

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université M'Hamed Bougara, Boumerdès
Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département : Maintenance Industrielle

Option : Génie électrique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Machines Electriques

Thème

***Détection et localisation des défauts convertisseurs statiques
(AC/DC) dans le système d'excitation du turbo-alternateur de la
centrale thermique de Ras-Djinet***

Réalisés par :

Mr. BELAID YASSINE

Mr. AMMOUR RABAH

Promoteur:

Mr. A. AIBECHE

Encadreur:

Mr. A. YAHIAOUI

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

Nous remercions Allah, le tout puissant, pour nous avoir donné le Courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour affronter toutes les difficultés et obstacles, qui se sont hissés au travers de notre chemin, durant toutes nos années d'études.

Nos profonds remerciements à notre promoteur Mr. AIBECHE Abderrezak enseignant chercheur à l'université de M'hamed Bougara (FSI) et les membres de Jurys qui nous font l'honneur de siéger à notre soutenance.

Ainsi que tous les enseignants du département Génie Électrique de l'université M'Hamed Bougara qui nous ont appris beaucoup de choses durant notre cycle de formation.

Nos remerciements à nos encadreur Mr.YAHIAOUI Ahmed, et Mr.OUTAFATI Idris, pour ses directives et orientations, et tout l'encadrement de la centrale de RAS-DJINET

Nous remercions toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, ainsi que tous les membres des jurys

Pour tous ces personnes, soyez-en remerciés du fond du cœur.

DEDICACES

*Nous dédions ce
Travail à nos très chers parents
À nos familles et amis
Et à toutes les personnes qui nous sont chères*

BELAID et AMMOUR

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Présentation de la centrale de Ras-Djinet

I.1. Introduction 3

I.2. Présentation de la centrale 3

I.2.1. Implantation de la centrale 3

I.2.2. Légende du plan de masse 4

I.2.3. La puissance installée de la centrale 5

I.2.4. Principe de fonctionnement de la centrale 6

I.2.5. Commande et contrôle 6

I.3. Caractéristiques techniques de la centrale de Ras-Djinet 7

I.3.1. Combustible 7

I.3.2. Générateur de vapeur 7

I.3.3. Poste d'eau 8

I.3.4. Station de l'eau de Mer (pour la réfrigération) 9

I.3.5. Dessalement d'eau de mer 10

I.3.6. Déminéralisation 10

I.3.7. Electro chloration 10

I.3.8. Refroidissement de l'alternateur 10

I.3.9. Auxiliaires communs aux quatre tranches 10

I.3.10. Auxiliaires électriques 11

I.3.11. Evacuation de l'énergie 11

I.3.12. Salle de commande centralisée 12

I.4. Installations mécaniques et électriques d'une tranche 12

I.4.1. Installations mécaniques 12

I.4.2. Installations électriques 14

I.5. Fonctionnement du circuit eau-vapeur de la centrale thermique 17

I.6. Conclusion 19

Chapitre II : Système d'excitation de l'alternateur de Ras-Djinet

II.1. Introduction 20

II.2. Excitatrice 20

II.3. Exigences d'un système d'excitation 21

II.4. Eléments d'un système d'excitation 21

II.5. Différents types de système d'excitation	22
II.5.1. Système d'excitation à courant continu (DC)	22
II.5.2. Systèmes d'excitation à courant alternatif (AC)	23
II.5.3. Systèmes d'excitation statique	24
II.6. Structure générale du Régulateur de tension	25
II.7. Circuits de stabilisation d'un système d'excitation	26
II.8. Stabilisateur de puissance (PSS)	26
II.9. Régulation de système d'excitation de turbo-alternateur adapté dans la centrale de Ras-Djinet	27
II.9.1. Disposition de la machine	27
II.9.2. Principe d'excitation	28
II.9.3. Critères de qualité de système d'excitation	29
II.9.4. Principe de réglage	30
II.9.5. Commutateur sélectif de service pour l'alimentation du régulateur en tension	30
II.9.6. Régulateur de tension	30
II.9.7. Régulateur du courant de champ	31
II.9.8. Régulateur par poursuite et commutation	32
II.9.9. Redresseur pour réglage de la tension et du courant de champ	32
II.9.10. Régulateur à main	33
II.9.11. Dispositif de désexcitation	33
II.9.12. Contrôle d'avarie du régulateur et dispositif de commande	34
II.9.13. Diagramme de puissance	34
II.10. Conclusion	35

Chapitre III : Étude des convertisseurs statiques AC/DC et Modélisation de l'alternateur triphasé à pôles lisses

III.1. Introduction	36
III.2. Généralités sur les redresseurs	37
III.2.1. Les trois types de montages redresseurs	37
III.2.2. Quelques définitions	37
III.3. Le redressement non commandé	38
III.3.1. Etude du montage redresseur parallèle simple P3	38
III.3.2. Etude du montage redresseur Parallèle Double PD3	40
III.4. Le redressement commandé	41
III.4.1. Commutation parallèle simple (P3 à thyristor)	41
III.4.2. Commutation parallèle double (PD3 à thyristors)	43
III.5. Modélisation de l'alternateur triphasé a pôles lisses	44
III.5.1. Hypothèses simplificatrices	45

III.5.2. Description de l'alternateur triphasé	45
III.5.3. Convention de signe et définition des variables	46
III.5.4. Modèle en a, b, c d'une machine synchrone à pôles lisses	47
III.5.4.1. Equations électriques	47
III.5.4.2. Equations magnétiques	47
III.5.4.3. Définitions des matrices inductance	48
III.6. La transformation de Park	49
III.6.1. Equations électriques dans les axes d et q	50
III.6.2. Equations magnétique dans les axes d et q	51
III.6.3. L'expression de la puissance	52
III.6.4. Expression du couple	52
III.6.5. Angle interne δ	53
III.7. Schéma équivalent de l'alternateur	53
III.8. Conclusion	54
Chapitre IV : Méthodes de détection et localisation des défauts convertisseurs statiques AC/DC	
IV.1. Introduction	55
IV.2. Rappel sur les composants de bases de l'électronique de puissance	55
IV.2.1. Diodes	55
IV.2.2. Thyristors	56
IV.3. Fonctionnement de système d'excitation de Ras-Djinet	57
IV.4. Modes de défaillance d'un thyristor	58
IV.4.1. Défaillance par dégradation	58
IV.4.2. Défaillance catastrophique	59
IV.4.2.1. Défaut d'ouverture (état court-circuit)	59
IV.4.2.2. Défaut de fermeture (état circuit ouvert)	59
IV.5. Résultats de simulation des défauts	60
IV.5.1. Comportement du système d'excitation sans défauts	61
IV.5.2. Comportement du système d'excitation avec défauts	62
IV.6. Méthode de détection et localisation de défauts	67
IV.7. Conclusion	71
Conclusion générale	72
Bibliographie	
Annexes	

Liste des tableaux

Chapitre II

<i>Tableau II.1 : Caractéristiques du système d'excitation</i>	<i>28</i>
---	------------------

Chapitre III

<i>Tableau III.1 : Résumé des deux types de redresseurs PD3 a base de diode et de thyristor</i>	<i>44</i>
--	------------------

Chapitre IV

<i>Tableau IV.1 : Le cas général des défauts (C-O) des interrupteurs</i>	<i>69</i>
<i>Tableau IV.2 : Le temps de détection de défaut (C-O) pour chaque interrupteur</i>	<i>70</i>

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Photo réelle de la centrale thermique de Ras-Djinet	3
Figure I.2 : Plan de masse de la centrale thermique de Ras-Djinet	5
Figure I.3 : Schéma simplifié de fonctionnement de la centrale de Ras-Djinet	6
Figure I.4 : Constitution générale d'un condenseur par surface	9
Figure I.5 : Schéma de principe d'évacuation d'énergie électrique	11
Figure I.6 : Schéma équivalent d'une turbine	13
Figure I.7 : Photo réel de corps HP	13
Figure I.8 : Photo réel de corps MP	14
Figure I.9 : Photo réel de corps BP	14
Figure I.10 : Vue d'un alternateur de puissance	15
Figure I.11 : un schéma synoptique d'une tranche thermique de la centrale	18

Chapitre II

Figure II.1 : Schéma fonctionnel du système d'excitation d'une génératrice synchrone	21
Figure II.2 : Système d'excitation de type DC	22
Figure II.3 : Excitation de type AC avec redresseur non commandé	23
Figure II.4 : Excitation type AC avec redresseur commandé	23
Figure II.5 : Système d'excitation de type Brushless	24
Figure II.6 : Excitatrice statique par redresseur commandé à source de tension	24
Figure II.7 : Modèle simplifié du système d'excitation IEEE-type ST1A	25
Figure II.8 : Schéma de stabilisation et régulation de l'excitation	26
Figure II.9 : Schéma de principe du système d'excitation	29
Figure II.10 : Schéma de régulateur de tension	31
Figure II.11 : Schéma fonctionnel de régulation	33
Figure II.12 : Diagramme de puissance calculé	35

Chapitre III

Figure III.1 : Redresseur simple alternance « Montage parallèle P3 »	39
Figure III.2 : Réponse de la tension redressée « montage P3 »	40
Figure III.3 : Redresseur double alternance « Montage PD3 »	40
Figure III.4 : Réponse de la tension redressée « montage PD3 »	41
Figure III.5 : Redresseur simple alternance «Montage parallèle P3 a thyristor»	42

Figure III.6 : Allure de la tension redressée pour $\alpha = \pi/6$ (30°)	43
Figure III.7 : Schéma de principe de pont triphasé tout thyristors	43
Figure III.8 : Allure des tensions d'entrées et de tension redressée d'un pont tout thyristor	44
Figure III.9 : Machine synchrone triphasé représentée dans les deux repères (a, b, c) et (d, q)	46
Figure III.10 : Interprétation de la transformation de Park pour une machine synchrone	49
Figure III.11 : Circuits équivalents du model simplifié de l'alternateur (a) Axe direct, (b) Axe quadrature.	53

Chapitre IV

Figure IV.1 : diode	55
Figure IV.2 : Caractéristique courant-tension	56
Figure IV.3 : Thyristor	56
Figure IV.4 : Caractéristique courant-tension	57
Figure IV.5 : Fonctionnement de système d'excitation de la centrale de Ras-Djinet	58
Figure IV.6 : Taux de défaillance d'un thyristor en fonction de la température	59
Figure IV.7 : Différents types de défauts d'un bras d'un redresseur de tension	60
Figure IV.8 : Impulsion de gâchette nécessaire pour l'amorçage de Th1	61
Figure IV.9 : Fonctionnement normal « Allure des courant »	61
Figure IV.10 : Fonctionnement normal « Variation de tension de sortie»	61
Figure IV.11: Le graphe représente les impulsions d'amorçage de Th1 avant et après le défaut fermeture	62
Figure IV.12: Redresseur avec un thyristor inhibé	62
Figure IV.13 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut fermeture (état circuit-ouvert) sur Th1	63
Figure IV.14 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut circuit-ouvert sur Th1, l'instant $t=0.25$ [s]	63
Figure IV.15 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut fermeture (état circuit-ouvert) sur Th2	64
Figure IV.16 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut circuit-ouvert sur Th2, l'instant $t=0.25$ [s]	64
Figure IV.17: Le graphe représente les impulsions d'amorçage de Th1 avant et après le défaut d'ouverture	64
Figure IV.18 : Défaut d'ouverture sur le thyristor Th1	65
Figure IV.19 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut d'ouverture (état court-circuit) sur Th1	65
Figure IV.20 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut court-circuit sur Th1, l'instant $t=0.25$ [s]	66

Figure IV.21 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut d'ouverture (état court-circuit) sur Th2	66
Figure IV.22 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut court-circuit sur Th2, l'instant $t=0.25$ [s]	67
Figure IV.23 : Fonctionnement de système d'excitation a diode tournante avec générateur des défauts	67
Figure IV.24 : Evolution des indicateurs de courant lors d'un défaut (C-O) sur Th1	69
Figure IV.25 : Evolution des indicateurs de courant lors d'un défaut (C-O) sur Th2	69
Figure IV.26 : Détection du défaut (C-O) à l' instant $t=0.2602$ [s] sur Th1	70
Figure IV.27 : Détection du défaut (C-O) à l' instant $t=0.2666$ [s] sur Th2	70

Liste des symboles et abréviations

Symbole	Désignation	Unité
δ	Angle interne	Rad
λT	Taux de défaillance	$10^{-9}/h$
ω_r	Vitesse électrique rotorique	rad/s
ω_e	Vitesse de synchronisme	rad/s
Id	Courant direct de générateur	A
Iq	Courant quadratique du générateur	A
E _{fd}	La tension d'excitation	p.u
X _q	Réactance quadrature	Ω
X _d	Réactance direct	Ω
R _s	Resistance d'une phase stator	Ω
R _r	Resistance d'une phase rotor	Ω
Vq	Tension d'axe quadrature	V
Vd	Tension d'axe direct	V
Ce	Couple électromagnétique	N.m
Cr	Couple résistant	N.m
Vt	Tension mesuré	V
Vs	Tension complémentaire	V
V _{ref}	Tension de référence	V
K _A	Gain de l'amplificateur	
T _A	Constante de temps	

Abréviations	Désignation
AVR	Régulation automatique de tension
PSS	Power System Stabiliser
IEEE	Association Internationale des Ingénieurs Electriciens
ST1A	Système d'excitation à courant alternatif
GV	Générateur de vapeur
PI	Proportionnel intégral
P	proportionnel
DC	Direct current
AC	Alternative current
p.u	Per unit
P3	Pont triphasé
Sq	Redresseur en pont avec source polygonale
PD3	Pont double triphasé
SPE	Sociétés Production électrique
BP	Basse pression
MP	Moyenne pression

Abréviations	Désignation
P	Nombre de pole
BBC	Disjoncteur alternateur
TP	Transformateur principal
TS	Transformateur de soutirage
MT	Moyenne tension
BT	Basse tension
BA	Borne alternateur
BU	Borne usine
HP	Haute pression

Introduction générale

Le siècle qui s'achève aura, sans aucun doute, été celui de l'électricité. Sans avoir encore livré tous ses secrets, l'électricité, par son utilité et son efficacité, a acquis ses lettres de noblesse, elle les a imposés à tous et dans tous les domaines au point de devenir l'élément de référence et un critère fondamental pour mesurer le développement d'un pays.

Le développement important qui a caractérisé l'évolution de l'utilisation de l'énergie électrique ces dernières années, a engendré une certaine complexité dans la conception, la réalisation et l'exploitation des réseaux électriques, pour répondre à une clientèle dont les exigences augmentent sans cesse aussi bien sur la qualité que la continuité de service.

Parmi les exigences que l'électricité livrée aux consommateurs doit satisfaire les critères :

- Une tension : de forme sinusoïdale, de valeur efficace constante et de fréquence constante ;
- Un système de tension triphasée équilibrée en phase et en amplitude.

Pour garder la stabilité du réseau électrique et pour ne pas causer de nuisances aux consommateurs. C'est pour cela qu'il faut la réguler tout en maintenant la continuité de service.

Pour assurer une tension stable (quasiment constante) livrée aux consommateurs, plusieurs systèmes de régulation sont installés dans les centrales de production d'énergie électrique et aussi au niveau réseaux de transport d'électricité.

Notre projet de fin d'étude est consacré à l'étude des systèmes de régulation de la tension dans les centrales de production de l'énergie électrique et plus détailler l'étude de l'impacts de défauts convertisseurs statiques (AC-DC) dans le système d'excitation installé dans la centrale de Ras-Djinet.

Dans la station de Ras-Djinet deux systèmes de régulations installés, l'un en courant et l'autre en tension, et ils sont à commutation automatique. Cependant, le système de secours, prévu en cas de défaillance des deux modes, est à contrôle manuel. [1]

Le système d'énergie électrique est soumis à des perturbations pouvant occasionner des conséquences lourdes sur le réseau électrique tel que l'interruption partielle ou totale de l'alimentation qui peut avoir des impacts négatifs sur la qualité de l'énergie livrée aux consommateurs. Les causes de ces perturbations peuvent être de natures diverse telle que : les fluctuations de consommation, les défauts au niveau systèmes de production de l'énergie

électrique (système d'excitation de l'alternateur), les erreurs humaines dans l'exploitationetc.

Les types de défaut de l'ensemble convertisseur-machine peuvent être très différents ; un défaut peut être spontané ou induit. Le temps de manifestation du défaut peut être rapide, à l'échelle du temps de réponse de la commande, ou peut être suffisamment lent pour que l'évolution de la commande soit significative.

Les origines de défauts sont diverses : surtension, surintensité, non respect des contraintes de commutation, Il est impossible d'envisager d'une manière finie tous les types de défauts. C'est pourquoi, nous avons limité notre travail de projet de fin d'étude à l'analyse des défaillances des composants de l'électronique de puissance (interrupteur, IGBT, ...) utilisés dans les redresseurs.

On distingue alors deux types de défauts possibles :

- Défaut d'ouverture des interrupteurs (état court-circuit).
- Défaut de fermeture des interrupteurs (état circuit ouvert).

Pour faire face à ces défauts, on doit prévoir des marges de sécurité nous permettant de détecter et de localiser la panne pour limiter leurs impacts.

Ce mémoire de projet de fin d'étude comporte quatre chapitres :

- **Le premier chapitre**, donne une présentation générale sur la centrale de Ras-Djinet et les différents composants nécessaires pour assurer le fonctionnement de la centrale.
- **Dans le deuxième chapitre**, nous avons présenté les différents systèmes d'excitation et de régulation installés dans les centrales de production d'énergie électrique, ainsi le type du système d'excitation de la centrale thermique de Ras-Djinet.
- **Dans le troisième chapitre**, nous avons fait un rappel sur les convertisseurs AC/DC et une description physique et mathématique des machines synchrones à pôles lisses dans lequel nous décrivons généralement deux modèles, triphasés et biphasés, représentatifs de la génératrice installée dans la centrale de Ras-Djinet.
- **Le dernier chapitre**, fait l'objet d'une étude détaillée en théorie et en simulation numérique sur la détection et la localisation des défauts convertisseurs AC/DC du système d'excitation de la centrale de Ras-Djinet.

Enfin, ce travail a été clôturé par une conclusion générale sur l'ensemble de cette étude et des perspectives à envisager pour l'amélioration et la suite de ce travail.

Chapitre I

Présentation de la centrale de Ras-Djinet

I.1. Introduction

La centrale thermique de Ras-Djinet a été construite en vue de renforcer le réseau national par l'alimentation en énergie électrique. Elle est composée de quatre groupes turbo-alternateurs d'une puissance unitaire de 176 MW, totalisant une capacité installée de 704 MW.

I.2. Présentation de la centrale



Figure I.1 : Photo réelle de la centrale thermique de Ras-Djinet.

I.2.1. Implantation de la centrale

- **Superficie** : 35 Hectares.
- **Choix de site**

Le choix de site s'est fait sur la base des critères suivants :

- A proximité des consommateurs importants situés notamment dans la zone industrielle de Rouiba-Reghaia.
- Proximité de la mer.
- Possibilité d'extension.
- Conditions du sous-sol favorables, ne nécessitant pas de fondations profondes.

➤ **Historique de la centrale**

La centrale a été construite par un constructeur Austro-allemand qui avait la responsabilité des études de la supervision du montage et du contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole (DRAGADOS) à la quelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer.

➤ **Mise en service de la centrale**

La mise en service des groupes s'effectuée comme suit :

- Groupe 1 : le 17 Juin 1986.
- Groupe 2 : le 17 Septembre 1986.
- Groupe 3 : le 29 Novembre 1986.
- Groupe 4 : le 21 Février 1987.

I.2.2. Légende du plan de masse

1. Salle des machines.
2. Chaudière.
3. Locaux des auxiliaires électriques.
4. Locaux des auxiliaires mécaniques.
5. Tour de prise d'eau de mer.
6. Station de détente de gaz.
7. Réservoir stockage fuel.
8. Station pompage et dépotage fuel.
9. Station de production H₂
10. Poste d'incendie à mousse.
11. Rack à tuyauterie.
12. Air des transformateurs.
13. Bâtiment administratif.
14. Cantine.

- 15. Atelier magasin.
- 16. Station de pompage.
- 17. Canal de rejet d'eau de mer.
- 18. Potier (poste d'entrée).
- 19. Parc véhicules.
- 20. Station de chloration.
- 21. Préparation d'eau potable.
- 22. Déminéralisation.

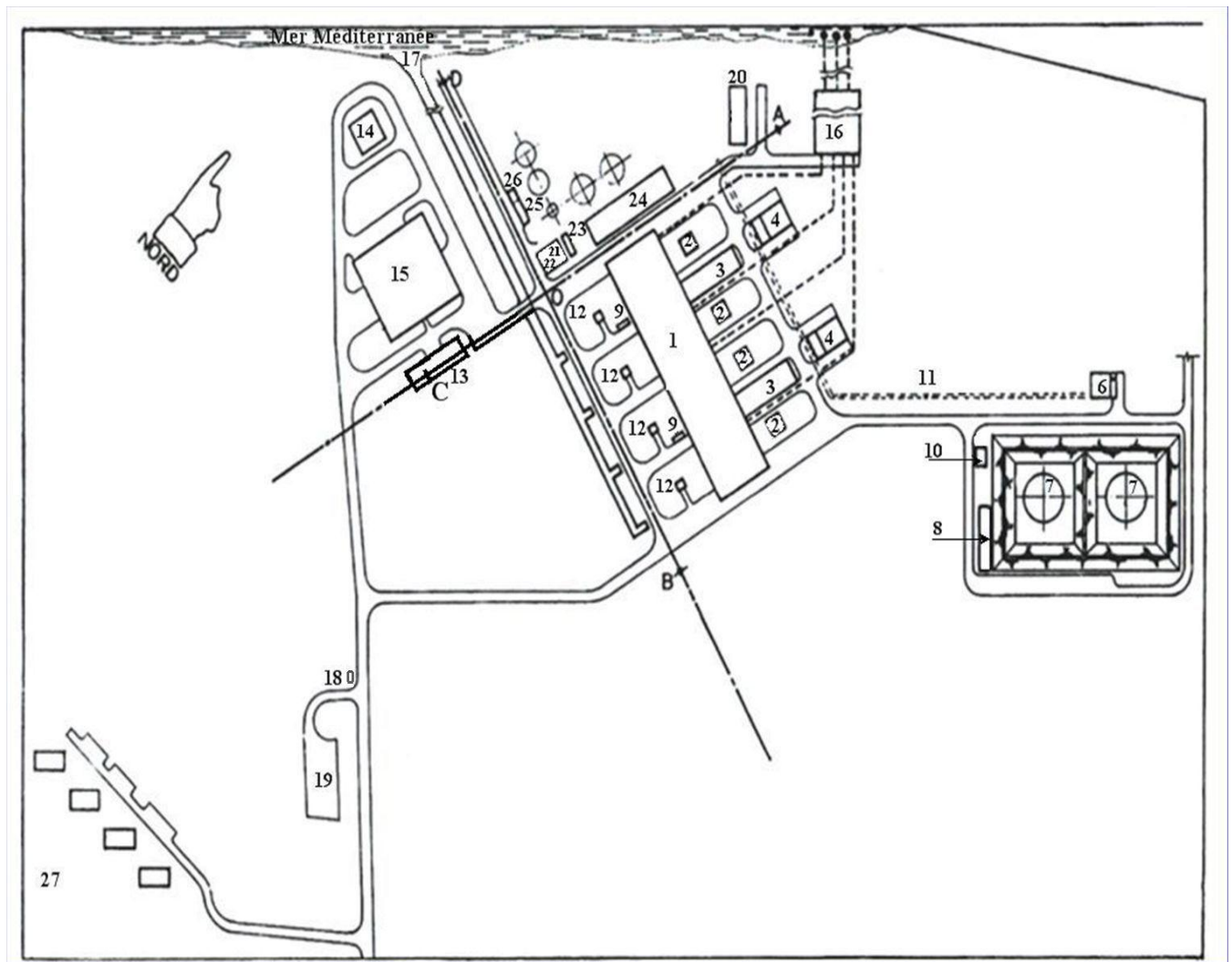


Figure I.2 : Plan de masse de la centrale thermique de Ras-Djinet.

I.2.3. La puissance installée de la centrale

La centrale de Ras-Djinet se compose de quatre tranches de type thermique vapeur d'une puissance unitaire de 176 MW borne alternateur (BA). La puissance installée est de 704 MW (BA). La puissance fournie au réseau est de 672 MW borne

usine (BU).

La consommation totale des auxiliaires communs est d'environ 32 MW.

I.2.4. Principe de fonctionnement de la centrale

Dans une centrale thermique à vapeur la production de l'énergie électrique comporte trois étapes :

1. La transformation de l'énergie chimique du combustible en énergie calorifique vapeur dans la chaudière.
2. La transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique par la turbine.
3. La transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique par l'alternateur. [2]

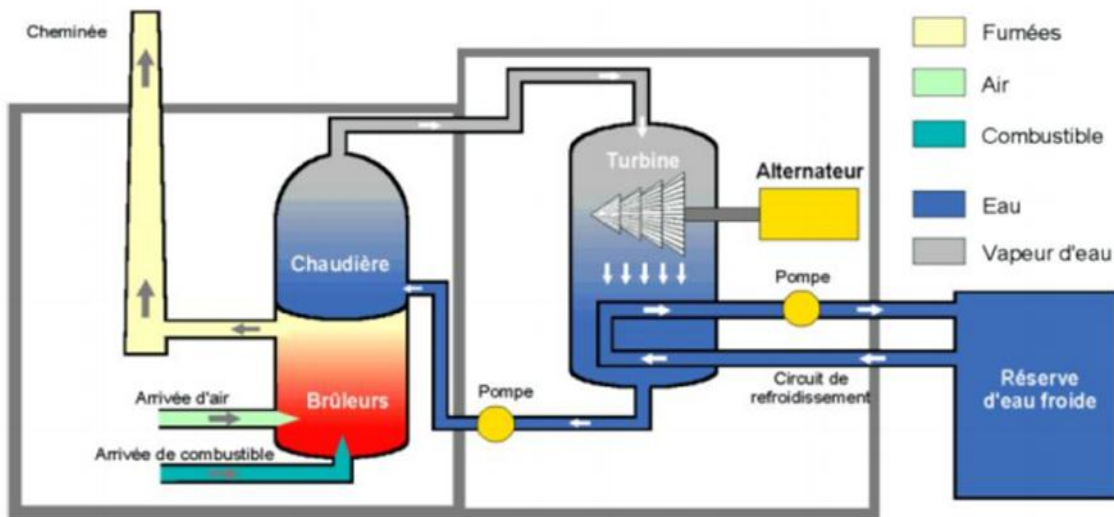


Figure I.3 : Schéma simplifié de fonctionnement de la centrale de Ras-Djinet.

