

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تيموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Science & Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
Filière : GENIE ELECTRIQUE  
Option : ELECTROMECHANIQUE

Thème

**SYSTEME STATIQUE DE DEMARRAGE ET EXCITATION DES ALTERNATEURS**

**Présenté Par :**

- 1) SABRI Ilyes
- 2) SI ALI Mohammed El amine

**Devant les jurys composés de :**

Mr. BENAZZA	MAA	C.U.B.B (Ain Témouchent)	Président
Dr. ZALMATE S	MCA	C.U.B.B (Ain Témouchent)	Examineur
Dr. AISSOU M	MCA	C.U.B.B (Ain Témouchent)	Encadrant
Mr. ABRI M	Ingénieur SKT	SKT	Co encadrant
Mr AOUABDI M	Ingénieur SKT	SKT	Co encadrant

## REMERCIEMENTS

A l'issue de la confection de ce mémoire, nous tenons à adresser nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, par leur bonne volonté et leurs actes ont manifesté un intérêt à notre égard et particulièrement

À :

Dr.M.AISSOU, pour la qualité d'encadrement exceptionnel, pour sa patience, et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire, nous disons que ce travail ne serait pas riche et n'aurait pas pu voir le jour sans son aide et son soutien.

Mr.ABRI.M , Mr.AOUABDI.M et L'ensemble du personnels de SKT pour leur accueil qu'il nous a témoigné durant notre stage et pour leur soutien.

Nos familles et nos proches qui n'ont cessé de se manifester par leur présence quand nous en avons besoin. Recevez l'expression de notre profonde gratitude.

## *Dédicace*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ

*Au nom d'ALLAH tout puissant pour tous les bienfaits qu'il ne cesse  
d'accomplir dans nos vies*

*Que la paix et le salut soient son messager Mohamed, sa famille et ses  
compagnons.*

*Je dédie ce travail :*

*A mes parents qui m'ont soutenu durant toute mon existence, que dieu  
leur procure bonne santé et longue vie.*

*A mes frères et sœurs,*

*A mes cousins, cousines, tantes,*

*Mes dédicaces vont également à mes amis particulièrement*

*A mon binôme Ilyes qui a partagée avec moi ce travail,*

*A tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire,*

*A tous ce qui m'ont soutenu de près ou de loin tout au long de ma vie.*

***Mohammed El Amine***

*Dédicace*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Au nom d'ALLAH tout puissant pour tous les bienfaits qu'il ne cesse  
d'accomplir dans nos vies*

*Que la paix et le salut soient son messager Mohamed, sa famille et ses  
compagnons.*

*Je dédie ce travail :*

*A mes parents qui m'ont soutenu durant toute mon existence, que dieu  
leur procure bonne santé et longue vie.*

*A ma grand-mère,*

*A mes frères et sœurs,*

*A mes cousins, cousines, oncles, tantes,*

*Mes dédicaces vont également à mes amis particulièrement,*

*A mon binôme Mohamed Amine qui a partagée avec moi ce travail,*

*A tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire,*

*A tous ce qui m'ont soutenu de près ou de loin tout au long de ma vie.*

***Ilyes***

# Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

## CHAPITRE I : Présentation de la centrale électrique SKT

I.1 Introduction.....	4
I.2 Centrale Electrique de Terga.....	4
1) Cycle simple.....	4
2) Cycle combiné.....	4
I.2.1 Vue de L'Ensemble .....	6
I.3 Définition de la Turbine à Gaz.....	6
I.3.1 Ailettes de compresseur.....	6
I.3.2 Ailettes Turbine.....	7
I.3.3 Corps ... ..	7
I.3.4 Chambre de combustion annulaire.....	7
I.4 Fonctionnement de la Turbine à Vapeur.....	8
I.5 Définition de la Chaudière de Récupération.....	9
I.5.1 Vapeur Surchauffé.....	9
I.5.2 Vapeur Resurchauffe .....	10
I.6 Condenseur .....	11
I.7 Définition Turbine à Vapeur.....	11
I.7.1 Fonctionnement de la Turbine à Vapeur.....	11
I.8 Alternateur.....	13
I.9 Comment la Turbine à Vapeur va S'accoupler à L'alternateur ?.....	14
I.10 Phase de Démarrage.....	14
I.11 Système D'eau de Réfrigération Principale .....	14
I.11.1 Système d'eau de réfrigération des auxiliaires.....	15
I.11.2 Système D'alimentation en Gaz Combustible .....	15
I.11.3 Système D'alimentation en Gasoil.....	15
I.11.4 Système de Synchronisation.....	16
I.11.5 Système Electrique de la Centrale.....	16
I.12 Transformateur.....	17
I.12.1 Transformateur Principal.....	17

I.13 Alimentation de Secours .....	18
I.14 Poste-Blinde .....	18
I.15 Eclairage.....	19
I.16 Conclusion .....	22

## **CHAPITRE 2 : Système Statique de Démarrage et D'excitation Des Alternateurs**

### **Système de Démarrage Statique (SSD)**

II.1 Introduction .....	24
II.2 Méthodes de Démarrage .....	24
II.3 Fonctions du Système Statique de Démarrage SSD .....	26
II.4 Rôle du Système Statique de Démarrage au démarrage .....	26
II.5 Notions de Base Concernant le Dispositif de Démarrage Statique .....	28
II.5.1 Fonctionnement Des Composants du SSD .....	28
II.5.2 Finalité d'un Thyristor .....	30
II.5.3 Principe de Fonctionnement d'un Thyristor .....	32
II.5.4 Caractéristique d'un Thyristor est Présentée Ci-contre .....	32
II.5.4.1 Interprétation du Thyristor.....	33
II.6 Génération d'un Couple Sur le Rotor .....	35
II.7 Fonctionnement Pulsé et Commandé Par la Machine .....	37
II.7.1 A Vitesse de Rotation Faible .....	37
II.7.2 A Vitesse Plus Elevée.....	37

### **Système D'excitation Statique (SES)**

II.1 Introduction .....	40
II.2 Composant d'un Système statique d'excitation .....	41
II.3 Principe Générant la Production de la Tension.....	42
II.3.1 Production du Courant Rotor .....	44
II.3.2 Alimentation en puissance .....	44
II.3.3 Contrôle Du Courant .....	44
II.3.4 Régulation De Tension .....	44
II.4 Système D'excitation Dans la Centrale Electrique.....	45
II.5 Système D'excitation Dans la Chaîne de Conversion D'énergie .....	46

II.6 Les Tâches du Système D'excitation .....	47
II.7 Etat Actuel de la Technique Des Systèmes D'excitation .....	48
II.7.1 Système D'excitation Indirect (système d'excitation sans bagues ni balais).....	48
II.7.2 Système D'excitation Direct (système d'excitation statique).....	49
II.8 Autres types d'excitatrices tournantes .....	49
II.9 Les Principaux Genres D'alimentation .....	50
II.9.1 Alimentation Depuis Les Bornes de la Machine.....	50
II.9.2 Alimentation en dérivation avec compoundage .....	51
II.9.2.1 Types de Compoundage Sont Utilisés.....	51
II.10 Modes Principaux D'alimentation .....	52
II.10.1 Alimentation Depuis un Générateur à Pôles Permanents (GAP).....	52
II.10.2 Alimentation depuis un réseau auxiliaire .....	52
II.11 Dispositif D'amorçage de L'excitation .....	53
II.11.1 Protection Surtension.....	54
II.12 Conclusion.....	56

### **CHAPITRE III : Simulation de Démarrage Statique Sur Matlab**

III.1 Introduction.....	58
III.2 Schéma Bloc Général .....	58
III.2.1 Redresseur Triphasé.....	59
III.2.1.1 Pont de Graëtz triphasé à Thyristors.....	59
III.2.2 Onduleur Triphasé.....	60
III.2.2.1 Généralité Sur Les Onduleurs en MLI.....	60
III.2.2.2 Principe de Fonctionnement.....	60
III.2.3 Commande MLI Intersective.....	61
III.2.4 Régulateur de Vitesse.....	62
III.2.4.1 Principe général .....	62
III.2.5 Machine Synchrone.....	63
III.3 Simulation sur Matlab.....	63
III.3.1 Bloc Global.....	63
III.3.2 Redresseur Simulink.....	64
III.3.3 Onduleur Simulink.....	65
III.3.4 Commande Intersective MLI.....	65

III.3.5 Régulateur de Vitesse.....	67
III.4 Interprétation des Résultat.....	68
III.4.1 Tension du Redresseur.....	68
III.4.2 Tension de l'Onduleur.....	69
III.4.3 Courant de l'Onduleur.....	70
III.4.4 Vitesse de Rotation.....	71
III.5 Conclusion.....	72

## Listes des Figures

### Chapitre I

<b>Figure I-1</b> Centrale Electrique de Terga.....	5
<b>Figure I-2</b> Turbine à Gaz.....	8
<b>Figure I-3</b> Diagramme de Mollier sans resurchauffe .....	10
<b>Figure I-4</b> Diagramme de Mollier avec resurchauffe.....	10
<b>Figure I-5</b> Fonctionnement de la turbine à Gaz.....	9
<b>Figure I-6</b> Cycle de Vapeur.....	12
<b>Figure I-7</b> Machine Synchrone.....	13
<b>Figure I-8</b> Groupe Electrogène de secours.....	16
<b>Figure I-9</b> Transformateur Principal Elévateur.....	18
<b>Figure I-10</b> Principe de fonctionnement de la centrale .....	20

### Chapitre II

<b>Figure II-1</b> Méthodes de Démarrage.....	25
<b>Figure II-2</b> Système de Démarrage Statique.....	27
<b>Figure II-3</b> Armoires de SSD &SES Pour Commander.....	29
<b>Figure II-4</b> Armoires de Disjoncteur du SSD & SES.....	30
<b>Figure II-5</b> Convertisseur Statique.....	31
<b>Figure II-6</b> Thyristor.....	32
<b>Figure II-7</b> Caractéristique d'un Thyristor.....	33
<b>Figure II-8</b> Influence du courant de gâchette sur la caractéristique d'un thyristor.....	34
<b>Figure II-9</b> Moteur synchrone alimenté par un onduleur.....	36
<b>Figure II-10</b> Fonctionnement Pulsé et Commandé Par la Machine .....	38
<b>Figure II-11</b> Courbes de Démarrage de la TG-26.....	39
<b>Figure II-12</b> Système D'excitation d'un Mode D'alimentation.....	40
<b>Figure II-13</b> Système D'excitation Statique.....	41
<b>Figure II-14</b> Théorie de Base de Système d'excitation.....	42
<b>Figure II-15</b> Tension dans la Machine Synchrone .....	43
<b>Figure II-16</b> Flux induit de Tension.....	43
<b>Figure II-17</b> Principe Générant la Production de la Tension.....	45
<b>Figure II-18</b> Vue Générale d'une Centrale.....	46

<b>Figure II-19</b> Système D'excitation Dans le Cycle.....	47
<b>Figure II-20</b> Types d'excitation.....	49
<b>Figure II-21</b> Types D'excitatrice Tournante.....	50
<b>Figure II-22</b> Principaux Modes D'alimentations.....	52
<b>Figure II-23</b> Circuit D'amorçage.....	53
<b>Figure II-24</b> Schéma Unifilaire D'un SSD & SSE.....	55

### Chapitre III

<b>Figure III-1</b> : schéma bloc global montre les blocs principaux.....	58
<b>Figure III-2</b> schéma de fonctionnement de l'onduleur.....	59
<b>Figure III-3</b> schéma de principe de fonctionnement de l'onduleur.....	60
<b>Figure III-4</b> signal de MLI commande intersective.....	61
<b>Figure III-5</b> schéma bloc simulink d'un PID.....	62
<b>Figure III-6</b> déférente types des alternateurs.....	63
<b>Figure III-7</b> schéma bloc général d'un système statique de démarrage.....	64
<b>Figure III-8</b> schéma bloc d'un redresseur triphasé.....	64
<b>Figure III-9</b> schéma bloc d'un onduleur triphasé commandé par mli.....	65
<b>Figure III-10</b> schéma bloc d'une commande MLI (intersective) .....	66
<b>Figure III-11</b> signale de commande mli .....	66
<b>Figure III-</b> schéma bloc régulateur de vitesse.....	67
<b>Figure III-12</b> la tension d'entrer et composée à la sortie de redresseur.....	68
<b>Figure III-13</b> la tension composée à la sortie de l'onduleur.....	69
<b>Figure III-14</b> le courant sortie de l'onduleur .....	70
<b>Figure III-15</b> la vitesse de rotation.....	71

## Listes des abbreviations:

<b>Abbreviations</b>	<b>Signification</b>
SKT	Sharikat Kahraba Terga
GE	General Electric Compagnie
SSD	Système de Démarrage Statique
SES	Système d'excitation Statique
TV	Turbine à Vapeur
TG	Turbine à Gaz
LCI	Inverseur de Charge Commutée (Load Commutated Inverter)
MLI	Modulation de Largeur d'impulsion
GIS	Gaz Insulated Substation
HT	Haute Tension
MT	Moyenne Tension
BT	Base Tension
$\Phi$	Flux magnétique
$I_h$	Courant de maintien
$V_{gK}$	Tension
$V_{Ak}$	Tension
$I_{gK}$	Courant
$\alpha$	Angle de retard d'amorçage
n	Rendement
DCS	Système de surveillance centralize
CCWS	Système d'eau de refrigeration des auxiliaires

## **Introduction Générale:**

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants (Ward Leonard en particulier) ont été les premières solutions, puis les démarreurs et variateurs statiques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien. [1]

Depuis, l'électronique de puissance a fait des progrès considérables et on installe de plus en plus des variateurs de vitesse à fréquence variable avec des moteur à courant alternatif. Ces variateurs de vitesse exploitent le plus souvent la modulation de largeur d'impulsion (MLI). [2]

Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, IGBT, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde (chute ou perturbation de la tension) dans le réseau électrique. Cette dégradation de l'onde peut perturber tant les équipements électriques du client que ceux du réseau électrique si aucune mesure d'immunité n'est prise. Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries de condensateurs. [1]

Les effets néfastes peuvent se manifester par la défaillance prématurée des équipements électriques (surchauffe des moteurs, des câbles et des transformateurs), par la dégradation de l'isolation des moteurs commandés ou par l'interruption des procédés (fusibles brûlés).

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages:

- Démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau et limitant les courants de démarrage ;
- Amélioration du facteur de puissance ;
- Précision accrue de la régulation de vitesse ;
- Prolongement de la durée de service du matériel entraîné ;
- Diminution de la consommation d'électricité.

De nouveaux variateurs de vitesse plus performants peuvent éviter l'interruption des

procédés en cas de perturbation du réseau de courte durée.

Le but de ce travail est l'étudier et l'analyser du principe de fonctionnement du démarreur statique destiné au démarrage progressif de l'alternateur de grande puissance installé dans la centrale de TERGA en essayant d'implémenter un modèle réduit de simulation permettant de décrire fidèlement les modes de fonctionnement de ce dernier.

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à une représentation générale de la centrale à cycle combiné de TERGA.

Le deuxième chapitre offre une présentation générale et une explication détaillée du principe de fonctionnement du démarreur statique et l'excitation de l'alternateur.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation du modèle réduit du démarreur statique dans l'environnement MTALAB/SIMULINK où les résultats seront présentés.

# CHAPITRE I

## **I.1 Introduction :**

La central électrique de TERGA fait partie du programme d'urgence ALGERIEN destiné à accroître la capacité de production d'électricité du pays .cette dernière est fortement poussée par le développement industriel, d'important investissement pour des projets d'infrastructure et pour les besoins d'une population croissante .il a permet de sécuriser l'approvisionnement énergétique de la régions tout en participant à la protection de l'environnement .de plus ce projet a des conséquences positives sur le développement économique de la région. [3]

## **I.2 Centrale Electrique de Terga :**

La Centrale électrique de TERGA est une centrale de production d'énergie électrique avec une puissance totale active de 1200MW et avec une tension de service de 400KV et une fréquence de 50HZ .Ce type de centrale est à cycle combiné comportant trois (03) unités identiques. [3,4]

Chaque unité est formée d'une turbine à gaz **GT26**, d'une turbine vapeur ALSTOM et d'un alternateur.

Chaque unité est caractérisée par une puissance active de 400 MW.

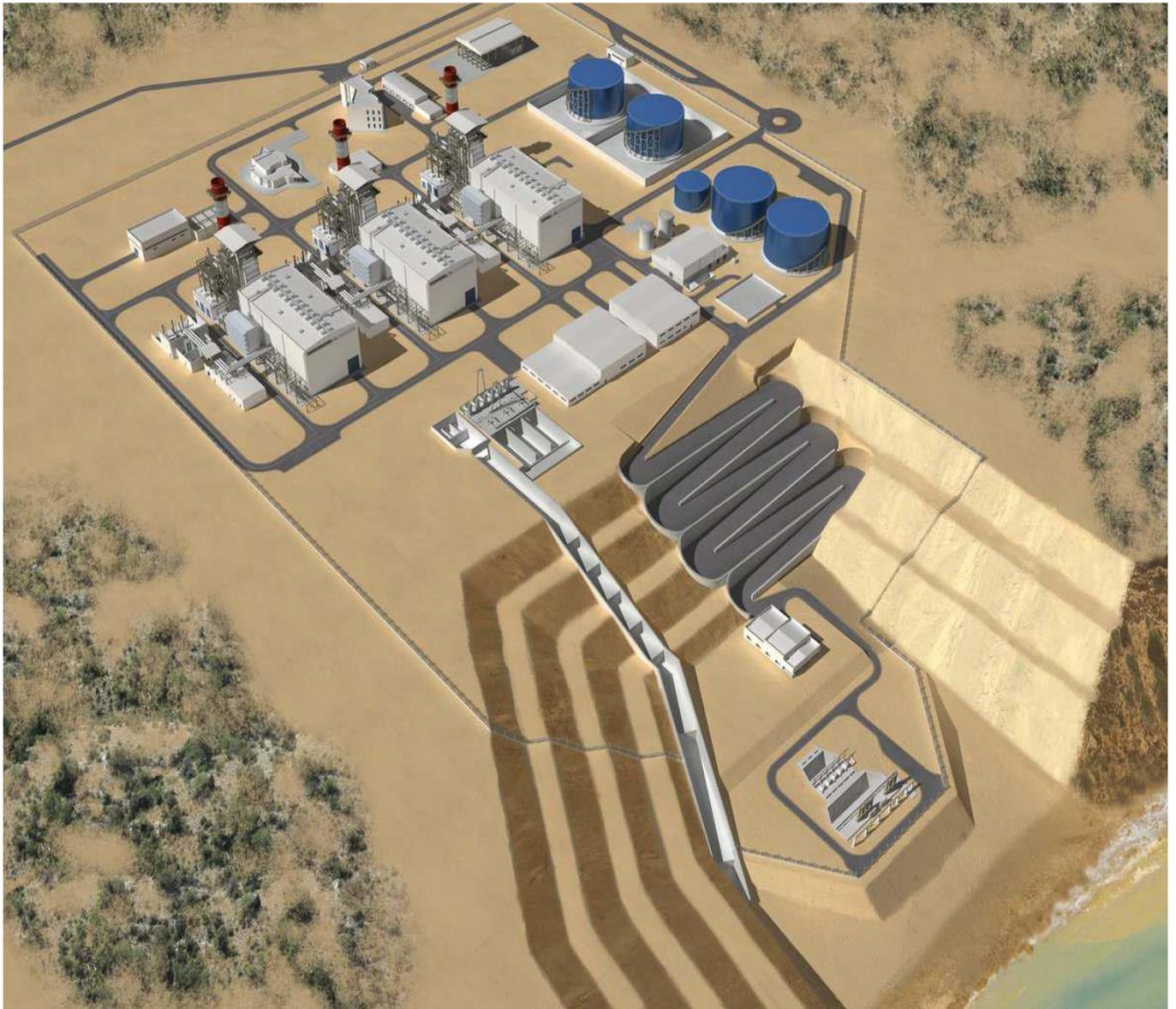
La centrale peut fonctionner selon deux cycles : [5]

### **1. Cycle simple :**

La turbine à gaz GT 26 est en service sans la turbine à vapeur TV.

### **2. Cycle combiné :**

La turbine à gaz GT 26 est combinée à la turbine à vapeur et à la chaudière de récupération.



