

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Électrotechnique
Spécialité : **ELECTROTECHNIQUE
INDUSTRIELLE**

Présenté par

**BELARIBI MUSTAPHA
DEHIMI ABDELMALEK**

Thème

ETUDE DE LA TURBINE A GAZ 5001 ET LA GENERATRICE CONNECTE AU RESEAUX ELECTRIQUE

Mémoire soutenu publiquement le 29/06 / 2024 devant le jury composé de :

MR BIROUCHE CHAFIK
MAA, Ummto, Président

MME MOHELLEBI EPOUSE OUDNI ZEHOR
MCA , Ummto, Encadreur

MR DICHE AREZKI
MAA, Ummto, Examineur

Remerciement

Àu début, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre promotrice M^{me} mohellebi épouse oudni pour nous avoir suivis et conseillés au tout long de la réalisation de ce mémoire.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre famille, surtout nos parents et ma grande mère qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui nous tenons à les remercier.

Enfin nous tenons à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à cher oncle belazibi hakim et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation, car un projet ne peut pas être le fruit d'une seule personne

DEDICACE

*Je dédie ce travail a ma famille ,elle qui ma dote d'une
éducation digne , son amour a fait de moi ce que je
suis aujourd'hui*

*Particulièrement a mon père feu ALI , pour le goût a
l'effort qui il a suscité en moi ,de par sa rigueur*

*A toi ma grande mère Tassaadith et l'épouse de mon
oncle yamina et cherre cousine rahima , ceci est ma
profonde gratitude pour ton éternel amour, que ce
rapport soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir*

*A vous mes chers frères Mourad Hossine Hassan et
chères sœur Hassiba et Meriem qui m'avez toujours
soutenu et encourager durant ces années d'étude*

*A tout mes chers amis de l universite et la cite oued
aissi*

*A cher oncle hakim pour leurs appuis et leur
encouragement*

MUSTAPHA

DÉDICACE

**JE DÉDIE CE TRAVAIL À MES TRÈS CHERS PARENTS,
POUR LEURS SACRIFICES ET ENCOURAGEMENTS DURANT
TOUTES CES ANNÉES D'ÉTUDES, POUR LEURS CONSEILS ET
ORIENTATIONS DANS MA VIE,**

**À MON CHÈR FRÈRE OUSSAMA ET MA CHÈRE SOEUR
RAHIMA ET MON ONCLE HAKIM BELARIBI ET MA FAMILLE
POUR LEURS APPUIS ET LEUR ENCOURAGEMENT,**

À TOUS MES CHERS AMIS,

**À CELLES QUI ONT TOUJOURS SACRIFIÉES POUR ME VOIR
RÉUSSI,**

ABDELMALEK

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I Généralités sur les Turbines à Gaz

I.1. Introduction.....	2
I.2.Définition	2
I.3. L’historique de la turbine à gaz	2
I.4. Principe de fonctionnement d’une turbine à gaz	2
I.5. Composants d’une turbine à gaz	3
I.6.Classification des turbines	4
I.7. Avantages et Inconvénients des TAG	5
I.8. Types des turbines	6
I.9.Conclusion	8

Chapitre II Description d’un turbo-alternateur

II.1. Introduction	9
II.2. Description d'un turbo-alternateur	9
II.2.1. Turbine à gaz MC5001	9
1.Définition	9
2. Caractéristiques de la turbine a gaz MS5001	10
3. Principe de fonctionnement.....	10
4. Les différentes sections de la turbine à gaz 5001	11
4.1. Section d’admission de l’air	11
4.2. Section compresseur.....	12
4.3. Le Système De Combustion	12
4.4. Les Bougies D'allumage.....	13
4.5. Tube A Flamme	13
5. Section de la turbine	15
6.Systèmes auxiliaires de la turbine à gaz.....	15
6.1. Système de gaz combustible.....	16
6.2. Système d’huile de lubrification	16
6.3. Système d’huile hydraulique	17
6.4. Système d’air d’étanchéité et de refroidissement.....	17
7.Turbine de lancement	18

8. La Maintenance Appliquée Sur Les Turbines A Gaz MS5001	18
II.2.2 Alternateur	18
1. Introduction	18
2. Spécification technique	19
3. Les parties essentielles d'un alternateur	20
3.1. Le stator	20
3.2. Le rotor	21
4. Principe de fonctionnement	22
5. Les systèmes d'excitation des générateurs synchrones	23
5.1. Généralités	23
5.2. Sources d'énergie pour l'excitatrice	27
6. Couplage des alternateurs	29
7. Maintenance	29
7.1. Contrôles quotidiens	29
7.2. Entretien périodique	30
7.3. Révision	30
8. Bilan de puissance d'un alternateur	31
9. Conclusion	34

Chapitre III Régulateur de tension

III.1. Introduction	35
III.2. Les régulateurs de tension AVR	35
III.3. Principe de fonctionnement de l'AVR	36
III.4. Rôle du régulateur de tension	38
III.5. Régulation de la tension de sortie de la génératrice synchrone	38
III.5.1. Définition d'un régulateur PID	38
III.5.2. Les actions PID	39
III.5.3. Structures d'un régulateur PID	40
III.5.4. Réglage d'un PID	41
III.5.5. Les différents fonctionnements avec régulateur du turbo-alternateur	44
III.5.6. Avantages	49
III.5.7. Inconvénients	50
III.6. Conclusion	50

CHAPITRE IV Présentation du site HBNS

IV.1. Introduction	51
IV.2. Définition	51
IV.3. Historique du site	51
IV.4. Composition de site HBNS	53
IV.5. Situation géographique	54
IV.6. Présentation du CPF	54
IV.6.1. Alimentation de CPF en électricité.....	55
IV.6.2. Les trains de traitement	56
IV.7. Départements du Groupement Berkine.....	57
IV.7.1. Département Ressource humaine	57
IV.7.2. Département HSE.....	57
IV.7.3. Département maintenance	58
IV.7.4. Département D'exploitation.....	58
IV.7.5. Département Technique	58
IV.7.6. Département logistique.....	59
IV.8. L'organigramme de groupement berkine.....	59
IV.9. Organigramme division maintenance	60
IV.10. Diffèrent type des régulateurs dont le site HBNS	60
IV.10.1. Régulateur de puissance	60
IV.10.2. Régulateur de fréquence	61
IV.10.3. Régulateur de température.....	61
IV.11 Conclusion	62
Conclusion général	63
Références bibliographique	

Figure I.2 : Compresseur de la turbine à gaz	3
Figure I.3 : La chambre de combustion	4
Figure I.4 : schéma de la Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres.....	5
Figure II.1 : Bougies d'allumage	13
Figure II.2 : Tubes d'interconnexions	15
Figure II.3 : Diagramme schématique du système d'huile Lubrifiante.....	17
Figure II.4 : Le stator	21
Figure II.5 : le rotor	22
Figure II.6 : Système d'excitation d'un générateur synchrone	23
Figure II.7 : Excitation SHUNT de la GP	27
Figure II.8 : Excitation PMG de la GP.....	28
Figure II.9 : Excitation AREP de la GP.	28
Figure II.10 : bilan de puissance de l'alternateur	31
Figure III.1 : Modèle schématique d'un régulateur classique de tension AVR	36
Figure III.2 : Système de machine commandé par AVR	37
Figure III.3 : Circuit de régulation de la tension de sortie.	37
Figure III.4 : Diagramme fonctionnel de la régulation de tension	38
Figure III.5 : Correcteur PID série	40
Figure III.6 : Correcteur PID mixte	40
Figure III.7 : Correcteur PID mixte.....	41
Figure III.8 : la courbe de paramètre de réglage PID.....	42
Figure III.9 : schéma du fonctionnement	44
Figure III.11 : système stable	45
Figure III.12 : système mal amorti	46
Figure III.13 : système stable	46
Figure III.14 : régime trop long.....	46

Figure III.15 : système stable	47
Figure III.16 : système assez bien réglé	47
Figure III.17 : système mal amorti	47
Figure III.18 : système mal amorti	48
Figure III.19 : système mal amorti	48
Figure III.20: système mal amorti	49
Figure III.21: système mal amorti	49
Figure IV.1 : situation géographique.....	54
Figure IV.2 : présentation de CPF.....	55
Figure IV.3 : Organigramme HBNS	59
Figure IV.4 : Organigramme Division Maintenance.....	60
Figure IV.5 : la puissance active de la génératrice en méga watts	61
Figure IV.6 : la fréquence de génératrice	61
Figure IV.7 : température de génératrice	61

Tableau II.1 : Caractéristiques de la turbine a gaz MS5001	10
Tableau II.2 : plaque signalétique d'un Générateur	19
Tableau II.3 : plaque signalétique d'excitatrice d'un Générateur	20
Tableau II.4: Structure d'excitation avec machine DC	24
Tableau II.5: Structure d'excitation avec une machine AC et un redresseur statique.....	25
Tableau II.6: Structure d'excitation avec une machine AC et un redresseur tournant.....	25
Tableau II.7 : Structure d'excitation avec thyristors.	26
Tableau II.8: Excitation par auto-alimentation.....	26
Tableau III.1 : Tableau d'influence des coefficients P, I et D.....	40
Tableau III.2 : paramètre de régulation	45
Tableau IV.1 : spécification de l'huile après traitement	57

Liste abréviation

HP : haut pression

BP : basse pression

CR : compresseur d'Aire

CC : chambre de combustion

CH : charge

TU : turbine

MS5001 :

M : model

S : série

5 : frame 5

00 :iso power

1 : signal shift

TE1 : turbine d'entraînement du compresseur

TE2 : turbine d'entraînement de la charge

TA : turbo-alternateur

f.é.m. : force électromagnétique

Φ : flux d'induction magnétique

B : Champ magnétique de l'aimant

S : Vecteur surface de la bobine

N : nombre de spire de la bobine

e : force électromotrice induit

GP : génératrice principale

GE : général Electric

DC : courant continue

ME : machine excitatrice

PMG : Permanent Magnet Generator

AREP : Auxiliary winding Regulation Excitation Principle

Pmec : perte mécanique

PM : puissance mécanique

Pfs : perte faire statorique

Pex : puissance d'excitation

Pjr : perte joule rotorique

Pjs : perte joule statorique

Ω : Vitesse de rotation du champ tournant

Cm : Couple utile

Iex : Courant d'excitation.

Uex : Tension d'excitation

PU : puissance utile

U : tension composée.

V : tension simple.

R : Résistance

R_r : Résistance dans le circuit d'excitation

n : rendement

E_{diss} : L'énergie dissipée.

AVR : Automatique Voltage Régulateur

PID : proportionnelle, intégrale et dérivée

V_t : Tension mesurée à la sortie de la machine synchrone

V_s : Tension du nœud infini.

$V_{réf}$: Tension de référence.

E_{fd} : Tension d'excitation de la machine synchrone

E_{fd-max} : Limite supérieure de la sortie

E_{fd-min} : Limite inférieure de la sortie

T_a : Constante de temps de l'AVR

K_a : Gain de l'AVR

RB : pont redresseur

C : condensateur de filtrage

Q : valeur de consigne

D : diode de roue libre

Kp : le gain proportionnel

Ki : le gain intégral

Kd : gain dérivatif

Ti : constante de temps d'intégration,

Td : constante de temps de dérivée.

HBNS : Hassi Berkine Sud

HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

CPF : Central Processing Facilities (usine de traitement de brut).

Introduction générale

Les turbo-alternateurs sont des éléments les plus essentiels dans la production de l'énergie électrique, L'énergie électrique est indispensable dans la vie de l'être humain, la consommation de l'énergie électrique augmente de jour à jour surtout dans les pays développés, les turbo-alternateurs sont des alternateurs entraînés à grande vitesse de rotation par une turbine à gaz ou turbine à vapeur, et la turbine à gaz reste l'entraînement le plus courant pour les grandes puissances

Pour assurer la production d'électricité, il faut mettre en œuvre des dispositifs de régulation. Ces derniers doivent commander de façon instantanée les turboalternateurs contre les différentes perturbations , Ces systèmes de régulation doivent également garantir le fonctionnement de ces machines dans des limites acceptables pour garantir la stabilité du ce système on a réalisé une régulation pour la tension de sortie par application d'un régulateur "AVR" (Régulateur Automatique de Tension), au niveau du système d'excitation, et un système de régulation PID permettant de réguler la tension de l'alternateur.

L'objet de ce travail de Master 2 c'est l'étude d'une turbine à gaz 5001 et la génératrice connecté au réseau électrique, Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, une présentation générale sur la turbine à gaz destinée pour la production d'électricité est réalisée

Dans le deuxième chapitre, nous avons entamé l'étude théorique sur Les turbo-alternateurs en décrivant leur fonctionnement, leur régulation

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la régulation du turbo alternateur, en analysant les différents modes de régulation.

Le quatrième chapitre, concerne la présentation de site HBNS, objet du stage pratique, qui a permis la réalisation de l'étude de la turbine à gaz.

On termine une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les Turbines à Gaz

I.1. Introduction

Une turbine à gaz, également connue sous le nom de turbine à combustion, est une machine thermodynamique rotative faisant partie de la catégorie des moteurs à combustion interne. Son objectif principal est de convertir l'énergie contenue dans un hydrocarbure en énergie mécanique, se traduisant par la rotation d'un arbre. Les avancées technologiques dans le domaine des matériaux et les recherches approfondies sur la combustion ont permis d'améliorer rapidement les performances en termes de puissance spécifique et d'efficacité, en augmentant la température maximale dans le cycle thermodynamique.

I.2. Définition

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue. Elle peut être considérée comme un système autosuffisant. En effet, elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertit cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel. Sous sa forme la plus simple, une turbine à gaz comprend un compresseur axial qui aspire l'air à la pression atmosphérique ; une chambre de combustion, où l'air comprimé est réchauffé à pression constante par la combustion d'une certaine quantité de combustible (gaz naturel, gasoil ou kérosène) et enfin une turbine de détente des gaz jusqu'à la pression atmosphérique. [1]

I.3. L'histoire de la turbine à gaz

La turbine à gaz a été inventée en 1791 par le Britannique John Barber. Sa supériorité technique et économique par rapport aux machines à vapeur à piston a été reconnue dès le 19^e siècle. Toutefois l'insuffisance des connaissances sur les matériaux interdisait à l'époque de concrétiser les espoirs placés en elle. Il a en effet fallu attendre 1904 pour que Franz Stoltz développe à Berlin une turbine à gaz capable de fonctionner, mais ne délivrant encore aucune puissance utile. [2]

I.4. Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz

L'air atmosphérique est aspiré par le compresseur axial. Cet air est comprimé puis refoulé dans la chambre de combustion où est introduit le combustible ; le mélange désiré (air comprimé et gaz sous pression) est obtenu. Une étincelle fournie par une bougie provoque la

combustion. La chaleur produite dans la chambre de combustion et l'énergie dégagée par le produit de la combustion sont dirigées vers la première roue de la turbine où cette énergie thermique se transforme en énergie mécanique. Une partie de la puissance développée par la turbine sert à l'entraînement du compresseur axial (après son désaccouplement du moteur ou turbine de lancement). L'autre partie de la puissance développée est convertie en énergie utilisable, c'est-à-dire servant à entraîner la machine réceptrice. [3]

I.5. Composants d'une turbine à gaz

La turbine à gaz est composée des éléments suivants :

- Un compresseur axial : la fonction principale du compresseur est de comprimer l'air atmosphérique à une pression plus élevée.

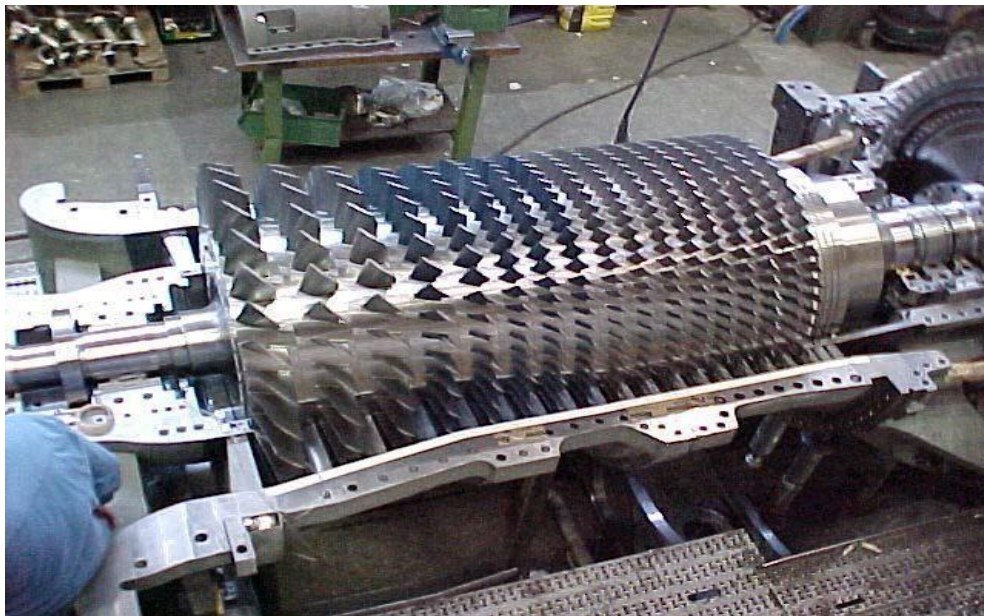


Figure I.1 : Compresseur de la turbine à gaz [4]

- Chambres de combustion : l'air comprimé provenant du compresseur est mélangé au carburant et le mélange s'enflamme. Le produit de cette combustion est une veine de gaz chaude à haute pression.



Figure I.2 : La chambre de combustion [5]

- La roue de turbine : les gaz chauds entraînent d'une part le compresseur de la turbine et d'autre part la charge. [3]

I.6. Classification des turbines

1. Turbine mono - arbre

Le compresseur et les sections de la turbine sont montés sur un même arbre ce qui leur permette de tourner à la même vitesse, ce type, utilisé pour les applications qui n'ont pas besoin des variations de vitesse telle que l'entraînement des génératrices pour la production de l'électricité. [4]

2. Turbine bi - arbre

Les deux sections de la turbine ne sont pas reliées mécaniquement ce qui leur permette de tourner à des vitesses différentes. Ce type est utilisé dans les applications qui demandent une large variation de vitesse tel que l'entraînement des compresseurs. Le compresseur et la roue haute pression (HP) sont appelés générateur de gaz, généralement la vitesse de générateur constante, par contre la vitesse du la roue basse pression (BP), varie selon le régime de la machine réceptrice. De point de vue mécanique, la turbine à deux arbres est plus complexe que la turbine à un seul arbre ; mais, elle permet d'obtenir un meilleur rendement à charge partielle, elle s'adapte particulièrement bien à l'entraînement d'un compresseur dont la prise en charge s'effectue lors de la montée en vitesse et permet de travailler sur une large plage de vitesse de rotation. A noter également la puissance réduite du moteur de démarrage qui n'entraîne que le premier arbre du générateur de gaz. [4]

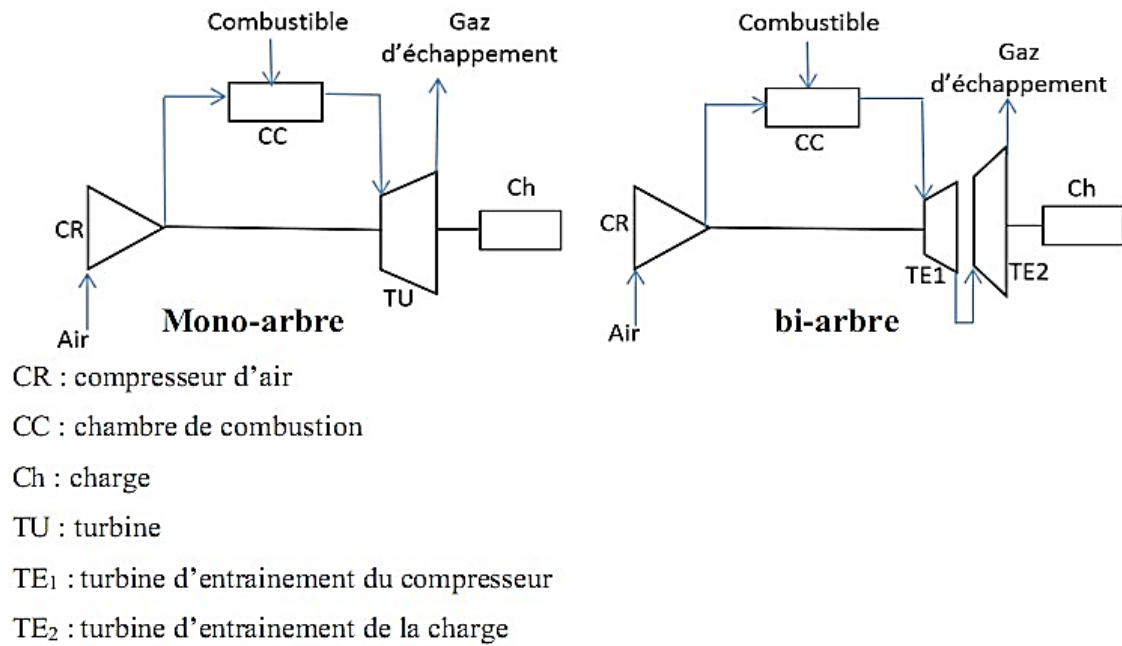


Figure I.3 : schéma de la Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres [6].