I.2.5. Commande et contrôle

La centrale de Ras-Djinet se caractérise par un degré élevé d'automatisme et centralisation des commandes. En effet les équipements sont pilotés par divers systèmes.

- **Poste d'eau** : piloté par des automates électroniques.
- **Chaudière** : commandé par un système de régulation électrique.
- **Turbine** : régulation électro-hydraulique.
- **Alternateur** : soumis à une surveillance électronique.

I.3. Caractéristiques techniques de la centrale de Ras-Djinet

I.3.1. Combustible

Le combustible principal utilisé dans les chaudières est le gaz naturel. Le débit de gaz nécessaire pour assurer la pleine charge des quatre groupes est de 160 000 m³/h.

En cas d'indisponibilité, le secours est assuré par du fuel stocké dans deux réservoirs de 10 000 m³ chacun.

I.3.2. Générateur de vapeur

Le générateur de vapeur (chaudière) a pour rôle de transformer l'eau en vapeur à haute pression pour alimenter le groupe turbo-alternateur.

A sa partie inférieure se trouve le foyer où a lieu la transformation d'énergie chimique en énergie calorifique. La combustion a lieu dans la chaudière à huit brûleurs utilisant comme combustible, du gaz ou du fuel (comme énergie de secours). Le comburant (air) est tiré de l'atmosphère par l'intermédiaire de ventilateurs.

❖ Constitution

- Chambre de combustion formée par les tubes écrans (faisceaux vaporisateurs).
- Un ballon (réservoir) sert à recevoir l'eau d'alimentation et la vapeur remontant à partir des tubes écrans, il est rempli à 50% de vapeur et 50% d'eau.
- Un économiseur est un échangeur, il a pour fonction principale la réception, le réchauffement et le guidage de l'eau d'alimentation vers le ballon chaudière
- Trois surchauffeurs et deux resurchauffeurs.
- Quatre colonnes de descente ; ils sont raccordées à la partie inférieure du ballon et conduisent l'eau à la partie inférieure de l'écran vaporisateur, où elle est chauffée grâce aux brûleurs.
- Huit brûleurs de combustion mixte gaz/fuel, ils sont disposés sur quatre étages de face avant de la chaudière.
- Deux ventilateurs de recyclage, assurant la régulation de la température à la sortie du resurchauffeur.
- Deux préchauffeurs d'air à vapeur, servent à l'augmentation de la température de l'air de combustion avant le réchauffeur rotatif.
- Un réchauffeur rotatif d'air de combustion, sert à réchauffer l'air de combustion

par récupération de chaleur des fumées.

- Deux ventilateurs de soufflage d'air ont pour rôle de fournir l'air de combustion au générateur de vapeur. [3]

❖ **Caractéristiques principales**

- Capacité de vaporisation maximale : 523 t/h.
- Pression à la sortie des surchauffeurs : 154 bars.
- Température de la vapeur surchauffée : 540°C.
- Pression à la sortie du resurchauffeur : 34 à 37 bars.
- Température de la vapeur resurchauffée : 540°C.
- Température maximale de l'eau d'alimentation : 246°C.

I.3.3. Poste d'eau

Le poste d'eau est l'ensemble des appareils qui transfère l'eau du cycle depuis le condenseur jusqu'à la chaudière et qui conditionne cette eau du point de vue de la température et de la teneur en oxygène.

Le poste d'eau a deux fonctions principales :

- La première est énergétique : il permet d'améliorer le rendement du cycle, en réchauffant l'eau d'alimentation par l'intermédiaire des soutirages.
- La deuxième est alimentaire : avec son système de régulation il permet d'alimenter le générateur de vapeur (GV) à la demande de ce dernier.

❖ **Constitution**

1. Le condenseur

Le condenseur a pour principales fonctions:

- Assurer la condensation de la vapeur évacuée du corps basse pression de la turbine réintroduire le condensât dans le circuit eau - vapeur
- Le condenseur reçoit également le condensât des réchauffeurs, des différent purges et de la vapeur de contournement (by passe BP)

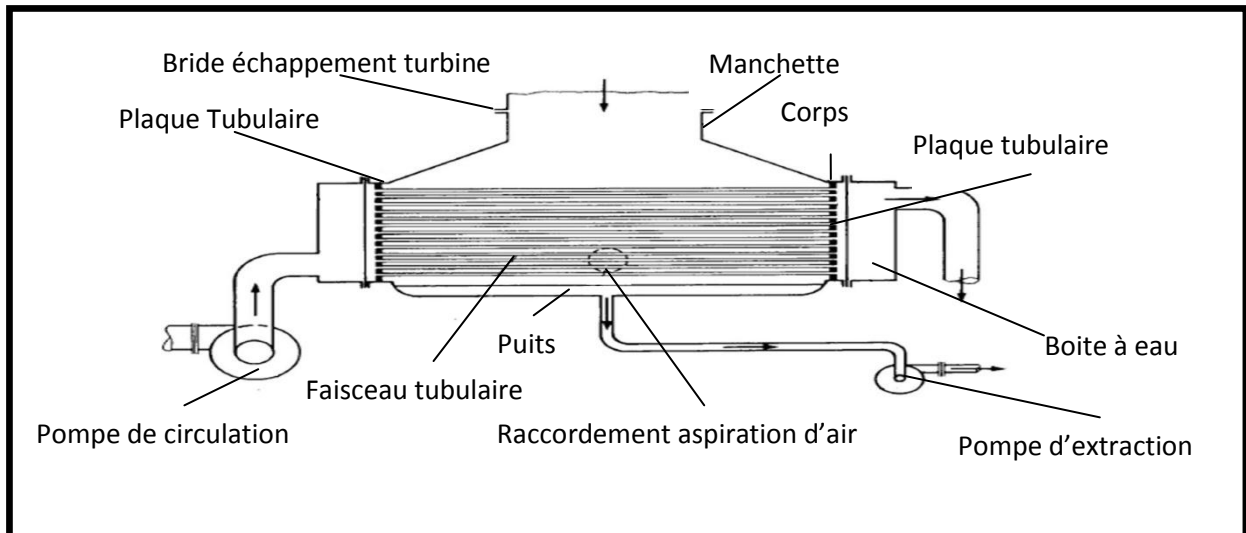


Figure I.4 : Constitution générale d'un condenseur par surface.

2. Deux pompes d'extraction (pompe verticale)

La pompe d'eau d'extraction a pour rôle d'acheminer le condensât principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bêche alimentaire en passant par les réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été, les réfrigérants d'hydrogène et le condenseur des buées ainsi que les éjecteurs de service.

3. Les pompes alimentaires

Ces pompes servent à refouler l'eau d'alimentation de la bêche alimentaire vers la chaudière en passant à travers les réchauffeurs haute pression et l'économiseur. Trois pompes alimentaires par tranche de production sont utilisées. Chacune des pompes assure 50 % du débit maximal nécessaire.

4. La bêche alimentaire

C'est un réservoir cylindrique où a lieu le dégazage de l'eau, l'eau sortant des réchauffeurs basse pression se conduit vers la bêche alimentaire, cette dernière joue le rôle d'un échangeur à mélange, l'eau est chauffée alors par le soutirage du corps moyenne pression de la turbine. L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression de soutirage.

I.3.4. Station de l'eau de Mer (pour la réfrigération)

L'exploitation d'une centrale thermique de grande puissance demande pour réduire la chaleur résiduelle, d'importantes quantités d'eau de refroidissement. Les besoins de la centrale de Ras-Djinet s'élèvent à 30 M^3/S environ.

Cette eau est prélevée de la mer à 7 m de profondeur. La prise d'eau se trouve à 900 m de la côte. L'arrivée de l'eau à la station de pompage se fait par 3 tubes en béton d'un diamètre de 2,70 m. Après traversé du condenseur l'eau de réfrigération est rejetée vers le canal de rejet qui aboutit à la mer. [4]

I.3.5. Dessalement d'eau de mer

Les besoins d'eau dessalée de la centrale de Ras-Djinet sont de l'ordre de 1100 M^3 /jours. L'installation comprend quatre unités fonctionnant selon le principe de la distillation par détente. Chaque unité produit 500 M^3 d'eau dessalée qui est stockée dans deux réservoirs d'une capacité de 2 x 2700 M^3 . Chaque unité fonctionne indépendamment des autres.

I.3.6. Déminéralisation

Deux chaînes de déminéralisation de 40 M^3 /h chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau vapeur. Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux réservoirs de 1500 M^3 chacun.

I.3.7. Electrochloration

La chloration d'eau de mer permet de préserver les équipements traversés par l'eau de mer contre la prolifération d'organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium. La production en est assurée par une station d'électrochloration d'une capacité de 150 Kg/h de chlore actif.

I.3.8. Refroidissement de l'alternateur

Les alternateurs sont refroidis par l'hydrogène sous pression de 3 bars en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction du cycle, [5].

I.3.9. Auxiliaires communs aux quatre tranches

➤ Une station de production d'hydrogène

Sert à produire l'hydrogène nécessaire au refroidissement des quatre alternateurs de la centrale.

➤ Un poste de détente gaz

Composé de deux lignes de filtration gaz, et trois lignes de régulation pour la détente gaz de 60 à 6 bars.

➤ Un poste de dépotage et transfert fuel

Deux bâches de stockage de capacité : $2 \times 10^4 \text{ M}^3$.

I.3.10. Auxiliaires électriques

Les auxiliaires électriques se situent à l'intérieur de deux bâtiments à 5 niveaux, situés chacun entre deux chaudières :

- Niveau 1 : salle des câbles.
- Niveau 2 : tableaux MT-BT.
- Niveau 3 : salle des câbles.
- Niveau 4 : batteries, redresseurs et salle électronique.
- Niveau 5 : salle de commande - installation climatisation. [3]

I.3.11. Evacuation de l'énergie

L'énergie électrique produite est évacuée par l'intermédiaire des lignes de 225 kV sur le poste Alger-Est (Boudouaou).

❖ Description

➤ 168 MW sont évacués à travers un transformateur élévateur principal (TP) : 15,5kV /220 kV.

➤ 8 MW servent à l'alimentation des auxiliaires du groupe.

L'alimentation se fait à travers un transformateur abaisseur de soutirage (TS) : 15,5 kV/6,3 kV. (Figure. I.5)

1. Alternateur.
2. Disjoncteur alternateur (BBC).
3. Transformateur principal.
4. Disjoncteur de ligne.
5. Transformateur de soutirage.
6. Disjoncteur 6,3 kV.
7. Evacuation ligne 220 kV.
8. Jeu de barre auxiliaire de tranche.

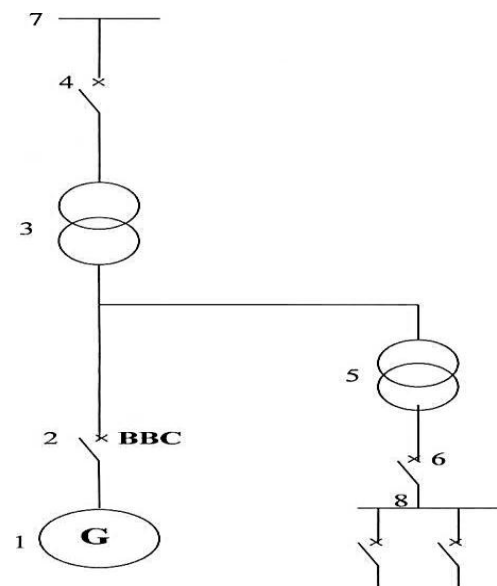


Figure I.5 : Schéma de principe d'évacuation d'énergie électrique.

I.3.12. Salle de commande centralisée

La centrale thermique de Ras-Djinet se compose de deux salles de commandes centralisées; chacune comprend :

- Deux pupitres de conduites.
- Deux tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
- Un tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques.

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis une salle de commande.

I.4. Installations mécaniques et électriques d'une tranche

I.4.1. Installations mécaniques

a. Turbine

La turbine transforme l'énergie thermique de la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre. Le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

La turbine est de type à condensation et à une resurchauffe, elle est à une seule ligne d'arbre composée de trois corps (HP, MP et BP) séparés.

Nombre des soutirages de vapeur est six alimentent trois réchauffeurs BP, deux réchauffeurs HP et la bâche alimentaire.

➤ Caractéristiques

- Longueur : 16,125 m.
- Puissance : 176 MW
- Largeur : 13 m.
- Poids : $500 \cdot 10^3$ Kg.
- Pression : 138,2 bars.
- Température vapeur : 535°C.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/min.

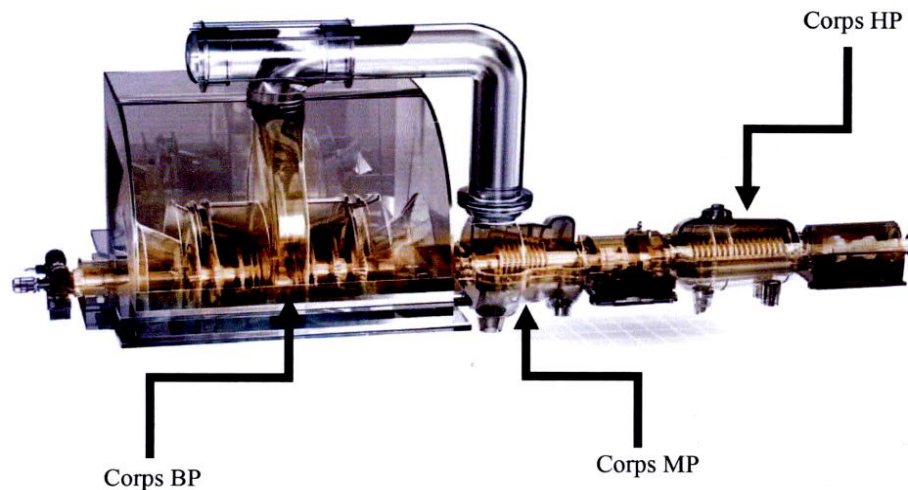


Figure I.6 : Schéma équivalent d'une turbine.

❖ Constitution

1. Le corps HP

Il est à simple flux et sa construction en forme de tonneau, lui assure un fonctionnement souple ; l'enveloppe interne à plan de joint axial est montée de façon à ne pas entraver les dilatations thermiques.



Figure I.7 : Photo réel de corps HP.

2. Le corps MP

Il est à double flux et comporte deux vannes d'interceptions et deux soupapes modératrices. Elle porte l'enveloppe interne montée de façon à ne pas entraver les dilatations thermiques. Il reçoit la vapeur resurchauffe.



Figure I.8: Photo réel de corps MP.

3. Le corps BP

Il est à double flux et est composé de trois enveloppes. Ces enveloppes sont des constructions soudées rigides à plan de joint horizontal.

Il reçoit la vapeur sortante du corps MP, puis il la dirige vers le condenseur après avoir subi une détente à son niveau.



Figure I.9 : Photo réel de corps BP.

Ils sont séparés mais montés sur le même arbre.

La turbine est dotée d'une régulation électro hydraulique lui permettant d'être réglée à la vitesse nominale de 3000 tr/min. [6]

I.4.2. Installations électriques

a. Alternateur de puissance

L'alternateur de la centrale de Ras-Djinet, est une machine synchrone triphasée. C'est un alternateur bipolaire. Il transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

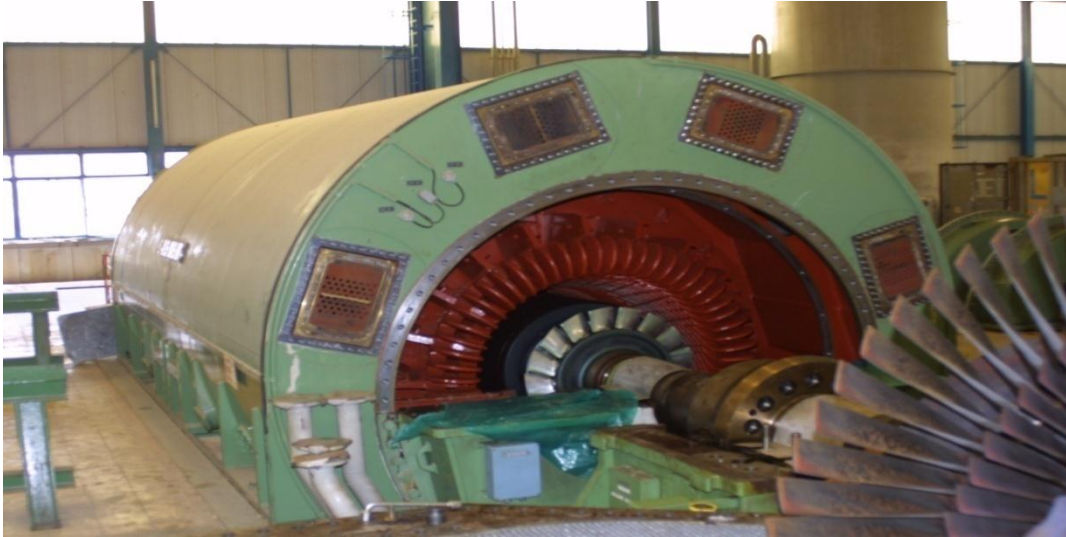


Figure I.10 : *Vue d'un alternateur de puissance.*

❖ Caractéristiques principales des alternateurs

- Tension nominale : 15,5 kV.
- Puissance apparente : 220 MVA.
- Puissance active : 176 MW.
- $\cos(\varphi) = 0,8$.
- Excitation à diodes tournantes.
- Poids du stator complet : 198 tonnes.
- Poids du rotor seul : 36,7 tonnes.

b. Excitatrice

La transformation d'énergie mécanique en énergie électrique s'effectue en utilisant un alternateur et des diodes.

Sur l'arbre de l'alternateur principal est accouplé un alternateur d'excitation dont l'inducteur est fixe et l'induit tournant (alternateur inversé); ce dernier alimente, à travers des diodes également installées sur le rotor, (l'inducteur de l'alternateur principal).

L'énergie nécessaire à l'excitation de l'alternateur inversé est fournie par un alternateur pilote dont l'inducteur est constitué par un aimant permanent.

Les caractéristiques générales de l'excitatrice sont :

- Puissance de la machine : 588 KW.
- Courant d'excitation : 2450 A.

- Plafond de la tension d'excitation : 240 V.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/min.
- Rendement du système d'excitation : 90%.

c. Disjoncteur d'alternateur (disjoncteur machine ou BBC)

Disjoncteur monophasée pneumatique fonctionnant à une pression de 28.4 bars monte entre l'alternateur et le transformateur principal, ce disjoncteur assure les fonctions suivantes :

- Séparer l'alternateur de l'alimentation de l'installation auxiliaire pendant les opérations de mis en marche ou d'arrêt.
- Permettre la synchronisation de la cote 15.5 KV.
- Couper le circuit en cas de défaut sur le transformateur principal, l'alternateur, le transformateur de soutirage.

d. Disjoncteur ligne

C'est un disjoncteur triphasé, monté entre le transformateur principale et le sectionneur tête de ligne 235 KV. Ce disjoncteur est unipolaire à commande hydraulique avec une pression de 340 bars, il assure les fonctions suivantes :

- Séparation de l'installation de production du réseau en cas de défaut électrique externe.
- Permettre la synchronisation du groupe du coté 235 KV.
- Eliminer les défauts monophasés fugitifs sur la ligne 235 KV sans interruption d'énergie grâce à une ouverture et fermeture rapide du pole en défaut. [3]

e. Transformateur principal (15.5kV/235kV)

C'est un transformateur triphasé à bain d'huile et d'une puissance nominale 220 MVA, ce transformateur transforme la tension de l'alternateur de 15,5 kV à la tension de réseau de 235 kV. Le Transformateur est équipé d'une commutation à plots à l'aide duquel il est possible de régler la transformation par degré de $\pm 2*2,5\%$, la commutation se fait manuellement sur place hors tension.

❖ Caractéristiques

- 15,5 kV /235 kV $\pm 2*2,5 \%$.
- $U_n = 15,5$ kV.
- $I_n = 8195$ A.

- $S_n = 220 \text{ MVA}$.
- Poids : 145 tonnes.
- Couplage : YnDl

d. Transformateur de réseau

A partir du réseau 63kV on peut alimenter (démarrer) les 4 groupes (à la fois) en cas de non-disponibilité du groupe et de la ligne 220KV.

e. Transformateur de soutirage 6,3kV

Le transformateur de soutirage est un transformateur abaisseur triphasé à bain d'huile avec ajusteur de tension intégré pour le réglage de la tension 6,3kV. [7]

I.5. Fonctionnement du circuit eau-vapeur de la centrale thermique

Le puits du condenseur étant rempli d'eau à certain niveau équivaut à 900mm. La pompe d'extraction aspire l'eau du puits du condenseur et la refoule vers les réfrigérants d'hydrogène à une pression de 18 bars ainsi le condenseur des buées et les éjecteurs de service, et trois réchauffeurs basse pression (BP) qui sera acheminée par la suite vers la bache alimentaire (un dégazeur qui retire l'oxygène (O_2).)

L'eau est refoulée par les pompes alimentaires jusqu'au ballon chaudière en passant par les deux réchauffeurs haute pression (HP) et l'économiseur sous une température de 284°C et une pression de 175 bars.

Dans le ballon, l'eau descend vers les colonnes de descente en bas et se vaporisant dans le foyer de la chaudière, et retourne au ballon sous forme d'émulsion (eau-vapeur). Celle-ci se sépare dans les séparateurs cyclones, l'eau sera réutilisée dans le circuit de vaporisation, tandis que la vapeur traversera une série de trois surchauffeurs pour atteindre 540°C et 154 bars.

La vapeur surchauffée (vive) sera introduite dans le corps (HP) de la turbine à une température de 540°C et une pression de 154 bars, elle est proportionnée par les soupapes régulatrices et fait tourner la turbine à une vitesse de 3000 tr/min. En se trouvant la vapeur à 535°C et 138 bars, la transformation étant adiabatique et réversible.

A la sortie du corps (HP), la vapeur subit à une grande détente. Avant de passer dans le corps moyen pression (MP), elle doit traverser deux resurchauffeurs pour atteindre encore une fois les 540°C et environ de 34 bars. En sortant du corps (MP),

la vapeur passe directement dans le corps (BP) ou elle s'évacue au condenseur à une température de 33°C et une pression de 0,05 bars et le cycle recommence.

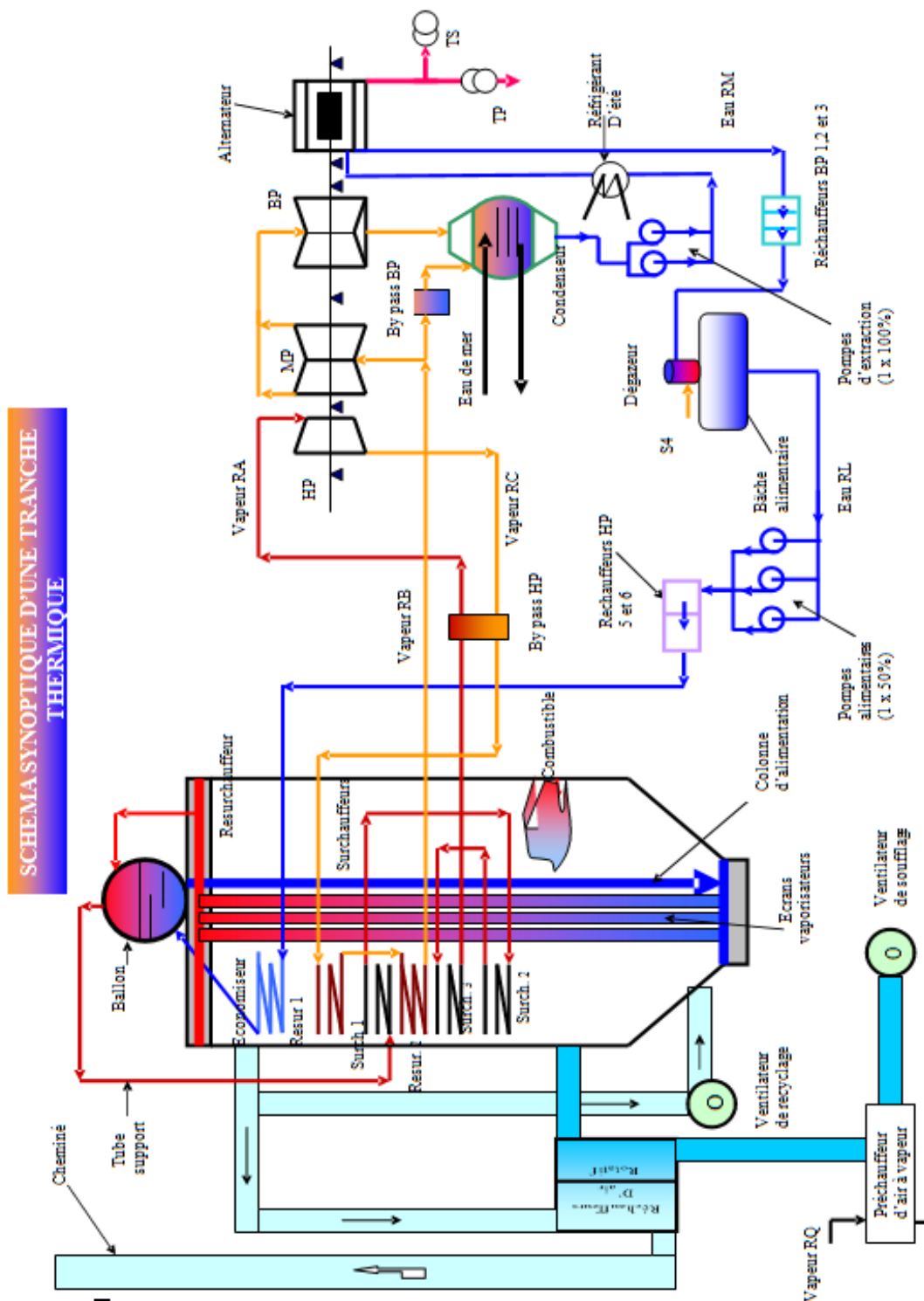


Figure I.11 : Un schéma synoptique d'une tranche thermique de la centrale.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière générale les éléments principaux de la centrale de Ras-Djinet avec la constitution et le rôle de chaque élément. Les caractéristiques principales des éléments importants (Alternateurs, Chaudière, Condenseur, Excitatrice, Transformateurs ...) ont été illustrées.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude du système d'excitation de l'alternateur de Ras-Djinet.