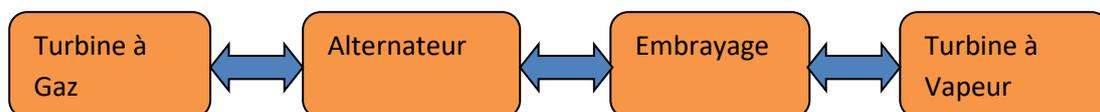
**Figure I-1** Vu 3D de la Centrale Electrique de Terga [3]

### I.2.1 Vue de l'Ensemble :

Une extrémité de l'alternateur est connectée à l'extrémité froide de la turbine à gaz et l'autre à la turbine à vapeur. La TV est connectée à l'alternateur au moyen d'un embrayage automatique synchrone. Il s'engage automatiquement à la vitesse nominale de la TV pendant le démarrage et se désengage automatiquement pendant l'arrêt de la TV. Ceci permet un fonctionnement indépendant de la turbine à gaz pendant le démarrage de la turbine à vapeur ou lors du fonctionnement de la TV sur by-pass rendant inutile la présence d'une chaudière auxiliaire qui serait nécessaire si la TV était directement connectée à la TG. [4]

La turbine à gaz est conçue pour fonctionner au gaz naturel et au gasoil. Lors du fonctionnement au gaz naturel, la présence de brûleurs à faibles émissions de NOx permet d'éviter l'injection d'eau ou de vapeur pour limiter le niveau des émissions. [5]

Le cycle eau / vapeur est un cycle à triple pression de réchauffage de pointe avec chaudière de récupération à ballon permettant une utilisation optimale de l'énergie des gaz d'échappement de la turbine à gaz. [6]



### I.3 Définition de la Turbine à Gaz :

La turbine à gaz GT26 « single shaft » comprend un compresseur axial à 22 étages et une turbine à 5 étages. [5]

#### I.3.1 Ailettes Compresseur :

Des ailettes type « à réaction subsonique » sont utilisées, fournissant une distribution minimisée des pertes.

L'aubage d'entrée et les deux premières rangées d'aubages du compresseur sont réglables. Trois étages de soutirage (rangées 5, 11 et 16) sont installés. Les aubages réglables sont également utilisés pour réguler les gaz d'échappement et améliorer le fonctionnement à charge partielle. [5]

### **I.3.2 Ailettes Turbine :**

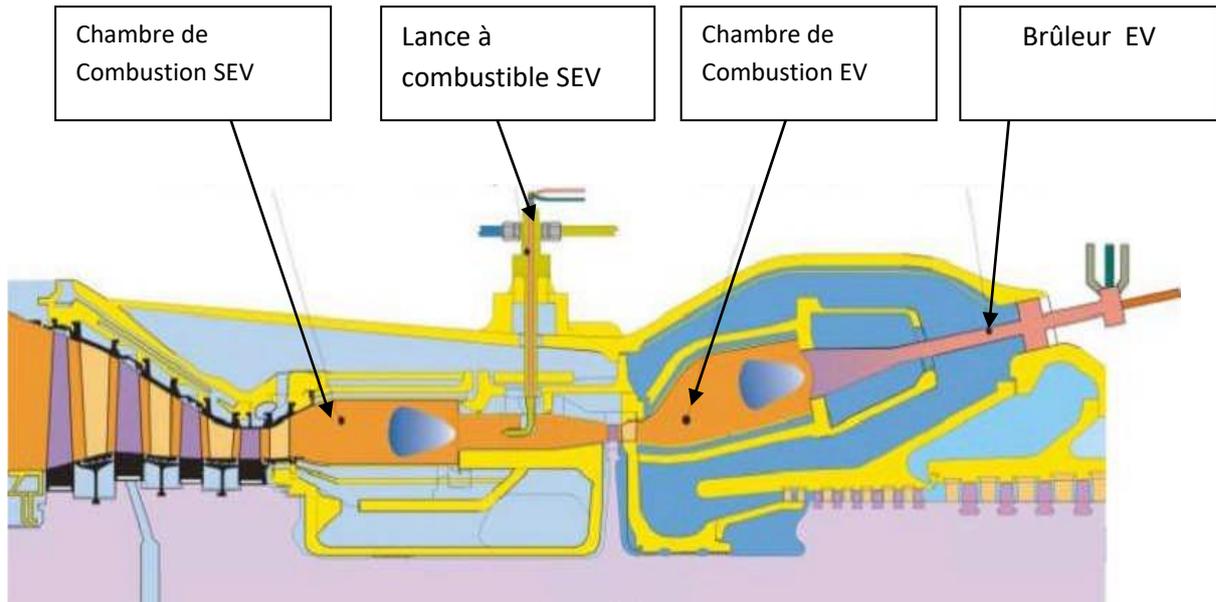
La turbine axiale à cinq étages est équipée d'ailettes type « à réaction ». La première rangée d'ailettes est refroidie par l'intérieur au moyen d'un refroidissement à film et d'air provenant de l'aval du compresseur. Les rangées d'ailettes deux, trois et quatre sont principalement refroidies par l'intérieur au moyen d'un refroidissement en « serpentín » et de l'air provenant du compresseur. [5]

### **I.3.3 Corps :**

La construction du corps est conventionnelle, les sections chaudes sont protégées par un refroidissement à l'air. Le corps de la chambre de combustion, de la turbine et du compresseur a un plan de joint horizontal permettant une inspection détaillée. [5]

### **I.3.4 Chambre de Combustion Annulaire :**

Le système de combustion GT26 se compose d'une chambre de combustion d'environnement (chambre de combustion EV) et d'une chambre de combustion séquentielle d'environnement (chambre de combustion SEV). La chambre de combustion EV se compose d'une zone primaire dans laquelle la combustion a lieu et d'une zone secondaire qui envoie les gaz chauds vers le premier étage de la turbine avec des pertes très faibles. La chambre de combustion SEV est montée après le premier étage turbine et le diffuseur turbine .La conception de la combustion séquentielle de la GT26 est unique: elle fonctionne selon le principe de réchauffage thermodynamique. A la place de l'approche conventionnelle d'amélioration des performances par une augmentation de la température de combustion de la turbine, la turbine à combustion séquentielle d'ALSTOM Power comprend deux chambres de combustion qui fonctionnent simultanément et de manière séquentielle. [5]



**Figure I-2** Turbine à Gaz [5]

#### **I.4 Fonctionnement de la Turbine à Gaz :**

L'air ambiant filtré est comprimé dans le compresseur de la turbine à gaz. L'air comprimé s'écoule ensuite autour de la chambre de combustion EV annulaire, le refroidissant, avant d'entrer dans les brûleurs EV au niveau desquels il est mélangé avec le combustible, puis brûlé. Le gaz de combustion chaud se répartit ensuite dans la turbine HP à un étage et entre dans la chambre de combustion SEV annulaire où est ajouté du combustible, mélangé et brûlé pour réchauffer les gaz d'échappement de la turbine HP. Ce gaz réchauffé se dilate alors dans les quatre étages restants de la turbine BP. [5]



**Figure I-3** Fonctionnement de la turbine à Gaz [28]

### **I.5 Définition de la Chaudière de Récupération :**

Les gaz d'échappement de la TG sont directement conduits dans la chaudière de récupération dans laquelle la chaleur d'échappement est utilisée pour générer de la vapeur. La chaudière de récupération est conçue comme une chaudière à triple pression de réchauffage comprenant les éléments suivants : [6,7]

- Système vapeur haute pression (HP)
- Système vapeur moyenne pression (MP) avec réchauffeur
- Système vapeur basse pression (BP).

#### **I.5.1 La Vapeur Surchauffe :**

On dit que la vapeur est surchauffée lorsque, pour une pression donnée, sa température est supérieure à la température de la vapeur saturée. [6]

On appelle vapeur saturée de la vapeur qui est à la même température que l'eau dont elle est issue.

On appelle vapeur saturée de la vapeur qui est à la même température que l'eau dont elle est issue.

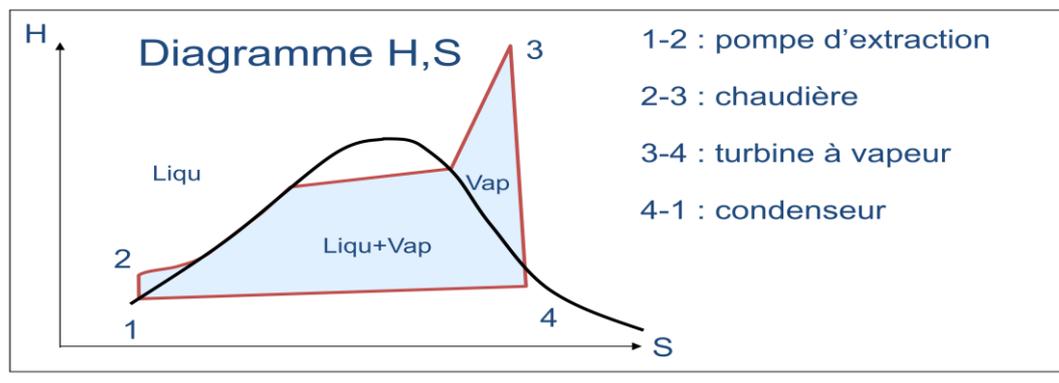
Un cycle à resurchauffe est un cycle dans lequel on récupère une partie de la vapeur du corps haute pression de la turbine à vapeur pour la surchauffer à nouveau dans la chaudière, afin de la renvoyer une seconde fois dans la turbine.[6,7]

**I.5.2 La Vapeur Resurchauffée :**

Un cycle à resurchauffe est un cycle dans lequel on récupère une partie de la vapeur du corps haute pression de la turbine à vapeur pour la surchauffer à nouveau dans la chaudière, afin de la renvoyer une seconde fois dans la turbine. [6]

Voici le diagramme de Mollier d'un cycle sans resurchauffe : [8]

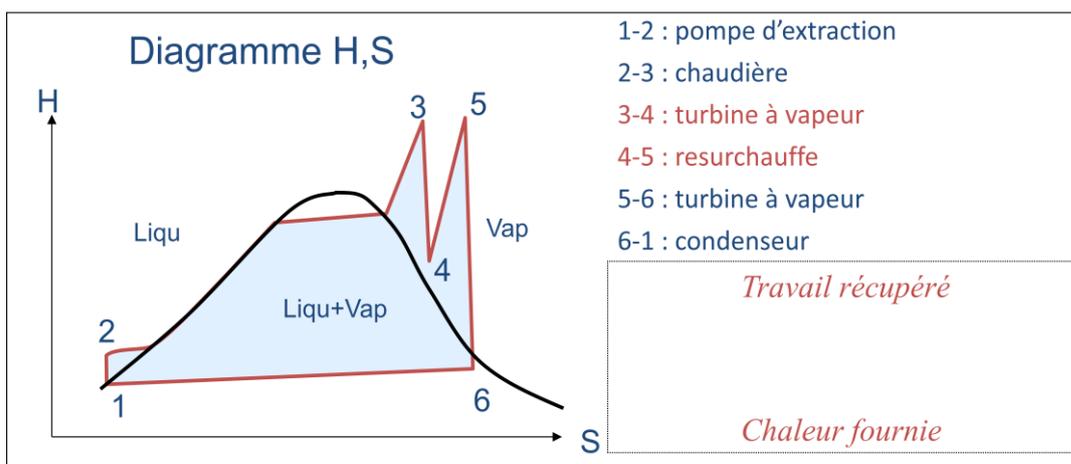
Le Rendement : 
$$\eta = \frac{H_3 - H_4}{H_3 - H_1}$$



**Figure I.4** Diagramme de Mollier sans resurchauffe

Voici maintenant le diagramme de Mollier d'un cycle avec resurchauffe : [8]

Le Rendement : 
$$\eta = \frac{(H_3 - H_4) + (H_5 - H_6)}{(H_3 - H_1) + (H_5 - H_4)}$$



**Figure I.5** Diagramme de Mollier avec resurchauffe

Le rendement de ce cycle est donc supérieur au rendement du cycle sans resurchauffe. [8]

### **I.6 Condenseur :**

Le condenseur est un échangeur thermique qui permet de condenser la vapeur en sortie de TV, pour réalimenter en eau la chaudière.

La pression dans le condenseur doit être la plus faible possible compte tenu de la température de la source froide. Pour obtenir le meilleur échange entre la vapeur et la source froide, on élimine l'air par des éjecteurs. [7]

### **I.7 Turbine à Vapeur:**

La Turbine à vapeur ALSTOM, de type DKYZZ2-1N41BA, possède deux corps, et trois pressions, et une resurchauffe. Le premier corps est l'étage Haute Pression (HP) et le deuxième corps de la turbine se compose des étages moyens pression (MP) et basse pression (BP). [6]

#### **I.7.1 Fonctionnement de la Turbine à Vapeur :**

La vapeur HP surchauffée provenant de la chaudière de récupération est introduite dans la turbine à vapeur HP dans laquelle elle est détendue. La vapeur est renvoyée de la sortie de la turbine HP vers la chaudière de récupération par la tuyauterie de vapeur à resurchauffer. Dans la chaudière de récupération, la vapeur à resurchauffer est mélangée à la vapeur MP avant d'être surchauffée. La vapeur surchauffée repart à la turbine à vapeur MP/BP par la tuyauterie de vapeur surchauffée et se dilate jusqu'au niveau BP. De la vapeur BP surchauffée supplémentaire provenant de la chaudière de récupération est alors introduite dans la TV. Enfin, la vapeur se dilate jusqu'au vide avant d'être condensée dans le condenseur refroidi par eau est acheminer vers la Bache alimentaire. [6]

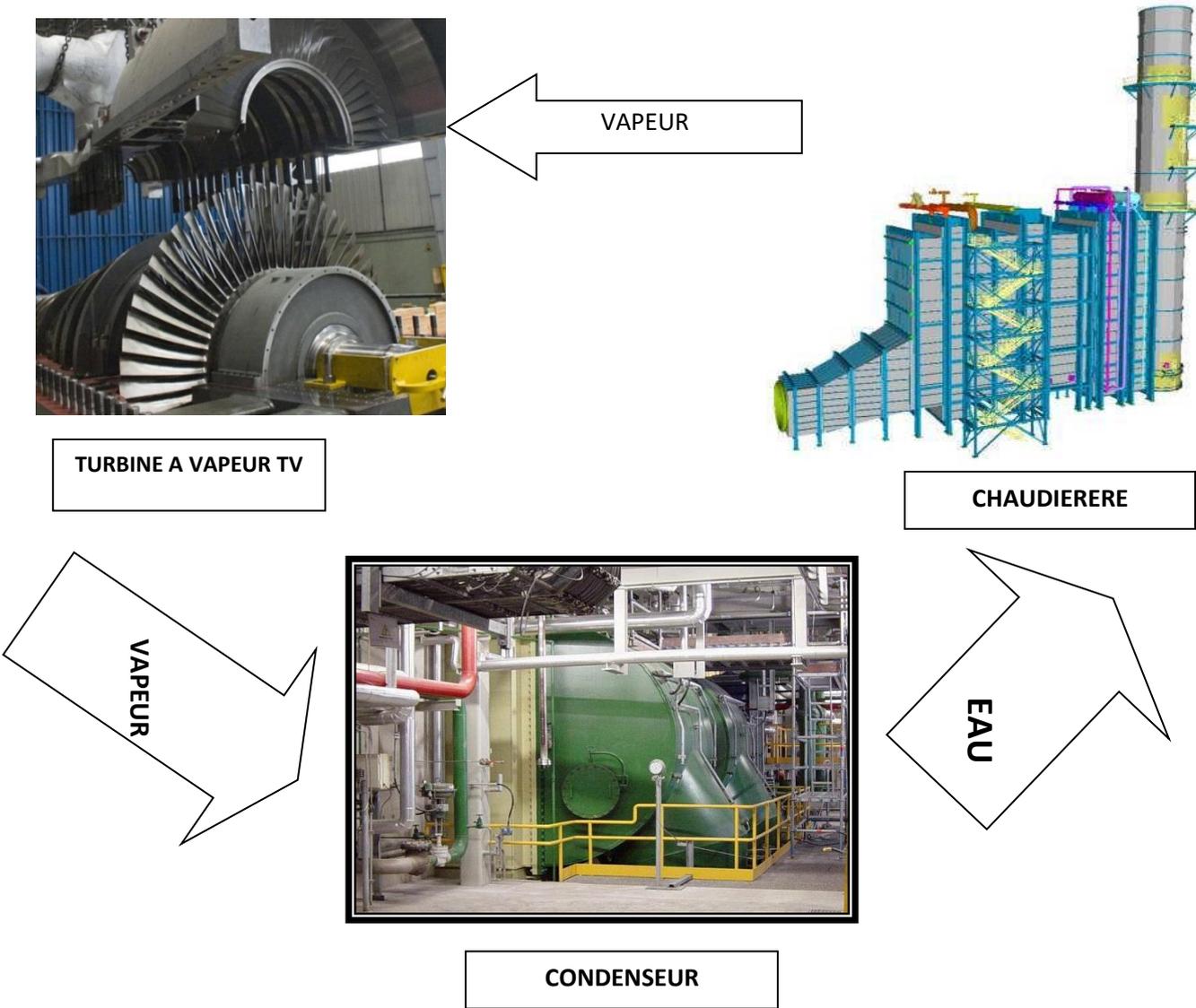


Figure I-6 Cycle de Vapeur [5,28]

**I.8 Alternateur :**

L'alternateur synchrone triphasé, 2 pôles, est refroidit par hydrogène. L'alternateur, la turbine à gaz et la turbine vapeur sont couplés sur un même arbre.

L'alternateur est équipé d'une excitation statique. Les bagues collectrices et les balais transmettent le courant issu du système statique d'excitation (situé à l'extérieur de l'alternateur) au bobinage d'excitation. Les bagues collectrices sont situées sur la prolongation de l'arbre à l'extrémité de l'alternateur et coté opposé à la turbine à gaz.

Les trois bornes de sorties stator sont situées sur le dessus du compartiment alternateur. Les trois bornes et les transformateurs de courant coté point neutre sont situés au-dessous de l'alternateur.

Elles sont reliées à l'enroulement du stator par l'intermédiaire de barres de cuivre flexibles. Le point neutre est relié à la terre à l'extérieur du compartiment.[9]



**Figure I-7** Machine Synchrone [9]

**I.9 Comment la Turbine à Vapeur va s'accoupler à l'Alternateur ?(Embrayage) :**

Après le lancement du séquenceur de la TV par le DCS, la turbine à vapeur va monter en vitesse en atteignant une vitesse légèrement supérieure à celle de la turbine à gaz et à ce moment là l'embrayage, dispositif mécanique, va assurer l'accouplement de la turbine à vapeur à l'alternateur .[7,10]

**I.10 Phase de Démarrage :**

Pour démarrer la centrale, l'alimentation auxiliaire de démarrage provient du réseau HT, via le transformateur principal et le transformateur auxiliaire et alimente le Convertisseur Statique de Fréquence de démarrage de la turbine à gaz. La connexion au réseau HT est réalisée par une liaison en câble 400 kV connecté au poste blindé à double jeu de barres 400 kV.[11]

L'alternateur TG est lancé par un moteur synchronisé avec un convertisseur à fréquence variable (dispositif de démarrage statique).

Le groupe TG est accéléré à l'aide du dispositif de démarrage jusqu'à ce que la turbine soit allumée et ait atteint sa vitesse lui permettant d'être indépendante. Le régulateur de la turbine prend alors le contrôle et accélère le groupe TG jusqu'à sa vitesse de synchronisation. L'alternateur est synchronisé avec le réseau par le disjoncteur alternateur [11].

**I.11 Système D'eau de Réfrigération Principale**

Le système d'eau de réfrigération principale fournit de l'eau froide au condenseur de la turbine à vapeur et au réfrigérant du circuit fermé d'eau de réfrigération des auxiliaires. Les pompes de réfrigération principale assurent l'alimentation en eau du condenseur, de la réfrigération auxiliaire. [3,4]

### **I.11.1 Système D'eau de Réfrigération Des Auxiliaires**

Le système d'eau de réfrigération des auxiliaires (CCWS) est un circuit fermé rempli d'eau déminéralisée subvenant aux besoins en eau froide propre et non corrosive dans toute la centrale. Des pompes à eau de réfrigération sont installées pour assurer la recirculation. L'eau réchauffée est refroidie à nouveau au moyen de réfrigérants eau / eau alimentés par le système d'eau de réfrigération principale. L'eau du CCWS est traitée avec un inhibiteur pour protéger les composants du système contre la corrosion. Le débit d'eau de réfrigération vers chaque besoin est ajusté au moyen d'orifices afin de respecter les exigences spécifiques de température. Un réservoir en hauteur garantit le volume tampon nécessaire afin de s'adapter à la dilatation causée par les variations de température de l'eau dans le CCWS. Ce réservoir maintient également une pression suffisante dans tout le système et sert de réserve en cas de pertes d'eau. [4]

### **I.11.2 Système D'alimentation en Gaz Combustible :**

Le gaz est amené en limite de batterie par la tuyauterie de gaz du client commune aux trois unités de la centrale. Le gaz combustible alimente ensuite la station de lavage dans laquelle il est purifié de toute humidité et poussière. Dans la station de réduction de pression, la pression du gaz combustible est ajustée à la pression requise par le système de combustion de la turbine à gaz. Un filtre fin et un système de préchauffage de combustible sont installés en amont de chaque turbine à gaz. La turbine à gaz est ensuite alimentée en gaz. De plus, un analyseur de gaz naturel et un débitmètre sont également installés en amont de chaque turbine à gaz. [4]

### **I.11.3 Système D'alimentation en Gasoil:**

Le poste de dépotage du gasoil permet le remplissage des réservoirs de stockage à partir de camions citernes. Ce poste de dépotage est équipé d'un système de comptage du débit transféré depuis les camions vers le réservoir. Depuis les réservoirs de stockage, les pompes de transfert (2x100% par unité) assurent l'alimentation de la turbine à gaz à travers un poste de réchauffage électrique prévu pour conserver une viscosité suffisante en hiver. Un circuit secondaire permet également le remplissage du réservoir journalier du groupe électrogène. [12]



**Figure I-8** Groupe Electrogène de secours [12]

#### **I.11.4 Système de Synchronisation :**

Deux synchro-coupleur redondant assurent la synchronisation automatique de l'alternateur sur le réseau .en procédure normale , les deux synchro coupleur travaillent conjointement et compare leur état . L'ordre de fermeture sur GCB est envoyé uniquement si les deux synchro-coupleur le décide conjointement. [11]

#### **I.11.5 Système Electrique de la Centrale :**

Les équipements électriques sont conçus conformément aux normes de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI). L'alternateur commun à la turbine à gaz et à la turbine à vapeur est connecté au transformateur principal par des barres sous gaine à phases isolées.

