 * m^2 = 0.009\Omega$

4-La puissance en courtcircuit est  $P_{1cc} = R_s * I_{2cc}^2 = 366W$

5-La réactance  $X_s = \sqrt{mV_{1cc}/I_{2cc}^2 - R_s^2} = 0.018\Omega$

6-La tension aux bornes de la charge est  $V_2 = V_{20} - \Delta V = 237V$

7-Le rendement est  $\eta = 0.98$

### 1.34 Exercice 18

Pour étudier un transformateur monophasé 220/24V-50hz-200VA, on réalise les essais suivants :

-Essai à courant continu :Le primaire est alimenté sous la tension continue  $U_{con} = 2.4V$

alors que le secondaire est en circuit ouvert .On mesure l'intensité  $I_{con} = 0.95A$

-Essai à vide : sous la tension primaire  $U_1 = 220V$  à  $f=50hz$ ,on relève :

-Puissance fournie au primaire :  $P_{10} = 4W$

-Intensité du courant primaire :  $I_{10} = 0.08A$

-Tension secondaire :  $U_{20} = 24.5V$

-Essai en courtcircuit :Il est réalisé sous tension primaire réduite.La valeur efficace du courant secondaire est  $I_{2cc} = I_{2n}$ .On relève :

Puissance fournie au primaire  $P_{1cc} = 5.1W$

Intensité du courant primaire  $I_{1cc} = 0.91A$  et tension primaire  $U_{1cc} = 8.6V$

1-Calculer la résistance  $R_1$  de l'enroulement primaire

2-Déduire de l'essai à vide :

-Le rapport de transformation  $m$

-Les pertes joule á vide et les pertes fer

3-Déduire de l'essai en courtcircuit la résistance totale ramenée au secondaire  $R_s$  et la réactance  $X_s$

4-Le transformateur est alimenté au primaire sous la tension nominale débite au secondaire un courant d'intensité  $I_2 = 8A$  dans une charge de facteur de puissance 0.8AR.

Calculer la valeur efficace de la tension secondaire  $U_2$  en charge ainsi que le rendement du transformateur

### 1.35 Correction

1-La résistance de l'enroulement primaire est  $R_1 = U_{con}/I_{con} = 2.5\Omega$

2-Essai à vide

-Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.11$



-Les pertes joule à vide  $P_j = R_1 * I_0^2 = 0.0007W$  et les pertes fer  $P_{fer} = \sim 4W$

3-Essai en courtcircuit

-La résistance  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.073\Omega$

-L'impédance  $Z_s = m * V_{1cc}/I_{2cc} = 0.113\Omega$

-La réactance  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0.086\Omega$

4-Essai en charge

-La tension aux bornes de la charge  $V_2 = V_{20} - I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 23.62V$

-Le rendement est  $\eta = 23.62 * 8 * 0.8 / (23.62 * 8 * 0.8 + 0.073 * 64 + 4) = 0.94$

## 1.36 Exercice 19

On considère un transformateur monophasé de 1500VA - fréquence 50Hz sur lequel on a effectué les essais suivants :

- Essai à vide à tension primaire nominale :

$$U_{10} = U_{1n} = 230V ; U_{20} = 119V ; I_{10} = 0,29A ; P_{10} = 35,5W$$

-Essai en court-circuit au secondaire à  $\hat{A}$  courant secondaire nominal :

$$I_{2cc} = I_{2n} = 12,5A ; P_{cc} = 89,5W ; U_{1cc} = 14V$$

1-Calculer le rapport de transformation et les éléments  $R_m$  et  $X_m$  de la branche magnétisante à partir de l'essai à vide.

2- Calculer la résistance totale  $R_s$  et la réactance  $X_s$  à partir de l'essai en court-circuit.

3) Le transformateur est alimenté par la tension nominale primaire  $U_{1n}$  et débite au secondaire le courant secondaire  $I_{2n}$  avec un facteur de puissance secondaire 0,8 AR .

Déterminer la chute de tension  $\delta_{U_2}$

4) Calculer alors la tension secondaire  $U_2$ .

5) Calculer le rendement du transformateur pour ce point de fonctionnement.

6) Pour quel type de charge la chute de tension est-elle nulle . Exprimer le déphasage  $\phi$  correspondant, puis le calculer numériquement

7) Le transformateur étant alimenté par la tension primaire nominale, on souhaite alimenter une charge résistive  $R = 64,76\Omega$  avec une chute de tension nulle, Pour cela, on branche un condensateur en parallèle avec R. Calculer :

- La puissance active absorbée par la résistance R

-La capacité C du condensateur.

8) Vérifier numériquement que le courant secondaire absorbé par l'ensemble RC en parallèle est égal au courant secondaire nominal  $I_{2n}$ .

9) Calculer alors le rendement du transformateur pour ce point de fonctionnement

## 1.37 Correction

1-Essai à vide

Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.517$ ; la résistance  $R_m = V_{10}^2/P_0 = 1490\Omega$  et la réactance  $X_m = V_{10}^2/Q_0 = 936\Omega$

2-Essai en court-circuit :

La résistance  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.5728\Omega$  et la réactance  $X_s = \sqrt{(mU_{1cc}/I_{2cc})^2 - R_s^2} = 0.08\Omega$

3-La chute de tension  $\Delta V = I_2(R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 6.45V$

4-La tension aux bornes de la charge est  $V_2 = V_{20} - \Delta V = 112.55V$

5-Le rendement est  $\eta = 112.55 * 12.5 * 0.8 / (112.55 * 12.5 * 0.8 + 125) = 0.9$

6- La chute de tension est nulle pour une charge à caractere capacitif.

$\varphi = \arctan(-R_s/X_s) = -81$  degrés

7-La chute de tension est nulle  $\Rightarrow V_2 = V_{20} = 119V$ . La puissance active absorbée par la charge est  $P_{utile} = V_2^2/R = 218W$

La charge connectée au secondaire est constituée par une résistance R en parallele avec un condensateur C. L'impédance equivalente est  $\bar{Z} = R/(1 + jRC\omega) \Rightarrow \varphi = \arctan(-RC\omega) = \arctan(-R_s/X_s) \Rightarrow C = R_s/(R * X_s * \omega) = 351\mu F$

8-Le courant absorbée par la charge est  $I_2 = V_2/Z = 119 * \sqrt{1 + (RC\omega)^2}/R = 13.28A$

9-Le rendement est  $\eta = 0.66$

## 1.38 Exercice 20

La puissance apparente d'un transformateur monophasé 5 kV / 230 V ; 50 Hz est  $S = 21$  kVA. La section du circuit magnétique est  $S = 60cm^2$  et la valeur maximale du champ magnétique est  $B_{max} = 1.1T$ .

L'essai à vide a donné les résultats suivants :

$U_1 = 5000V$  ;  $U_{20} = 230V$  ;  $I_{10} = 0,50A$  et  $P_{10} = 250W$ .

L'essai en court-circuit avec  $I_{2cc}=I_{2n}$  a donné les résultats suivants :

$P_{1cc} = 300W$  et  $U_{1cc} = 200V$ .

1-Calculer le nombre de spires  $N_1$  au primaire.

2-Calculer le rapport de transformation m et le nombre  $N_2$  de spires au secondaire.

3-Quel est le facteur de puissance à vide de ce transformateur ?

- 4-Quelle est l'intensité efficace du courant secondaire  $I_{2n}$
- 5-Déterminer les éléments  $R_s$  ;  $Z_s$  et  $X_s$  de ce transformateur
- 6-Calculer le rendement de ce transformateur lorsqu'il débite un courant d'intensité nominale dans une charge inductive de facteur de puissance 0,8

## 1.39 Correction

- 1-Le nombre de spires au primaire est  $N_1 = U_{10}/(4.44 * B_{max} * S * f) = 3413spires$
- 2-Le rapport de transformation  $m = U_{20}/U_{10} = 0.046$  et le nombre de spires au secondaire est  $N_2 = 160spires$
- 3-Le facteur de puissance à vide est  $\cos(\varphi_0) = P_0/(U_{10} * I_0) = 0.1$
- 4-Le courant nominal au secondaire est  $I_{2n} = S_n/U_{2n} = 91.3A$
- 5-La résistance  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.035\Omega$  , l'impédance  $Z_s = mU_{1cc}/I_{2cc} = 0.1\Omega$  et la réactance  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0.09\Omega$
- 6-La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = U_{20} - I_2 * (R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 222.5V$   
Le rendement est  $\eta = 0.967$

## 1.40 Exercice 21

Un transformateur monophasé de puissance apparente nominale  $S_n = 27,6$  kVA, de tension primaire nominale  $U_{1n} = 8,6$  kV , fonctionne à la fréquence  $f = 50$  Hz. On mesure dans un essai à vide, sous tension primaire nominale, la tension secondaire :  $U_{20} = 132V$  et la puissance absorbée  $P_{10} = 133W$ .

On mesure dans un essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 289V$  ;  $P_{1cc} = 485W$  et  $I_{2cc} = 210A$

- 1-Le transformateur est alimenté sous  $U_{1n}$  , la section du noyau est  $S = 380cm^2$ , le champ magnétique B maximale dans le noyau vaut 1,2 T, quel est le nombre de spires  $N_1$  de l'enroulement primaire
- 2-Calculer le rapport de transformation m.
- 3-Essai en court-circuit
  - a) Montrer que les pertes fer sont négligeables, dans cet essai, en supposant qu'elles sont proportionnelles au carré de la tension d'alimentation.
  - b) D'après les valeurs mesurées, calculer  $R_s$  et  $X_s$ .
- 4-On suppose dans cette question que  $R_s = 11m\Omega$  et  $X_s = 18m\Omega$ . Le transformateur débite  $I_2 = 210A$  sur une charge inductive de facteur de puissance 0,75. Déterminer la tension

secondaire  $U_2$ .

5-Déduire des essais à vide et en court-circuit, les pertes fer et les pertes joules, pour la charge du 4-). Calculer ensuite le rendement pour la même charge.

## 1.41 Correction

1-Le nombre de spires au primaire est  $N_1 = U_{10}/(4.44 * B_{max} * S * f) = 858 \text{spires}$

2-Le rapport de transformation est  $m = V_{20}/V_{10} = 0.0153$

3-Essai en courtcircuit a)  $P_{fcc} = 133 * (289/8600)^2 = 0.15W \ll P_{1cc}$

b) La résistance  $R_s = P_{1cc}/I_{2cc}^2 = 0.01\Omega$

La réactance  $X_s = \sqrt{(mU_{1cc}/I_{2cc})^2 - R_s^2} = 0.018\Omega$

4-Essai en charge

La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = U_{20} - I_2(R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 127.76V$

5-Les pertes joule  $P_j = P_{cc} = 485W$  et Les pertes fer sont égales à  $133W$

Le rendement est  $\eta = U_2 * I_2 * \cos(\varphi)/(U_2 * I_2 * \cos(\varphi) + P_0 + P_j) = 0.97$

## 1.42 Exercice 22

Le primaire du transformateur étudié est alimenté sous une tension de valeur efficace

$V_{1n} = 225V$  et de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

1-On a réalisé un essai en continu ; On a mesuré :  $V_1 = 12 \text{ V}$  et  $I_1 = 3, 64 \text{ A}$ . Calculer la valeur de la résistance  $R_1$  du primaire.

2-Il s'agit d'un essai à vide réalisé sous tension primaire nominale,  $V_{10} = V_{1n}$ . On a mesuré les grandeurs suivantes :

- $I_{10} = 0, 24A$  : valeur efficace de l'intensité du courant absorbé par le primaire

- $V_{20} = 48, 2V$  : valeur efficace de la tension secondaire à vide

- $P_{1o} = 10, 2W$  : puissance absorbée par le primaire.

a) Calculer le rapport de transformation

b) Evaluer les pertes par effet Joule dans ce fonctionnement.

c) En déduire la valeur des pertes dans le fer à vide et justifier l'emploi de cette même valeur en charge sous tension primaire nominale.

3-Le secondaire est court-circuité et le primaire alimenté sous tension réduite. Le courant secondaire de court-circuit,  $I_{2cc}$  est égal au courant secondaire nominal,  $I_{2n}$  pour  $V_{1cc} = 8.3V$ .

Le courant absorbé par le primaire est alors  $I_{1cc} = 0, 86A$ .

- a) Sachant que, dans cet essai, le transformateur peut être considéré comme parfait pour les courants, calculer la valeur du courant secondaire de court-circuit,  $I_{2cc}$ .
- b) Calculer la valeur de l'impédance totale ramenée au secondaire,  $Z_s$
- 4-Le transformateur est alimenté sous tension primaire nominale. Pour simuler la charge, on utilise une bobine sans noyau de fer, équivalente à un circuit RL série. Son impédance est  $Z = 11,6\Omega$  et son facteur de puissance est 0,89. Le wattmètre mesure  $P_1 = 180W$  et l'ampèremètre  $I_2 = 4,0A$ .
- a) Calculer la tension secondaire en charge  $V_2$ .
- b) Montrer que la résistance  $R$  de la bobine est  $R = 10,3\Omega$ . En déduire la puissance active  $P_2$  consommée par cette charge.
- c) Déterminer le rendement du transformateur au cours de cet essai.
- d) En déduire la valeur des pertes par effet Joule du transformateur.
- e) Donner les valeurs de  $R_s$  et de  $X_s$

## 1.43 Correction

1-Essai à courant continu  $R_1 = V_1/I_1 = 3.3\Omega$

2-Essai à vide

a) Le rapport de transformation  $m = V_{20}/V_{10} = 0.21$

b) Les pertes par effet joule à vide  $P_{j0} = R_1 * I_0^2 = 0.2W$

c) Les pertes fer sont égales à la puissance absorbée à vide  $P_{fer} = P_0 = 10.2W$

3-Essai en courtcircuit

a) Le courant de courtcircuit au secondaire est  $I_{2cc} = I_{1cc}/m = 4A$

b) L'impédance ramené au secondaire est  $Z_s = m * V_{1cc}/I_{2cc} = 0.43\Omega$

4-Essai en charge

a) La tension aux bornes de la charge  $V_2 = Z * I_2 = 46.4V$

b) La résistance de la bobine  $R = Z * \cos(\varphi) = 10.32\Omega$  et la puissance  $P_2 = R * I_2^2 = 165W$

c) Le rendement du transformateur est  $\eta = P_2/(P_2 + P_0 + R_s * I_2^2) = 0.91$

d) Les pertes par effet joule du transformateur est  $P_j = P_1 - P_2 - P_0 = 4.8W$

e) La résistance  $R_s = P_j/I_2^2 = 0.3\Omega$  et la reactance  $X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0.3\Omega$

## 1.44 Exercice 23

La plaque signalétique d'un transformateur porte les indications suivantes : 30 kV / 1,5 kV,

50 Hz ;  $S_n = 900 \text{ kVA}$ .

L'étude du transformateur a donné :

A vide :  $U_1 = 30 \text{ kV}$  ;  $U_{20} = 1,5 \text{ kV}$  ;  $I_{10} = 2 \text{ A}$  ;  $P_{10} = 30 \text{ kW}$ .

En court-circuit :  $U_{1cc} = 3,0 \text{ kV}$  ;  $I_{2cc} = 600 \text{ A}$  ;  $P_{1cc} = 20 \text{ kW}$ .

1- Calculez le rapport de transformation  $m$  de ce transformateur.

2- Calculez la valeur efficace de l'intensité du courant primaire et celle du courant secondaire au régime nominal.

3- Déterminez la valeur nominale des pertes dans le fer.

4- Que représente la puissance  $P_{1cc}$

5- Sur un schéma, placez les appareils de mesures permettant d'effectuer les mesures de l'essai à vide.

6- Dans un essai en charge, ce transformateur débite son intensité nominale dans une charge inductive de facteur de puissance 0,8 sous une tension  $U_2 = 1,4 \text{ kV}$ .

a) Calculez la puissance utile du transformateur.

b) En déduire la puissance absorbée par le transformateur.

c) Calculez le rendement du transformateur.

### 1.44.1 Correction

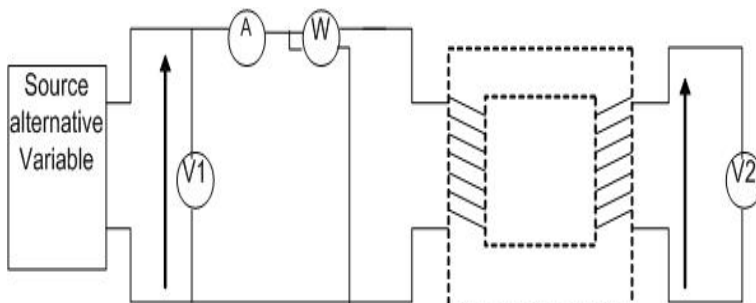
1- Le rapport de transformation est  $m = V_{20}/V_{10} = 0.05$

2- Les courants nominaux sont  $I_{1n} = S_n/V_{1n} = 30 \text{ A}$  et  $I_{2n} = S_n/V_{2n} = 600 \text{ A}$

3- Les pertes fer sont égales à la puissance absorbée à vide  $P_{fer} = 30 \text{ kW}$

4- La puissance de courtcircuit  $P_{1cc}$  correspond aux pertes joule

5- On mesure la tension primaire, la tension au secondaire, le courant absorbé et la puissance consommée comme le montre la figure suivante :



6- La tension au secondaire est  $U_2 = 1. \text{KV}$  et  $\cos(\varphi) = 0.8$

a) La puissance utile  $P_2 = U_2 * I_{2n} * \cos(\varphi) = 1400 * 600 * 0.8 = 672 \text{ kW}$

b) La puissance absorbée par le transformateur est  $P_1 = P_2 + R_s * I_{2n}^2 + P_0 = 722 \text{ kW}$

c) Le rendement du transformateur est  $\eta = P_2/P_1 = 0.93$

## 1.45 Exercice 24

Pour un transformateur monophasé, on donne  $m=0.5$ ;  $R_m = 840\Omega$ ;  $X_m = 190\Omega$ ;  
 $R_s = 0.06\Omega$ ;  $X_s = 0.145\Omega$ .

La tension primaire et le courant secondaire ont pour valeurs nominales respectives :

$$U_{1n} = 220V \text{ et } I_{2n} = 30A$$

1-On a mené l'essai à vide de ce transformateur sous tension nominale primaire, déterminer la puissance active  $P_0$  et la valeur efficace du primaire  $I_0$  lors de cet essai

2-Pour l'essai en court-circuit, le courant secondaire a été réglé à sa valeur nominale. Calculer la valeur efficace  $U_{1cc}$  de la tension primaire lors de cet essai

3-Le transformateur alimenté sous tension nominale débite le courant  $I_2$  de valeur efficace 12A dans une charge résistive et capacitive de facteur de puissance 0.55. Calculer les valeurs efficaces de la tension secondaire  $U_2$  ainsi que le rendement du transformateur

4- afin d'alimenter une charge demandant une puissance importante on associe à T un autre transformateur  $\hat{T}$  fonctionnant en parallèle avec lui. Les deux transformateurs ont le même rapport de transformation, appelant le même courant à vide et les résistances et réactances de fuite de  $\hat{T}$  ramenées côté secondaire sont le double de celles de T. L'ensemble des deux transformateurs alimente une charge résistive qui est traversée par un courant  $I_c = 42A$  alors que les primaires sont alimentés sous la tension 220V. Calculer les deux courants débités par les deux transformateurs et la tension aux bornes de la charge.

## 1.46 Correction

1-Essai à vide

La puissance active  $P_0 = U_{10}^2/R_m = 57.6W$  et  $\varphi_0 = \arctan(R_m/X_m) = 77$  degrés

Le courant à vide  $I_0 = P_0/(U_{10} * \cos(\varphi_0)) = 1.16A$

2-Essai en court-circuit  $U_{1cc} = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} * I_{2cc}/m = 9.4V$

3- $I_2 = 12A$  et  $\cos(\varphi) = 0.55$

La tension au secondaire est  $U_2 = U_{20} - I_2(R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 111V$

Le rendement est  $\eta = U_2 * I_2 * \cos(\varphi)/(U_2 * I_2 * \cos(\varphi) + P_0 + R_s * I_2^2) = 0.92$

4-Les deux transformateurs sont couplés en parallèle. Les lois des Nœuds donne

$$I_{ch} = \bar{I}_{21} + \bar{I}_{22}$$

les lois des mailles nous permettent de décrire  $\bar{Z}_{s1} * \bar{I}_{21} = \bar{Z}_{s2} * \bar{I}_{22}$

puisque  $\bar{Z}_{s2} = 2\bar{Z}_{s1} \Rightarrow \bar{I}_{22} = \bar{I}_{ch}/3 \Rightarrow I_{22} = 14A$  et  $I_{21} = 28A$

$$U_2 = U_{20} - R_{s1} * I_{21} = 108.32V$$

$$I_{cc} = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} * I_{2cc} / m = 9.4V$$

$$3-I_2 = 12A \text{ et } \cos(\varphi) = 0.55AV$$

$$\text{La tension au secondaire est } U_2 = U_{20} - I_2(R_s * \cos(\varphi) + X_s * \sin(\varphi)) = 111V$$

$$\text{Le rendement est } \eta = U_2 * I_2 * \cos(\varphi) / (U_2 * I_2 * \cos(\varphi) + P_0 + R_s * I_2^2) = 0.92$$

4-Les deux transformateurs sont couplés en parallèle. Les lois des Nœuds donne

$$I_{ch} = I_{21} + I_{22}$$

$$\text{les lois des mailles nous permet décrire } \bar{Z}_{s1} * \bar{I}_{21} = \bar{Z}_{s2} * \bar{I}_{22}$$

$$\text{puisque } \bar{Z}_{s2} = 2\bar{Z}_{s1} \Rightarrow \bar{I}_{22} = \bar{I}_{ch} / 3 \Rightarrow I_{22} = 14A \text{ et } I_{21} = 28A$$

$$U_2 = U_{20} - R_{s1} * I_{21} = 108.32V$$



# Chapitre 2

## Le Transformateur Triphasé

### 2.1 Exercice 1

Un transformateur triphasé Dyn, 1,5 kV -410 V, a un courant nominal secondaire égal à 70 A. Deux essais ont permis de déterminer  $P_{10} = 400W$  et  $P_{1cc} = 780W$  à  $I_{2n}$ . Calculez :

- 1) Le rapport de transformation
- 2) L'intensité primaire nominale
- 3) La puissance apparente nominale au primaire.
- 4) La puissance active fournie par le secondaire à une charge résistive absorbant 70 A.
- 5) La puissance active fournie par le secondaire à une charge inductive  $\cos\Phi = 0,85$  absorbant 50 A.

### 2.2 Correction

1- Le rapport de transformation est  $m = V_2/U_1 = U_2/\sqrt{3} * U_1 = 0.157$

2- L'intensité nominale au primaire est  $I_1 = m * I_2 = 11A$

3- La puissance apparente nominale au primaire  $S_n = \sqrt{3} * U_1 * I_1 = 28700VA$

4- La puissance active fournie  $P_2 = \sqrt{3} * U_2 * I_2 = 49709W$

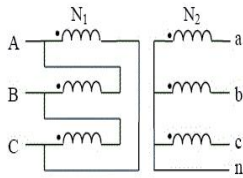
5- La puissance active fournie à la charge inductive  $P_2 = \sqrt{3}.U_2.I_2.\cos(\varphi) = 28405W$

### 2.3 Exercice 2

Un transformateur de puissance apparente  $S_n = 1000kVA$  et de tension à vide

$U_{20} = 410V$  est couplé comme indiqué ci-dessous.

Dans tout ce qui suit, son primaire est alimenté sous 20kV-50Hz.



- 1) Déterminer son indice horaire, son rapport de transformation  $m$  ainsi que son rapport des nombres de spires  $N_2/N_1$ .
- 2) Calculer son courant assigné au secondaire  $I_{2n}$ .
- 3) L'essai en court-circuit a été effectué par la méthode du double wattmètre. On note  $P_{AC}$  et  $P_{BC}$  les mesures correspondantes. Sachant que, pour  $I_2 = I_{2n}$ , on a relevé  $P_{AC} = 22kW$  et  $P_{BC} = -11kW$ , calculer  $R_s$ ,  $\tan\phi_c$  et  $X_s$ .
- 4) Pour un débit de 1400A sur une charge capacitive équilibrée de facteur de puissance 0,8, calculer  $\delta V_2$ ,  $U_2$  et le rendement sachant que les pertes à vide valent 2,3kW.
- 5) On place au secondaire une charge triphasée équilibrée couplée en étoile, d'impédance par phase  $Z = 0.147 + j * 0.085$ . Calculer  $I_2$  et  $U_2$ .

## 2.4 Corrigé

1-L'indice horaire est  $I_h = 1$ . Le rapport de transformation par colonne est

$$m_c = 0.0118. N_2/N_1 = 0.0205$$

2-Le courant nominal au secondaire est  $I_{2n} = 1410A$

3-La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.0018\Omega$ .  $\tan(\varphi_{cc}) = Q_{cc}/P_{cc} = 5.19$ .

La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = 0.0093\Omega$

4-La chute de tension est  $\Delta V_2 = -5.8V$ . La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 420V$

Le rendement est  $\eta = 0.98$

5-Le courant débité par le transformateur est  $I_2 = 1345A$ .

La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 395V$

## 2.5 Exercice 3

Une station de métro est alimentée en énergie électrique par un transformateur triphasé (Éclairage, signalisation, ventilation, pompage des eaux).

-Puissance apparente=160KVA

-Primaire  $U_1 = 20KV$  couplage triangle

-Secondaire :220V/380V, en charge nominale, couplage étoile

1-Bilan des puissances

- a) L'intensité nominale au secondaire vaut 230A. Calculer la puissance active nominale , avec un facteur de puissance 0.8
- b) Dans ces conditions, le rendement est maximal , et vaut 0.96. Calculer les pertes cuivre et les pertes fer (que l'on suppose égales)
- 2-On s'intéresse maintenant à une colonne du transformateur .Elle se comporte comme un transformateur monophasé , composé de :
- Un enroulement primaire sous 20KV
  - Un enroulement secondaire , débitant un courant de 200A, dans un circuit inductif de facteur de puissance 0.8
- a) En charge nominale, la chute de tension vaut 5% de la tension à vide au secondaire, calculer la tension à vide et le rapport de transformation
- b) Déterminer la résistance équivalent  $R_s$  ramenée au secondaire
- c) Déterminer la réactance de fuite ramenée au secondaire

## 2.6 Corrigé

1-Bilan de puissance

- a) La puissance active nominale est  $P = 120962W$
- b) on a  $\Sigma(\text{pertes}) = P_a - P = 5039W$  donc  $P_{fer} = P_j = 2519W$

2-Essai en charge

- a) La tension à vide au secondaire est  $U_{20} = 399V$ .