Chapitre II

Système d'excitation de l'alternateur de Ras-Djinet

II.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la partie la plus importante dans notre travail, qui est définie par le système d'excitation du groupe turbo-alternateur. Avant d'aborder les éléments essentiels qui constituent un système d'excitation, nous allons discuter les exigences nécessaires pour le fonctionnement des systèmes d'excitations. Les différents types de systèmes d'excitations seront par la suite présentés suivant leurs utilisations. Le rôle et l'importance du système d'excitation dans un groupe turbo-alternateur est en principe la possibilité d'effectuer des opérations de régulation et de stabilisation dans le but d'assurer la protection des éléments dans chaque bloc du groupe.

Ensuite la définition de système d'excitation de la centrale de Ras-Djinet, la régulation et la surveillance de chaque régulateur.

II.2. Excitatrice

L'excitatrice d'un alternateur puissant constitue un de ses éléments les plus importants. En effet, le champ doit non seulement induire une tension appropriée, mais il doit aussi pouvoir varier rapidement lorsque la charge varie brusquement. La vitesse de réponse est un facteur important pour le maintien de la stabilité du réseau auquel l'alternateur est branché. Afin d'obtenir une réponse rapide on utilise deux excitatrices : une excitatrice principale et une excitatrice pilote.

On peut la régler manuellement ou automatiquement en faisant varier l'intensité du champ inducteur, c'est-à-dire en agissant sur le courant d'excitation, provenant de l'excitatrice pilote. [8]

II.3. Exigences d'un système d'excitation

Le système d'excitation doit répondre aux exigences suivantes :

- Respecter les critères souhaités du cahier de charge.
- Fournir les limitations nécessaires afin d'assurer la protection de l'excitatrice elle-même, de la génératrice, et des autres équipements (turbine, réseau,...etc.).
- Respecter les exigences tout en assurant une flexibilité d'opération (régulation, stabilisation, ...etc.).
- Assurer la fiabilité et la validité des équipements. [9]

II.4. Eléments d'un système d'excitation

Le schéma ci-dessous (Figure II.1) représente les différentes parties et les éléments d'un système d'excitation appliqué pour les génératrices synchrones.

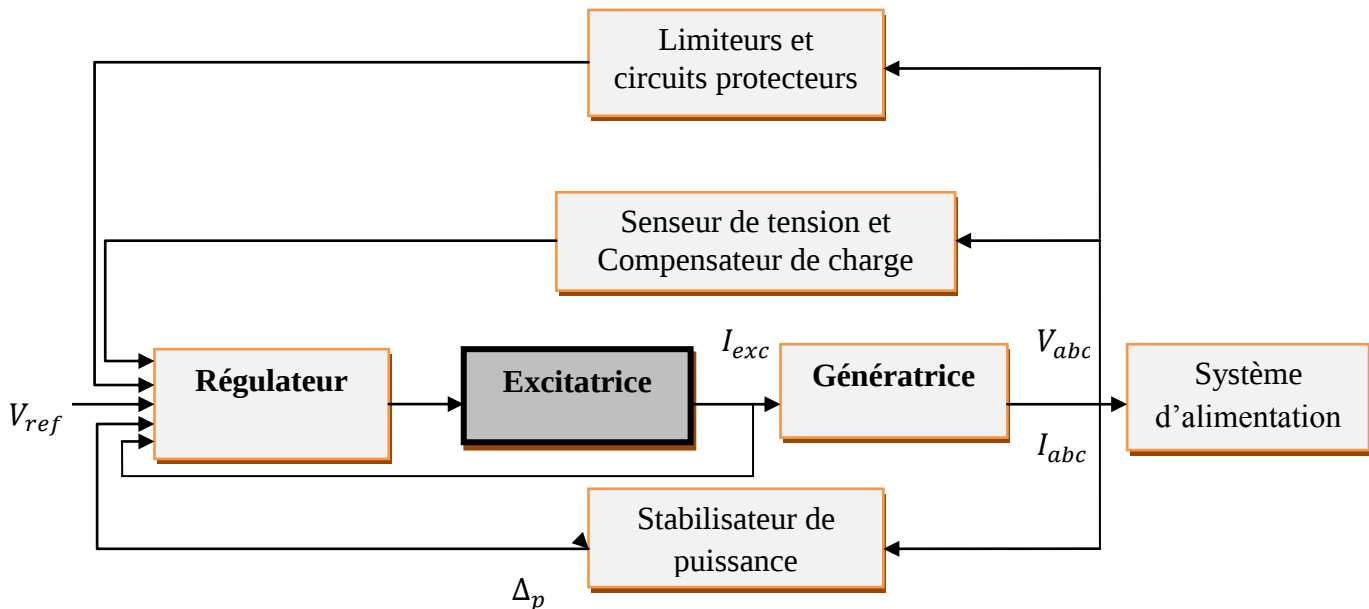


Figure II.1 : Schéma fonctionnel du système d'excitation d'une génératrice synchrone [11].

- L'excitatrice : fournit la puissance aux bobines qui créent le champ au rotor. Typiquement, un générateur d'une puissance de 600MW nécessite une excitatrice d'environ 1MW.
- Le régulateur : permet de contrôler et stabiliser le signal d'entrée de l'excitatrice.
- Le capteur de tension : mesure la tension aux bornes de la machine, le filtre et la redresse en une valeur continue. Ensuite, cette mesure est comparée à la référence (tension voulue aux bornes de la machine).

- Le compensateur de charge : est un élément additionnel et facultatif qui permet de conserver une tension constante en un point particulier distant des bornes de la machine.
- Le stabilisateur de puissance (PSS) : il fournit un signal d'entrée additionnel au régulateur du système d'excitation afin d'amortir les oscillations de puissance à basse fréquence du réseau électrique.
- Les limiteurs et les circuits protecteurs : sont toute une gamme de moyens qui s'assurent que les limites du circuit d'excitation et du générateur ne sont pas dépassées. Par exemple, limitation du courant d'excitation, limiteur de surexcitation, limiteur de tension et limiteur de sous-excitation.

II.5. Différents types de système d'excitation

Dépendamment de la source d'alimentation, les systèmes d'excitations pour les génératrices synchrones se distinguent selon trois types essentiels :

- Systèmes d'excitation à courant continu (DC).
- Systèmes d'excitation à courant alternatif (AC).
- Systèmes d'excitation statiques.

Ces différents types d'excitation seront décrits suivant la forme et la structure générale.

II.5.1. Système d'excitation à courant continu (DC)

Cette catégorie d'excitation utilise une machine à courant continu comme source d'excitation, fournissant le courant au niveau du rotor de la génératrice synchrone à travers des bagues collectrices. La machine à courant continu est entraînée par un moteur de l'arbre de la génératrice, et peut être soit auto-excitée, soit excitée séparément.

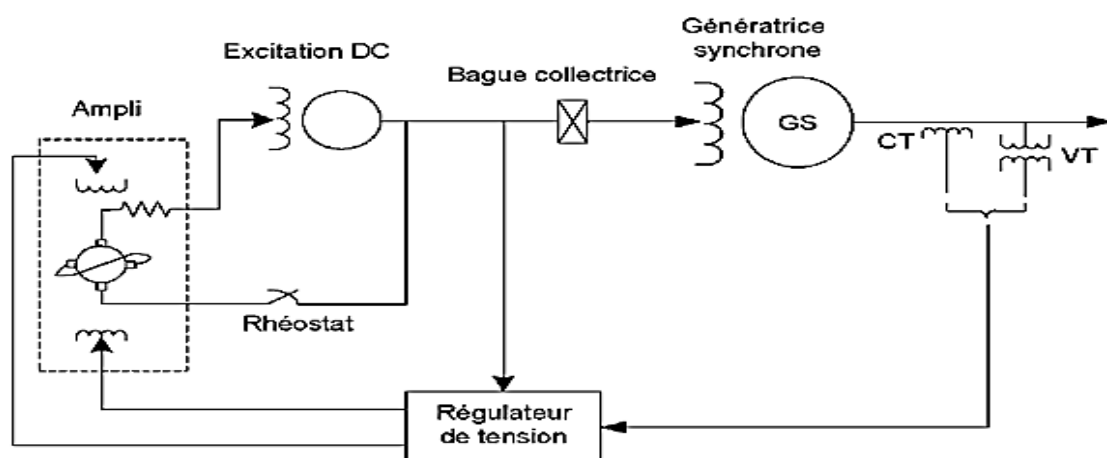


Figure II.2 : Système d'excitation de type DC.

II.5.2. Systèmes d'excitation à courant alternatif (AC)

L'excitatrice à courant alternatif utilise un alternateur associé à un redresseur stationnaire ou tournant pour produire le courant de champ excitant la machine synchrone, le redresseur utilisé peut aussi être soit commandé ou non. Dans le cas d'un redresseur non commandé, le réglage s'effectue sur les enroulements de champs au niveau de l'excitatrice AC.

Les figures II.3 et II.4 montrent l'excitatrice de type AC muni d'un redresseur stationnaire non commandé et commandé respectivement.

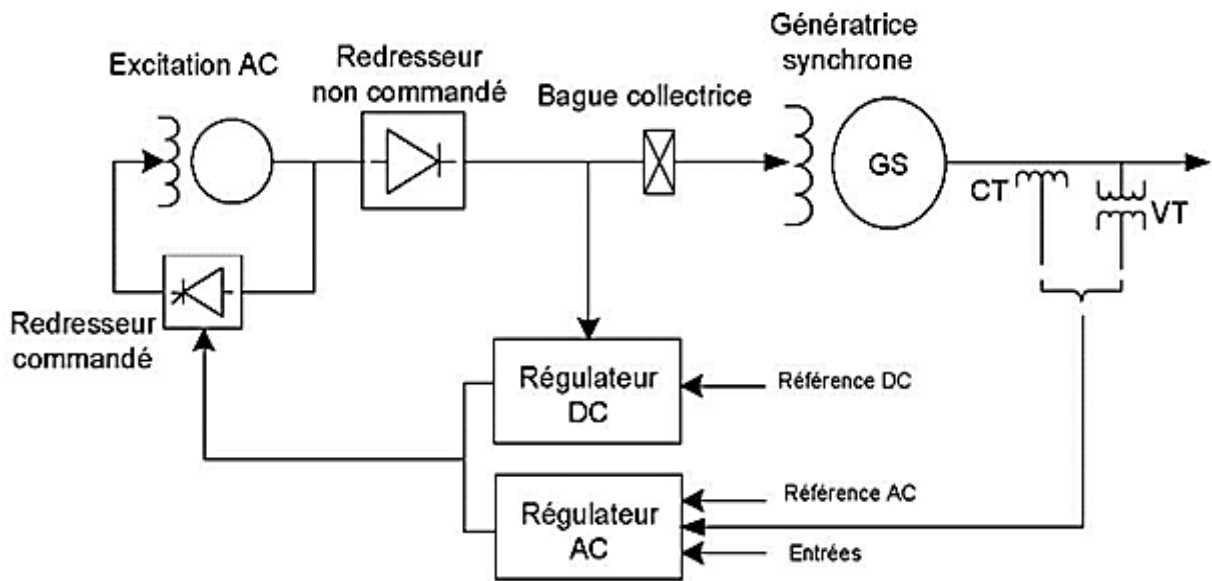


Figure II.3 : Excitation de type AC avec redresseur non commandé.

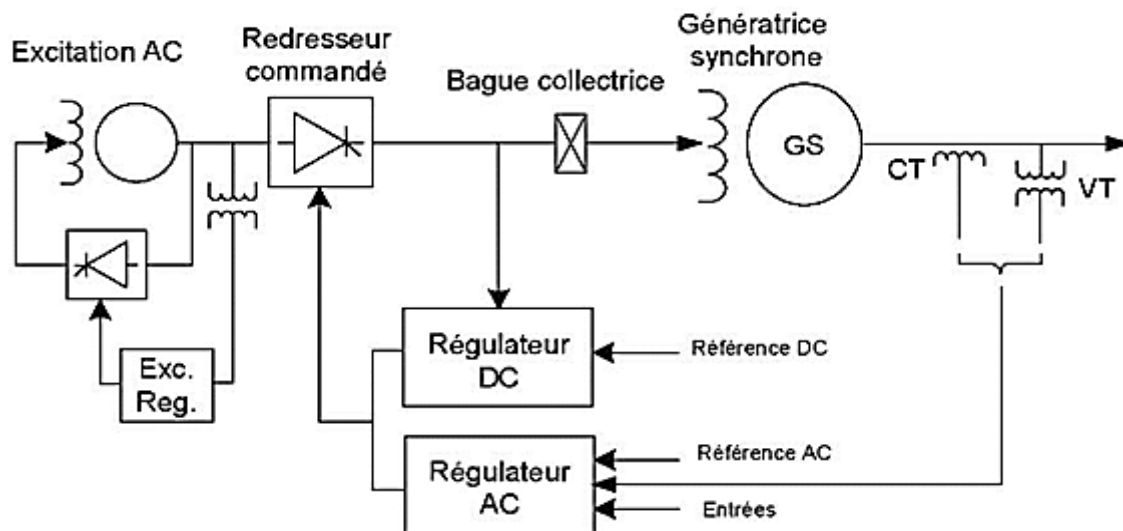


Figure II.4 : Excitation type AC avec redresseur commandé.

Dans le cas de l'excitation à courant alternatif avec redresseur tournant, les bagues collectrices sont éliminées et la sortie du redresseur à diodes est directement reliée à la

machine synchrone. La Figure (II.5) illustre l'excitation AC de type Brushless où l'on observe la structure tournante composée de l'excitatrice principale AC et du redresseur à diodes, tel que la sortie du redresseur de l'excitatrice pilote active le champ à la structure tournante. [10]

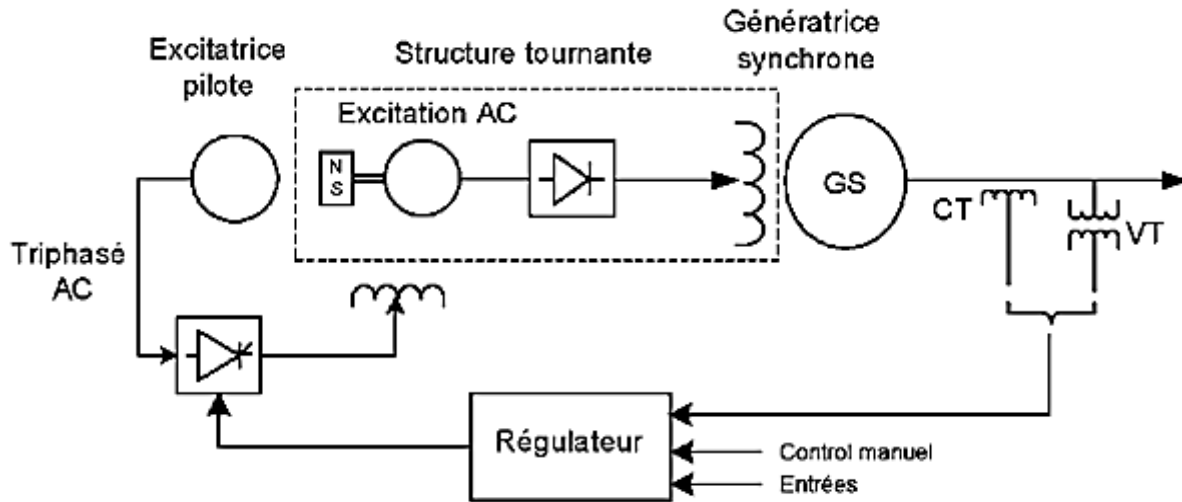


Figure II.5 : Système d'excitation de type Brushless.

II.5.3. Systèmes d'excitation statique

Dans ce type de système d'excitation, tous les composants sont statiques ou stationnaires. Le redresseur statique fournit le courant d'excitation de la génératrice synchrone à travers des bagues collectrices, et celui-ci est alimenté par la génératrice synchrone à travers un transformateur d'excitation. Cependant il existe trois types d'excitation statique :

- (a) avec redresseur commandé à source de tension.
- (b) avec redresseur non commandé à source combinée.
- (c) avec redresseur commandé à source combinée.

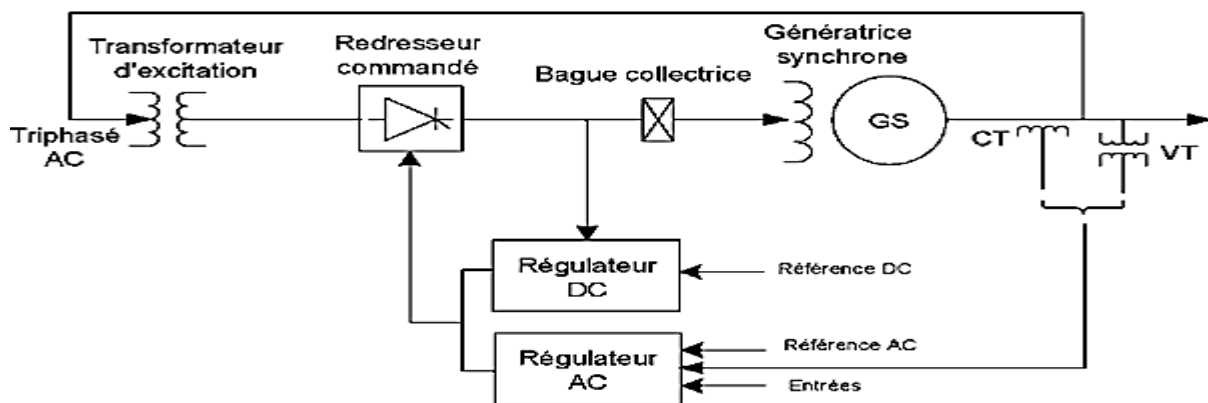


Figure II.6 : Excitatrice statique par redresseur commandé à source de tension [11].

II.6. Structure générale du Régulateur de tension

Le système d'excitation est un système auxiliaire qui alimente les enroulements d'excitation de la machine synchrone afin que cette dernière puisse fournir le niveau de puissance demandé. En régime permanent, ce système fournit une tension et un courant continu mais il doit être capable également de faire varier rapidement la tension d'excitation en cas de perturbation sur le réseau. Les systèmes d'excitation sont équipés de contrôleurs, appelés habituellement régulateurs de tension (Automatic Voltage Regulator : AVR), figure (II.7).

Ces derniers sont très importants pour l'équilibre de la puissance réactive qui sera fournie où absorbée selon les besoins de la charge. En outre ces contrôleurs représentent un moyen très important pour assurer la stabilité transitoire du système de puissance. Le régulateur de tension agit sur le courant d'excitation de l'alternateur pour régler le flux magnétique dans la machine et "ramener" la tension de sortie de la machine aux valeurs souhaitées. Une caractéristique très importante d'un régulateur de tension est sa capacité à faire varier rapidement la tension d'excitation.

Plusieurs modèles sont suggérés pour chaque type de système d'excitation. Les systèmes d'excitation statiques étant les plus installés actuellement.

Le modèle du système IEEE-ST1A est le modèle le plus utilisé dans la littérature. Ce type de système d'excitation se caractérise par sa rapidité et sa sensibilité.

La figure suivante montre ce modèle du système d'excitation et de son régulateur de tension.

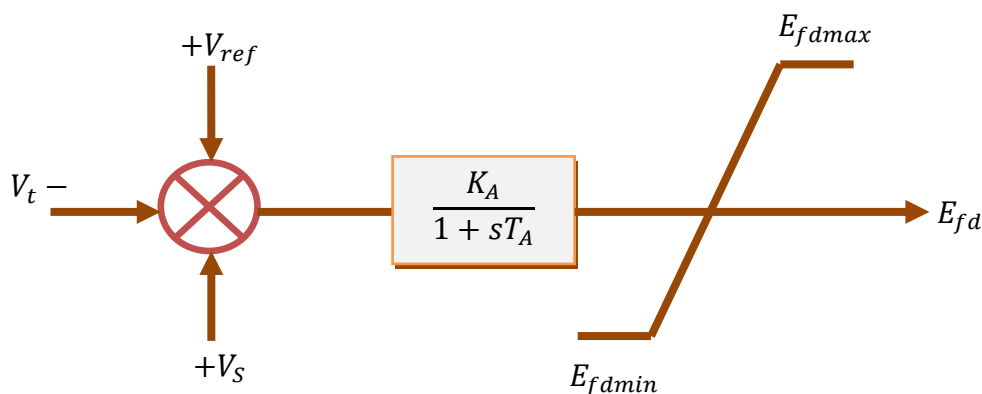


Figure II.7 : Modèle simplifié du système d'excitation IEEE-type ST1A.

La grandeur V_{ref} , est la consigne de tension spécifiée pour satisfaire les conditions de l'état d'équilibre. Le régulateur de tension compare le signal V_t (la tension mesurée) à la tension de consigne V_{ref} . Un signal complémentaire V_s peut être ajouté au nœud de

sommation ; il s'agit d'un signal issu de certains dispositifs spécifiques de commande comme les stabilisateurs de puissance (PSS). Ensuite, le signal d'erreur est amplifié pour donner la tension d'excitation demandé E_{fd} . La constante de temps et le gain de l'amplificateur sont respectivement T_A et K_A .

Les valeurs extrémales de la tension d'excitation (E_{fdmax}, E_{fdmin}) sont fixées par un limiteur. La relation suivante décrit le fonctionnement dynamique du modèle : [12]

$$\dot{E}_{fd} = \frac{1}{T_A} (K_A (V_{ref} - V_t + V_s) - E_{fd}) \quad (II.1)$$

II.7. Circuits de stabilisation d'un système d'excitation

Les systèmes d'excitation comportent des circuits de stabilisation, qui interviennent souvent en cas d'instabilité du système causé par un important temps de réponse, ou lorsque le gain du régulateur de tension au stator est très faible. Le circuit de stabilisation est caractérisé par une compensation additionnelle à la boucle de régulation pour améliorer la performance dynamique du système. La figure (II.8) illustre la compensation la plus fréquente, qui est définie par une fonction de transfert sous la forme $\frac{sK_F}{1+sT_F}$; Les paramètres de la fonction de stabilisation peuvent alors s'ajuster pour assurer le bon fonctionnement du système.

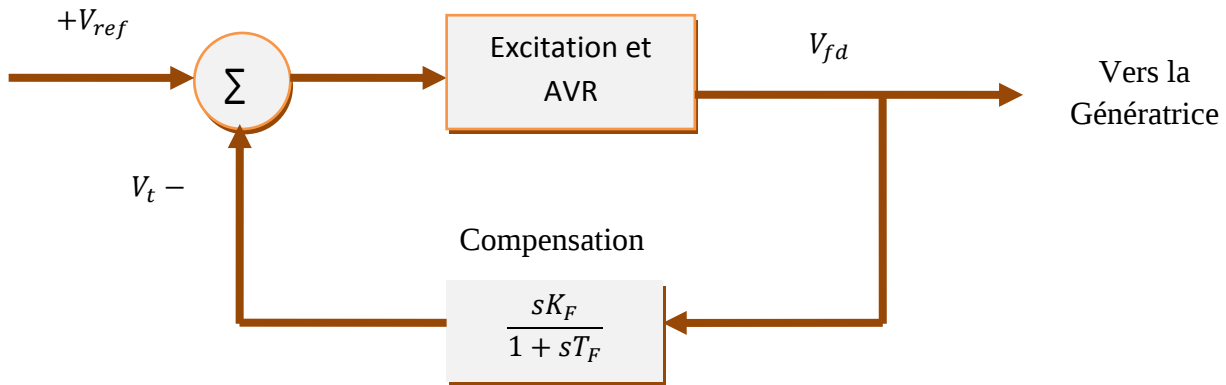


Figure II.8 : Schéma de stabilisation et régulation de l'excitation.

II.8. Stabilisateur de puissance (PSS)

Le stabilisateur de puissance (PSS) utilise des signaux de stabilisation additionnels qui agissent sur le système d'excitation dans le but d'améliorer les performances dynamiques du système électrique global. Généralement les grandeurs utilisées à l'entrée d'un stabilisateur de puissance sont générées par : la vitesse de rotation de l'arbre, la fréquence et la puissance.

L'utilisation d'un stabilisateur de puissance dans les systèmes d'excitation, est souvent requise, car cet élément permet essentiellement l'amortissement des oscillations de puissance surtout dans le cas de faibles signaux, ce qui assure ainsi une meilleure stabilité. [13]

II.9. Régulation de système d'excitation de turbo-alternateur adapté dans la centrale de Ras-Djinet

II.9.1. Disposition de la machine

Les turbo-alternateurs de la centrale thermique de Ras-Djinet développent une puissance de 4x176MW. Chaque groupe est composé :

➤ D'un alternateur :

L'alternateur de la Centrale de Ras-Djinet, est une machine synchrone triphasée. C'est un alternateur bipolaire à refroidissement direct du rotor et à refroidissement indirect de l'enroulement du stator avec de l'hydrogène.