Le circuit est équipé d'un disjoncteur alternateur, ce qui garantit un système électrique renforcé, une meilleure protection et une flexibilité de fonctionnement accrue.[10]

L'alimentation électrique auxiliaire nécessaire à la centrale à cycle combiné est dérivé des barres de l'alternateur par un transformateur auxiliaire à trois enroulements dont un est dédié au système de Distribution moyenne tension l'autre à l'alimentation du Convertisseur Statique de Fréquence de démarrage. [10,11]

Les systèmes électriques auxiliaires fonctionnent sous les niveaux de tension suivants :

- Distribution moyenne tension 6,6 kV

Alimentation de tous les consommateurs de plus de 250 kW et des systèmes de distribution basse tension à l'aide des transformateurs auxiliaires

- Appareillage électrique et tableaux électriques (MCC) basse tension 400 V

Alimentation de tous les consommateurs de moins de 250kW et des différents panneaux de distribution des sources auxiliaires, chargeurs et système UPS

- Systèmes 220 V CC

Deux jeux de batteries avec deux chargeurs et systèmes de distribution associés alimentant les pompes de secours, les convertisseurs de tension 220/110V cc et 220/24V cc

- Systèmes 230V CA UPS

Onduleurs, commutateurs statiques et panneaux de distribution alimentant les systèmes de contrôle du procédé et les systèmes informatiques

- Systèmes 110V CC avec deux convertisseurs de tension 220/110V cc et systèmes de distribution associés alimentant en 110V cc le contrôle des tableaux MT BT et des sources auxiliaires.

- Systèmes 24V CC avec deux convertisseurs de tension 220/24V cc et systèmes de distribution associés alimentant le Système de Contrôle Centralisé en 24.

## **I.12 Transformateur :**

### **I.12.1 Transformateur Principal :**

Le transformateur principal ou de puissance est le composant central du réseau et des systèmes de distribution.

Il adapte la tension de sortie de l'alternateur à la tension du réseau (20KV /400KV) et établit la connexion électrique entre ces deux éléments. Il comprend un boîtier, un noyau électromagnétique, un système de refroidissement et des traversées de connexion. [4]

Immerger dans huile.50Hz, YNd11



**Figure I-9** Transformateur Principal Elévateur [29]

### **I.13 Alimentation de Secours :**

Un groupe électrogène diesel de secours est prévu pour assurer en continu une alimentation fiable des systèmes auxiliaires essentiels, y compris les chargeurs de batteries, lorsque le réseau du service public et de la turbine à gaz ne sont pas disponible. [10]

### **I.14 Poste –blinde :**

Est un assemblage de bloc modulaire appelé compartiment, dont l'isolation est réalisée par un gaz isolant typiquement le (SF6) .

Le poste blindé comporte :

Des Jeu de barre, disjoncteurs, sectionneur, sectionneur de mise à la terre transformateur de courant et de tension. Systèmes électriques sensibles. [10]

**I.15 Éclairage :**

La centrale sera équipée d'un système d'éclairage normal, de secours, et de sécurité afin d'assurer un éclairage des bâtiments et des zones pour le personnel d'exploitation et de maintenance. [10]

Le tableau d'éclairage de secours est alimenté depuis le tableau des auxiliaires essentiels communs secourus par le diesel.

L'éclairage de sécurité prévu pour les issues de secours et est assuré au moyen de bloc autonome de sécurité. [10]

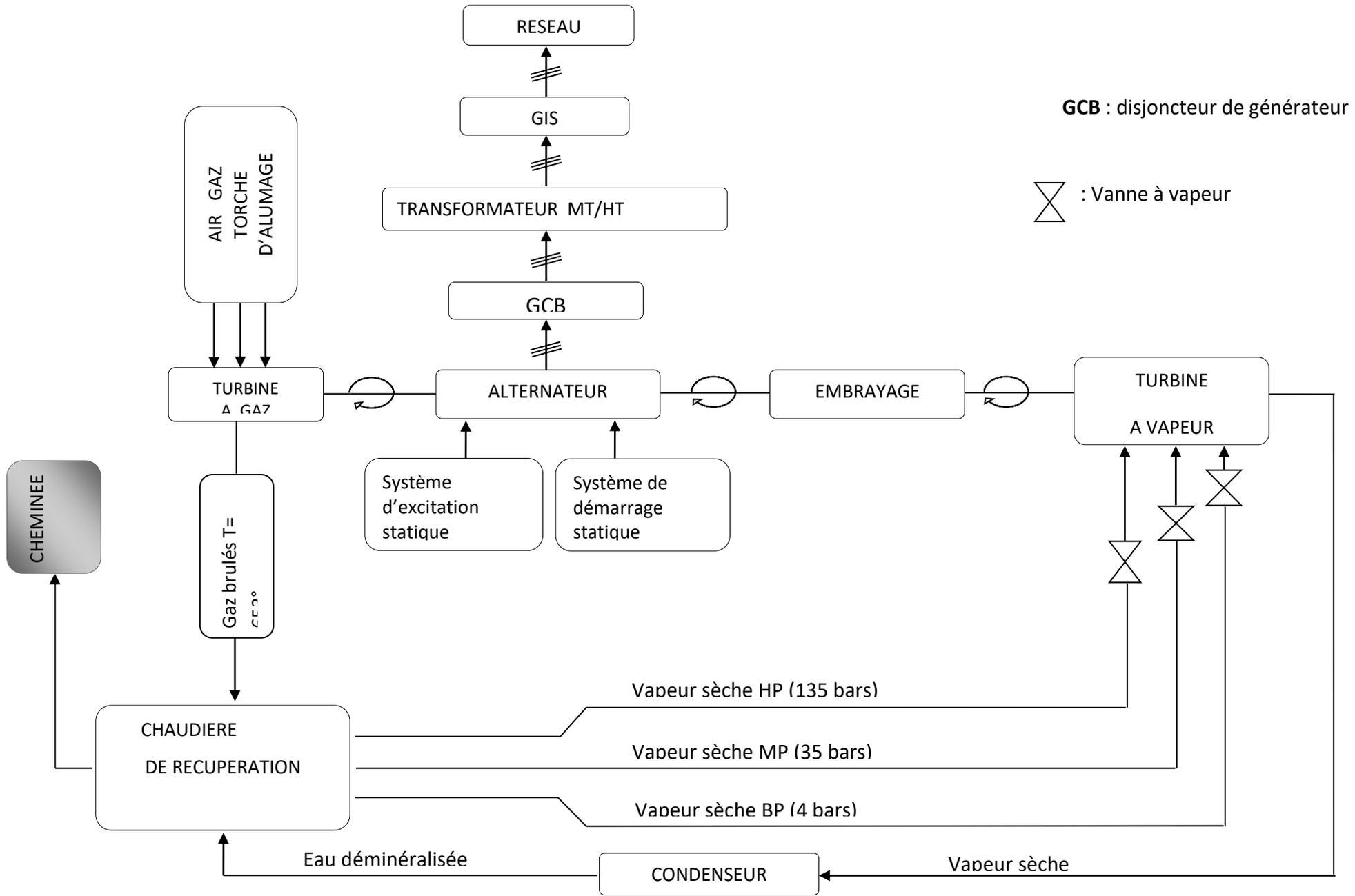


Figure I-10 Principe de fonctionnement de la centrale



**I.16 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenter le cycle combiné, comme nous avons cité les avantages du cycle combiné et de quoi il est composé et comment fonctionne une turbine à gaz (TG) et la turbine à vapeur (TV) ainsi que tout le cycle de vaporisation de l' eau et sa condensation , et le plus important comment tout ces élément fonctionne ensemble pour produire une force mécanique indispensable au générateur afin de produire de l'énergie électrique

On a décrit aussi tout les systèmes électriques de la centrale et leur fonctionnement.

# CHAPITRE II

---

## SYSTEMES STATIQUES DE DEMARRAGE

### II.1 Introduction :

Le Système statique de démarrage (SSD) est utilisé uniquement pour démarrer et lancer la turbine gaz qui sera allumée après avoir atteint environ sa vitesse nominale.

Lors du démarrage de la TG, le disjoncteur de l'alternateur est ouvert. [13]

Pour lancer la TG, l'alternateur est utilisé en moteur synchrone et alimenté via le SSD par le transformateur lui-même alimenté par le réseau HT à travers le transformateur principal.

En cas de démarrage par les groupes électrogènes, le SSD sera alimenté par le transformateur lui-même alimenté par le tableau de distribution 6,6 kV des groupes électrogènes.

N'ayant pas de SSD, la tranche 3 sera démarrée par le SSD des tranches 1 ou 2.

Pendant la phase de démarrage en moteur synchrone, la tension fournie au stator de l'alternateur est d'abord redressée et ensuite transformée en tension triphasée à fréquence variable par le démarreur statique.

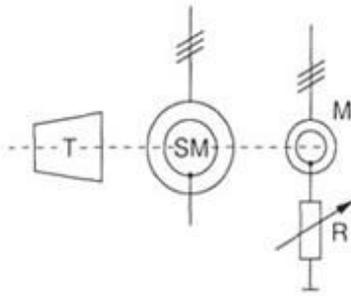
Le système de démarrage de l'excitation fournit le courant continu aux enroulements d'excitation du rotor, produisant ainsi le champ magnétique, qui permet au rotor de l'alternateur de tourner. [13]

### II.2 Méthodes de Démarrage :

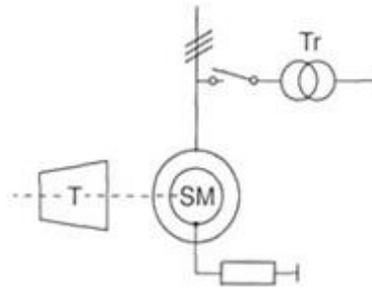
La finalité du dispositif de démarrage est d'accélérer une machine en rotation pour qu'elle atteigne une vitesse lui permettant de fonctionner de manière autonome.

La figure 1 donne une vue d'ensemble des différentes méthodes de démarrage. Pour le démarrage d'un turbogénérateur à gaz, la solution (e) (démarrage avec un système de démarrage statique) est la plus appropriée du point de vue de l'efficacité et de la consommation électrique. Ce type de dispositif est communément utilisé dans les grands alternateurs de turbine à gaz. [13]

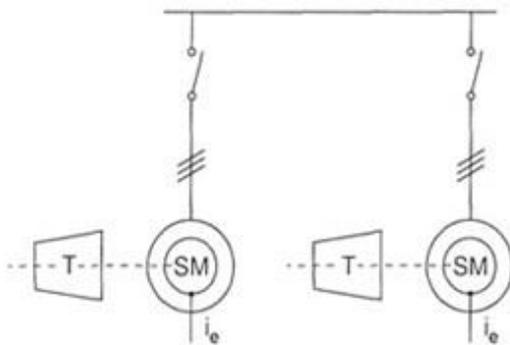
a: Démarrage avec moteur à démarrage



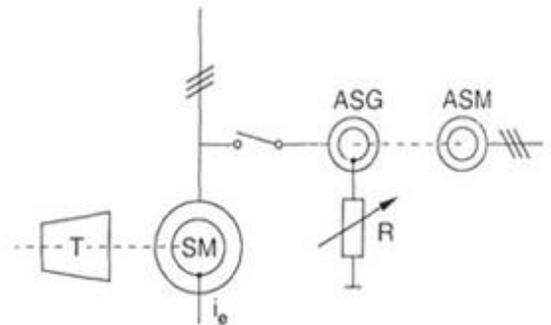
b: Démarrage avec transformateur ou direct



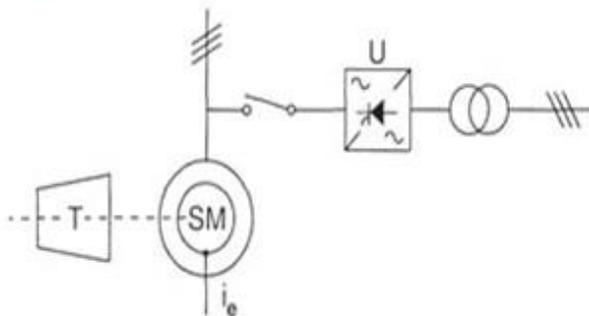
c: Démarrage à fréquence avec machine auxiliaire synchrone



d: démarrage à fréquence avec générateur asynchrone disposition à (UNGER)



e: Démarrage à fréquence avec convertisseur de fréquence statique (convertisseur statique de démarrage)



- ASG= Générateur Asynchrone
- ASM = Moteur Asynchrone
- M= Moteur à démarreur
- R= Résistance variable
- SM= Machine synchrone
- T= Turbine
- Tr= Transformateur de démarrage
- U= Convertisseur de fréquence
- I<sub>e</sub> = courant d'excitation

Figure II-1 Méthodes de Démarrage [13]

### II.3 Fonctions du Système Statique de Démarrage SSD :

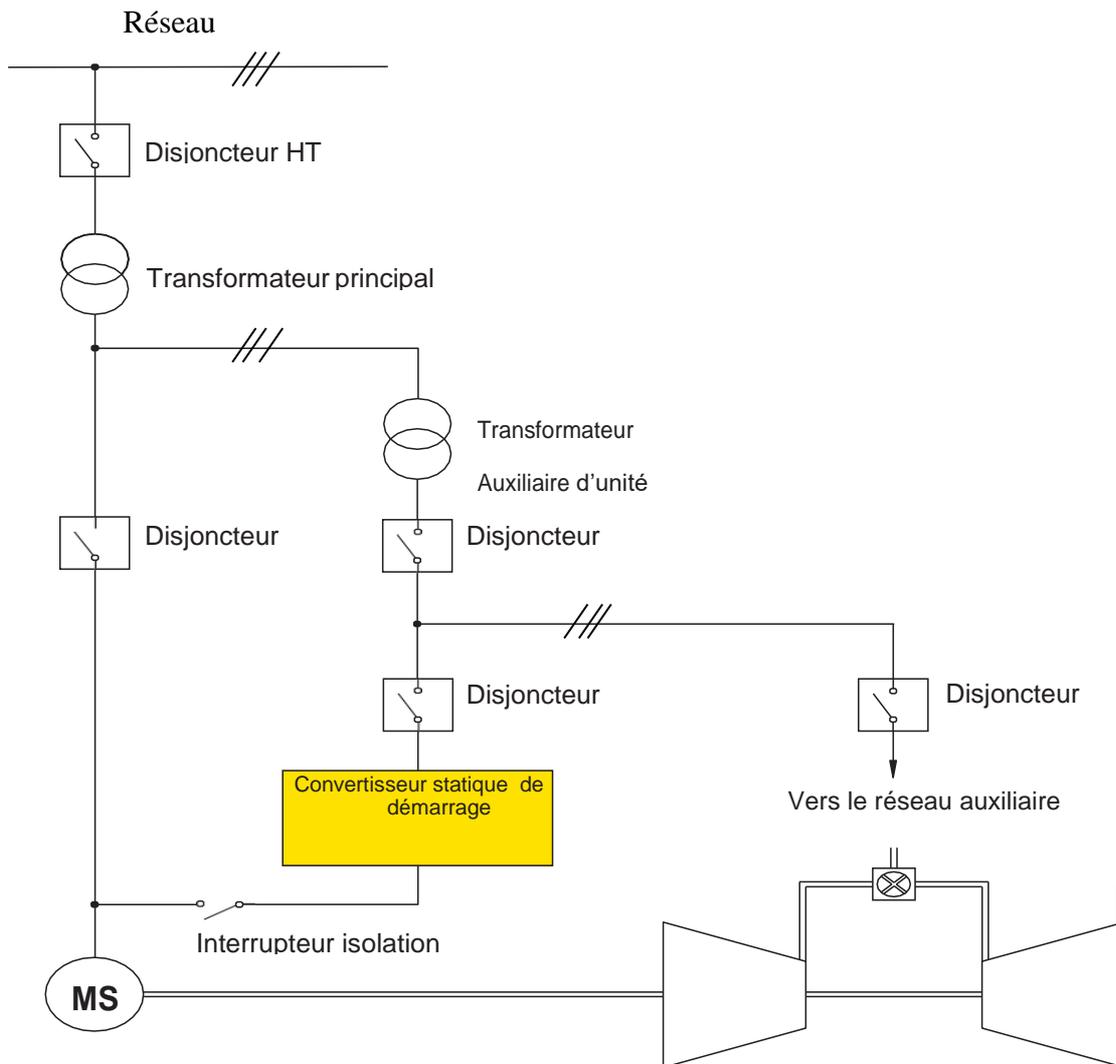
Le système statique de démarrage (SSD), aide des systèmes raccordés (alternateur, arbre de la turbine), exécute plusieurs fonctions: [13]

- Il permet à la turbine à gaz de passer de l'immobilisation à sa vitesse de rotation autonome lors du démarrage. Au-delà de cette vitesse, le turbogénérateur à gaz peut produire assez de puissance pour poursuivre sa propre accélération.
- Il utilise le compresseur/turbine comme une soufflante pour purger l'alternateur de vapeur à récupération de chaleur. Ceci se produit avant le démarrage lorsque le turbogénérateur est utilisé en mode de cycle combiné.
- Il fournit de la puissance motrice pour permettre la rotation de la turbine à gaz lors du lavage hors ligne du compresseur.
- Il fournit également de la puissance motrice pour permettre la rotation de la turbine à gaz lors du refroidissement rapide (à vitesse réduite).

### II.4 Rôle du Système Statique de Démarrage au Démarrage :

Lors du démarrage de la turbine à gaz, le SSD: [13]

- Se fournit en électricité soit:
- grâce au réseau à haute tension (HT).
- grâce à un alternateur à moteur diesel raccordé au bus auxiliaire.
- Convertit la tension et la fréquence d'alimentation constantes en une tension et une fréquence variables (en fonction de la vitesse de l'accélération du turbogénérateur) fournies à l'enroulement du stator de l'alternateur.
- Fournit un courant d'excitation de démarrage continu à l'enroulement du rotor de l'alternateur.
- Utilise donc l'alternateur comme un moteur synchrone pendant la période de démarrage.