I.7. Avantages et Inconvénients des TAG [7]

1. Les avantages

La turbine à gaz représente des avantages remarquables :

- Simplicité d'installation.
- Génération simultanée d'électricité et de chaleur utilisable soit directement, soit indirectement dans les procédés industriels.
- Possibilité de fonctionnement avec différents combustibles.
- Grand sécurité de fonctionnement.
- Entretien facile.
- Marché régulière.
- valeur d'émission favorable sans équipement.

2. les inconvénients

- Mauvais rendement : moins de 30% de l'énergie calorifique contenue dans le carburant est transformée en énergie mécanique.

- Faibles pressions de travail.
- Régimes souvent beaucoup trop élevés.
- Coût de fabrication élevé.
- Importante consommation de carburant.
- Mal adaptée aux faibles puissances.
- Bruyante par la vitesse des gaz.
- Nécessite des réducteurs coûteux.

I.8. Types des turbines

« GE Energy » fabrique une gamme complète de turbines à gaz pour toutes les principales applications de l'industrie du pétrole et du gaz. Elles sont installées dans les usines de gaz naturel, les stations de compression de gaz, les stations de pompage de pétrole, les usines pétrochimiques et les installations de production d'énergie et de cogénération dans le monde entier. Les modèles de base produits par GE Energy couvrent la plage de puissance allant de 5000 à 124 000 kW. Ils peuvent être fournis en cycles simples ou régénératifs pour des applications à entraînement mécanique ou à entraînement de générateur. Les principaux modèles de turbines proposées par GE sont décrits ci-après. [3]

1. Turbines à gaz GE5

La nouvelle GE5 est une turbine à gaz industrielle compacte à la pointe de la technologie de 6 MW. L'unité a été développée en deux configurations : un arbre simple d'entraînement à extrémité froide pour la génération de puissance et un arbre double d'entraînement à tête chaude pour les applications d'entraînement mécanique. Le moteur à deux arbres est obtenu en retirant simplement la turbine du deuxième étage de l'unité à un seul arbre et en ajoutant une turbine de puissance à deux étages.

2. Turbines à gaz GE10

La GE10 est une turbine à gaz à usage intensif de la gamme 12 MW, disponible en version à un ou deux arbres. Le générateur de gaz comprend un compresseur à flux axial à rendement élevé et à 11 étages, ainsi qu'une chambre de combustion unique capable de brûler une grande variété de combustibles.

3. Turbines à gaz MS5001

La turbine à arbre unique MS5001 est un moteur primaire robuste et compact conçu pour une longue durée de vie et une facilité d'utilisation et de maintenance. Les faibles coûts d'exploitation et d'investissement font de la centrale MS5001 un système économiquement attrayant pour la génération de charges.

4. Turbines à gaz MS5002C-D

La MS5002 est une turbine à gaz spécialement conçue pour les applications d'entraînement mécanique telles que l'alimentation en gaz, l'injection / réinjection de gaz, les oléoducs et gazoducs, les installations de GNL et le stockage de gaz.

5. Turbines à gaz MS5002E

Le MS5002E, le dernier-né de la famille des turbines à gaz GE Energy, est une machine de la classe 32 MW conçue pour un rendement élevé, un faible impact sur l'environnement et une grande fiabilité. Le MS5002E offre des niveaux d'émission de NOx allant jusqu'à 25 ppm grâce à l'utilisation d'un système de combustion sec / faible émission dérivé de la technologie de combustion GE Energy DLN2.

6. Turbines à gaz aérodérivées PGT16

La turbine à gaz PGT16 se compose d'un générateur de gaz à double corps aérodérivé LM1600 et d'une turbine de puissance industrielle robuste conçue par les activités GE Energy-Oil & Gas. Le générateur de gaz LM1600 est dérivé du moteur d'avion à double flux F404.

7. Turbines à gaz aérodérivées PGT25 +

La turbine à gaz PGT25 + a été développée pour un service d'alimentation sur arbre ISO de 30 MW avec le rendement thermique le plus élevé (environ 40%). La turbine à gaz PGT25 + se compose du générateur de gaz aérodérivé LM2500 +, couplé à une turbine de puissance à 2 étages d'une vitesse de 6100 tr / min.

8. Turbines à gaz aérodérivées LM6000

La LM6000 est une turbine à gaz haute performance à deux arbres et à cycle simple. Offrant plus de 44,8 MW avec un rendement thermique supérieur à 42,7%, la puissante LM6000 est la turbine à gaz à cycle simple la plus économique en carburant au monde.

9. Turbines à gaz aérodérivées PGT25

La turbine à gaz PGT25 comprend un générateur de gaz aérodérivées LM2500 associé à une turbine de puissance industrielle robuste conçue par GE Energy.

I.9. Conclusion

En conclusion, Ce chapitre a exploré en profondeur les généralités sur les turbines à gaz, couvrant leur définition, leur historique, leur principe de fonctionnement, leurs composants, leur classification, ainsi que leurs avantages et inconvénients. En comprenant la nature polyvalente de ces machines thermiques, capables de convertir l'énergie des combustibles en électricité, en propulsion ou en chaleur, nous avons saisi l'importance cruciale des turbines à gaz dans divers secteurs industriels. Leur histoire, remontant à plusieurs siècles, témoigne de leur évolution constante pour répondre aux besoins énergétiques modernes. Bien que présentant des avantages significatifs tels qu'une efficacité thermique élevée et une faible émission de polluants, les turbines à gaz sont également confrontées à des défis, notamment en termes de rendement thermique et d'adaptabilité aux charges variables. Cependant, leur diversité, illustrée par une gamme de type et de classifications, souligne leur capacité à s'adapter à des applications spécifiques, de la production d'électricité à la propulsion aéronautique. En somme, ce chapitre a établi les bases essentielles pour comprendre le rôle crucial et la complexité des turbines à gaz dans le paysage énergétique contemporain.

Chapitre II

Description d'un turbo-alternateur

II.1. Introduction

Un turbo-alternateur ou turboalternateur est l'accouplement d'une turbine et d'un alternateur en vue de transformer la puissance mécanique d'un fluide en mouvement en électricité.

Les turbo-alternateurs ont connu ces dernières années un développement considérable dans de nombreuses applications industrielles en particulier dans le domaine des hydrocarbures et de la production d'énergie électrique. Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités, une description de la turbine MS 5001 et le fonctionnement d'un alternateur.

II.2. Description d'un turbo-alternateur

Un aperçu des éléments technologiques sur un groupe (TA) sera donné dans la suite de ce chapitre. Il s'agit d'une machine imposante par sa taille, comprend divers composants. C'est un système complexe constitué de l'alternateur et de la turbine. Dans ce qui suit on va faire une description sur le fonctionnement d'une turbine à gaz (MS 5001) et un alternateur.
[8]

II.2.1. Turbine à gaz MC5001

1. Définition

La turbine à arbre unique MS5001 est un moteur primaire robuste et compact conçu pour une longue durée de vie et une facilité d'utilisation et de maintenance. Les faibles coûts d'exploitation et d'investissement font de la centrale MS5001 un système économiquement attrayant pour la génération de charges.

2. Caractéristiques de la turbine a gaz MS5001

Type turbine	MS 5001
Fabriquant	THOMASSEN
Vitesse nominale (tr/min)	5125
Nombre étages	02
T° entrée turbine à 15 C° et 100 % de puissance nominale	943
T° gaz échappement à 15 C°100 % de puissance nominale	487
Pression entrée turbine (bar) à puissance nominale et de T° 15 C°	9.85
Pression sortie turbine (bar) à puissance nominale et de T° 15 C°	0.965
Débit d'air à T° 15 C°(Kg/s)	116.4
Combustible principal	Gaz
Combustible secondaire	Fuel
Consommation spécifique gaz	3126 base/3058 pointe en mth/KWh
Capacité nominale (MVA et MW)	26.750 MVA et 21.400 MW
Rendement turbine en pointe à 15 C°(%)	27.9
Rendement turbine à puissance nominale à 15 C°(%)	27.7

Tableau II.1 : Caractéristiques de la turbine a gaz MS5001. [9]

3. Principe de fonctionnement

La turbine à gaz MS 5001 est une turbine mono arbre à cycle simple dotée d'un système de combustion à retour constitué de dix chambres de combustion. Le parcours des gaz est le trajet suivi par les gaz à l'intérieur de la turbine à gaz à partir de l'entrée d'air, traversant le compresseur, la section de combustion et la turbine, jusqu'à l'échappement. Une fois que le système de lancement de la turbine est activé et l'embrayage est engagé, l'air ambiant est aspiré à travers l'ensemble d'entrée, filtré et comprimé dans le compresseur axial. Afin d'assurer la protection contre les pulsations pendant le démarrage, les soupapes de soutirage de 10eme étage sont ouvertes et les aubes directrices orientables d'entrée se trouvent dans la position de

démarrage à faible débit. Lorsque le système de lancement à portée le rotor à la vitesse d'allumage les bougies d'allumage sont excitées et le combustible est admis, le mélange combustible /air s'enflamme dans les chambres de combustion équipées de bougies. La flamme se propage si toutes les chambres sont enflammées, quand le relais de vitesse élevée se déclenche à 95% de la vitesse de régime, la soupape de soutirage de 10eme étage se ferme automatiquement et l'actionneur des aubes directrices orientables d'entrée devient actif afin d'ouvrir les aubes directrices d'entrée dans la position normale d'exploitation de la turbine. L'air provenant du compresseur s'écoule dans les espaces annulaires entre les carters de combustion externes et les chemises de combustion, et il entre dans la zone de combustion par les chemises de combustion. Les gaz chauds provenant des chambres de combustion s'écoulent par dix Pièces de transition distinctes. Ensuite, les gaz entrent dans la section de la turbine à deux étages. Les deux étages sont formés d'une rangée de gicleurs fixes suivie par une rangée d'augets mobiles de la turbine. En chaque rangée de gicleurs, l'énergie cinétique du jet est augmentée, avec une chute de pression y associée. Dans la rangée suivante d'augets mobiles, une partie de l'énergie cinétique du jet est absorbée comme travail efficace du rotor de la turbine. Après avoir passé par les augets de 2eme étage, les gaz sont dirigés vers la caisse d'échappement et le diffuseur qui contiennent une série d'aubes directrices qui ont le rôle de tourner les gaz de la direction axiale à la direction radiale, afin de minimiser les pertes de la bêche d'échappement. Ensuite, les gaz passent dans le plenum d'échappement et ils sont introduits en atmosphère par la cheminée d'échappement. La rotation de l'arbre qui en résulte est utilisée soit pour la rotation du rotor du générateur en vue de la production de la puissance électrique, soit pour la commande d'un compresseur centrifuge dans les applications industrielles. [10]

4. Les différentes sections de la turbine à gaz 5001

4.1. Section d'admission de l'air

Le système d'admission de l'air est formé d'un boîtier à filtres autonettoyant, très efficace, intégré, d'une structure de soutien, d'un système de conduits d'admission avec un silencieux acoustique, des écrans protecteurs et d'un plenum d'entrée qui conduit à la section du compresseur de la turbine. L'arrangement des conduits surélevés et du boîtier à filtres fournit un système compact et réduit les concentrations de poussière trouvées auprès du niveau du sol. [11]

4.2. Section compresseur

Le compresseur, constitué d'un ensemble d'ailettes fixes (stator) et mobiles (rotor), comprime l'air extérieur, simplement filtré, jusqu'à 10 à 15 bars, voire 30 bars pour certains modèles, (un taux de pression de 1,4 à 2 par étage).

Le compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps. Les corps renferment les aubes orientables, les étages du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage. Dans le compresseur, l'air est mis en rotation par une rangée circulaire d'aubes mobiles, (rotor) et subit une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente. Les aubes du rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage et les aubes du stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant. À la sortie du corps d'échappement du compresseur, l'air est dirigé vers les chambres de combustion. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le refroidissement de la turbine, l'étanchéité des paliers et la commande du dispositif anti-pompage. [12]

4.3. Le Système De Combustion

Le système de combustion comporte :

4.3.1. Chambres De Combustion

C'est une enceinte, généralement de forme cylindrique, dans laquelle est introduit l'air, après sa sortie du compresseur.

Un injecteur introduit du combustible qui se mélange à l'air pour composer la charge fraîche, nécessaires au cycle thermodynamique de fonctionnement de la turbine. Au démarrage des bougies sont chargées de provoquer des arcs électriques, (étincelles), afin de provoquer la combustion. Selon la conception, de la machine, on peut avoir une chambre unique ou plusieurs disposées autour du compresseur. [12]

4.3.2. Les Injecteurs De Combustion

Chaque chambre de combustion est équipée d'un injecteur de combustible qui pulvérise une quantité mesurée de combustible à l'intérieur de la chambre. Le combustible liquide est atomisé à la sortie de l'injecteur par de l'air injecté sous haute pression, puis passe dans la zone de combustion. Le combustible gazeux est injecté directement dans chacune des chambres de combustion par des orifices calibrés situés sur la face interne du tabulateur. [12]

4.4. Les Bougies D'allumage

Elles ont pour rôle d'allumer le mélange de la charge fraiche. Elles sont installées dans les chambres de combustion. Pour provoquer les arcs électriques leur alimentation en haute tension se fait à partir de transformateur d'allumage. [12]



Figure II.1 :Bougies d'allumage

4.5. Tube A Flamme

Chaque tube à flamme se compose d'une série de mouchons cylindriques unis entre eux par des anneaux cylindriques ondulés qui lissent entre manchon et manchon des vides annulaires. A travers ces vides l'air relativement froid provenant dit compresseur axial, enter n'axialement et forme des couches d'air plus froides autour de la périphérie intérieure tube à flamme.

Les parois des tubes à flamme sont percées par plusieurs rangées de trou qui permettent l'air d'enter radialement de façon à provoquer un mélanger en turbulence des gaz chauds dans les tubes à flamine. Les deux premiers manchons servent pour introduire l'air de combustion ou primaire. Tandis que les trous du dernier manchon servent pour introduire l'ai,- de dilution ou secondaire. Cet air secondaire a le but de réduire la température des produits de la combustion au niveau désiré avant d'entrer dans la turbine. L'extrémité en amont du tube à flamme se termine par un cône l'extrémité en aval du tube à flamme se termine par deux ressorts coniques. Ces ressorts accrochent la pièce de transition el le manchon de support du tube à flamme de façon à former façon une Jonction entre les parties tout en conservant l'alignement. L'extrémité en aval dit tube à flamme termine par deux ressorts coniques ce ressorts accrochent le

tronc d'union et le manchon de support du tube à flamme de façon à former une jonction télescopique entre les parties tout en conservant l'alignement. [12]

4.5.1. Tubes Interconnexion

Les chambres sont reliées entre elles par des tubes d'interconnexions le but est de propager la flamme aux autres chambres non encore allumées à partir d'une des chambres équipées en bougie d'allumage



Figure II.2 : Tubes d'interconnexions

5. Section de la turbine

Dans la section de la turbine, les gaz à haute température provenant de la section de la combustion sont convertis en puissance sur l'arbre en chevaux. La puissance nécessaire pour entraîner le groupe de charge et le compresseur est fournie par le rotor de la turbine à deux étages. Le premier étage, ou roue de haute pression, et le deuxième étage, ou roue de basse pression, sont boulonnés ensemble pour former une seule unité par laquelle les distributeurs de premier et de deuxième étage dirigent le débit des gaz de combustion. Ces composantes, avec les joints d'étanchéité à l'air et les déflecteurs y associés, se trouvent dans la carcasse de la turbine. [10]

6. Systèmes auxiliaires de la turbine à gaz

La turbine à gaz comprend un certain nombre de systèmes de commande et de protection et auxiliaires associés au fonctionnement correct de la turbine. Ils comprennent également les fonctions de commande de vitesse, température, commande de lancement et commande de combustible. La turbine à gaz comprend des systèmes nécessaires pour son fonctionnement tels que :

-Système de gaz combustible.

- Système d'huile de graissage.
- Système d'huile hydraulique.
- Système d'air d'étanchéité et de refroidissement.

6.1. Système de gaz combustible :

Le système de gaz combustible est étudié pour envoyer le combustible gazeux aux chambres de combustion de la turbine à la pression et aux débits appropriés pour satisfaire à toutes les exigences de lancement, accélération et montée en puissance de la turbine. L'élément principal de ce système est l'ensemble de vanes de commande et arrêt/détente du gaz situé dans la zone accessoire. A ces vanes s'associe la vanne d'évent, les servo-vannes de commande, les manomètres et la tuyauterie de distribution aux injecteurs

6.2. Système d'huile de lubrification

Le graissage de la turbine à gaz est réalisé par un circuit de graissage sous pression et qui comporte divers accessoires tels que :

- Les pompes :il y'a quatre pompes qui sont principale (mécanique), auxiliaire (électrique), secours et vireur.
- Les réfrigérants d'huile.
- Les filtres.
- La caisse d'huile.
- Les vanes et autres dispositifs de contrôle et de protection.