➤ D'une excitatrice pilote à aimant permanent :

L'excitatrice pilote triphasé est un alternateur à 16 pôles. L'enveloppe contient le paquet de tôles et l'enroulement triphasé ; le rotor est constitué par la roue et les pôles saillants chaque pôle se compose d'aimants permanents revêtus du métal amagnétique.

➤ D'une excitatrice principale :

L'excitatrice principale est un alternateur à 6 pôles, l'enveloppe abrite les pôles. L'enroulement inducteur est placé sur les pôles magnétiques feuilletés. L'enroulement amortisseur est constitué par des barres logées à la surface de l'épanouissement polaire.

Le rotor se compose d'un empilage de tôles sérés au moyen de broches et des tiges d'assemblage traversant l'empilage de part en part. L'enroulement triphasé est logé dans les encoches du rotor, Les têtes de bobines de l'enroulement rotor sont attachées au moyen de fil d'acier.

➤ Roues à diodes :

Les principaux éléments des roues à diodes sont les diodes au silicium qui sont montées dans les roues de façon à constituer un pont triphasé.

Le tableau suivant montre les caractéristiques essentielles d'un système d'excitation

Tableau II.1: Caractéristiques du système d'excitation.

Type de la machine	Alternateur	Excitatrice principale	Excitatrice pilote
Puissance Active	176 MW	558 KW	15 KVA (apparente)
Tension	15.5 KV	240 V	220 V
Courant	8195 A	2450 A	41 A
Vitesse	3000 tr/min	3000 tr/min	3000 tr/min
Fréquence	50 HZ	50 HZ	400 HZ
Cos(φ)	0.8	$0 < \text{Cos}(\varphi) < 1$	1
Courant d'inducteur	2450 A	41 A	Aimant permanent

L'excitation se compose de diodes tournantes avec régulation statique. L'alimentation du système d'excitation se fait par un aimant à pôle permanent. Celui-ci a été conçu pour avoir un courant de 400 Hz afin de lisser la tension d'excitation.

$$n=60 f/p \Rightarrow p=60f/n=60*400/3000=8 \quad (\text{II.2})$$

n : vitesse de rotation

p : nombre de pair de pôle

Donc, c'est un aimant permanent à 16 pôles. L'aimant permanent va desservir deux ponts à thyristors semblables. Une alimentation par un réseau auxiliaire a 50 Hz, a été prévu pour un fonctionnement en régime de secours.

II.9.2. Principe d'excitation

L'excitatrice pilote à pôle permanent assure l'alimentation pour le réglage et l'excitation, de sorte que le système d'excitation devient indépendant d'un réseau extérieur. L'alternateur est excité par une excitatrice à courant triphasé avec un régulateur à thyristor. Le système de la machine est sans balai, la désexcitation se fait dans le circuit de champ de l'excitatrice.

1. Régulateur.
2. Excitatrice pilote a aiment permanent.
3. Bagues de mesure et balais associés pour le contrôle de l'isolement.
4. Mesure inductive du courant d'excitation.
5. Excitatrice triphasée.

6. Pont redresseur à diodes au silicium.
7. Connecteur courant triphasé.
8. Connexion MULTI CONTACT.
9. Enroulement rotor.
10. Enroulement stator

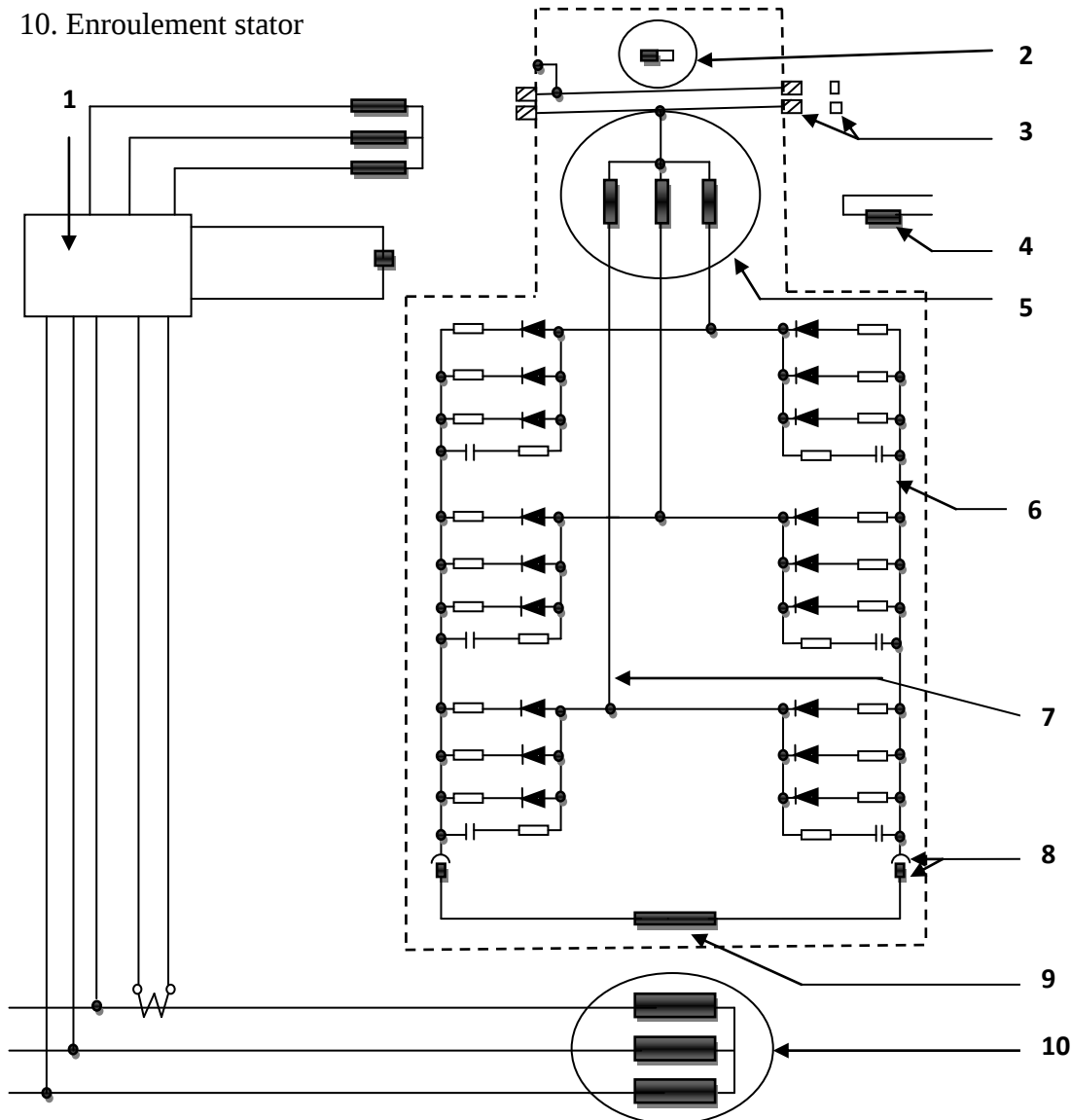


Figure II.9 : Schéma de principe du système d'excitation.

II.9.3. Critères de qualité de système d'excitation

Les deux critères les plus importants qui font la qualité d'un système d'excitation sont :

a. La vitesse de réponse

Elle caractérise son aptitude à atteindre plus ou moins rapidement le plafond d'excitation.

b. La précision

Elle mesure l'écart entre la consigne et la tension effective ; une bonne précision est assurée par un gain élevé du système d'excitation.

Le premier critère nous amène au choix de la source qui fournit la puissance d'excitation.

Le second critère nous amène au choix des régulateurs qui rendant cette source plus ou moins performante.

II.9.4. Principe de réglage

Régulateur multi canal avec une sécurité de fonctionnement particulière pour grands alternateurs avec excitatrice à courant triphasé. Le dispositif de réglage possède trois circuits complètement séparés avec propres convertisseurs pour:

- réglage de la tension.
- réglage du courant de champ.
- régime de secours avec transformateur de réglage.

On peut commuter à la main ou automatiquement sans à-coup entre les modes de service réglage de la tension et réglage du courant de champ lorsque certaines conditions sont remplies. Les perturbations des régulateurs sont détectées et évaluées dans un appareil de surveillance propre.

II.9.5. Commutateur sélectif de service pour l'alimentation du régulateur en tension

L'alimentation en tension alternative se fait en service normal directement à partir de l'excitatrice pilote à pôle permanent et pour certains cas de service spéciaux à partir du réseau des auxiliaires en passant par un transformateur de réglage approprié. Le transformateur de réglage fournit une tension réglable qui alimente le redresseur à service manuel en passant par un transformateur d'adaptation.

II.9.6. Régulateur de tension

Le régulateur de tension se charge dans le fonctionnement normal sur secteur du réglage de la machine. Le régulateur possède une caractéristique PI avec deux boucles de régulation insérées pour courant de rotor (reg. P) et courant de champ (reg. Pi). Ce système de réglage se distingue par une grande stabilité et vinsse de réglage dans tous les cas de charge. Une accélération de tension lors de la commande « Excitation MARCHE » est menée avec une

valeur de consigne supplémentaire de 0 à U_{nom} afin d'éviter un dépassement. Des limitations à action instantanée et temporisée protègent la machine contre des sollicitations inadmissibles.

Des unités d'affichage signalent si une limitation est en prise. Pour amortir le groupe des machines en cas de condition de secteur critiques, on peut raccorder un accessoire de stabilisation de charge active au régulateur de tension.

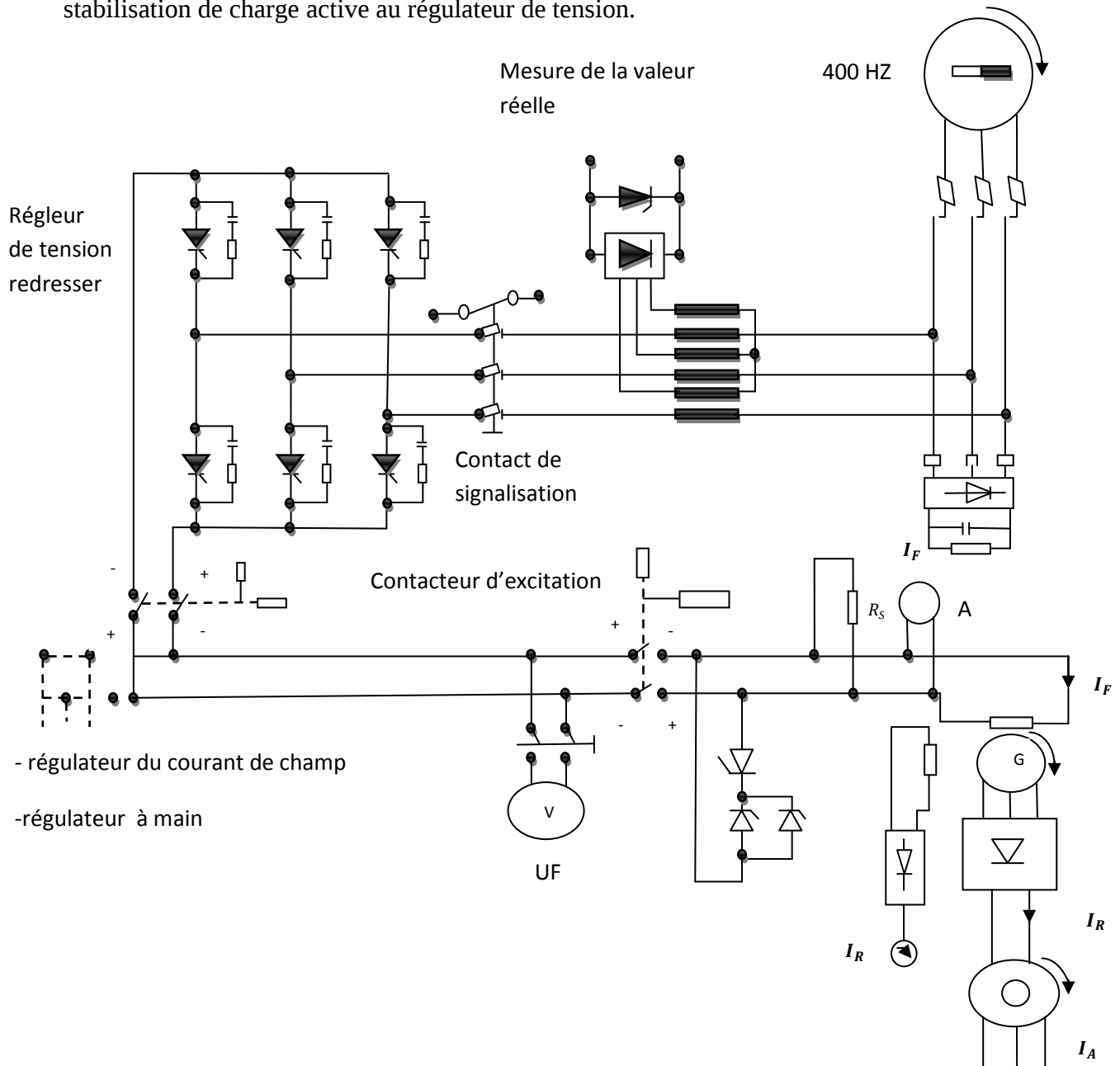


Figure II.10 : Schéma de régulateur de tension.

II.9.7. Régulateur du courant de champ

Le régulateur du courant de champ se compose dans une large mesure des mêmes composants que le régulateur de tension et prend en charge le réglage de la machine en cas de défaillance du réglage de tension ou lorsqu'un réglage de tension n'est pas indiqué (réglages

de protection, chauffage). Le régulateur possède une caractéristique PI, il régit le courant de champ de l'excitatrice.

Le domaine de réglage est de 0 à 1,3 IF nom. Le courant de champ est limité à une valeur maximale admissible. Lors d'excitation « MARCHE », l'augmentation du courant de champ est limitée à peu près comme pour le régulateur de tension indépendamment de la position de l'afficheur de consigne. La prise de la limitation de courant de champ est signalée optiquement.

II.9.8. Régulateur par poursuite et commutation

Une commutation de régulation de tension à régulation de courant de champ peut se faire de façon manuelle ou automatique. Lors d'une défectuosité du régulateur de tension, l'installation commute automatiquement au régulateur de courant de champ.

Un réglage supplémentaire par poursuite et d'équilibrage ainsi qu'un appareil de contrôle d'avaries du régulateur sont prévus pour réaliser cette exigence.

Le régulateur par poursuite permet la commutation sans à-coup de la régulation de tension à la régulation de courant de champ et assure que l'afficheur de consigne du régulateur de courant de champ est le même que du régulateur de tension.

La commutation se fait sans à-coup si les deux valeurs de consigne sont égales. La différence entre les deux valeurs de consigne est signalée sur un instrument d'équilibrage.

II.9.9. Redresseur pour réglage de la tension et du courant de champ

Il s'agit de redresseurs à thyristors réalisés de façon tout à fait identique en montage en pont triphasé avec refroidissement naturel et coupe-circuit de dérivation surveillés. En cas de défaillance d'un coupe-circuit, le contrôle d'avaries procède à une commutation ou à un débranchement de l'installation.

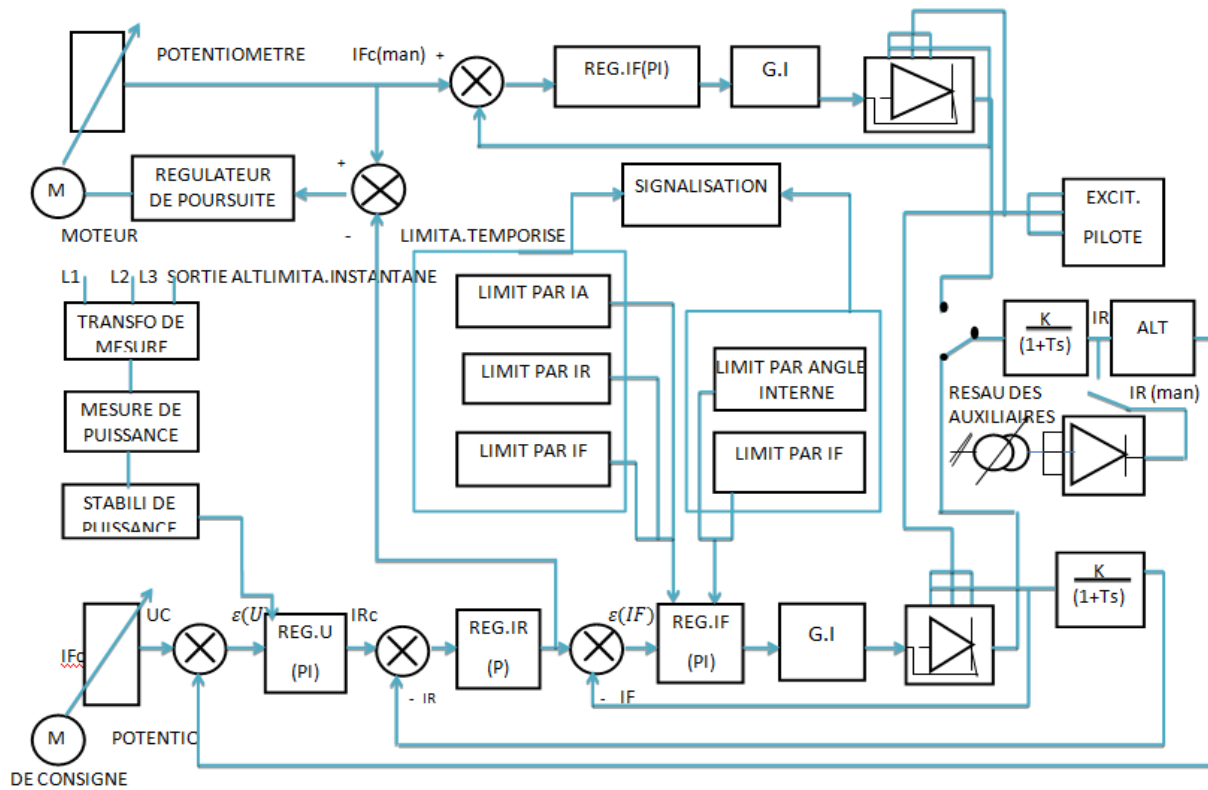


Figure II.11: Schéma fonctionnel de régulation.

II.9.10. Régulateur à main

Pour le cas d'une perturbation non éliminable dans l'électronique ou dans l'excitatrice pilote on a prévu un régulateur à main alimenté par le réseau des auxiliaires permettant de fonctionner en régime de secours.

Le régulateur à main consiste en un transformateur de réglage télécommandé avec contacts d'extrémité et automatisme de retour, qui excite l'excitatrice à courant triphasé en passant par un transformateur intermédiaire et un redresseur.

Le redresseur est protégé par des coupe-circuit de phase. Une commutation entre le régulateur à main et le régulateur à thyristor pendant le service n'est pas possible.

II.9.11. Dispositif de désexcitation

La désexcitation se fait dans le circuit de champ de l'excitatrice, étant donné qu'une intervention dans le circuit de la roue polaire n'est pas possible.

Le dispositif de désexcitation consiste en un contacteur interrupteur et en un appareil de tension qui sert aussi de résistance de désexcitation non linéaire.

II.9.12. Contrôle d'avarie du régulateur et dispositif de commande

Le contrôle d'avarie du régulateur remplit les fonctions suivantes :

- Surveillance du régulateur de tension.
- Surveillance du régulateur de courant de champ.
- Surveillance du régulateur par poursuite.
- Commutation automatique au réglage de courant de champ lors de perturbation du régulateur de tension ou débranchement lorsque les deux régulateurs sont perturbés.

Le dispositif de commande électrique permet :

- Des fonctions entrée-sortie (connexion avec d'autres installations de la centrale).
- La commande de toutes les parties pendant le démarrage, l'arrêt et le fonctionnement de l'excitation.
- La surveillance du dispositif d'excitation et l'émission d'avertissements et/ou de déclenchements en cas de défaut.
- Signalisation de défauts sur place en commutation à deux fonctions avec remise commune à l'état initial.
- Possibilités de commande sur place.

Différentes possibilités d'essai et de simulation pour faciliter la maintenance et la mise en service.

II.9.13. Diagramme de puissance

Le diagramme définit la zone de fonctionnement possible de l'alternateur ; chaque régime de fonctionnement correspond à l'intérieur de la courbe : [14]

- AB : Limitation par courant rotor
- BC : Limitation par courant stator
- CD : Limitation par puissance active maximale
- DE : Limitation par échauffement des têtes de bobine
- EF : Limitation par l'angle de déphasage interne maximal

Chapitre III

Étude des convertisseurs statiques AC/DC et Modélisation de l'alternateur triphasé à pôles lisses

III.1. Introduction

La tension constitue avec la fréquence, un des principaux paramètres de la sûreté du système de puissance. Ces paramètres sont communs aux différents utilisateurs : Client, distributeurs...etc

Par nature, la tension aux bornes générateur ou du réseau électrique fluctuée .Elle est d'abord affectée par des variations lentes et générales liée aux cycles d'évolution saisonnière, hebdomadaire et quotidienne de la consommation. Elle subit aussi des variations rapides liées à de multiples aléas : fluctuations des charges, changements de topologie du réseau...etc.

Il est donc nécessaire, pour que la tension soit maintenue en tout point du réseau dans la plage souhaitée, de disposer de moyens de contrôle et de réglage. Pour effectuer cette régulation on doit impliquer des redresseurs P3, PD3 commander (thyristor) et non commander (diode)...

L'étude du fonctionnement des machines synchrones en régime transitoire nécessite d'avoir un modèle mathématique, ou système d'équations qui permet de relier des valeurs caractéristiques dites de sorties, a des valeurs caractéristiques dites d'entrée, de nombreux modèles ont été élaborés afin d'étudier le comportement des machines électriques en général et des machines synchrones en particulier. Chacun d'eux possède un domaine propre de validité, qui correspond à des circonstances ou hypothèses imposées dès le départ.

Pour notre étude, on utilisera le modèle d'une machine synchrone pole lisse, en se basant sur quelque hypothèses simplificatrices afin de rendre notre système d'équations simples à manipuler, et éviter ainsi des temps de calcul prohibitifs. Nous aurons aussi recouru à la transformation de Park pour la simplification des modèles de la machine.

III.2. Généralités sur les redresseurs :

Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif continu. Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie. On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications.

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles ; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes.

III.2.1. Les trois types de montages redresseurs :

Pour obtenir une tension continue, on redresse un ensemble de q tensions alternatives, d'ordinaire supposées sinusoïdales et formant un système polyphasé équilibré (nombre de phases q). On distingue trois types de montages :

1. P_q : montages avec source en étoile et un seul commutateur ou redresseur "simple alternance."
2. PD_q : montages avec source en étoile et deux commutateurs ou redresseurs "en pont".
3. S_q : montages avec source en polygone et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source polygonale (Les montages de type S_q ne seront pas étudiés dans notre étude).

III.2.2. Quelques définitions

➤ Indice de commutation q du montage

L'indice de commutation est donné par la durée de conduction de chaque diode et correspond au nombre de phases du réseau de distribution. Par exemple, pour les montages P3

et PD3, l'indice de commutation est égal à 3 (chaque diode conduit pendant un tiers de période ou T/q).

➤ **Indice de pulsation p de la tension redressée**

L'indice de pulsation p donne le nombre de portions de sinusoïde par période de la tension redressée. Par exemple, pour le montage PD3, nous verrons que l'indice de pulsation est égal à 6 (la tension redressée se compose de six portions par période).

➤ **Facteur de forme**

La valeur du facteur de forme caractérise la tension redressée. Plus cette valeur est proche de l'unité, plus la tension obtenue est voisine d'une grandeur continue. Ce coefficient sert à comparer des montages redresseurs différents entre eux. Par définition, on nomme facteur de forme le rapport :

$$F = \frac{U_{eff}}{U_{dmoy}}$$

U_{eff} Valeur efficace de la tension redressée

U_{dmoy} Valeur moyenne de la tension redressée

III.3. Le redressement non commandé

Ce type de redresseur permet d'obtenir en sortie une tension redressée dont la valeur moyenne est fixée (non réglable). Ce dispositif est réalisé à partir des diodes.

III.3.1. Etude du montage redresseur parallèle simple P3

Les diodes sont supposées parfaites (interrupteurs parfaits). On supposera également négligeable l'inductance ramenée au secondaire du transformateur.

Les enroulements secondaires du transformateur sont couplés en étoile et le redresseur composé de trois diodes montés en cathode commune (nommé commutateur plus positif). La charge est placée entre la cathode et le neutre.

Les tensions d'enroulements secondaires de valeur efficace forment un système triphasé direct.

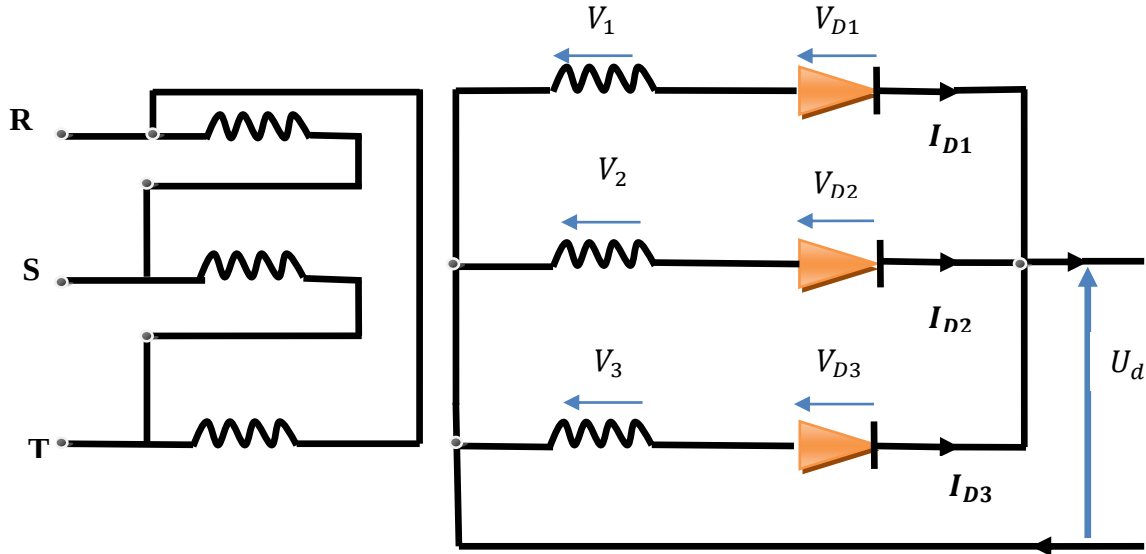


Figure III.1 : Redresseur simple alternance «Montage parallèle P3».