Le rapport de transformation est  $m_c = 0.0115$

- b) La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.0158\Omega$

- c) La réactance de fuite est  $X_s = 0.07\Omega$

## 2.7 Exercice 4

Un transformateur de distribution Dy est telque  $S_n = 250KVA$ ;  $U_{1n} = 20KV$ . Il a donné aux essais suivants :

-À vide sous 20KV ;  $U_{20} = 392V$  ;  $P_0 = 650W$

-En courtcircuit pour  $I_{2n}$  ;  $U_{1cc} = 815V$  ;  $P_{cc} = 2800W$

1-Calculer :

- a) Le rapport de transformation phase à phase

b) La valeur nominale du courant secondaire

2- Sachant que la section utile des noyaux est  $170\text{cm}^2$  et que  $B_{max} = 1.6\text{T}$ , déterminer les nombres de spires de phase au primaire et au secondaire

3- Calculer la résistance  $R_s$  et la réactance  $X_s$

4- Le transformateur, alimenté sous 20KV, débite 200KW dans un circuit inductif de facteur de puissance 0.9. Calculer :

a) la tension  $U_2$  et  $I_2$

b) Le rendement du transformateur

## 2.8 Corrigé

1-

a) Le rapport de transformation par phase est  $m_c = 0.0113$

b) Le courant secondaire nominal est  $I_{2n} = 380\text{A}$

2- Le nombre de spires aux primaires est  $N_1 = 3313\text{spires}$ , celui au secondaire est  $N_2 = 65\text{spires}$

3- La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.0064\Omega$ . La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = 0.024\Omega$

4- Essai en charge

a) La tension au secondaire est  $U_2 = 382.6\text{V}$ . Le courant débité par le secondaire est  $I_2 = 336\text{A}$

b) Le rendement est  $\eta = 0.986$

## 2.9 Exercice 5

Un transformateur triphasé a les caractéristiques suivantes :  $S_n = 110\text{KVA}$ ;  $U_{1n} = 21\text{KV}$ ;  $U_{2n} = 400\text{V}$ ; couplage Dy

Il a réalisé aux essais les performances suivantes :

- à vide :  $U_1 = 21\text{KV}$ ;  $U_{20} = 420\text{V}$ ;  $I_0 = 0.2\text{A}$  et  $P_0 = 500\text{W}$

- En court-circuit :  $U_{1cc} = 1\text{KV}$ ;  $I_{2cc} = 200\text{A}$  et  $P_{cc} = 3\text{KW}$

1- Calculer le rapport de transformation  $m$  et le décalage des grandeurs secondaires par rapport aux grandeurs primaires

2- Calculer l'impédance interne ramenée au secondaire  $Z_s$  du schéma équivalent monophasé

3- On charge le transformateur par une impédance qui absorbe 100KW sous une

tension de 400V avec un facteur de puissance 0.9AR. Cette charge est supposée couplée en triangle. Calculer :

- a) Son impédance par phase
- b) Le courant de ligne absorbé par la charge
- c) La chute de tension dans le transformateur
- d) Le courant dans les phases du primaire
- e) La tension qu'il faut appliquer au primaire
- f) Le rendement du transformateur

4- La tension d'alimentation du transformateur étant égale à  $\hat{U}_{1n}$ . La charge étant purement résistive.

- a) Calculer le courant de ligne secondaire permettant d'avoir le rendement maximum.
- b) Déterminer alors la valeur de la tension aux bornes de la charge.

## 2.10 Corrigé

1- Le rapport de transformation par colonne est  $m_c = 0.0115$ . Le déphasage entre deux tensions homologues est 30

2- L'impédance ramenée au secondaire est  $Z_s = 0.057\Omega$

3- Essai en charge

- a) L'impédance de la charge est  $Z_{ch} = 1.44\Omega$
- b) Le courant de ligne absorbé par la charge est  $I_2 = 160A$
- c) La chute de tension du transformateur est  $\Delta U_2 = 12.5V$
- d) Le courant au primaire est  $I_1 = 3.2A$
- e) La tension appliquée au primaire est  $U_1 = 20708V$
- f) Le rendement du transformateur est  $\eta = 0.976$

4- Le rendement est maximal si le courant au secondaire est égal à 258A

La tension aux bornes de la charge est égale à 409V

## 2.11 Exercice 6

Les essais d'un transformateur monophasé T dont la plaque signalétique porte les indications suivantes : 220/3000V ; 50hz ; 4000VA, ont donné :

- Essai à vide :  $V_1 = 220V$  ;  $V_{20} = 3140V$  ;  $I_0 = 1A$  et  $P_0 = 50W$

- En court-circuit :  $V_{1cc} = 12V$  ;  $I_{2cc} = 1.33A$  et  $P_{cc} = 190W$

1-Déterminer les éléments de schéma équivalent ramené au secondaire

2-Un essai voltampérométrique en courant continu a permis de déterminer la résistance de l'enroulement primaire. Cette résistance vaut  $R_1 = 0.17\Omega$ .

Déterminer alors la résistance de l'enroulement secondaire

3-En supposant que les inductances de fuites ramenées au côté primaire sont égales, donner alors les valeurs de  $l_2$  et  $l_1$

4-Dans l'hypothèse de KAPP, déterminer les valeurs de  $V_2$  et du rendement pour le courant secondaire nominal si la charge a un facteur de puissance 0.8AR

5-On dispose de deux autres transformateurs identiques au transformateur précédent. Avec ces trois transformateurs, on voudrait construire un transformateur triphasé

a) Quelles sont alors les indications qu'on doit inscrire sur la plaque signalétique de ce transformateur

b) Calculer pour les couplages suivants les rapports de transformation.

- Couplage  $Y_{y6}$

-Couplage  $D_{d0}$

-Couplage  $Y_{d11}$

-Couplage  $D_{y5}$

## 2.12 Corrigé

1-Les éléments du schéma équivalent ramené au secondaire sont :

-La résistance  $R_s = 107\Omega$

-La réactance  $X_s = 72\Omega$

2-La résistance de l'enroulement secondaire est  $R_2 = R_s - m^2.R_1 = 72\Omega$

3-Les inductances de deux enroulements sont  $l_1 = 0.114H$  et  $l_2 = 56mH$

4-La tension aux bornes de la charge est  $V_2 = 2969V$ . Le rendement est égal à 0.93

5-Couplage en parallèle

a) Les indications qu'on doit trouver sur la plaque signalétique sont : 380/5190 ; 50Hz ; 12KVA

b)

- Couplage  $Y_{y6}$  : Le rapport de transformation est  $m_c = 14.27$  et l'indice horaire est 6

-Couplage  $D_{d0}$  :  $m_c = 14.27$  et l'indice horaire est 0

-Couplage  $Y_{d11}$  :  $m_c = 24.7$  et l'indice horaire est 11

-Couplage  $D_{y5}$  :  $m_c = 8.23$  et l'indice horaire est 5

## 2.13 Exercice 7

Un courant triphasé équilibré alimente un transformateur triphasé dont le primaire est couplé en étoile. On veut mesurer le courant à vide et les pertes à vide par la méthode des deux wattmètres.

L'essai à vide donne :

-Tension primaire  $U_{10} = 380V$

-Indications des wattmètres :  $P_1 = 93W$ ,  $P_2 = -53W$

1- Déterminer :

-la puissance active absorbé

-La puissance réactive consommée

-Le facteur de puissance

-Le courant dans un fil de ligne et dans un enroulement.

2) La résistance entre phases au primaire est :  $R = 0,8\Omega$  ; Calculer :

-La résistance d'un enroulement

-La puissance perdue par effet Joule lors de l'essai à vide

3) Déduire des questions précédentes les pertes dans le fer.

## 2.14 Corrigé

1- -La puissance active absorbée à vide est  $P_{a0} = 40W$

-La puissance réactive est  $Q_{a0} = 253VAR$

-Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi_0) = 0.156$

-Le courant de ligne est  $I_0 = 0.67A$

2-

-La résistance d'un enroulement primaire est  $R_1 = 0.4\Omega$

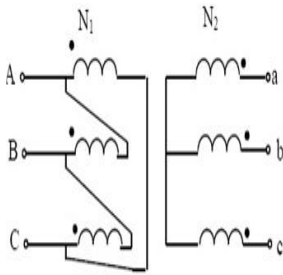
-Les pertes joule à vide sont  $P_{j0} = 0.54W$

3-Les pertes fer sont égales à  $P_{fer} = 39.46W \approx P_{a0}$

## 2.15 Exercice 8

transformateur a ses enroulements connectés comme indiqué sur la figure suivante. Il est alimenté par un système de tensions triphasé équilibré direct. Les valeurs efficaces des tensions composées valent respectivement 20 kV au primaire et 380V au secondaire. On note  $N_1$  le nombre de spires d'un enroulement primaire et  $N_2$  celui d'un enroulement secondaire.

Ce transformateur est supposé parfait .Il convertit la moyenne tension en basse tension, il alimente divers appareillages. Sa puissance nominale est de 100 kVA,le primaire est couplé en triangle et le secondaire est couplé en étoile.



Les essais de ce transformateur ont donné les résultats suivants :

- À vide : Tension primaire nominale entre phases  $U_{1n} = 20kV$ , tension secondaire entre phases  $U_{20} = 388V$ .

-En court-circuit :Le facteur de puissance primaire vaut  $\cos\phi_{cc} = 0,557$  et les pertes par effet Joule valent alors  $P_{Jcc} = 4500watts$  lorsque  $I_{2cc} = I_{2n}$ .

- Quels sont le rapport de transformation et le courant nominal secondaire
- Déterminer les éléments  $R_s$  et  $X_s$  du schéma équivalent ramené au secondaire par phase.
- Sous quelle tension primaire a été effectué cet essai en courtcircuit .
- On définit la puissance de courtcircuit d'un transformateur comme étant la puissance apparente qu'il absorberait sous tension nominale si le secondaire était en courtcircuit. Quelle est la puissance de courtcircuit de ce transformateur

## 2.16 Corrigé

a)Le rapport de transformation est  $m_c = 0.0112$ .Le courant nominal au secondaire est

$$I_{2n} = 152A$$

b)La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.064\Omega$ .La réactance est

$$X_s = 0.095\Omega$$

c)La tension de court -circuit est  $U_{1cc} = 1560V$

d)La puissance en court-circuit est  $P_{cc} = 734.227KW$

## 2.17 Exercice 9

Les caractéristiques du transformateur triphasé servant à l'alimentation d'une usine sont :

-Puissance apparente secondaire nominale  $S_{2n} = 250kVA$



-Tension composée primaire nominale  $U_{1n} = 20kV$  à la fréquence  $f = 50$  Hz

-Tension composée secondaire nominale  $U_{2n} = 400V$

- Couplage : Dy

Des essais ont été réalisés :

-Essai à vide, sous la tension  $U_{10} = U_{1n}$  ; Puissance absorbée au primaire  $P_{10} = 0,65kW$  ;

Tension composée secondaire :  $U_{20} = 410V$

-Essai en courtcircuit, sous la tension  $U_{1cc} = 4\%$  de  $U_{1n}$  ; Puissance absorbée au primaire  $P_{1cc} = 3,25kW$  ; Intensité du courant de ligne secondaire  $I_{2cc} = I_{2n}$

1-Déterminer la valeur efficace nominale  $I_{2n}$  de l'intensité du courant de ligne secondaire.

2- Déterminer le rapport de transformation

3-On souhaite déterminer le schéma équivalent par phase ramené au secondaire

a) À l'aide de l'essai en courtcircuit réalisé sous tension primaire réduite, déterminer  $Z_s$

b) Que représente la puissance  $P_{1cc}$  absorbée dans l'essai en courtcircuit

c) En déduire  $R_s$  puis  $X_s$

Dans la suite, on prendra  $R_s = 8,3m\Omega$  et  $X_s = 25m\Omega$

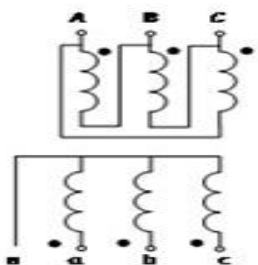
4-On imagine pour l'instant un fonctionnement du transformateur, alimenté sous sa tension primaire nominale, qui débite une intensité  $I_2 = I_{2n}$  en alimentant directement une charge triphasée équilibrée de nature inductive, caractérisée par un facteur de puissance de 0.80.

a) Quelle est la tension disponible entre phases aux bornes de la charge

b) Quel est alors le rendement du transformateur

5- En vu d'un éventuel accroissement de la puissance installée, il est envisagé de rajouter un deuxième transformateur triphasé fonctionnant en parallèle avec le premier, ce qui rend indispensable la connaissance de l'indice horaire, noté  $I_h$ , du transformateur installé.

Déterminer  $I_h$



6-On suppose que la charge constituée par l'usine est alimentée sous une tension de valeur efficace constante  $U = 400$  V, de fréquence  $f = 50$  Hz, et qu'elle absorbe une puissance active constante  $P = 150$  kW, une puissance réactive  $Q$  positive, avec un facteur de puissance très

variable, évoluant entre 0,4 et 1. On note  $P_s$  et  $Q_s$  les puissances fournies par la source triphasée.

- a) Entre quelles valeurs  $I_{min}$  et  $I_{max}$  évolue le courant de ligne
- b) Pour quelle valeur du facteur de puissance de la charge atteint on  $I = 360$  A .
- c) Un transformateur de 250 kVA convient-il pour tous les facteurs de puissance possibles, compris entre 0,4 et 1

## 2.18 Corrigé

1-Le courant nominal au secondaire est  $I_{2n} = 361$ A

2-Le rapport de transformation est  $m_c = 0.0118$

3-Le schéma équivalent par phase

a) L'impédance ramenée au secondaire est  $Z_s = 0.026\Omega$

b) La puissance n court-circuit représente les pertes par effet joule

c) La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.0083\Omega$ . La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = 0.024\Omega$

4-Essai en charge

a) La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = U_{20} - \Delta U = 396$ V

b) Le rendement du transformateur est  $\eta = 0.98$

5-L'indice horaire du transformateur est  $I_h = 11$

6-Alimentation d'une charge avec un facteur de puissance variable

a) Le courant minimal correspond au facteur de puissance maximal  $I_{min} = 228$ A. le courant maximal est  $I_{max} = 570$ A

b) La charge atteint un courant de 360A pour un facteur de puissance de 0.633

c) Un transformateur de 250KVA ne convient pas pour tous les facteurs de puissance

## 2.19 Exercice 10

Un transformateur triphasé dont le primaire couplé en triangle, est alimenté par une tension triphasée 50Hz, de valeur efficace entre phase de 20 kV. Le secondaire est couplé en étoile avec neutre sorti. Ce transformateur débite dans une installation fonctionnant sous une tension efficace 220-380V et comprenant :

-2 moteurs triphasés identiques de puissance utile 3 kW, de rendement 0,8 et de facteur de puissance 0,82.

- 90 lampes de 60 W, 220 V, régulièrement réparties sur les trois phases.

1- Pour réaliser l'essai à vide du transformateur, ne disposant pas d'une alimentation de 20kV, on l'alimente du côté du secondaire sous 380 V entre phases : on relève une puissance de 400 W (pour l'ensemble du transformateur) et côté sortie une tension entre phases de 19570V. Déduire de ces mesures.

a) Le rapport de transformation  $m_c$ , dans le sens normal d'utilisation, pour une colonne.

b) Le nombre de spires d'un enroulement du primaire sachant qu'un enroulement du secondaire comporte 60 spires.

c) Les pertes dans le fer du transformateur (le courant secondaire de l'essai à vide est faible).

2- Maintenant, le transformateur branché normalement, primaire sous 20 kV entre phases, débite dans l'installation dont tous les appareils fonctionnent ; calculer l'intensité du courant dans un enroulement secondaire et son déphasage sur la tension.

3- Calculer la chute de tension en charge.

4) Déterminer le rendement du transformateur lorsqu'il débite un courant de 90A dans l'installation avec un facteur de puissance de 0,85, sachant que les résistances du primaire et du secondaire mesurées entre phases sont respectivement  $R_1 = 44\Omega$  et  $R_2 = 0,016\Omega$ . (On supposera que le transformateur est parfait pour les courants.)

## 2.20 Corrigé

1-

a) Le rapport de transformation par colonne est  $m_c = U_{20}/\sqrt{3}.U_{10} = 0.0112$

b) on a  $m_c = N_2/\sqrt{3}.N_1 \Rightarrow N_1 = N_2/\sqrt{3}.m_c = 3097 \text{ spires}$

b) Les pertes fer sont  $P_f = 418W$

2- Le courant débité par le secondaire est  $I_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}/\sqrt{3}.U_2 = 21.4A$  ; Le déphasage de courant par rapport au tension au secondaire est  $\varphi_2 = 24$

3- La chute de tension est  $\Delta\Delta U = U_{20} - U_2 = 7.52V$

4- Le rendement du transformateur est égal à  $\eta = 0.98$

## 2.21 Exercice 11

Un transformateur triphasé a une puissance apparente nominale  $S_n = 100kVA$ , une tension primaire nominale de 15kV entre phases et de fréquence 50Hz. Son circuit magnétique dont la masse est de 320 kg est constitué de toles de qualité 1,2 W/kg (pour une induction

maximale  $B_m$  de 1T). La section du noyau est de  $380\text{cm}^2$ . Pour ce transformateur, on a réalisé les essais suivants :

-Essai à vide : sous tension primaire nominale, la tension secondaire entre phases est égale à  $\hat{U}_2 = 231\text{V}$ .

-Essai en courtcircuit : sous tension primaire de 600V entre phases, la puissance consommée est égale à 1750W et le courant secondaire est égal à 250A.

1- Calculer le nombre de spires  $N_1$  de chaque enroulement primaire pour que l'induction maximale dans chaque noyau soit de 1,3 T lorsque le primaire est couplé étoile

2- Calculer les pertes ferromagnétiques totales du transformateur pour cette induction  $B_m = 1,3\text{T}$ .

3- Calculer les valeurs de  $R_s$  et  $X_s$ .

4) Le transformateur alimente une charge inductive de facteur de puissance 0,6 telle qu'il travaille à sa puissance nominale. Déterminer la tension secondaire entre phases et donner la valeur du rendement pour ce fonctionnement.

## 2.22 Corrigé

1-Le nombre de spires au primaire est  $N_1 = 798\text{spires}$

2-Les pertes ferromagnétiques sont  $P_f = 649\text{W}$

3-Les paramètres de schéma équivalent ramené au secondaire sont  $R_s = 0.0093\Omega$  et  $X_s = 0.021\Omega$

4-La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 221\text{V}$ . Le rendement est  $\eta = 0.96$

## 2.23 Exercice 12

Les essais d'un transformateur triphasé d'isolement  $Y_{y0}$  (six bornes accessibles) ont donné les résultats suivants :

-Essai à vide :  $U_{10} = 380\text{V}$  ;  $U_{20} = 400\text{V}$  ;  $P_{10} = 72\text{W}$  ;

-Essai en courtcircuit :  $U_{1cc} = 19\text{V}$  ;  $I_{2cc} = 4,5\text{A}$  ;  $P_{1cc} = 81\text{W}$ .

1- Calculer pour une colonne :

a) La résistance ramenée au secondaire  $R_s$

b) L'impédance ramenée au secondaire  $Z_s$

c) La réactance ramenée au secondaire  $X_s$ .

2- Le transformateur, alimenté au primaire sous 380 V, débite sur un récepteur triphasé

, symétrique, inductif, de facteur de puissance 0.8, un courant  $I_2 = 4,5A$ . On demande :

- a) La tension entre fils de ligne au secondaire
- b) Le rendement pour cette charge
- c) Pour quelle valeur efficace du courant débité, avec le même facteur de puissance secondaire, le rendement serait-il maximal .

3- Le secondaire est maintenant chargé par trois résistances identiques  $R = 180\Omega$  montées en triangle. La tension d'alimentation du primaire est toujours  $U_1 = 380V$ . Quelles sont les valeurs efficaces du courant en ligne et de la tension entre fils de ligne au secondaire

4- On couple en parallèle sur le transformateur précédent  $T_1$ , un second transformateur  $T_2, Y_{g0}$ . Un essai à vide de  $T_2$  a donné :  $U_{10} = 380V ; U_{20} = 400V$ . La résistance et la réactance ramenées au secondaire et relatives à une phase sont respectivement pour ce transformateur  $T_2 : R_{s2} = 2\Omega$  et  $X_{s2} = 3,3\Omega$

- a) L'ensemble en parallèle débite sur un réseau équilibré de résistances.  $T_1$  débite le courant  $I_{21} = 4,5A$ . Quelle est la valeur efficace  $I_{22}$  du courant débité par  $T_2$
- b) Quelle est alors la valeur efficace du courant total fourni à la charge par l'ensemble des deux transformateurs .

## 2.24 Corrigé

1- Les paramètres d'une colonne

- a) La Résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 1.33\Omega$
- b) L'impédance ramenée au secondaire est  $Z_s = 2.56\Omega$
- c) La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = 2.18\Omega$

2- Le primaire est alimenté sous 380V

- a) La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = U_{20} - \Delta U = 381V$
- b) Le rendement est  $\eta = 0.94$
- c) Le rendement est maximal pour un courant optimal qui est égal à  $I_2 = \sqrt{P_0/3R_s} = 4.3A$

3- La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = U_{20} - \sqrt{3} \cdot R_s \cdot I_2 = 180 \cdot I_2 / \sqrt{3} \Rightarrow I_2 = 3.76A$ .

La tension  $U_2 = 391V$

4- Couplage en parallèle

- a) on a  $Z_{s1} \cdot I_{21} = Z_{s2} \cdot I_{22} \Rightarrow$  le courant débité par le transformateur  $T_2$  est  $I_{22} = 3A$
- b) Le courant total débité par les deux transformateurs est  $I_{ch} = 8.9A$

## 2.25 Exercice 13

Un transformateur triphasé couplé en étoile -étoile de 500kVA -50 Hz, a été soumis à 2 essais :

- Essai à vide : Tension composée primaire 15 kV ; Tension composée secondaire 213 V ; Puissance absorbée au primaire : 2250 W

- Essai en court-circuit : Tension composée primaire  $U_{1cc} = 430V$  ; Courant secondaire  $I_{2cc} = 1390A$  , Puissance absorbée au primaire : 5410 W

1- Déterminer les éléments du schéma équivalent ramené au secondaire :  $R_s$  et  $X_s$

2- Calculer la tension secondaire composée  $U_2$  quand le transformateur débite une intensité de  $I_2 = 1620A$  dans trois résistances identiques montées en étoile.

Le primaire étant alimenté sous 15kV.

3- Calculer le rendement nominal pour un facteur de puissance de 0,75 AR.

4- Calculer le rendement maximal et l'intensité secondaire débitée pour obtenir celui-ci, avec le même facteur de puissance.

## 2.26 Corrigé

1- Les éléments du schéma équivalent ramené au secondaire sont  $R_s = 0.933m\Omega$  et  $X_s = 7.56m\Omega$

2- La tension composée aux bornes de la charge est  $U_2 = 210V$

3- Le rendement est  $\eta = 0.96$

4- Le rendement est maximal si et seulement si  $I_2 = \sqrt{P_0/3R_s} = 897A$ . Le rendement maximal est = 0.98

## 2.27 Exercice 14

Soit le transformateur triphasé suivant :

- Essai à Vide :  $U_{AB0} = 440V$  , 50Hz ;  $U_{ab0} = 455V$  ,  $I_{10} = 2A$  ;  $P_{10} = 15W$ .

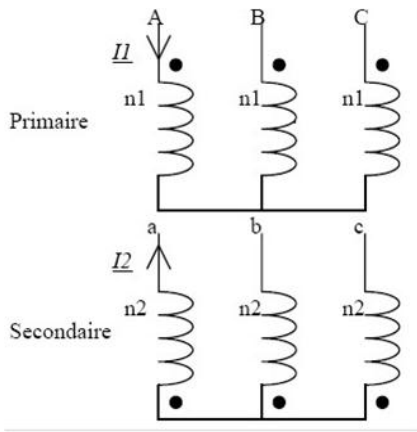
- Essai en court-circuit :  $U_{ABcc} = 2,5V$  ; 60Hz ;  $I_{2cc} = 15A$  ;  $P_{1cc} = 40W$ .

a) Déterminer le rapport de transformation  $m = V_a/V_A$  du transformateur en fonction de  $N_1$  et  $N_2$  (respectivement le nombre de spires d'un enroulement primaire et secondaire).

b) Déterminer l'indice horaire  $I_h$  du transformateur.

c) Donner le schéma équivalent par phase

d) Calculer  $R_f$  ;  $X_m$  ;  $R_s$  et  $X_s$



e) Pour une alimentation primaire 440V entre phases 60Hz triphasé et une charge purement résistive composé de trois résistances  $R = 10\Omega$  couplées en étoile .Déterminer la tension aux bornes de la charge et le rendement du transformateur.

## 2.28 Corrigé

a)Le rapport de transformation est  $m_c = N_2/N_1$

b)L'indice horaire du transformateur est 6

c)Le schéma equivalent par phase est le suivant

d)Les éléments du schéma equivalent sont :

-La résistance du circuit magnétique est  $R_f = 12906\Omega$

-La réactance de circuit magnétique est  $X_m = 127\Omega$

-La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.06\Omega$

-La réactance rameneée au secondaire est  $X_s = 0.006\Omega$

e)La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 452V$ .Le rendement est  $\eta = 0.98$

## 2.29 Exercice 15

Un transformateur triphasé T, de tension secondaire á vide  $U_{20} = 420V$  et d'impédance de court-circuit  $Z_s = 0,26 + j * 0,57$  est placén paralléle sur un transformateur  $T'$  de memes caractéristiques mais d'impédance de court-circuit  $Z'_s = 0,26 + j0,57$ .

1-Pour  $I_2$  ( courant au secondaire de T ) égal á 30A, calculer le courant  $I'_2$  fourni par  $T'$ , le courant total débité  $I_{2t}$ , la tension entre phases  $U_2$  et les puissances actives et réactives fournies

par chaque transformateur si la charge est purement résistive.

2-L'ensemble débite dans une charge constituée par trois impédances  $Z = 7.5 + 13j$  couplés en triangle.

- Déterminer l'impédance  $Z_t$  équivalente à la mise en parallèle de  $Z_s$  et de  $Z'_s$ .
- Remplacer le couplage triangle de la charge par un couplage étoile de trois impédances  $Z_e$  dont on précise la valeur.
- En utilisant ce qui précède, calculer  $I_{2t}$ ,  $U_2$ ,  $I_2$  et  $I'_2$ .

### Corrigé

1-Le courant débité par le deuxième transformateur est  $I'_2 = 30A$ . Le courant total débité par

les deux transformateurs est  $I_{2t} = 60A$ .

La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 407V$ . Chaque transformateur débite une puissance active de 21123W

2-La charge est à caractère inductif

- L'impédance équivalente est  $S_s = 0.13 + 0.285j$
- L'impédance équivalente en étoile est  $Z_e = 2.5 + 4.33j$
- Le courant total est  $I_{2t} = 48A$ . La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 414V$ . Les deux transformateurs débitent les mêmes courants  $I_2 = I'_2 = 24A$

## 2.30 Exercice 16

Un transformateur  $Y_{yn0}$ , noté T, a pour puissance apparente nominale  $S_n = 100kVA$ . Les essais sous puissance réduite ont donné :

-À vide :  $U_{10} = 20kV$  ;  $U_{20} = 410V$ ,  $P_{10} = 300W$

en C.C :  $U_{1c} = 1300V$ ,  $I_{2c} = 140A$ ,  $P_{1c} = 2kW$

Dans tout ce qui suit, le primaire est alimenté par un réseau 3x20kV-50Hz.

1- La section d'un noyau étant de  $100cm^2$ , calculer  $N_1$  si l'induction maximale dans les tôles est égale à 1,5T.

2- Calculer le rapport de transformation  $m$ . En déduire le rapport des nombres de spires  $N_2$ .

3-Calculer les éléments  $R_s$  et  $X_s$  du schéma monophasé équivalent ramené au secondaire et la puissance de court-circuit du transformateur.

4- Le transformateur débite 100A sur une charge équilibrée de facteur de puissance  $\cos\phi_2 = 0,8$  inductif. Calculer la chute de tension  $\Delta V_2$ , la tension entre phases  $U_2$  et le rendement .



5- On branche en parallèle un transformateur  $T'$  de mêmes caractéristiques, à l'impédance ramenée au secondaire, qui vaut  $0,034 + j0,08$

- a) Quel est celui des deux transformateurs qui peut fournir son courant assigné.
- b) Dans ces conditions, calculer le courant fourni par l'autre transformateur, le courant total débité  $I_{2t}$  ainsi que la valeur de  $U_2$  si l'ensemble débite sur une charge purement résistive.

## 2.31 Corrigé

1-Le nombre de spires au primaire est  $N_1 = 3468 \text{ spires}$

2-Le rapport de transformation est égal à 0.0205. Le nombre de spires au secondaire est  $N_2 = 71 \text{ spires}$

3-La résistance ramenée au secondaire est  $R_s = 0.034 \Omega$ . La réactance ramenée au secondaire est  $X_s = 0.187 \Omega$

4-La chute de tension est  $\Delta V_2 = 14V$ . La tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 386V$ .