**Figure II-2** Schéma Unifilaire Système de Démarrage Statique [13]

## **II.5 Notions de Base Concernant le Dispositif de Démarrage Statique :**

### **II.5.1 Fonctionnement des Composants du SSD :**

Pour convertir l'alimentation triphasée de tension et de fréquence constantes en une tension et une fréquence variables: [13]

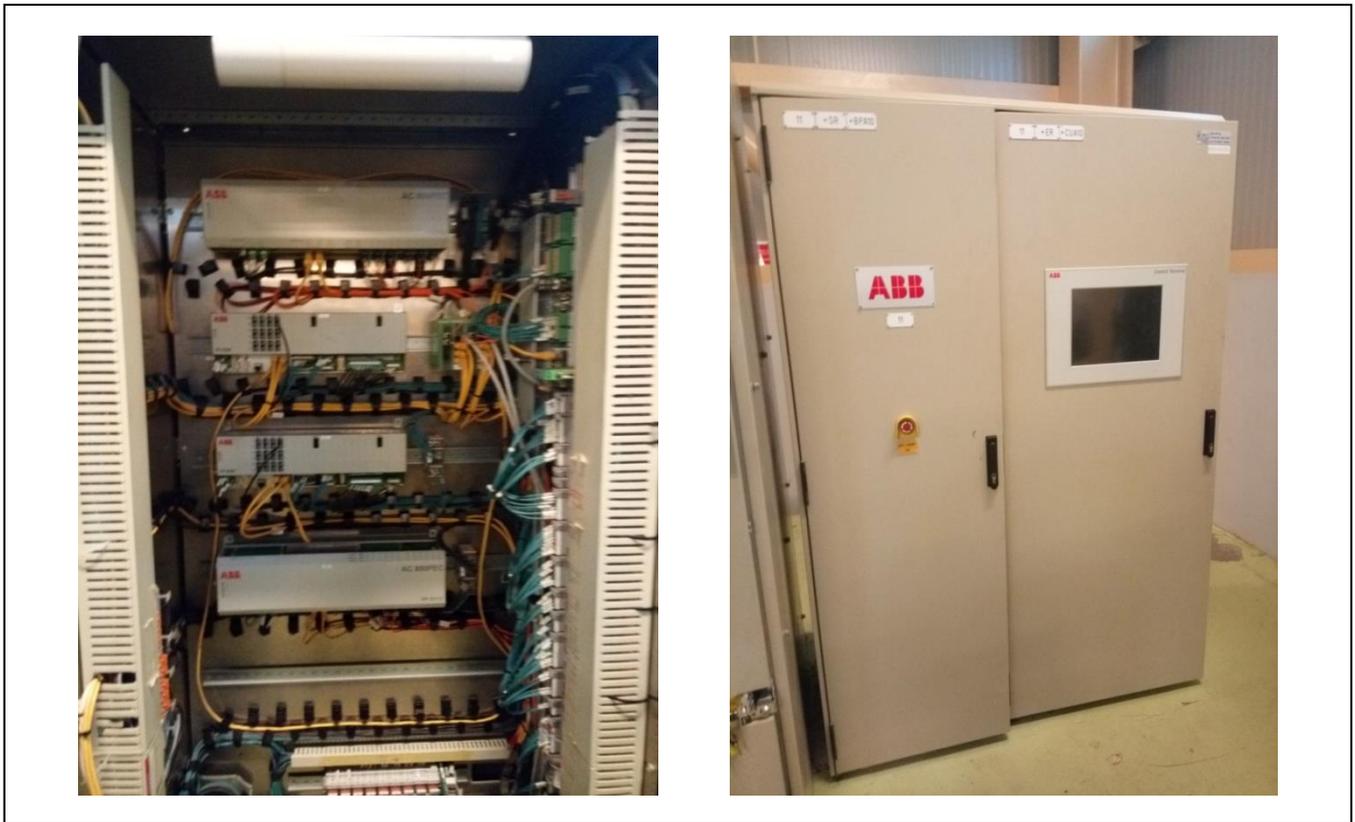
- Le SSD est composé de deux convertisseurs thyristorisés en trois connexions à pont.
- La première sert de redresseur
- La deuxième d'onduleur
- Les deux convertisseurs sont reliés par un réacteur CC pour le découplage (lissage du courant CC).
- Une boucle de régulation ajuste le courant électrique entre le redresseur et l'onduleur.
- Elle agit sur les thyristors du redresseur.
- La tension de ligne garantit que le courant électrique est commuté correctement d'un thyristor à l'autre.

Le courant nécessaire à l'enroulement du rotor de l'alternateur est fourni par :

- un système d'excitation séparé (différent et plus petit que le système d'excitation actuel de l'alternateur).

Le SSD nécessite un signal d'interface minimum vers/du système de commande du turbogénérateur à gaz.

- Toutes les fonctions concernant la régulation et la protection sont intégrées dans le SSD.



**Figure II-3** Armoires de SSD &SES Pour Commander [29]



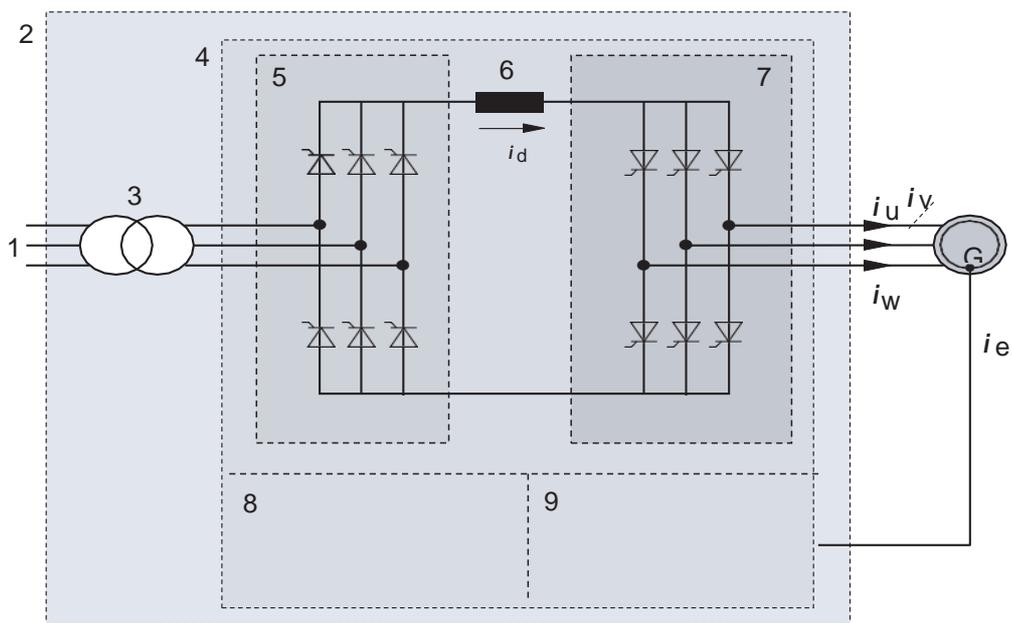
**Figure II-4** Armoires de Disjoncteur du SSD & SES [29]

### II.5.2 Finalité D'un Thyristor :

Dans les ponts triphasés mentionnés ci-dessus:

Les thyristors sont utilisés comme des éléments de commutation. Ils sont allumés par une impulsion à gâchette et éteints par un courant diminuant jusqu'à zéro.

Le flux électrique moyen à travers les thyristors varie en fonction du moment relatif (au cours d'une période de l'onde sinusoïdale) de la commutation de ces derniers. Ceci est nommé l'angle d'amorçage.[13,14]



**Figure II-5** Convertisseur Statique [13]

- 1 Côté d'alimentation en énergie électrique
- 2 Convertisseur statique de démarrage
- 3 Transformateur base tension
- 4 Convertisseur de fréquence statique
- 5 Redresseur
- 6 Réacteur de liaison CC
- 7 Onduleur
- 8 Système de contrôle et de protection
- 9 Système d'excitation de démarrage

### II.5.3.1 Principe de Fonctionnement D'un Thyristor :

Un thyristor possède trois jonctions P-N, nommées  $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$  à partir de l'anode. Quand  $V_{ak}$  est positive (anode positive par rapport à la cathode), mais qu'aucun courant n'entre par la gâchette, les jonctions  $J_1$  et  $J_3$  sont polarisées positivement (tension positive sur P par rapport à N), tandis que  $J_2$  est polarisée négativement (tension positive sur N par rapport à P).  $J_2$  empêche donc la conduction. [14]

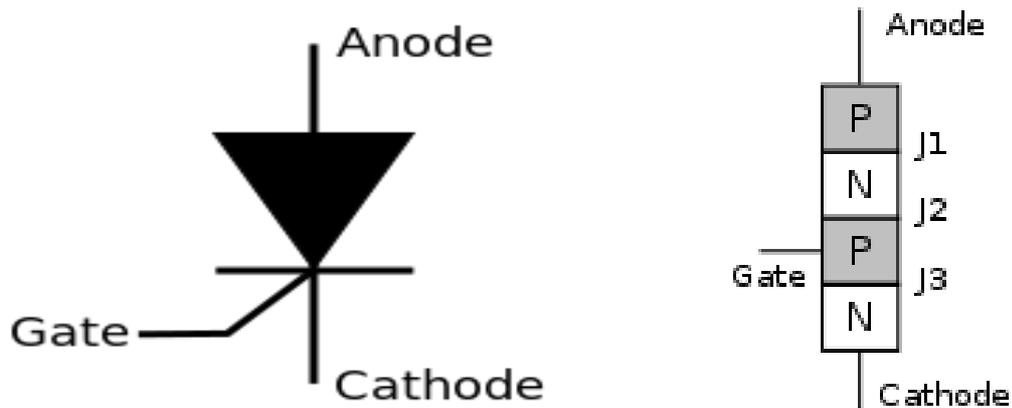
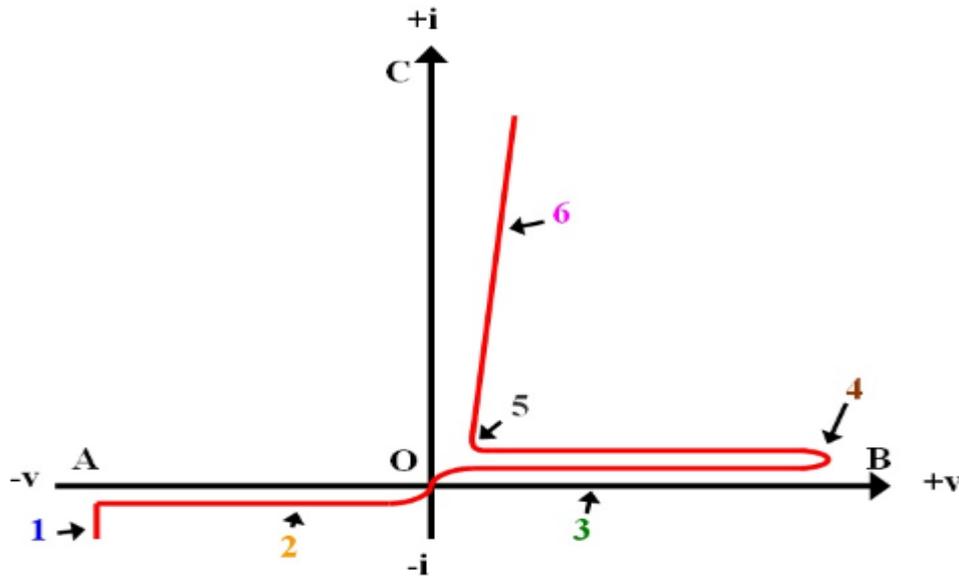


Figure II-6 Thyristor [14]

### II.5.3.2 Caractéristique d'un Thyristor est Présentée Ci-contre :

1. Avalanche, ou tension de claquage négative.
2. Courant inverse.
3. Courant de fuite direct.
4. Tension d'amorçage (tension de « claquage » positive) directe.
5. Courant de maintien.
6. Courant de conduction.



**Figure II-7** Caractéristique d'un Thyristor. [14]

### II.5.3.3 Interprétation du Thyristor

Si la tension ( $V_{ak}$ ) dépasse la valeur de la tension d'amorçage, alors la jonction  $J_2$  se met à conduire, le thyristor aussi.

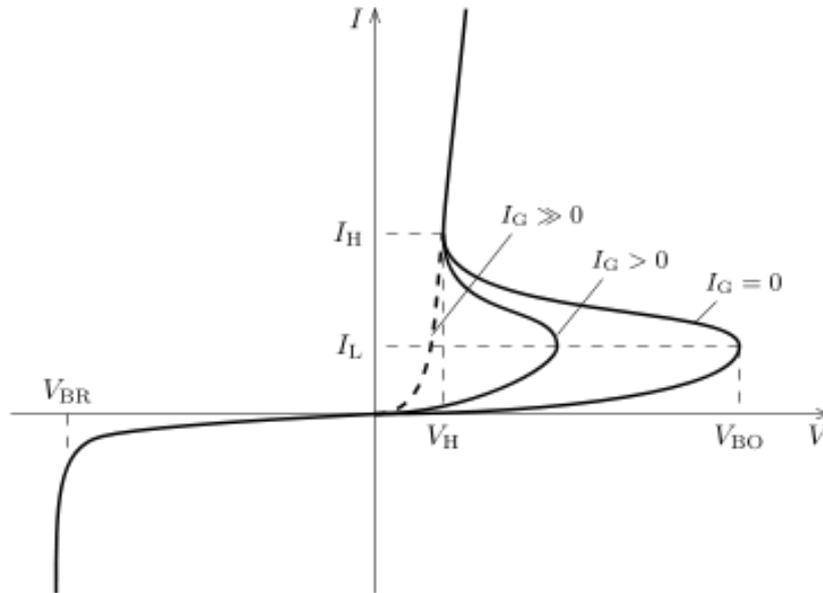
Si ( $V_{gk}$ ) est positive, alors la valeur de la tension d'amorçage diminue : ( $V_{ak}$ ) doit être plus faible pour que le thyristor conduise. En choisissant judicieusement  $I_{gk}$ , on peut amorcer facilement le thyristor.

Une fois que l'effet d'avalanche a eu lieu, le thyristor continue à conduire quelle que soit la valeur du courant de gâchette jusqu'à ce que, soit :

1. Le courant ( $I_{ak}$ ) devient inférieur à la valeur du courant de maintien.
2. ( $V_{ak}$ ) devient négative.

( $V_{gk}$ ) peut donc être délivrée de manière impulsionnelle, par exemple grâce à la tension de sortie d'un oscillateur de relaxation de type transistor uni-jonction.

Quand le thyristor se trouve dans un système en courant alternatif sinusoïdal, ce qui est généralement le cas, il est d'usage de définir le retard  $t_0$ , entre le moment où  $V_{ak}$  devient positive et le début de l'impulsion de la gâchette, par un angle, appelé « angle de retard à l'amorçage (ou à l'ouverture) » est noté  $\alpha$ , tel que  $\alpha = \omega \times t_0$ . [15,16]



**Figure II-8** Influence du courant de gâchette sur la caractéristique d'un thyristor [15]

La gâchette est caractérisée par sa tension d'amorçage, notée  $V_{gk}$ , et son courant d'amorçage, noté  $I_{gk}$ , le circuit de commande doit être tel que la droite de charge du générateur soit placée dans la partie de l'amorçage sûr de la caractéristique tension/courant de la jonction gâchette-cathode. La durée de l'impulsion dépend de la nature de la charge, en cas de charge inductive l'impulsion doit avoir une durée supérieure au temps nécessaire pour que le courant  $I_{ak}$  dépasse la valeur du courant de maintien  $I_H$ . Le temps total d'amorçage du thyristor (délai d'amorçage plus temps d'amorçage) est dépendant de l'amplitude du courant de gâchette, plus ce courant est élevé plus le temps est court et inversement. [15,16]

## II.6 Génération D'un Couple Sur le Rotor : [13]

Une installation très simplifiée du bloc thyristor onduleur et de l'alternateur raccordé:

- Au niveau des trois instants sélectionnés  $t_1$ ,  $t_2$  et  $t_3$ .
- Le courant électrique traverse deux des enroulements du stator triphasés au même moment.
- Deux thyristors sont allumés en même temps.
- Le courant traversant les enroulements du stator produit le flux magnétique en résultant  $\Phi_i$ .
- Le vecteur  $\Phi_i$  tourne par pas de 60 degrés en fonction de la séquence des paires de thyristors activés.
- Le système d'excitation de démarrage fournit du courant aux enroulements de l'excitatrice du rotor, produisant ainsi un flux magnétique  $\Phi_e$ .

Il en résulte un couple électromagnétique:

- Dont la valeur atteint un maximum lorsque le flux magnétique  $\Phi_e$  est perpendiculaire au flux  $\Phi_i$ .
- Il tourne le rotor dans la direction de la force en action. Lorsque le rotor a tourné de 60 degrés, la paire suivante de thyristor est activée (rotation du vecteur  $\Phi_i$  de 60 degrés, un couple maximal étant alors à nouveau produit sur le rotor).

Le moment de la commutation séquentielle des paires de thyristor est indiqué par la position actuelle du rotor.

- Il est dérivé de la tension de l'alternateur
- l'onduleur est alors commuté en fonction de la charge (comparer le type du convertisseur LCI, Load commutated Converter, pour le terme « commutation »).

Au moment du démarrage, la position est inconnue :

- dans une première étape, le courant d'excitation vers le rotor est activé. Ceci induit une tension dans les enroulements du stator qui est mesurée par les circuits de régulation du convertisseur statique de fréquence (SFC).
- Si le rotor est à l'arrêt, la position actuelle du rotor est calculée par la „réaction“ du courant d'excitation croissant sur les enroulements du stator.

- Si le rotor est encore en rotation, le SFC effectue une synchronisation avec le rotor en rotation.
- La partie convertisseur - onduleur est ensuite démarrée. [13]

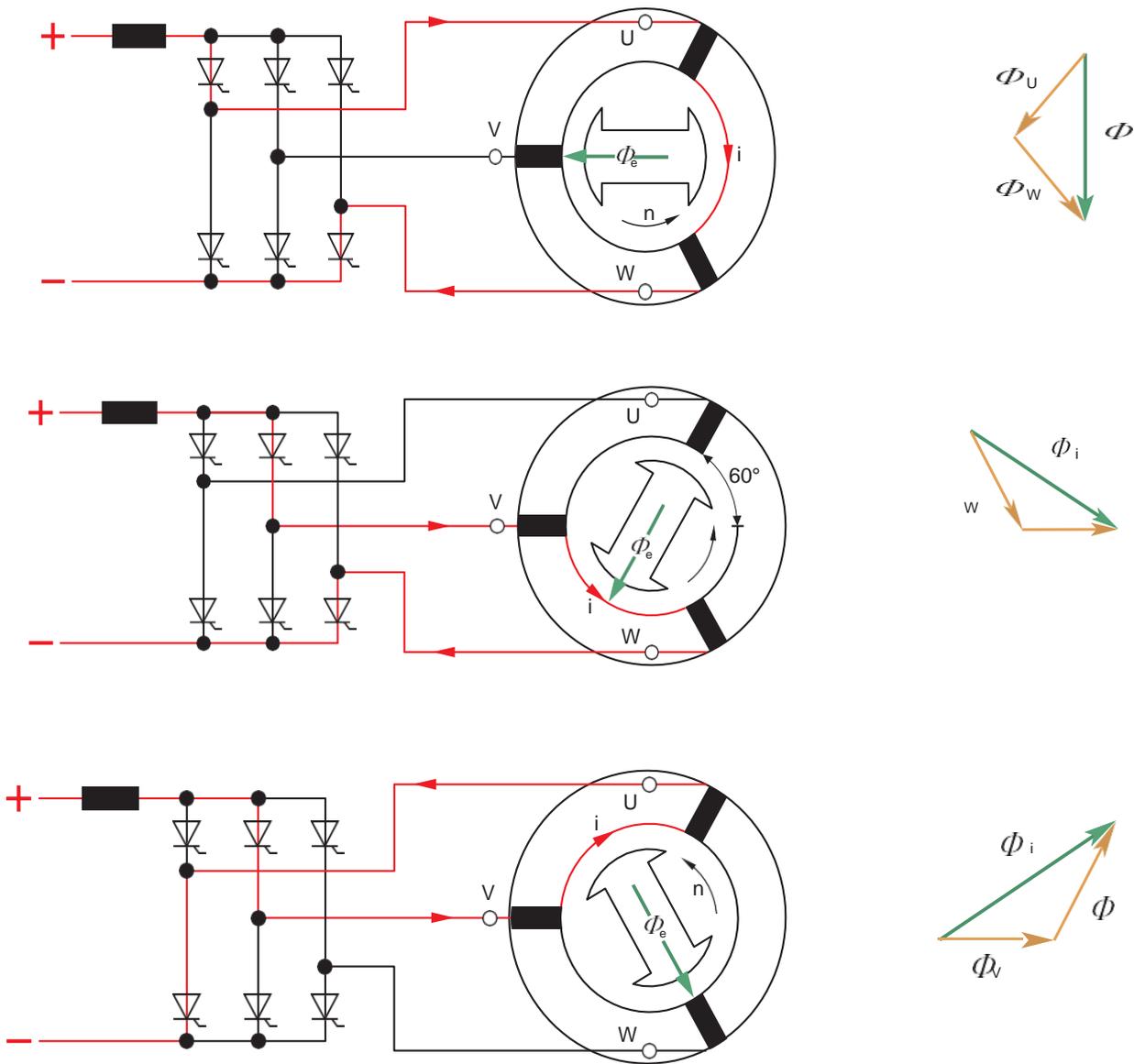


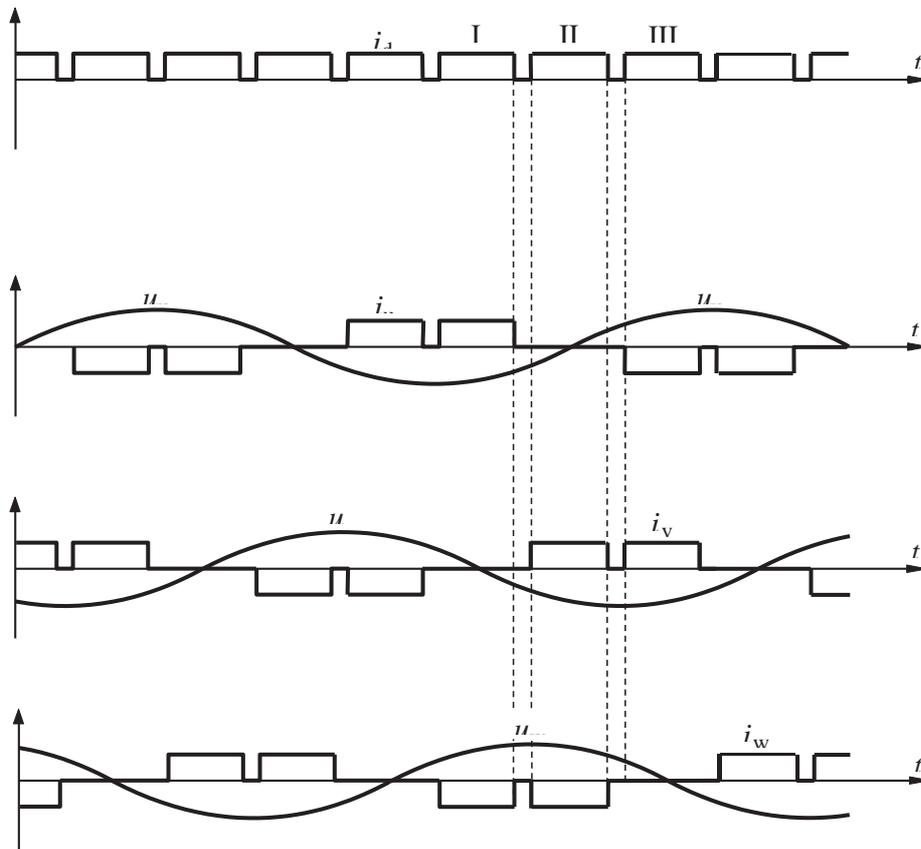
Figure II-9 Moteur synchrone alimenté par un onduleur [13]