Les tensions d'entrée sont :

$$\begin{aligned} v_1 &= v\sqrt{2} \sin(\omega t) \\ v_2 &= v\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3 &= v\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \quad (III.1)$$

Avec : v est la valeur efficace des tensions simples.

A un instant donné, la diode qui est reliée au potentiel le plus élevée est passante (Seule la diode dont l'anode est au plus haut potentiel peut conduire), et les autres sont bloquées.

$$U_d = \sup\{v_1, v_2, v_3\} \quad (III.2)$$

$$\begin{aligned} U_d(t) &= v_1 \text{ si } \{v_1 > v_2 \text{ et } v_3\} \\ U_d(t) &= v_2 \text{ si } \{v_2 > v_1 \text{ et } v_3\} \\ U_d(t) &= v_3 \text{ si } \{v_3 > v_1 \text{ et } v_2\} \end{aligned} \quad (III.3)$$

La tension redressée U_d est périodique de période $T / 3$

Entre $T/12$ et $5T/12$ (ou entre $\pi/6$ et $5\pi/6$), cette tension s'exprime par :

$$U_d = v_1(t) = V_M \sin(\omega t) \quad (III.4)$$

La valeur moyenne de la tension redressée est donnée par la formule suivante :

$$U_{dmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} U_d(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_M \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_M \quad (III.5)$$

La réponse de la tension redressée est représentée dans la figure.III.2.

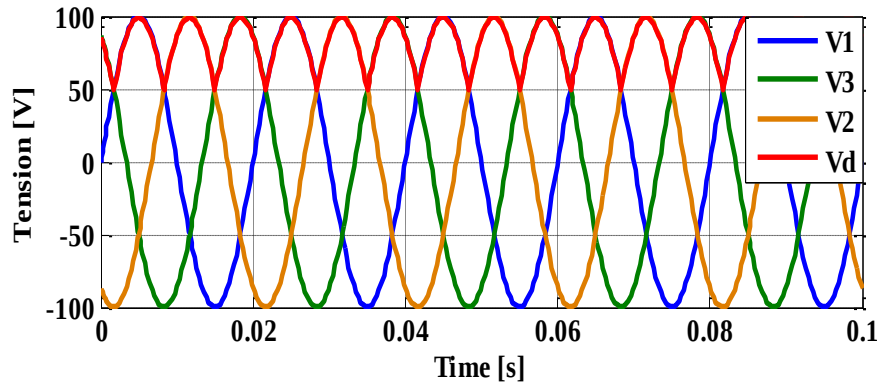


Figure III.2 : Réponse de la tension redressée «Montage P3».

III.3.2. Etude du montage redresseur Parallèle Double PD3

Les enroulements secondaires du transformateur sont couplés en étoile et le redresseur composé de $2q$ diodes un premier groupe monté en cathode commune (nommé commutateur plus positif M). Le deuxième groupe monté en anode commune (nommé commutateur plus négatif N).

La charge est placée entre les point M et N. Les tensions d'enroulements secondaires de valeur efficace forment un système triphasé direct.

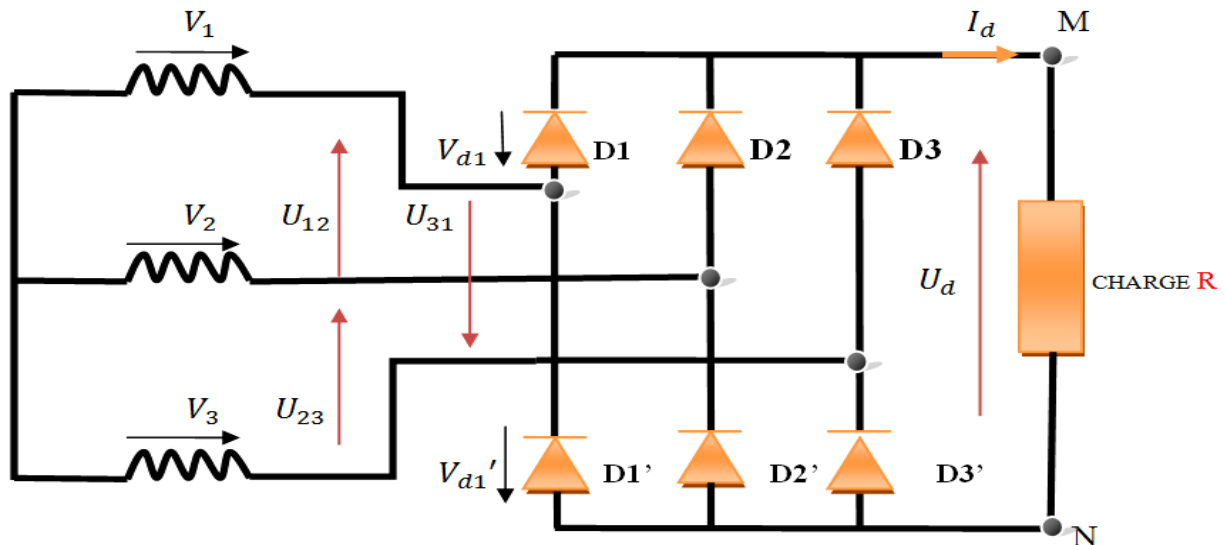


Figure III.3 : Redresseur double alternance «Montage PD3».

L'existence d'un courant continu dans la charge exige la conduction de deux diodes à tout instant, une de chaque commutateur.

La règle pour déterminer les diodes passantes est la même que pour le montage P3

On a donc

Si $\{v_1 > v_3 > v_2\}$ D_1 et D_2' conduisant et $u_d = v_1 - v_2$

Si $\{v_1 > v_2 > v_3\}$ D_1 et D'_3 conduisant et $u_d = v_1 - v_3$

Si $\{v_2 > v_1 > v_3\}$ D_2 et D'_3 conduisant et $u_d = v_2 - v_3$ etc.....

Chaque diode conduit pendant un tiers de la période (on dira que l'indice de commutation de ce montage est $q = 3$) tandis que la tension redressée se compose de six portions de sinusoides par période T (on dira que l'indice de pulsation est $p = 6$) ; ces deux indices avaient des valeurs égales dans le cas des montages parallèles simples.

La tension redressée u_d est périodique de période $T/6$

Entre $T/12$ et $T/4$, cette tension s'exprime par :

$$u_d = v_1 - v_2 = v \sqrt{2} (\sin(\omega t) - \sin(\omega t - 2\pi/3)) \quad (\text{III.6})$$

Avec : v est la valeur efficace des tensions simples.

La valeur de la tension moyenne redressée est donnée par la forme suivante :

$$u_{dmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} U_d(t) dt = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} V_M \left[\sin(\omega t) - \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \right] d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_M \quad (\text{III.7})$$

La figure III.4. Représente la tension redressée de montage PD3 :

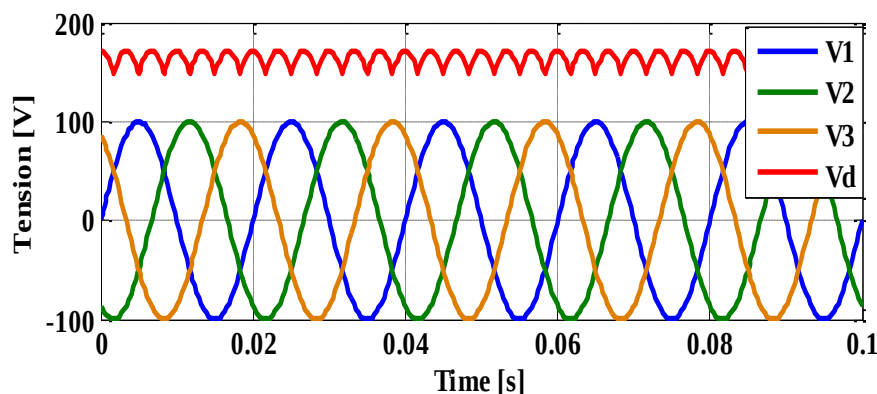


Figure III.4 : Reponse de la tension redressée «Montage PD3».

III.4. Le redressement commandé

Comme pour les redresseurs à diodes, ces dispositifs permettent d'obtenir un courant continu dans la charge. Cependant, cette fois le niveau de tension moyenne de sortie sera réglable en fonction du signal de commande envoyé sur les thyristors. [15]

III.4.1. Commutation parallèle simple (P3 à thyristor)

Le montage P3 à thyristor est constitué de trois thyristors, connecté chacun à une phase .

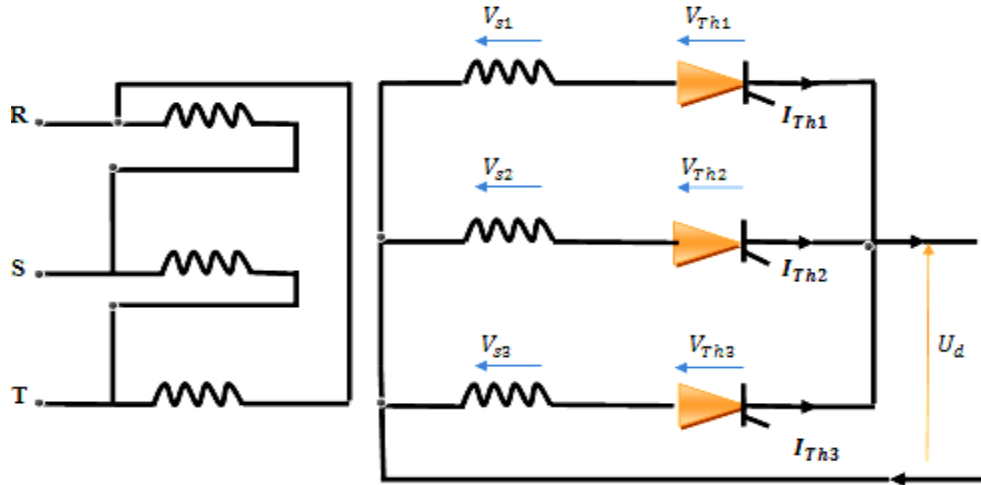


Figure III.5 : Redresseur simple alternance «Montage parallèle P3 a thyristor».

Les thyristors sont débloquent avec un retard en angle de α , c'est à dire que des impulsions de déblocage sont envoyées sur les gâchettes des thyristors respectivement aux angles :

$$Th1 \quad \omega t = \left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) + 2k\pi$$

$$Th2 \quad \omega t = \left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) + 2k\pi \quad (III.8)$$

$$Th3 \quad \omega t = \left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) + 2k\pi$$

La tension redressée U_d est périodique de période $\frac{T}{3}$

Entre $T/12 + t_\alpha$ et $5T/12 + t_\alpha$ (ou entre $\pi/6 + \alpha$ et $5\pi/6 + \alpha$), cette tension s'exprime par :

$$U_d(t) = V_{s1}(t) = V_M \sin(\omega t) \quad (III.9)$$

La valeur moyenne de la tension redressée est donnée par la relation suivante :

$$U_{d moy} = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} U_d(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_M \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_M \cos(\omega t) \quad (III.10)$$

Les thyristors devront donc supporter les tensions maximales : $V_{dmax} = \pm\sqrt{3} V_M$

La figure suivante représente la tension redressée de ce montage :

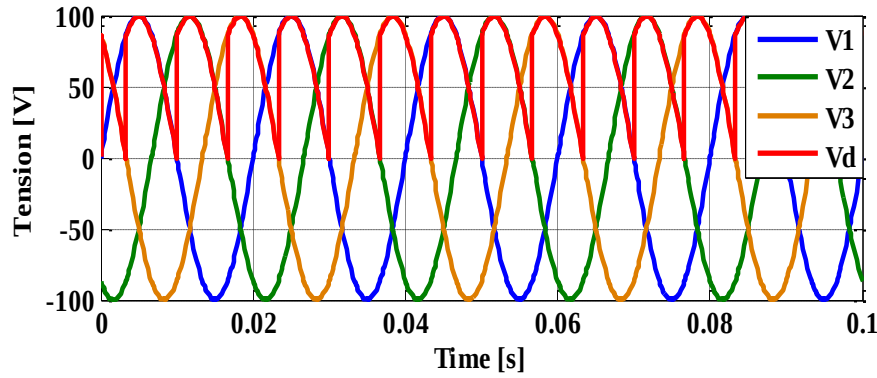


Figure III.6 : Allure de la tension redressée pour $\alpha = \pi/6$ (30°).

III.4.2. Commutation parallèle double (PD3 à thyristors)

Le pont PD3 à 6 thyristors ci-dessous est alimenté à travers un transformateur triphasé. Les thyristors fonctionnent avec un retard d'amorçage de α par rapport à l'amorçage naturel un seul thyristor conducteur parmi $Th1$, $Th2$, $Th3$, et un seul thyristor conducteur parmi $Th1'$, $Th2'$, $Th3'$.

La tension redressée U_d est périodique de période $T/6$.

Entre $T/12 + t_\alpha$ et $T/4 + t_\alpha$ (ou entre $\pi/6 + \alpha$ et $\pi/2 + \alpha$), cette tension s'exprime par :

$$U_d = V_1 - V_2 = V_M (\sin(\omega t) - \sin(\omega t - 2\pi/3)) \quad (\text{III.11})$$

La valeur moyenne de la tension redressée est donnée par la relation suivante :

$$U_{dmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} U_d(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} V_M \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_M \cos(\alpha) \quad (\text{III.12})$$

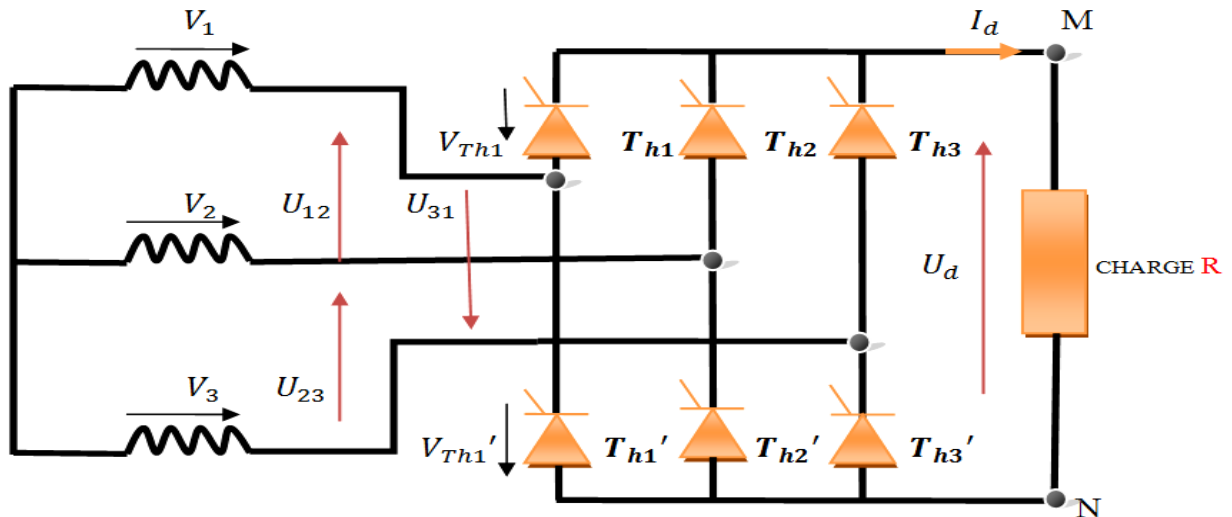


Figure III.7 : Schéma de principe de pont triphasé tout thyristors.

La figure suivante représente les allures des tensions simples et la réponse de la tension redressée avec $\alpha = 30^\circ$:

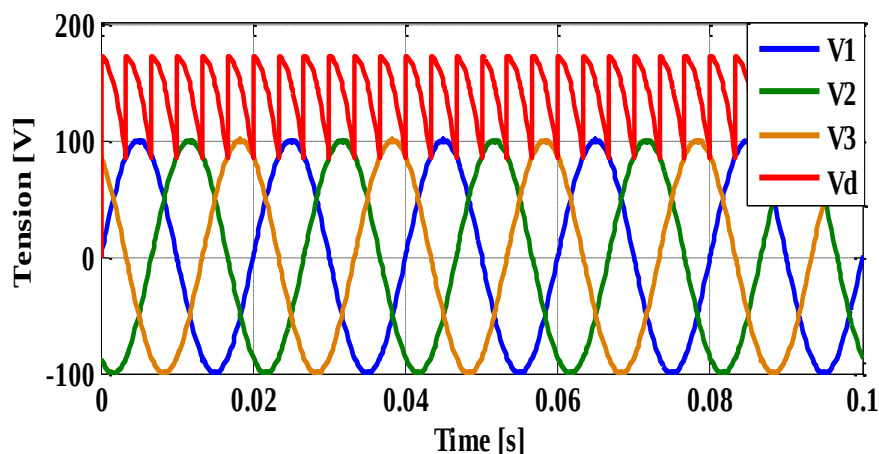


Figure III.8 : Allure des tensions d'entrées et de tension redressée d'un pont tout thyristor.

Tableau III.1 : Résumé des deux types de redresseurs PD3 à base de diode et de thyristor

Type du redresseur	Composants	Angle d'amorçage (α°)	V_{moy} Pu	Avantages	Inconvénients
PD3	Diodes	/	0.956	-Montage économique -La tension redressée est maximale	-La tension redressée non réglable (fixe)
PD3	Thyristors	0°	0.956	-La tension redressée est réglable (variable) - La tension redressée est maximale	- Montage couteux
		15°	0.922		
		30°	0.826		
		45°	0.543		
		60°	0.477		

III.5. Modélisation de l'alternateur triphasé à pôles lisses

On peut modéliser l'alternateur selon différentes méthodes :

- Les modèles en abc, résultant des équations différentielles à coefficients périodiques régissant le fonctionnement de la machine. Ils sont utilisés essentiellement pour l'étude des régimes permanents.
- Les modèles de la transformation de PARK, utilisés couramment pour l'étude des régimes transitoires et pour la commande vectorielle des moteurs.

III.5.1. Hypothèses simplificatrices

Le modèle retenu repose sur les hypothèses simplificatrices suivantes : [16]

- La perméabilité de la machine est constante, ceci suppose que le circuit magnétique est parfaitement linéaire ; la saturation magnétique est négligée. Cette hypothèse permet d'assumer que les inductances sont constantes. Les flux sont donc des applications linéaires simples des courants.
- la densité de courant dans les sections des conducteurs élémentaires est considérée comme uniforme, absence d'effet pelliculaire.
- la distribution de la force magnétomotrice est sinusoïdale, cette hypothèse peut s'exprimer de la façon suivante : on ne considère que le premier harmonique d'espace de la distribution des forces magnétomotrices ($f.m.m$) créés par chaque phase de l'induit.
- La température de fonctionnement est constante, on néglige la variation des résistances des enroulements en fonction de la température. On prendra les valeurs correspondantes au fonctionnement sous charge nominale, après stabilisation de la température des enroulements.
- Les amortisseurs sont représentés par deux enroulements, en court-circuit sur eux-mêmes.

III.5.2. Description de l'alternateur triphasé

La machine synchrone à pôles lisses possède :

- Trois enroulements statoriques fixes, repérés a, b et c.
- un enroulement inducteur tournant, repéré f.
- deux enroulements amortisseurs tournants, repérés D et Q ; ces enroulements sont en court-circuit.

L'axe « O_d » est l'axe de bobinage inducteur ; et l'axe « O_q » est situé entre deux pôles, ces deux axes sont en quadrature. Ces axes sont également ceux des enroulements amortisseurs D et Q. ils sont liés au rotor et tournent avec lui.

Les axes O_a , O_b et O_c , sont les axes respectifs des trois enroulements a, b et c du stator.

La figure III-9 représente les enroulements fixes et tournants de la machine synchrone triphasée avec amortisseur.

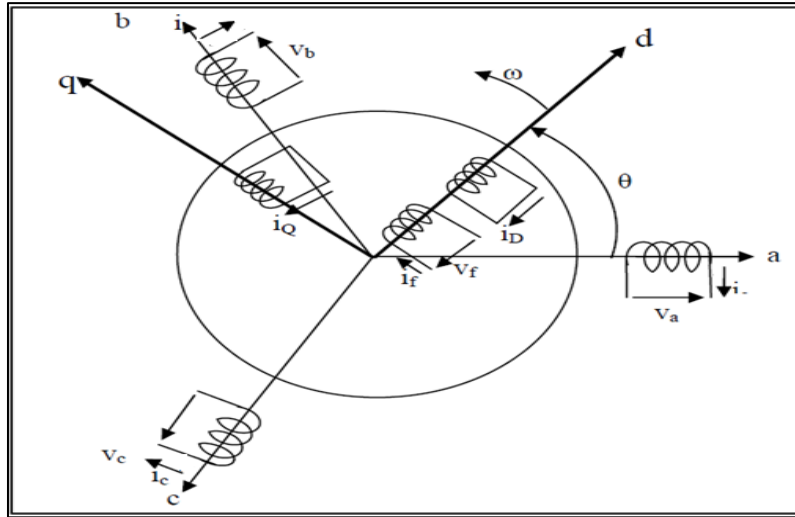


Figure III.9 : Machine synchrone triphasé représentée dans les deux repères (a, b, c) et (d, q).

III.5.3. Convention de signe et définition des variables

- S'agissant d'un alternateur, on adoptera la convention 'générateur'.
- Les angles et les vitesses sont comptés positivement dans le sens trigonométrique.

On définit les matrices suivantes:

$$[v_s] = [v_a \ v_b \ v_c]^t \quad (\text{III.13})$$

$$[i_s] = [i_a \ i_b \ i_c]^t \quad (\text{III.14})$$

$$[\varphi_s] = [\varphi_a \ \varphi_b \ \varphi_c]^t \quad (\text{III.15})$$

$$[v_r] = [v_f \ v_d \ v_q]^t \quad (\text{III.16})$$

$$[i_r] = [i_f \ i_d \ i_q]^t \quad (\text{III.17})$$

$$[\varphi_r] = [\varphi_f \ \varphi_d \ \varphi_q]^t \quad (\text{III.18})$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 \\ 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix} \quad (\text{III.19})$$

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.20})$$

$[v_s], [v_r]$: Matrices des tensions au stator et au rotor.

$[i_s], [i_r]$: Matrices des courants au stator et au rotor.

$[\varphi_s], [\varphi_r]$: Matrices des flux au stator et au rotor.

$[R_s], [R_r]$: Matrices des résistances statorique et rotorique.

III.5.4. Modèle en a, b, c d'une machine synchrone à pôles lisses

Le modèle en a, b, c découle directement des équations différentielles à coefficients périodiques régissant le fonctionnement de la machine synchrone. L'alternateur à pôle lisse est à entre fer constant, son modèle peut être établie par simplification du modèle d'une machine à pôles saillants [17]-[19]:

III.5.4.1. Equations électriques

Le système d'équations sous forme condensées :

$$\text{Induit (stator)} \begin{cases} v_a = -R_s i_a - d\varphi_a/dt \\ v_b = -R_s i_b - d\varphi_b/dt \\ v_c = -R_s i_c - d\varphi_c/dt \end{cases} \quad (\text{III.21})$$

$$\text{Inducteur (rotor)} \begin{cases} v_f = R_f i_f + d\varphi_f/dt \\ 0 = R_D i_D + d\varphi_D/dt \\ 0 = R_Q i_Q + d\varphi_Q/dt \end{cases} \quad (\text{III.22})$$

Avec :

R_s Résistance d'une phase statorique.

R_f, R_D, R_Q Respectivement, résistances de l'inducteur, de l'amortisseur d'axe d et d'axe q.

φ_k Flux d'induction traversant l'enroulement k. (k=a, b, c, f, D, Q).

Les tensions appliquées aux circuits D et Q sont nulles puisqu'ils sont en court-circuit.

III.5.4.2. Equations magnétiques

L'écriture sous forme condensés :

$$\begin{cases} (\varphi_s) = [L_{ss}](i_s) + [M_{sr}](i_r) \\ (\varphi_r) = [M_{rs}](i_s) + [L_{rr}](i_r) \end{cases}$$

On peut écrire les équations magnétiques liant les flux aux courants sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \\ \varphi_f \\ \varphi_D \\ \varphi_Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{af} & M_{aD} & M_{aQ} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} & M_{bf} & M_{bD} & M_{bQ} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c & M_{cf} & M_{cD} & M_{cQ} \\ M_{af} & M_{bf} & M_{cf} & L_f & M_{fD} & M_{fQ} \\ M_{aD} & M_{bD} & M_{cD} & M_{fD} & L_D & M_{DQ} \\ M_{aQ} & M_{bQ} & M_{cQ} & M_{fQ} & M_{QD} & L_Q \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{pmatrix} \quad (\text{III.23})$$

III.5.4.3. Définitions des matrices inductance :

Quelle que soit la position du rotor, la perméance du circuit magnétique est constante. Par conséquent, les inductances relatives au stator et au rotor sont constantes, ainsi que les mutuelles inductances entre enroulements statoriques et rotoriques. Seules varient les mutuelles inductances entre enroulements statoriques et rotoriques. La variation est supposée sinusoïdale, avec une périodicité proportionnelle au nombre de paires de pôles. Les matrices sont les mêmes que pour une machine à pôles saillants [17]-[19].