Le rendement du transformateur est  $\eta = 0.98$

5-Branchement en parallèle

a) L'impédance ramenée au secondaire du transformateur T est  $Z_s = 0.188 \Omega$ . Celle du transformateur  $T'$  est  $Z'_s = 0.087 \Omega$

Le transformateur  $T'$  débite son courant nominal, qui est égal à  $I'_2 = 152A$

b) Le courant débité par le transformateur T est  $I_2 = 70A$ . Le courant total est  $I_{2t} = 222A$  et la tension aux bornes de la charge est  $U_2 = 407V$

## 2.32 Exercice 17

Dans une commune, des habitants se plaignent de n'avoir pas suffisamment de tension lors du passage en heure creuse. On se propose de calculer la chute de tension prévisible si l'on procédait au remplacement du transformateur. Le transformateur alimente 30 maisons et une petite usine. Pour simplifier l'étude, on considère que les maisons sont équitablement réparties sur les 3 phases et qu'une puissance apparente de 9kVA doit être réservée pour chaque habitation. L'usine quant à elle, a un abonnement de 36 kVA.

1- Choisir un transformateur parmi ceux donnés en annexe, en justifiant votre choix. (La tension du réseau primaire est 20kV)

2- Donner pour ce transformateur les valeurs nominales des courants dans les enroulements et en ligne.

puissance assignée (kVA) <sup>(1)</sup>	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
tension primaire assignée <sup>(2)</sup>	15 kV, 20 kV et doubles tensions 15/20 kV (puissance conservée)										
niveau d'isolement assigné <sup>(3)</sup>	17,5 kV pour 15 kV - 24 kV pour 20 kV										
tension secondaire à vide <sup>(4)</sup>	410 V entre phases, 237 V entre phase et neutre										
réglage (hors tension) <sup>(5)</sup>	± 2,5 % <sup>(6)</sup>										
couplage	Dyn 11 (triangle, étoile neutre sorti)										
pertes (W)	à vide	650	880	1200	1650	2000	2300	2800	3100	4000	5000
	à 75°C	2300	3300	4800	6800	8200	9600	11500	14000	17500	20000
	à 120°C	2700	3800	5500	7800	9400	11000	13100	16000	20000	23000
tension de court-circuit (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
courant à vide (%)	2,3	2	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1	
courant d'enclenchement	le/ln valeur crête	10,5	10,5	10	10	10	10	10	10	9,5	9,5
	constante de temps	0,13	0,18	0,25	0,26	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40	0,5
chute de tension à pleine charge (%)	cos $\varphi = 1$ à 120°C	1,85	1,69	1,55	1,41	1,35	1,27	1,22	1,18	1,18	1,10
	cos $\varphi = 0,8$ à 120°C	4,87	4,77	4,68	4,59	4,55	4,50	4,47	4,44	4,44	4,38
rendement (%)	charge 100 %										
	cos $\varphi = 1$ à 120°C	97,95	98,16	98,35	98,52	98,60	98,69	98,74	98,82	98,81	98,89
	cos $\varphi = 0,8$ à 120°C	97,45	97,71	97,95	98,16	98,25	98,36	98,43	98,53	98,52	98,62

3-Calculer, pour un modèle par phase, la valeur des impédances équivalentes ramenées au secondaire. ( $R_s$ ,  $X_s$  et  $Z_s$ )

4-Calculer la chute de tension simple que l'on peut attendre pour un courant nominal et un facteur de puissance 0,8 AR.

5-Comparer à celle donnée pour un  $\cos\phi = 0,8$  et un courant nominal dans la documentation.

6-Quel serait la valeur du courant secondaire si le transformateur était mis en court circuit et alimenté sous sa tension nominale

7-On utilise un câble triphasé aluminium pour alimenter l'ensemble des utilisateurs.Sachant que sa résistance linéique est de  $0,0548\Omega/km$  et sa réactance à 50hz de  $0,0754\Omega/km$ , quelle chute de tension peut-on attendre pour un débit nominal du transformateur après 500m de câble .

8. Donner la chute de tension totale en % (transfo + câble). Conclusion

## 2.33 Corrigé

1-La puissance apparente nécessaire est  $S = 306KVA$  donc on choisit un transformateur de puissance 400KVA

2-Le courant de ligne au primaire est  $I_1 = 11.5A$ , celui dans l'enroulement est  $J_1 = 6.68A$

Le courant de ligne au secondaire est égal à celui dans chaque enroulement  $I_2 = J_2 = 608A$

3-L'impédance ramenée au secondaire est  $Z_s = 0.023\Omega$ .La résistance  $R_s = 0.0043\Omega$  et la réactance ramenée au secondaire est  $X_s = 0.022\Omega$

4-La chute de tension simple est  $\Delta V = 10.33V$

5-La chute de tension  $\Delta V$  en % est inférieure à celle donnée par le constructeur

6-Si le transformateur est alimenté par sa tension nominale, le courant de courtcircuit est

$$I_{2cc} = 10304A$$

7-La chute de tension engendrée par le câble est égale à 9V

8-La chute de tension est égale à 8%

## 2.34 Exercice 18

Voici la plaque signalétique d'un transformateur de distribution

TRANSFORMATEUR TRIPHASE 50 Hz					
N°	441316	Type	TSMP10N	Année	1974
		Ref.	D 3960		
	REVISE 03/2012				
Conforme à	NF C52 112				
Puissance	100	kVA	tension isolement	23	kV
Couplage	Dyn 11				
		Primaire		Secondaire	
Tensions	1	20 500	V		V
	2	20 000	V	400	V
	3	19 500	V		V
			V		V
Tensions			V		V
			V		V
Courants		2,89	A	144,5	A
				Ucc 3,78	%Ucc
Masse totale	525	Kg	Masse	HUILE 100	Kg

1-Donnez la tension au secondaire du transformateur

2-Si le transformateur est en position 2, donnez sa tension au primaire

3-La tension au primaire étant de 20kV, calculez son rapport de transformation

4-Donnez le couplage du transformateur

5-Donnez sa tension de courtcircuit en %

6-Quel est le courant nominal au primaire

7-Quel est le courant nominal au secondaire

## 2.35 Corrigé

1-La tension secondaire est égale à 400V

2-Si le transformateur est à position 2, la tension au primaire est 20KV

3-Le rapport de transformation est 0.0115

4-Le primaire est couplé en triangle, par contre le secondaire est couplé en étoile

5-La tension de court-circuit est  $U_{1cc} = 3.78$

6-Le courant nominal au primaire est  $I_{1n} = 2.89A$

7-Le courant nominal au secondaire est  $I_{2n} = 144.5A$

## 2.36 Exercice 19

Sur la plaque signalétique d'un transformateur triphase on relève les caractéristiques suivantes :

-  $S=1250$  KVA.  $U_1 = 20KV$ . Tension secondaire à vide : 237 V/410 V. Couplage Dyn 11.

$U_{1cc}\% = 5.5\%$  : Courant assigné : 35,2 A.

Calculer :

1- La tension de court-circuit  $U_{1cc}$

2-L'intensité du courant de court-circuit  $I_{2cc}$

3-La puissance de court-circuit  $P_{1cc}$

5-La puissance réelle disponible si l'installation desservie a un  $\cos(\varphi) = 0,80$ .

## 2.37 Corrigé

1-La tension de court-circuit est  $U_{1cc} = 1100V$

2-L'intensité du courant de court-circuit est  $I_{2cc} = 540A$

3-La puissance de court-circuit est  $P_{1cc} = 22MW$

4-La puissance réelle disponible est  $P = 1MW$

# Chapitre 3

## Les Machines à courant continu

### 3.1 Exercice 1

Le moteur d'une grue, à excitation indépendante constante, tourne à la vitesse de rotation 1500 tr/min lorsqu'il exerce une force de 30 kN pour soulever une charge à la vitesse (linéaire)  $V_1 = 15m/min$  ; la résistance de l'induit est  $R_a = 0,4\Omega$ . Ce moteur est associé à un réducteur de vitesse dont les pertes, ajoutés aux pertes mécaniques et magnétiques du moteur font que la puissance utile de l'ensemble est égale à 83 % de la puissance électromagnétique transformée dans la machine. Le moment du couple électromagnétique du moteur est proportionnel à l'intensité  $I$  du courant qui traverse l'induit :  $C_{em} = 1,35I$ .

1-

- a) Calculer la puissance utile et le moment du couple électromagnétique.
- b) Calculer l'intensité du courant, la force électromotrice et la tension  $U$ , appliquée à l'induit.
- c) Sachant que la puissance consommée par l'excitation est de  $P_e = 235W$  calculer la puissance totale absorbée et le rendement du système.

2-En descente la charge, inchangée, entraîne le rotor et le machine à courant continu fonctionne alors en génératrice. L' excitation, le rapport du réducteur de vitesse et le rendement mécanique (moteur + réducteur) sont inchangés. On veut limiter la vitesse de descente de la charge à  $V_2 = 12m/min$  ; calculer :

- a) La vitesse angulaire de rotation du rotor
- b) La puissance électromagnétique fournie à la génératrice
- c) Le moment du couple résistant de cette génératrice et l'intensité du courant débité dans la résistance additionnelle
- d) La résistance  $R$

### 3.2 Correction

1- a) La puissance utile est  $P_u = F * V = 7.5KW$

Le moment de couple électromagnétique est  $C_{em} = P_u/\eta * \Omega = 57N.m$

b)Le courant absorbé est  $I = C_{em}/1.35 = 42A$  , la force électromotrice  $E = P_{em}/I = 212V$

La tension d'alimentation  $U = E + R_a * I = 229V$

c)La puissance totale absorbée est  $P_{totale} = P_{em} + P_{jinduit} + P_{jinducteur} = 9976W$

2- a)La vitesse angulaire du moteur est  $n = 12 * 1500/15 = 1200tr/mn$

b)La puissance absorbée par la génératrice est  $P_{aG} = \eta * F * V = 4980W$

c)Le moment de couple résistant  $C_{em} = P_{em}/\Omega = 40N.m$  et le courant  $I = C_{em}/1.35 = 30A$

d)La résistance  $R = U/I = (E - R_a * I)/I = 5.7\Omega$

### 3.3 Exercice 2

Un moteur à courant continu est à excitation indépendante et constante. On néglige sa réaction d'induit. Il a une résistance  $R = 0,20\Omega$ . Il est alimenté sous une tension constante  $U = 38V$ .

1. A charge nominale, l'induit est parcouru par une intensité  $I = 5A$  et il tourne à la vitesse de rotation de  $1000tr/min$

a)Calculer la force électromotrice  $E$  de l'induit

b)Calculer le moment du couple électromagnétique  $C$ .

c)Montrer que l'on peut exprimer  $E$  en fonction de la vitesse de rotation  $n$  suivant la relation :  $E = k.n$ .

2-Par suite d'une variation de l'état de charge, l'intensité à travers l'induit devient  $I' = 3,8A$ , calculer :

a)Le nouveau moment du couple électromagnétique  $C'$ ,

b)La nouvelle vitesse de rotation  $n'$

### 3.4 Correction

1-

b) La force électromotrice est  $E = U - R_a * I = 37V$

c)Le moment du couple électromagnétique est  $C_{em} = EI/\Omega = 1.76N.m$

d)L'excitation est constante  $\Rightarrow \Phi = ct \Rightarrow E = kn$

2-Variation de la charge  $I' = 3.8A$

- a) Le couple et le courant sont proportionnelles  $\Rightarrow C'_{em} = C_{em} * I'/I = 1.34 N.m$   
 b) La nouvelle vitesse de rotation  $n' = E' * n/E = 1006 tr/mn$

### 3.5 Exercice 3

Une machine d'extraction est entraînée par un moteur à courant continu à excitation indépendante. L'inducteur est alimenté par une tension  $u = 600 V$  et parcouru par un courant d'excitation d'intensité constante :  $J = 30 A$ . L'induit de résistance  $R = 0.012 \Omega$  est alimenté par une source fournissant une tension  $U$  réglable de  $0 V$  à sa valeur nominale :  $U_n = 600 V$ . L'intensité  $I$  du courant dans l'induit a une valeur nominale :  $I_n = 1,50 kA$ . La vitesse de rotation nominale est  $n_n = 30 tr/min$ .

1-Démarrage

- a) Ecrire la relation entre  $U$ ,  $E$  et  $I$ , en déduire la tension  $U_d$  à appliquer au démarrage pour que  $I_d = 1,2 I_n$ .

2-Fonctionnement nominal au cours d'une remontée en charge

- a) Exprimer la puissance absorbée par l'induit du moteur et calculer sa valeur numérique.  
 b) Exprimer la puissance totale absorbée par le moteur et calculer sa valeur numérique.  
 c) Exprimer la puissance totale perdue par effet Joule et calculer sa valeur numérique.  
 d) Sachant que les autres pertes valent  $27 kW$ , exprimer et calculer la puissance utile et le rendement du moteur.  
 e) Exprimer et calculer le moment du couple utile  $T_u$  et le moment du couple électromagnétique  $T_{em}$ .

3-Fonctionnement au cours d'une remontée à vide

- a) Montrer que le moment du couple électromagnétique  $T_{em}$  de ce moteur est proportionnel à l'intensité  $I$  du courant dans l'induit :  $T_{em} = KI$ . On admet que dans le fonctionnement au cours d'une remontée à vide, le moment du couple électromagnétique a une valeur  $T_{em}'$  égale à  $10 \%$  de sa valeur nominale et garde cette valeur pendant toute la remontée.  
 b) Calculer l'intensité  $I'$  du courant dans l'induit pendant la remontée.  
 c) La tension  $U$  restant égale à  $U_n$ , exprimer puis calculer la fem  $E'$  du moteur.  
 d) Exprimer, en fonction de  $E'$ ,  $I'$  et  $T_{em}'$ , la nouvelle vitesse de rotation  $n'$ . Calculer sa valeur numérique

### 3.6 Corrigé

1-Démarrage

a) La tension appliquée aux bornes de l'induit est  $U = E + R_a \cdot I$ .

Au démarrage  $U_d = R_a \cdot I_d = 21.6V$

2-Fonctionnement nominal

a) La puissance absorbée par l'induit est  $P_{aI} = U \cdot I = 900KW$

b) La puissance totale absorbée par le moteur est  $P_t = 918KW$

c) Les pertes joule totale sont  $P_{jt} = 45KW$

d) La puissance utile est  $P_u = 846KW$  et le rendement est  $\eta = 0.92$

e) Le couple utile est  $T_u = P_u / \Omega = 269.3KN.m$  et le couple électromagnétique est

$$T_{em} = 277.8KN.m$$

3-Fonctionnement au cours d'une remontée à vide

a) Le couple électromagnétique est  $T_{em} = K_e \cdot \Phi \cdot n \cdot I / \Omega = (K_e \cdot \Phi) \cdot I / (2\pi) = K \cdot I$

b) L'intensité du courant de l'induit  $I' = 0.1 \cdot I = 150A$

c) La nouvelle force électromotrice est  $E' = U - R_a \cdot I' = 598.2V$

d) Le couple électromagnétique  $T_{em} = E' \cdot I' \cdot 30 / \pi \cdot n' \Rightarrow n' = E' \cdot I' \cdot 30 / \pi \cdot T_{em}' = 30.83tr/mn$

### 3.7 Exercice 4

Un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante a les caractéristiques suivantes :

- Tension d'alimentation de l'induit :  $U = 160 V$

- Résistance de l'induit :  $R_a = 0,2\Omega$

1- La fem  $E$  du moteur vaut  $150 V$  quand sa vitesse de rotation est  $n = 1500 tr/min$ .

En déduire la relation entre  $E$  et  $n$ .

2- Déterminer l'expression de  $I$  en fonction de  $E$ .

3- Déterminer l'expression de  $T_{em}$  (couple électromagnétique en  $Nm$ ) en fonction de  $I$ .

4- En déduire que :  $T_{em} = 764 - 0,477n$

5- On néglige les pertes collectives du moteur. Justifier qu' alors :  $T_u$  (couple utile) =  $T_{em}$

6- Calculer la vitesse de rotation du moteur à vide.

7- Le moteur entraîne une charge dont le couple résistant varie proportionnellement avec la vitesse de rotation selon la relation suivante :  $C_r = 0.02n$ .

a) Calculer la vitesse de rotation du moteur en charge

b) En déduire le courant d'induit et la puissance utile du moteur.



### 3.8 Corrigé

1-L'excitation est maintenue constante, donc  $E = k.n = 0.1n$

2-L'expression du courant induit est  $I = (U - E)/R_a = (160 - 0.1n)/0.2$

3-L'expression du couple électromagnétique est  $T_{em} = 0.955.I$

4- $T_{em} = 0.955.I = 0.955.(160 - 0.1n)/0.2 = 764 - 0.477n$

5-Les pertes collectives sont négligables  $\Rightarrow T_{em} = T_u$

6-La vitesse de rotation à vide est  $n_0 = 764/0.477 = 1061tr/mn$

7-Fonctionnement en charge

a) En regime nominal on a  $T_{em} = T_u = T_r = 764 - 0.477n = 0.02n \Rightarrow n = 1537tr/mn$

b)Le courant absorbé par l'induit est  $I = 31.38A$

La puissance utile est  $P_u = T_u.\Omega = 4948W$

### 3.9 Exercice 5

Un moteur shunt est alimenté sous une tension constante de 200 V. Il absorbe un courant  $I = 22A$ . La résistance de l'inducteur est  $R = 100\Omega$ , celle de l'induit  $R_a = 0.5\Omega$ . Les pertes constantes sont de 200 W.

1-Calculer :

a)Les courants d'excitation et d'induit

b)La force contre électromotrice

c)Les pertes par effet Joule dans l'inducteur et dans l'induit

d. la puissance absorbée, la puissance utile et le rendement global.

e)On veut limiter à 30 A l'intensité dans l'induit au démarrage. Quelle doit être la valeur de la résistance du rhéostat de démarrage.

b)On équipe le moteur d'un rhéostat de champ. Indiquer son rôle. Dans quelle position doit se trouver le rhéostat de champ au démarrage? Justifier votre réponse.

### 3.10 Corrigé

a) Le courant d'excitation est  $I_e = 2A$ , celui de l'induit est  $I_a = 20A$

b)La force electromotrice est  $E = U - R_a.I_a = 190V$

c)Les pertes par effet joule dans l'induit sont  $P_{jI} = 200W$ , celles de l'inducteur sont

$P_{jinducteur} = 400W$

d)La puissance absorbée est  $P_a = U.I = 4000W$ .La puissance utile est

$P_u = P_a - \Sigma(\text{pertes}) = 3100W$ . Le rendement global est  $\eta = 0.775$

e) Le rhéostat de démarrage est  $R_{h_d} = 4.83\Omega$

f) Le rôle de rhéostat est la variation de vitesse ,au démarrage , la valeur du rhéostat est nulle (Pour que le courant d'excitation soit maximal(eviter l'emballement))

### 3.11 Exercice 6

Un générateur à courant continu de force électromotrice 220 V et de résistance interne  $R_g = 0,2\Omega$  débite un courant de 50 A lorsqu'il alimente un réseau composé d'une résistance R connectée en parallèle avec un moteur. Ce dernier, de résistance interne  $R_m = 0,2\Omega$ , absorbe une puissance électrique de 8400 W. Calculer :

- La puissance électrique fournie par le générateur au circuit extérieur
- la tension commune entre les bornes du générateur, de la résistance R et du moteur
- L'intensité du courant dans le moteur
- La force contre-électromotrice du moteur
- L'intensité du courant dans la résistance R
- La valeur de la résistance R

### 3.12 Corrigé

- La puissance fournie par la génératrice est  $P = U.I = (E_g - R_g.I).I = 10500W$
- La tension commune aux bornes du moteur et la résistance R est  $U = E_g - R_g.I = 210V$
- Le courant absorbé par le moteur est  $I_m = P_{am}/U = 40A$
- La force électromotrice du moteur est  $E_m = U - R_m.I_m = 202V$
- Le courant dans la résistance R est  $I_R = I - I_m = 10A$
- La valeur de la résistance est  $R = U/I_R = 21\Omega$

### 3.13 Exercice 7

Un moteur à courant continu à excitation indépendante entraîne un treuil soulevant verticalement une charge de masse M kg suspendue à l'extrémité d'un filin enroulé sur le tambour du treuil, de rayon supposé constant égal à 0,1 m. La vitesse de rotation du tambour est égale au vingtième de la vitesse de rotation du moteur.

L'induit du moteur de résistance intérieure  $R_a = 0,5\Omega$  est connecté aux bornes d'une source d'énergie fournissant une tension réglable de  $U = 0$  à 240 V tension nominale du moteur.

1-Le courant inducteur est réglé à sa valeur maximum admissible = 5 A. On constate alors que le treuil hisse la charge  $M = 4800/\pi$  kg à la vitesse  $V = 11\pi/60$  m/s alors que la puissance absorbée par l'induit est de 9,6 kW et que la tension appliquée à l'induit est égale à la tension nominale. Calculer :

- a) L'intensité du courant absorbé par l'induit du moteur
- b) La force contre électromotrice du moteur
- c) La puissance utile du treuil
- d) Le couple utile du moteur
- e) La vitesse de rotation du moteur.

On donne :  $g = 10$  N/kg ; ; hypothèse simplificatrice : rendement du treuil = 1. Négliger toutes les pertes du moteur sauf celle par effet Joule dans l'induit ou dans la résistance de démarrage ,la réaction d'induit et la saturation des circuits magnétiques.

### 3.14 Corrigé

1-

- a) L'intensité absorbé par l'induit est  $I = P_a/U = 40A$
- b) La force contre électromotrice du moteur est  $E = U - R_a.I = 220V$
- c) La puissance utile du treuil est  $P_{Utreuil} = M.g.V = 8800W$
- d) Le rendement du treuil est égal à 1  $\Rightarrow C_u = M.g.V/\Omega_m = M.g.V/(20.V/r) = 76.4N.m$
- e) La vitesse de rotation du moteur est  $n = 30.\Omega_m/\pi = 600.V/(r.\pi) = 1100tr/mn$

### 3.15 Exercice 8

Un moteur à excitation série possède une résistance interne totale  $R_t = 0.1\Omega$ . On suppose que son circuit magnétique n'est pas saturé. .Le moteur est utilisé à sa puissance maximale. Alimenté sous une tension  $U = 750$  V, il est traversé par un courant d'intensité  $I = 200$  A, la vitesse de rotation de l'arbre vaut alors  $n = 10$  tr/s.

- 1-Déterminer la force électromotrice du moteur.
- 2- Calculer le moment de son couple électromagnétique. Le couple utile sur l'arbre n'est alors que de 2100 Nm
- 3-Calculer le rendement du moteur.
- 4-Le moteur est maintenant alimenté sous tension variable. Il entraîne une charge qui impose au moteur un couple électromagnétique dont le moment est lié à la vitesse de rotation par

la relation :  $T_{em} = 18 * n^2 + 520$  , avec  $T_{em}$  en N.m et n en tr/s

- a) Vérifier que le moteur est bien capable d'entraîner cette charge, sur toute la gamme de vitesse possible : de 0 à 10 tr/s.
- b) Calculer l'intensité du courant, puis la tension à appliquer pour obtenir une vitesse de rotation  $n_0 = 5 \text{ tr/s}$  .

### 3.16 Corrigé

1-La force électromotrice est  $E = U - R_t.I = 730V$

2-Le couple électromagnétique est  $T_{em} = E.I/\Omega = 2323N.m.$

3-Le rendement du moteur est égal à 0.88

4-Alimentation sous une tension variable

a) si  $0 < n < 10 \text{ tr/s}$  alors  $520 < T_{em} < 2320N.m$

b)Le courant absorbé par l'induit est  $I = 129A$ .La tension d'alimentation est  $U = 249V$

### 3.17 Exercice 9

Un moteur à excitation série possède les valeurs nominales suivantes :Tension  $U_n = 500V$  , Courant  $I_n = 16A$ ,vitesse de rotation  $n_n = 1500 \text{ tr/mn}$  ; Résistance de l'induit  $R_a = 1,3\Omega$  ,Résistance de l'inducteur  $R_S = 0,7\Omega$  Le flux utile sous un pôle est proportionnel à l'intensité d'excitation pour  $I_e x \leq 16A$  et il est pratiquement constant au-delà de 16 A.Les pertes collectives sont négligeables.

1- Calculer la force électromotrice

2- Déterminer l'expression du moment du couple utile  $T_U$  en fonction de I pour un courant pouvant varier entre 0 et 25 A

3-Calculer la valeur nominale du moment du couple utile  $T_{U_n}$

4-Calculer la valeur de la puissance utile nominale

5-Calculer la valeur du rendement

### 3.18 Corrigé

1-La force électromotrice est  $E = 468V$

2-Les pertes collectives sont négligables  $\Rightarrow T_U = T_{em} = E.I/\Omega = K_e.\Phi.I/2\pi$  si  $I \leq 16A$  ,  $\Phi = a.I$  donc  $T_U = (K_e.a/2\pi).I^2$  si  $I > 16A$ ,  $\Phi = ct$  donc  $T_U = (K_e.ct/2\pi).I$

3-La valeur de couple utile nominale est  $T_{U_n} = E.I/\Omega = 47.6N.m$

4-La puissance utile nominale est  $P_u = T_U \cdot \Omega = 7488W$

5-Le rendement est  $\eta = P_u/P_a = 0.936$

### 3.19 Exercice 10

Une machine à courant continu , pour la quelle on néglige les pertes fer et mécaniques a, une résistance d'nduit  $R_a = 0.26\Omega$  .Les variations de f.e.m à vide  $E_0$  à vide de la machine en fonction de courant inducteur j la vitesse de rotation  $n_0 = 1000tr/mn$  sont décrites par le tableau suivant :

j(A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.5	2
E0(V)	3	12	28	53	85	107	125	134	140	150	155

La réaction magnétique de l'induit est négligable.

1-Le conrant inducteur étant réglé à  $J=1.5A$  , la machine fonctionne en moteur en fournissant le couple  $C_1 = 90N.m$  à une vitesse  $n_1=1500tr/mn$ .

1-Calculer la tension d'alimentation de l'induit U et le courant I

2-Un mauvais fonctionnement de l'alimentation de l'inducteur ramène le courant J à 0.3A.En supposant que le couple demandé par la charge mécanique ne varie pas, calculer la nouvelle vitesse de rotation du moteur.

3-Le courant inducteur est maintenant réglé à la valeur  $J=0.7A$ .Montrer que le couple développé par le moteur peut se mettre sous la forme  $C = a * U - b * n$ .

4-La machine entraîne une charge possédant un couple résistant  $C_r = 5 * 10^{-2} * n$ , calculer les valeurs de I, C et n

### 3.20 Corrigé

1-Le courant absorbé par l'induit est  $I = C_1 \cdot \Omega / E = 94A$ .La tension appliquée aux bornes de l'induit est  $U = E + R_a \cdot I = 175V$

2-La nouvelle vitesse de rotation est  $n = 7500tr/mn$

3-Les pertes collectives sont négligables  $\Rightarrow C_u = C_{em} = (k/(2\pi \cdot R_a)) \cdot U - k^2/(2\pi \cdot R_a) \cdot n$

avec  $a = k/(2\pi \cdot R_a) = 3.06$  et  $b = k^2/(2\pi \cdot R_a) = 15.3$

4-En régime permanent , le couple utile est égale au couple résistant  $0.025n = 3.06 \cdot U - 15.3n$

### 3.21 Exercice 11

Les caractéristiques nominales d'un moteur à courant continu à excitation série sont : tension d'alimentation nominale  $U_n = 400V$  ; courant d'induit  $I_n = 27A$  ; vitesse de rotation  $n = 1000 \text{tr/mn}$ .

Les résistances mesurées à chaud ont pour valeurs  $R_a = 1\Omega$  pour l'induit et  $R_s = 0.65\Omega$  pour l'inducteur ; la réaction magnétique de l'induit est négligée.