**II.7 Fonctionnement Pulsé et Commandé par la Machine :****II.7.1 A vitesse de rotation faible:**

- La machine ne fournit pas assez de tension pour permettre la commutation (transfert) du courant électrique dans l'onduleur d'un thyristor à l'autre ;
- Le redresseur se charge donc de la commutation en fonctionnement pulsé (ou mode pulsé). A chaque fois que le courant de l'onduleur doit être commuté ;
- Le redresseur (en ligne, côté entrant) réduit le courant CC à zéro;
- Les thyristors de l'onduleur commencent à se bloquer;
- ensuite, la nouvelle paire de thyristors de l'onduleur est à nouveau allumée;
- Ceci produit une impulsion du courant (I) à vitesse réduite. [13]

**II.7.2 A vitesse plus élevée:**

- La tension à la sortie de l'onduleur est assez élevée pour commuter le courant:
- le courant qui traverse le thyristor venant d'être allumé accroît rapidement, alors que simultanément, le courant qui traverse l'autre thyristor approche de zéro bloquant le thyristor.
- le courant CC ne va plus vers zéro.
- Ce mode de fonctionnement est appelé fonctionnement à commande machine ou fonctionnement commuté par la machine. [13]



**Figure II-10** Fonctionnement Pulsé et Commandé Par la Machine [13]

**Légende:**

$u_u, u_v, u_w$  Tensions des phases

$i_u, i_v, i_w$  Courants des phases

$i_d$  Courant de liaison intermédiaire

I Courant conducteur d'enroulement u et w

II Courant conducteur d'enroulement v et w

III Courant conducteur d'enroulement u et v

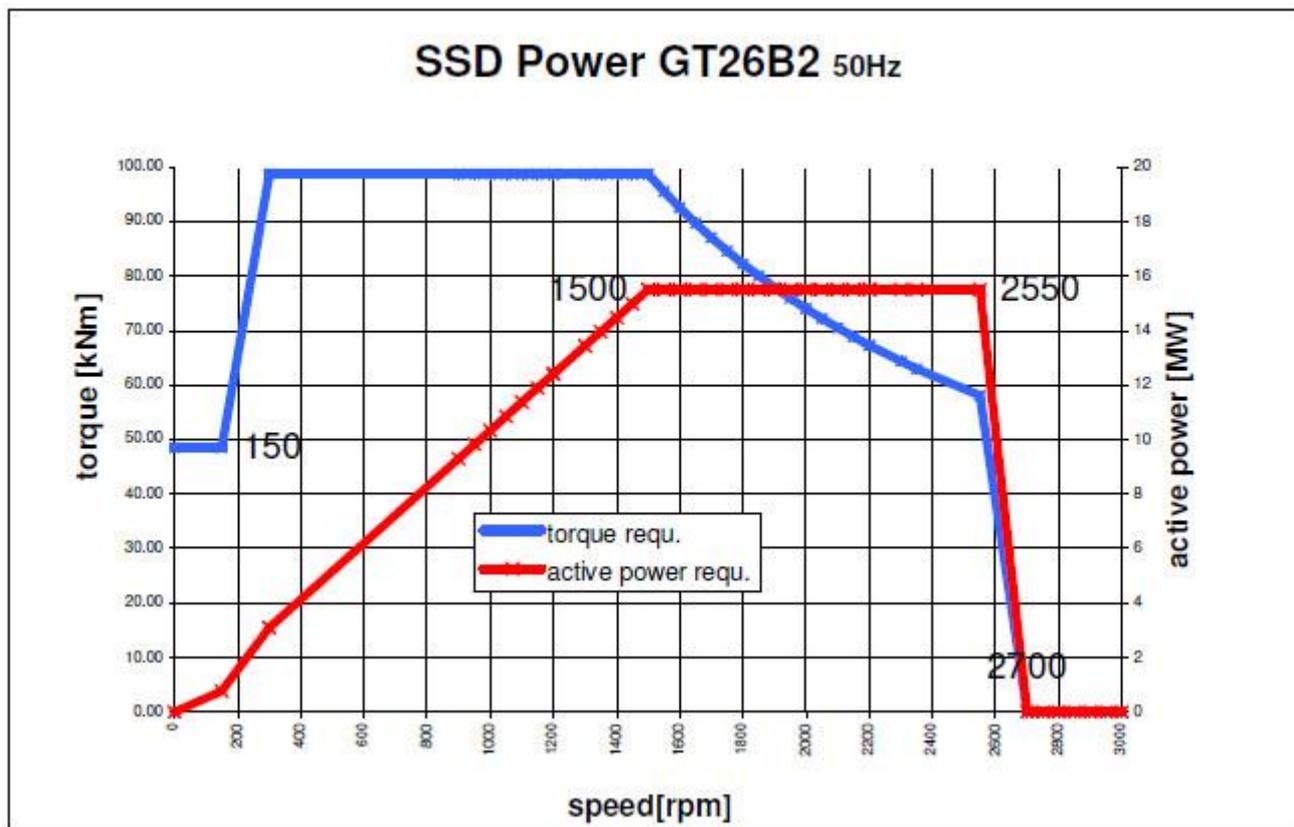


Figure II-11 Courbes de Démarrage de la TG-26 [2]

Torque = Couple (kNm)

Active Power = Puissance active délivré par le C.S.F. [11,12]

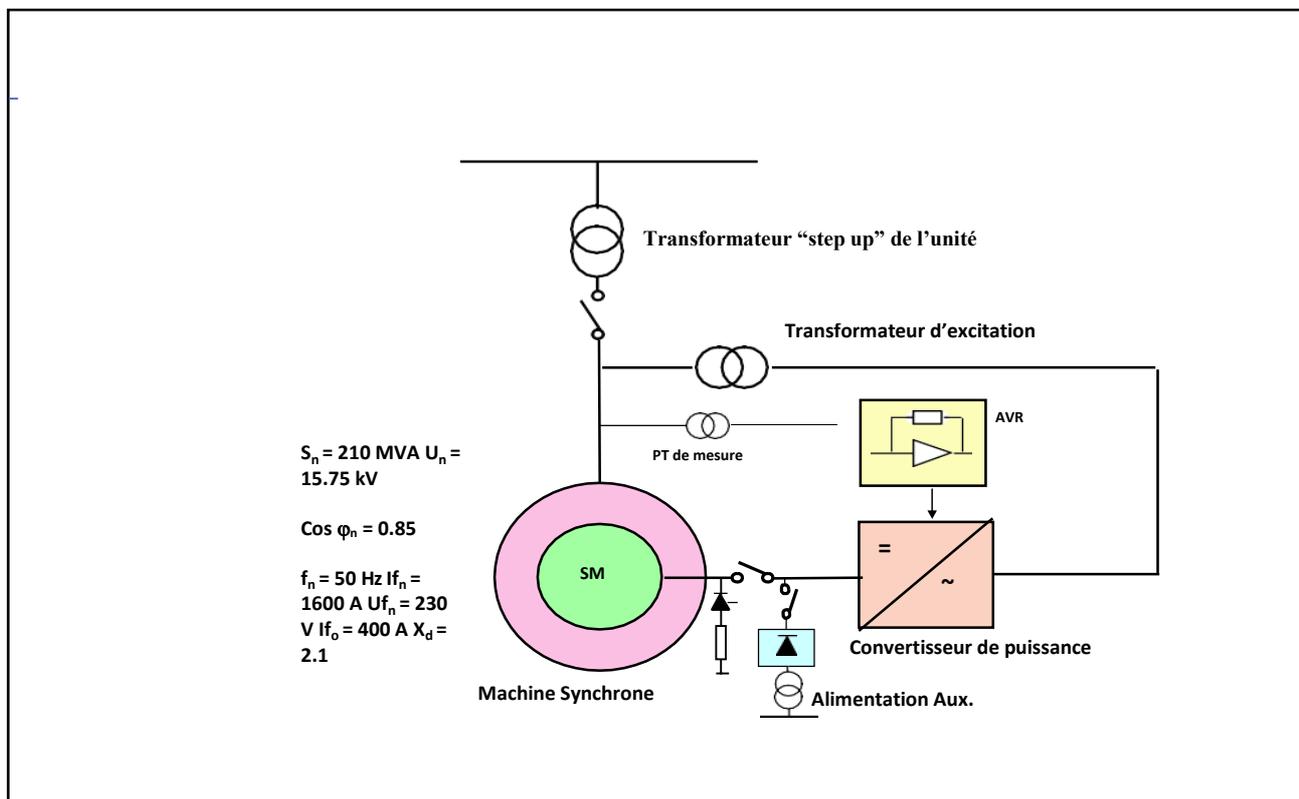
## Système d'excitation statique SSE

### II.1 Introduction :

Ce type de système d'excitation est souvent utilisé pour les alternateurs hydrauliques et les grands turboalternateurs avec une puissance supérieure à 50 MVA. Les exceptions dépendent des exigences des clients. [15]

La puissance pour le système d'excitation est prise des bornes de l'alternateur. Le régulateur de tension automatique travaille à travers un organe de puissance à semi-conducteurs qui est très souvent un convertisseur à thyristors ou à transistors bipolaires à grille intégrée (IGBT).

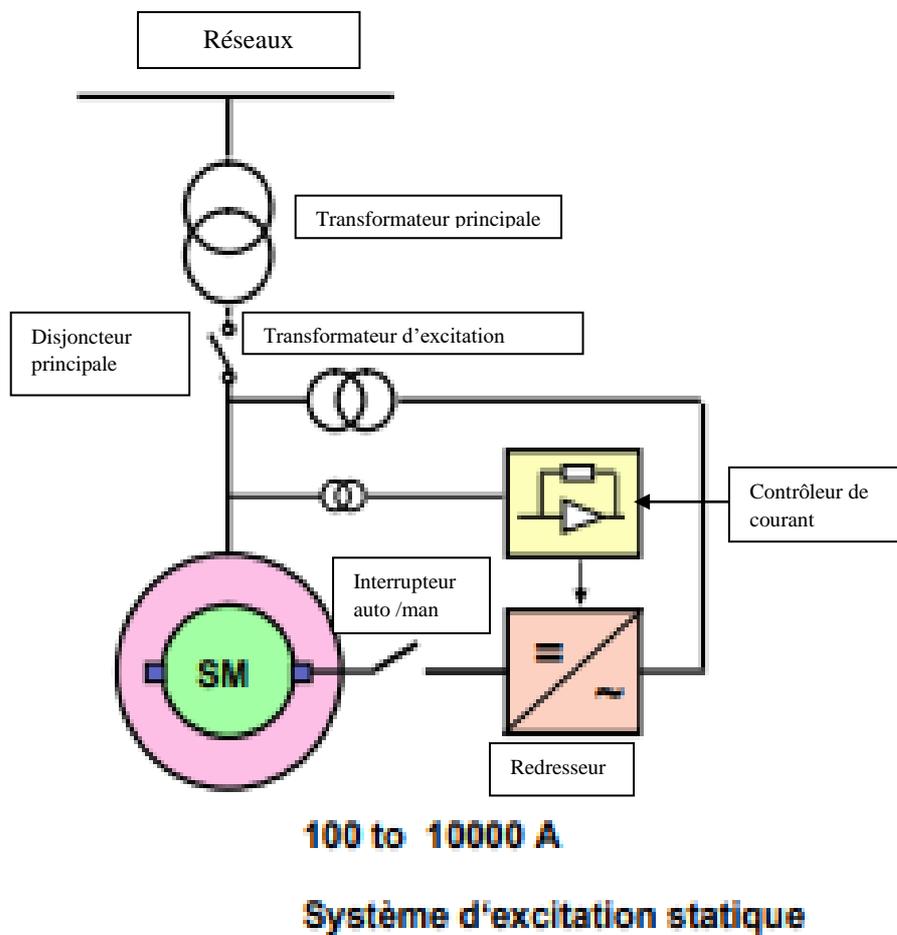
Le régulateur de tension avec le convertisseur de puissance et le transformateur d'excitation ainsi que le disjoncteur du champ forment les composants principaux d'un système d'excitation statique. [17]



**Figure II-12** Système D'excitation d'un Mode D'alimentation [15]

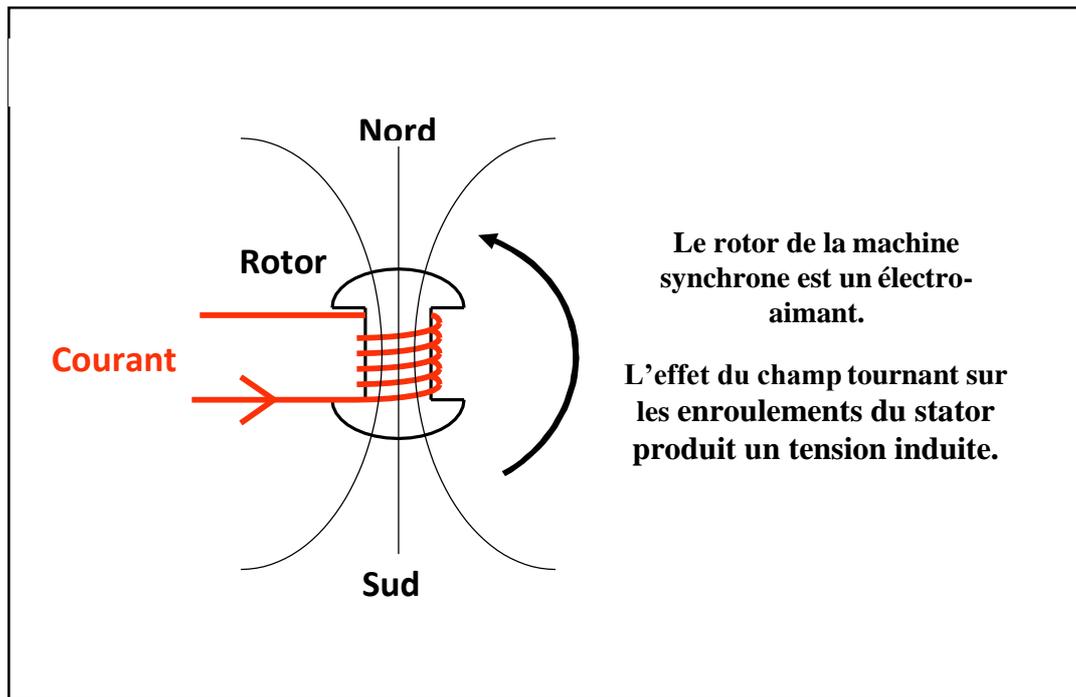
**II.2 Composant d'un Système Statique D'excitation :**

Il est constituée d'un redresseur qui convertit le courant alternatif en courant continu et un système de balais et collecteurs tournants qui transmettent le courant de la source à la bobine du rotor. Le contrôle de la tension s'effectue dans le pont de diodes qui peut régler l'amplitude de la tension de sortie. [18]



**Figure II-13** Système D'excitation Statique [15]

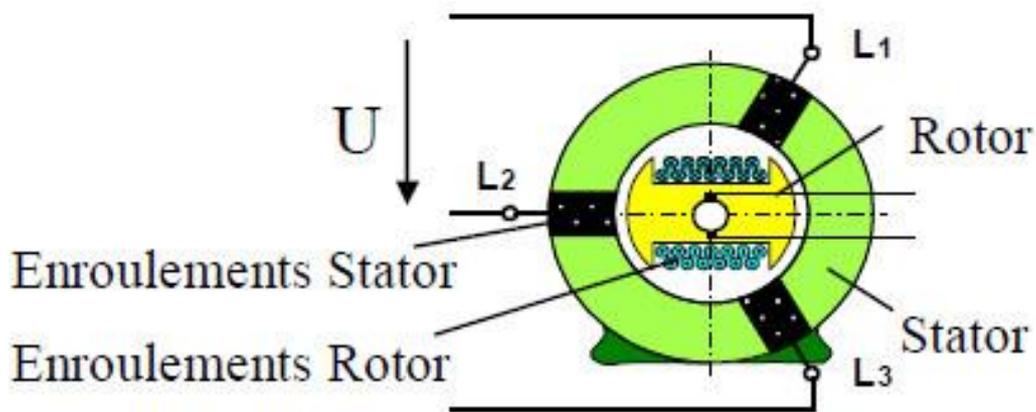
**II.2.1 Théorie de Base de Système D'excitation:**



**Figure II-14** Théorie de Base de Système d'excitation [18]

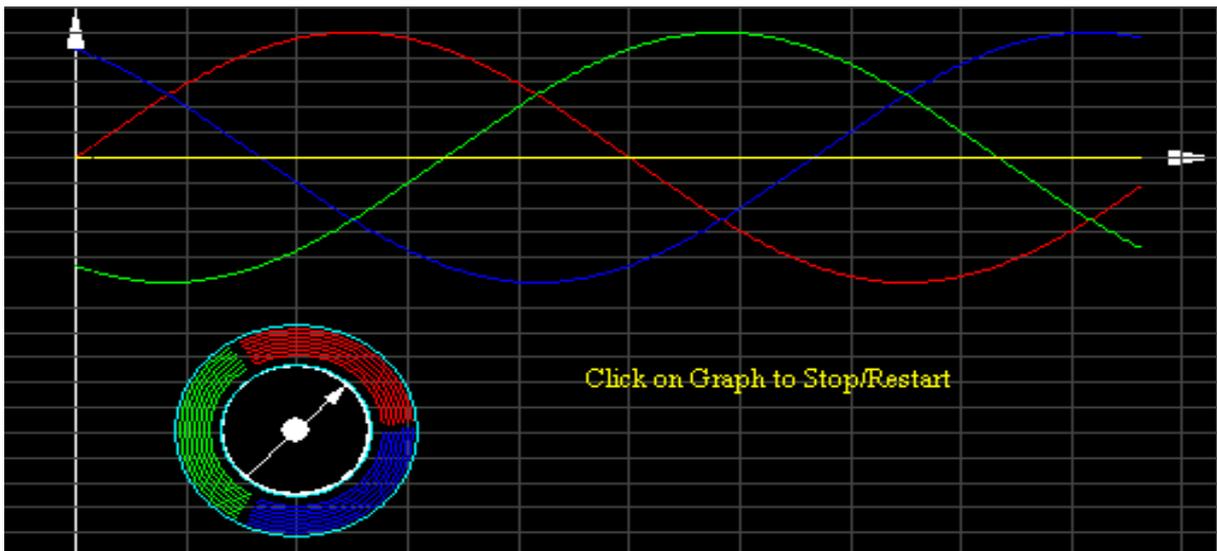
**II.3 Principe Générant la Production de la Tension**

La génération d'une tension dans une machine synchrone est basée sur le principe d'induction décrit ci-après. La variation du flux dans l'enroulement statorique de la machine synchrone provoque une tension induite. [16]



**Figure II-15** Tension dans la Machine Synchrone [16]

Le flux est produit par le courant dans l'enroulement rotorique alimenté par le système d'excitation. La variation du flux dans l'enroulement statorique est due au mouvement du rotor. Le flux induit la tension dans l'enroulement statorique, comme la Figure-16 ci-dessous le montre: [14]



**Figure II-16** Tension d'induite [15]

Dans chaque système d'excitation, tous les composants principaux peuvent être identifiés facilement. Selon l'âge et le type du système, le matériel peut varier énormément, cependant les composants de base peuvent encore être classés.[19]

### II.3.1 Production du Courant Rotorique :

Le rotor de la machine doit être alimenté avec un courant.