L'huile de graissage qui se trouve dans le réservoir est pompée dans un collecteur, elle est ensuite refroidie et filtrée avant d'être injectée dans les quatre paliers de la turbine ainsi que les équipements de la charge entraînée. Une partie de cette huile alimente le circuit hydraulique et le circuit de contrôle. est montré dans le diagramme schématique du système. [13]

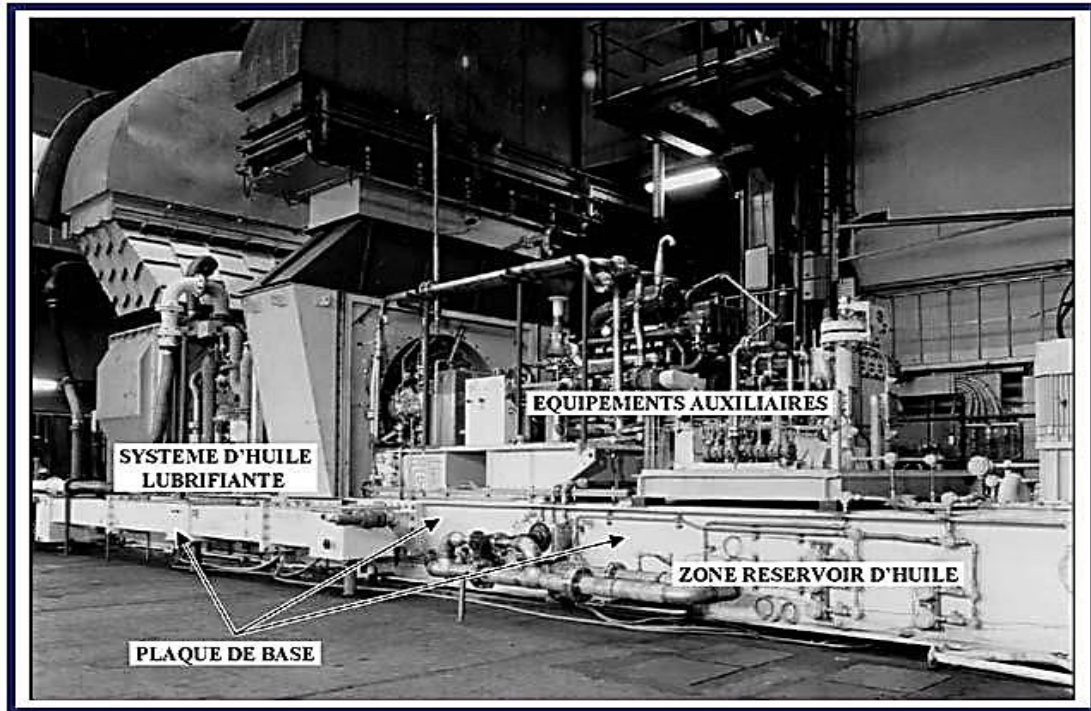


Figure II.3 : Diagramme schématique du système d'huile Lubrifiante. [14]

6.3. Système d'huile hydraulique

Les fonctions du système hydraulique sont nombreuses et comprennent entre l'alimentation en huile haute pression pour la commande de position de la vanne d'Arrêt-rapport de vitesse, de la vanne de commande de combustible et le fonctionnement du système de déclenchement hydraulique de protection de la turbine. L'huile de lubrification filtrée et régulée provenant du collecteur des paliers de la turbine est utilisée comme fluide haute pression nécessaire pour satisfaire aux besoins du système hydraulique. [13]

6.4. Système d'air d'étanchéité et de refroidissement

La plupart de l'air comprimé est utilisé pour la combustion. Une partie de cet air est retirée du compresseur du 10ème étage et utilisé comme air de refroidissement, l'autre partie provient du refoulement du compresseur axial sert d'air de pressurisation. Une autre partie provient de l'air ambiant. Les différentes parties de la turbine qui doivent être refroidies sont. [13] :

- Faces avant et arrière des roues de turbines HP.
- Tuyère (la directrice).

-Enveloppe du rotor de turbine.

-Châssis d'échappement

7. Turbine de lancement

La turbine de lancement est utilisée pour démarrer la turbine à gaz. C'est une turbine à détente qui se connecte au démarrage et se déconnecte à environ 60% du régime de la turbine grâce au système hydraulique. Elle comprend 2 moyeux d'embrayage à mâchoire, l'un fixe et l'autre coulissant qui se déplace à l'aide de deux vérins hydrauliques actionnés par une soupape solénoïde (20CS), quand la vitesse de la turbine atteint 60% de la vitesse nominale de la turbine, la soupape solénoïde (20CS) est désactivée par un relais de vitesse 14HR et décharge l'huile de contrôle vers la caisse, ce qui a pour effet de désaccoupler la turbine de lancement. [13]

8. La Maintenance Appliquée Sur Les Turbines A Gaz MS5001

Les installations techniques représentent un important capital investi. Ce capital doit être préservé et géré avec efficacité. La division de maintenance nécessite de réunir un vaste éventail de compétences dans des domaines variés, ce qui conduit à l'organisation de la maintenance autour de 4 services (services turbomachines, électricité, instrumentation et mécanique industrielle) Un programme de maintenance préventive est une nécessité primaire afin d'assurer la gestion correcte des installations conduites par des turbines à gaz où les arrêts forcés de l'installation doivent être réduits au minimum. [12]

II.2.2 Alternateur

1. Introduction

Les générateurs synchrones (l'alternateur) sont les principaux fournisseurs d'électricité dans notre consommation. Cette machine représente les plus grands convertisseurs électromécaniques existants, capable de convertir une puissance mécanique en électricité. Une génératrice synchrone se compose principalement de deux éléments : un inducteur, généralement monté sur le rotor, et un induit, situé sur le stator. L'inducteur, alimenté de manière appropriée, génère un champ électromagnétique qui induit une tension triphasée dans l'induit, récupérable via les bornes de la machine. Au fil des années, plusieurs technologies ont été développées pour alimenter cet inducteur, visant à améliorer les performances des générateurs. Le choix de la technologie appropriée dépend souvent de

l'application spécifique et des contraintes opérationnelles. Ce qui distingue particulièrement la génératrice synchrone, comme son nom l'indique, c'est sa capacité à produire des tensions de sortie dont la fréquence est étroitement liée à celle du champ tournant, ou champ inducteur. Par conséquent, il est facile de contrôler cette fréquence en régulant la vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement de la génératrice. [15]

2.Spécification technique

Type	DG185Z-04
Puissance apparente	26250 KVA
Facteur de puissance	0,8
Puissance réelle	21000 KW
Tension nominale	11000 V
Intensité nominale	1378 A
Fréquence	50 hz
Vitesse	1500 rpm
Régime	S1
Construction et montage	IM 1005
Méthode de refroidissement	IC 1A1

Tableau II.2 : plaque signalétique d'un Générateur. [1]

Type	DGBP 60/15
Puissance	51 KW
Tension	59 V
Intensité	865 A
Vitesse	1500rpm
Fréquence	150 Hz
Tension d'excitation	70 V
Courant d'excitation	6,1 A
Méthode de refroidissement	IC 00

Tableau II.3 : plaque signalétique d'excitatrice d'un Générateur. [1]

3. Les parties essentielles d'un alternateur

Un alternateur est composé des ensembles suivants :

Le stator : il est composé de la carcasse, du circuit magnétique et des bobinages.

Le rotor : il est composé d'un circuit magnétique, de masses polaires et du bobinage polaire.

3.1. Le stator

Le stator comprend un circuit magnétique constitué par un empilage de tôles en forme de couronne, isolées les unes des autres pour limiter les courants de Foucault. L'ensemble des couronnes avec leur isolation est fortement serré, il constitue le circuit magnétique du stator. Dans sa partie intérieure, le circuit magnétique comporte des encoches uniformément réparties dans lesquelles vient se loger l'enroulement triphasé du stator. Le circuit magnétique du stator est en fer afin d'augmenter le champ magnétique engendré par le rotor, il supporte le bobinage du stator. Le bobinage d'un stator triphasé comprend trois bobines décalées l'une par rapport à l'autre de 120° . Les deux extrémités de l'enroulement

aboutissent chacune à une borne à la plaque de bornes de la machine. Elles constituent l'entrée et la sortie de l'enroulement. Elles ne sont pas connectées ensemble : l'enroulement est ouvert. C'est à l'utilisateur de réaliser le couplage. Parce que l'induit est fixe, on peut isoler fortement ses conducteurs ; aussi, construit-on des alternateurs qui produisent des f.é.m. [16]



Figure II.4 : Le stator [16]

3.2. Le rotor

Le rotor qui tourne à l'intérieur du stator immobile. Le rotor porte, dans les encoches disposées à sa périphérie, un enroulement parcouru par un courant continu. Le courant continu provient du système d'excitation. Le rotor excité, en tournant, produit un champ tournant avec lui. Ce champ tournant engendre des forces électromotrices dans chacune des phases de l'enroulement du stator. Les pôles sont alternativement nord et sud ; leur nombre total $2p$ est toujours paire. Certains rotors n'ont que 4 pôles, il en est qui en possèdent plusieurs dizaines. Si les différentes phases du stator sont fermées sur un circuit extérieur, elles sont parcourues par des courants alternatifs. L'ensemble de ces courants produit un champ tournant dans le même sens et à la même vitesse que le rotor. Le champ du rotor est proportionnel au courant d'excitation ; le champ du stator est proportionnel au courant I dans les phases de l'enroulement du stator. [16]



Figure II.5 : le rotor [16]

4. Principe de fonctionnement

L'alternateur est une machine synchrone, ce qui signifie qu'il y a un parfait synchronisme entre la vitesse de rotation du rotor et de la vitesse du champ tournant. En d'autres termes, il n'y a pas de « glissement ».

Sous l'effet d'un champ électrique permanent délivré par le circuit d'excitation et tournant à la vitesse de rotation de la turbine, le rotor est l'origine d'un flux d'induction magnétique Φ variable, d'après la loi de Faraday, l'alternateur permet d'obtenir du courant électrique grâce au variation du flux d'induction magnétique Φ à travers les enroulements statoriques pendant un intervalle de temps permettent de créent une force électromotrice induite e aux bornes des enroulements statoriques. [17]

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{II.1})$$

Avec

$$\Phi = N B S \quad (\text{II.2})$$

Φ : Flux d'induction magnétique à Travers la bobine. En Weber (Wb)

B : Champ magnétique de l'aimant, en ampère par mètre (A/m)

S : Vecteur surface de la bobine. En (m²)

N : nombre de spire de la bobine

e : force électromotrice induit, en volts (V)

5. Les systèmes d'excitation des générateurs synchrones

5.1. Généralités

Un générateur synchrone (alternateur) est constitué de la génératrice principale (GP) et d'un système d'excitation (figure II.6). Ce dernier est composé de la structure d'excitation nécessaire pour l'alimentation de l'inducteur de la GP et du régulateur de tension. Une source de puissance est toujours nécessaire pour l'alimentation de la structure d'excitation GP.

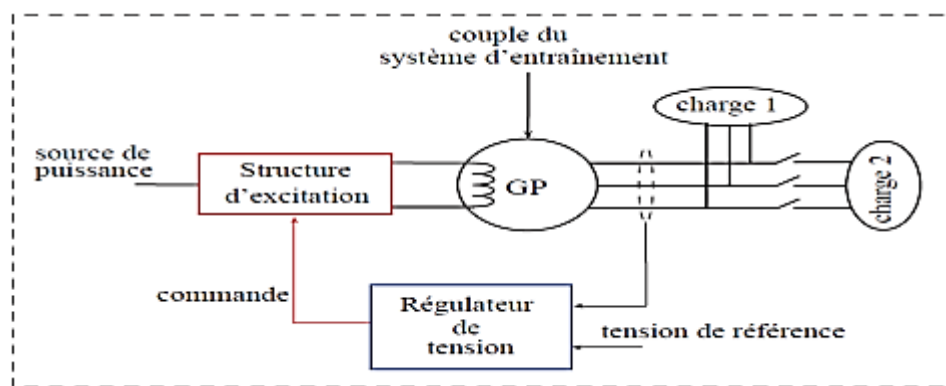


Figure II.6 : Système d'excitation d'un générateur synchrone.

Pour produire de l'énergie électrique, la génératrice synchrone a besoin d'un champ magnétique tournant. Ce champ est créé grâce à un courant continu dans le bobinage du rotor dans le cas d'une machine à rotor bobiné et par les aimants dans le cas de machine à aimants permanents. On parle alors d'excitation de la machine. Le système d'excitation est constitué de la structure d'excitation de l'alternateur et du régulateur de tension.

Un alternateur doit fournir une tension constante. En plus, la variation de la charge doit avoir le minimum d'influence sur la tension générée. Certaines applications nécessitent une haute qualité de Chapitre I Généralités sur les génératrices synchrones 7 fourniture d'énergie (hôpitaux par exemple). Pour cela, l'alternateur est toujours équipé d'un système d'excitation qui a pour rôle de réguler la tension de sortie et de rejeter les perturbations liées à la variation de la charge de l'alternateur.

Parmi les critères utilisés pour définir les différentes excitations des machines synchrones, les plus importants sont le mode de régulation et le mode de prélèvement de

l'énergie servant à alimenter l'inducteur de la machine principale. De plus, le système d'excitation doit répondre aux exigences de plusieurs applications. [18] :

- Stabilité ;
- Régulation performante avec une réponse rapide ;
- Grande fiabilité ;
- Grande disponibilité ;
- Exigences d'entretien minimales ;
- Construction robuste. Il existe différentes structures d'excitation qui peuvent être classées en trois catégories]
- Les excitations utilisant une source extérieure continue,
- Celles réalisant une auto excitation de la machine par prélèvement d'énergie sur les bornes de cette dernière,
- Celles utilisant un autre alternateur monté sur le même arbre que l'alternateur principal combiné à un redresseur.

Structure d'excitation avec machine dc.	
Principe	La figure montre le principe général de l'excitation de la GP avec une machine dc.
Caractéristiques	La transmission de la puissance de la machine dc vers l'inducteur de la GP nécessite l'utilisation de bagues et de balais (sur la machine dc et sur la GP).
Avantages	Système simple, alimentation externe requise de faible puissance
Inconvénients	Maintenance régulière, solution coûteuse, contrôle indirect, étincelles,
Applications	Cette solution a été utilisée par les sociétés General Electric (GE) et Westinghouse.

Tableau II.4: Structure d'excitation avec machine DC

<i>ME à courant alternatif suivie d'un pont de diodes</i>	
Principe	Structure d'excitation à base d'une machine à courant alternatif suivie d'un pont de diodes statique
Caractéristiques	Un niveau de puissance qui convient pour l'excitation des plus grands générateurs. La ME est une machine synchrone à rotor bobiné. On note que le transfert de la puissance vers la roue polaire s'effectue par l'intermédiaire de bagues et de balais sur la GP
Avantages	Construction robuste, Excitation rapide, Système simple
Inconvénients	Maintenance régulière, Contrôle indirect, étincelles
Applications	Cette structure a été utilisée par GE Alterrex.

Tableau II.5: Structure d'excitation avec une machine AC et un redresseur statique.

<i>Structure d'excitation avec une machine AC et un redresseur tournant.</i>	
Principe	Structure d'excitation à base d'une machine à courant alternatif suivie d'un pont de diodes rotatif (sans bagues ni balais)
Caractéristiques	La machine excitatrice est inversée et caractérisée par son inducteur fixe et son induit tournant. Les Générateurs de grande capacité.
Avantages	Pas de balais de charbon, faible coût de maintenance
Inconvénients	Excitation lente, contrôle indirect, pont de diodes ne permet pas l'excitation avec des tensions négatives.
Applications	Cette structure a été très utilisée dans les applications Aéronautiques

Tableau II.6: Structure d'excitation avec une machine AC et un redresseur tournant.

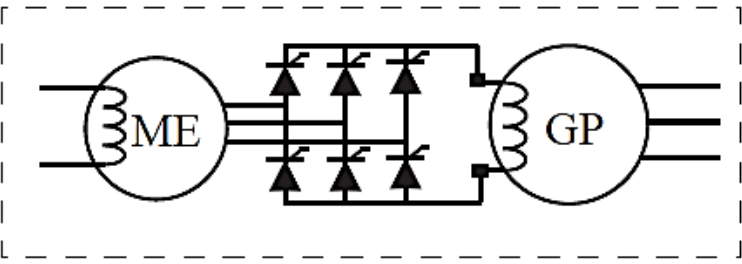
<i>ME à courant alternatif suivie d'un pont à thyristors</i>	
	
Principe	Structure d'excitation à base d'une machine à courant alternatif suivie d'un pont à thyristors (les diodes au silicium sont remplacées par des thyristors)
Caractéristiques	Il est possible de varier rapidement la tension de la roue polaire. En plus, cette dernière peut prendre des valeurs positives et négatives
Avantages	Désexcitation rapide, Pont à thyristors permet l'excitation avec des tensions négatives
Inconvénients	Des bagues et des balais sont souvent utilisés pour la transmission de la puissance vers la roue polaire, contrôle indirect
Applications	Cette structure est utilisée par plusieurs sociétés (Siemens, General Electric ...)

Tableau II.7 : Structure d'excitation avec thyristors.

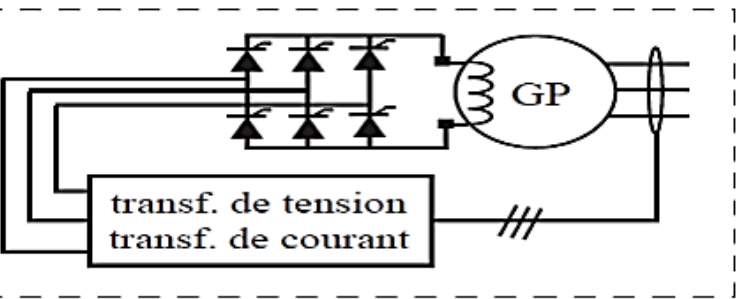
<i>Auto-alimentation</i>	
	
Principe	Le pont à thyristors alimentant la roue polaire est lui-même alimenté par la sortie de la GP (En utilisant un transformateur de tension ou (et) un transformateur de courant)
Caractéristiques	La tension due aux flux rémanents de la GP est trop faible pour permettre l'amorçage et il faut donc utiliser une source auxiliaire (une batterie par exemple).
Avantages	Système simple, Excitation rapide, Contrôle direct
Inconvénients	Maintenance régulière, Étincelles
Applications	ABB pour les applications marines

Tableau II.8: Excitation par auto-alimentation.