La caractéristique à vide à la vitesse nominale est donné par le tableau suivant :

j(A)	5.7	7.35	10.5	15.2	18	22.6	27	33.2	45
E0(V)	136	174	233	287	308	335	357	383	429

1-Le moteur est alimenté sous sa tension nominale

a) Le courant absorbé est  $I = 22.6A$ , calculer la vitesse de rotation  $n$  ainsi que le moment du couple électromagnétique  $C_{em}$

b) On équipe ce moteur d'un rhéostat de démarrage limitant le courant à  $45A$ . Calculer la résistance totale  $R_h$  de ce rhéostat ainsi que la valeur  $C_d$  du couple électromagnétique au début de démarrage. Pour quelle vitesse le courant prend-il la valeur  $27A$ , la totalité de rhéostat est encore en service

2-La machine fonctionne maintenant en moteur série et le courant induit est maintenu constant à la valeur  $I_2 = 33.2A$

a) sous quelle tension  $U_2$  le moteur doit-il être alimenté pour tourner à sa vitesse nominale

b) La machine étant alimenté sous la tension  $U_2$ , on place en parallèle sur l'inducteur série une résistance  $R_2 = 2.61\Omega$ , quelle est alors la vitesse de rotation.

### 3.22 Corrigé

1-Alimentation sous tension nominale

a) La vitesse de rotation est égale à  $1016 \text{tr/mn}$ . Le couple électromagnétique est

$$C_{em} = 77 \text{N.m}$$

b) La résistance totale du rhéostat de démarrage est  $R_h = 7.23\Omega$ . Le couple de démarrage est  $C_d = 305 \text{N.m}$

2-Le courant absorbé par l'induit est  $33.2A$

a) La tension qu'on doit appliquer aux bornes de l'induit est  $U_2 = E + R_t \cdot I = 438V$

b) La vitesse de rotation est égale à  $1084 \text{tr/mn}$

### 3.23 Exercice 12

On se propose d'étudier un moteur de traction à courant continu à excitation séparée dont les caractéristiques nominales sont :  $P_u = 165\text{KW}$  ;  $U=375\text{V}$  ;  $n=3000\text{tr/mn}$  ; résistance de l'induit  $R_a = 0.05\Omega$  ; résistance de l'inducteur  $R = 16\Omega$

1-Un essai en moteur alimenté sous sa tension nominale a permis de mesurer un courant induit  $I=440\text{A}$  et un courant inducteur  $J=25\text{A}$  pour une vitesse de rotation de  $n=2000\text{tr/mn}$ .

a) Calculer pour ce fonctionnement le couple électromagnétique  $C_{em}$  ainsi que la force contre électromotrice  $E$

b) Le couple utile , mesurée sur l' arbre du moteur a pour valeur  $C_u=710\text{N.m}$  .Déduire la valeur du couple de pertes  $C_p$  ainsu que le rendement du moteur

2-La machine fonctionne maintenant en génératrice, l'inducteur est parcouru par le courant  $J= 25\text{A}$  et l'induit délivre le courant  $I=300\text{A}$  sous la tension  $U =375\text{V}$ .Calculer la vitesse de rotation et le couple électromagnétique

3-On neglige dans cette partie toutes les pertes du moteur

Entre deux stations , le mouvement du véhicule comporte :

- une phase d'accélération entre 0 et  $t_1$ , pendant laquelle la vitesse croit linéairement

-une phase à vitesse constante entre  $t_1$  et  $t_2$

-une phase de décélération entre  $t_2$  et  $t_3$ , pendant laquelle la vitesse décroît linéairement

on désigne par  $J$  le moment d'inertie de l'ensemble des pieces en mouvement ramené à

l'arbre du moteur.On donne  $J=52\text{Kg.m}^2$  ;  $t_1 = 13\text{s}$  ;  $t_2 = 70\text{s}$  ;  $t_3 = 83\text{s}$  et  $\Omega_0 = 217\text{rd/s}$

a) pour chaque phase de fonctionnement , calculer l'accélération  $d\Omega/dt$  de l'arbre de rotation du moteur

b)Le véhicule développe sur l'arbre de rotation et indépendamment du couple d'accélération un couple résistant  $C_r = k * \Omega$  , avec  $k=2.3$ .Tracer les variations de ce couple en fonction du temps lors du déplacement entre deux stations

c) Ecrire le principe fondamental de la dynamique, déduire l' expression du couple électromagnétique  $C_{em}$  , tracer la variation de  $C_{em}$  en fonction du temps

### 3.24 Corrigé

1-Fonctionnement nominal

a)Le couple électromagnétique est égal à  $741\text{ N.m}$ .La force électromotrice est  $E = 353\text{V}$

b)Le couple des pertes est  $C_p = C_{em} - C_u = 31\text{N.m}$  .Le rendement est  $\eta = 0.9$

2-La vitesse de rotation est  $n = 2210\text{tr/mn}$ .Le couple électromagnétique est  $C_{em} = 506\text{N.m}$

3-Fonctionnement en traction électrique

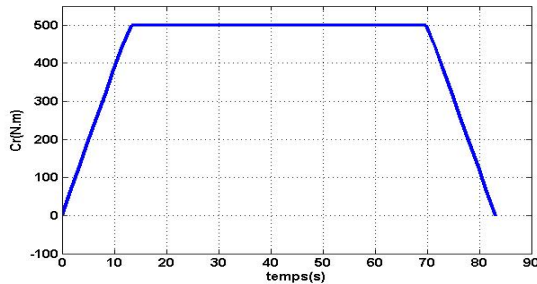
a) L'accélération sur l'arbre du moteur est :

$$16.7 \text{rd.s}^{-2} \text{ si } 0 < t < t_1$$

$$0 \text{ si } t_1 < t < t_2$$

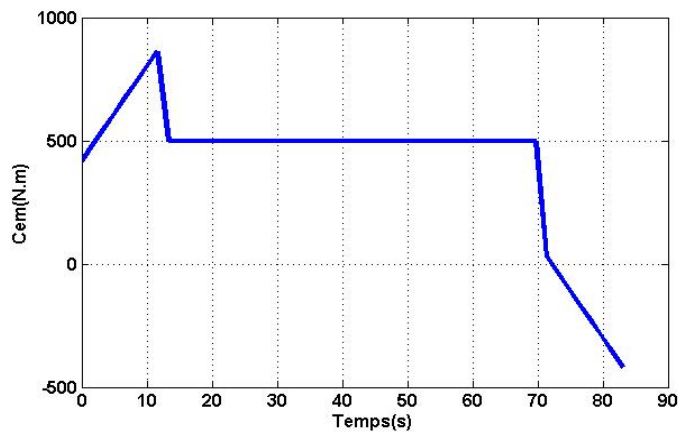
$$-16.7 \text{rd.s}^{-2} \text{ si } t_2 < t < t_3$$

b) Les variations du couple en fonction du temps sont représentées par la figure suivante :



c) La relation fondamentale de la dynamique est  $J.d\Omega/dt = C_{em} - C_r$

Le couple électromagnétique est  $C_{em} = C_r + J.d\Omega/dt$



### 3.25 Exercice 13

Les caractéristiques nominales d'un moteur à excitation indépendante sont :  $U=100\text{V}$

$$I=8\text{A}; R_a = 1.25\Omega; n=1500\text{tr}/\text{mn}; U_{ex} = 200\text{V}; R_e = 400\Omega$$

Le flux inducteur est supposé constant

1-Pour le fonctionnement nominal, calculer ; La puissance absorbée par le moteur

2- On veut régler la vitesse de rotation de ce moteur

a) Citer une relation donnant la force électromotrice  $E$  en fonction de la constante du moteur

$K_e$ , du flux magnétique  $\phi$  et de la vitesse de rotation  $\omega$  exprimée en rd/s

b) à partir des données nominales, calculer la force électromotrice nominale



- c) L'intensité du courant induit est égale à 8A, le moteur tourne à une vitesse  $n'=1000\text{tr}/\text{mn}$ , déterminer la nouvelle tension  $U'$  à appliquer aux bornes de l'induit
- d) Les pertes par effet joule dans l'induit
- e) La puissance utile sachant que l'ensemble des pertes collectives valent 80W
- d) Le rendement du moteur

### 3.26 Corrigé

- 1-La puissance absorbée par le moteur est  $P_a = 900W$
- 2-réglage de la vitesse
- a)  $E = K_e \cdot \Phi \cdot \Omega / (2\pi)$
- b)  $E = 90V$
- c) Si  $n' = 1000\text{tr}/\text{mn}$ ,  $E' = 60V$  donc  $U' = 70V$
- d) Les pertes par effet joule dans l'induit sont égales à 80W
- e) La puissance utile est égale à 400W
- f) Le rendement est égal à 0.71

### 3.27 Exercice 14

La plaque signalétique d'un moteur série indique : 240V-15A-1500tr/mn-3KW

La résistance totale du moteur est  $R_t = 2\Omega$

1-Le moteur est alimenté sous une tension  $U=240V$  maintenue constante, calculer pour le fonctionnement nominal

- a) La force contre électromotrice
- b) Le moment du couple électromagnétique
- c) La puissance absorbée et le rendement
- d) Les pertes dues à l'effet joule ; en déduire la valeur des pertes collectives

2-On alimente maintenant le moteur sous une tension variable

- a) Le circuit magnétique  $n'$  est pas saturé , montrer que le f.é.m s' écrit sous la forme  $E=k*n*I$ , calculer la valeur numérique de  $k$  , si  $n$  est exprimé en tr/s
- b) Le moteur entraine une charge imposant un couple résistant constant, montrer que si on néglige le couple de pertes , le moteur absorbe un courant constant
- c) Etablir l'équation des variations de  $n$ ( en tr/s) en fonction de  $U$  lorsque le courant  $I = 15A$ .

### 3.28 Corrigé

1-Alimentation sous une tension constante  $U = 240V$

a)La force contre électromotrice est  $E = 210V$

b)Le moment du couple électromagnétique est  $C_{em} = 20N.m$

c)La puissance absorbée est  $P_a = U.I = 3600W$  et le rendement est  $\eta = P_u/P_a = 0.83$

d)Les pertes par effet joule sont  $P_j = 450W$  .Les pertes collectives sont

$$P_{collectives} = P_a - P_u - P_j = 150W$$

2-Alimentation sous une tension variable

a)Le circuit magnétique n'est pas saturé  $\Rightarrow \Phi = \alpha.I$  donc  $E = k.n.I$

$$k = E/(n.I) = 0.56$$

b) Le couple électromagnétique  $C_{em} = E.I/\Omega = 0.56.I^2/2\pi = cte \Rightarrow I = \sqrt{2\pi.C_{em}/0.56} =$

c)La variation de la vitesse  $n = E/k = (U - R_t.I)/k = 1.78U - 53$

### 3.29 Exercice 15

Un moteur shunt possède les caractéristiques suivantes : Résistance de l'inducteur (sans rhéostat d'excitation)  $R = 110\Omega$  ; Résistance de l'induit  $R_a = 0.2\Omega$  ; Tension d'alimentation  $U=220V$  et Pertes constantes  $P_c=700W$

1-La vitesse de rotation est de 1500 tr/mn quand l'induit absorbe un courant de 75A

calculer :

a) La force électromotrice

b) La puissance absorbée

c) La puissance utile

d) Le rendement et le couple utile

2-Déterminer la résistance du rhéostat du démarrage pour que l'intensité au démarrage soit de 160A.

3-Variation de vitesse de rotation, calculer la vitesse de rotation lorsque le courant induit est 45A, puis lorsque le moteur est à vide (dans ce cas on néglige les pertes joule devant  $P_c$ )

4-Réglage de la vitesse : Le flux restant proportionnel à l'excitation, quelle valeur faut-il donner au rhéostat d'excitation pour obtenir une vitesse de 1650 tr/n avec le même courant  $I$  qui est égal à 75A.

### 3.30 Corrigé

1-Fonctionnement nominal

a) La force électromotrice est  $E = U - R_a \cdot I = 205V$

b) La puissance absorbée est  $P_a = U \cdot (I + J) = 16940W$

c) La puissance utile est  $P_u = P_a - \Sigma(\text{pertes}) = 14675W$

d) Le rendement est  $\eta = P_u/P_a = 0.866$  et le couple utile est  $C_u = P_u/\Omega = 93.42N.m$

2-Le rhéostat de démarrage est  $RHD = U/I_d - R_a = 1.175\Omega$

3-Variation de la vitesse de rotation

-Si  $I' = 45A$  alors  $E' = U - R_a \cdot I' = 211V$ , la vitesse de rotation est

$$n' = n \cdot E'/E = 1544tr/mn$$

-Si le moteur fonctionne à vide,  $P_{a0} = U \cdot (I_0 + J) = 1440W \Rightarrow I_0 = 3.18A$

La force électromotrice à vide est  $E_0 = 219.36V$  et la vitesse à vide est  $n_0 = 1605tr/mn$

4-Réglage de la vitesse Le courant  $I' = I = 75A \Rightarrow n \cdot \Phi = n' \cdot \Phi'$  or  $\Phi = \alpha \cdot J$

donc  $J' = J \cdot n/n' = 1.81A \Rightarrow R_{ex} = 11\Omega$

### 3.31 Exercice 16

Un moteur série essayé à vide et en génératrice à excitation séparée a donné à une vitesse de rotation  $n=1200tr/mn$ .

$I_e(A)$	0	10	20	30	40	50
$E_0(V)$	0	100	200	300	350	375

La réaction magnétique de l'induit est parfaitement compensée.

Les résistances de l'induit  $R_a$  et de l'inducteur  $R_s$  mesurées à chaud :  $R_a = 0.8\Omega$  et  $R_s = 0.2\Omega$

La machine fonctionne en moteur série, elle est alimentée sous tension fixe  $U=230V$

1-Pour un courant d'induit d'intensité nominale  $I_n = 30A$ . Calculer :

a) La f.é.m

b) La vitesse de rotation  $n$

c) Le couple électromagnétique

d) Le couple utile, sachant que la somme des pertes fer et des pertes mécaniques est de  $500W$  à  $1200tr/mn$  et qu'elles sont supposées proportionnelles à la vitesse de rotation.

Vérifier que le couple de pertes reste constant quelque soit la vitesse de rotation

e) Le rendement du moteur

2 -a) Vérifier que pour  $I \leq 30A$ , le circuit magnétique n'est pas saturé et par conséquent

on peut écrire :  $\Phi = a.I$

b) Démontrer que le couple électromagnétique peut s'écrire sous la forme suivante :

$$C_{em} = K_m * I^2$$

c) Calculer  $K_m$ , sachant que  $C_p = 4N.m$ , calculer le courant absorbé par le moteur, si sa charge est débranchée accidentellement

3-Le moteur est alimenté encore sous 230V, il travaille à couple résistant constant

$C_r = C_u$  (calculé en d) 1-)

a) On désire limiter le courant de démarrage à  $1.5I_n$ . Calculer la résistance RHD à placer en série avec l'induit

b) Calculer le couple de démarrage

c) si, accidentellement, RHD reste en série avec l'induit, quelle sera la vitesse de rotation du moteur en régime permanent

### 3.32 Corrigé

1-Fonctionnement nominal

a) La force électromotrice est  $E = U - (R_a + R_s).I = 200V$

b) La vitesse de rotation est  $n = 800tr/mn$

c) Le couple électromagnétique est  $C_{em} = E.I/\Omega = 71.6N.m$

d) Le couple utile est  $C_u = C_{em} - C_p = 67.62N.m$ . Le couple des pertes  $C_p = P_c/\Omega = ct$

e) Le rendement du moteur est  $\eta = P_u/P_a = 0.82$

2-

a) Lorsque  $I \leq 30A$ , on a  $E_0 = 10.I = K_e.(1200/60).\Phi \Rightarrow \Phi = (1/2K_e).I = a.I$

Le flux et le courant d'excitation sont proportionnels

b) Le couple électromagnétique est  $C_{em} = E.I/\Omega = K_e.\Phi.n.I/\Omega = (K_e.a)/(2\pi) = K_m.I^2$

c) La constante  $K_m = C_{em}/I^2 = 0.08$ . Si la charge est débranchée  $C_{em} = C_p = 4N.m$

donc  $I = I_0 = 7A$

3-Fonctionnement à couple constant

a) La rhéostat de démarrage est  $RHD = 4.1\Omega$

b) Le couple de démarrage est  $C_d = 162N.m$

c) Si le rhéostat de démarrage reste branchée en série avec l'induit, la force électromotrice est  $E = 77V$  et la vitesse de rotation correspondante est  $n = 308tr/mn$

### 3.33 Exercice 17

Le scooter fonctionne grâce à un moteur à excitation séparée et constante.

Dans tout le problème on suppose que la vitesse  $V$  du scooter exprimée en Km/h et proportionnelle à la vitesse de rotation  $n$  du moteur en tr/mn. Pour  $n=800$ tr/mn, le scooter roule à 45Km/h

#### A-Étude du moteur à tension d'induit $U$ constante

Le moteur est alimenté par une tension nominale  $U_n = 18V$ , il absorbe un courant d'induit  $I_n = 100A$ . Son inducteur est alimenté par une tension d'excitation  $U_{ex} = 18V$  et parcouru par un courant constant  $J = 1.5A$ . La résistance de l'induit est  $R_a = 0.05\Omega$ . Sa vitesse de rotation nominale est  $n = 800$  tr/mn. La réaction magnétique de l'induit est parfaitement compensée

1-Montrer que  $E = k * n$ , calculer  $k$  lorsque  $n$  est en tr/mn

2-Montrer que lorsque  $I = I_n = 100A$ , la vitesse de rotation  $n$  et la tension d'alimentation  $U$  sont liées par la relation numérique suivante :  $n = 61.5U - 307$

3-Démontrer que le couple électromagnétique  $C_{em}$  s'écrit sous la forme suivante :

$$C_{em} = KI \text{ . Calculer } K$$

4-Montrer que l'expression liant le couple électromagnétique à la vitesse de rotation  $n$ (tr/mn) et la tension d'alimentation  $U$ (V) peut se mettre sous la forme suivante :

$$C_{em} = 3.1 * U - 0.05 * n$$

5-Calculer les pertes par effet joule totales de ce moteur pour  $I = I_n$

6-Pour le fonctionnement nominal, la somme des pertes dans le fer et des pertes mécaniques vaut  $P_c = 344W$ . Déterminer :

- a) La puissance utile
- b) Le rendement

#### B-Étude du moteur sous tension d'induit $U$ réduite

Le conducteur du scooter dispose d'un mode de conduite économique. La tension d'induit du moteur est alors  $U_{eco} = 13.7V$

1- À l'aide du résultat de la question 4, donner l'expression liant le couple électromagnétique  $C_{em}$  à la vitesse de rotation  $n$ (tr/mn)

2-Pour un couple électromagnétique développé  $C_{em} = 15.8N.m$ , déterminer la vitesse de rotation du moteur ainsi que la vitesse de scooter

### 3.34 Corrigé

A-Etude du moteur à tension d'induit constant

1-L'excitation est constante  $\Rightarrow \Phi = ct$ . La force électromotrice est  $E = k.n$  avec  $k = 0.0162$

2-Le courant  $I = 100A$ . on a  $n = (U - R_a.I)/k = 61.5U - 307$

3-Le couple électromagnétique est  $C_{em} = E.I/\Omega = 60.k/(2\pi).I = K.I$ ; avec  $K = 0.154$

4-Le courant  $I = (U - k.n)/R_a$  d'où  $C_{em} = 0.154(U - 0.0162n)/0.05 = 3.1U - 0.05.n$

5-Les pertes joule totale du moteur sont  $P_{jt} = 527W$

6-Fonctionnement nominal

a)La puissance utile est égale à  $P_u = P_a - \Sigma(pertes) = 929W$

b)Le rendement est  $\eta = 0.51$

B-Etude du moteur sous tension d'alimentation réduite

1-Le couple électromagnétique est  $C_{em} = 42.47 - 0.05.n$

2-Lorsque  $C_{em} = 15.8N.m$ , la vitesse de rotation est  $n = 538tr/mn \Rightarrow V = 30.26Km/h$

### 3.35 Exercice 18

Dans tout le problème, l'intensité du courant dans l'enroulement inducteur, de résistance égale à  $310\Omega$  est maintenue constante à  $0.8A$ . On notera par  $R_a$  la résistance d'induit du moteur.

1-Montrer que l'expression de la f.é.m du moteur peut se mettre sous la forme  $E = kn$  avec  $n$  est la vitesse de rotation exprimée en  $tr/mn$

2-Montrer que l'expression du couple électromagnétique peut se mettre sous la forme

$C_{em} = K'I$  avec  $I$  est le courant induit. Exprimer  $K'$  en fonction de  $K$

3-On fait fonctionner le moteur à courant d'induit constant  $I = I_n = 16A$

a) Montrer que la vitesse de rotation du moteur  $n$  varie en fonction de la tension d'alimentation selon la relation suivante :  $n = a * U - b$

b) Au cours de cet essai on a relevé deux points de fonctionnement :

$$n_1 = 750tr/mn \text{ et } U_1 = 120V$$

$$n_2 = 1500tr/mn \text{ et } U_2 = 220V$$

Déduire la valeur de la résistance  $R_a$

c) Déduire des questions précédentes les valeurs de  $K$  et  $K'$

4-Le moteur fonctionne maintenant à vide, sous tension nominale d'induit  $U_n = 220V$ .

Il absorbe un courant d'induit égal à  $1.5A$

a) Déterminer la vitesse de rotation du moteur

b) Calculer les pertes collectives

5-Au point de fonctionnement nominal, calculer :

a) Les pertes collectives (On suppose qu'elles sont proportionnelles à la vitesse de rotation

b) Le couple électromagnétique

c) Le couple utile et le rendement

### 3.36 Corrigé

1-L'excitation est maintenue constante, donc  $E = k.n$

2-L'expression du couple électromagnétique est  $T_{em} = E.I/\Omega = k'.I$  avec  $k' = 60k/2\pi$

3-Fonctionnement à courant constant

a) La vitesse de rotation  $n = E/k = (U - R_a.I)/k = a.U - b$  avec  $a = 1/k$  et  $b = I.R_a/k$

b) La résistance  $R_a = b/a.I = 1.25\Omega$

c) Les valeurs des constantes sont  $k = 1/a = 0.133$  et  $k' = 1.27$

4-Fonctionnement à vide

a) La vitesse de rotation est  $n_0 = E_0/k = 1640 \text{tr}/\text{mn}$

b) Les pertes collectives  $P_c = P_{a0} - R_a.I_0^2 = 327W$

5-Fonctionnement en charge

a) Les pertes collectives sont  $P_c = 300W$

b) Le couple électromagnétique  $T_{em} = 20N.m$

c) Le couple utile  $T_u = T_{em} - T_p = 18.46N.m$ . Le rendement est  $\eta = 0.82$

### 3.37 Exercice 19

Une machine d'extraction est entraînée par un moteur à courant continu à excitation indépendante. L'inducteur est alimenté par une tension  $U_e = 600V$  et parcouru par un courant d'excitation constant :  $I_e = 30A$ . L'induit de résistance  $R_a = 0.012\Omega$  est alimenté par une source fournissant une tension  $U$  réglable de  $0V$  à sa valeur nominale  $U_n = 600V$ . L'intensité du courant dans l'induit a une valeur nominale  $I_n = 1500A$ . La vitesse de rotation nominale est  $n_n = 30 \text{tr}/\text{min}$ .

I -Démarrage

Écrire la relation entre  $U$ ,  $E$  et  $I$  aux bornes de l'induit, en déduire la tension  $U_d$  à appliquer au démarrage, pour que  $I_d = 1,2 I_n$ .

II Fonctionnement nominal au cours d'une remonté en charge

On a :  $U_N = 600V$  ;  $I_N = 1500A$  ;  $n_N = 30tr/min$ .

- 1-Exprimer la puissance absorbée par l' induit du moteur et calculer sa valeur numérique.
- 2- Exprimer la puissance totale absorbée par le moteur et calculer sa valeur numérique.
- 3- Exprimer la puissance totale perdue par effet Joule et calculer sa valeur numérique.
- 4- Sachant que les autres pertes valent  $P_e = 27 kW$ , exprimer et calculer la puissance utile et le rendement du moteur.
- 5- Exprimer et calculer le couple utile  $T_u$  et couple électromagnétique  $T_e$

III fonctionnement au cours d'une remontée à vide

1-Montrer que le moment du couple électromagnétique  $T$  de ce moteur est proportionnel à l'intensité  $I$  du courant dans l'induit

On admet que dans le fonctionnement au cours d'une remontée à vide, le moment du couple électromagnétique a une valeur égale à 10% de sa valeur nominale et garde cette valeur pendant toute la remonté.

- 2- Calculer l'intensité  $I$  du courant dans l'induit pendant la remontée.
- 3 -La tension  $U$  restant égale à  $U_n$ , exprimer puis calculer la f.e.m.  $E_1$  du moteur.
- 4 - Calculer la nouvelle vitesse de rotation  $n_1$

### 3.38 Corrigé

I-Démarrage

1-Au démarrage la force électromotrice  $E = 0$

2-Le modèle equivalent de l'induit est le suivant :

3-La tension aux bornes de l'induit est  $U = E + R_a.I$  et la tension de démarrage est

$$U_d = R_a.I_d = 21.6V$$

II-Fonctionnement nominal

1-La puissance absorbée par l'induit est  $P_a = U.I = 900KW$

2-La puissance totale absorbée par le moteur est  $P_t = 918KW$

3-La puissance totale perdue par effet joule est  $P_{jt} = 45KW$

4-La puissance utile  $P_u = P_t - \Sigma(pertes) = 846KW$  ;Le rendement est  $\pi = P_u/P_t = 0.92$

5-Le moment du couple utile est  $T_u = P_u/\Omega = 269KN.m$ , le moment du couple électromagnétique est  $T_{em} = T_u + T_p = T_u + P_c/\Omega = 278KN.m$

III-Fonctionnement à vide

1-Le moment du couple électromagnétique est  $T_{em} = E.I/\Omega = K_e.\Phi.I/2\pi$ , l'excitation est constante donc  $T_{em} = K.I$



2-Le courant absorbé par l'induit est  $I_1 = 150A$

3-La force électromotrice est  $E_1 = 598.2V$

4-La nouvelle vitesse de rotation est  $n_1 = 30.83tr/mn$

### 3.39 Exercice 20

Les caractéristiques d'une machine à courant continu sont les suivantes :

résistance de l'inducteur  $R_{ind} = 0.0075\Omega$

résistance de l'induit  $R_a = 0.019\Omega$

- Caractéristique à vide à 800 tr/min

I(A)	325	420	600	865	1000	1300	1750	1900	2160	2500
E(V)	600	765	1030	1270	1350	1470	1640	1700	1800	1900

Cette machine excitée en série est utilisée en traction sur une locomotive. A 1160 tr/min, la locomotive roule à 160 km/h

1. Fonctionnement en traction

Le moteur est alimenté sous 1500 V.

a. Le courant dans l'induit étant de 1000 A, calculer la f.e.m, la vitesse de rotation, le moment du couple électromagnétique du moteur ainsi que la vitesse de la locomotive

b. Le rendement du moteur étant de 94,5 %, calculer le moment du couple utile

c. Le courant de démarrage est limité à 2500 A, calculer le moment du couple électromagnétique au démarrage

d. Le moteur est toujours alimenté sous 1500 V. On branche en parallèle avec l'enroulement d'excitation une résistance de  $0.048\Omega$  Lorsque le courant dans l'induit est de 2200 A, calculer le courant dans l'inducteur, la f.e.m, la vitesse de rotation et le moment du couple électromagnétique du moteur.

2. Fonctionnement en génératrice

Pour freiner la locomotive, on fait fonctionner la machine en génératrice indépendante.

l'inducteur est alimenté par un courant de 420 A, une résistance  $R_{ch} = 0,4\Omega$  est branchée aux bornes de l'induit (il n'y a plus de source de tension à ses bornes).

La locomotive roule à 100 km/h, calculer la vitesse de rotation, la f.e.m, le courant dans l'induit et le moment du couple électromagnétique.