Par exemple ce pourrait être par: un grand convertisseur électronique de puissance (direct), ou une petite alimentation pour une excitatrice tournante qui produit à son tour le grand courant du rotor. (Système indirect). [18,19]

### II.3.2 Alimentation en Puissance :

Le système d'excitation a besoin d'une alimentation pour pouvoir produire un courant. Il y a beaucoup de configurations différentes.

L'alimentation en dérivation – L'alimentation est prise des bornes de la machine.

L'alimentation depuis une ligne – L'alimentation est prise d'une source auxiliaire.

Générateur à aimants permanents – C'est un petit générateur à aimants permanents qui est monté sur le même arbre que la machine principale. [19]

### II.3.3 Contrôle Du Courant :

La manière de produire le courant: il y a plusieurs méthodes pour contrôler la quantité de courant produit. Dans le cas d'un système de contrôle relativement récent, le courant rotorique est contrôlé par convertisseur à semi-conducteurs. [17]

### II.3.4 Régulation De Tension :

La régulation de tension est contrôlée par le système de Régulation de Tension Automatique (AVR en anglais). Le régulateur de tension varie le courant du rotor automatiquement pour maintenir la tension aux bornes de la machine synchrone en cas de changement de la charge. [16-19]

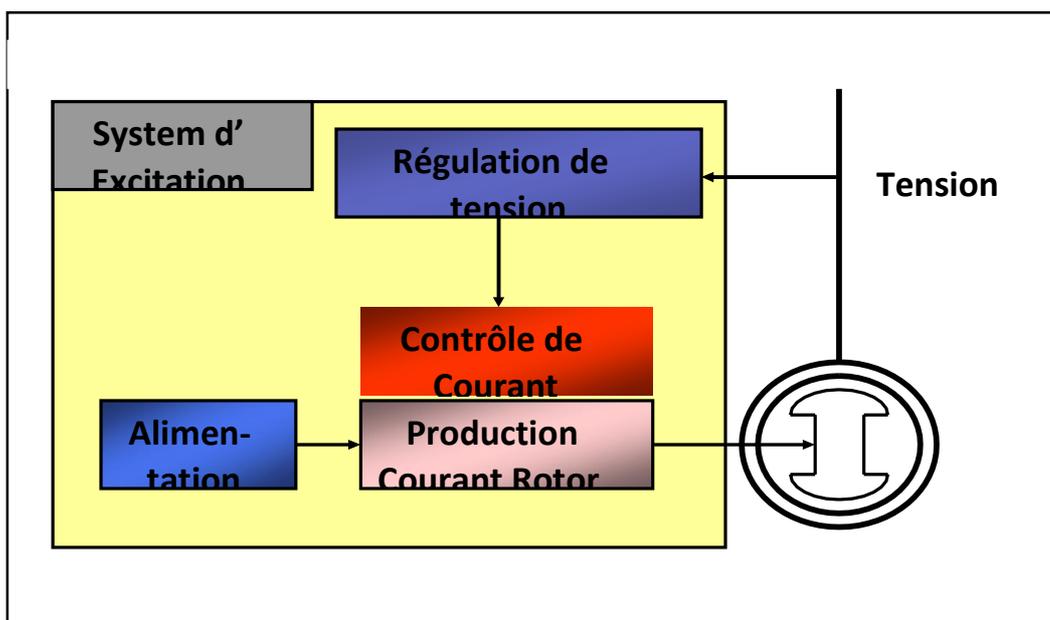


Figure II-17 Principe Générant la Production de la Tension [16]

### II.4 Système d'Excitation Dans la Centrale Electrique :

L'alimentation principale pour la production du courant du rotor est prise des bornes de l'alternateur et alimente le système d'excitation via le transformateur d'excitation.[17]

La sortie du système d'excitation est appliquée sur les bagues de l'enroulement rotorique.

La tension et le courant de la machine sont mesurés au moyen de transformateurs de potentiels PT et transformateurs de courant CT. Ces signaux sont utilisés pour contrôler la tension de l'alternateur et la puissance réactive.[18]

Le système d'excitation est commandé par les opérateurs depuis la salle de commande via l'interface du contrôle comme illustré.

L'image ci-dessus montre les connexions vers le système d'excitation dans une centrale électrique. Habituellement le système d'excitation est localisé près de la machine synchrone. [19]

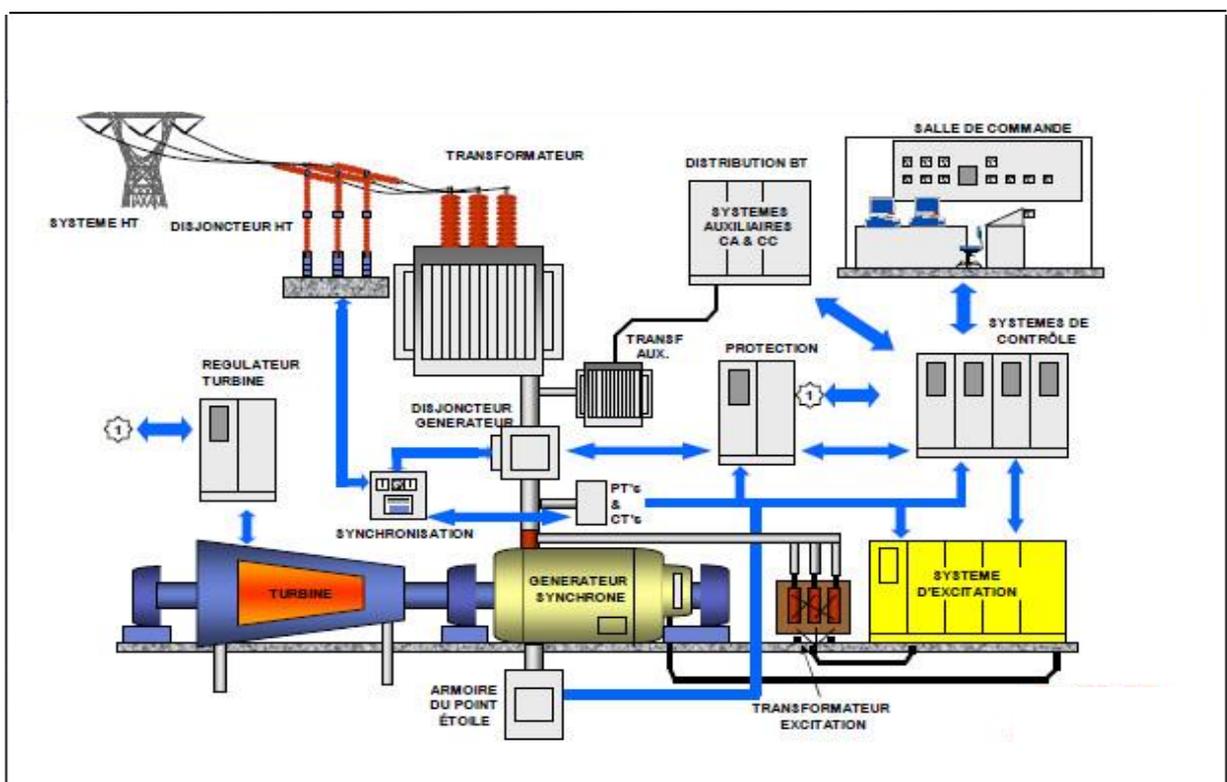


Figure II-18 Vue Générale d'une Centrale [16]

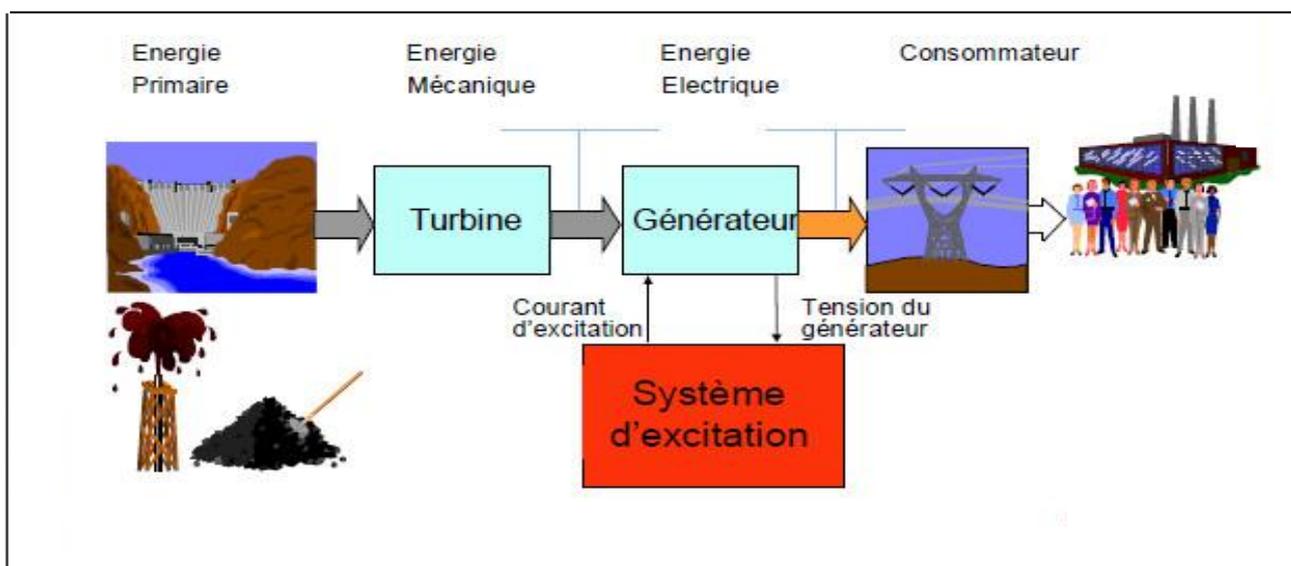
**II.5 Système D'excitation Dans la Chaîne de Conversion D'énergie :**

L'énergie primaire sous forme d'eau, fluides fossiles, vent, etc. est convertie par la turbine en énergie mécanique. Cette énergie est transformée à l'aide de l'alternateur en énergie électrique qui alimente les consommateurs.[18]

Les générateurs principalement utilisés aujourd'hui sont ce qu'on appelle des machines synchrones, en plus de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique, ils permettent aussi de régler la tension du réseau.

L'influence de la tension de l'alternateur et du flux d'énergie réactive vers le réseau est accomplie à travers la magnétisation, ou l'excitation comme elle est aussi appelée pour les machines synchrones. Pour ce but, un courant continu est fourni à ce qu'on appelle l'enroulement de la roue polaire pour produire un champ magnétique. Pour cette raison, ce courant est aussi connu sous le nom de courant du champ.

L'enroulement est placé dans la partie tournante de la machine synchrone: le rotor. Donc pour augmenter la tension de l'alternateur, il faut accroître la magnétisation ou le courant d'excitation. Pour régler la tension de l'alternateur, un régulateur de tension est utilisé et par conséquent fait partie intégrante du système d'excitation. [18,19]



**Figure II-19** Système D'excitation Dans le Cycle [16]

**II.6 Les Tâches du Système D'excitation : [19]**

- Maintenir la tension de bornes du générateur
- Opérer la machine synchrone dans les limites d'opération
- Prévenir la machine synchrone de passer en mode asynchrone
- Réponse rapide en cas de perturbations du réseau
- Partage de la puissance réactive avec d'autres machines synchrones connectées en parallèle
- Stabiliser les oscillations de puissance
- Haute fiabilité.

**II.7 Etat Actuel de la Technique Des Systèmes D'excitation :**

En général, deux configurations de base sont utilisées de nos jours :

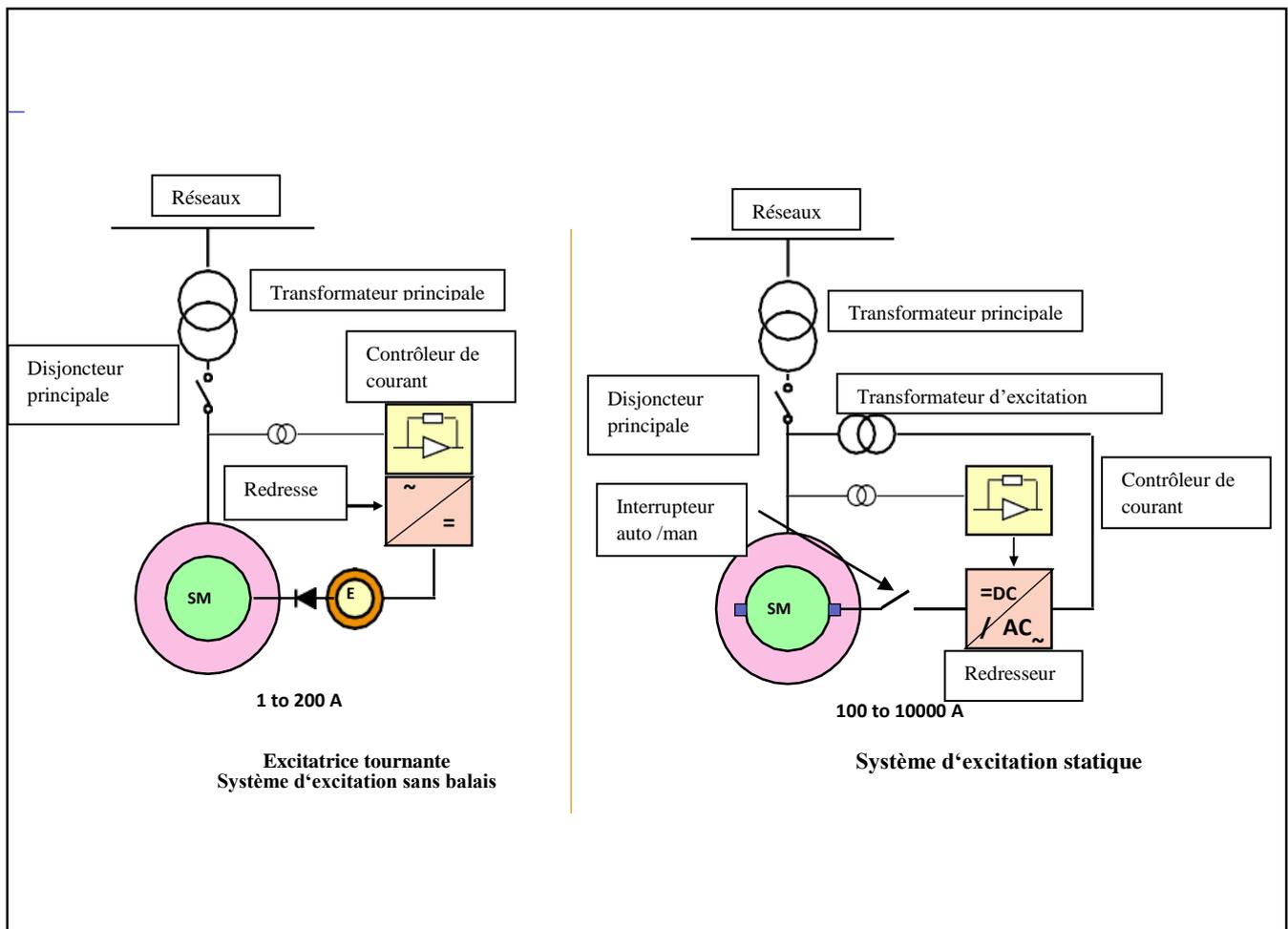
**II.7.1 Système D'excitation Indirect (Système D'excitation Sans Bagues Ni Balais) :**

Ce système d'excitation comporte essentiellement un régulateur de tension avec unité de puissance, l'excitatrice tournante inversée à courant alternatif ainsi que les diodes tournantes pour convertir le courant alternatif produit par l'excitatrice en courant continu exigé par la machine synchrone. [18]

La sortie du régulateur de tension contrôle le courant du champ de l'excitatrice. Dans cette machine, l'excitateur est dans le stator. Une tension alternative est induite dans l'enroulement triphasé du rotor au travers de la rotation de celui-ci. Cette tension CA est convertie au moyen de diodes qui tournent avec l'arbre. Le courant continu est appliqué sans bagues ni balais, directement dans l'enroulement du rotor de la machine synchrone. Aucun balai n'est nécessaire c'est pourquoi ce type de système d'excitation est appelé (l'excitation sans bagues ni balais expression anglaise très connue: brushless). [19]

**II.7.2 Système D'excitation Direct (Système D'excitation Statique) :**

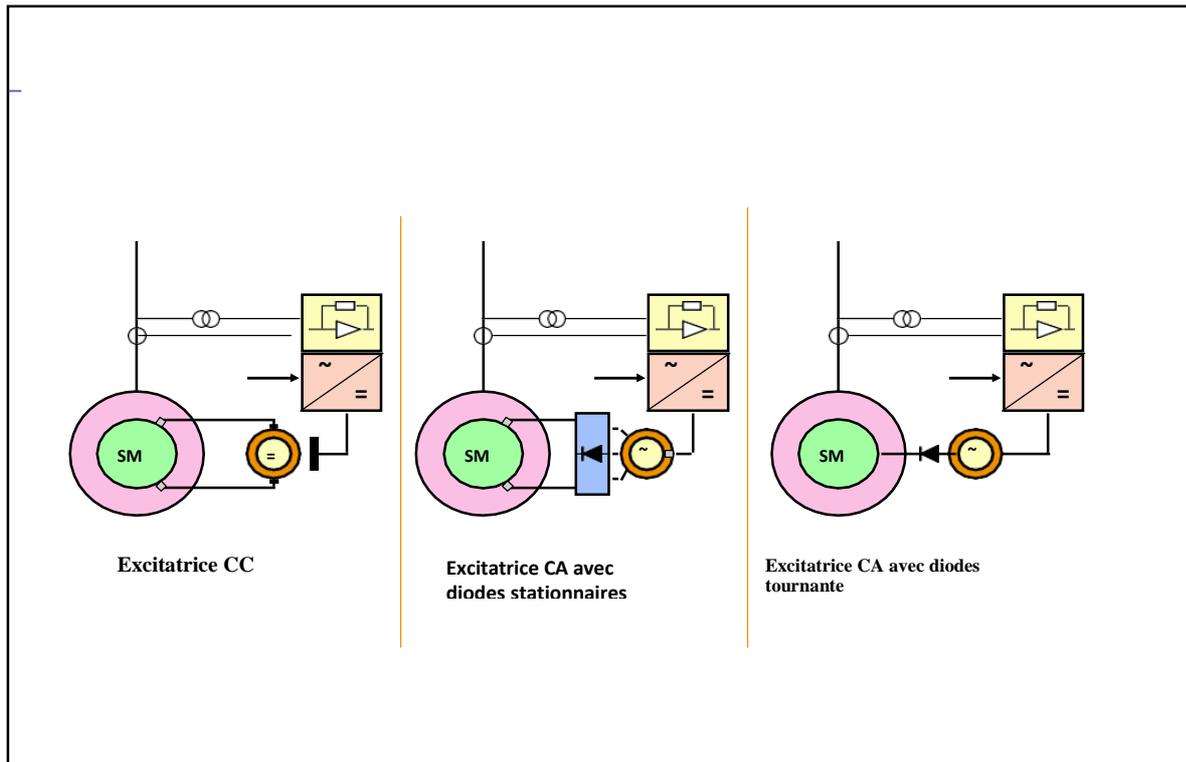
Le système d'excitation statique comporte essentiellement un régulateur de tension avec unité de puissance, un interrupteur, des balais et les bagues. L'alimentation en puissance du système d'excitation est prise habituellement directement des bornes de l'alternateur et est transformée dans l'unité de puissance au moyen de thyristors en un courant continu qui est appliqué sur les bagues de l'enroulement rotorique de la machine synchrone. Ces systèmes se distinguent par des performances très rapides de régulation. [18,19]



**Figure II-20** Types d'excitation [17]

## II.8 Autres Types D'excitatrices Tournantes :

Le dessin montre d'autres types de systèmes d'excitation qui ont été utilisés dans le passé mais qui sont encore en usage de nos jours. Ces systèmes ont été principalement remplacés par des diodes tournantes ou des systèmes d'excitation statiques. [19]