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ba} & L_b & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & L_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.24})$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_f & M_{fD} & 0 \\ M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \quad (\text{III.25})$$

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} M_{af} & M_{aD} & M_{aQ} \\ M_{bf} & M_{bD} & M_{bQ} \\ M_{cf} & M_{cD} & M_{cQ} \end{bmatrix} \quad (\text{III.26})$$

$$[M_{rs}] = [M_{sr}]^T \quad (\text{III.27})$$

$$L_a = L_b = L_c \quad (\text{III.28})$$

$$M_{ab} = M_{bc} = M_{ca} \quad (\text{III.29})$$

Avec :

L_a, L_b et L_c : Les inductances propres des phases a, b , et c .

M_{ab} : L'inductance mutuelle entre les phases a et b .

M_{bc} : L'inductance mutuelle entre les phases b et c .

M_{ca} : L'inductance mutuelle entre les phases c et a .

$M_{af} = M_{fa} \cos(\theta)$: L'inductance mutuelle entre l'inducteur et la phase a .

$M_{bf} = M_{fb} \cos(\theta - 2\pi/3)$: L'inductance mutuelle entre l'inducteur et la phase b .

$M_{cf} = M_{fc} \cos(\theta + 2\pi/3)$: L'inductance mutuelle entre l'inducteur et la phase c .

$M_{aD} = M_{Da} \cos(\theta)$: L'inductance mutuelle entre l'amortisseur D et la phase a .

$M_{bD} = M_{Db} \cos(\theta - 2\pi/3)$: L'inductance mutuelle entre l'amortisseur D et la phase b .

$M_{cD} = M_{Dc} \cos(\theta + 2\pi/3)$: L'inductance mutuelle entre l'amortisseur D et la phase c .

$M_{aQ} = M_{Qa} \cos(\theta)$: L'inductance mutuelle entre l'amortisseur Q et la phase a .

$M_{bQ} = M_{Qb} \cos(\theta - 2\pi/3)$: L'inductance mutuelle entre l'amortisseur Q et la phase b .

$M_{cQ} = M_{aQ} \cos(\theta + 2\pi/3)$: L'inductance mutuelle entre l'amortisseur Q et la phase c.

L_f : L'inductance propre de l'inducteur.

L_D : L'inductance propre de l'amortisseur D.

L_Q : L'inductance propre de l'amortisseur Q.

M_{fD} : L'inductance mutuelle entre l'inducteur et l'amortisseur D.

$M_{fQ} = 0$: L'inductance mutuelle entre l'inducteur et l'amortisseur Q.

$M_{DQ} = 0$: L'inductance mutuelle entre les deux amortisseurs.

III.6. La transformation de Park

La transformation de Park implique la transformation des enroulements des phases a, b, c, de la machine originelle en des enroulements équivalents du point de vue électrique et magnétique disposés selon les axes d et q. Cette transformation a pour effet de rendre, les inductances mutuelles du modèle de l'alternateur, indépendantes de la rotation.

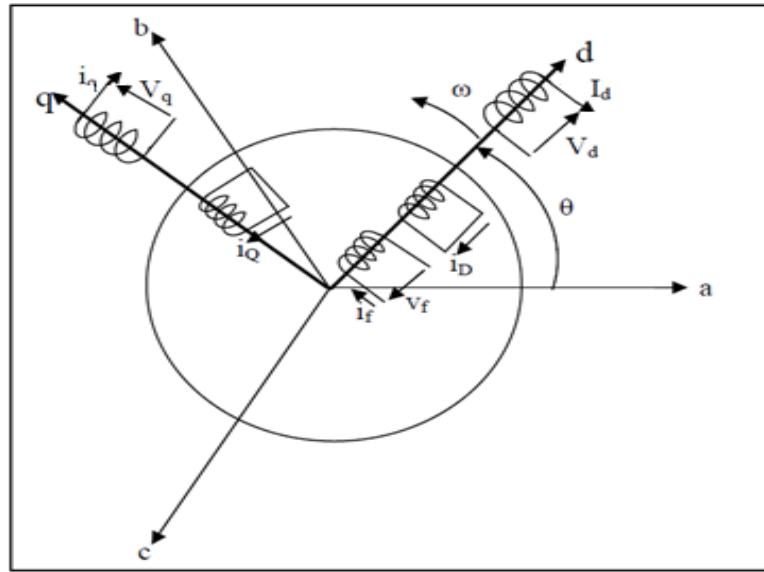


Figure III.10 : Interprétation de la transformation de Park pour une machine synchrone.

• La matrice de Park

Dans la transformation de Park on définit une matrice unique de transformation pour les courants, les tensions et les flux, à savoir : [16]

$$p(\theta) = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{III.30})$$

Le coefficient $\frac{2}{3}$ correspond à un changement naturel de bases dans des repères orthonormés. Ce type de changement de base présente également l'avantage d'obtenir une matrice de transformation inverse qui est transposée de la matrice de transformation directe.

$$p(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.31})$$

On a ainsi

$$[i_{dqo}] = [p(\theta)] [i_s]$$

$$[V_{dqo}] = [p(\theta)] [V_s]$$

$$[\varphi_{dqo}] = [p(\theta)] [\varphi_s]$$

III.6.1. Equations électriques dans les axes d et q

Nous appliquons les changements de variables définis par la matrice $p(\theta)$ (équation III.30) aux équations (III.21 et III.22), alors :

$$V_s = -\frac{d\varphi_s}{dt} - R_s i_s$$

$$p(\theta)^{-1}(V_{dqo}) = -\frac{dp(\theta)^{-1}(\varphi_{dqo})}{dt} - R_s p(\theta)^{-1}(i_{dqo})$$

$$p(\theta)^{-1}(V_{dqo}) = -p(\theta)^{-1}\frac{d\varphi_{dqo}}{dt} - \frac{dp(\theta)^{-1}}{dt}(\varphi_{dqo}) - R_s p(\theta)^{-1}(i_{dqo})$$

En multipliant à gauche par $p(\theta)$:

$$(V_{dqo}) = -p(\theta)p(\theta)^{-1}\frac{d\varphi_{dqo}}{dt} - p(\theta)\frac{dp(\theta)^{-1}}{dt}(\varphi_{dqo}) - R_s p(\theta)p(\theta)^{-1}(i_{dqo})$$

$$(V_{dqo}) = -\frac{d\varphi_{dqo}}{dt} - p(\theta)\frac{dp(\theta)^{-1}}{dt}\frac{d\theta_s}{d\theta_s}(\varphi_{dqo}) - R_s (i_{dqo})$$

$$(V_{dqo}) = -\frac{d\varphi_{dqo}}{dt} - p(\theta)\frac{dp(\theta)^{-1}}{d\theta_s}\omega_r(\varphi_{dqo}) - R_s (i_{dqo})$$

Sachant que :

$$p(\theta)\frac{dp(\theta)^{-1}}{d\theta_s} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.32})$$

Alors on obtient les expressions des tensions suivantes :

$$\begin{cases} V_d = -\frac{d\varphi_d}{dt} - \varphi_q \omega_r - R_s i_d \\ V_q = -\frac{d\varphi_q}{dt} + \varphi_d \omega_r - R_s i_q \\ V_o = -\frac{d\varphi_o}{dt} - R_s i_o \end{cases} \quad (\text{III.33})$$

III.6.2. Equations magnétique dans les axes d et q

$$\begin{pmatrix} \varphi_s \\ \varphi_r \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & M_{sr} \\ M_{rs} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_s \\ i_r \end{pmatrix} \quad (\text{III.34})$$

$$\begin{cases} (\varphi_s) = [L_{ss}](i_s) + [M_{sr}](i_r) \\ (\varphi_r) = [M_{rs}](i_s) + [L_{rr}](i_r) \end{cases}$$

$$\begin{cases} p(\theta)^{-1}(\varphi_{ps}) = [L_{ss}]p(\theta)^{-1}(i_{ps}) + [M_{sr}](i_r) \\ (\varphi_r) = [M_{rs}]p(\theta)^{-1}(i_{ps}) + [L_{rr}](i_r) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (\varphi_{ps}) = p(\theta)[L_{ss}]p(\theta)^{-1}(i_{ps}) + p(\theta)[M_{sr}](i_r) \\ (\varphi_r) = [M_{rs}]p(\theta)^{-1}(i_{ps}) + [L_{rr}](i_r) \end{cases}$$

Sachant que :

$$p(\theta)[L_{ss}]p(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 \\ 0 & L_q & 0 \\ 0 & 0 & L_o \end{bmatrix}$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} L_q = L_d = L_{a0} - M_{ab0} = 3/2 L_{a0} \\ L_o = L_{a0} + 2M_{ab0} = 0 \end{cases}$$

$$p(\theta)[M_{sr}] = \begin{bmatrix} M_{af} & M_{aD} & 0 \\ 0 & 0 & M_{aQ} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[M_{rs}]p(\theta)^{-1} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} M_{af} & 0 & 0 \\ M_{aD} & 0 & 0 \\ 0 & M_{aQ} & 0 \end{bmatrix}$$

Alors

$$\begin{pmatrix} \varphi_d \\ \varphi_q \\ \varphi_o \\ \varphi_f \\ \varphi_D \\ \varphi_Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 & M_{af} & M_{aD} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & 0 & M_{aQ} \\ 0 & 0 & L_o & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{2}M_{af} & 0 & 0 & L_f & M_{fD} & 0 \\ \frac{3}{2}M_{aD} & 0 & 0 & M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}M_{aQ} & 0 & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{pmatrix} \quad (\text{III.35})$$

III.6.3. L'expression de la puissance

L'expédient de la puissance est exprimée sous la forme suivant [20] :

$$p_e = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c = (i_a i_b i_c)^t \begin{pmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{pmatrix} = (i_s)^t (v_s)$$

$$p_e = \left(p(\theta)^{-1} (i_{dqo}) \right)^t \left(p(\theta)^{-1} (v_{dqo}) \right)$$

$$p_e = (i_{dqo})^t (p(\theta)^{-1})^t p(\theta)^{-1} (v_{dqo})$$

Sachant que :

$$p_e = \frac{3}{2} (v_d i_d + v_q i_q) + 3 v_o i_o$$

$$p_e = \frac{3}{2} \left(-\frac{d\varphi_d}{dt} - \varphi_q \omega_r - R_s i_d \right) i_d + \frac{3}{2} \left(-\frac{d\varphi_q}{dt} + \varphi_d \omega_r - R_s i_q \right) i_q + 3 \left(-\frac{d\varphi_o}{dt} - R_s i_o \right) i_o$$

$$p_e = -\frac{3}{2} \left(\frac{d\varphi_d}{dt} i_d + \frac{d\varphi_q}{dt} i_q + 2 \frac{d\varphi_o}{dt} i_o \right) + \frac{3}{2} \omega_r (\varphi_d i_q - \varphi_q i_d) - \frac{3}{2} R_s (i_d^2 + i_q^2 + 2 i_o^2)$$

Donc : $p_e = p_{e1} + p_{e2} + p_{e3}$

Avec : $p_{e1} = \frac{3}{2} \left(\frac{d\varphi_d}{dt} i_d + \frac{d\varphi_q}{dt} i_q + 2 \frac{d\varphi_o}{dt} i_o \right)$

$$p_{e2} = \frac{3}{2} \omega_r (\varphi_d i_q - \varphi_q i_d)$$

$$p_{e3} = \frac{3}{2} R_s (i_d^2 + i_q^2 + 2 i_o^2)$$

La puissance électrique sortante de l'induit est composée de 3 termes [18]:

- Un premier terme qui correspond la variation de l'énergie magnétique en magasin par unité de temps.
- Un deuxième terme qui représente la puissance mécanique transformée en puissance électrique.
- Un troisième terme qui correspond aux pertes joule.

III.6.4. Expression du couple

$$C_{em} = \frac{3}{2} \frac{\omega_r (\varphi_d i_q - \varphi_q i_d)}{\omega_r} = \frac{3}{2} (\varphi_d i_q - \varphi_q i_d) \quad (\text{III.36})$$

L'équation mécanique est donnée par la relation suivante :

$$C_{em} = J \frac{d\omega_r}{dt} + f_v \omega_r + C_r \quad (\text{III.37})$$

Où J représente l'inertie des parties tournantes, f_v est le coefficient de frottement visqueux et C_r le couple résistant. Pour notre modèle, on admet que C_{em} à la sortie de

l'alternateur est positif pour un fonctionnement moteur et négatif pour un fonctionnement générateur [20].

III.6.5. Angle interne δ

L'angle de déphasage interne de l'alternateur est défini par la relation suivante:

$$\delta(t) = \theta_r(t) - \theta_e(t)$$

$$\delta(t) = \int_0^t \{\omega_r(t) - \omega_e(t)\} dt + \theta_r(0) - \theta_e(0) \quad (\text{III.38})$$

Avec

- ✓ ω_r et ω_e représentent respectivement la vitesse angulaire électrique de rotor et de synchronisme.

III.7. Schéma équivalent de l'alternateur

L'utilisation de la transformation de Park permet de considérer l'alternateur comme un système composé de deux réseaux électriques caractérisant l'axe longitudinal d et l'axe transversal q. la figure III-11 est une représentation de la structure de base de la machine synchrone[16].

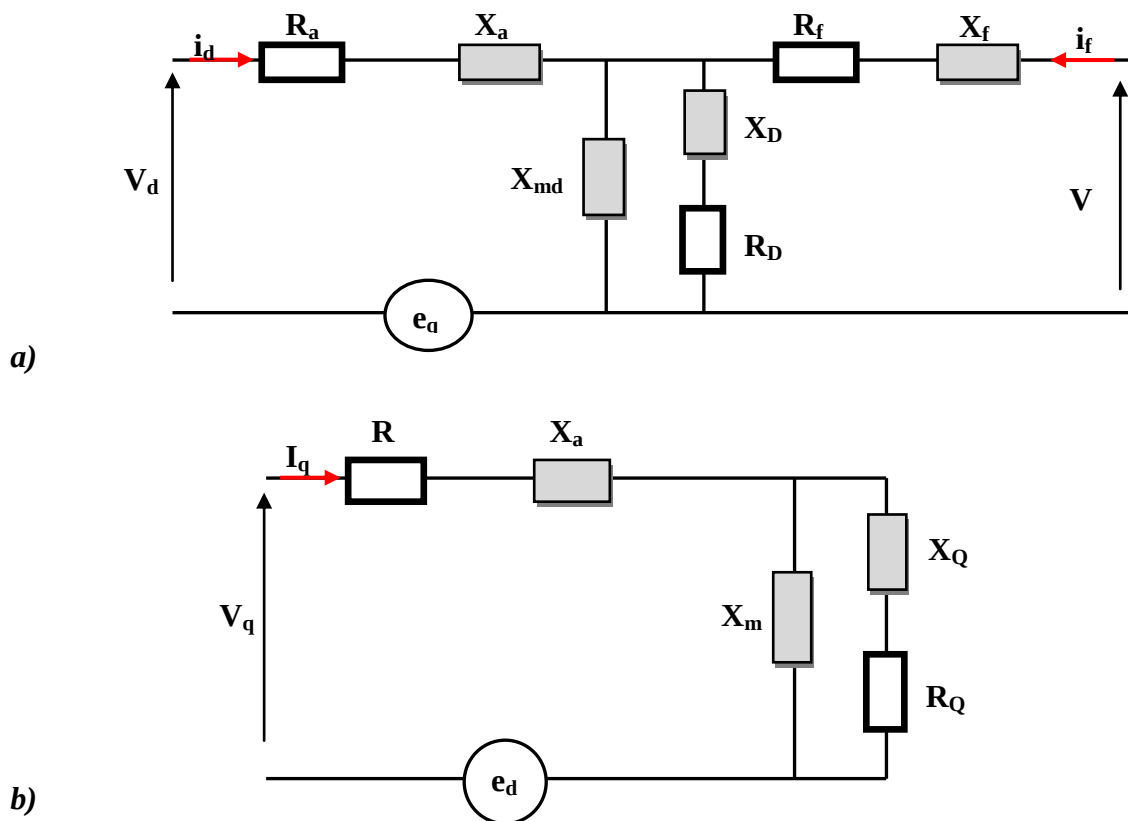


Figure III.11 : Circuits équivalents du modèle simplifié de l'alternateur (a) Axe direct, (b) Axe quadrature.

III.8. Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudiés les montages redresseurs commandés (a thyristors), non commandé (à diodes) et la modélisation de la machine synchrone a pôles lisses.

D'abord, on a commencé par une généralité sur les redresseurs entrant dans l'étude de chaque montage avec leur simulation connaissant les caractéristiques de chaque montage.

Ensuite, nous avons pu établir un modèle mathématique de l'alternateur à pôles lisses , dont la complexité a été réduite en utilisant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, cela nous a permis d'établir un modèle de Park qui réduit le système d'état électrique de la machine et d'éliminer la complexité du modèle vis-à-vis de la variation des paramètres de l'alternateur en fonction de la position du rotor.

Chapitre IV

Méthodes de détection et localisation des défauts convertisseurs statiques AC/DC du système d'excitation

IV.1. Introduction

Dans le domaine des entraînements par des convertisseurs statiques, le champ d'application n'a cessé de s'élargir, du fait des exigences croissantes des processus industriels, de sorte que les notions de fiabilité, disponibilité et sécurité de fonctionnement deviennent une préoccupation essentielle pour les utilisateurs. En effet, les aspects de sûreté de fonctionnement peuvent être améliorés pour pallier les conséquences d'une défaillance (circuit- ouvert, court-circuit).

Dans notre étude, nous analysons d'abord les défauts de commande possibles du redresseur ainsi que leurs conséquences sur les caractéristiques du système d'excitation, par des essais en simulation numérique.

Par la suite, un simple algorithme très efficace est utilisé pour la détection et la localisation des défauts interrupteurs.

IV.2. Rappel sur les composants de bases de l'électronique de puissance

Les composantes de base des convertisseurs sont les thyristors, auxquels sont associés parfois des diodes. On utilise aussi dans certains cas des transistors de puissance.

IV.2.1. Diodes

La diode est le semi-conducteur élémentaire constitué par une seule jonction.

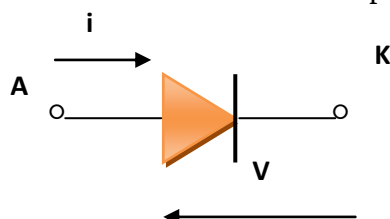


Figure IV.1: diode.

Quand le circuit dans lequel la diode est placée tend à faire passer un courant dans le sens direct ou perméable (anode A vers cathode K). Elle est analogue à un interrupteur fermé.

Quand une tension négative aux bornes tend à faire passer le courant dans le sens imperméable, donc la diode est bloquée. Elle est analogue à un interrupteur ouvert.

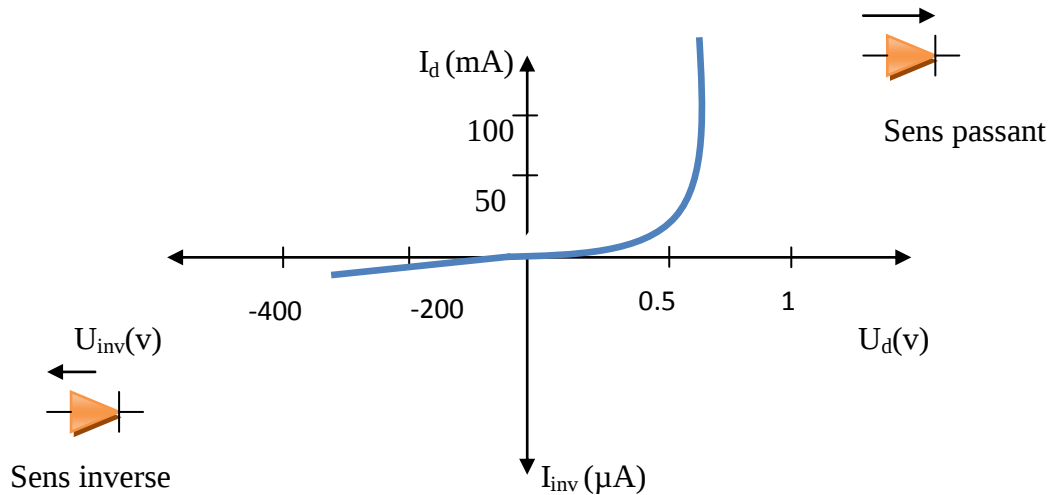


Figure IV.2 : Caractéristique courant-tension.

IV.2.2. Thyristors

Le thyristor est un semi-conducteur à 3 jonctions PN. Outre l'anode A et la cathode K. Il est muni d'une électrode de déblocage ou gâchette G.

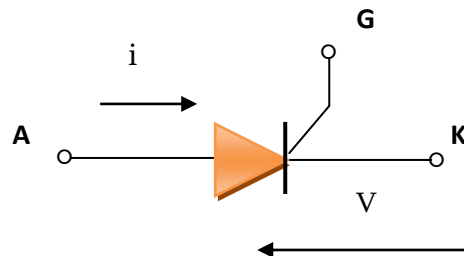
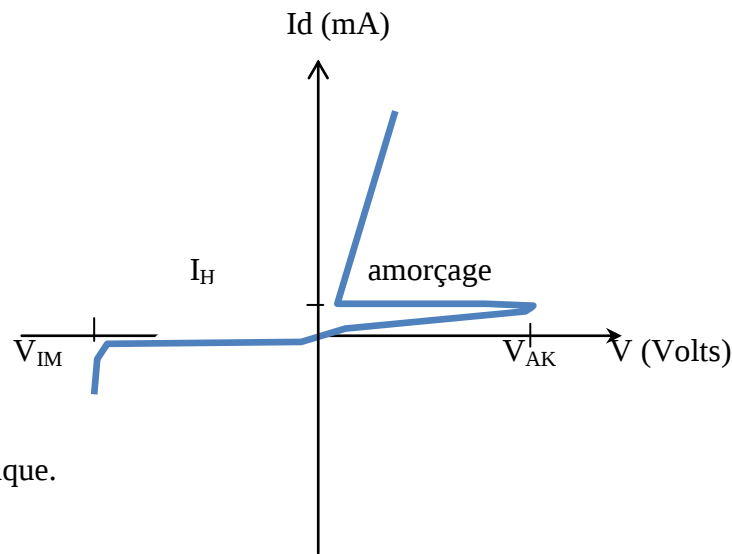


Figure IV.3: Thyristor.

❖ Mode de fonctionnement

- Il est bloqué tant que la tension V à ses bornes est négative. Il reste bloqué quand V devient positif.
- Lorsque V est positif, si l'on fait passer entre la gâchette et la cathode une impulsion positive de courant, le thyristor devient passant.

Quand il est conducteur, le thyristor se comporte comme une diode ; il ne se bloque que lorsque le courant direct s'annule (inférieur à une valeur faible appelée courant de maintien de la conduction).



I_H : courant hypostatique.

V_{AK} : tension directe.

V_{IM} : tension inverse max.

Figure IV.4 : Caractéristique courant-tension.

On note que :

- La gâchette perd son pouvoir de contrôle une fois le thyristor amorcé.
- Les thyristors sont amorcés par application d'un signal sur la gâchette.

La forme impulsionnelle de signal est celle qui est le plus souvent retenue car elle permet:

- Une diminution de la dissipation énergétique nécessaire à l'amorçage.
- Un accroissement de la précision de l'instant d'amorçage.

L'aptitude au bon fonctionnement d'un équipement ne dépend pas seulement de la qualité du composant électronique choisi, mais aussi des précautions prises pour protéger ses éléments. [21]

IV.3. Fonctionnement de système d'excitation de Ras-Djinet

L'excitatrice pilote est un circuit auxiliaire, fait pour assurer l'alimentation continue de l'excitatrice principale. La construction de l'excitatrice pilote, est d'inducteur à aimant permanent. C'est-à-dire, la vitesse est inchangeable, lorsque le rotor tourne il va provoquer un champ magnétique tournant entre le rotor et le stator. Pour la production de courant alternatif, qu'il alimente le stator de l'excitatrice principale qu'elle a besoin de courant continu. C'est pour cela on doit faire passer le courant sur un PD3 à tous thyristors, pour avoir un courant continu pour alimenter le stator de l'excitation principale. Ce dernier est connecter a un pont de diode qui tourne avec. C'est les diodes tournants, à l'aide de ces diodes on va avoir un

courant continu excitant le rotor de alternateur principale qui va provoquer un champ magnétique avec enroulement statorique pour produire de l'énergie (le courant alternatif).

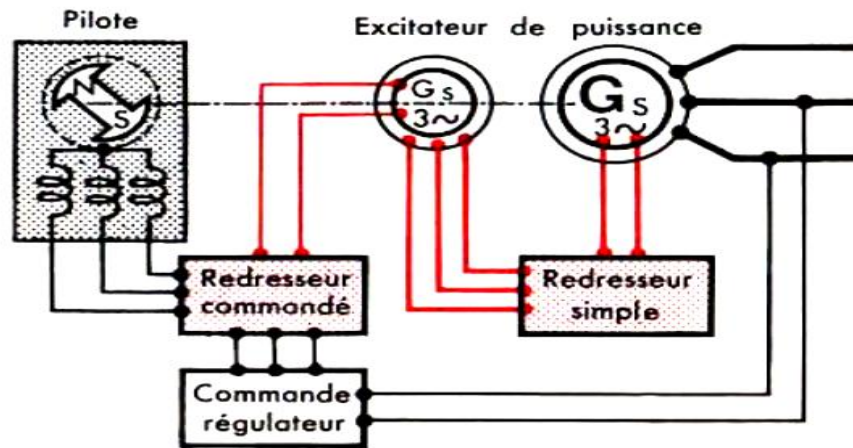


Figure IV.5 : Fonctionnement de système d'excitation de la centrale de Ras-Djinet.