5.2. Sources d'énergie pour l'excitatrice

Il existe trois principales méthodes pour produire la puissance nécessaire à l'alimentation de la machine excitatrice ME :

1.SHUNT

La tension d'alimentation du régulateur de tension est prise en dérivation sur les bornes de sortie de la GP. Le régulateur de tension génère et régule le courant d'excitation en fonction de la tension de sortie de la GP. Le système SHUNT est simple de par sa conception et très adapté aux besoins basiques, plus l'ajout d'une seule machine sur l'arbre principal de la turbine GS. Par contre, il n'accepte pas de surcharges élevées et n'offre pas de capacité de court-circuit. Cette structure est utilisée dans les applications de secours basiques, télécom., etc. [18]

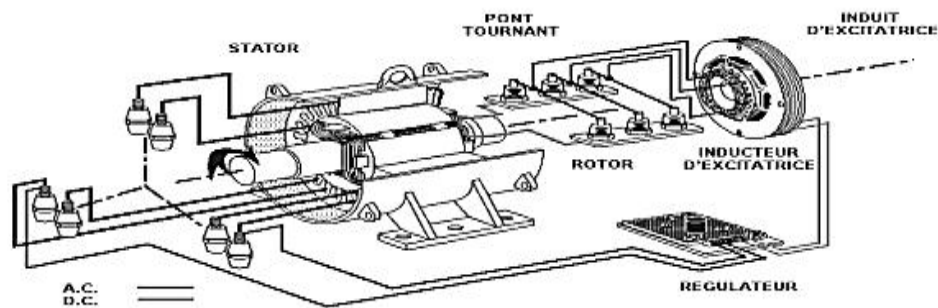


Figure II.7 : Excitation SHUNT de la GP

2.PMG (Permanent Magnet Generator)

À propos de l'excitation PMG, la tension d'alimentation du régulateur de tension est Générée par une génératrice a aimants permanents (PMG) montée sur l'arbre de l'alternateur. La PMG délivre une tension constante et indépendante de la charge de la GP. Le système PMG présente par conséquent une capacité de surcharge élevée (impact de charge Ou démarrage de moteurs électriques) et une capacité de court-circuit de 300% (le courant de court-circuit est égal au triple du courant nominal). Son amorçage est intrinsèque grâce aux aimants permanents. [18]

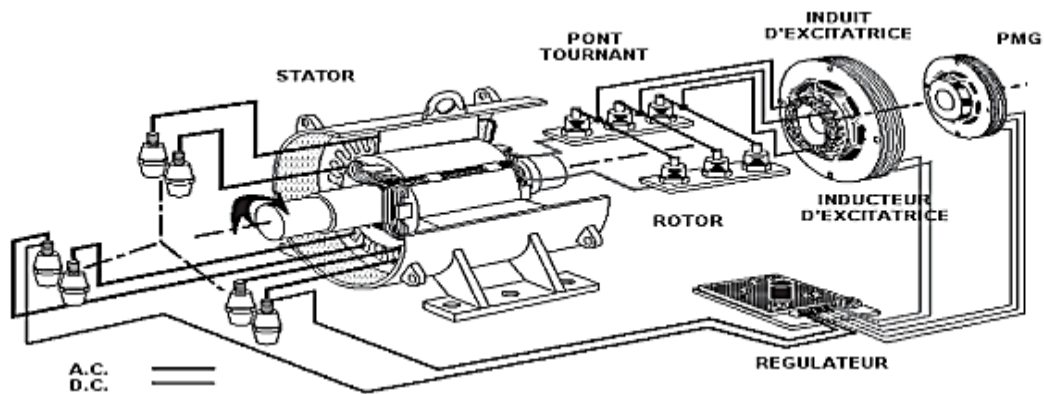


Figure II.8 : Excitation PMG de la GP

3.AREP (Auxiliary winding Regulation Excitation Principle)

À propos de l'excitation AREP (brevet de la société Leroy Somer), le régulateur est alimenté par deux bobinages auxiliaires. La tension délivrée par le premier bobinage auxiliaire H1 est proportionnelle à la tension de sortie de la GP. La tension délivrée par le second bobinage auxiliaire H3 est proportionnelle au courant débité par l'alternateur en fonction de la charge appliquée. La tension composée résultante permet l'alimentation du régulateur. Le système AREP dote l'alternateur d'une capacité de surcharge élevée (impact de charge ou démarrage de moteurs électriques) et une capacité de court-circuit de 300%. L'alternateur avec excitation AREP a un encombrement moindre qu'avec une excitation PMG. Les structures PMG et AREP sont très utilisées dans la marine, l'industrie, la construction, les hôpitaux, les banques, etc. [18]

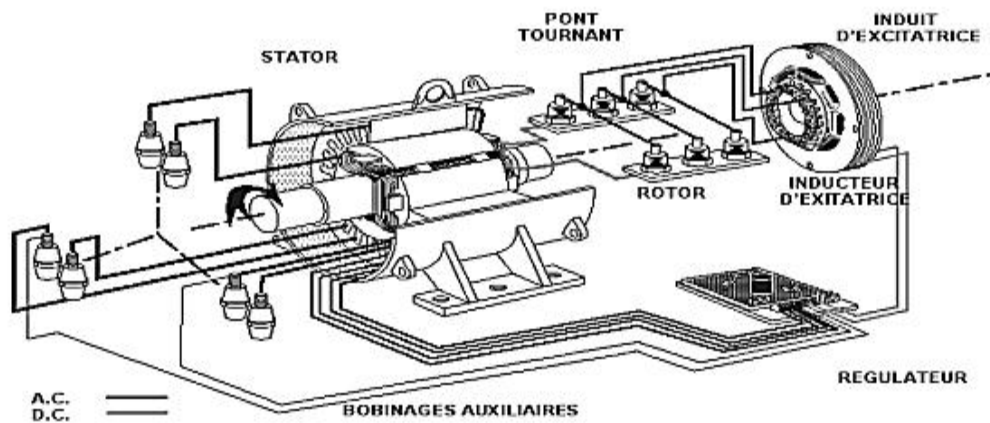


Figure II.9 : Excitation AREP de la GP.

6. Couplage des alternateurs

Les alternateurs utilisés pour la production de l'énergie électrique, débitent dans un réseau commun (interconnexion).

La mise en fonctionnement d'un alternateur implique donc son couplage en parallèle sur le réseau.

Pour coupler un alternateur sur le réseau, il faut que la courbe de la f.é.m. qu'il produit soit superposée à la courbe de la tension correspondante au réseau.

Le couplage est l'opération qui consiste à connecter les bornes de l'alternateur à celles du réseau triphasé pour débiter de la puissance électrique.

On n'effectue le couplage que lorsque les bornes homologues de l'alternateur et du réseau sont au même potentiel ; sinon la connexion s'accompagne de courants importants susceptibles de provoquer des chutes de tension, la disjonction des appareils de protection et un couple important qui pourront causer la rupture de l'accouplement rotor turbine. Pour éviter cela, il faut réaliser les conditions. [1] :

- La séquence de phases du générateur doit concorder avec l'unité et le réseau en marche
- Même tension
- Même fréquence
- Même angle de phase

7. Maintenance

Pour assurer le fonctionnement adéquat de la machine et d'en prolonger la durée de vie, il importe que la machine soit correctement entretenue. Cette maintenance peut être divisée en trois types d'opération contrôles quotidiens, entretien périodique et révision de la machine. [1]

7.1. Contrôles quotidiens

Les contrôles quotidiens consistent essentiellement à vérifier la température des bobinages, du palier et du circuit d'air de refroidissement au moyen des capteurs de température dont la machine est équipée. De même le niveau de vibrations doit être contrôlé au moyen des capteurs de vibrations et du niveau sonore. Enfin, on doit vérifier si le système d'alimentation en eau de refroidissement n'est pas porte pas d'obstructions. Les instructions de

maintenance des différents composants de la machine précisent ce qui doit être contrôlé et selon quelles modalités,

7.2. Entretien périodique

L'entretien périodique est un type de maintenance plus élaboré, où tous les composants vitaux de la machine sont inspectés, nettoyés si nécessaire et où certains éléments peu importants sont remplacés ou réparés. Durant l'entretien périodique, on doit généralement démonter partiellement la machine. On peut diviser l'entretien périodique en trois parties.

- Entretien fonctionnel : 1 à 2 ans après la mise en service de la machine ou après une révision.
- Entretien mineur : après 6 ans.
- Entretien majeur ou révision, après 10 ans

7.3. Révision

Une révision de la machine s'impose lorsque, du fonctionnement de la machine, on constate que des composants essentiels sont usés ou endommagés au point que la machine ne peut plus fonctionner correctement si ces composants ne sont pas réparés ou changés. Durant la révision, la machine sera complètement démontée. Les bobinages seront nettoyés, séchés, et revernies avec un vernis isolant. Se navette, les sources de Parté d'induit in surfaces drytimões sin captius de cates nais hugues collectrices set de nouveau winées. La mach séran несемайте, reverme Enfin, le turet ses quilibet La ресня рей V'effectuer sur le site nene, man de prettet das santiers de HOLIC po dispose dan personed spezielise et Or Temsendile de mand necessites Pout son clemens d'emetice et la sevues de vitt machine per sorpresale service apeloveme de HOLEC

8. Bilan de puissance d'un alternateur

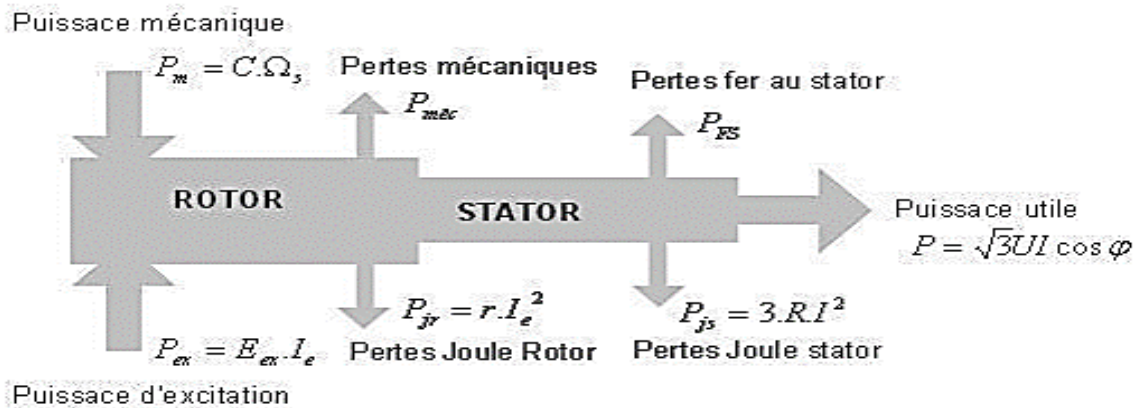


Figure II.10 : bilan de puissance de l'alternateur

• Puissance absorbée :

La turbine quelle que soit leur type (à gaz, à vapeur, hydraulique ...) entraîne l'arbre de l'alternateur, c'est-à-dire cette turbine fournit une puissance mécanique à l'entrée de l'alternateur (puissance absorbée par l'alternateur) et on montre sa par la formule suivant.[19] :

$$P_a = C_m \cdot \Omega \quad (\text{II.3})$$

Ω : Vitesse de rotation du champ tournant en [rad/s]

C_m : Couple utile sur l'arbre en N.m.

Dans notre travail l'alternateur n'est pas auto-excité, donc il faut prendre en compte l'énergie électrique par le rotor à travers le système d'excitation.

$$P_a = C_m \cdot \Omega + U_{ex} \cdot I_{ex} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

I_{ex} : Courant d'excitation.

U_{ex} : Tension d'excitation

• Puissance utile :

Lors de fonctionnement à une vitesse constante l'alternateur produit une puissance utile électrique P_u qui dépend de la charge qui est connectée (influence du $\cos \varphi$).

$$P_u = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (\text{II.5})$$

$$P_u = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (\text{II.6})$$

D'où :

U : tension composée.

V : tension simple.

• **Bilan des pertes :**

a- Pertes de puissance mesurable :

Les pertes de puissance mesurable sont décomposées en deux types:

1- pertes par effet joules (en watts) dépendent de la charge et sont divisées comme suit :

- Pertes joule dans le stator :

$$P_{js} = \frac{3}{2} R I^2 \quad (\text{II.7})$$

Ou :

R : Résistance entre deux borne de l'alternateur.

- Pertes joule dans le rotor.

$$P_{jr} = R_r \cdot I_{ex}^2 \quad (\text{II.8})$$

R_r : Résistance dans le circuit d'excitation

2- pertes constantes indépendantes de la charge :

- Les pertes fer dans les tôles de l'armature d'induit

. - Les pertes mécaniques Pm dans les paliers, bagues et ventilation.

Ces types des pertes on les détermine dans l'essai à vide.

b- Pertes supplémentaires

Ce sont les pertes dues à des phénomènes liés l'alternateur à savoir :

- Concentration du courant vers l'extérieur du conducteur dans une encoche.
- Courant de Foucault induit dans un conducteur par le courant même qui le traverse.
- Supplément de pertes dans le fer du fait de la distorsion du flux en charge.
- Pertes par courant de Foucault dans les inducteurs des alternateurs monophasés.

• **Rendement :**

La forme générale

$$\eta = \frac{Pu}{Pa} = \frac{Pa - P_{js} - P_{jr} - P_m - P_{fs}}{Pa} \quad (\text{II.9})$$

Le rendement d'un convertisseur tel que l'alternateur est une propriété déterminante. Dans un système de type électro-magnéto-mécanique (ou électromécanique), les sources de dissipation d'énergie sont de plusieurs natures : pertes mécaniques (frottements), pertes par effet Joule dans les circuits électriques et pertes dites « fer ». Ces pertes sont comparables entre elles dans les systèmes réels. Dans tous les cas, la puissance dissipée l'est sous forme de chaleur. Si cette puissance est trop élevée et mal évacuée, le système va s'échauffer au risque de se détériorer.

On définit alors le rendement r d'un alternateur comme le rapport de l'énergie utile qu'il fournit sur une certaine durée, sous forme électrique donc (notée E_{elec}), à l'énergie mécanique qu'il reçoit sur cette même durée (notée E_{meca}) [19] :

$$r = \frac{E_{elec}}{E_{meca}} \quad (\text{II.10})$$

L'énergie mécanique non transformée en énergie électrique est dite « dissipée ». On a alors

$$E_{meca} = E_{elec} + E_{diss} \quad (\text{II.11})$$

E_{diss} : l'énergie dissipée.

De manière équivalente, on peut définir ce rendement à partir de la puissance électrique que fournit l'alternateur (P_{elec}) et de la puissance mécanique qu'il reçoit (P_{meca}) :

$$r = \frac{P_{elec}}{P_{mec}} \quad (\text{II.12})$$

De même que plus haut, on aura

$$P_{meca} = P_{elec} + P_{diss} \quad (\text{II.13})$$

P_{diss} : la puissance dissipée.

On en déduit :

$$r = \frac{P_{elec}}{P_{meca}} = \frac{(P_{meca} - P_{diss})}{P_{meca}} = \frac{1 - P_{diss}}{P_{meca}} \leq 1 . \quad (II.14)$$

Le rendement est ainsi nécessairement compris entre 0 et 1. Pour les systèmes industriels haute performance, les rendements dépassent 0,99 (soit 99 %). Pour un alternateur de 100MW, un rendement de 99 % signifie tout de même qu'il est nécessaire d'évacuer une puissance thermique de 1MW, soit l'équivalent d'un millier de radiateurs électriques de 1kW .[19]

9. Conclusion

Ce chapitre décrit une étude théorique sur un turbo-alternateur, qui est largement utilisé dans la production d'électricité

Le premier parti en présentant leur classification, principe de fonctionnement, (description général) d'une turbine à gaz MS 5001.

Le deuxième parti en présentant la classification et le principe de fonctionnement, et le système d'excitation d'un alternateur

En conclure ce chapitre, que le turbo-alternateur ou la machine électrique en générale est un ensemble d'éléments électriques, magnétiques et mécaniques liés entres eux pour former un système électrotechnique complet

Chapitre III

Régulateur de tension

III.1. Introduction

La régulation est l'action de régler automatiquement une grandeur de telle sorte que celle-ci garde constamment sa valeur ou reste proche de la valeur désirée, quelles que soient les perturbations qui peuvent subvenir. La régulation automatique est la technique utilisée pour contrôler une ou plusieurs grandeurs physiques d'un système telles que la tension, la température, la pression, le niveau, le débit, le pH, la concentration, etc., en vue d'en imposer le comportement et de maintenir ces grandeurs à des niveaux prédéfinis. L'étude du générateur synchrone destiné à la production d'énergie électrique, nous a permis de constater que la variation de la charge alimentée engendre des variations considérables de la tension de sortie, la raison pour laquelle dans une centrale de production, un système de régulation de tension est indispensable et sa défaillance signifie l'arrêt de la production. Cependant, la détermination des paramètres du régulateur . [20]

III.2. Les régulateurs de tension AVR

Le système d'excitation est un système auxiliaire qui alimente les enroulements du rotor 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 (AVR : Automatic Voltage Regulator).

Donc ces systèmes d'excitation sont très importants pour l'équilibre de la puissance réactive qui sera fournie ou absorbée selon les besoins des charges. 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 de fonctionnement nominales. Une caractéristique très importante d'un régulateur de tension est sa capacité à faire varier rapidement la tension d'excitation. [21]

$$V_e = V_{réf} + V_s - V_t \quad (III.1)$$

La fonction de transfert du modèle du système d'excitation et de son régulateur de tension utilisé dans notre cas est représenté par la figure (III.1).

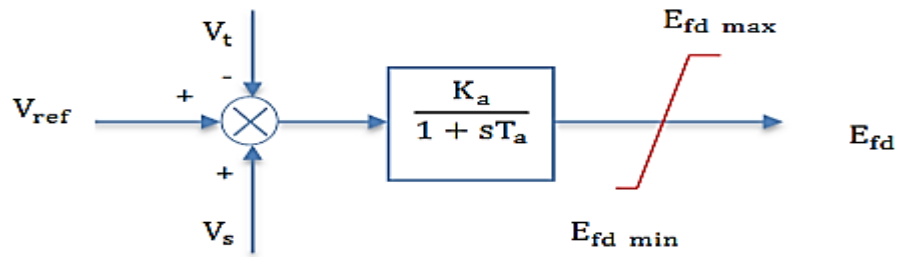


Figure III.1 : Modèle schématique d'un régulateur classique de tension AVR

Sachant que :

V_t : Tension mesurée à la sortie de la machine synchrone

V_s : Tension du nœud infini.

$V_{réf}$: Tension de référence.

E_{fd} : Tension d'excitation de la machine synchrone

E_{fd-max} : Limite supérieure de la sortie

E_{fd-min} : Limite inférieure de la sortie

T_a : Constante de temps de l'AVR

K_a : Gain de l'AVR

La grandeur $V_{réf}$, est la consigne de tension déterminée pour satisfaire les conditions de l'état équilibrée. Le régulateur de tension compare le signal V_t à la tension de consigne $V_{réf}$. Un signal complémentaire us 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. Ensuite, le signal d'erreur est amplifié pour donner la tension d'excitation demandée 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_{fd-max} , E_{fd-min}) sont fixées par un système de limitation. La relation suivante décrit le fonctionnement dynamique du modèle :

$$E'_{fd}(t) = \frac{1}{T_a} (K_a(V_{réf} - V_t(t) + V_s(t)) - E_{fd}(t)) \quad (III.2)$$

III.3. Principe de fonctionnement de l'AVR

En premier lieu, le régulateur surveille la tension de sortie et commande la tension d'entrée de l'excitatrice de l'alternateur. En augmentant ou en diminuant la tension de commande

du générateur, la tension de sortie du générateur augmente ou diminue en conséquence. Le régulateur calcule la quantité de tension doit être envoyée à l'excitateur de nombreuses fois par seconde, en stabilisant ainsi la tension de sortie à une valeur de consigne prédéterminée. [20]

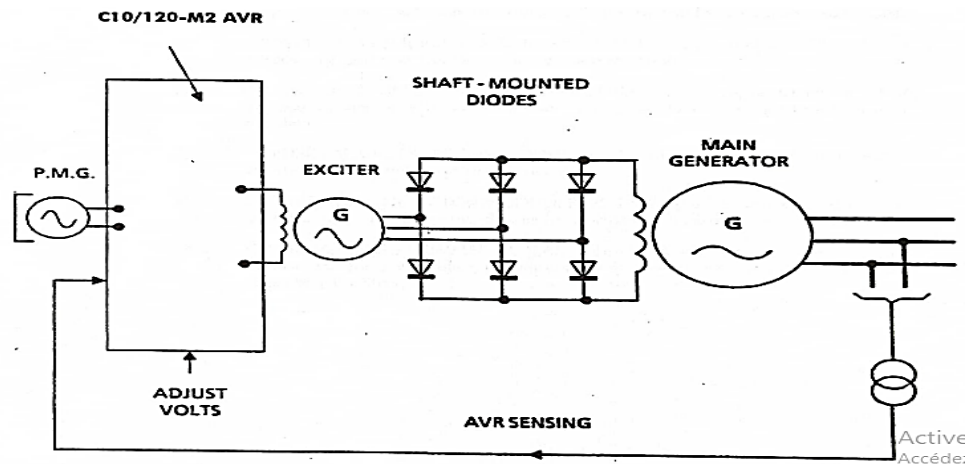


Figure III.2 : Système de machine commandé par AVR [1]

Les concepts de base utilisés dans la stabilisation de la tension d'un générateur sont : Lorsque le rotor est mis en rotation par le moteur, une tension alternative est générée dans l'enroulement d'excitation. Ce courant alternatif est converti en courant continu du pont redresseur, "RB" et d'un condensateur de filtrage "C". Le circuit de détection compare une tension de sortie V avec une valeur de consigne et active ou désactive le transistor "Q". Lorsque "Q" est activé, un courant circule à travers l'enroulement de champ (rotorique). Lorsque "Q" est désactivé, le courant de champ continue à circuler via la diode de roue libre "D". Le rotor comporte un petit aimant permanent pour fournir un certain courant de base lorsque "Q" est désactivé. En faisant varier convenablement le rapport cyclique du fonctionnement du transistor "Q", la tension de sortie V sera régulée. [20]

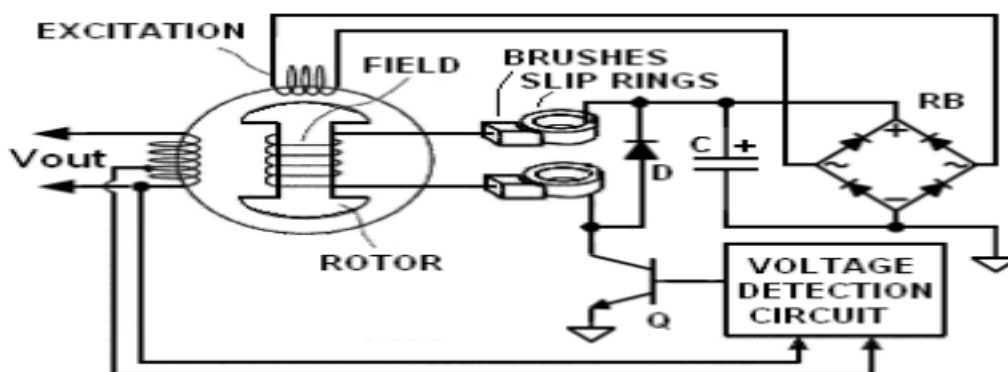


Figure III.3 : Circuit de régulation de la tension de sortie.