### 3.40 Corrigé

1-Fonctionnement en traction

a) La force électromotrice est  $E = U - R_t \cdot I = 1473.5V$  .

La vitesse de rotation  $n = 873tr/mn$ .

Le couple électromagnétique  $C_{em} = E \cdot I / \Omega = 16114N.m$

La vitesse de locomotive  $v = 120.4Km/h$

b)Le moment du couple utile est  $C_u = P_u / \Omega = \eta \cdot P_a / \Omega = 15505N.m$

c)Le couple de démarrage est  $C_d = 100712.5N.m$

d)Le courant dans l'inducteur est  $I_e = 1903A$ .

La force électromotrice est  $E = U - (R_a + (R_e \cdot R_s) / (R_e + R_s)) \cdot I = 1444V$

La vitesse de rotation est  $n = 642tr/mn$ .

Le couple électromagnétique  $C_{em} = 47252N.m$

2-Fonctionnement en génératrice

Le courant d'excitation est  $I_e = 420A$  .

La vitesse est  $V = 100Km/h \Rightarrow n = 725tr/mn \Rightarrow E = 765.725/800 = 693V$

Le courant induit est  $I = E / (R_a + R_{ch}) = 1654A$ .

Le moment de couple électromagnétique  $C_{em} = E \cdot I / \Omega = 15097N.m$

### 3.41 Exercice 21

Une machine à courant continu de type série est parfaitement compensée (la réaction d'induit y est négligeable). On a relevé, à la vitesse de rotation de 1500 tr/min, la caractéristique à vide en génératrice à excitation séparée  $E_0 = f(I_e)$  ou  $E_0$  est la f.e.m et  $I_e$  l'intensité du courant d'excitation.

$I_e(A)$	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$E(V)$	60	81	99	111	120	128	133	137	141

Les résistances mesurées à chaud ont pour valeurs :  $R_a = 0,62\Omega$  et  $R_s = 0,38\Omega$  .La machine fonctionne en moteur série alimenté sous tension constante  $U = 110V$

1- Tracer la caractéristique à vide

2-Pour un courant absorbé  $I = 20A$ , calculer :

a)La force électromotrice

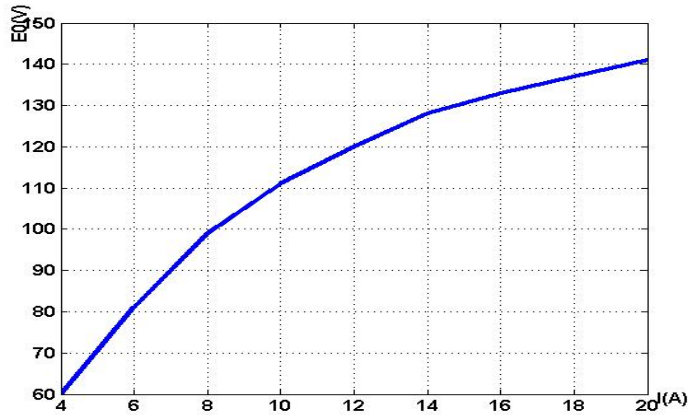
b) La vitesse de rotation

c) Le couple électromagnétique

d) Le rendement du moteur, sachant que l'ensemble des pertes dans le fer et des pertes mécaniques dans ces conditions est de 120 W.

### 3.42 Corrigé

1-La caractéristique à vide à la vitesse de rotation 1500 tr/mn est le suivant :



2-Fonctionnement nominal

a)La force électromotrice est  $E = U - (R_a + R_s).I = 90V$

b)La vitesse de rotation  $n = 1500.90/141 = 957tr/mn$

c)Le couple électromagnétique est  $C_{em} = E.I/\Omega = 18N.m$

d)Le rendement du moteur est  $\eta = 0.76$



# Chapitre 4

## Les Machines synchrones Triphasés

### 4.1 Exercice 1

Une machine synchrone triphasée, à 6 ples par phase, est prévue pour fonctionner sur un réseau :220/380V ;50Hz

Un essai à vide à 50Hz de cette machine a donné les valeurs suivantes :

j(A)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
E composée(V)	0	136	262	349	411	465	504	534	563	588	611	650

La résistance du stator a été mesurée entre deux bornes du stator et a donné  $R_m = 1,4\Omega$  .

Un essai en débit réactif a donné :J = 35 A , I = 20 A , U = 291 V.

1- A quelle vitesse, doit -on entraîner cette machine pour que la fréquence soit de 50 Hz .

2-Déterminer la résistance R et la réactance synchrone  $X_s$

3-La machine est utilisée en alternateur débitant sur le réseau. Elle débite son courant nominal 20 A avec le meilleur facteur de puissance possible. Déterminer le courant d'excitation correspondant à ce point de fonctionnement.

4-On utilise maintenant la machine synchrone en compensatrice synchrone. Une installation absorbe une puissance  $P_2 = 10kW$  avec un  $\cos(\phi) = 0,7$  et on souhaite relever le facteur de puissance à 1. Déterminer alors le courant d'excitation .

### 4.2 Corrigé

1-On doit tourner cette machine à la vitesse de synchronisme  $n_s = 1000tr/mn$

2-Le stator est couplé en étoile, la résistance de chaque enroulement statorique est  $R = 0.7\Omega$

L'essai en débit réactif  $\Rightarrow \varphi = \pi/2 \Rightarrow X_s = (\sqrt{(E_0^2 - (R.I)^2)} - V)/I = 0.85\Omega$

3-Le facteur de puissance est égale à 1  $\Rightarrow E_0 = \sqrt{(V + R.I)^2 + (X_s.I)^2} = 235V \Rightarrow I_e = 34A$

4-Pour relever le facteur de puissance à 1 , il faut que le moteur synchrone fournit une puissance réactive  $Q = -10202VAR$

Le courant  $I = Q/(-\sqrt{3}.U) = 9.3A \Rightarrow E_0 = V + X_s.I = 228V \Rightarrow I_e = 33.5A$

### 4.3 Exercice 2

Sur la plaque signalétique d'une machine synchrone triphasée, on lit :

Tension d'un enroulement statorique :380, fréquence 50 Hz, I = 20 A,  $n_s = 1000tr/mn$ .

On a effectué les essais de cette machine couplée en triangle.

-Essai à vide

$I_e(A)$	0.5	1	2	3.5	4.5	7	8	10	15
$E_0(V)$	82	165	305	408	445	495	508	529	554

- Essai en débit réactif :

En faisant débiter le stator sur une inductance pure on a relevé :  $I_e = 7A$ ; I = 30 A et

U = 250 V

- Mesure de la résistance statorique entre deux bornes :  $R_m = 0,8\Omega$

1- Questions préliminaires.

a)Déterminer le nombre de pôles par phase de cette machine.

b)Calculer la puissance apparente de cette machine.

c) Calculer la résistance R du schéma équivalent par phase.

d)Déterminer l'impédance de Behn-Eschenburg  $L_w$  de cette machine.

2-Cette machine est accrochée sur le réseau 3x380V et est entraînée par une éolienne . On veut faire débiter à cette machine sa puissance nominale avec le meilleur facteur de puissance possible. Déterminer le courant d'excitation nécessaire.

3- Cette machine toujours accrochée sur le réseau 3x380V et toujours entraînée par son éolienne, fournit au réseau une puissance active de 18 kW et débite des courants statoriques d'intensité 30 A.

a- Déterminer la puissance réactive absorbée par la machine synchrone si son comportement est inductif.

b- En déduire la valeur de la f.e.m. de la machine et de son courant d'excitation.

c-En considérant que les pertes constantes de la machine synchrone sont de 800W, calculer les pertes joules, la puissance sur l'arbre de la machine et le couple fournit par l'éolienne.

## 4.4 Corrigé

1-Questions préliminaires

- a)Le nombre de pôles de la machine est 6
- b)La puissance apparente est  $S = 13163VAR$
- c) La résistance du schéma equivalent par phase est  $R = 1.2\Omega$
- d)L'impédance  $Lw = 14\Omega$

2-Le courant d'excitation est  $I_e = 4A$

- 3- a)La puissance réactive est  $Q=8059VAR$
  - b)La force électromotrice est  $E_0 = 530V$  et  $I_e = 10A$
  - c)Les pertes joule sont égales à 1080w, la puissance sur l'arbre est  $P_a = 19.88Kw$
- Le couple fournit par l'éolienne est  $C_m = 126N.m$

## 4.5 Exercice 3

Un alternateur triphasé dont les enroulements de stator sont couplés en étoile, fournit en charge nominale, un courant  $I = 200 A$  sous une tension entre phases  $U = 5KV$  lorsque la charge est inductive et de facteur de puissance est égal à 0.87. La résistance d'un enroulement statorique vaut  $R = 0,20\Omega$ . La vitesse de rotation de la roue polaire est  $n_s = 750tr/min$ . Les tensions produites ont pour fréquence  $f = 50 Hz$ . L'ensemble des pertes constantes et par effet Joule dans le rotor atteint 55 kW. Un essai à vide, à la fréquence de rotation nominale, a donné les résultats suivants pour lesquels  $I_e$  est l'intensité du courant d'excitation et  $E_0$  la valeur efficace de la tension entre phases.

$j(A)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$E_0(V)$	0	1050	2100	3150	4200	5200	5950	6550	7000	7300	7500

Un essai en courtcircuit a donné, pour un courant d'excitation d'intensité  $I_e = 40A$ , un courant dans les enroulements du stator  $I_{cc} = 2,5kA$ .

- 1-Quel est le nombre de poles du rotor
  - 2- Calculer la réactance synchrone  $X_s$  de l'alternateur lorsqu'il n'est pas saturé
- On supposera  $X$  constante pour la suite.
- 3- En déduire la f.e.m. synchrone  $E$  au point de fonctionnement nominal.
  - 4-Calculer la puissance nominale fournie par l'alternateur et le rendement au point de fonctionnement nominal.

## 4.6 Corrigé

- 1-Le nombre de poles du rotro est 8
- 2-La réactance synchrone  $X_s = 0.95\Omega$
- 3-Au point de fonctionnement nominal, la force électromotrice  $E = 3023V$
- 4-La puissance fournie par l'alternateur est  $P = 1506.88KW$  .Le rendement est  $\eta = 0.95$

## 4.7 Exercice 4

La caractéristique à vide  $E = f(I_e)$  d'un alternateur triphasé tournant 1500 tr/min. peut être assimilée à une droite passant par l'origine et par le point de coordonnées  $I_e = 2, 0 A$  et  $E = 100 V$ . Cet alternateur est couplé en étoile et on maintient la tension entre deux bornes du stator à 400 V par action sur l'intensité  $I_e$ . La fréquence des grandeurs statoriques est 50 Hz. Le bobinage statorique comporte 1200 conducteurs au total. La résistance d'un enroulement statorique est  $0,30\Omega$  et la réactance synchrone, supposée constante est égale à  $5,0\Omega$ . Le coefficient de Kapp de cet alternateur vaut 2,13.

- 1- Quel est le nombre de poles de cet alternateur.
- 2-Quelle est l'intensité  $I_e$  du courant d'excitation lorsque l'alternateur est à vide.
- 3- Calculer le flux maximal à travers une spire du stator.
- 4-À vide, l'alternateur reçoit une puissance mécanique  $P_0 = 200W$ . Sachant qu'il est excité de manière indépendante, En quel type de puissance va se transformer  $P_0$ .à quel(s) type(s) de perte(s) va t-il correspondre.
- 5-L'alternateur débite maintenant un courant d'intensité 15 A dans une charge inductive de facteur de puissance 0,85.
  - a) Calculer quelle doit être la nouvelle valeur de E, puis celle de  $I_e$ .
  - b) Calculer le rendement sachant que la roue polaire a une résistance  $R = 2,4\Omega$

## 4.8 Corrigé

- 1-Le nombre de pôles de l'alternateur est 4
- 2-Lorsque l'alternateur fonctionne à vide , le courant d'excitation est  $I_e = 4.6A$
- 3-Le flux maximal à travers une spire est  $\Phi_{max} = 5.3mWb$
- 4-La puissance  $P_0$  sera transformée en pertes constantes.
- 5-L'alternateur alimente une charge de facteur de puissance 0.85
  - a)La force electromotrice est  $E = 281V$ .Le courant d'excitation correspondent est



$$I_e = 5.63A$$

b) Le rendement de l'alternateur est  $\eta = 0.97$

## 4.9 Exercice 5

La plaque signalétique d'une machine synchrone triphasée porte les indications suivantes : 100 kVA ; 400 V ; 50 Hz ; 1000 tr/min. Son bobinage statorique comporte quatre encoches par pôle et par phase et chaque encoche contient deux conducteurs. La machine est couplée en étoile.

- Un essai à vide, en alternateur, à vitesse de synchronisme a montré que sa caractéristique  $E = f(I_e)$  est une droite passant par l'origine et par le point  $E = 200 \text{ V}$  pour  $I_e = 20 \text{ A}$ .
- Un essai en court-circuit à la vitesse de synchronisme montre que la caractéristique  $I_{cc} = f(I_e)$  est aussi une droite passant par l'origine et par le point  $I_{cc} = 205 \text{ A}$  pour  $I_e = 30 \text{ A}$ .
- La résistance des enroulements statoriques est supposée négligeable.

1- Quel est le nombre de pôles de cette machine.

2- Déterminer le flux maximal à travers un enroulement statorique lorsque  $I_e = 23 \text{ A}$  ; sachant que le coefficient de Kapp de cette machine est 2,15.

3- Déterminer la réactance synchrone d'un enroulement statorique de cette machine.

La machine fonctionne en alternateur.

4- Déterminer  $I_e$  pour que la machine fournisse son intensité nominale, sous sa tension nominale, à une charge inductive de facteur de puissance 0,93.

La machine fonctionne en moteur, alimentée par un réseau triphasé 220/3800 V, 50 Hz. Elle développe un couple de moment  $C_u = 610 \text{ N.m}$ .

5- Le rendement du moteur étant égal à 0.96 . Déterminer l'intensité efficace au stator sachant que le facteur de puissance du moteur est égal à 1.

6- Quel est alors la valeur de  $I_e$  .

7- On règle  $I_e$  à 18,8 A. Sous la tension nominale, le moteur demande alors un courant en ligne d'intensité 120 A. Quel est le déphasage courant-tension

## 4.10 Corrigé

1- Le nombre de pôles est 6

2- Le flux maximal est  $\phi_{max} = 0.26 \text{ wb}$

3-La réactance synchrone est  $X_s = 1.46\Omega$

4-Le courant d'excitation est  $I_e = 36.4A$

5-Le courant absorbé par le moteur est  $I = 96A$

6-Le courant d'excitation est  $I_e = 27A$

7-Le déphasage entre la tension et le courant est  $\varphi = 37$  degrés

## 4.11 Exercice 6

La plaque signalétique d'un alternateur triphasé donne :  $S = 2 \text{ MVA}$  ;  $2885V/5000V, 50\text{Hz}$  ;  $1500 \text{ tr/min}$  Les enroulements statoriques sont couplés en étoile, chaque enroulement a une résistance de  $R = 0,20\Omega$  .Il comporte 500 conducteurs actifs. Le coefficient de Kapp est  $K = 2,25$ . La résistance du rotor est  $10\Omega$  et l'ensemble des pertes fer et mécaniques valent  $65 \text{ kW}$

- Un essai à vide à  $1500 \text{ tr/min}$  donne une caractéristique de saturation  $E_0 = 100.I_e$  ou  $E$  est la valeur efficace de la fém. induite dans un enroulement et  $I_e$  est l'intensité du courant d'excitation :  $0 < I_e < 50A$

- En charge cet alternateur alimente une installation triphasée équilibrée, inductive, de facteur puissance  $0,80$ , sous une tension efficace nominale  $U_n = 5000V$  entre phases.

L'intensité efficace du courant en ligne est alors  $I_n = 200A$  et le courant d'excitation  $I_e = 32A$

1-Déterminer le nombre de poles de la machine.

2-Calculer les courants nominaux qui doivent être figurés sur la plaque signalétique.

3-En fonctionnement à vide, pour une tension entre phases égales à  $5000 \text{ V}$  , déterminer la valeur efficace  $E$  de la f.é.m. induite à vide dans un enroulement, le courant d'excitation et la valeur du flux maximal embrassé par une spire.

4-Essai en charge :

a) Donner le schéma équivalent d'un enroulement et l'équation correspondante .Traçer le diagramme vectoriel et en déduire la réactance synchrone  $X_s$  (on suppose que  $R$  est négligeable devant  $X_s$ )

b) Calculer la puissance utile, les différentes pertes, la puissance absorbée totale, le rendement et le moment du couple nécessaire

## 4.12 Corrigé

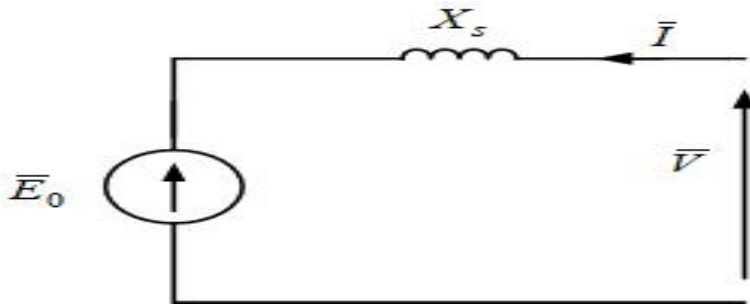
1-Le nombre des poles de l'alternateur est 4

2-Les courants nominaux qui doivent être figurés sur la plaque signalétique sont :  $231A/400A$

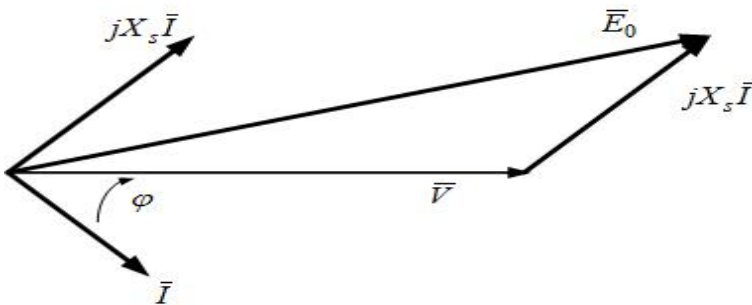
3-À vide la force électromotrice est  $E_0 = 2887V$ . Le courant d'excitation est  $I_e = 29A$  et le flux  $\Phi = 0.051wb$

4-Essai en charge

a) La résistance  $R$  est négligeable devant  $X_s$ . Le schéma équivalent par phase est :



Le diagramme vectoriel est :



La réactance synchrone  $X_s = 2.41\Omega$

b) La puissance utile ( $P_u = 1384KW$ ), l'ensemble des pertes  $\Sigma(pertes) = 75.24KW$ , la puissance absorbée est  $P_a = 1459.24KW$

Le rendement est  $\eta = 0.95$  et le moment de couple nécessaire est  $C_{em} = 9295N.m$

## 4.13 Exercice 7

Un alternateur triphasé dont les enroulements du stator sont couplés en étoile, est entraîné à sa vitesse de rotation  $n = 1500$  tr/mn. Sa puissance apparente nominale est :

$S_n = 3,2$  kVA.

La tension entre phases a pour valeur efficace :  $U_n = 220V$  et pour fréquence  $50$  Hz .

- Un essai à vide, à la vitesse de rotation nominale, a donné les résultats suivants :  $E_0$  est la tension entre phases

j(A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.52	0.72	0.9
$E_0(V)$	0	40	80	120	160	200	240	260

Pour un courant d'excitation  $I_e = 0,40 \text{ A}$ , un essai en court-circuit a montré que le courant dans un enroulement statorique a pour intensité efficace  $I_{cc} = 8 \text{ A}$ . La résistance du stator est négligeable.

1- Quel est le nombre de pôles du rotor.

2- Calculer l'intensité efficace du courant nominal que peut débiter l'alternateur.

3-Déterminer la réactance synchrone

4-L'alternateur débite un courant d'intensité efficace  $I = 8,4 \text{ A}$  dans une charge inductive de facteur de puissance 0.5. Le courant d'excitation étant égal à  $I_e = 0,9 \text{ A}$ , Calculer la tension de l'alternateur.

## 4.14 Corrigé

1-Le nombre de pôles de rotor est 4

2-Le courant nominal qui peut débiter l'alternateur est  $I = 8,4 \text{ A}$

3-La réactance synchrone  $X_s = 11,5 \Omega$

4-La tension de l'alternateur est  $V = 59 \text{ V}$

## 4.15 Exercice 8

On admet que la réactance synchrone d'un alternateur triphasé, tétrapolaire, est égale à  $49 \Omega$  et qu'elle est constante. Les enroulements statoriques sont couplés en étoile. A la fréquence de rotation nominale, dans sa zone utile, la caractéristique à vide  $E = f(I_e)$  est assimilable à une droite passant par l'origine et le point  $I_e = 20 \text{ A}; E = 15 \text{ kV}$  ( $I_e$  : intensité du courant d'excitation et  $E$  : tension efficace mesurée entre deux bornes). La résistance de stator est négligeable.

1-Quelle est la vitesse de rotation de la roue polaire si la fréquence du courant débité par le stator est égale à  $50 \text{ Hz}$ .

2-L'alternateur débite dans une charge triphasée résistive. Les tensions entre phases sont équilibrées et chacune d'elles est égale à  $10 \text{ kV}$ , La f.é.m. synchrone  $E$  par phase a pour valeur efficace  $6,35 \text{ kV}$ .

a) Calculer l'intensité efficace du courant en ligne.

b) Quelle est la puissance utile de l'alternateur ?

3-Dans un autre essai l'alternateur fournit une puissance de  $1 \text{ MW}$ . Les tensions entre phases sont équilibrées et chacune d'elles est encore égale à  $10 \text{ kV}$ . L'intensité du courant dans une

phase est en retard de 45 degrés

a) Quelle est la f.e.m. synchrone de l'alternateur

b) Déterminer l'intensité du courant d'excitation.

4- Calculer le rendement de la machine pour les conditions de fonctionnement de la question 3, sachant que la puissance de l'excitation est égale à 1kW et que la puissance fournie par le moteur d'entraînement est de 20 kW quand l'alternateur tourne à vide

## 4.16 Corrigé

1-La vitesse de rotation de la roue polaire est  $n_s = 1500 \text{tr}/\text{mn}$

2-L'alternateur débite dans une charge résistive

a)Le courant débité par l'alternateur est  $I = \sqrt{E_0^2 - V^2}/X_s = 54A$

b)La puissance utile de l'alternateur est  $P = 934.2KW$

3-L'alternateur débite dans une charge à caract'ère inductive

a)La f.e.m synchrone de l'alternateur est  $E_0 = 6726V$

b)Le courant d'excitation est  $I_e = 15.5A$

4-Le rendement de l'alternateur est  $\eta = 0.98$

## 4.17 Exercice 9

Un moteur synchrone triphasé á rotor cylindrique, non saturé, entrainant une génératrice á courant continu, a les caractéristiques suivantes : Tension de ligne  $U = 3800 \text{ V}$ , couplage étoile ,50 Hz ,2 p = 4 , R est négligable devant  $X_s$  ;  $X_s = 2\Omega$

1. La machine á courant continu débite un courant de 2000 A sous 550 V. On régle l'excitation de la machine synchrone pour que  $\cos(\phi)=1$ . Quel est le courant absorbé par la machine synchrone, sachant que chacune des deux machines a un rendement égal á 0,9 (sans tenir compte des pertes par excitation.)

2. Calculer le couple mécanique á l'arbre

3. Sans modifier la puissance fournie par la machine á courant continu, on fait augmenter l'excitation de la machine synchrone pour régler  $\cos(\phi) = 0.8$  Calculer  $E_0$  et l'angle de charge mécanique

## 4.18 Corrigé

1-Le courant absorbé par la machine synchrone est  $I = P_e / (\eta_g \cdot \eta_m \cdot \sqrt{3} \cdot U) = 206.33A$

2-Le moment du couple mécanique est  $C_m = 8653 N.m$

3-La force électromotrice est  $E_0 = 1929 V$  et l'angle mécanique est  $\theta = 17$

## 4.19 Exercice 10

Une installation comporte en parallèle :

- un récepteur triphasé
- un moteur synchrone triphasé.

1- Le récepteur triphasé alimenté par un réseau triphasé 220/380V, 50Hz est constitué de :

- 10 moteurs triphasés absorbant une puissance active totale de 96000W (circuit inductif de facteur de puissance  $\cos(\phi)=0.6$ )
- 2 fours thermiques absorbant une puissance active totale de 42400W
- 3 condensateurs identiques montés en triangle et fournissant une puissance réactive totale de 9700VAR.

a) Calculer pour l'ensemble du récepteur (moteurs + fours + condensateurs)

- Les puissances active et réactive absorbées
- Le courant dans un fil de ligne et le facteur de puissance global

b) Calculer la capacité de chaque condensateur.

2- Le moteur synchrone triphasé fonctionne à  $\hat{A}$  vide (compensateur synchrone) et en mode surexcité, ses phases sont couplées en étoile et il présente la caractéristique à vide suivante :

$I_e(A)$	0	1	2	3	4	5	7.5	10
$E_0(V)$	0	185	340	435	490	520	580	610

$I_e$  : courant d'excitation

$E_0$  : f.é.m. à vide mesurée entre phases

Le couple sur l'arbre est nul, il absorbe un courant  $I=21A$  et le courant d'excitation vaut  $I_e=10A$ .

Calculer pour ce moteur, en admettant que toutes ses pertes sont négligeables.

- a) la réactance synchrone de chaque phase
- b la puissance réactive fournie
- c) Déduire des deux questions précédentes et pour l'ensemble (récepteur + moteur synchrone)
  - c-1) le courant total dans un fil de ligne
  - c-2) le facteur de puissance

## 4.20 Corrigé

1-

a) Les puissances actives et réactives absorbées sont :  $P=138.4\text{Kw}$  et  $Q=118.3\text{KVAR}$

Le courant dans un fil de ligne est  $I=277\text{A}$

Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi) = 0.76$

b) La capacité de chaque condensateur est  $C = 71\mu\text{F}$

2-Compensateur synchrone

a) La réactance synchrone est  $X_s = 13.2\Omega$

b) La puissance réactive est  $Q=6574\text{VAR}$

c)

c-1) Le courant de ligne est  $I=270\text{A}$

c-2) Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi) = 0.78$

## 4.21 Exercice 11

1-La plaque signalétique de l'alternateur triphasé d'un groupe de secours comporte les indications suivantes :  $16\text{ KVA}$  ,  $220/380\text{V}$  ,  $50\text{Hz}$  ,  $1000\text{ tr/min}$

a) Cet alternateur devant pouvoir être couplé sur le réseau de distribution  $220-380\text{V}/50\text{Hz}$ , préciser le seul couplage possible pour les enroulements du stator.

b) Calculer le nombre de pôles du rotor.

2) Dans tout la suite du problème l'alternateur sera couplé en étoile et entraîné à la vitesse de rotation constante égale à  $1000\text{tr/min}$ .