IV.4. Modes de défaillance d'un thyristor

La défaillance d'un thyristor peut être classifiée selon deux types qui sont, soit une dégradation, soit une défaillance catastrophique du composant. Ces deux types de défaillances sont définis ci-dessous :

IV.4.1. Défaillance par dégradation

Elle est définie par un changement significatif des caractéristiques à l'état passant, bloqué, de commutation ou des conditions d'amorçages. Les dégradations les plus courantes sont une diminution de la tenue en tension en direct, une augmentation du courant direct à l'état bloqué ainsi que de la puissance à fournir pour garantir l'amorçage du thyristor. Des fortes tensions et températures d'utilisation sont des facteurs favorisant ce type de défaillance.

La figure suivante représente le taux de défaillance d'un thyristor pour différentes valeurs de température.

Chaque fois on augmente la température, le taux de défaillance augmente.

$\lambda \tau$: taux de défaillance en 10^{-9} /heures.

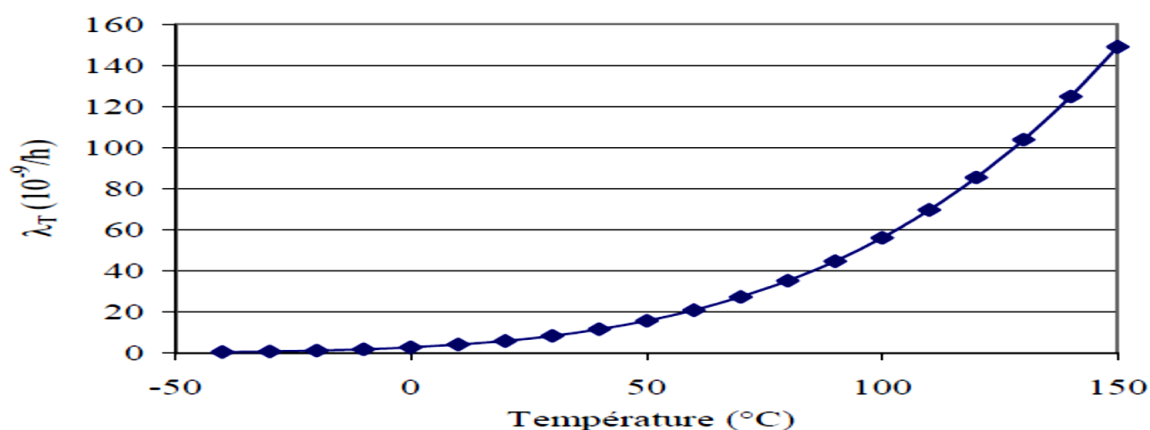


Figure IV.6 : Taux de défaillance d'un thyristor en fonction de la température.

IV.4.2. Défaillance catastrophique

Une défaillance catastrophique peut survenir en cas d'utilisation du composant au-dessus de ses caractéristiques nominales ou s'il comporte des défauts de jeunesse. Dans la plupart des cas, ce type de défaillance entraîne un court-circuit entre l'anode et la cathode ou par un claquage des isolants dans le boîtier du composant. Il peut arriver que le court-circuit ainsi créé brûle les parties internes du composant et conduise en définitive à un circuit-ouvert.

De nombreux facteurs autres qu'électrique interviennent dans les mécanismes de défaillances. Ils peuvent être dus à la corrosion, à la contamination par un matériau étranger, à une mauvaise étanchéité du boîtier. [22]

Dans notre étude on s'intéresse à :

IV.4.2.1. Défaut d'ouverture (état court-circuit)

Le défaut de type court-circuit se produit lorsqu'un des composants d'une cellule de commutation reste constamment fermé. Un tel défaut peut avoir deux causes : soit la mise en court-circuit physique de la puce de silicium par dépassement de température critique, soit la défaillance de la commande rapprochée. Dans ce cas, les courants de phases sont fortement altérés. Ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable au convertisseur et nécessiterait la mise en œuvre de protection permettant de déconnecter le bras défaillant dès l'apparition de cette défaillance.

IV.4.2.2. Défaut de fermeture (état circuit-ouvert)

Il se peut pour diverses raisons, qu'un des thyristors (supérieur ou inférieur) d'une cellule de commutation d'un bras reste constamment ouvert. Ce type de défaut a pour principale cause une défaillance de la commande rapprochée (défaut thermique ou perte

d'alimentation par exemple). Selon la localisation du défaut dans la cellule, celui-ci sera visible sur l'alternance positive du courant soit sur l'alternance négative. La conséquence est que la cellule défaillante se retrouve en surtension et qu'un arrêt du convertisseur est obligatoire pour éviter une propagation du défaut.

Boîtier non hermétique, permettant à l'humidité de pénétrer à l'intérieur (plus ou moins fréquent) et de provoquer la corrosion du composant. [23]

Les différents types de défauts de PD3 commandé ont pour conséquence soit un défaut "circuit-ouvert" (figure IV.7_a), soit un défaut "court-circuit" (figure IV.7_b).

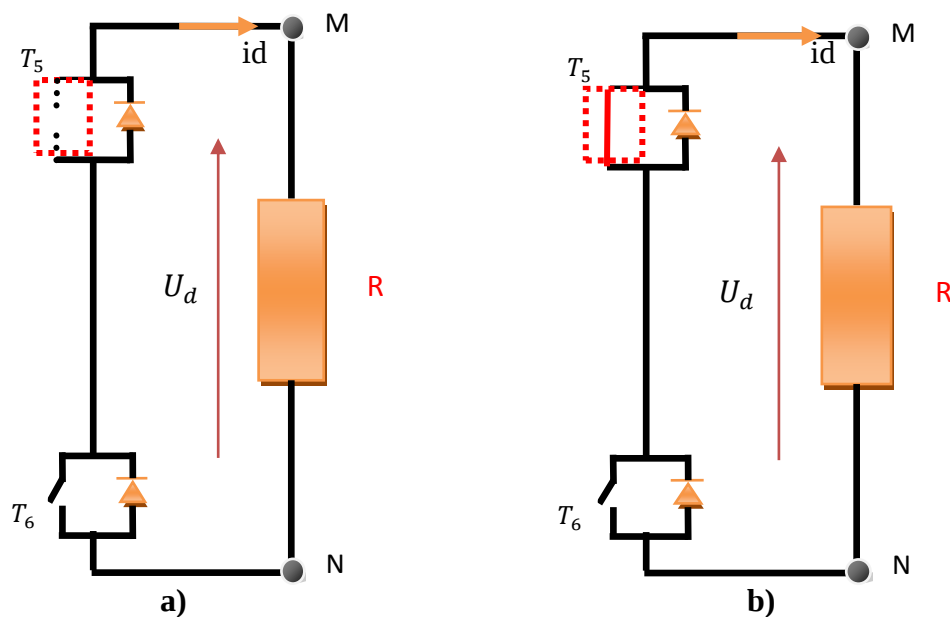


Figure IV.7 : Différents types de défauts d'un bras d'un redresseur de tension :

a): Défaut circuit-ouvert d'un thyristor.

b): Défaut court-circuit d'un thyristor.

IV.5. Résultats de simulation des défauts

N.B : Les résultats de simulation ont été faits avec des paramètres similaires aux paramètres réels du système d'excitation de l'alternateur de Ras-Djinet.

- paramètres de simulation :

$$V = 380 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ HZ}$$

$$t_{\text{simulation}} = 0.5 \text{ s}$$

$$t_f = 0.25 \text{ s}$$

t_f : Le temps de provocation des défauts

IV.5.1. Comportement du système d'excitation sans défauts

Nous allons étudier les différents défauts qui peuvent intervenir dans la commande du redresseur commandé. Nous allons présenter les résultats de simulation obtenus en marche dans la figure (IV .8, IV.9 et IV.10), pour un fonctionnement normal.

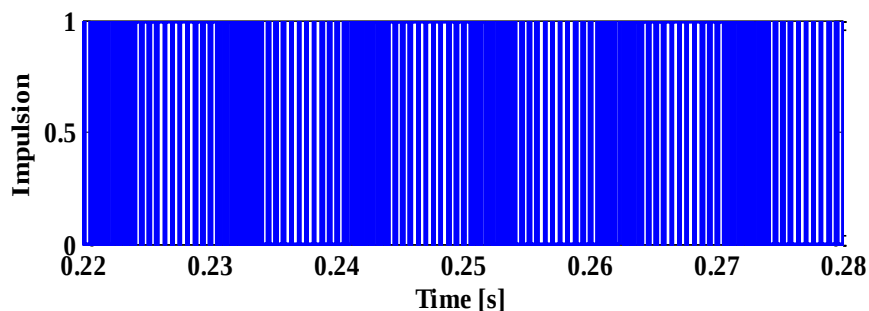


Figure IV.8 : Impulsion de gâchette nécessaire pour l'amorçage de Th1.

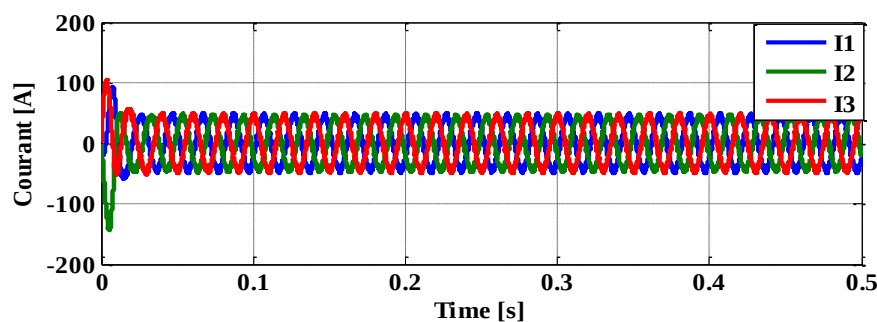


Figure IV.9 : Fonctionnement normal « Allure des courant ».

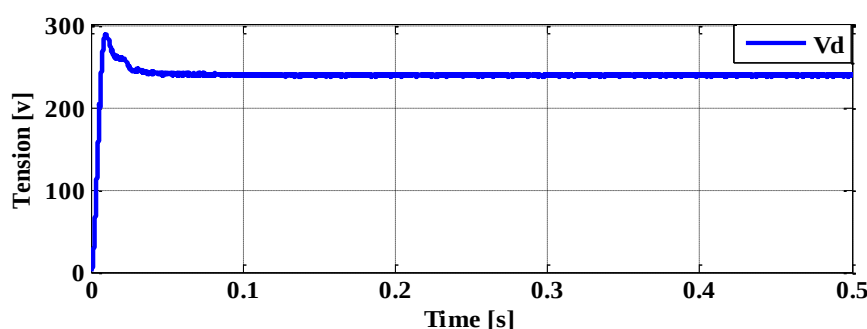


Figure IV.10 : Fonctionnement normal « Variation de tension de sortie ».

Une bonne initialisation des paramètres du modèle permet d'atteindre le régime nominal de fonctionnement quasi instantanément après le démarrage de la simulation, l'excitatrice pilote délivre une tension et un courant nominal.

IV.5 .2. Comportement du système d'excitation avec défauts

a. Défaut de fermeture sur un thyristor (état circuit-ouvert)

A l'instant $t=0.25$ [s] nous avons créé un défaut circuit-ouvert sur Th1.

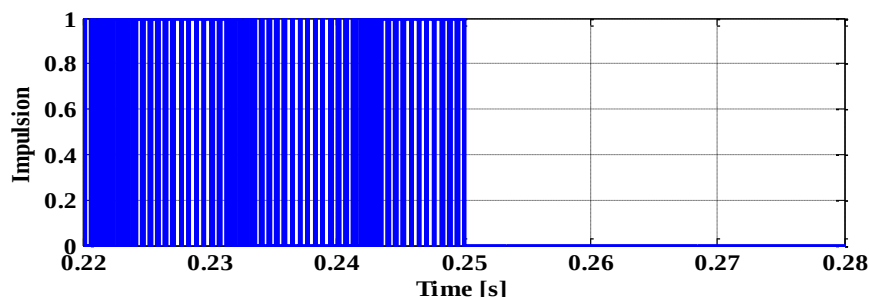


Figure IV.11 : Le graphe représente les impulsions d'amorçage de Th1 avant et après le défaut fermeture.

La conduction spontanée de la diode en antiparallèle avec le thyristor défectueux est conditionnée par le courant de la phase défectueux (I_1) ou la tension de thyristor défectueux imposée. (Figure IV.12).

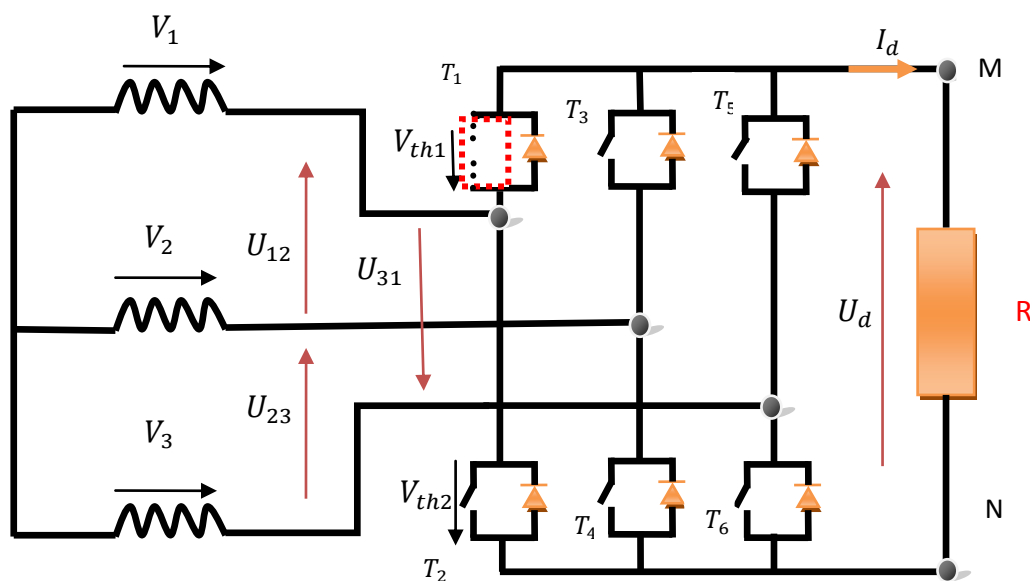


Figure IV.12 : Redresseur avec un thyristor inhibé.

Les résultats de simulation sont présentés sur la figure IV.13 et IV.14. Nous constatons que l'influence sur la tension de sortie est faible, il n'y a pas de variation brusque (petite surtension). Cependant, les distorsions des ondes de courant sont importantes. Le courant circulant dans la phase défectueuse dépend de la conduction spontanée des diodes ; il est donc très riche en harmoniques. Les courants dans les deux phases commandées sont également déformés à cause de leur fonctionnement couplé, puisque le neutre du réseau est isolé.

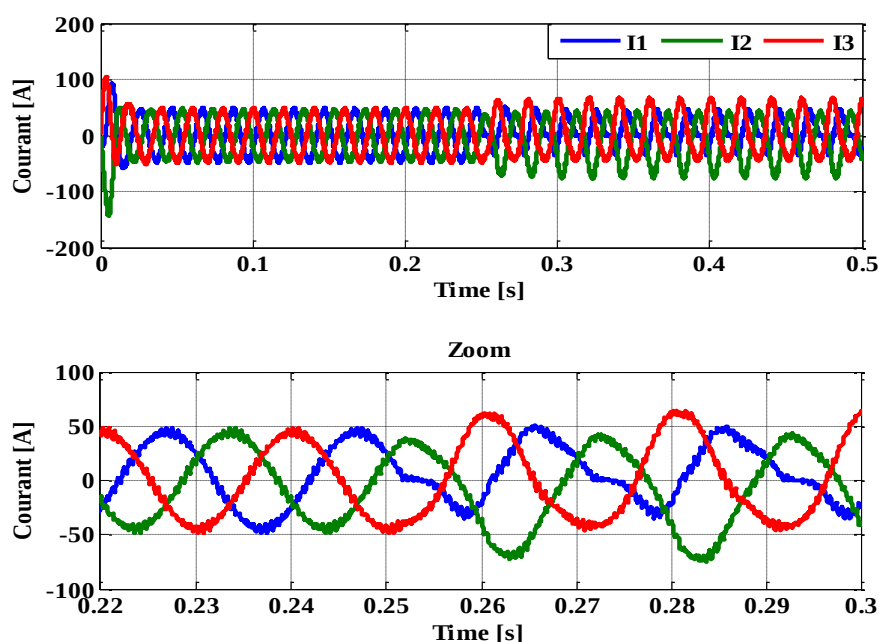


Figure IV.13 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut fermeture (état circuit-ouvert) sur Th1.

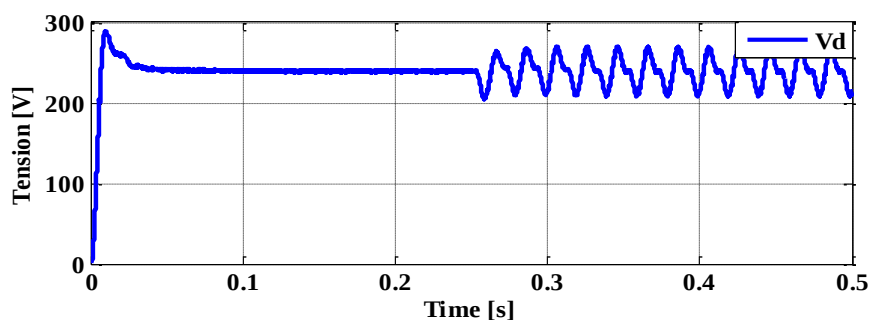
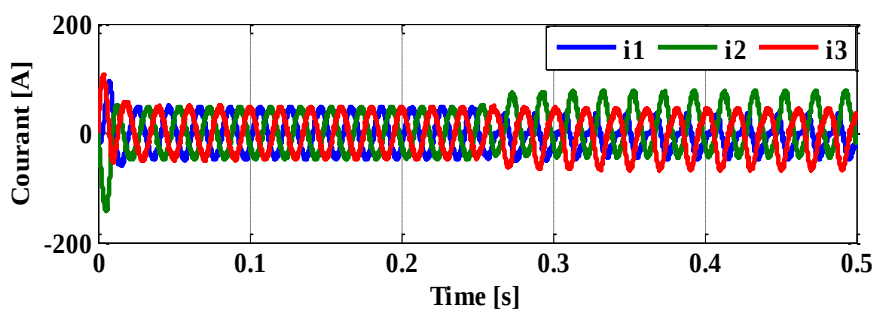


Figure IV.14 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut circuit-ouvert sur Th1, l'instant $t=0.25$ [s].

Dans ce mode de fonctionnement, la pollution harmonique devient un problème majeur. La stabilité et la sûreté de fonctionnement du système sont plus importantes face à la dégradation du rendement. [24]

Même méthode d'interprétation lorsqu'on crée un défaut circuit ouvert sur Th2



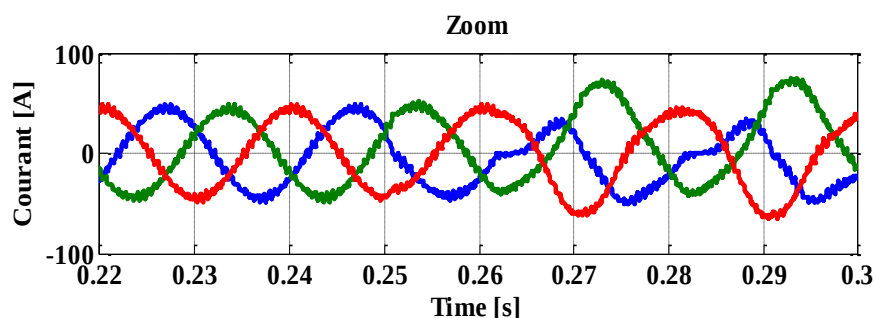


Figure IV.15 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut fermeture (état circuit-ouvert) sur Th2.

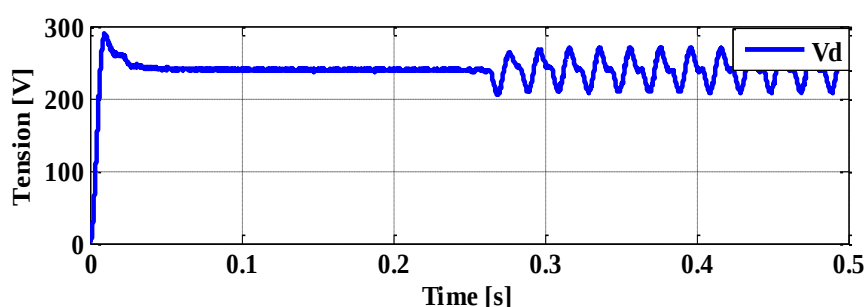


Figure IV.16 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut circuit-ouvert sur Th2, l'instant $t=0.25$ [s].

Lorsqu'on crée un défaut dans Th1 le courant de la phase défectueux tans vers le haut
Lorsqu'on crée un défaut dans Th2 le courant de la phase défectueux tans vers le bas
Ceci nous donne une petite idée sur la localisation de défaut.

b. Défaut d'ouverture (état court-circuit)

Le thyristor Th1 par exemple en court-circuit et la commande Th2 est inhibé. Le courant dans la phase "1" est devenu incontrôlable. Si la charge est déconnectée ($i_d = 0$), le courant i_1 sera toujours négatif, i_3 et i_2 seront toujours positifs.

A l'instant $t=0.25$ [s] nous avons créé un défaut court-circuit sur Th1.

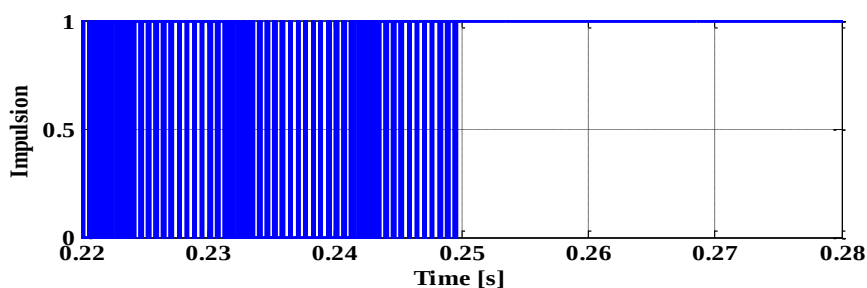


Figure IV.17 : Le graphe représente les impulsions d'amorçage de Th1 avant et après le défaut d'ouverture.

La structure du circuit de puissance (figure IV.18) montre un défaut d'ouverture :

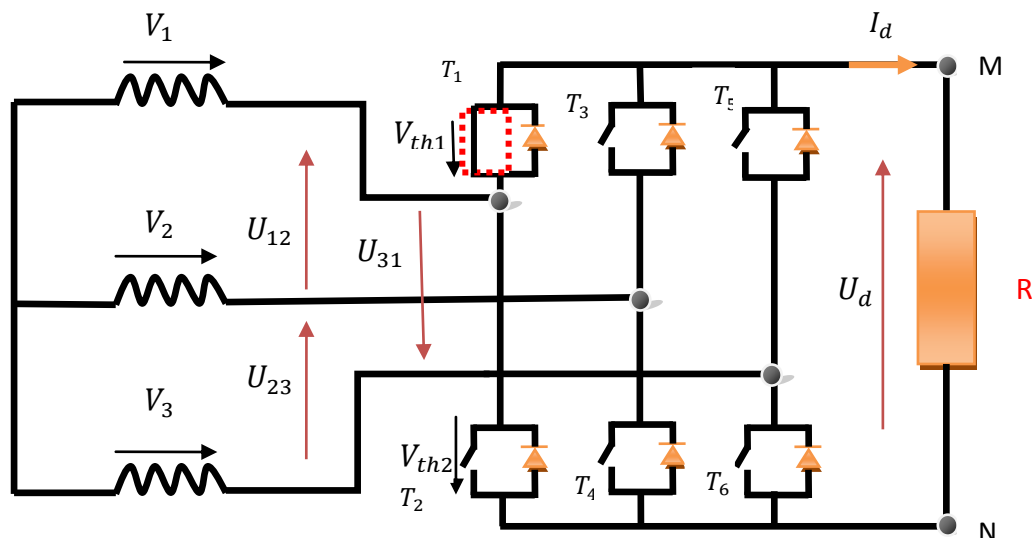


Figure IV.18 : Défaut d'ouverture sur le thyristor Th1.

Les résultats de simulation, pour un thyristor en court-circuit, sont présentés en figure (IV.19 et IV.20). Nous observons que de forts courants circulent dans chaque phase et risquent de détruire le dispositif de puissance.

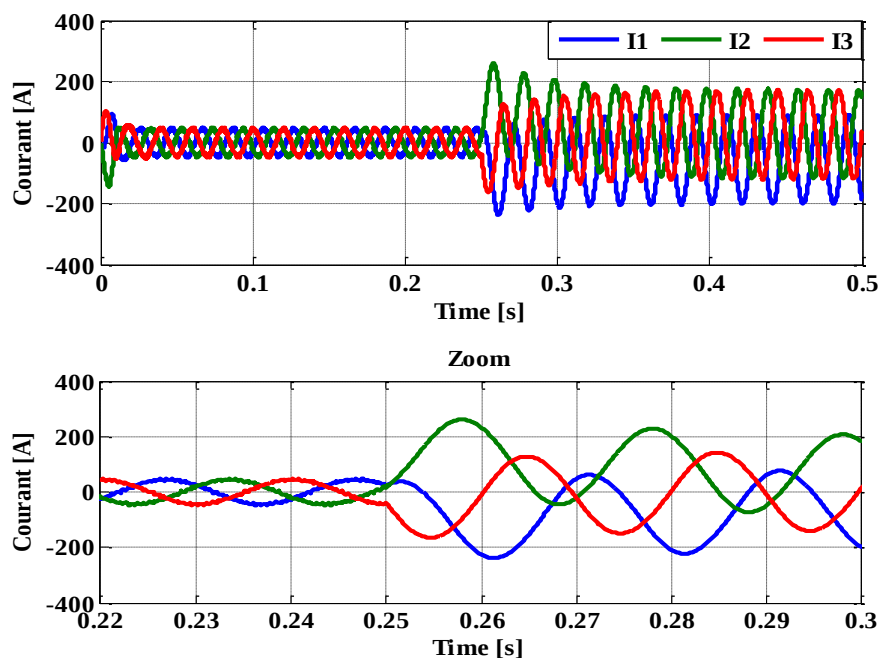


Figure IV.19 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut d'ouverture (état court-circuit) sur Th1.