Le régulateur de tension automatique AVR et l'excitatrice constituent principalement le système d'excitation du générateur. Comme vu dans le chapitre II, il existe plusieurs types de systèmes d'excitation. Le régulateur de tension a pour entrées, la tension de référence qui constitue la consigne, la tension terminale provenant de la machine synchrone, une tension de stabilisation provenant du stabilisateur de puissance et enfin un retour après amortissement (compensation). La différence entre la tension terminale et la tension de référence passe par un compensateur de phase puis par le régulateur principal. Ci-dessous est représenté le système d'excitation statique de type ST1 standardisé par IEEE. [20]

III.4. Rôle du régulateur de tension

Le régulateur de tension agit sur le courant d'excitation de l'alternateur pour ajuster la puissance réactive. Si le courant d'excitation augmente, alors la puissance réactive produite augmente et la tension locale du nœud augmente. [21]

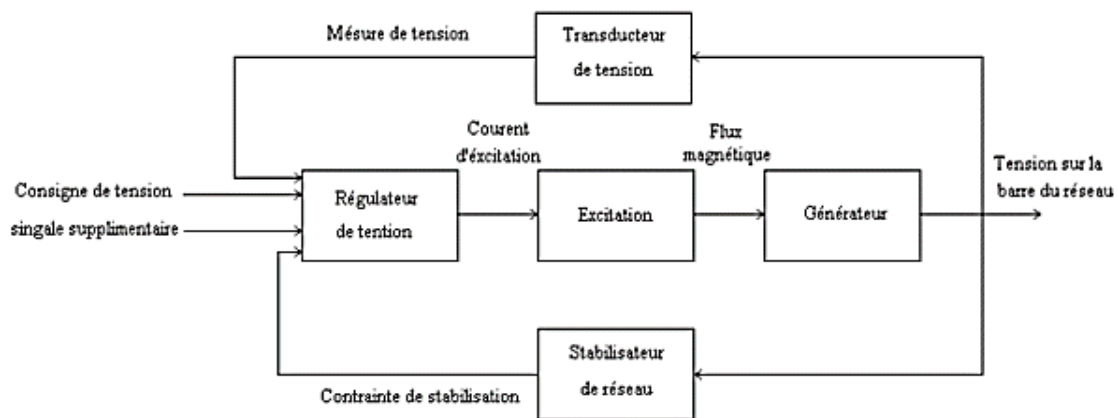


Figure III.4 : Diagramme fonctionnel de la régulation de tension

III.5. Régulation de la tension de sortie de la génératrice synchrone

Afin de corriger la tension de sortie de la génératrice V_s , un régulateur de type PID classique est le plus souvent intégré au système vu son efficacité de donner des réponses plus performantes tellement il associe les trois actions principales (proportionnelle, intégrale et dérivée). [22]

III.5.1. Définition d'un régulateur PID

Les régulateurs PID constituent l'organe de contrôle permettant d'effectuer une régulation en boucle fermée d'un système industriel. Ce sont les régulateurs les plus utilisés dans l'industrie, et ils permettent de contrôler un grand nombre de procédés.

La loi de commande (Algorithme) du régulateur la plus classique est l'association des trois actions élémentaires (Proportionnelle, Intégrale et Dérivée). C'est un système d'auto-régulation (boucle fermée), qui cherche à réduire l'erreur entre la consigne et la mesure. Le PID permet 3 actions en fonction de cette erreur :

- _ Une action Proportionnelle : l'erreur est multipliée par un gain proportionnel
- _ Une action Intégrale : l'erreur est intégrée sur un intervalle de temps T, puis divisée par un gain intégral
- _ Une action Dérivée : l'erreur est dérivée suivant un temps T, puis multipliée par un gain dérivé

III.5.2. Les actions PID

En pratique, à une catégorie donnée de systèmes à asservir correspond un type de correcteur adopté. Pour effectuer un choix judicieux, il faut connaître les effets des différentes actions : proportionnelle, intégrale et dérivée.

Un régulateur PID est obtenu par l'association de ces trois actions et il remplit essentiellement les trois fonctions suivantes

- Il fournit un signal de commande en tenant compte de l'évolution du signal de sortie par rapport à la consigne.
- Il élimine l'erreur statique grâce au terme intégrateur.
- Il anticipe les variations de la sortie grâce au terme dérivateur.

Un régulateur PID est la somme de trois termes :

- Le terme proportionnel

$$P = K_p \cdot e(t) \quad (\text{III.3})$$

- Le terme intégral

$$I = K_i \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (\text{III.4})$$

- Le terme dérivatif

$$D = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (\text{III.5})$$

Les paramètres du régulateur PID sont le gain proportionnel K_p , le gain intégral K_i et le gain dérivatif K_d , les temps étant exprimés en secondes.

Augmentation	Stabilité	Précision	Rapidité
K_p	Diminue	Augmente	Augmente
K_i	Diminue	Augmente	Diminue
K_d	Augmente	Diminue	Augmente

Tableau III.1 : Tableau d'influence des coefficients P, I et D.

III.5.3. Structures d'un régulateur PID

1. Correcteur PID série

La structure d'un correcteur PID série est représentée par le schéma suivant :

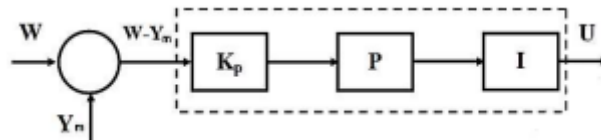


Figure III.5 : Correcteur PID série

Un régulateur PID série est décrit par une expression mathématique combinant les trois actions proportionnelle, intégrale et dérivée liant le signal de commande à l'erreur entre la consigne et la sortie mesurée [22].

$$U(t) = K_P \left(\frac{T_I + T_d}{T_d} \right) \cdot \epsilon(t) + \frac{K_P}{K_I} \int \epsilon(\tau) d\tau + K_P \cdot T_d \cdot \frac{d\epsilon(t)}{dt} \quad (III.6)$$

K_P : gain statique (ou proportionnel) du régulateur, T_I : constante de temps d'intégration,

T_d et constante de temps de dérivée.

La fonction de transfert du régulateur PID série :

$$C(p) = \frac{U(p)}{\epsilon(p)} = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot P} \right) (1 + T_d \cdot P) \quad (III.7)$$

2. Correcteur PID parallèle

La structure d'un correcteur PID parallèle est représentée par la figure suivante

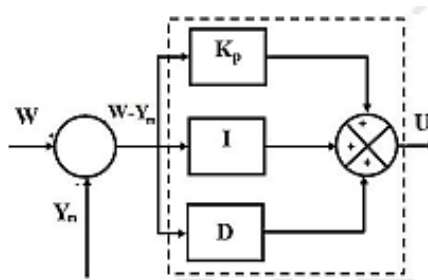


Figure III.6 : Correcteur PID mixte

La relation entre le signal de sortie du correcteur PID parallèle et l'erreur s écrit par

$$U(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (III.8)$$

La fonction de transfert d'un PID parallèle est :

$$C(p) = \frac{U(p)}{\varepsilon(p)} = K_p + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p \quad (III.9)$$

3. Correcteur PID mixte

La structure d'un correcteur PID mixte est représentée sur le schéma suivant :

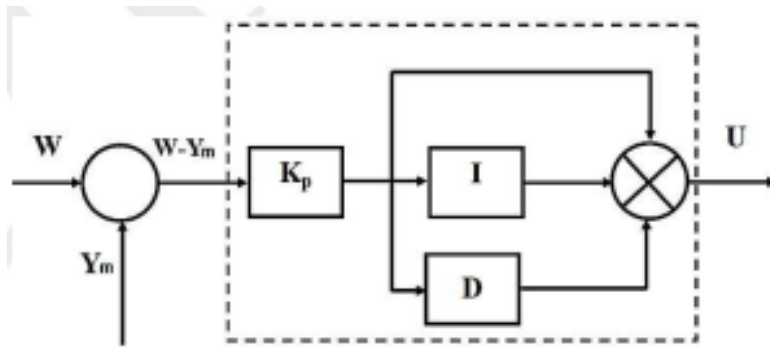


Figure III.7 : Correcteur PID mixte

La relation entre le signal de sortie du correcteur PID mixte et l'erreur s'écrit par :

$$U(t) = K_p \cdot \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right) \quad (III.10)$$

La fonction de transfert d'un PID mixte est :

$$C(p) = \frac{U(p)}{\varepsilon(p)} = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p \right) = \left(K_p + \frac{K_i}{p} + K_{dP} \right) \quad (III.11)$$

III.5.4. Réglage d'un PID

Le réglage d'un PID consiste à déterminer les coefficients K_p , T_i et T_d afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation. Les objectifs sont d'être robustes, rapide et précis. La robustesse est sans doute le paramètre le plus important. On dit qu'un système est robuste si la régulation fonctionne toujours même si les paramètres du modèle change un peu. Par exemple, les fonctions de transfert de certains procédés peuvent varier en fonction de la température ambiante ou de l'hygrométrie ambiante relativement à la loi de Pascal. Un régulateur doit être capable d'assurer sa tâche même avec des perturbations afin de s'adapter à

des usages non prévus/testés (dérive de production, vieillissement mécanique, environnements extrêmes...)

La rapidité du régulateur dépend du temps de montée et du temps d'établissement du régime stationnaire.

Le critère de précision est basé sur l'erreur statique La réponse type d'un procédé stable est la suivante :

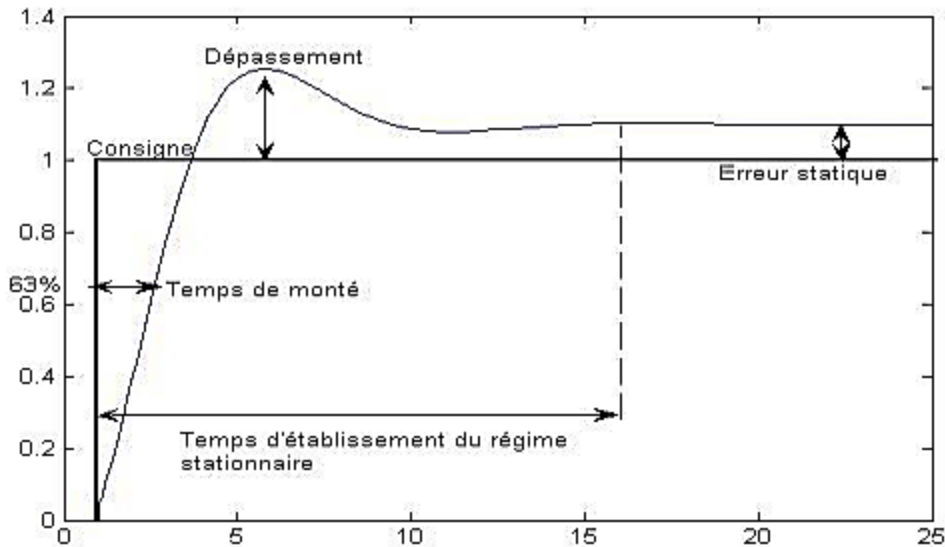


Figure III.8 : la courbe de paramètre de réglage PID

Dans le cas des systèmes simples, les paramètres du PID influencent la réponse du système de la manière suivante :

Le gain K : lorsque K augmente, le temps de montée est plus court et l'erreur statique est réduite, mais il provoque un dépassement plus important.

Ti : lorsque $1/T_i$ est présent l'erreur statique est annulée. Quand il augmente, la valeur finale est plus rapidement atteinte pour les systèmes présentant de grandes marges de stabilité. Le temps d'établissement en régime stationnaire s'allonge pour les autres systèmes qui vont davantage osciller. Le réglage de ce paramètre dépend donc du comportement dynamique du système et influe sur son amortissement et son temps de réponse.

Td : lorsque Td augmente, le temps de montée diminue et le dépassement diminue ce qui améliore la stabilité. Toutefois il n'influence pas l'erreur statique. Si ce paramètre est trop élevé dans un premier temps il stabilise le système avec des réactions violentes pouvant saturer

le signal de commande sortant du correcteur, et dans un deuxième temps il amplifie de manière exagérée des perturbations brèves

Pour ces trois paramètres, le réglage au-delà d'un seuil trop élevé a pour effet d'engendrer une oscillation du système de plus en plus importante menant à l'instabilité : un K_p trop important rend le système trop sensible, un $1/T_i$ trop important provoque une intégration trop rapide, un T_d trop important accentue la sensibilité aux bruits de fréquence élevée. C'est pourquoi d'autres régulateurs dits à "avance de phase" ou "retard de phase" sont utilisés pour atteindre les performances désirées.

L'analyse du système avec un PID est simple mais sa conception peut être délicate, voire difficile, car il n'existe pas de méthode unique pour résoudre ce problème. Il faut trouver des compromis, le régulateur idéal n'existe pas. En général, on se fixe un cahier de charge à respecter sur la robustesse, le dépassement et le temps d'établissement du régime stationnaire.

Les méthodes de réglage les plus utilisées en théorie sont les méthodes de Ziegler-Nichols (en boucle ouverte et boucle fermée), la méthode de P. Naslin (polynômes normaux à amortissement réglable), la méthode du lieu de Nyquist inverse (utilise le diagramme de Nyquist).

De manière plus pratique et rapide les professionnels utilisent soit l'identification par modèle de Broïda pour les systèmes stables ou le modèle intégrateur retardé pour les systèmes instables, soit la méthode par approches successives qui répond à une procédure rigoureuse : on règle d'abord l'action P seule pour avoir un dépassement de 10 à 15 % puis l'action dérivée de façon à « raboter » au mieux le dépassement précédent, enfin on ajuste si nécessaire l'action intégrale en se fixant un dépassement final compris entre 5 et 10 %.

Il existe aussi une méthode qui, en supposant connue la fonction de transfert $H(p)$ du système, permet de déterminer un régulateur PID robuste dans le sens où la marge de phase et la pulsation au gain unité (donc la marge de phase/retard) sont fixées à l'avance

Dans certains cas, les performances d'un PID peuvent devenir insuffisantes, en raison par exemple de la présence d'un retard trop important ou d'un procédé à phase non minimale, posant des problèmes de stabilité. On fait alors appel à d'autres algorithmes de réglage.

Avant que le contrôleur PID fonctionne, il doit être adapté à la dynamique du processus à contrôler. Dans la plupart des cas, les concepteurs donnent les valeurs par défaut pour les termes P, I et D. Ces valeurs ne peuvent pas donner les performances souhaitées et entraînent

parfois une instabilité et des performances de contrôle lentes. Différents types de méthodes de réglage sont développés pour régler les contrôleurs PID et nécessitent une attention particulière Chapitre I Les Régulateurs PID 9 de la part de l'opérateur pour la sélection des meilleures valeurs de gains proportionnel, intégral et dérivé. [23]

III.5.5. Les différents fonctionnements avec régulateur du turbo-alternateur

1. Synthèse des régulateurs

Les régulateurs servent à améliorer les performances intrinsèques d'un système donné, à savoir sa précision, sa rapidité et sa stabilité pour avoir un bon fonctionnement qui satisfasse le cahier des charges.

Dans cette partie nous avons réalisé un schéma fonctionnel qui permet la régulation de tension des différentes valeurs des gains permettant d'obtenir un bon régulateur

2. Diagramme fonctionnel de régulation de tension

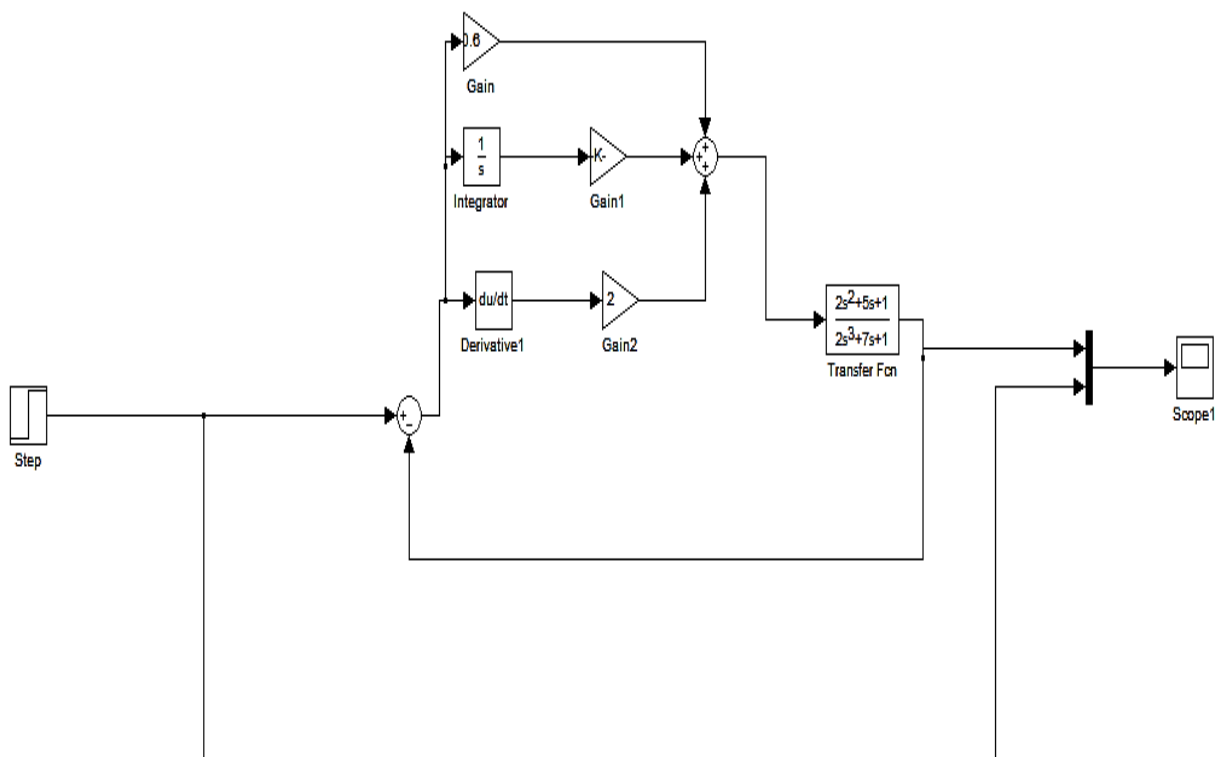


Figure III.9 : schéma de régulation de tension

3. Les différents paramètres du régulateur

Signal d'entrée (Step)	Gain	Gain 1	Gain 2	Fonction de transfer	Figure
[0 1]	0.6	90000	2	$\frac{2x^2 + 5x + 1}{2x^3 + 7x + 1}$	Figure III.10
[0 1]	1	200	1	$\frac{3x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.11
[0 1]	1	800	0.7	$\frac{3x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.12
[0 1]	1	35	0.7	$\frac{3x^2 + 6x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.13
[0 1]	0.1	1500	0.3	$\frac{2x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.14
[0 1]	0.1	3500	0.1	$\frac{6x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.15
[0 1]	1	500	0.1	$\frac{6x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.16
[0 1]	0.1	9000	0.01	$\frac{6x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.17
[0 1]	0.1	9000	0.1	$\frac{6x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.18
[0 1]	1	9000	0.03	$\frac{6x^2 + 5x + 1}{3x^3 + 7x + 1}$	Figure III.19
[0 1]	6	900000	0.3	$\frac{6x^2 + 5x + 1}{2x^3 + 7x + 1}$	Figure III.20

Tableau III.2 : Paramètres de régulation.