**Figure II-21** Types D'excitatrice Tournante [17]

## II.9 Les Principaux Genres D'alimentation :

Nous faisons une distinction entre plusieurs modes d'alimentation: [18]

### II.9.1 Alimentation Depuis Les Bornes De La Machine :

L'alimentation du système d'excitation est prise directement des bornes de la machine synchrone. Cela est surtout utilisé par les systèmes d'excitation statiques et les machines qui ne travaillent pas sur un réseau îloté. [18]

**II.9.2 Alimentation en Dérivation Avec Compoundage :**

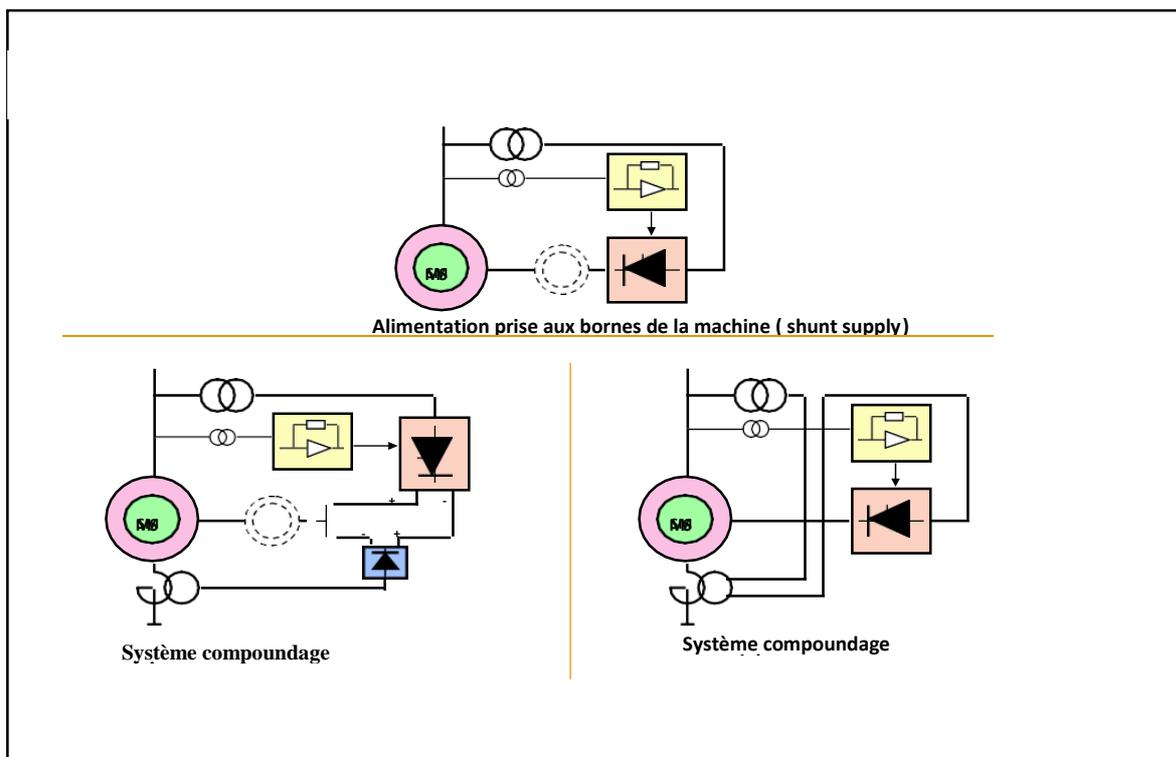
Si un événement provoque une perturbation dans le réseau, la tension de ce lui-ci peut diminuer fortement, l'alimentation du système d'excitation souffre et ne peut plus couvrir l'exigence de l'excitation. C'est particulièrement indésirable dans le cas avec un réseau îloté. Par conséquent on utilise ce qu'on appelle un système de compoundage. Un système de compoundage transforme le courant de la machine en une tension, et s'ajoute à l'excitation et permet de couvrir ainsi les exigences de l'excitation. [18]

**II.9.2.1 Deux Types de Compoundage Sont Utilisés:**

- le compoundage série
- le compoundage vectoriel

Avec le compoundage série, le courant machine est transformé en une tension qui est redressée au moyen d'un redresseur supplémentaire. Elle est placée en série avec l'alimentation du système d'excitation.

Avec un compoundage vectoriel, le courant machine est transformé en une tension alternatif CA qui est ajoutée vectoriellement à l'alimentation en tension du transformateur d'excitation. Cette disposition permet de couvrir les exigences de l'excitation. [18]



**Figure II-22** Principaux Modes D'alimentations [18]

**II.10 Modes Principaux D'alimentation:****II.10.1 Alimentation Depuis Un Générateur à Pôles Permanents (GAP) :**

Alternateurs à aimants permanents ou petits alternateurs d'excitation externes sur le même arbre sont aussi utilisés pour les excitations indirectes. Cette alimentation est indépendante du réseau et se distingue par son haut niveau de disponibilité. [19]

**II.10.2 Alimentation Depuis Un Réseau Auxiliaire :**

Cette alimentation n'est pas souvent utilisée, du fait qu'il est difficile d'avoir une source fiable. Dans beaucoup de cas, ces réseaux de secours sont aussi alimentés en puissance par une alimentation sans coupure.[19]

**II.11 Dispositif d'amorçage de l'excitation :**

Si le système d'excitation est alimenté en dérivation, c.-à-d. lorsque la tension résiduelle aux bornes de l'alternateur est utilisée pour amorcer le système, elle n'est parfois pas toujours suffisante pour démarrer la tension de l'alternateur. Dans un tel cas, une fois que le circuit d'excitation est enclenché, le courant d'excitation est démarré à l'aide du dispositif d'amorçage. Le dispositif d'amorçage consiste en un pont de diodes et un interrupteur qui connecte une tension auxiliaire sur le champ. Le système est dimensionné pour amener la tension de l'alternateur jusqu'à environ 20% de la tension nominale. Une fois que la tension de l'alternateur atteint environ 30-40% de la valeur nominale, ce dispositif est déclenché.[18]

La tension de l'alternateur est alors amenée jusqu'à valeur nominale par le convertisseur principal. La montée lente de la tension est contrôlée au moyen d'une rampe «amorçage en douceur » (soft start en anglais) par le régulateur de tension. [18]

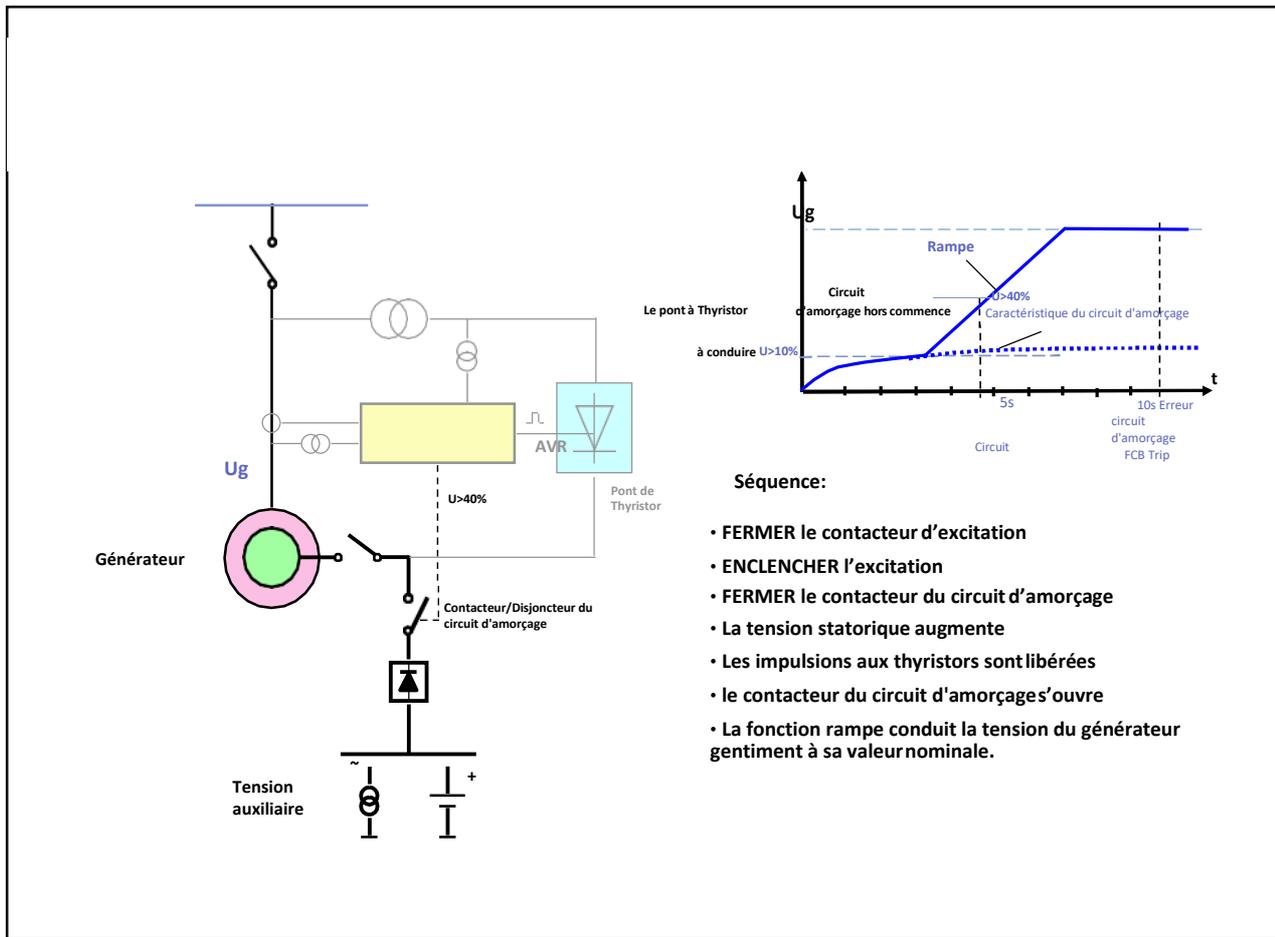


Figure II-23 Circuit D'amorçage [19]

**II.11.1 Protection Surtension :**

Les tensions pouvant se produire pendant le processus de désexcitation doivent toujours être en dessous avec une marge de la sécurité du niveau d'isolement de l'enroulement, c.-à-d. se trouver toujours en dessous de la tension d'essai, une réduction causée par le vieillissement doit être prise en compte. Les mêmes tensions paraissent aussi sur la sortie du convertisseur et obligent à augmenter la capacité du blocage des thyristors. De plus avec les machines à pôles saillants, il y a aussi des tensions inverses (FEM inverse) produites pendant une marche asynchrone (perte de synchronisme). Du fait qu'un courant inverse ne peut pas passer par les thyristors, les tensions augmentent très rapidement à des valeurs très élevées. [18]

Par conséquent, et pratiquement sans exception une protection surtension rapide est fournie. Elle décharge l'enroulement de champ sur une résistance, si un niveau de tension bien défini est dépassé. La résistance de décharge du champ normale est principalement utilisée dans ce but. Comme moyen de détection on utilise des diodes avalanche présélectionnées (BOD).

Les sondes de courant sont utilisées pour détecter le courant (et sa direction) dans le circuit de décharge du champ. Ce critère est utilisé pour surveiller le circuit de décharge. [18,19]

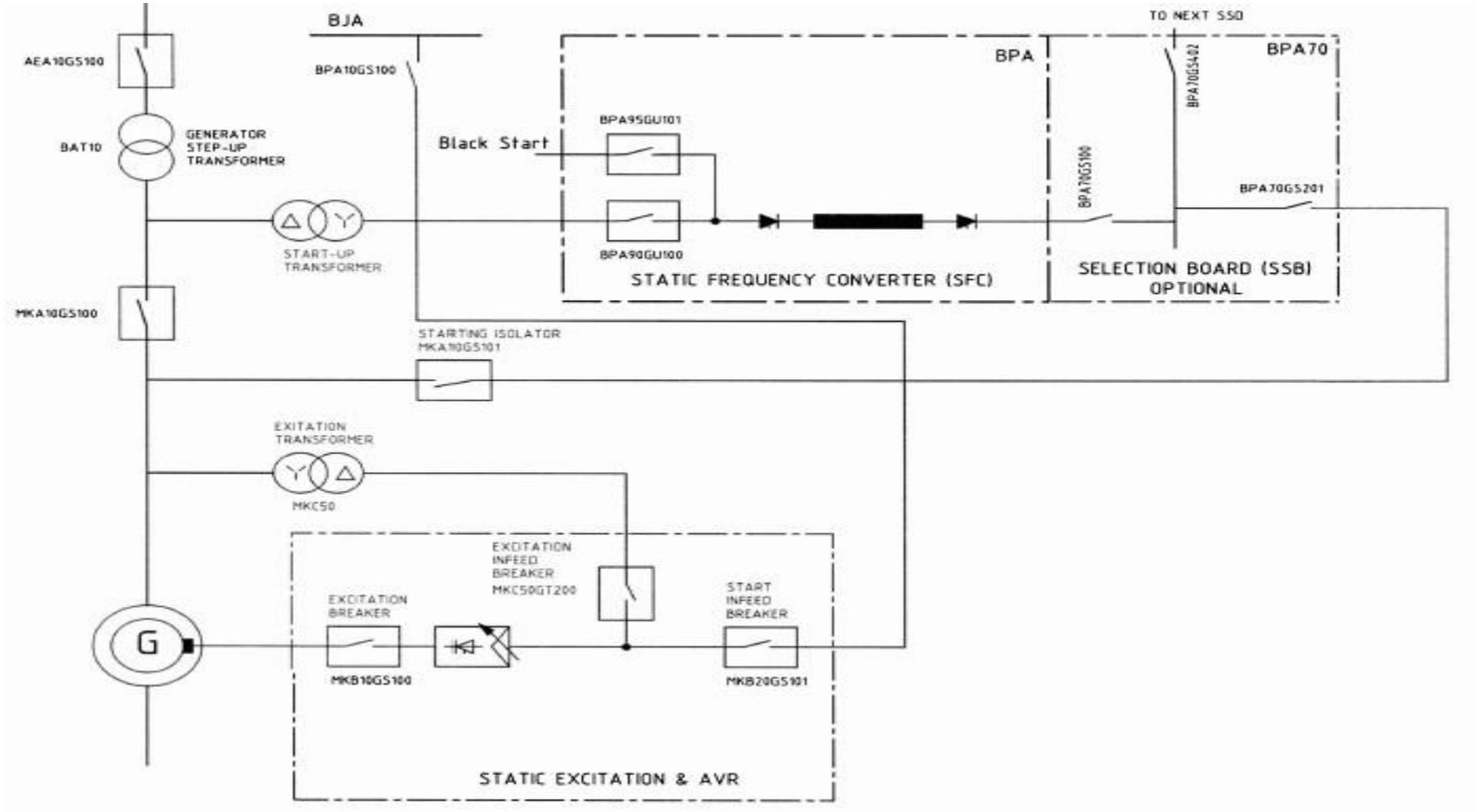


Figure II-24 Schéma Unifilaire D'un SSD & SSE [16]

**II.12 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons expliqué en détail le fonctionnement du système de démarrage statique, on a cité ces composants les plus importants le redresseur et l'onduleur avec leur finalité ainsi que le système d'excitation et ses différents types et son rôle dans le processus de démarrage des alternateurs. On a éclairé les différentes alimentations de ses deux systèmes et démontrer aussi qu'un démarrage progressif avec un variateur de fréquence était plus approprié et plus fonctionnel qu'un démarrage traditionnel.

# CHAPITRE III

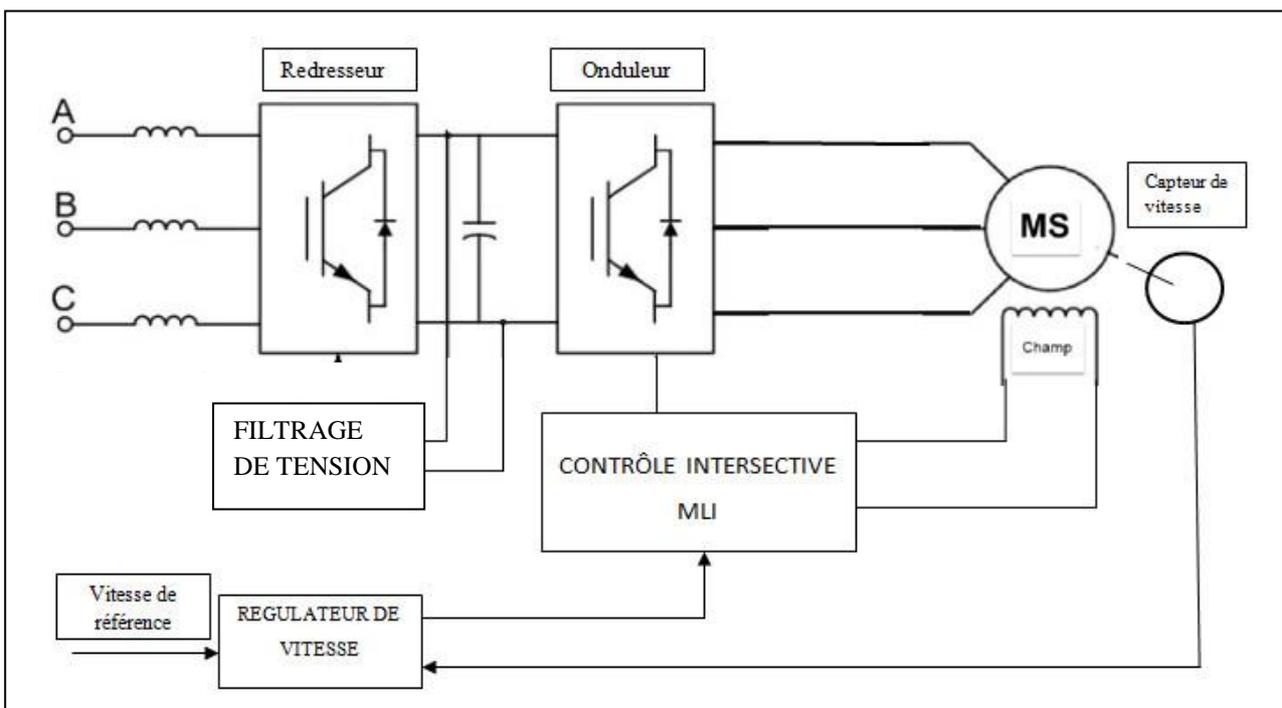
### III.1 Introduction :

Les résultats de simulations présentés dans cette partie concernent la commande d'alimentation appliquée à la machine synchrone en vue de son démarrage de l'arrêt jusqu'à une vitesse proche de la vitesse de synchronisme (90%). Malgré les différentes simplifications introduites, le moteur synchrone peut être contrôlé en vitesse avec le système de démarrage statique.

Pour tester le modèle du démarreur statique de l'alternateur, nous avons simulé un démarrage progressif à vide de l'alternateur pour une référence de vitesse allant de 0 tr/mn à 2700 tr/mn sans variation du couple de charge. Après la première phase de démarrage l'alternateur va fonctionner à 90% de la vitesse de synchronisme.

### III.2 Schéma bloc générale :

Le bloc général du modèle d'entraînement à contrôler de la machine synchrone est schématisé sur la Figure III-1 est composé de six blocs principaux. Le moteur synchrone, l'onduleur triphasé, redresseur triphasé, bloc de la commande MLI, régulateur de tension continue et un régulateur de vitesse.



**Figure III-1 :** Schéma bloc global montre les blocs principaux

### III.2.1 Redresseur Triphasé

Un redresseur, également appelé convertisseur alternatif / continu, est un convertisseur destiné à alimenter une charge qui nécessite d'être alimenté par une tension ou un courant continu à partir d'une source alternative. L'alimentation est, la plupart du temps, un générateur de tension. [20]

Il y a deux types de redresseurs : [20]

- Les redresseurs non commandés, essentiellement réalisés à partir de diodes, sont utilisés lorsque la tension de sortie n'a pas besoin d'être ajustée.
- Les redresseurs commandés dont la tension de sortie peut être variable comportent des thyristors ou des ensembles de diodes et de thyristors. Du fait de leur importante puissance massique ces redresseurs sont toujours utilisés en forte puissance et lorsqu'il est nécessaire de réguler ou de faire varier les grandeurs électriques en sortie.