On a procédé aux essais à vide et en court-circuit de cet alternateur :

j(A)	0	1	2	3	4	5	7	8	9	10
E0(V)	0	120	240	360	480	600	740	790	810	

j(A)	0	1	2	3
I <sub>cc</sub> (A)	0	10	20	30

La mesure de résistance entre deux phases du stator a donné  $R = 0,4\Omega$

a) Donner le schéma équivalent d'une phase de la machine en convention générateur.

b) Calculer les éléments R et X<sub>s</sub> du schéma équivalent.

c)- Tracer le diagramme bipolaire pour un enroulement du stator dans le cas où l'alternateur débite un courant de  $20\text{A}$  (On négligera l'influence de la résistance R), sur une charge

inductive avec un facteur de puissance de 0.8

d) En déduire la valeur de  $E_0$ , puis de  $I_e$

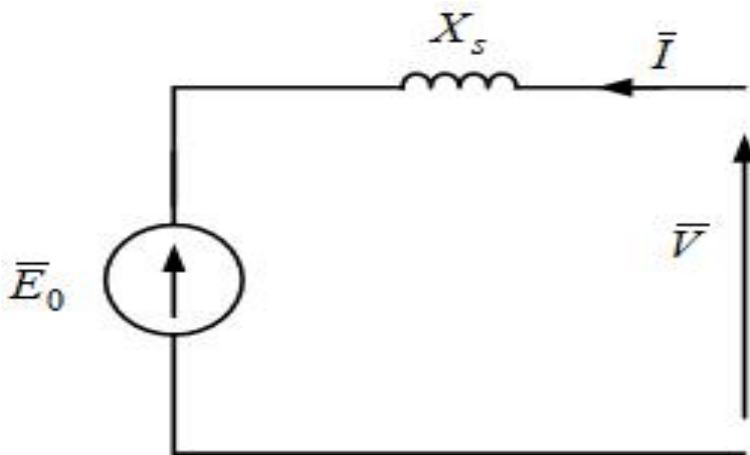
## 4.22 Corrigé

1- a) Le stator doit être couplé en étoile

b) Le nombre des pôles de l'alternateur est  $2P = 6$

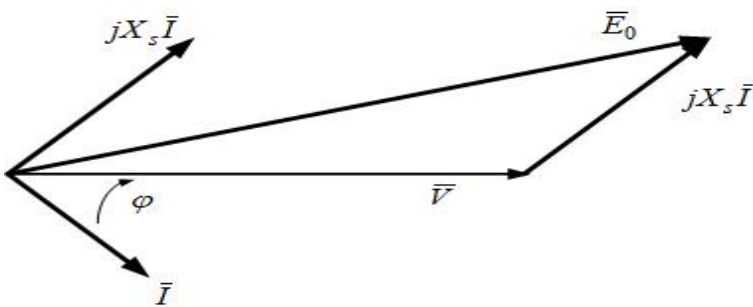
2-

a) Le schéma équivalent par phase est le suivant :



b) Les éléments du schéma équivalent sont :  $R = 0.2\Omega$  et  $X_s = 12\Omega$

c) Le diagramme vectoriel est représenté comme suit :



d) La valeur de la force électromotrice est  $E_0 = 411V \Rightarrow$  le courant d'excitation est  $I_e = 3.43A$

## 4.23 Exercice 12

Le rotor d'un alternateur triphasé, 50 Hz, tourne à la vitesse de 750 tr/mn ; son stator comporte 120 encoches régulièrement réparties, chacune d'elles contient 4 conducteurs. Toutes les encoches sont utilisées, les 3 phases sont couplées en étoile et leur résistance est négligée dans le problème. Le coefficient de Kapp est 2.14. On donne le flux par pôle en fonction de l'excitation :



j(A)	8	10	11.8	15.4	17	20	26	34
phi(Wb)	0.05	0.061	0.07	0.085	0.09	0.097	0.105	0.108

- a) Quel est le nombre de pôles de l'alternateur
- b) Quelle est la tension nominale à vide pour  $I_e=15.4A$
- c) l'alternateur débite 150A dans une charge purement inductif sous la tension de 962V entre fils de ligne avec une excitation de 15.4A. Calculer la réactance synchrone
- d) l'alternateur débite 80A avec un facteur de puissance de 0.8AV, calculer la tension simple de l'alternateur sachant que le courant d'excitation reste égale à 15.4A. Calculer alors la puissance fournie à la charge
- e) refaire la même chose pour un récepteur de facteur de puissance 0.8AR
- f) On souhaite obtenir une tension simple de 1270V en sortie de l'alternateur en débitant 80A avec un facteur de puissance de 0.8AR, déterminer graphiquement la fem à vide  $E_0$ , déduire le courant d'excitation correspondant

## 4.24 Réponse

- a) Le nombre de pôles de l'alternateur est  $2P = 2.60.f/n_s = 8poles$
- b) La tension à vide est  $E_0 = 2.14.N.\Phi.f = 1198V$
- c) La réactance synchrone  $X_s = (E_0 - V)/I = 4.28\Omega$
- d) La tension  $V = \sqrt{(E_0^2 - (X_s.I.\cos(\varphi))^2 + X_s.I.\sin(\varphi)} = 1386V$
- e) Lorsque  $\cos(\varphi) = 0.8AR$ , la tension  $V = 928V$
- f) La force électromotrice  $E_0 = \sqrt{(V + X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2} = 1531V$
- Le flux par pôle est  $\Phi = E_0/2.14.N.f = 0.09wb \Rightarrow I_e = 17A$

## 4.25 Exercice 13

Un alternateur 400 hz est entraîné par un moteur synchrone 50hz alimenté par un réseau triphasé 380 V entre phase comme le montre la figure suivante :

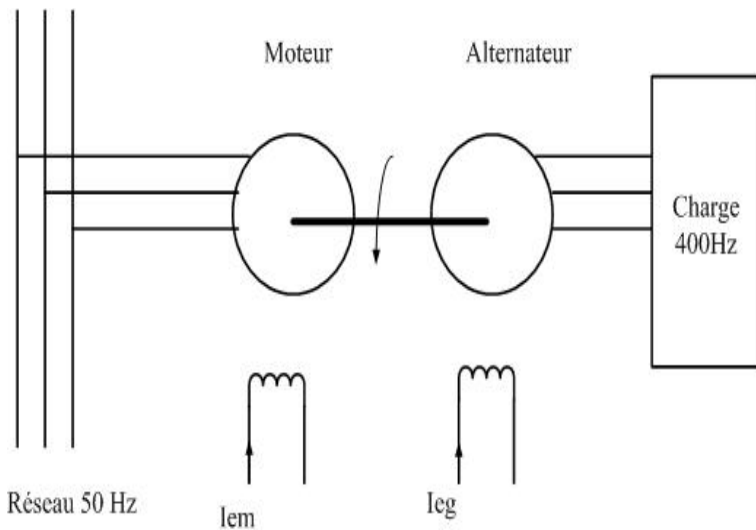
les deux machines sont couplées en étoile et elles ont pour caractéristiques par phase :

- Moteur : fem  $E_m$  et courant d'excitation  $I_{em}$  ; réactance synchrone  $X_{sm} = 2\Omega$

- Alternateur : fem  $E_g$  , courant d'excitation  $I_{eg}$  et réactance synchrone  $X_{sg} = 0.75\Omega$

on néglige les pertes des deux machines ainsi que les résistances des phases

1-La charge triphasée 400 hz absorbe un courant I de 30A avec un facteur de puissance de



0.6 AR sous une tension de 115V

a) le moteur comporte une paire de pôles, quelle la vitesse de rotation du groupe, quel doit être le nombre de pôles de l'alternateur

b) Quelle doit être la valeur de  $E_g$  pour que la charge soit alimentée sous une tension de 115V, quelle puissance et quel couple sont fournis par le moteur

2-la fem du moteur es réglée pour que son facteur de puissance soit égal à 1 lorsque la charge est alimentée

a) quelle est la valeur de courant absorbé par le moteur, déduire la valeur de  $E_m$

b) On debranche la charge sans modifier  $E_m$ , quel est le courant absorbé par le moteur et quel est son déphasage par rapport à V

## 4.26 Réponse

1- $I = 30A$ ,  $V = 115V$  ;  $\cos(\varphi) = 0.8$  ,  $f_g = 400Hz$  et  $f_m = 50Hz$

a) La vitesse de rotation du groupe est  $n_s = 60 \cdot f_m / P - m = 3000tr/mn$ . Le nombre de pôles de l'alternateur est  $2P_g = 60 \cdot f_g / n_s = 8$

b) La force électromotrice de l'alternateur est  $E_g = 130V$

Les pertes sont négligables  $\Rightarrow P_{mecanique} = P_{electrique} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 4775W$ . Le couple moteur est  $C_m = P_{mecanique} / \Omega_s = 15.2N.m$

2-Le facteur de puissance de moteur est égal à 1

a) Le courant absorbé par le moteur est  $I_m = P_{electrique} / (\sqrt{3} \cdot U) = 7.26A$

$$E_m = \sqrt{(V_m)^2 + (X_{sm} \cdot I_m)^2} = 220.47V$$

b) La charge est déconnectée  $\Rightarrow \varphi_m = 0 \Rightarrow I_m = (E_m - V_m) / X_s = 0.235A$

## 4.27 Exercice 14

une machine synchrone tetrapolaire  $S=10\text{KVA}$  ;  $127\text{-}220\text{V}$  ;  $50\text{hz}$  , est couplée sur un réseau  $127\text{-}220\text{V}\text{-}50\text{hz}$  Sa caractéristique à vide relevée entre phases à la vitesse de synchronisme est donnée dans le tableau suivant :

j(A)	3.5	5	8.5	10	15	20
E(V)	113	150	220	242	296	330

Un essai en courtcircuit donne  $I_{cc} = 20\text{A}$  pour  $I_e = 5.8\text{A}$  .Les pertes constantes sont considérées négligables

1- Fonctionnement en alternateur

- Quel est le couplage du stator
- Quel est le courant de ligne nominal de cette machine
- Quel est la vitesse de synchronisme
- Tracer la caractéristique à vide
- Calculer la réactance synchrone
- La machine étant à vide, quelle est la valeur de  $I_e$  , pour un courant  $I=0$
- La machine étant à vide ( $P=0$ ), calculer  $I$  pour  $I_e=5\text{A}$  et pour  $I_e=20\text{A}$ , calculer pour chaque cas la valeur de la puissance réactive  $Q$ .
- L'alternateur fournissant une puissance  $P$  de  $5\text{KW}$  au réseau , déterminer le courant  $I$ , le déphasage  $\varphi$  , l'angle interne  $\theta$ , le couple électromagnétique  $C_{em}$  et  $Q$  pour deux valeurs de  $I_e = 3.5\text{A}$  et  $20\text{A}$ .

2-Fonctionnement en moteur synchrone

- on exerce sur l'arbre un couple résistant de  $31.83\text{ N.m}$ , calculer le courant  $I$ , le déphasage  $\varphi$ , l'angle interne  $\theta$ , le couple électromagnétique  $C_{em}$  et  $Q$  pour deux valeurs de  $I_e = 3.5\text{A}$  et  $20\text{A}$
- Maintenant, le moteur fonctionne en compensateur synchrone, il est à vide et couplé sur le réseau avec  $I_e=20\text{A}$ , calculer la puissance réactive qu'il fournit

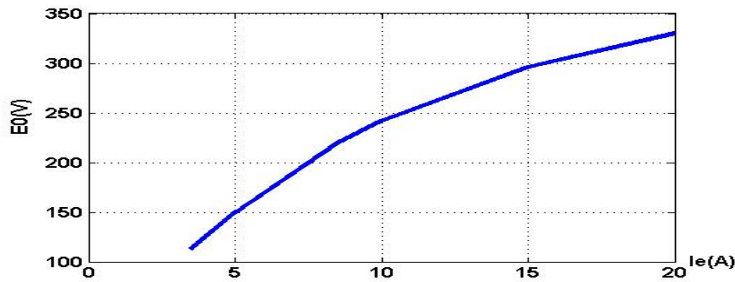
## 4.28 Réponse

1-Fonctionnement en mode alternateur

- Le stator doit être couplé en étoile car la tension supportée par chaque enroulement est égale à la tension simple du réseau
- Le courant de ligne est  $I = S/\sqrt{3}.U = 26\text{A}$

c) La vitesse de synchronisme est  $n_s = 60.f/P = 1500 \text{tr}/\text{mn}$

d) La caractéristique à vide



e) Si  $I_e = 5.8A \Rightarrow E_{cc} = 166/\sqrt{3} = 96V$ . La réactance synchrone  $X_s = E_{cc}/I_{cc} = 4.8\Omega$

f) La machine fonctionne à vide  $\Rightarrow V = E_0 = 127V \Rightarrow I_e = 4A$

g) La puissance fournie par l'alternateur à vide est nulle  $\Rightarrow \varphi = \pm\pi/2$

-Si  $I_e = 5A$  on a  $E_0 = 150/\sqrt{3} = 86.6V$ . Le courant  $I = (V - E_0)/X_s = 8.4A$

-Si  $I_e = 20A$  on a  $E_0 = 330/\sqrt{3} = 173.2V$ . Le courant  $I = (E_0 - V)/X_s = 9.62A$

h) L'alternateur fournit une puissance  $P = 5KW \Rightarrow I.\cos(\varphi) = P/\sqrt{3}.U = 13A$  et Le couple électromagnétique est  $C_{em} = P/\Omega_s = 31.83N.m$

-Si  $I_e = 3.5A \Rightarrow E_0 = 65V < 127V \Rightarrow Q = -8634VAR$ ,  $\varphi = -60$  degrés,  $I = 26.31A$  et  $\theta = -73$  degrés

-Si  $I_e = 20A$  on a  $E_0 = 190V \Rightarrow$ ,  $Q = 4160VAR$ ,  $\varphi = \arctg(Q/P) = 40$ ,  $I = 17A$  et  $\theta = 19$  degrés

2-Fonctionnement en mode moteur

a) Les pertes constantes sont négligables  $\Rightarrow C_{em} = C_u = C_r = 31.83N.m$  et  $I.\cos(\varphi) = 13A$

-Si  $I_e = 3.5A \Rightarrow E_0 = 65V < 127V \Rightarrow Q = 8634VAR$ ,  $\varphi = \arctg(Q/P) = 60$  degrés

$I = 26.31A$  et  $\theta = 73$  degrés

Si  $I_e = 20A$  on a  $E_0 = 190V \Rightarrow Q = -4160VAR$   $\varphi = -40$  degrés,  $I = 17A$  et

$\theta = 4.5$  degrés

b) Le moteur fonctionne en compensateur synchrone donc  $\varphi = -\pi/2$ . La puissance réactive fournie est  $Q = -\sqrt{3}.U.(E_0 - V)/X_s = 4995VAR$

## 4.29 Exercice 15

La plaque signalétique d'un alternateur triphasé porte les indications suivantes :  $U=5500V$  ;  $S=110KVA$  ;

$2p=6$ , couplage étoile ; Résistance mesurée entre deux bornes =  $4\Omega$ .

La caractéristique à vide est une droite d'équation :  $E_0 = 115.I_e$ , celle en court-circuit est

$I_{cc} = 1.1I_e$

1-Calculer :

- a) la fréquence  $f$
- b) la résistance d'une phase du stator
- c) l'intensité efficace de courant de ligne
- d) la réactance synchrone  $X_s$

2-L'alternateur débite son courant nominal sous une tension  $U=5500V$  dans une charge triphasé de facteur de puissance 0.8AR

- a) Calculer la puissance active
- b) Calculer la puissance réactive
- c) Tracer le diagramme vectoriel ( on néglige  $R$  devant  $X_s$ )
- d) Donner la valeur de  $E_0$ , déduire le courant d'excitation

## 4.30 Réponse

1- a) La fréquence  $f = n_s \cdot P / 60 = 50 \text{ Hz}$

b) Le stator est couplé en étoile donc  $R = R_m / 2 = 2 \Omega$

c) Le courant nominal débité par l'alternateur est  $I = S / (\sqrt{3} \cdot U) = 11.56 \text{ A}$

d) La réactance synchrone  $X_s = \sqrt{((E_{cc} / I_{2cc})^2 - R^2)} = 105 \Omega$

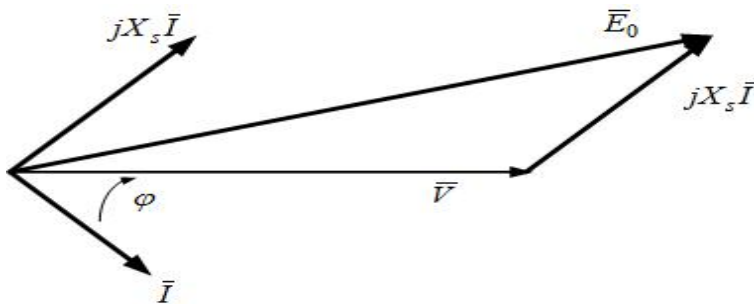
2- Le facteur de puissance de la charge est 0.8AR

a) La puissance active est  $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 87995 \text{ W}$

b) La puissance réactive  $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin(\varphi) = 85996 \text{ VAR}$

c) La résistance  $R$  est négligable devant  $X_s \Rightarrow \bar{E}_0 = \bar{V} + j i \cdot X_s \cdot \bar{I}$  pour cela

le diagramme vectoriel est le suivant :



d) La valeur de la force électromotrice est  $E_0 = 4026 \text{ V}$

Le courant d'excitation est  $I_e = E_0 / 115 = 35 \text{ A}$

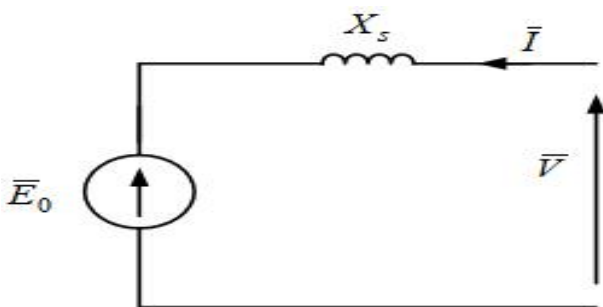
### 4.31 Exercice 16

Une machine synchrone a 6 pôles fonctionne en moteur synchrone. La résistance du stator est négligable et la réactance synchrone est égale à  $8\Omega$ . On applique aux bornes de chaque enroulement statorique une tension de 220V, fréquence 50hz. Le moteur développe une puissance de 5KW. Toutes les pertes sont négligables

- 1- Donner le schéma équivalent monophasé
- 2- Calculer la vitesse de rotation  $n_s$
- 3- Calculer le couple utile
- 4- Sachant que le facteur de puissance de moteur est de 0.8AR
  - a) Calculer le courant absorbé par le moteur
  - b) Calculer la puissance réactive Q
  - c) Calculer la force contre électromotrice de moteur  $E_0$
  - d) le moteur est sous excité ou surexcité
- 5) On change le courant d'excitation  $I_e$  tel que le facteur de puissance devient égal à 1
  - a) Calculer le courant absorbé par le moteur
  - b) Calculer la puissance réactive Q
  - c) Calculer la force contre électromotrice de moteur  $E_0$
- 6- Le facteur de puissance devient 0.8AV
  - a) Calculer le courant absorbé par le moteur
  - b) Calculer la puissance réactive Q
  - c) Calculer la force contre électromotrice de moteur  $E_0$
  - d) Le moteur est surexcité ou sous excité

### 4.32 Réponse

1- Le schéma équivalent monophasé est



2- La vitesse de synchronisme est  $n_s = 60.f/P = 1000tr/mn$

3-Le couple utile est  $C_u = P_u/\Omega = 47.74N.m$

4-Toutes les pertes sont négligables  $\Rightarrow P_a = P_u$

a) Le courant  $I = P_a/(\sqrt{3}.U.I) = 9.5A$

b)La puissance réactive  $Q = 3750VAR$

c)La force électromotrice est  $E_0 = \sqrt{(V - X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2} = 185V$

d) $E_0 < V$  et  $Q > 0$ , donc le moteur est sousexcité

5-Le facteur de puissance est égale à 1

a) Le courant absorbé est  $I = P_a/\sqrt{3}.U = 7.6A$

b)La puissance réactive est  $Q = 0$

c)La force électromotrice est  $E_0 = \sqrt{V^2 + (X_s.I)^2} = 228V$

6-Le facteur de puissance est égal à 0.8AV

a)Le courant  $I = 9.5A$

b)La puissance réactive  $Q = \sqrt{3}.U.I.\sin(\varphi) = -3750VAR$

c)La force électromotrice est  $E_0 = \sqrt{(V + X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2} = 272V$

d) $E_0 > V$  et  $Q < 0$ , donc le moteur est surexcité

### 4.33 Exercice 17

un alternateur dont le stator est couplé en étoile tourne à la vitesse de 1500tr/mn .la fréquence est de 50hz.La résistance d'une phase est  $R = 0.8\Omega$  On a relevé la caractéristique à vide

j(A)	0	0.25	0.4	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	3
E(V)	10	86	131	156	192	213	226	240	252	262	305

un essai en courtcircuit a donné  $I_{cc}=48A$  pour  $I_e=0.5A$

1-Donner le nombre des pôles de l'alternateur

2-Calculer la réactance synchrone  $X_s$

3-Tracer la caractéristique à vide

4- L'alternateur débite un courant de ligne de 30A dans un récepteur inductif de facteur de puissance 0.8 sous une tension de 380V entre phases.on néglige R devant  $X_s$

a) Tracer le diagramme vectoriel

b) Calculer  $E_0$ , déduire le courant d'excitation  $I_e$

5-Donner la valeur de la tension à la sortie de l'alternateur dans le fonctionnement suivant :

$I=17.65A$  ;  $I_e = 1A$  et  $\cos(\varphi) = 0.8AV$

6-Calculer  $V$  pour le fonctionnement suivant :  $I=20A$  ;  $I_e = 1A$  et  $\cos(\varphi) = 0.6AR$

7-On branche un récepteur triphasé aux bornes de l'alternateur. Le récepteur consomme une puissance active  $P=4KW$  et une puissance réactive  $Q=3KVAR$

a) Sachant que  $V=220V$ , calculer le courant débité par l'alternateur

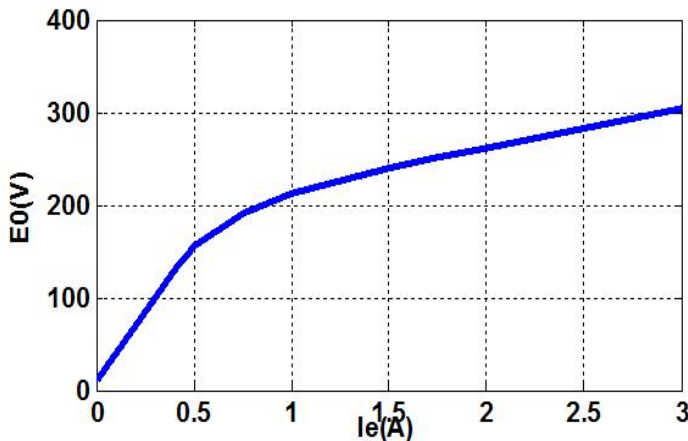
b) Déterminer  $E_0$ , déduire le courant d'excitation

### 4.34 Réponse

1-Le nombre des poles de l'alternateur est  $2P = 60.f/n_s = 4$

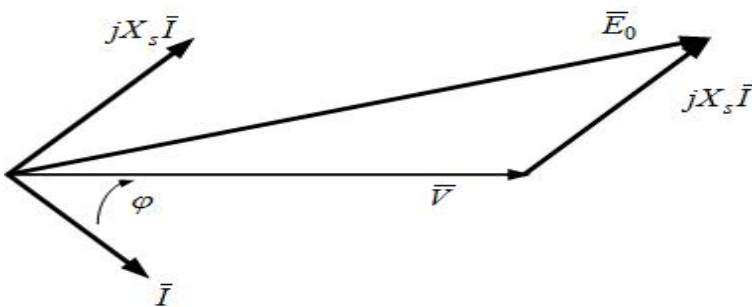
2-La réactance synchrone est  $X_s = \sqrt{((E_{cc}/I_{cc})^2 - R^2)} = 3.15\Omega$

3-La caractéristique á vide est la suivante :



4-La résistance  $R$  est négligable devant  $X_s$

a) Le diagramme vectoriel  $\vec{E}_0 = \vec{V} + jX_s \vec{I}$



b) La force électromotrice  $E_0^2 = (V + X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2 \Rightarrow E_0 = 286V$

Le courant d'excitation correspondant est  $I_e = 2.5A$

5-La tension  $V = \sqrt{(E_0^2 - (X_s.I.\cos(\varphi))^2} + X_s.I.\sin(\varphi) = 241V$

6-Si  $\cos(\varphi) = 0.6AR$ , la tension  $V = \sqrt{(E_0^2 - (X_s.I.\cos(\varphi))^2} - X_s.I.\sin(\varphi) = 160V$

7-Les puissances active et réactive sont  $P = 4KW$  et  $Q = 3KVAR$



a) Le courant débité par l'alternateur est  $I = \sqrt{P^2 + Q^2} / \sqrt{3} \cdot U = 7.57A$

b)  $E_0^2 = (V + X_s \cdot I \cdot \sin(\varphi))^2 + (X_s \cdot I \cdot \cos(\varphi))^2 \Rightarrow E_0 = 235V$

Le courant d'excitation  $I_e = 1.45A$

### 4.35 Exercice 18

Un alternateur triphasé dont le stator est couplé en étoile, fournit entre phases une tension  $U=2400V$  de fréquence 50hz. Les caractéristiques à vide et en court circuit sont illustrées dans les tableaux suivants :

Ie(A)	0	0.5	1	1.5	3	4	5	6	7	8	9	10
E(V)	0	200	400	600	1200	1500	1660	1720	1760	1780	1790	1800

Ie(A)	0	0.5	1	1.5
Icc(A)	0	400	800	1200

dans tout le problème on néglige la résistance R devant  $X_s$  et toutes les pertes

1-Tracer la caractéristique à vide

2-Le rotor tourne à une vitesse angulaire de 15.7 rd/s, donner le nombre des poles

3- pour un courant  $I=1000A$ , calculer la réactance synchrone

4-L'alternateur débite un courant  $I=1000A$  dans un circuit de facteur de puissance 0.8AR

a) Tracer le diagramme vectoriel des tensions

b) Déterminer la fem  $E_0$

c) Déduire le courant d'excitation correspondant

5-Maintenant la machine fonctionne en moteur synchrone, il est alimenté par un réseau triphasé de tension composée  $U=2400V$ , de fréquence 50hz, il développe un couple moteur de 2000N.m

a) Calculer la puissance absorbée

b) Le courant est en retard par rapport à V d'un angle de 30 degrés, calculer le courant I

c) Déterminer la puissance réactive Q

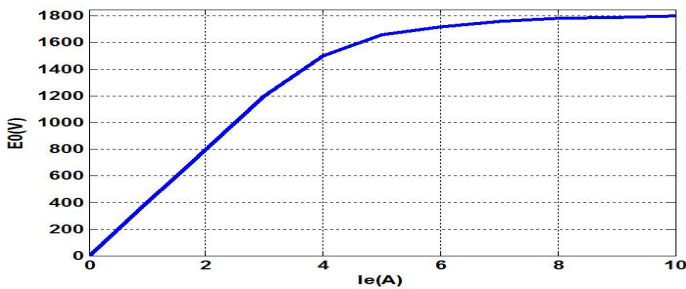
d) Déterminer  $E_0$ , déduire  $I_e$  courant d'excitation

6-Le courant est en phase avec la tension, calculer I;  $E_0$  et  $I_e$

7-Réfaire la même chose lorsque le courant I est en avance par rapport à V d'un angle de 30 degrés

## 4.36 Corrigé

1- Caractéristique à vide

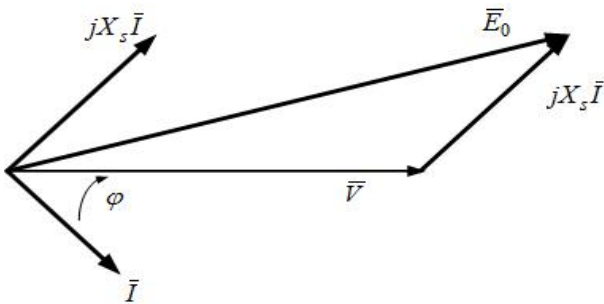


2- Le nombre des pôles  $2P = 2.60.f/n_s = 40 \text{ poles}$

3- La réactance synchrone  $X_s = E_{cc}/I_{cc} = 0.5\Omega$

4-  $\cos(\varphi) = 0.8AR \Rightarrow \varphi = 37^\circ$

a) Le diagramme vectoriel des tensions  $\vec{E}_0 = \vec{V} + j\vec{i}.X_s$



b) D'après le diagramme vectoriel  $E_0^2 = (V + X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2 \Rightarrow E_0 = 1732V$

c) à partir de la caractéristique à vide, on déduit que  $I_e = 6.3A$

5- Fonctionnement en mode moteur

a) Toutes les pertes sont négligeables  $\Rightarrow$  la puissance absorbée est égale à la puissance utile

$$P_a = C_u \cdot \Omega = 31400W$$

b) Le courant absorbé est  $I = P_a / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)) = 8.7A$

c) La puissance réactive  $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin(\varphi) = 18061VAR$

d) La machine fonctionne en mode moteur donc  $\vec{E}_0 = \vec{V} + j\vec{i}.X_s$

$$\text{Donc } E_0^2 = (V - X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2 \Rightarrow E_0 = 1385V.$$

Le courant d'excitation correspondant est  $I_e = 3.62A$

6- Le courant est en phase avec la tension  $I = P_a / \sqrt{3} \cdot U = 7.56A$ .

$$E_0 = \sqrt{V^2 + (X_s.I)^2} = 1387V \text{ et } I_e = 3.62A$$

7- Le courant est en avance par rapport à la tension d'un angle  $30^\circ$ . Le courant  $I = 8.7A$

La puissance réactive  $Q = -18061VAR$

La force électromotrice  $E_0^2 = (V + X_s.I.\sin(\varphi))^2 + (X_s.I.\cos(\varphi))^2 \Rightarrow E_0 = 1390V$ .