4. Résultats et discussions

➤ Signal de tension 1

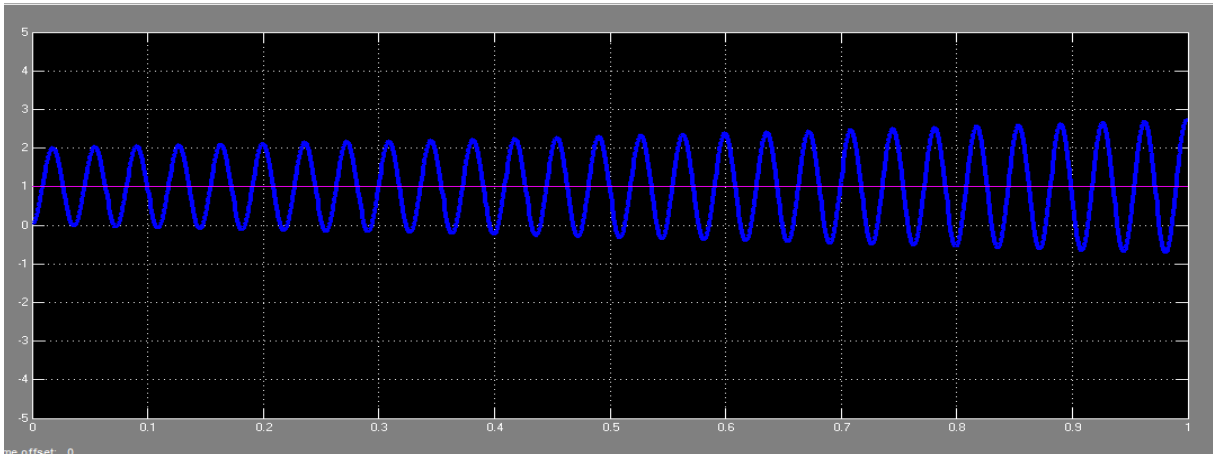


Figure III.11 : système stable

➤ Signal de tension 2

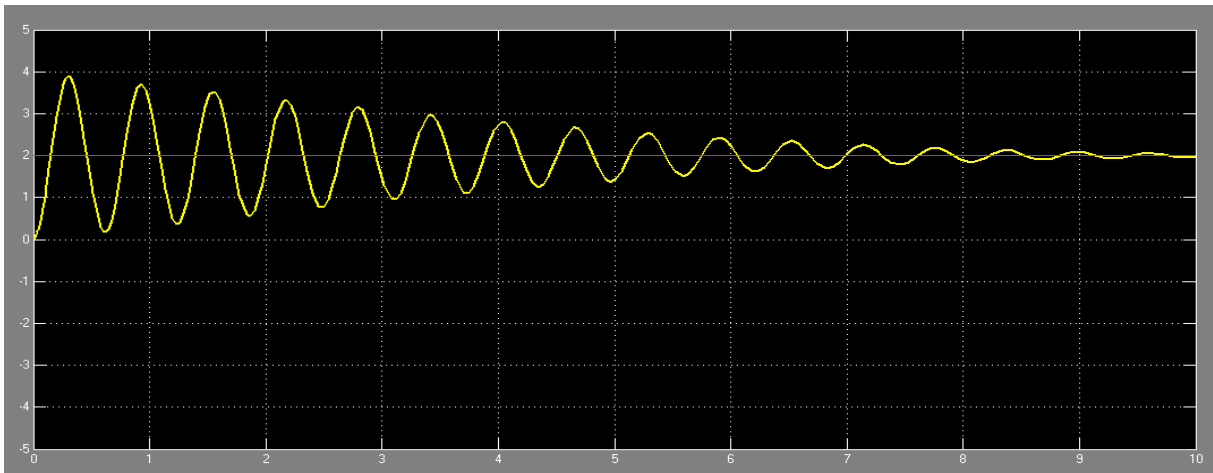


Figure III.12 : système mal amorti

➤ Signal de tension 3

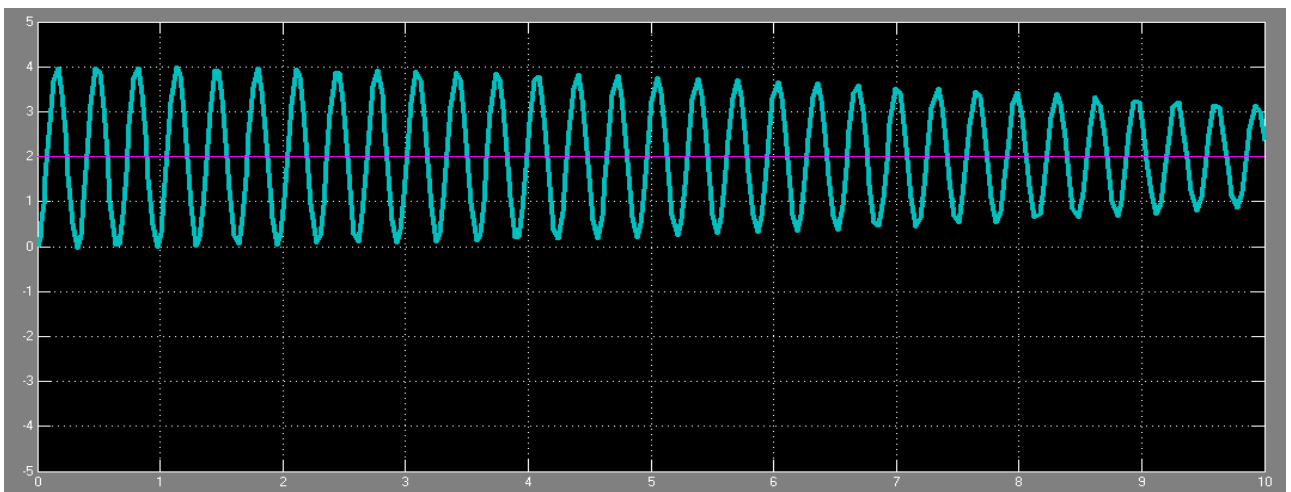


Figure III.13 : système stable

➤ Signal de tension 4

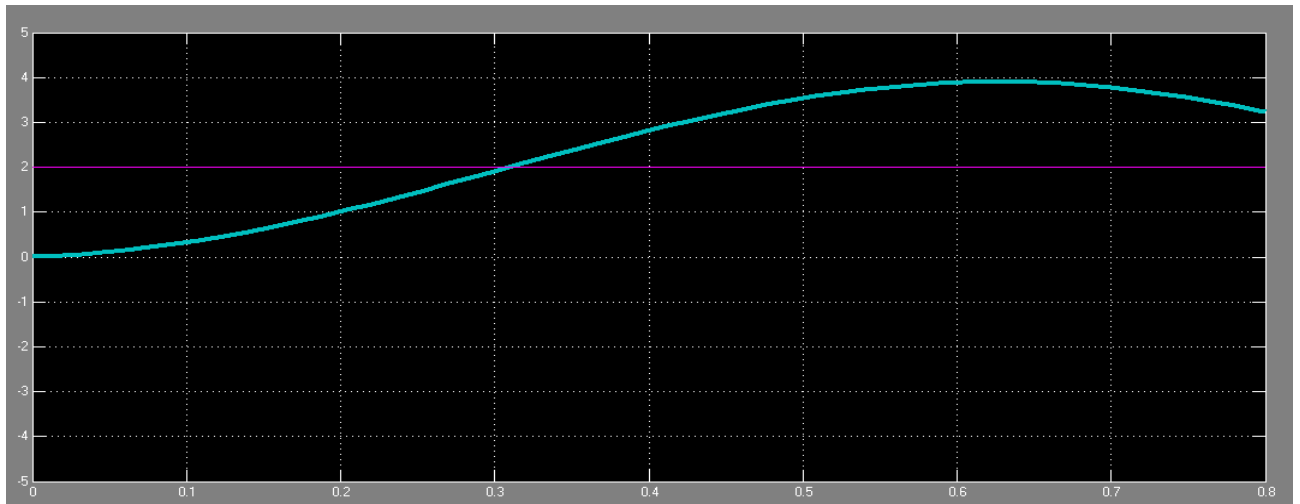


Figure III.14 : régime trop long

➤ Signal de tension 5

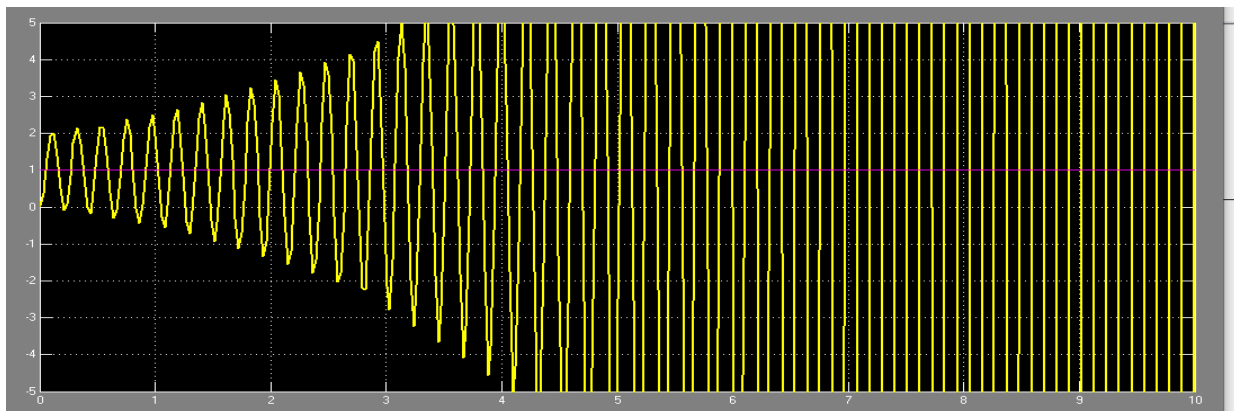


Figure III.15 : système stable

➤ Signal de tension 6

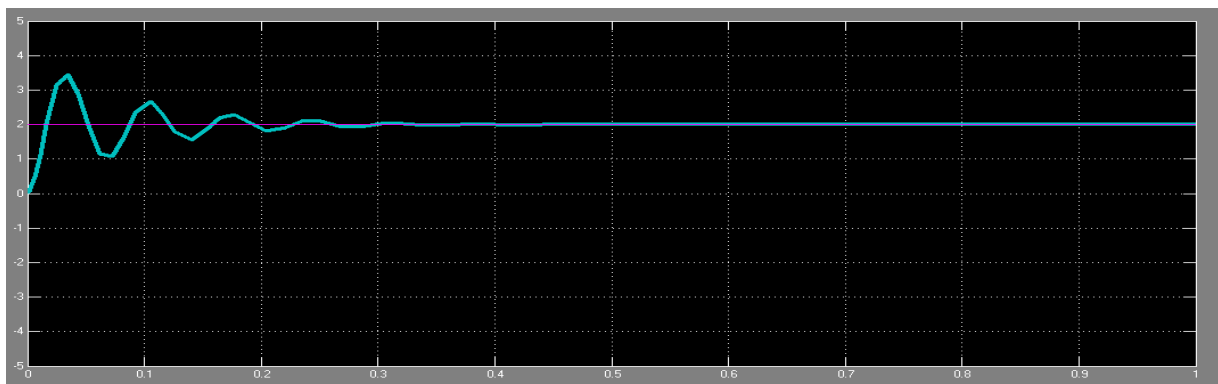


Figure III.16 : système assez bien réglé

➤ Signal de tension 7

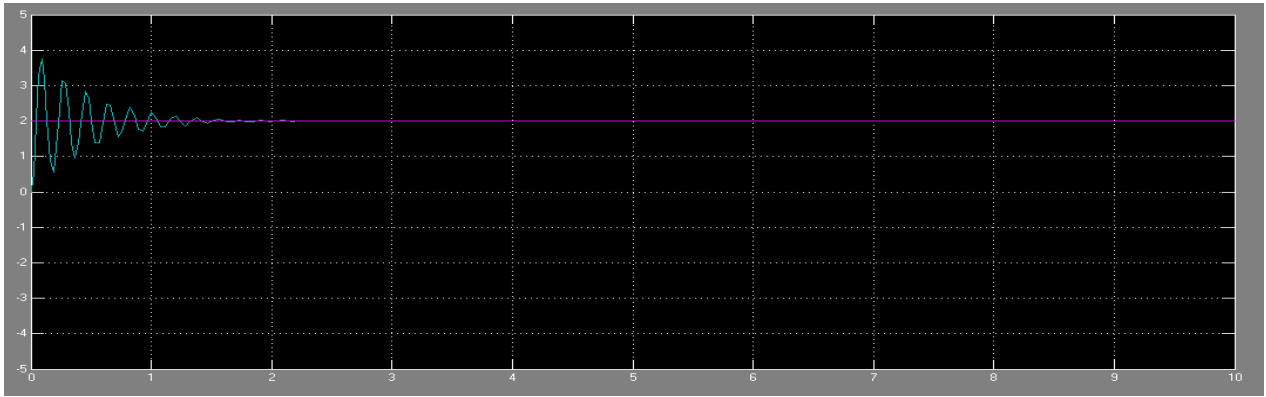


Figure III.17 : système mal amorti

➤ Signal de tension 8

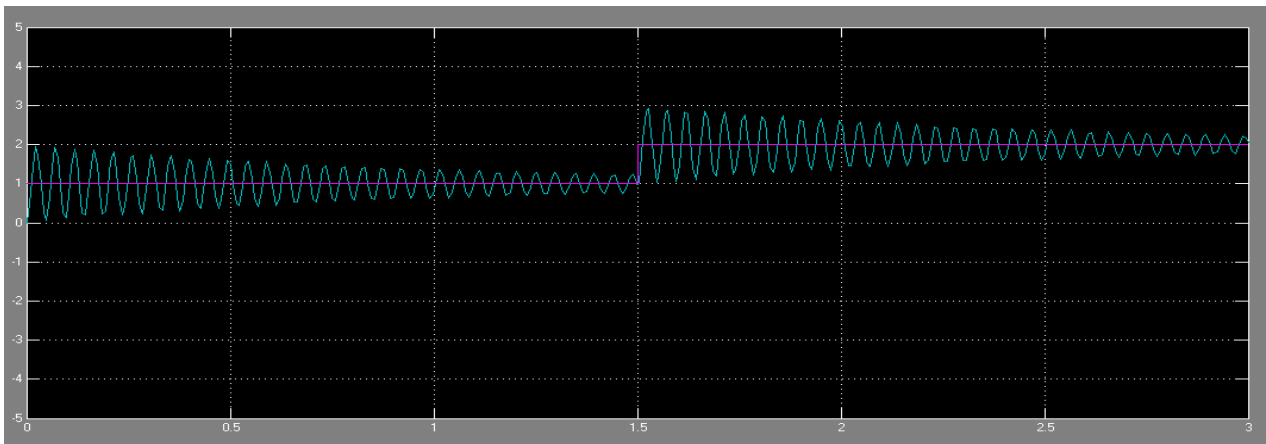


Figure III.18 : système amorti

➤ Signal de tension 9

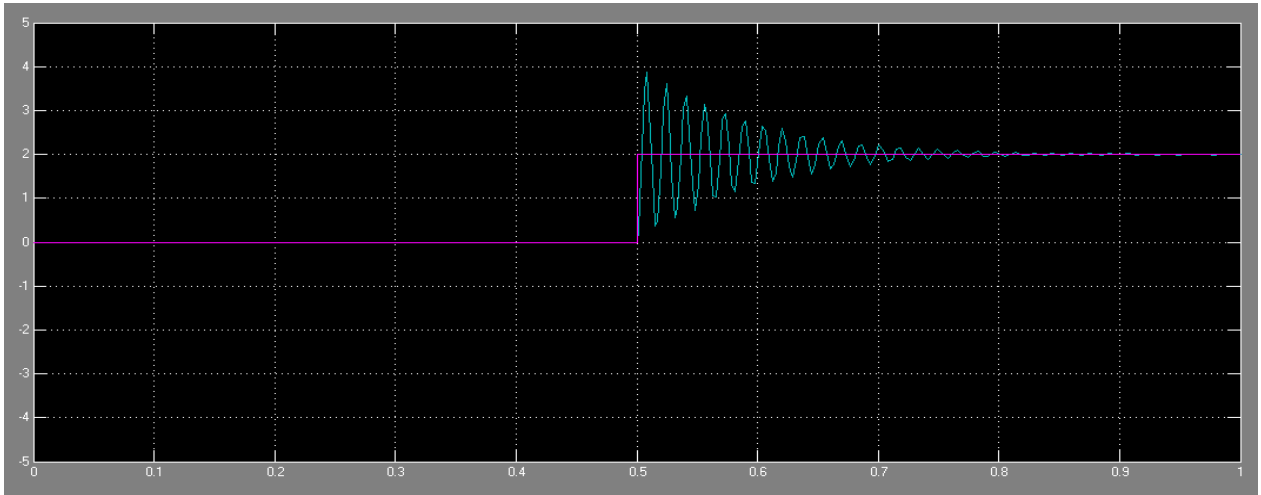


Figure III.19 : système mal amorti

➤ Signal de tension 10

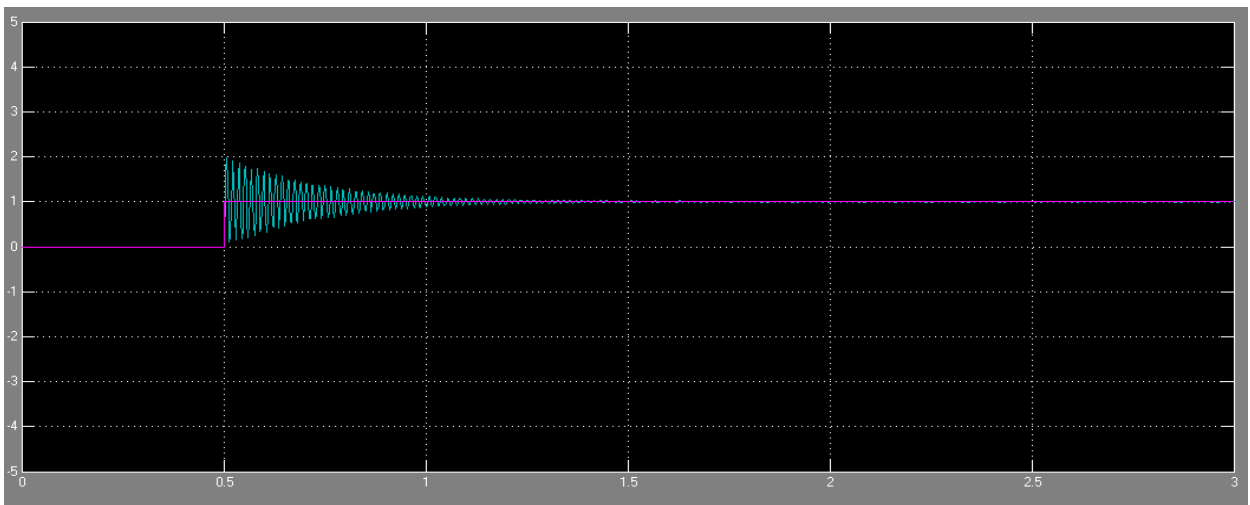


Figure III.20: système régulé

➤ Signal de tension 11

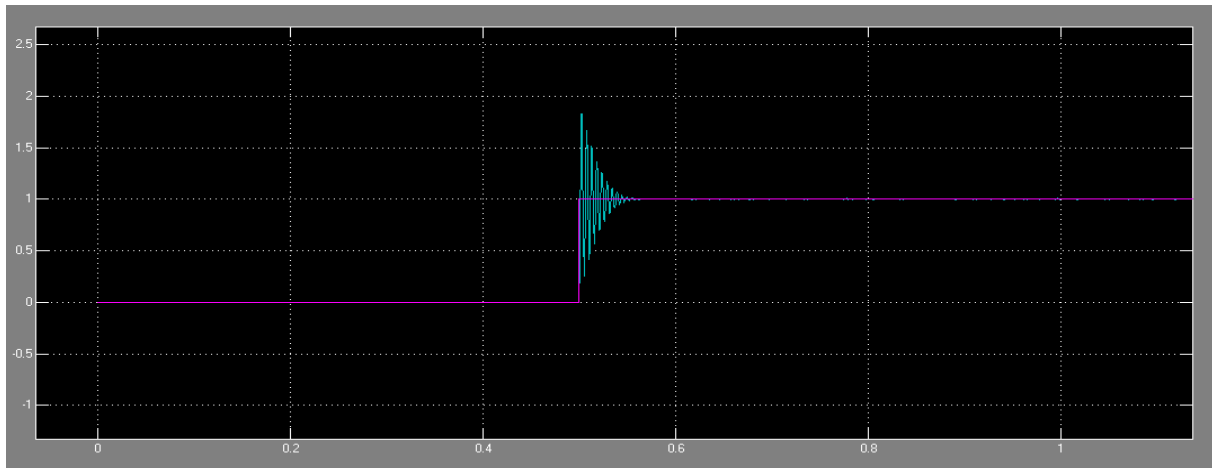


Figure III.21: système très bien régulé

III.5.6. Avantages

- La méthode est facile à mettre en œuvre physiquement et au point de vue calcul
- Elle peut être appliquée à un système déjà en production et permet une adaptation automatisée du régulateur pour s'adapter à l'évolution des paramètres intérieurs (usure) et extérieurs (environnement) au système. [23]