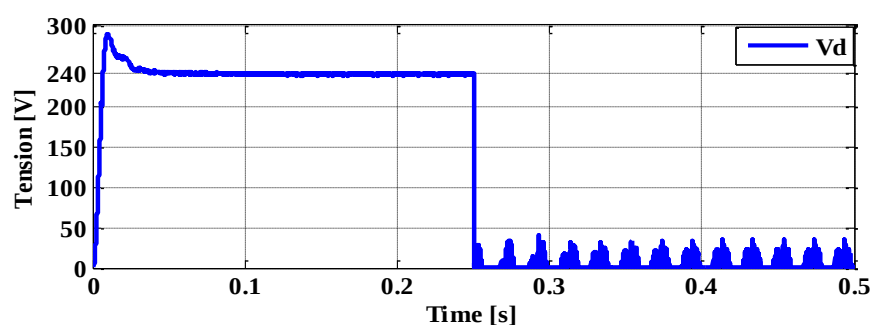


Figure IV.20 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut court-circuit sur Th1, l'instant $t=0.25$ [s].

Le défaut de commande à l'ouverture (état court-circuit) d'un thyristor du PD3 commandé, conduit à une surintensité considérable dans chaque phase ce qui conduit à une chute de tension considérable. Pouvant causer des défaillances irréversibles dans le système.

Même interprétation lorsqu'on crée un défaut court-circuit sur Th2

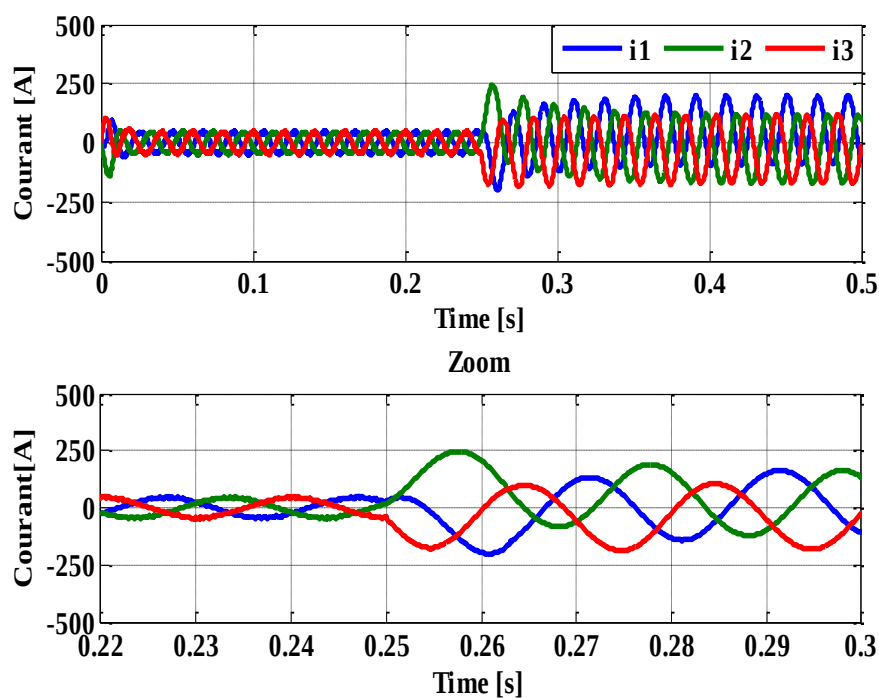


Figure IV.21 : Le graphe représente l'allure des courants avec un défaut d'ouverture (état court-circuit) sur Th2.

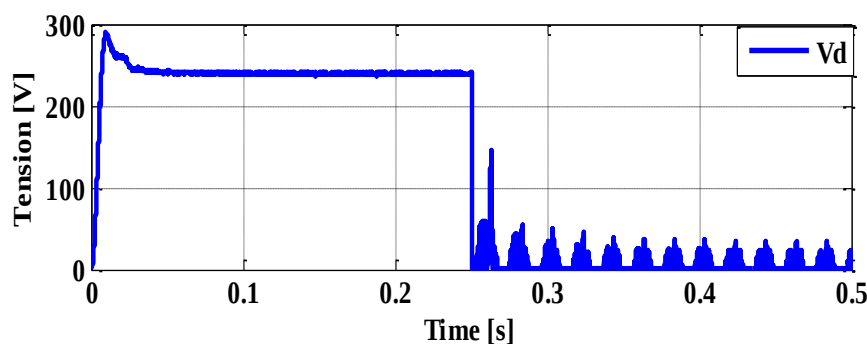


Figure IV.22 : Le graphe représente la Tension de sortie avec un défaut court-circuit sur Th2, l'instant $t=0.25$ [s].

Lorsqu'on crée un défaut dans Th1 le courant de la phase défectueuse tend vers le bas
Lorsqu'on crée un défaut dans Th2 le courant de la phase défectueuse tend vers le haut
Ceci nous donne une petite idée sur la localisation de défaut.

IV.6. Méthode de détection et localisation des défauts

La méthode développée par la détection et localisation des défauts (C-O) et (C-C) est basée sur la mesure des courants de phase de l'excitatrice pilote et la tension redressée statique.

Les grandeurs mesurées pour cette méthode sont représentées le schéma synoptique de la figure (IV.23)

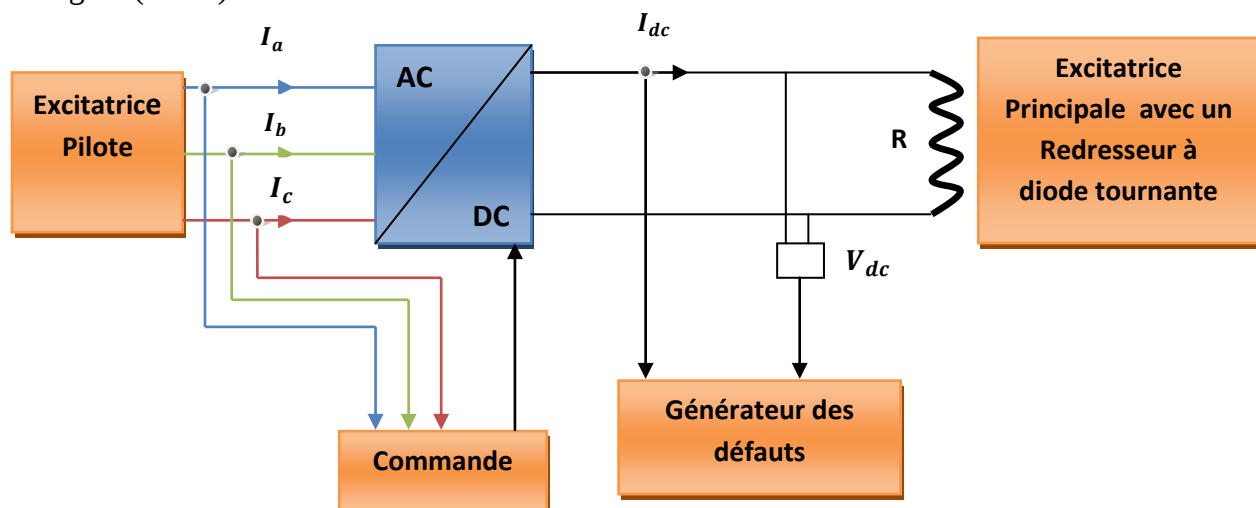


Figure IV.23 : Fonctionnement de système d'excitation à diode tournante avec générateur des défauts.

❖ Méthode :

Pour un fonctionnement stable en régime permanent, les courants statoriques (I_a I_b I_c) délivrés par l'excitatrice pilote sont exprimés par la relation suivante :

$$\begin{cases} I_a(t) = \hat{I} \sin(\omega t) \\ I_b(t) = \hat{I} \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ I_c(t) = \hat{I} \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{cases} \quad (IV.1)$$

Avec : $\omega = 2\pi f$: la pulsation des trois courants.

f = la fréquence.

$\hat{I}$: Amplitude des courants.

La méthode proposée est basée sur la détermination des valeurs moyennes normalisées des trois courants statoriques comme suit :

$$R_a = \left\langle \frac{I_a}{I_m + \varepsilon} \right\rangle ; \quad (IV.2)$$

$$R_b = \left\langle \frac{I_b}{I_m + \varepsilon} \right\rangle ; \quad (IV.3)$$

$$R_c = \left\langle \frac{I_c}{I_m + \varepsilon} \right\rangle ; \quad (IV.4)$$

$$\text{Avec : } I_m = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \quad (IV.5)$$

La valeur de I_m est calculé par l'utilisation de la transformation de park (pour $\theta = 0$).

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (IV.6)$$

ε : c'est un coefficient de valeur très petite utile pour éviter la division par zéro.

Selon les valeurs des trois indicateurs (R_a, R_b, R_c) et leurs évaluation en fonction du temps, le défaut peut être détecté.

Si $R_a > 0$ et $R_b < 0, R_c < 0$ dans ce cas le défaut est au niveau de l'interrupteur de bras (A) qui se trouve en haut.

Si $R_a < 0$ et $R_b > 0, R_c > 0$ dans ce cas le défaut est au niveau de l'interrupteur de bras (A) qui se trouve en bas.

❖ Résultats de simulation

Le défaut (C-O) pour l'interrupteur (1) ou (2) est détecté par l'évolution de la valeur du signal R_a .

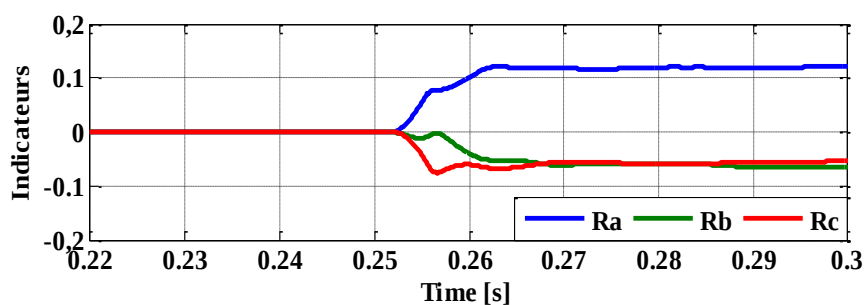


Figure IV.24 : Evolution des indicateurs de courant lors d'un défaut (C-O) sur Th1.

On remarque que $R_a > 0$ et $R_b < 0$, $R_c < 0$ dans ce cas le défaut est au niveau de l'interrupteur de bras (A) qui se trouve en haut.

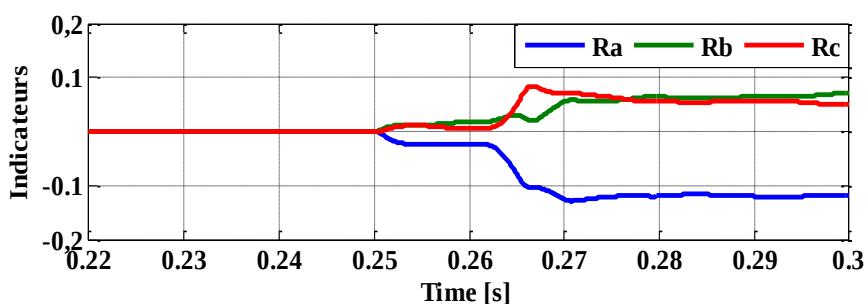


Figure IV.25 : Evolution des indicateurs de courant lors d'un défaut (C-O) sur Th2.

On remarque que $R_a < 0$ et $R_b > 0$, $R_c > 0$ dans ce cas le défaut est au niveau de l'interrupteur de bras (A) qui se trouve en bas.

Tableau IV.1 : Indicateurs de défauts interrupteur dans le cas général pour les défauts (C-O)

		R_a	R_b	R_c
Bras(A)	Haut	>0	<0	<0
	Bas	<0	>0	>0
Bras(B)	Haut	<0	>0	<0
	Bas	>0	<0	>0
Bras (C)	Haut	<0	<0	>0
	Bas	>0	>0	<0

❖ Localisation de défaut

Le seuil de la localisation de défaut (c-o) des interrupteurs est choisi à travers plusieurs essais en simulation, sa valeur est $k = 0.1$.

Le défaut de circuit-ouvert est localisé pour :

$$\text{Si } \begin{cases} R_x > 0.1 \\ R_y < 0 \\ R_z < 0 \end{cases}$$

Avec

$x = a, b, c$; $y = a, b, c$; $z = a, b, c$; $x \neq y \neq z$

Dans ce cas le défaut est localisé dans l'interrupteur qu'est en défaut.

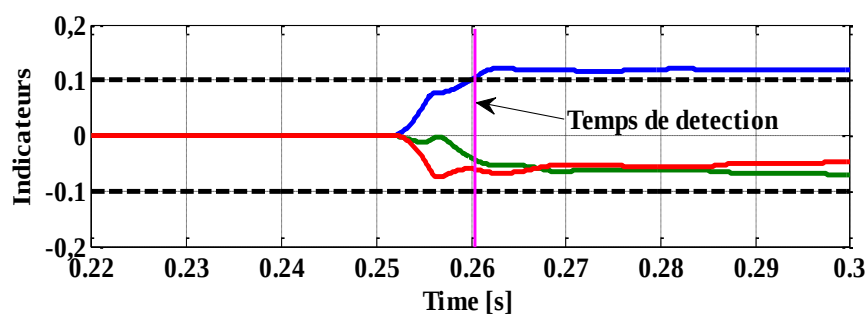


Figure IV.26 : Détection du défaut (C-O) à l'instant $t=0.2602$ [s] sur Th1.

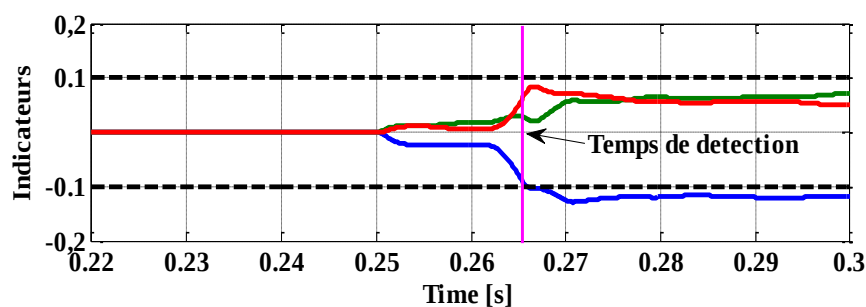


Figure IV.27 : Détection du défaut (C-O) à l'instant $t=0.2666$ [s] sur Th2.

Pour le cas général le tableau (IV.2) résume le cas général de temps de détection de défaut.

$t_f = 0.25$ s

t_d : Si le temps de détection de défaut.

$\Delta t = t_d - t_f$: c'est la période de détection de défaut.

Tableau IV.2 : Le temps de détection de défaut (C-O) pour chaque interrupteur :

		$t_f(s)$	$t_d(s)$	$\Delta t(ms)$
Bras (A)	Haut	0.25	0.2602	10.2
	Bas	0.25	0.2666	16.6
Bras (B)	Haut	0.25	0.2668	16.8
	Bas	0.25	0.2700	20
Bras (C)	Haut	0.25	0.2688	18.8
	Bas	0.25	0.2636	13.6

Remarque : Lorsqu'on a un défaut court-circuit on suivre la même méthode.

IV.7. Conclusion :

Dans notre étude, nous avons analysé les effets de défauts de fermeture et d'ouverture des interrupteurs sur les caractéristiques de l'ensemble de conversion alternative-continue. Selon les analyses, nous constatons que les deux types de défauts (C-C et C-O) peuvent être détectés et localisés par la détermination des indicateurs (R_a, R_b, R_c).

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons étudié la détection et la localisation des défauts convertisseurs AC/DC dans le système d'excitation de la centrale de Ras-Djinet, basons sur les différents défauts qui peuvent intervenir dans les composants de puissance (interrupteurs) du système redresseur AC/DC.

D'abord, nous avons commencé par la présentation de la centrale thermique de Ras-Djinet, nous a permis de mieux comprendre les étapes et transformations nécessaires pour la production de l'électricité, le rôle des divers organes qui participes à ces transformations (chaudière, condenseur, turbineetc.), ainsi que l'importance des auxiliaires intervenant dans un cycle de production .

Ensuite, on a abordé les éléments essentiels qui constituent un système d'excitation, nous allons discuter les exigences nécessaires pour le fonctionnement des systèmes d'excitations, et présenté les différents types de ce système suivant leurs utilisations. Le rôle et l'importance du système d'excitation dans un groupe turbo-alternateur est en principe la possibilité d'effectuer des opérations de régulation et de stabilisation dans le but d'assurer la protection des éléments de chaque bloc du groupe.

Puis nous avons fait une étude détaillé sur les convertisseurs statiques AC/DC, basons sur les montages redresseurs parallèles doubles triphasés commandés (PD3 à base Thyristors) et non commandé (PD3 à base diodes) qui sont nécessaires pour notre étude ; ainsi la méthodologie de la modélisation mathématique de l'alternateur (générateur synchrone) utilisant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, cela nous a permis d'établir un modèle de Park qui réduit le système d'état électrique de la machine.

Dans le dernier chapitre nous sommes intéressés a répertorier les principales défaillances qui pouvant intervenir dans un composant de puissance ainsi que les causes et les conséquences de leur apparition, puis nous avons proposés une méthode de détection et de localisation de ces défauts ; cette méthode est basé sur détermination des valeurs moyennes normalisées des trois courants (I_a , I_b , I_c) de charge et la définition des seuils fixes. Cette méthode présente plusieurs avantages, sa simplicité et sa capacité pour la détection et la localisation des défauts interrupteurs.

L'efficacité et les performances de cette méthode ont été démontrées par simulation numérique sur le logiciel Matlab/Simulink.

Enfin, ce travail pourrait être poursuivi par d'autres travaux portant sur le développement des modèles mathématique représentés en tension, en courant et en puissance des systèmes d'excitations des alternateurs (générateurs). Cette modélisation multi-grandeurs permet de constater des multiples défauts électriques dans le système d'excitation.

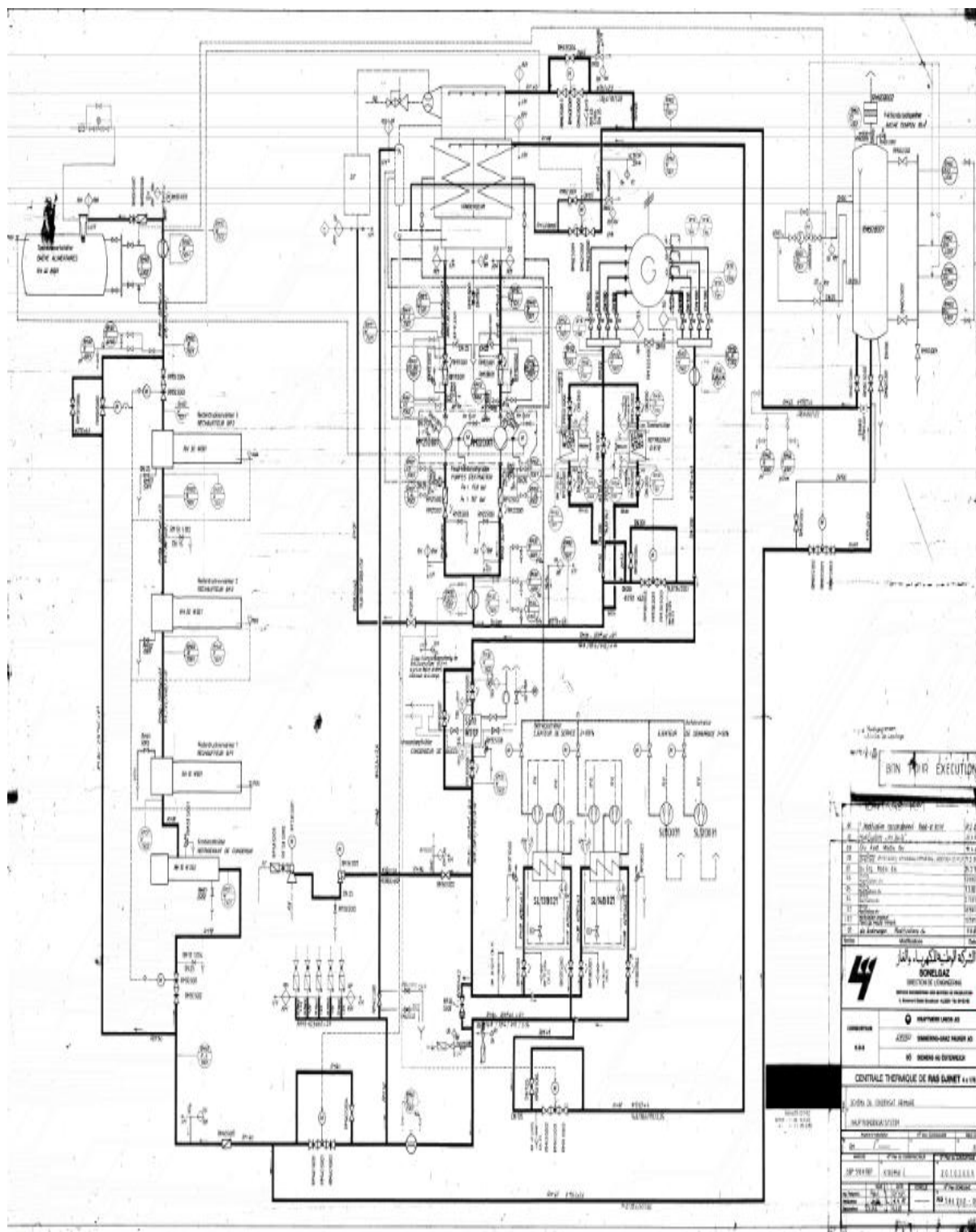
Il serait aussi intéressant de l'étude des défauts des systèmes d'excitation des centrales de production de l'énergie électrique en détaille et surtout le diagnostic en ligne des défauts des systèmes d'excitations tournants. Cette vision a pour objectif d'assurer un bon fonctionnement des systèmes de production d'énergie électrique.

Bibliographie

- [1] SITOUAH Rafik, MOUSSI Kamal : « Automatisation du système d'excitation de Secours de la Centrale de Ras-Djinet » Mémoire d'ingénieur d'état de l'université de Tizi-ouzou 2005.
- [2] KWU, « Documentation de la centrale de Ras-Djinet, introduction générale », service de la formation professionnelle, N° 5501, 2000.
- [3] A.CHERSALLAH, D.SAADA : « FMT I : Formation Technique principal conduite central T.V » Archives de la central de RAS-DJINET.
- [4] KWU, « Circuit d'eau de refroidissement », service de formation professionnelle, N°5513.
- [5] KWU, « Circuit de dessalement d'eau de mer », service de formation Professionnelle, N° 5515.
- [6] KWU, « Turbine », service de formation professionnelle No 5520.
- [7] KWU, « Transformateurs », service de formation professionnelle No 5526.
- [8] Theodore WILDI. Gilbert SYBILLE. « Elechtrotechnique ».
- [9] Q.Zhao.J.Jiang, « Robust Controller Design for Generator Excitation Systems », IEEE Trans on Energy Conversion, Vol.Lo , N°2, June 1995, pp.201-207.
- [10] Technical Report IEC International Electro technical Commission, ref.34-16-2, « Excitation systems for synchronous machines ». First edition 1991-02.
- [11] P.Kundur. « Power System Stability and Control », New York : Mc-Graw-Hillinc, 1994.
- [12] K. Saoudi, M.N. Harmaset Z. Bouchama, « Design and Analysis of an Indirect Adaptive Fuzzy Sliding Mode Power System Stabilizer ». In Proceedings of Second International Conference onElectrical and Electronics Engineering, pages 96-100, 2008.
- [13] Hajagos, L.M.; Basler, M.J. « Recommended practice for excitation system models for power system stability studies ». Changes to IEEE 421.5 Power Engineering Society General Meeting 2005 IEEE.
- [14] KWU, « Régulation de Tension », service de formation professional No 5546.
- [15] Université de Savoie « Licence EEA Module U6, Energie et convertisseurs d'énergie ».
- [16] Mourad HASNI : « Identification Paramétrique et Structurale des Machines Synchrones par Application de Divers Signaux d'excitation » thèse de doctorat d'état de l'ENP Soutenue le 30 octobre 2007.
- [17] GUY STURTER, Eddie SMIGIEL: « Modélisation et commande du moteur triphasé » Ellipses Edition marketing SA 2000.
- [18] R. Abdessemed, M. Kadjoudj : « Modélisation des machines électriques » Presses de l'université de Batna 1997.
- [19] Jean-poul Louis : « Modélisation des machines électriques en vue de leur commande : concepts généraux » Lavoisier 2004.

- [20] CHEE-MUNGONG: « Dynamic simulation of Electric Machinery using MATLAB/SIMULINK » Prentice Hall PTR 1998.
- [21] Moteur de recherche GOOGLE « Techniques de l'ingénieur ».
- [22] Centre National d'Etudes des Télécommunications, « Recueil de données de fiabilité des composants électroniques RDF93 », Juin 1993.
- [23] O. Ondel « Diagnostic par Reconnaissances des Formes : Application à un Ensemble Convertisseur – Machines Asynchrones », Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, Ecole Doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique de Lyon, 2006.
- [24] Omar STllil & Boon-Teck Ooi, « A single-phase controlled-current PWM rectifier », IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.3, No. 4, Oct. 1988.

Annexes



1 : Circuit de condensat principal.