Le courant d'excitation correspondant est 3.63A



# Chapitre 5

## Le Moteur Asynchrone Triphasé

### 5.1 Exercice 1

Sur la plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé à cage, on lit

les indications suivantes :  $220/380V$  ;  $50\text{hz}$  ;  $70/40A$  ;  $\cos(\varphi) = 0.86$  et  $n = 725\text{tr}/\text{mn}$ .

Sachant que la résistance d'un enroulement du stator est  $R_1 = 0.15\Omega$ , que les pertes fer du stator sont de  $500W$  et que la tension du réseau est de  $380V$  entre phases, déterminer :

- Le mode de couplage des enroulements du stator
- La vitesse de synchronisme et le nombre de paires de pôles par phase
- Les pertes par effet joule du stator
- Le glissement
- Les pertes par effet joule dans le rotor
- Le rendement du moteur

Les pertes mécaniques sont négligeables

### 5.2 Correction

- La tension supportée par chaque enroulement est égale à la tension simple du réseau triphasé. Les enroulements statoriques doivent être couplés en étoile
- La vitesse de synchronisme  $n_s = 750\text{tr}/\text{mn} \Rightarrow P = 4$
- Les pertes par effet joule au stator  $P_{js} = 3R_1 \cdot J_1^2 = 720W$
- Le glissement  $g = (n_s - n)/n_s = 0.033$
- Les pertes joule rotorique  $P_{jr} = g \cdot (P_a - (P_{js} - P_{fs})) = 707W$
- Le rendement du moteur est  $\eta = P_u/P_a = 0.913$

### 5.3 Exercice 2

Un moteur asynchrone triphasé tetrapolaire est alimenté par un réseau 380V-50hz. La résistance du stator mesurée entre deux fils de phase est de  $0.9\Omega$ . En fonctionnement à vide, le moteur absorbe un courant de 9.1A et une puissance de 420W

1- Déterminer les pertes fer du stator et les pertes mécaniques en les supposant égales.

2- En charge nominale, la puissance utile sur l'arbre du rotor est de 4KW, le facteur de puissance est 0.85 et le rendement est égal à 0.87. Déterminer :

- L'intensité de courant absorbé
- Les pertes joule au stator
- Les pertes joule au rotor
- Le glissement et la vitesse de rotation
- Le couple utile

### 5.4 Correction

1-La puissance absorbée à vide est  $P_{a0} = P_{js0} + P_{fs} + P_{mec}$  donc

$$P_{fs} = P_{mec} = (P_{a0} - P_{js0})/2 = 154W$$

2-Fonctionnement nominal

a) Le courant absorbé  $I = P_u / (\eta \cdot \sqrt{3} U \cdot \cos(\varphi)) = 8.2A$

b) Les pertes joule statoriques  $P_{js} = (3/2) \cdot R_m \cdot I^2 = 90W$

c) Les pertes joule au rotor  $P_{jr} = P_a - (P_u + P_{js} + P_{fs} + P_{mec}) = 200W$

d) le glissement  $g = P_{jr} / (P_a - P_{fs} - P_{js}) = 0.046$

La vitesse de rotation  $n = n_s(1 - g) = 1431 \text{tr/mn}$

e) Le couple utile  $C_u = P_u / \Omega = 26.7 \text{N.m}$

### 5.5 Exercice 3

Un moteur asynchrone tetrapolaire, stator monté en triangle, fonctionne dans les conditions suivantes : tension entre phases :  $U=380V$ , fréquence  $f=60\text{hz}$ , puissance utile =5KW, vitesse de rotation  $n=1710\text{tr/mn}$ ,  $\cos(\phi)=0.9$  et intensité en ligne  $I=10A$ . La résistance du stator mesurée entre deux fils de phase est de  $0.8\Omega$ .

On admettra pour ce fonctionnement, que les pertes dans le fer sont égales aux pertes par effet joule dans le stator. Pour ce régime de fonctionnement, calculer :

- Le glissement

- b) Le couple utile
- c) L'intensité de courant dans chaque phase du stator
- d) Les pertes par effet joule au stator
- e) La puissance absorbée par le moteur
- f) Les pertes joule du rotor
- g) Le rendement du moteur

## 5.6 Correction

- a) Le glissement  $g = (n_s - n)/n_s = 0.05$
- b) Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 28N.m$
- c) Le courant dans chaque phase du stator est  $J = I = 10A$
- d) Les pertes par effet joule au stator  $P_{js} = (3/2).R_m.I^2 = 120W$
- e) La puissance absorbée par le moteur est  $P_a = \sqrt{3}.U.I.\cos(\varphi) = 5917W$
- f) Les pertes joule rotorique  $P_{jr} = g.(P_a - (P_{js} + P_{fs})) = 284W$
- g) Le rendement du moteur est  $\eta = P_u/P_a = 0.68$

## 5.7 Exercice 4

Un moteur asynchrone triphasé , à rotor en court-circuit, possède des enroulements statoriques tetrapolaires branchés en étoile. Sa plaque signalétique porte les indications suivantes :

- Tension d'alimentation 380V-50hz
- Puissance utile :3.7KW
- Vitesse de rotation :1440tr/mn
- Facteur de puissance :0.8

A la charge nominale, le moteur absorbe un courant en ligne d'intensité 8A , La résistance mesurée à chaud entre deux bornes du stator est de 0.9ohm. au démarrage , le moteur développe un couple utile de 85N.m.On considère que la caractéristique mécanique  $T_u = f(n)$  est une droite dans sa partie utile et on négligera les pertes fer rotoriques ainsi que les pertes mécaniques.

Déterminer :

- a) La vitesse de synchronisme et le glissement
- b) La puissance absorbée et le couple utile

- c) Les pertes fer au stator et les pertes joule au rotor
- d) Entre quelles valeurs varie le couple utile au démarrage lorsque la tension d'alimentation varie de  $\pm 5V$

## 5.8 Correction

a) La vitesse de synchronisme  $n_s = 60.f/P = 1500tr/mn$  et le glissement  $g = 0.04$

b) La puissance absorbée  $P_a = \sqrt{3}.U.I = 4212w$

Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 25N.m$

c) Les pertes joule au stator  $P_{js} = 3R.I^2 = 173W$

Les pertes mécaniques sont négligables  $\Rightarrow P_{jr} = P_u \cdot ((n_s/n) - 1) = 154W$

Les pertes fer statoriques  $P_{fs} = P_a - (P_u + P_{js} - P_{jr}) = 185W$

d) On sait que le couple de démarrage  $C_d = (3/\pi) \cdot r_2 / (r_2^2 + (l_2 w)^2) \cdot V_1^2$

La tension  $V_{1min} = 215V \Rightarrow C_{dmin} = 85 \cdot (215/220)^2 = 81N.m$

La tension  $V_{1max} = 225V \Rightarrow C_{dmax} = 85 \cdot (225/220)^2 = 89N.m$

## 5.9 Exercice 5

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé porte les indications suivantes :

220-380V ; 50hz ; 1460tr/mn ;  $\cos(\varphi) = 0.85$  et puissance utile = 3600W

1- Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 127-220V-50hz

a) Quel est le couplage des enroulements statoriques

b) Sachant que la vitesse de synchronisme est 1500tr/mn, calculer le nombre des pôles

c) Calculer le glissement

2- Dans un essai à vide , le moteur tourne à la vitesse de synchronisme , on a mesuré :

- La puissance absorbée à vide  $P_{a0} = 300W$

- Le courant à vide  $I_0 = 4A$

- Les pertes mécaniques = 150W

- La résistance d'un enroulement statorique  $R = 0.5\Omega$

a) Donner la valeur des pertes fer rotoriques

b) Déterminer les pertes fer statoriques (on suppose que les pertes joules rotoriques sont nulles)

3- Sachant que le rendement du moteur est égal à 0.9, pour le fonctionnement nominal :

a) Calculer la puissance absorbée par le moteur



- b) En déduire le courant de ligne I
  - c) Déterminer les pertes par effet joule au stator
  - d) Déterminer les pertes par effet joule au rotor
  - e) Calculer le couple utile
- 4- Le moteur entraine un ventilateur dont le couple résistant  $C_r = 0.01n$
- a) Entre le fonctionnement á vide et le fonctionnement nominal, la caractéristique mécanique du moteur  $C_u=f(n)$  est assimilable á un segment de droite, donner l'expression numérique de  $C_u$  en fonction de  $n$
  - b) Calculer la vitesse de groupe(moteur +ventilateur)
  - c) Déterminer la puissance fournie par le moteur au ventilateur

## 5.10 Correction

1-Le réseau triphasé est 127/220V

- a)Les enroulements statoriques doivent étre couplés en triangle car la tension supportée par chaque enroulement est égale á la tension composée du réseau
- b)Le nombre de poles est égal á 4
- c)Le glissement  $g = (n_s - n)/n_s = 0.026$

2-

- a)Les pertes fer rotoriques sont nulles
- b)Les pertes fer statoriques  $P_{fs} = P_{a0} - P_{js0} - P_{mec} = 126W$

3-Fonctionnement nominal

- a) La puissance absorbée  $P_a = P_u/\eta = 4000W$
- b)Le courant de ligne  $I = P_a/(\sqrt{3}.U.cos(\varphi)) = 12.36A$
- c)Les pertes joule au stator  $P_{js} = (3/2).R_m.I^2 = 76W$
- d)Les pertes joule au rotor  $P_{jr} = (P_u + P_{mec})((n_s/n) - 1) = 103W$
- e)Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 23.54N.m$

4-Moteur +ventilateur

- a)La caractéristique mécanique est linéaire  $C_u = an + b$

-Fonctionnement á vide :  $0 = 1500n + b$

-Fonctionnement nominal :  $23.54 = 1460n + b$

on obtient l'équation suivante :  $C_u = -0.588n + 882$

- b)En régime permanent  $C_u = C_r \Rightarrow n = 1473tr/mn$

c)La puissance fournie du moteur au ventilateur est  $P_u = C_u.\Omega = 2273W$

## 5.11 Exercice 6

Un moteur asynchrone triphasé tetrapolaire 220/380V á rotor bobiné et á bagues est alimenté par un réseau 127/220V-50hz. Un essai á vide á une vitesse de rotation égale au synchronisme a donné :

- Puissance absorbée mesurée par la méthode des deux wattmètres  $P_1 = 1160W$  et  $P_2 = -660W$

Un essai en charge a donné :

- Courant absorbé  $I = 22.2A$
- Glissement  $g = 6\%$
- Puissance absorbée mesurée par la méthode de deux wattmètres :  $W_1 = 5500W$  et  $W_2 = 1200W$
- La résistance d'un enroulement statorique est  $R_1 = 1\Omega$

1- Donner le couplage du stator

2- Pour le fonctionnement á vide , calculer :

- La vitesse de rotation
- La puissance réactive
- L'intensité de courant de ligne  $I_0$
- Le facteur de puissance á vide
- Les pertes fer et les pertes mécaniques supposées égales

3- Pour le fonctionnement en charge, calculer :

- Le facteur de puissance
- La vitesse de rotation
- Le couple utile
- Le rendement

## 5.12 Correction

1-La tension supportée par chaque enroulement est égale á la tension composée du réseau, donc le stator doit étre couplé en triangle

2-Fonctionnement á vide

- La vitesse á vide est égale á la vitesse de synchronisme  $n_s = 60.f/P = 1500tr/mn$
- La puissance réactive á vide  $Q_0 = \sqrt{3} \cdot (P_1 + P_2) = 2530VAR$
- L'intensité de courant absorbé á vide  $I_0 = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2} / \sqrt{3} \cdot U = 6.8A$
- Le facteur de puissance á vide  $\cos(\varphi_0) = P_0 / \sqrt{3} \cdot U \cdot I_0 = 0.2$
- Les pertes fer statoriques  $P_{fs} = P_{mec} = (P_0 - P_{js0}) / 2 = 227W$

3-Fonctionnement en charge

-Le facteur de puissance  $\cos(\varphi) = P_a/(\sqrt{3}.I.U = 0.8$

-La vitesse de rotation  $n = n_s(1 - g) = 1410tr/mn$

-Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 38N.m$

-Le rendement  $\eta = P_u/P_a = 0.84$

## 5.13 Exercice 7

L'étude d'un point de fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné, alimenté par le réseau triphasé 220/380V-50hz a donné les valeurs suivantes :

- Vitesse de rotation  $n=1440tr/mn$

- Couple utile  $C_u = 40N.m$

- Puissance absorbée mesurée par la méthode de deux wattmètres  $P_1 = 4500W$  et  $P_2 = 1900W$

1- Quel est le nombre de pôles de ce moteur

2- Quel est le glissement

3- Calculer son rendement, son facteur de puissance et le courant de ligne

4- La caractéristique électromécanique est considéré rectiligne dans sa partie utile. Ce moteur entraîne une charge mécanique dont le couple résistant  $C_r = 10 + 0.01n$

a) Quelles seront la vitesse de groupe et la puissance utile de moteur

b) On démontre qu'un moteur asynchrone, à résistance rotorique variable, possède la propriété suivante : pour deux fonctionnements différents, mais à couple constant, le rapport  $R/g$  est lui-même constant, R étant la résistance totale de chaque phase du rotor, sa résistance propre est  $R_0 = 0.1\Omega$ . Trouver la valeur du rhéostat à introduire dans chaque phase du rotor pour que l'ensemble moteur-charge mécanique tourne à 1200tr/mn.

## 5.14 Correction

1-Le nombre des pôles est  $2P = 120.f/n_s = 4$

2-Le glissement est  $g = (n_s - n)/n_s = 0.04$

3-Le rendement est  $\eta = 0.94$ . Le facteur de puissance  $\cos(\varphi) = \cos(\arctg(Q/P)) = 0.81$

Le courant de ligne est  $I = P/(\sqrt{3}.U.\cos(\varphi)) = 12A$

4-

a) La caractéristique mécanique du moteur est rectiligne dans sa partie utile  $\Rightarrow C_u = a.n + b$

Fonctionnement à vide :  $0 = 1500a + b$

Fonctionnement nominal :  $40 = 1440a + b$

Finalement on aura  $C_u = -0.66n + 1000$

En régime nominal le couple utile est égale au couple résistant  $\Rightarrow n = 1477tr/mn$  et la puissance utile est  $P_u = 3832W$

b) La vitesse de groupe est  $n' = 1200tr/mn \Rightarrow g' = 0.2$ . Si on utilise la propriété suivante : pour un couple constant, le rapport  $R/g$  est aussi constant, on obtient la relation suivante :  $R_0/g = (R_0 + R_h)/g' \Rightarrow R_h = 0.4\Omega$

## 5.15 Exercice 8

Un moteur asynchrone dont, le stator est couplé en étoile, est alimenté par un réseau triphasé 380V entre phases -50hz. Chaque enroulement du stator a une résistance  $R_1 = 0.4\Omega$ . Lors de l'essai à vide, le moteur tourne à une vitesse de 1500tr/mn, la puissance absorbée est de  $P_0 = 1150W$ , le courant par fil de ligne est  $I_0 = 11.2A$ . Un essai avec la charge nominale sous la même tension 380V, a donné les résultats suivants :

- Glissement = 4%
- Puissance absorbée 18.1Kw
- Courant de ligne 32A

1-Essai à vide

- a) Calculer les pertes par effet joule au stator
- b) En déduire les pertes fer sachant que les pertes mécaniques sont égales à 510W (dans ce cas on suppose que les pertes rotoriques sont négligeables)

2-Essai en charge

- a) Calculer le facteur de puissance nominale
- b) Calculer la vitesse nominale de rotation
- c) Calculer la fréquence des courants rotoriques pour un glissement de 4%. Que peut on dire des pertes fer du rotor
- d) Calculer les pertes par effet joule au stator
- e) Calculer la puissance transmise du stator au rotor
- f) Déterminer la puissance électromagnétique, déduire les pertes joules rotoriques
- g) Calculer la puissance utile et le rendement en charge nominale
- h) Calculer le couple utile nominale

## 5.16 Correction

1-Essai à vide

a) Les pertes par effet joule au stator  $P_{js0} = 3.R_1.I_0^2 = 150W$

b) Les pertes fer statoriques  $P_{fs} = P_{a0} - P_{js0} - P_{mec} = 490W$

2-Essai en charge

a) Le facteur de puissance  $\cos(\varphi) = P_a/(\sqrt{3}.U.I) = 0.86$

b) La vitesse de rotation est  $n = (1 - g).n_s = 1440tr/mn$

c) La fréquence des courants rotoriques est  $f_r = g.f = 2Hz$ . Les pertes fer rotoriques sont négligables

d) Les pertes joule au stator  $P_{js} = 3.R_1.I^2 = 1229W$

e) La puissance transmise du stator au rotor est  $P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs}) = 16381W$

f) La puissance électromagnétique  $P_{em} = P_{tr} * n/n_s = 15725W$ . Les pertes joule rotoriques sont  $P_{jr} = P_{tr} - P_{em} = 655W$

g) La puissance utile  $P_u = P_{em} - P_{mec} = 15215W$ . Le rendement est  $\eta = P_u/P_a = 0.84$

h) Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 100N.m$

## 5.17 Exercice 9

Un moteur asynchrone triphasé hexapolaire à rotor à cage décureuil a les caractéristiques suivantes : 220 V / 380 V 50 Hz. La résistance mesurée d'un enroulement statorique est  $R = 1\Omega$ . Ce moteur est alimenté par un réseau 380 V entre phases, 50Hz.

1- Déterminer :

- le couplage du moteur (le justifier).

- la vitesse de synchronisme.

2- A vide, le moteur tourne à une vitesse proche de la vitesse de synchronisme, absorbe un courant de 4A et une puissance  $P_0 = 900W$ . Déterminer :

- les pertes Joule statoriques à vide

- les pertes fer statoriques sachant que les pertes mécaniques  $P_m = 452W$ .

3- A la charge nominale, le courant statorique est de 10 A, le facteur de puissance est de 0,8 et la vitesse de rotation est de 940 tr/min. Calculer :

a- la puissance absorbée

b- les pertes Joule statoriques en charge

c- la puissance transmise au rotor

d- le glissement

- e- les pertes Joule rotoriques en charge
- f- la puissance utile
- g- le rendement.
- h- le moment du couple utile

## 5.18 Correction

1- a) Chaque enroulement supporte une tension de 220V, donc les enroulements doivent être couplés en étoile

b) La vitesse de synchronisme  $n_s = 60f/P = 1000 \text{tr}/\text{mn}$

2- Fonctionnement à vide

- Les pertes joule à vide  $P_{js0} = 3R.I_0^2 = 48W$

- Les pertes fer statoriques  $P_{fs} = P_{a0} - (P_{js0} + P_{mec}) = 400W$

3- Fonctionnement en charge

a) La puissance absorbée  $P_a = \sqrt{3}U.I.\cos(\varphi) = 5265W$

b) Les pertes joule statoriques  $P_{js} = 3R_1.I^2 = 300W$

c) La puissance transmise  $P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs}) = 4565W$

d) Le glissement  $g = (n_s - n)/n_s = 0.06$

e) Les pertes joule rotoriques  $P_{jr} = g.P_{tr} = 274W$

f) La puissance utile  $P_u = P_a - \Sigma \text{pertes} = 3839W$

g) Le rendement  $\eta = P_u/P_a = 0.73$

h) Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 39N.m$

## 5.19 Exercice 10

Un moteur asynchrone triphasé est alimenté par un réseau 220/380 V, 50 Hz.

1. La plaque signalétique du moteur indique 380/660 V ; comment devra-t-on coupler cette machine au réseau.

2. La mesure de la puissance électrique absorbée par le moteur lors de l'essai à vide a donné : puissance active  $P_v = 600W$ , facteur de puissance  $\cos(\varphi_0) = 0,21$ . Déterminer la valeur efficace de l'intensité des courants dans les fils de lignes.

3. Au cours d'un essai en charge, on a mesuré les puissances active et réactive absorbées. on a trouvé  $P = 3 \text{ kW}$  et  $Q = 2,1 \text{ kVAR}$ . Déterminer le facteur de puissance  $\cos(\varphi)$ , puis l'intensité efficace du courant circulant dans un fil de ligne.

4. sachant que le moteur est tétrapolaire, calculer sa vitesse de synchronisme. Lors de l'essai en charge, la vitesse de rotation était de 1470 tr/min ; en déduire le glissement du moteur.
5. La mesure de la puissance mécanique utile du moteur a donné  $P_u = 2,38 kW$ . Calculer le moment du couple utile et le rendement du moteur.

## 5.20 Correction

1- La tension supportée par chaque enroulement est égale à la tension composée du réseau. Donc le couplage choisi est triangle

2- Le courant de ligne à vide est  $I_0 = P_0 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi_0)) = 4.34 A$

3- Le facteur de puissance en charge est  $\cos(\varphi) = \cos(\arctg(Q/P)) = 0.82$ .

Le courant de ligne est  $I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\Omega)) = 5.5 A$

4- La vitesse de synchronisme est  $n_s = 60 \cdot f / P = 1500 \text{tr}/mn$ . Le glissement est  $g = 0.02$

5- Le couple utile est  $C_u = P_u / \Omega = 15.5 N.m$ . Le rendement est  $\eta = P_u / P_a = 0.8$

## 5.21 Exercice 11

Un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné et à bagues est alimenté par un réseau triphasé 50 Hz dont la tension entre phases est  $U = 380 V$ . Les enroulements du stator et du rotor sont en étoile. La résistance mesurée à chaud entre deux bornes de phases du stator est  $R_s = 0,2 \Omega$ , celle mesurée à chaud entre deux bagues du rotor est  $R = 0,08$ . A vide, le moteur tourne pratiquement à 1500 tr/min et la méthode des deux wattmètres donne :  $P_1 = 900 W$  et  $P_2 = -410 W$ .

- 1) Calculer le nombre de pôles du stator, le facteur de puissance et l'intensité en ligne à vide.
- 2) Les pertes mécaniques sont constantes et égales à  $\hat{A} 100 W$ . Calculer les pertes dans le fer du stator. Ces pertes seront considérées comme constantes.
- 3) Lors d'un essai en charge, on obtient :  $n = 1440 \text{tr}/min$  ;  $P_1 = 4500 W$  ;  $P_2 = 2000 W$ . Calculer le glissement, le facteur de puissance, le courant au stator, le rendement et le moment du couple utile.
- 4- Le moteur entraîne une machine dont la caractéristique mécanique est une droite d'équation :  $C_r = 20 + 0.01n$  ( $n$  s'exprime en tr/min et  $C_r$  en Nm).
  - a) Calculer la vitesse de rotation du groupe et la puissance utile du moteur sachant que sa caractéristique mécanique est une droite en fonctionnement normal.

b) Quelle résistance doit-on mettre en série avec chacun des enroulements du rotor pour que la vitesse du groupe précédent devienne 1410 tr/min.

## 5.22 Correction

1-Le nombre de poles du stator est 4

$$\text{La puissance réactive } Q_0 = \sqrt{3} \cdot (P_1 - P_2) = 1310 \text{ VAR}$$

$$\text{Le facteur de puissance } \cos(\varphi_0) = \cos(\arctan(Q_0/P_0)) = 0.35$$

$$\text{Le courant de ligne à vide } I_0 = P_0/(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi_0)) = 2 \text{ A}$$

$$2\text{-Les pertes fer au stator } P_{fs} = P_{a0} - (P_{mec} + P_{js0}) = 389 \text{ W}$$

3-Essai en charge

$$\text{-Le glissement } g = (n_s - n) : n_s = 0.04$$

$$\text{-Le facteur de puissance } \cos(\varphi) = \cos(\arctan((P_1 + P_2)/(\sqrt{3}(P_1 - P_2)))) = 0.55$$

$$\text{-Le courant } I = (P_1 + P_2)/(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)) = 18 \text{ A}$$

$$\text{-Le rendement } \eta = P_u/P_a = 0.87$$

$$\text{-Le couple utile } C_u = P_u/\Omega = 37.62 \text{ N.m}$$

4-Moteur + charge

a) On détermine tout d'abord la caractéristique du moteur  $C_u = an + b$ , pour cela on considère deux points de fonctionnement (à vide et nominal) :  $C_u = -0.62n + 940$ . En régime permanent

$$C_u = C_r \Rightarrow n = 1460 \text{ tr/mn}$$

$$\text{La puissance utile } P_u = C_u \Omega = 5291 \text{ W}$$

b) La vitesse devienne 1410 tr/mn  $\Rightarrow g_1 = 0.06$ . La résistance insérée avec le rotor est

$$R_h = 0.02 \Omega$$

## 5.23 Exercice 12

Un moteur asynchrone triphasé tétrapolaire 220/380 V à rotor bobiné et à bagues est alimenté par un réseau 127-220V /50 Hz. Un essai à vide à une vitesse de rotation très proche du synchronisme a donné une puissance absorbée, mesurée par la méthode des deux wattmètres :

$$P_1 = 1160 \text{ W et } P_2 = -660 \text{ W.}$$

Un essai en charge a donné :

$$\text{- courant absorbé : } I = 12,2 \text{ A,}$$

$$\text{- glissement : } g = 6 \%,$$



- puissance absorbée mesurée par la méthode des deux wattmètres :

$$P_1 = 2500W \text{ et } P_2 = -740W.$$

La résistance d' un enroulement statorique est  $R = 1\Omega$ .

1) Quelle est, des deux tensions indiquées sur la plaque signalétique, celle que peut supporter un enroulement du stator. En déduire le couplage du stator sur un réseau 220 V.

2) Dans le fonctionnement à vide, supposé équilibré, calculer :

- la vitesse de rotation (égale à la vitesse de synchronisme).

- la puissance réactive  $Q_0$  absorbée.

- l'intensité du courant en ligne  $I_0$ .

- le facteur de puissance à vide  $\cos(\varphi_0)$ .

- les pertes constantes. En déduire les pertes fer dans le stator supposées égales aux pertes mécaniques.

3) Dans le fonctionnement en charge, calculer :

- la fréquence de rotation

- la puissance transmise au rotor

- la puissance utile, le rendement

- le moment du couple utile sur l'arbre  $C_u$

- le facteur de puissance.

4) Calculer la capacité des condensateurs qui, montés en triangle, relèveraient à 0,86 AR le facteur de puissance du moteur en charge.

5) Quelle serait alors la nouvelle intensité en ligne ?

6) Ce moteur entraine une machine dont le moment du couple résistant  $C_r$  en Nm est donné en fonction de la vitesse de rotation N en tr/min par la relation :  $C_r = 8.10 - 6n^2$ . La partie utile de la caractéristique  $C_u = f(n)$  du moteur est une droite.

a) Donner l'expression de  $C_u = f(n)$

b) Déterminer la vitesse de rotation du groupe et calculer la puissance utile du moteur.

c) Les enroulements du rotor sont couplés en étoile et la résistance mesurée entre deux bagues est  $1,2\Omega$ . Quelle résistance doit-on mettre en série avec chacun des enroulements du rotor pour que la vitesse de rotation du groupe devienne 1300 tr/min.