III.5.7. Inconvénients

- Le système peut devenir instable ou passer dans des états dangereux (par exemple pour les systèmes chimiques)
- La méthode peut nécessiter beaucoup de temps si le système réagit très lentement (jours, semaine dans le cas de certaines réactions chimiques) Heureusement de nombreux systèmes ont des temps caractéristiques faibles (systèmes électroniques ou mécaniques). [23]

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une idée générale sur les régulateurs de tension AVR et la régulation PID. L'action associée au régulateur PID permet une régulation optimale en associant les avantages de chaque action: la composante "P "réagit à l'apparition d'un écart de

réglage, la composante "D" s'oppose aux variations de la grandeur réglée et stabilise la boucle de régulation et la composante "I" élimine l'erreur statique. Ce type de correcteur est le plus utilisé en milieu industriel. Dans un régulateur PID, il existe plusieurs façons d'associer les paramètres P, I et D. En effet, le correcteur PID peut avoir une structure série, parallèle ou mixte. Il existe de nombreuses méthodes utilisées pour optimiser les paramètres du régulateur PID.

Dans cette section, nous avons exposé les mécanismes régissant la régulation de la production d'énergie électrique. L'efficacité d'un système de régulation de tension revêt une importance capitale pour assurer une sortie électrique de qualité optimale. Il est impératif que le système de régulation adopté puisse atteindre des performances maximales afin de contrecarrer toute fluctuation indésirable de la tension de sortie. Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer les réglages optimaux du correcteur PID intégré au système étudié. L'identification des paramètres du régulateur peut s'effectuer selon des méthodes traditionnelles ou en recourant à des techniques d'optimisation. Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour une approche stochastique (PSO) afin de définir les paramètres du régulateur de tension.

CHAPITRE IV

Présentation du site HBNS

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre 4, nous allons introduire le contenu de notre stage pratique, effectué sur le site du groupement BERKINE, qu'organisme d'opération conjointes par SONATRACH. Au cours de notre stage, nous avons eu l'opportunité d'étudier le fonctionnement de la turbine à gaz, associée au turbo alternateur, destiné à la production de l'électricité dans la zone sud. Nous présenterons dans ce qui suivra les différentes informations recueillies durant notre stage pratique au sein de BERKINE.

IV.2. Définition

Un champ pétrolier ou gisement pétrolier délimite une zone où est enfouie une grande quantité de pétrole et où une tentative pour l'en extraire peut être faite en construisant des puits. Un champ pétrolifère peut s'étendre sur plusieurs kilomètres, permettant d'avoir plusieurs puits sur un même champ.

L'entreprise nationale pétrolière et gazière SONATRACH a été créée en 1963, elle est en position de jouer un rôle important dans le développement de l'économie nationale ce qui lui permet d'occuper le 11^{ème} rang parmi les grandes compagnies pétrolières mondiales ainsi qu'une 7^{ème} place à l'échelle internationale en ce qui concerne les réserves du pays.

Le Groupement BERKINE a été créé en 1998 en tant qu'organisme d'opération conjointes par SONATRACH, l'entreprise pétrolière et gazière nationale Algérienne, et OXY pétroleur corporation, une des premières compagnies indépendantes d'exploration et de production de pétrole et de gaz dans le monde. Le groupement BERKINE est chargé de gérer l'ensemble des activités de l'association SONATRACH /OXY.

IV.3. Historique du site

Le groupement BERKINE a été créé en 1998 en tant qu'organisme d'opérations conjointes par SONATRACH et ANADARKO PETROLEUM CORPORATION, il est chargé de gérer l'ensemble des activités de production de l'association SONATRACHANADARKO dans le champ de HASSI BERKINE. L'entreprise mixte algéro-américaine d'ingénierie et de construction BROWN & ROOT CONDOR a entamé en 1996 les travaux de la phase initiale du CPF, en 1999 le B&RC a commencé l'ingénierie du projet d'extension de HASSI BERKINE. Ainsi GEPCO et ENGTP comptent parmi les entreprises qui ont participé à la réalisation de ce projet qui a passé par les étapes décrites dans le chronogramme ci-dessous

- Octobre 1989 : Signature du contrat d'exploitation entre SONATRACH et ANADARKO-ALGERIA CORPORATION.
- Février 1996 : attribution de PEA (permis provisoire d'exploitation) pour HBNS.
- Mai 1998 : première introduction des hydrocarbures dans le CPF.
- Septembre 1998 : signature de la réception provisoire du train 1
- Janvier 1999 : expédition journalière du brut via le pipeline 30'' OH3.
- Août 1999 : attribution du contrat de construction de 26 mois pour la phase 2.
- Septembre 2001 : réception provisoire du train 2.
- Janvier 2002 : réception provisoire du train 4.
- Mars 2002 : première production de HBNSE.
- Octobre 2003 : inspection triennale de l'unité WATER FLOOD (injection d'eau) et démarrage des unités de comptage dynamique (LACT METRING).
- Mars 2004 : inspection triennale du train3.
- Septembre 2004 : inspection triennale du train 2 et FCU.
- Mars 2006 : inspection triennale du train 1.
- Juillet 2006 : inspection triennale de l'unité Water Flood.
- Mars 2007 : Arrêt général.
- Mars 2008 : inspection triennale du train 2.
- Mars 2009 : inspection triennale du train 1.
- Septembre 2009 : inspection triennale du PWT et WFD.
- Octobre 2010 : inspection triennale de l'unité Glycol A/B.
- Janvier2011 : inspection triennale du train 3.
- Mars 2011 : inspection triennale du train 4 et FCU.
- Février2011 : inspection triennale du train 2.
- Mars 2012 : inspection triennale du train 1.
- Septembre 2012 : inspection triennale des PWT et WFD.
- Septembre/Octobre 2013 : inspection triennale de l'unité Glycol A/B.
- Décembre 2013 : inspection triennale du train 3.
- Février 2014 : inspection triennale du train 4 et FCU.
- Mars 2014 : inspection triennale du train 2.
- Février 2015 : inspection triennale du train 1.

- Juin 2015 : inspection triennale des WFD et PWT.
- Septembre 2016 : inspection triennale de l'unité Glycol A/B.
- Décembre 2016 : inspection triennale du train 3.
- Février 2017 : inspection triennale du train 4 et FCU.
- Mars 2017 : inspection triennale du train 2.

IV.4. Composition de site HBNS

Le champ de HASSI BERKINE est composé de :

➤ **Les puits**

75 puits producteurs d'huile,

- 38 puits injecteurs de gaz,
- 10 puits injecteurs d'eau
- 15 puits producteurs d'eau

Les puits qui sont en marche :

- 71 puits producteurs d'huile
- 13 puits injecteurs de gaz
- 33 WAGI (water and gas injectors)
- 13 FGSS : manifold

➤ **Base industrielle Elle comprend**

- CPF, Local HSE, Local de logistique, Centre de formation, Local d'incendie,
- Entrepôt, Ateliers de maintenance
- White house (services du département maintenance)
- Sous station CPF
- Bloc administratif, Centre de documentation DCC (Document Control Center)

➤ **Base de vie HBBC elle est composée**

- HBBC1 et HBBC2 (deux bases de vie)
- 2 restaurants, l'un pour HBBC1 et l'autre pour HBBC2
- 3 foyers, le premier pour HBBC1, le deuxième et le troisième pour HBBC2
- 2 salles de sport l'une pour HBBC1 et l'autre pour HBBC2
- 1 piscine, 1 terrain de football et autres
- 1 mosquée
- Local d'infirmierie

- 1 station de traitement d'eau
- 1 atelier de télécommunication
- Aéroport.

IV.5. Situation géographique

Le bassin de Berkine découvert en 1995 est situé dans la partie nord de la plateforme saharienne dans les blocks 403 et 404, à 1100 KM d'Alger, et a 300 KM de Hassi Messaoud. Il est limité par les frontières Tunisiennes (114KM) et Libyennes (160 KM) à l'est, le Bassin d'Illizi au sud, Dôme de Dahar au nord et Hassi Messaoud à l'ouest.

Le bassin de Berkine constitue la partie occidentale d'un plus grand bassin (celui de Ghadamès) qui se prolonge vers la Lybie et au sud de la Tunisie, la partie Algérienne de ce bassin est connue sous le nom du Grand Erg-oriental, et s'étend sur une surface estimée 120Km² et prolonge en Est-Ouest et Nord-Est sur 350Km.

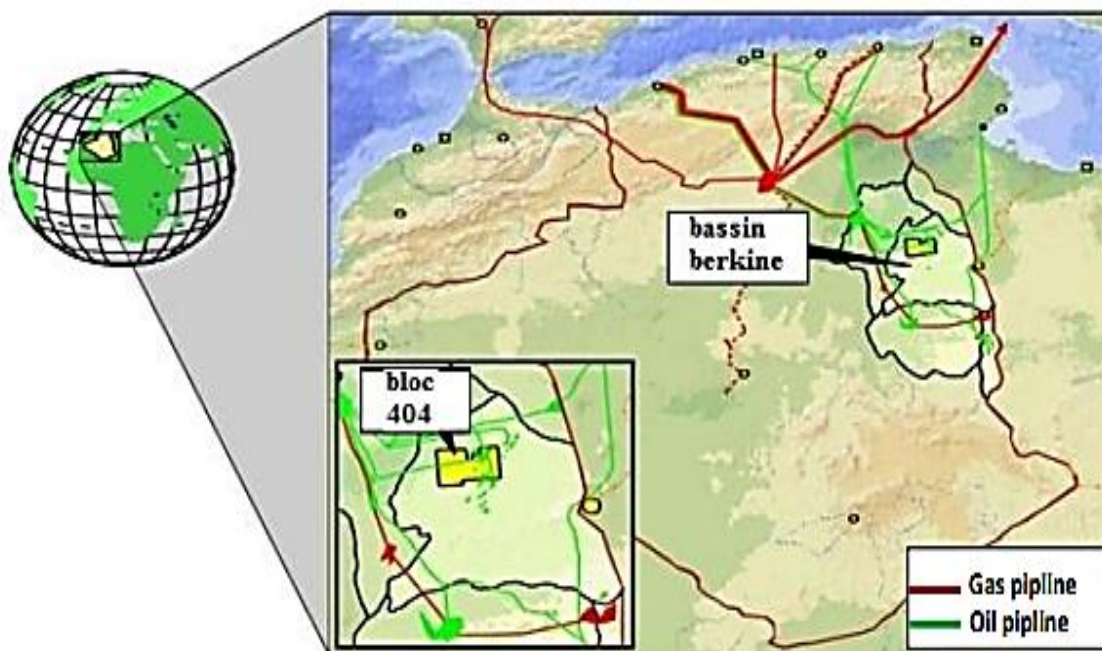


Figure IV.1 : situation géographique

IV.6. Présentation du CPF

Le complexe de traitement appelé CPF (central procession facilitées, usine de traitement de brut) est composé de :

- Quarter trains de traitement.
- Quarter turbo compresseur

-Deux Rerun-Systems conçus pour régler les paramètres des huiles hors-spécifications, le premier concernant les trains 1/2/3 et le deuxième pour Le train 4

-Trois nouveaux systèmes de comptage, les premiers installés en Algérie, un pour les trains 1/2/3, le deuxième pour le train 4 et le dernier qu'on appelle lact-metering fiscal qui comptabilise l'ensemble du brut expédié vers HEH.

-Trois bacs de stockage et une série de pompes pour l'expédition vers HEH.



Figure IV.2 : présentation de CPF.

IV.6.1. Alimentation de CPF en électricité

La sous-station électrique 30 kV reçoit et distribue la haute tension électrique (HT) pour satisfaire les besoins en énergie. Le système électrique du projet d'extension de la phase 2 de CPF ainsi que la phase 1 déjà existante, en remplaçant les générateurs à turbine (G1-840 A et B) comme source principale de l'énergie électrique. Une fois que la station d'alimentation électrique de la SONELGAZ et la sous-station électrique 30 kV ont été entièrement opérationnelles, les générateurs à turbine sont mis en disponibilité ou sont utilisés principalement pour compenser les insuffisances des appareils de commutation de 11 kV ou des appareils de commutation de 30 kV pour pallier la perte d'alimentation du 30 kV.

La sous-station électrique 30 kV est alimentée en électricité par la Station de Production d'Energie Electrique située à 30 km environ du CPF (PKO). L'énergie électrique est acheminée de cette station par deux lignes aériennes vers la Sous-station Régionale 220 / 30 kV (SSR),

située à environ 2 km à l'est du CPF. A partir de là, l'énergie est transportée toujours à travers deux lignes aériennes vers la Station de Transition du Groupement située juste à l'extérieur de la limite de l'installation du CPF (coté Est). De cette station-là, le courant électrique se dirige vers la sous-station électrique 30 kV à travers deux câbles d'alimentation souterrains. Ces câbles entrent par le côté Sud de la sous-station où ils sont connectés à deux jeux de barres principaux de 30 kV (SG-8-100A / SG-8-100B). A partir de ces jeux de barres, le courant passe par une série de transformateurs abaisseurs vers le réseau de distribution d'énergie de l'usine CPF.

La surveillance et la commande du réseau électrique de distribution 30 kV sont effectués par le Système de gestion d'énergie électrique **Power Management System (PMS)** utilisant un PC qui fonctionne à travers un réseau local (LAN) et qui relie les composants du système de surveillance et de commande ensemble. Le PMS est utilisé pour les fonctions suivantes :

- Surveiller l'état des dispositifs de commutation de la sous-station en temps réel.
- Commander les dispositifs de commutation de la sous-station.
- Visualiser les informations des archives.
- Surveiller l'état des composants du système.

IV.6.2. Les trains de traitement

Le CPF contient 04 trains identiques de traitement de brut. Avant que le produit brut soit envoyé vers l'expédition ou le stockage, chaque train réalise les opérations suivantes :

- Séparation primaire : Séparation liquide / gaz (41 Bar / 50°C).
- Séparation secondaire : Séparation Huile/eau/gaz (22 Bar / 50°C).
- Dessalement primaire : réduction taux sel dans huile (15 Bar / 49°C).
- Dessalement secondaire : réduction taux sel dans huile (13 Bar / 49°C).
- Stabilisation : réduction taux gaz léger dans huile pour obtenir produit en norme standard (166°C, RVP = 10 PSIA).

A la sortie du train, on obtient un produit en norme commerciale, tel montré dans le tableau suivant.

Spécification	Valeurs
RVP (TVR) maxi	0.69 bar (10 PSI)
BS&W maxi	0.5 % volume
Salinité maxi	40 PPMW équivalent NACL
Soufre maxi	0.20 % poids
T° de stockage maxi	55°C

Tableau IV.1 : spécification de l'huile après traitement

IV.7. Départements du Groupement Berkine

IV.7.1. Département Ressource humaine

- Suivi du personnel
- Pointage du personnel
- Gestion et suivi personnel contractuel
- Gestion des carrières
- Requête social : maladie, congé, remboursement et frais médicaux
- Réservation et planning
- Titre de congé
- Mutation
- Promotion

IV.7.2. Département HSE

La division HSE régit par un règlement qui est destiné à toute personne pénétrant au complexe et a pour but d'informer le personnel sur les risques rencontrés à l'usine il faut savoir que ce règlement s'adresse à tous les travailleurs que ça soit personnel de l'usine ou des entreprises extérieures et visiteurs. Ce département se divise en deux services :

- Service Prévention : Son rôle est de prévenir les risques et de les réduire au maximum, pour les éviter, on doit prendre des Mesures rigoureuse pour la sécurité du personnel pour cela le respect des règles en cas d'alarme D'urgence ou de feu
- Service Intervention : Son rôle est d'intervenir en cas d'accident. Le personnel de ce service travail de jour comme de nuit Pour intervenir dans des délais brefs, les

moyens mis en œuvre pour assurer une bonne sécurité C'est un camion injecteur d'eau, un camion injecteur de mousse, des ambulances bien équipées, un Réseau d'eau incendie et installé tout autour de l'usine.

IV.7.3. Département maintenance

Ce département est un organe principal dans le CPF, Il comprend 5 services :

- Service électrique
- Service instrumentation
- Service mécanique
- Service off-site
- Service planning

IV.7.4. Département D'exploitation

Le rôle de ce département est de mettre un plan efficace de suivi et de control de toutes les unités du CPF toute en assurant une qualité d'exploitation optimale du procédé de production de brut. Pour faciliter cette tâche et réduire la complexité de suivi et de surveillance, le CPF est divisé en 05 unités réparties comme suit :

- Unité D'utilités
- Unité de Process, gaz
- Unité de déshydratation du gaz
- Unité water flood

IV.7.5. Département Technique

- Il se charge de tout ce qui concerne les modifications et les changements proposés par les départements de la région industrielle de Berkine que ce soit pour le Process ,ou d'autre activité ailleurs, pour n'importe quel niveau et /ou priorité.

Ces changements doivent être opérés en vue de :

- Augmenter l'efficacité.
- S'adapter aux innovations techniques.
- Éliminer les risques.
- Maintenir l'intégrité technique et opérationnelle du service.
- Améliorer les aspects de santé, de sécurité et d'environnement des employés, des équipements ainsi que les emplacements.
- La proposition de changement sur champ (FCP) peut être dans les domaines suivants : Électronique, Instrumentation, Électricité, Mécanique, Process , Génie civil.