## 5.24 Correction

1-La tension supportée par chaque enroulement est de 220V.Le couplage adopté est triangle.

2-Fonctionnement à vide

-La vitesse de rotation est  $n = n_s = 60f/P = 1500tr/mn$

-La puissance réactive absorbée á vide  $Q_0 = \sqrt{3}(P_1 - P_2) = 3152VAR$

-Le courant de ligne á vide est  $I_0 = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2}/(\sqrt{3}.U = 8.37A$

-Le facteur de puissance á vide  $\cos\varphi_0) = P_0/\sqrt{3}U.I_0 = 0.15$

-Les pertes constantes  $P_c = P_0 - P_{j0} = 430W, \Rightarrow P_{fer} = P_{mec} = 215W$

3-Fonctionnement en charge

-La vitesse de rotation  $n = n_s(1 - g) = 1410tr/mn$

-La puissance transmise au rotor est  $P_{tr} = P_a - (P_{joulestatorique} - P_{ferstatorique} = 1611W$

-La puissance utile  $P_u = P_{em} - P_{mec} = P_{tr}.(1 - g) - P_{mec} = 1300W$

- Le rendement  $\eta = P_u/P_a = 0.73$

-Le couple utile  $P_u/\Omega = 8.8N.m$

-Le facteur de puissance  $\cos\varphi) = P_a/\sqrt{3}U.I = 0.38$

4-Le nouveau facteur de puissance est  $\cos(\varphi') = 0.85$

La capacité du condensateur est  $C = P(tg(\varphi) - tg(\varphi'))/(U^2.w) = 209\mu F$

5-Le nouveau courant de ligne est  $I' = S'/\sqrt{3}.U = 5.37A$

6-Moteur+Charge mécanique

a)Caracteritique mécanique du moteur est une droite  $\Rightarrow C_u = a.n + b$

-fonctionnement á vide on a  $C_u = 0$  et  $n = n_s = 1500tr/mn \Rightarrow 0 = 1500a + b$

-Fonctionnement en charge  $C_u = 8.8N.m$  et  $n = 1410tr/mn \Rightarrow 8.8 = 1410a + b$

on aura  $C_u = -0.097n + 146.66$

b) En régime permanent on a  $C_u = C_r \Rightarrow -0.097n + 146.66 = 8.10^{-6}.n^2 \Rightarrow n = 812tr/mn$

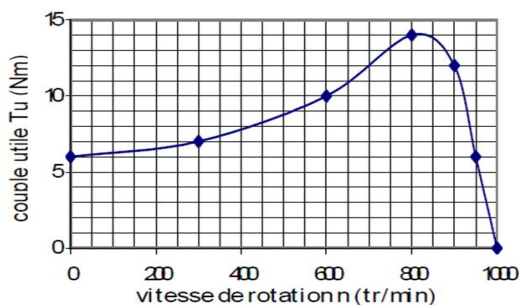
La puissance utile  $P_u = C_u.\Omega = 448W$

c) La vitesse du groupe  $n = 1300tr/m \Rightarrow g = 0.133.(R_h + 0.6)/0.13 = 0.6/0.06$

Donc  $R_h = 0.7\Omega$

## 5.25 Exercice 13

La caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone est donnée ci-dessous :



1- Ce moteur entraîne un compresseur dont le couple résistant est constant et égal à 4 Nm.

1-1- Le démarrage en charge du moteur est-il possible ?

1-2- Dans la zone utile, vérifier que  $T_u = -0,12n + 120$

1-3- Déterminer la vitesse de rotation de l'ensemble en régime établi.

1-4- Calculer la puissance transmise au compresseur par le moteur.

2- Ce moteur est maintenant utilisé pour entraîner une pompe dont le couple résistant est donné en fonction de la vitesse de rotation par la relation suivante :  $T_r = 10^{-5}.n^2$ .

En régime établi, déterminer la vitesse de rotation de l'ensemble ainsi que le couple utile du moteur.

## 5.26 Corrigé

1)

1-1-Le démarrage en charge est possible car le couple de démarrage est supérieur au couple résistant.

1-2-D'après la courbe on a  $T_u = 0$  lorsque  $n = 1000 \text{tr/mn}$  et  $T_u = 6 \text{N.m}$  si  $n = 950 \text{tr/mn}$  donc  $T_u = -0.12n + 120$

1-3-En régime permanent , le couple utile est égal au couple résistant  $n = 958 \text{tr/mn}$

1-4-La puissance transmise au compresseur est  $P_u = T_u.\Omega = 500 \text{W}$

2-La vitesse de rotation de l'ensemble est la solution de l'équation suivante :

$$10^{-5}.n^2 + 0.12.n - 120 = 0 \Rightarrow n = 928 \text{tr/mn}$$

Le couple utile est  $T_u = 8.6 \text{N.m}$

## 5.27 Exercice 14

Une pompe est entraînée par un moteur asynchrone triphasé tetrapolaire, alimenté par un réseau triphasé 220-380V-50hz. Chaque enroulement doit être alimenté par une tension de 220V.

Un essai en charge a donné les résultats suivants :

- Intensité de courant de ligne  $I=6 \text{A}$

-Puissance absorbée  $P_a=6 \text{KW}$

-Vitesse de rotation  $n=1420 \text{tr/mn}$

-Rendement  $=0.84$

a-Préciser le couplage des enroulements du stator

- b-Calculer le glissement
- c-Déterminer la valeur du couple utile
- d-Entre le fonctionnement à vide et en charge , la caractéristique mécanique  $C_u = f(n)$  est une droite, donner son équation
- e-On suppose que le couple résistant de la pompe est proportionnel à la vitesse de rotation au carrée, on donne  $C_r = 10.687 * 10^{-6} * n^2$ , calculer la vitesse de rotation du groupe(moteur +pompe)
- f-Calculer la puissance utile dans ce cas
- g) Déduire la valeur du rendement (on suppose que la puissance absorbée par le moteur est toujours égale à 6KW)

## 5.28 Corrigé

- a)Le stator doit être couplé en étoile
- b)Le glissement est égal à 5.33%
- c)La valeur du couple utile est 34N.m
- d)L'équation de la caractéristique mécanique est  $C_u = -0.425n + 637.5$
- e)La vitesse de groupe est  $n = 1447 \text{tr}/\text{mn}$
- f)La puissance utile est  $P_u = 3413 \text{W}$
- g)Le rendement est égal à 0.56

## 5.29 Exercice 15

Un essai en charge a été effectuée sur un moteur asynchrone tetrapolaire, dont chaque enroulement doit être alimenté sous une tension de 220V, a donné les résultats suivants :

- Réseau d'alimentation 127-220V-50hz
- Courant de ligne  $I=12\text{A}$
- Puissance absorbée  $P_a=3750\text{W}$
- Vitesse de rotation  $n=1440\text{tr}/\text{mn}$
- L'ensemble des pertes  $=790\text{W}$

- 1-Quel doit être le couplage de stator
- 2-Pour le fonctionnement nominal, calculer :
  - a) Le glissement
  - b)Le facteur de puissance

c) Les pertes par effet joule au stator (la valeur de la résistance statorique est  $1.8\Omega$ )

d) La puissance utile et le rendement

e) Le couple utile

3-Le moteur entraîne un ventilateur dont le couple résistant est proportionnel à la vitesse de rotation  $n$  exprimée en tr/mn. On donne pour  $C_r = 18N.m$  pour  $n = 1500$  tr/mn

a) Entre le fonctionnement à vide et le fonctionnement en charge, la caractéristique mécanique du moteur  $C_u = f(n)$  est une droite, donner l'expression numérique de cette droite.

b) Calculer la vitesse de rotation du groupe (moteur + ventilateur)

c) En déduire la puissance fournie par le moteur au ventilateur

## 5.30 Corrigé

1-Le couplage du stator est triangle

2-Fonctionnement nominal

a) Le glissement est égal à 4%

b) Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi) = 0.82$

c) Les pertes joule au stator sont  $P_{js} = 260W$

d) La puissance utile est  $P_u = 2960W$  et le rendement est égal à 0.79

e) Le couple utile est  $C_u = 20N.m$

3-Moteur + Ventilateur

a) L'équation de la caractéristique mécanique est  $C_u = -0.333n + 500$

b) La vitesse de rotation du groupe est  $n_1 = 1462$  tr/mn

c) La puissance utile est égal à 2686W

## 5.31 Exercice 16

Les essais d'un moteur asynchrone triphasé branché sur le réseau 220/380V-50hz ont donné les résultats suivants :

-à vide : On a mesuré : pertes fer statoriques  $P_{fs} = 300W$  ; pertes mécaniques  $P_m = 300W$   
et

$$n_0 = n_s = 1000 \text{ tr/mn}$$

-En charge : on a mesuré : La puissance absorbé par la méthode de deux wattmètres

$$P_1 = 4.5KW, P_2 = 2KW \text{ et } n = 960 \text{ tr/mn}$$

-La résistance mesurée entre deux phases du moteur est  $R_m = 0.8\Omega$

- a) Calculer le nombre de paires de pôles
- Pour le fonctionnement nominal , calculer :
- b) Le glissement
- c) L'intensité du courant de ligne
- d) Les pertes par effet joule au stator
- e) La puissance utile et le rendement
- f) Les pertes par effet joule au rotor
- g) Le couple utile

### 5.32 Correction

- a) Le nombre des paires de poles  $P = 60f/n_s = 3$
- b) Le glissement  $g = (n_s - n)/n_s = 0.04$
- c) L'intensité de courant de ligne est  $I = \sqrt{((P_1 + P_2)^2 + 3(P_1 - P_2)^2)/\sqrt{3}}.U = 10.6A$
- d) Les pertes par effet joule au stator  $P_{js} = (3/2).R_m.I^2 = 135W$
- e) La puissance utile  $P_u = 5652W$ . Le rendement  $\eta = P_u/P_a = 0.87$
- f) Les pertes par effet joule au rotor  $P_{jr} = P_a - P_u - P_{js} - P_{fr} - P_{mec} = 113W$
- g) Le couple utile  $C_u = P_u/\Omega = 56N.m$

### 5.33 Exercice 17

On considère une machine dont les caractéristiques sont les suivantes :

220-380V -50hz-4 poles ;Rotor bobiné couplé en étoile, en court circuit ;

Un essai à vide, sous tension nominale, a permis de mesurer l'intensité du courant en ligne :

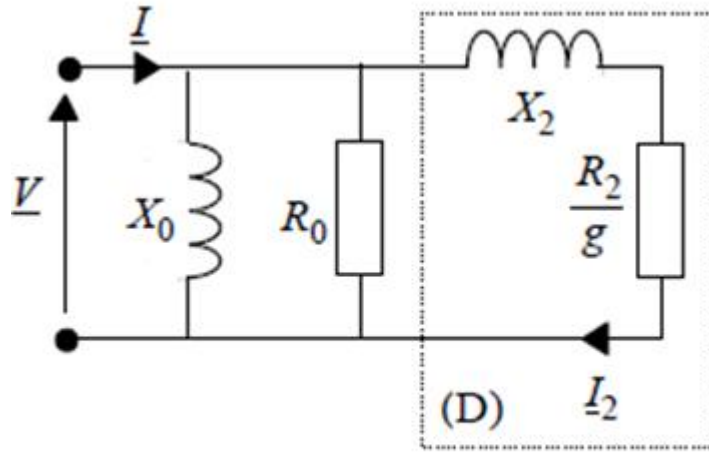
$I_0 = 10,5 A$ , et la puissance absorbée :  $P_0 = 1,16 kW$ .

Un essai en charge nominale, sous tension nominale, a permis de mesurer l'intensité du courant en ligne :  $I_{nom} = 23A$ , la puissance absorbée :  $P_a = 12,6 kW$  et le glissement  $g = 0,038$ .

On néglige dans ce qui suit les résistances et inductances de fuites statoriques ainsi que les pertes mécaniques. On donne ci-contre, le schéma équivalent simplifié d'une phase de la machine.

1. Fonctionnement nominal

- a) Quel est le couplage des enroulements statoriques ?
- b) calculer les grandeurs suivantes : vitesse de rotation (en tr/min), facteur de puissance,



monophasé1.jpg

moment du couple utile et rendement.

2. Exploitation de l'essai à vide : Calculer le facteur de puissance de la machine à vide et les valeurs de  $R_0$  et  $X_0$ .

3. Exploitation de l'essai nominal :

3.1. En raisonnant sur une phase, calculer les puissances active  $P_2$ , réactive  $Q_2$  et apparente  $S_2$  consommée par le dipôle (D).

3.2. Calculer les valeurs de  $R_2$  et  $X_2$ .

## 5.34 Corrigé

1-Fonctionnement nominal

a) Le couplage du stator est étoile

b) La vitesse de rotation est  $n = 1443 \text{ tr/mn}$

Le facteur de puissance est égal à  $\cos(\varphi) = 0.83$ . Le moment de couple utile est  $T_u = 73 \text{ N.m}$

Le rendement est  $\eta = P_u/P_a = 0.87$

2-Le facteur de puissance à vide est  $\cos(\varphi_0) = P_{a0}/(\sqrt{3}.U.I_0) = 0.17$ .

La résistance de circuit magnétique est  $R_0 = 125 \Omega$  et La réactance  $X_0$  est égale à  $21.6 \Omega$

3-Fonctionnement en régime nominal

3-1-La puissance active absorbée par le dipôle D est  $P_2 = 3813 \text{ W}$ . La puissance réactive est  $Q_2 = 581 \text{ VAR}$  et la puissance apparente  $S = 3857 \text{ VA}$

3-2-La résistance  $R_2 = 4.24 \Omega$ . La réactance  $X_2 = 17 \Omega$

### 5.35 Exercice 18

Sur la plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé on lit les indications suivantes :  
230 V /400V ;50 Hz ; 3,2 kW ; 1455 tr/min ;  $\cos(\phi) = 0,76$  ; rendement = 0,87

#### I-Généralités

- 1- Déterminer le nombre de pôles du stator
- 2-Calculer la puissance électrique nominale absorbée par le moteur
- 3- Quelle doit être la tension entre phases du réseau triphasé d'alimentation permettant de coupler ce moteur en étoile puis en triangle.
- 4-Calculer pour chaque couplage la valeur nominale de l'intensité du courant en ligne I.

#### II- Etude du moteur couplé en étoile

Dans la suite du problème, le stator est couplé en étoile.

- 1- La résistance entre deux bornes du stator couplé est mesurée par la méthode voltampéremétrique :  
la tension mesurée est égale à  $U_1 = 11,2V$  pour une intensité débitée par l'alimentation  $I_1 = 7,0A$ . Calculer la résistance entre bornes du stator couplé.
- 2- On veut déterminer expérimentalement l'ensemble des pertes dans le fer du stator et des pertes mécaniques du moteur.
  - a) Préciser les conditions d'essai et donner une valeur approchée de la vitesse de rotation du moteur lors de cet essai.
  - b) Faire un bilan des puissances actives mises en jeu lors de cet essai en précisant les notations utilisées.
- 3-Déterminer pour le point de fonctionnement nominal :
  - a) Le glissement
  - b) Le moment du couple utile  $T_u$ .
  - c) On admet que la partie utile de la caractéristique mécanique  $T_u=f(n)$  du moteur est une droite. Donner son expression

#### III-Variation de vitesse

Ce moteur est utilisé pour entraîner une charge qui impose un couple résistant  $T_r = 14 N.m$

1. Il est alimenté par un réseau triphasé 400 V, 50 Hz ; déterminer la vitesse de rotation  $n_1$  du groupe
2. On veut faire varier la vitesse de ce moteur tout en gardant constant le rapport  $U/f$  ( $U$  est la valeur efficace d'une tension et  $f$  la fréquence de la tension d'alimentation).
  - 2.1. Avec quel dispositif peut-on réaliser cette variation de vitesse ? .
  - 2.2 On veut entraîner la machine à la vitesse de rotation  $n_2 = 1170tr/min$  :



- a. Tracer la nouvelle caractéristique mécanique du moteur sachant que les parties utiles des caractéristiques pour différentes valeurs de  $f$  restent parallèles entre elles.
- b. Déterminer la nouvelle vitesse de synchronisme
- c. Déterminer la nouvelle fréquence  $f$  de la tension d'alimentation du moteur

## 5.36 Correction

### I-Généralités

- 1-Le nombre des poles est 4
- 2-La puissance absorbée par le moteur est  $P_a = P_u/\eta = 3678W$
- 3-La tension composée du réseau doit être égale à 230V (si on veut coupler le stator en triangle), elle est égale à 400V (si le stator est couplé en étoile)
- 4- Le courant nominal est égal à 12A (couplage triangle), il est égal à 7A (couplage étoile)

### II-Couplage étoile

- 1-La résistance mesurée entre deux bornes du stator est  $R_m = U_1/I_1 = 1.6\Omega$
- 2-
  - a) La vitesse de rotation est égale à 1500tr/m
  - b)Le bilan de puissance est le suivant :  $P_{a0} = P_{js0} + P_{ferstator} + P_{mec}$
- 3-Point de fonctionnement nominal
  - a)Le glissement est égal à 3%
  - b)Le moment du couple utile est  $T_u = P_u/\Omega = 21N.m$
  - c)La partie utile de la caractéristique mécanique est une droite  $\Rightarrow T_u = -0.466.n + 700$

### III-Variation de vitesse

- 1-La vitesse de rotation du groupe est  $n_1 = 1472tr/mn$
- 2-Variation en maintient le rapport U/F constant
  - 2-1-Cette variation de vitesse est réalisé à l'aide d'un onduleur triphasé
  - 2-2 - La nouvelle vitesse de rotation est  $n_2 = 1170tr/mn$ 
    - a)La caractéristique mécanique est la suivante :
    - b)La nouvelle vitesse de synchronisme est 1200 tr/mn
    - c)La nouvelle fréquence est  $f_2 = 40Hz$ . La tension d'alimentation est  $U_2 = 320V$

## 5.37 Exercice 19

Un moteur d'induction asynchrone triphasé est alimenté par le réseau triphasé 220 / 380 V

de fréquence 50 Hz. Le stator (primaire) est couplé en triangle ; le rotor bobiné est couplé en étoile sans neutre sorti. La machine est à quatre pôles.

On fera les hypothèses simplificatrices suivantes :

Les pertes ferromagnétiques, les chutes de tension dans les résistances et les inductances de fuite du stator sont négligeables. Les pertes mécaniques sont également négligeables.

On effectue deux essais du moteur sous tension nominale :

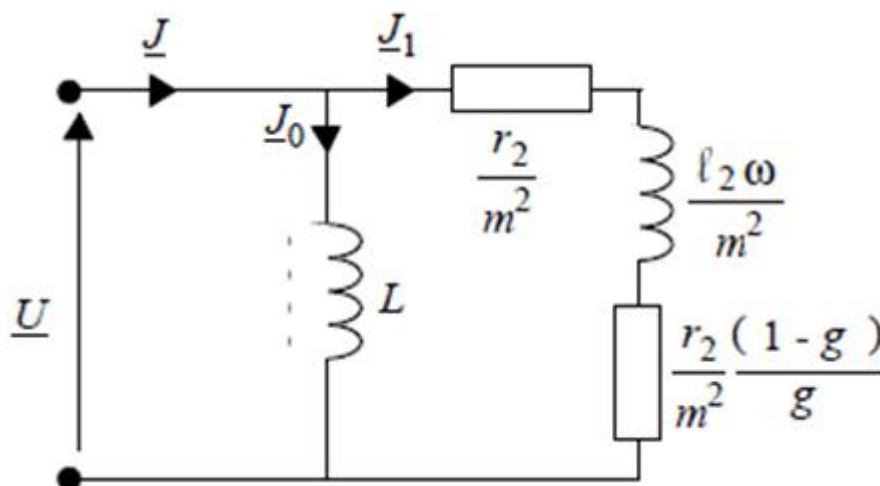
Premier essai : moteur à l'arrêt, rotor ouvert, on relève la tension entre deux bagues du rotor : 395 V et le courant en ligne  $I_0 = 16,5 A$ .

Deuxième essai : moteur en marche, rotor en court-circuit, la vitesse de rotation est de 1455 tr/min. la machine absorbe une puissance mesurée par la méthode des deux wattmètres dont les déviations de même sens, correspondent respectivement à : 17,9 kW et 7 kW.

1-Calculer pour le point de fonctionnement du deuxième essai et dans les hypothèses simplificatrices :

- a) Le glissement  $g$ .
- b) Le facteur de puissance  $\cos(\phi)$
- c) L'intensité du courant en ligne  $I$ .
- d) La puissance dissipée par effet Joule au rotor  $P_{jr}$
- e) Le couple électromagnétique exercé sur le rotor

2. Compte tenu des hypothèses, on propose ci-contre le schéma équivalent ramené au primaire d'une phase du stator.  $r_2$  et  $l_2 \omega$  sont la résistance et la réactance de fuite d'une phase du rotor,  $m$  est le rapport de transformation par phase à vide et  $g$  est le glissement



3.jpg

FIGURE 5.1 – schéma équivalent

On rappelle que le couple électromagnétique peut se mettre sous la forme :

$$T = K * U^2 * (r_2/g) / ((r_2/g)^2 + (l_2 * w)^2)$$

a) Placer sur un diagramme vectoriel la tension  $U$  et les courants  $\bar{J}_0, \bar{J}_1$  et  $\bar{J}$ . Montrer que l'intensité  $J_1$  du courant par phase a pour valeur efficace  $J_1 = 22,9A$ .

b) Vérifier que  $m = 0,6$  et calculer la résistance rotorique par phase

b) Calculer la réactance  $l_2 w$

c) Calculer alors  $KU^2$

d) Quel est le couple électromagnétique maximal

3. On veut obtenir le point de fonctionnement suivant :  $T = 158m.N$  pour  $g = 0,05$ .

On utilise pour cela un rhéostat de glissement couplé en étoile au rotor.

a) Montrer que la résistance par phase de ce rhéostat doit être :  $R_h = 0.13\Omega$

b) Calculer la puissance totale dissipée dans le rhéostat

## 5.38 Correction

1-Fonctionnement nominal

a) Le glissement  $g = n_s - n/n_s = 0.03$

b) Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi) = \cos(\arctan(Q/P_a)) = 0.8$

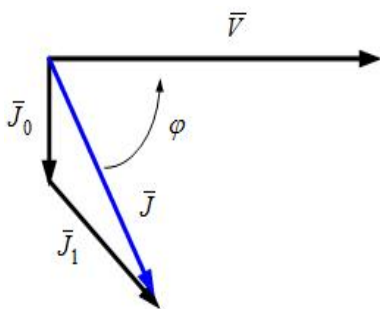
c) Le courant  $I = P/\sqrt{3}U\cos(\varphi) = 47A$

d) Toutes les pertes négligables  $\Rightarrow P_{jr} = g.P_a = 747W$

e) Le couple électromagnétique est  $C_{em} = P_a/\Omega_S = 158N.m$

2-Détermination des éléments du schéma équivalent

a) Le diagramme vectoriel est le suivant



-Le loi des noeuds donne  $\bar{J} = \bar{j}_0 + \bar{J}_1 \Rightarrow J_1 = \sqrt{(J_0^2 + J^2 - 2J_0J_1.\sin(\varphi))} = 21.6A$

b) le rapport de transformation  $m = V_{20}/U_1 = 0.6$ . La résistance rotorique est

$$r = P_{jr}.m^2/(3.J_1^2) = 0.2\Omega$$

$$b) l_2 w = \sqrt{(m.V_1/J_1)^2 - r_2^2} = 10.53\Omega$$

c) Le produit  $K.U^2 = C_{em} * (((r_2/g)^2 + (l_2 w)^2)/r_2/g) = 3682$

d) Le couple électromagnétique est maximal si  $g = r_2/l_2.w$  donc

$$C_{emmax} = K.U^2/2.l_2.w = 175N.m$$

3-On veut que  $C_{em} = 158N.m$  lorsque  $g = 0.05$

a) on a  $(R_h + R_2)/0.05 = R_2/0.03 \Rightarrow R_h = 0.13\Omega$

b) La puissance dissipée dans la résistance  $R_h$  est  $P_{R_h} = 182W$

### 5.39 Exercice 20

Un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage d'écurueil est alimenté par un réseau triphasé 50 Hz, 220/380 V. Pour le stator et pour le rotor, le couplage des enroulements est fait en étoile. Chaque enroulement du stator a une résistance  $R_s = 0,285\Omega$ .

On réalise un essai à vide : le moteur tourne pratiquement à la vitesse de synchronisme ( $n=3000$  tr/min). La puissance absorbée à vide est  $P_0 = 3kW$  et le courant de ligne est  $I_0 = 25A$ .

- 1) Calculer le nombre de pôles du stator et le facteur de puissance à vide.
- 2) On supposera les pertes mécaniques constantes et égale à 1233 W dans la suite du problème. Que peut-on dire des pertes joules au rotor ( $P_{jr}$ ) ?
- 3) Calculer les pertes joules stator ( $P_{js}$ ) et les pertes fer stator ( $P_{fs}$ ) lors de cet essai à vide.

On réalise un essai en charge, les résultats sont les suivants :

- glissement : 7%,
  - puissance absorbée : 24645 W
  - courant en ligne : 45 A.
- 4) Calculer le facteur de puissance, la vitesse de rotation du rotor et la fréquence des courants rotoriques lors de cet essai.
  - 5) Calculer  $P_{js}$  et la puissance transmise au rotor  $P_{tr}$ . En déduire  $P_{jr}$  lors de cet essai en charge.
  - 6) Calculer la puissance utile  $P_u$ , le rendement du moteur, le couple utile  $T_u$  et le couple électromagnétique

Le moteur entraîne une machine dont la caractéristique mécanique est une droite

$$d'equation : T_r = 0.02.n' + 40 \quad (n' \text{ en tr/min})$$

- 7) Calculer la vitesse du groupe (moteur + machine d'entraînement) sachant que la caractéristique mécanique du moteur est une droite en fonctionnement normal (donc valable pour l'essai en charge effectuè précèdemment)

## 5.40 Correction

1-Le nombre de pôles est 2.Le facteur de puissance à vide est  $\cos(\varphi_0) = 0.18$

2-Les pertes joule rotoriques sont nulles

3-Les pertes joule au stator sont  $P_{js0} = 534W$ .Les pertes fer statoriques sont

$$P_{fs} = P_0 - P_{js0} - P_{mec} = 1233W$$

4-Essai en charge

-Le facteur de puissance est  $\cos(\varphi) = 0.83$ .La vitesse de rotation est  $n = 2790tr/mn$ .La fréquence du courants rotoriques est  $f_r = 3.5Hz$

5-Les pertes joule statoriques en charge sont  $P_{js} = 1731W$ .La puissance transmise est  $P_{tr} = 21681W$ .Les pertes joule rotoriques sont  $P_{jr} = 1518W$

6-La puissance utile est égale à  $18930W$ .Le rendement est  $\eta = 0.76$ .Le couple utile est  $T_u = 65N.m$  et  $T_{em} = 69N.m$

7-La vitesse de groupe est égale à  $2696 tr/mn$



# Bibliographie

- [1] Luc Lasne, Exercices et problèmes d'électrotechnique : Notions de base, réseaux et machines électriques, Dunod, 2011
- [2] D. Bareille, J.P. Daunis, Électrotechnique : Transformateurs et machines tournantes, Dunod, 2006
- [3] M. Marty, D. Dixneuf, D.G. Gilabert, Principes d'électrotechnique, Dunod, 2011
- [4] D.F. Warne, Génie électrotechnique, Dunod, 2013
- [5] B. Francois, Machines à courant continu, document publié sur internet sur le site <http://l2ep.univ-lille1.fr/pagesperso/francois>
- [6] J.L. Dalmaso, Cours d'électrotechnique : Machines tournantes à courant alternatif, BELIN, 1985