IV.7.6. Département logistique

Ce département fournit un matériel nécessaire pour tous les utilisateurs du Groupement Berkine, il est composé de deux services :

➤ **Service transport**

Il fournit les moyens de transports et les véhicules de service pour le personnel

➤ **Service intendance**

Il s'occupe de l'hébergement et restauration du personnel ainsi que de l'entretien et de l'hygiène à l'intérieure de la base.

IV.8. L'organigramme de groupement berkine

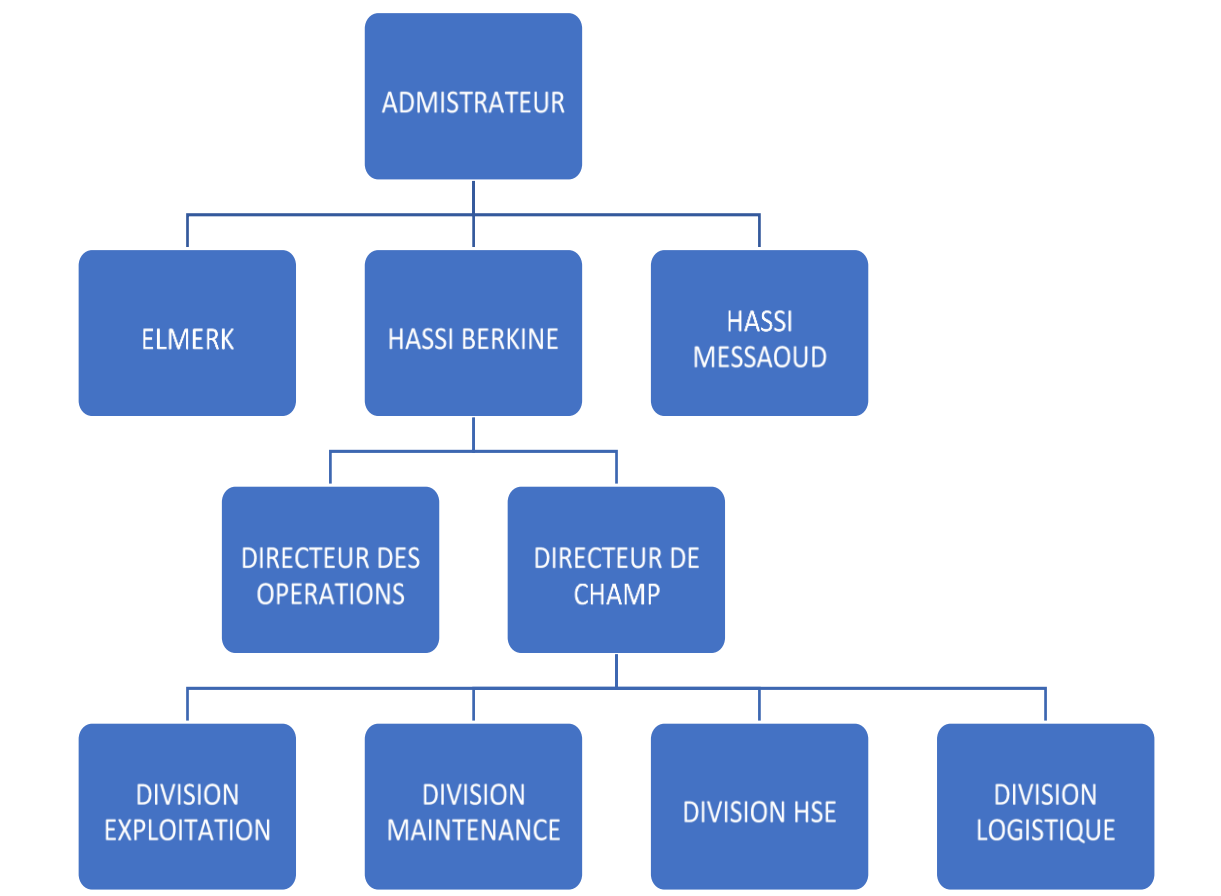


Figure IV.3 : Organigramme HBNS

IV.9. Organigramme division maintenance

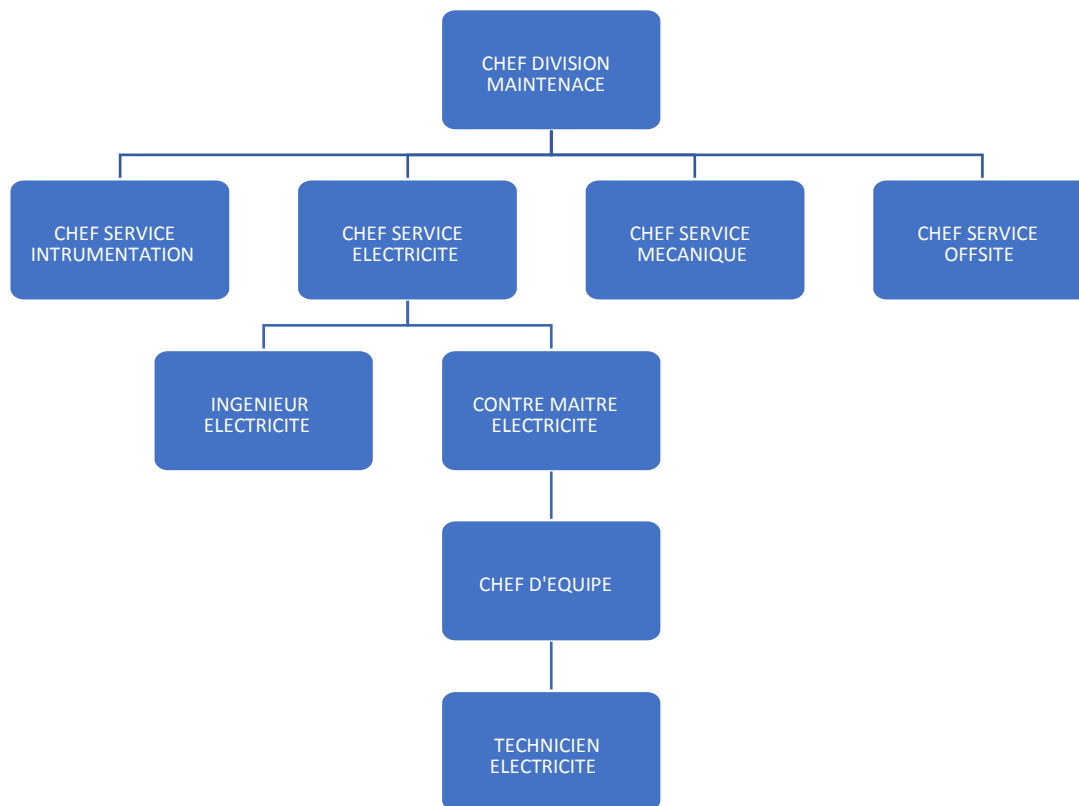


Figure IV.4 : Organigramme Division Maintenance

IV.10. Différent type des régulateurs dont le site HBNS

IV.10.1. Régulateur de puissance

Ce graphe ci- dessous représente la variation de la puissance active fournie par la génératrice en fonction du temps de fonctionnement.

Tant que la puissance est le produit de la tension et le courant et $\cos \varphi$ ($p = U.I. \cos \varphi$), à chaque fois qu'on obtient une tension importante on aura un courant faible. On conclut que le graphe de la puissance active et le graphe de la tension ont la même forme.

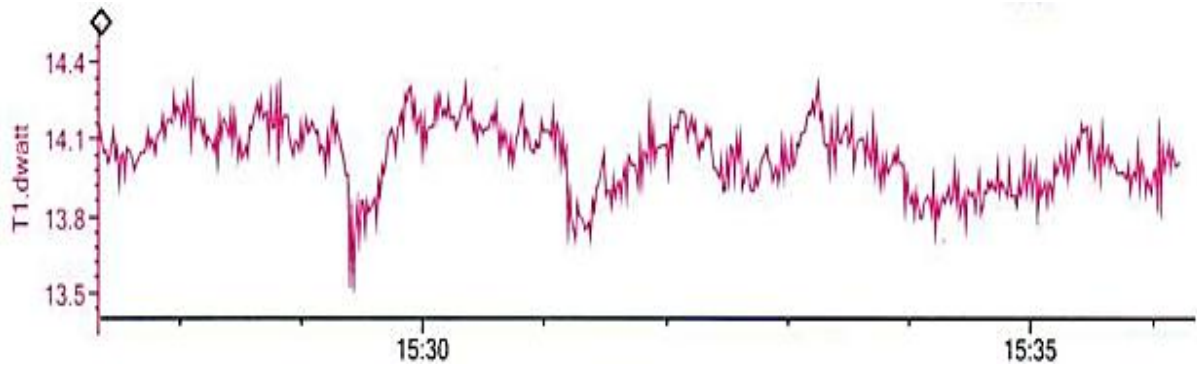


Figure IV.5 : la puissance active de la génératrice en mégawatts

IV.10.2. Régulateur de fréquence

Ce graphique ci-dessous représente la variation de la fréquence de la génératrice en fonction du temps de fonctionnement.

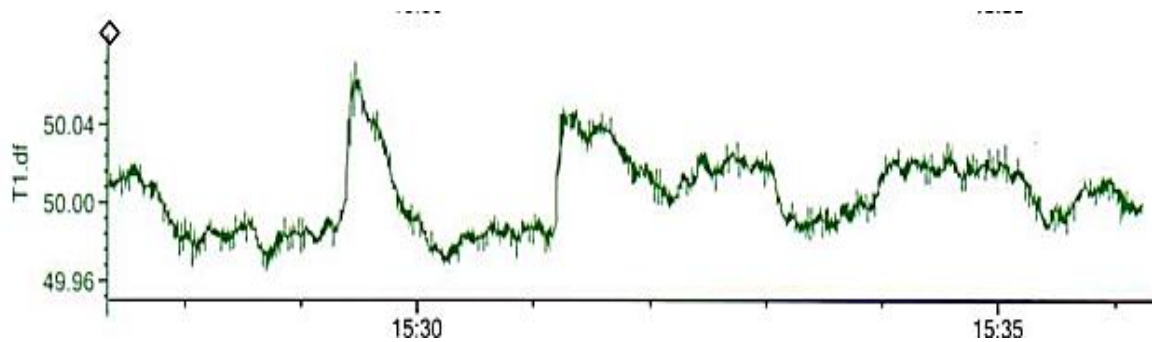


Figure IV.6 : la fréquence de génératrice

IV.10.3. Régulateur de température

Ce graphique ci-dessous représente la variation de la température de la génératrice en fonction du temps de fonctionnement.

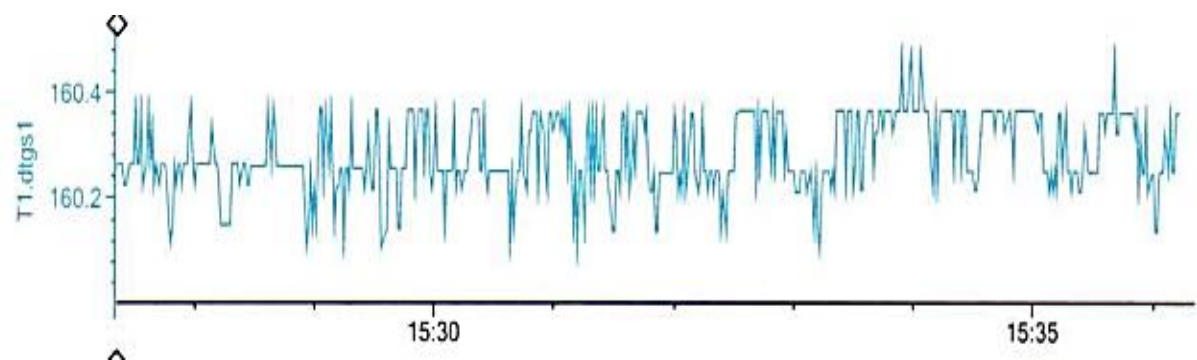


Figure IV.7 : température de génératrice

IV.9. Conclusion

Le stage pratique que nous avons effectué au champ BERKINE a été bénéfique pour nous. Nous avons eu l'opportunité de participer aux activités pratiques liées à notre discipline, l'approche pratique nous a permis de comprendre certains manquements théoriques. Ce stage pratique nous a renseigné sur les conditions de travail en milieu difficile où la compétence et les règles de sécurité sont de rigueur. Nous avons eu aussi l'immense privilège d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la production d'électricité, de l'efficacité et de la sécurité énergétique. Au terme de ce stage, nous pouvons affirmer que notre formation a été enrichie que ce soit dans le domaine électrique, mécanique et surtout sur le plan relationnel et adaptation dans un environnement exigeant une grande vigilance et professionnalisme.

Sur le site de Berkine, nous avons constaté que la régulation du turbo alternateur est réalisée de manière automatisée accompagnée, de capteurs de températures et de vitesse afin d'assurer la fiabilité du système.

Conclusion générale

Nous avons présenté dans ce mémoire l'étude de la turbine à gaz 5001 et la génératrice ainsi que le modèle de régulation de la tension du turbo alternateur. Cette turbine est exploitée sur le site HBNS pour la production de l'électricité. Cette étude a été accompagnée par un stage pratique d'un mois sur site HBNS.

Notre travail est entamé par une présentation des turbines à gaz en général, Leur historique, et principe de fonctionnement, leurs composants et les avantages/inconvénients et leur capacité à convertir l'énergie des combustibles en électricité.

L'étude théorique du turbo-alternateur a permis de mettre en évidence, l'ensemble d'éléments électriques, magnétiques et mécaniques qui sont largement utilisés dans la production d'électricité. La classification, le principe de fonctionnement et le système d'excitation de l'alternateur. Au final, cette partie nous permet de comprendre le fonctionnement global de ce système électrotechnique.

L'analyse des régulateurs de tension AVR et PID a montré comment ces dispositifs assurent une régulation optimale grâce à la combinaison des actions proportionnelle, intégrale et dérivée. Ces régulateurs sont essentiels pour maintenir la stabilité et l'efficacité des systèmes de régulation industrielle. Son importance dans les applications industrielles de manière générale est mise en évidence.

Cette étude n'a pu être complète que grâce au stage effectué sur le site HBNS. Une présentation du site ainsi que son activité en termes de production de l'électricité par la turbine à gaz est réalisée. Les caractéristiques techniques ainsi que les performances de la turbine ont été exploitées afin de réaliser notre étude. L'importance de la maintenance de l'équipement est mise en évidence ainsi que l'ensemble des procédures mises en place sur le site afin d'assurer le bon fonctionnement de la turbine et l'installation d'un système de sûreté de fonctionnement.

A travers ce mémoire, nous avons mis l'accent sur les technologies de production d'énergie électrique en exploitant la turbine à gaz, qui reste le moyen privilégié en environnement désertique. La régulation électrique et thermique sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement et un rendement optimal dans les applications industrielles. Les turbines à gaz, les turbo-alternateurs et les régulateurs AVR et PID sont des éléments clés dans la production d'énergie électrique fiable et efficace.

- [1] Documentation Sonatrach Hassi Berkine.
- [2] celia dadache, rapport de stage 2022/2023, SONATRACH, Bejaia, Algérie
- [3] MERAOUNA Farida, (Etude des émissions des turbines maintenues par General Electric),
memoir de master, ENP2019 , Algérie
- [4] BOUTAGHANE Ilyas,(Amélioration des Performances de la Turbine à Gaz de Propane
(MS7001) du Complexe GL 1K), memoir de master ,2018/2019 , Algérie
- [5] Composants de la chambre de combustion 3D systèmes
- [6] BOUKHATEM DJALAL,<< L'effet de la température ambiante sur la performance d'une
turbine à gaz>> mémoire de master, 2018/2019, Ouargla
- [7] NESRAOUI ILIAS,(ANALYSE ET SIMULATION DE REFROIDISSEMENT DES
AUBES D'UNE TURBINE A GAZ),mémoire de master , 2015-2016 , Algérie
- [8] *GHAMMANI Amina* (Diagnostic sur les performances d'un turbo-alternateur) mémoire de
master Tiaret Algérie
- [9] Documentation technique de la turbine à gaz MS 5001
- [10] Nuovo Pignone, Manuel des fournisseurs pour fonctionnement et entretien de la turbine à
gaz MS 5001, partie 1.1 Tome 1.
- [11] TELLACHE Khaled,(Amélioration des performances de la turbine à gaz MS-5001 avec
- [12] HARRID, Nedjm(Etude De La Maintenance D'une Turbine A Gaz MS 5001) mémoire de
master juin2016,tiaretrefroidissement par évaporation)2017/2018,BOUMERDES
- [13] Manuel de service pour turbine à gaz : Description et Fonctionnement Travail N.P
160.5649%51.
- volume II
- [14] METALLAOUI NASSIM(Étude thermodynamique de la turbine à gaz MS7001EA au
niveau du
complexe GNL1K) 2016/2017,skikda
- [15] NAILI Fayçal , Mémoire de master sur le Thème (Amélioration de la régulation de tension
des générateurs synchrones), Année universitaire 2019/2020

- [16] Bapio BAYALA, "Machines Electriques", P:07,08, 09, 10,15, 2010.
- [17] Formation sur les centrales thermiques. (Document interne de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj).
- [18] A. Barakat, Contribution à l'amélioration de la régulation de tension des générateurs synchrones : nouvelles structures d'excitation associées à des lois de commande H_∞ . Thèse de Doctorat, université de Poitiers, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, 2011.
- [19] Claude CHEVASSU, Machines Electriques. Cours et Problèmes, O1MM 2e année, version n°2,71-05/02/2014
- [20] HADJI Athmane ; Régulation de Tension d'un Alternateur Triphasé ; Année Universitaire 2019-2020 ; Université SAAD DAHLAB de BLIDA
- [21] Benattia Mohamed Benioub Sid Ahmed . ETUDE DU SYSTEME DE REGULATION DE LA TENSION (PSS+AVR) DES ALTERNATEURS DE GRANDE PUISSANCE PAR LE RESEAU DE NEURONES . MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE . MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE]
- [22] <https://fr.scribd.com/document/559546475/Chapitre4-Les-RegulateursPID>
- [23]Alaa-eddine Bordjiba. Conception et réalisation d'un Régulateur PID numérique de température avec ARDUINO . Juillet 2019. Université 8Mai 1945 – Guelma

Résumé

La turbine à gaz 5001 et la génératrice ainsi que le modèle de régulation de la tension du turbo alternateur ont fait l'objet d'étude dans la réalisation de ce mémoire. Cette turbine est exploitée sur le site HBNS pour la production de l'électricité.

L'étude de la turbine à gaz est réalisée à travers, son historique, principe de fonctionnement, leurs composants, les avantages/inconvénients et leur capacité à convertir l'énergie des combustibles en électricité. L'analyse des régulateurs de tension AVR et PID a montré comment ces dispositifs assurent une régulation optimale grâce à la combinaison des actions proportionnelle, intégrale et dérivée.

L'importance de la maintenance de l'équipement est mise en évidence ainsi que l'ensemble des procédures mises en place sur le site HBNS afin d'assurer le bon fonctionnement de la turbine et l'installation d'un système de sûreté de fonctionnement.

Les turbines à gaz, les turbo-alternateurs et les régulateurs AVR et PID sont des éléments clés dans la production d'énergie électrique fiable et efficace.

Abstract

The 5001 gas turbine and the generator as well as the turbo alternator voltage regulation model were studied in the production of this thesis. This turbine is operated on the HBNS site for the production of electricity.

The study of the gas turbine is carried out through its history, operating principle, their components, advantages/disadvantages and their ability to convert fuel energy into electricity. The analysis of the AVR and PID voltage regulators showed how these devices ensure optimal regulation through the combination of proportional, integral and derivative actions.

The importance of equipment maintenance is highlighted as well as all the procedures implemented on the HBNS site to ensure the proper operation of the turbine and the installation of a safety system.

Gas turbines, turbo-alternators and AVR and PID regulators are key elements in the production of reliable and efficient electrical energy.