#### III.2.1.1 Pont de Graëtz Triphasé à Thyristors

Ce type de redresseur est réalisé en utilisant un montage en pont de Graëtz avec des thyristors comme le montre le schéma Figure III-2. [20]

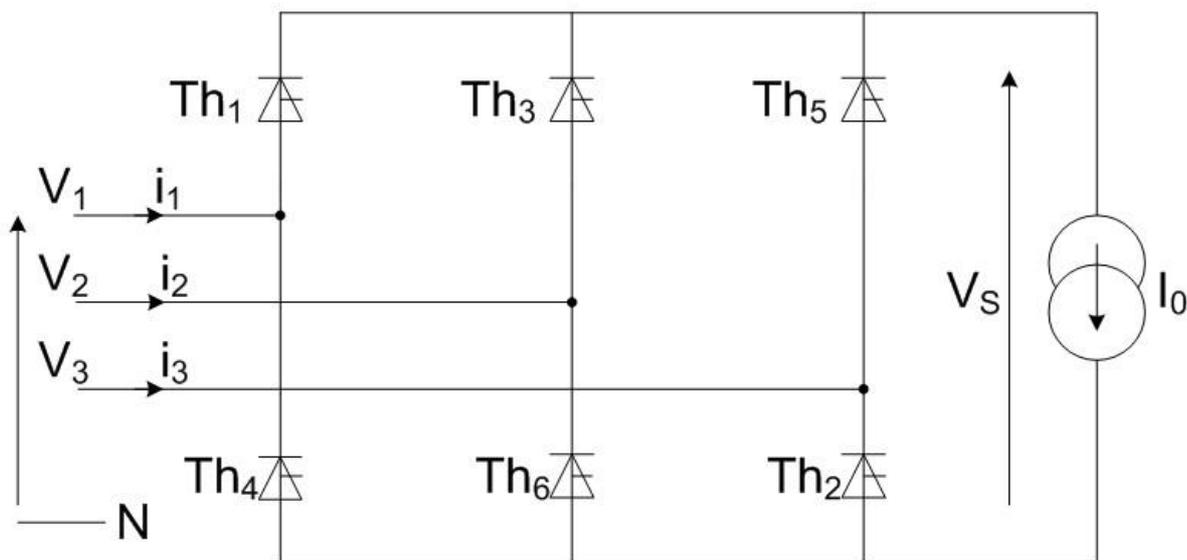


Figure III-2 Schéma de fonctionnement de l'onduleur [19]

## III.2.2 Onduleur Triphasé

### III.2.2.1 Généralité Sur Les Onduleurs en MLI

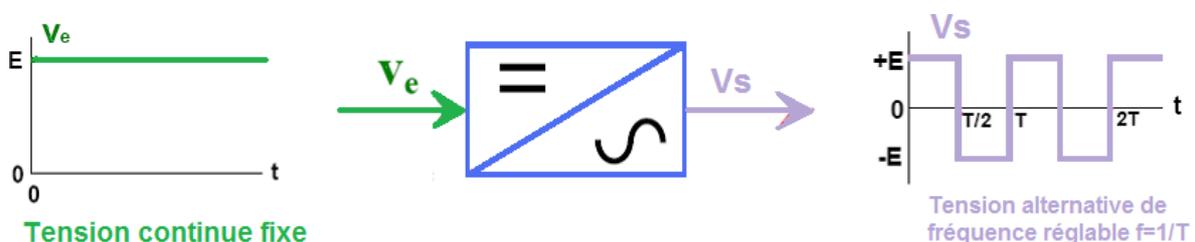
Les convertisseurs de courant continu en courant alternatif sont appelés des onduleurs. La fonction d'un onduleur est de convertir une tension continue d'entrée en une tension de sortie alternative symétrique d'amplitude et de fréquence désirée. La tension de sortie variable peut être obtenue en variant la tension continue d'entrée et en maintenant le gain de l'onduleur constant. D'autre part, si la tension d'entrée est fixe et qu'elle soit non contrôlable, une tension de sortie variable peut être obtenue en variant le gain de l'onduleur.[21]

Il y a plusieurs techniques pour obtenir cette variation, la technique de modulation des largeurs d'impulsions MLI est la plus répandue. Elle consiste à changer la largeur des impulsions de la tension de sortie avec des commandes appropriées des interrupteurs à semi-conducteurs de l'onduleur.

Le gain de l'onduleur peut être défini comme le rapport entre la tension alternative de sortie et la tension continue d'entrée.[21]

### III.2.2.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un onduleur est basé sur l'électronique de commutation, on génère une onde de tension alternative à partir d'une tension continue comme le montre la figure (III-3), on peut dire qu'il existe deux moyens pour réaliser cette conversion.



**Figure III-3** Schéma de principe de fonctionnement de l'onduleur

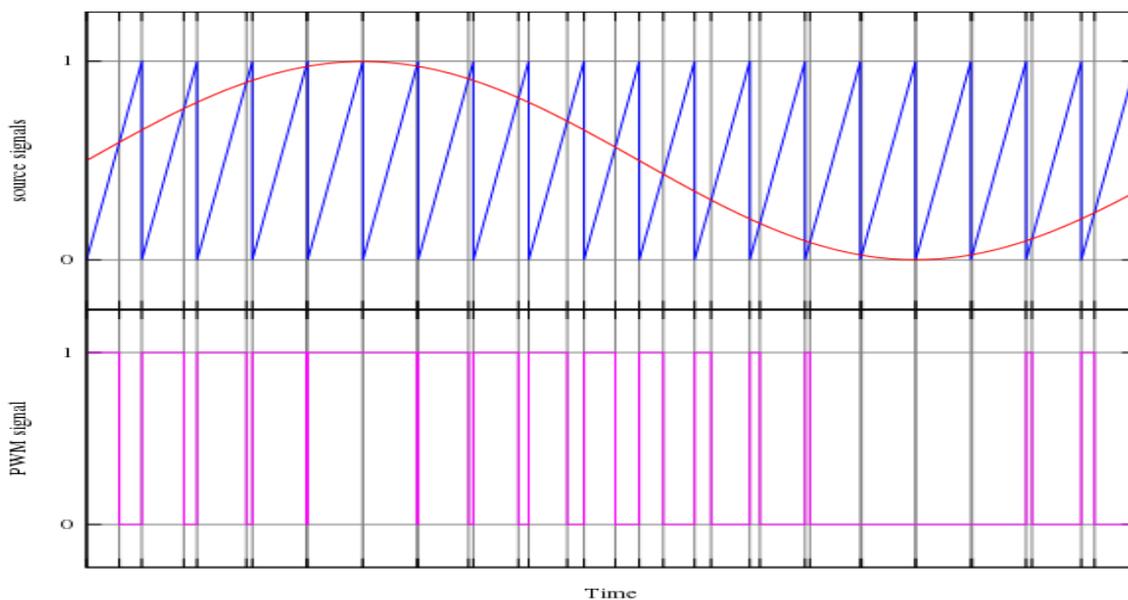
### III.2.3 Commande MLI Intersective

Elle consiste à comparer la modulante (le signal à synthétiser) à une porteuse généralement triangulaire. Le signal de sortie vaut 1 si la modulante est plus grande que la porteuse, 0 sinon ; le signal de sortie change donc d'état à chaque intersection de la modulante et de la porteuse [21].

Cette méthode se prête bien à une réalisation analogique : il suffit d'un générateur triangle et d'un comparateur. Il existe de nombreux circuits intégrés dédiés.

On peut classifier les sous-types de plusieurs manières : [21]

- Analogique ou numérique échantillonné, selon que la modulante et le comparateur sont en temps continu ou discret ;
- À porteuse triangulaire centrée ou en dents de scie (à gauche ou à droite) ;
- Asynchrone ou synchrone, selon que la modulante et la porteuse sont de fréquence exactement multiples ou non.



**Figure III-4** Signal de MLI commande intersective. [31]

### III.2.4 Régulateur de Vitesse

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID (proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques [22,23].

#### III.2.4.1 Principe général

Un correcteur est un algorithme de calcul qui délivre un signal de commande à partir de la différence entre la consigne et la mesure [24].

Le correcteur PID agit de trois manières [25] :

- action proportionnelle : l'erreur est multipliée par un gain  $G$  ;
- action intégrale : l'erreur est intégrée et divisée par un gain  $T_i$  ;
- action dérivée : l'erreur est dérivée et multipliée par un gain  $T_d$ .

Il existe plusieurs architectures possibles pour combiner les trois effets (série, parallèle ou mixte), on présente ici la plus classique : une structure PID parallèle qui agit sur l'Erreur.

Il existe plusieurs architectures possibles pour combiner les trois effets (série, parallèle ou mixte), on présente ici (figure III-5) la plus classique : une structure PID parallèle qui agit sur l'Erreur.

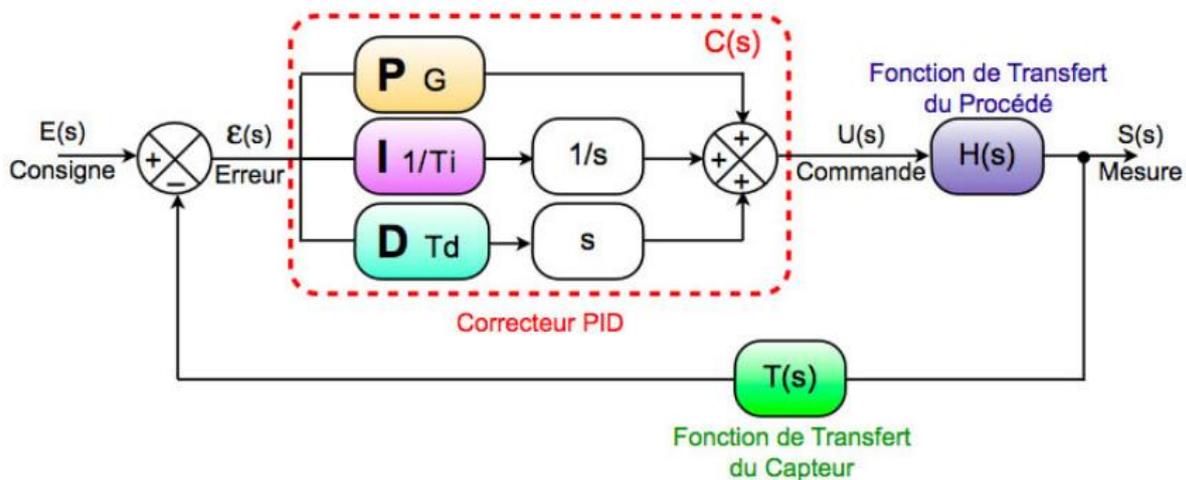


Figure III-5 Schéma bloc Simulink d'un PID [22]

### III.2.5 Machine Synchrone

La machine synchrone est une machine réversible de conversion électromécanique. On la rencontre dans de nombreux dispositifs de conversion d'énergie aussi bien en : [26,27]

- production d'énergie électrique à partir d'énergie mécanique où elle porte le nom de génératrice synchrone lorsque la vitesse est variable (exemple éolien) ou d'alternateur lorsque sa vitesse est fixe (exemple centrale thermique),
- production d'énergie mécanique à partir d'énergie électrique où elle porte le nom de moteur synchrone.

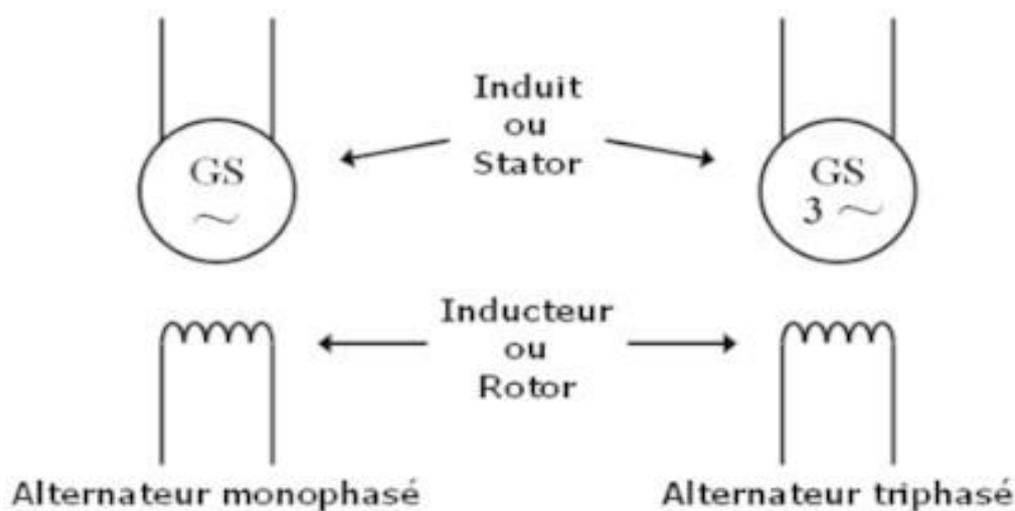


Figure III-6 différents types des alternateurs [25]

## III.2 Simulation sur Matlab

### III.2.1 Bloc Global

La figure III-7 montre la simulation générale d'un convertisseur statique qui alimente la machine synchrone pour donner la vitesse de rotation à la turbine à gaz. Il est composé d'un bloc de redressement, onduleur, commande MLI, régulateur de vitesse et machine synchrone.

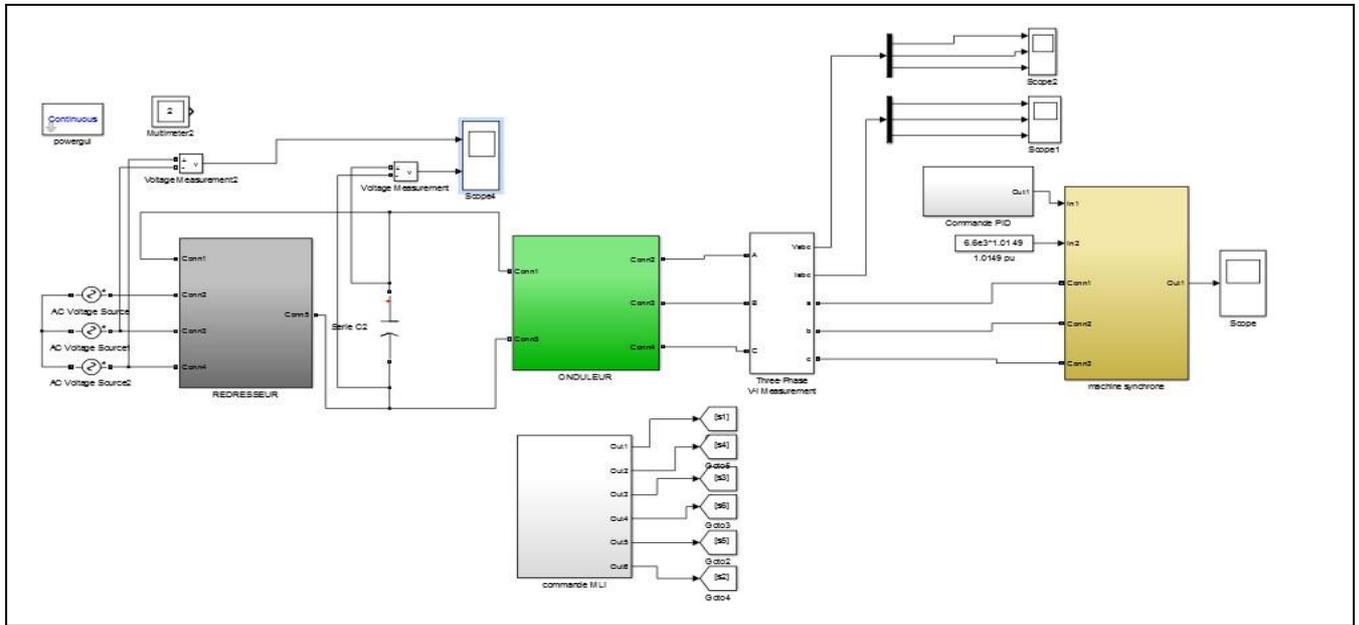


Figure III-7 schéma bloc général d'un système statique de démarrage

### III.2.2 Redresseur Simulink

Le schéma bloc du redresseur représenté par thyristor. La figure III-8 montre la simulation d'un redresseur.

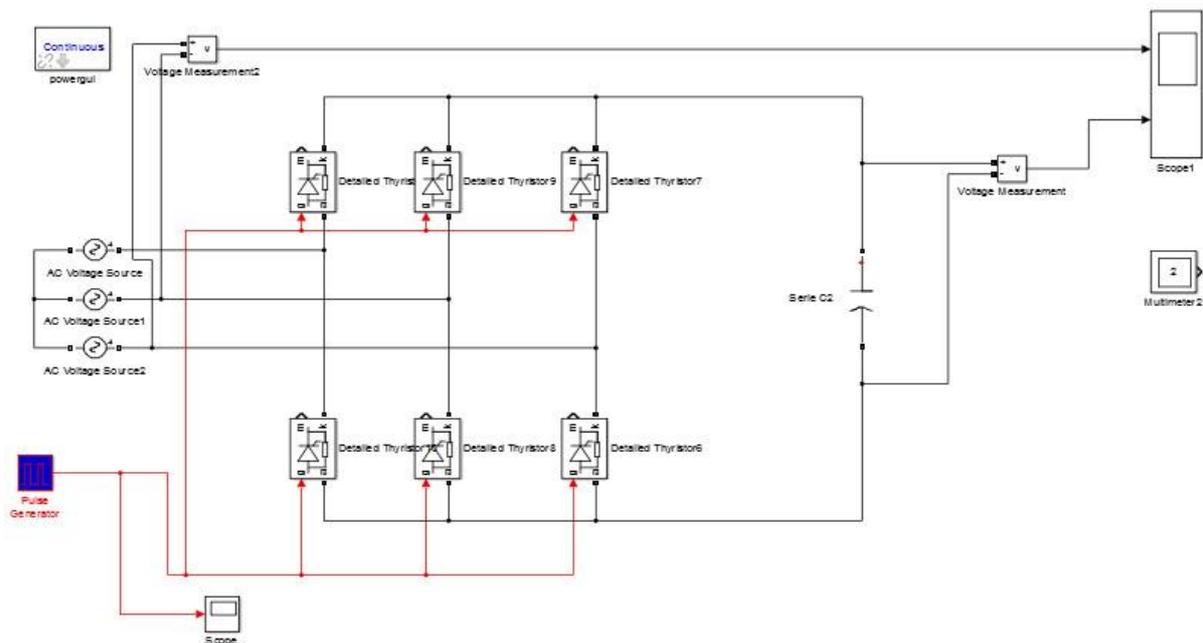
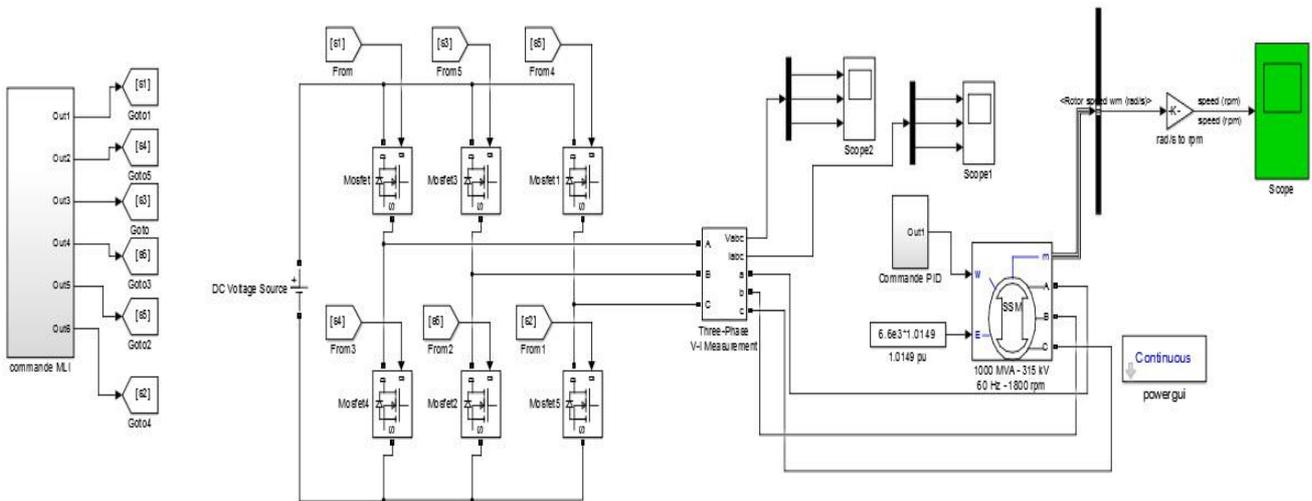


Figure III-8 schéma bloc d'un redresseur triphasé

**III.2.3 Onduleur Simulink**

La simulation d'un bloc de l'onduleur triphasée par mosfet et qui est lui-même relié avec machine synchrone, représenté par figure III-9 sous dessous



**Figure III-9** schéma bloc d'un onduleur triphasé commandé par mli

**III.2.4 Commande Intersective MLI**

Pour la simulation nous avons utilisé un signal triangulaire et un réseau composé de 3 sinusoïdales c'est dernières vont être comparé part un comparateur, si la tension arrivant sur le positive et supérieur à celui qui arrive au négative on va avoir un niveau haut à la sortie, par contre si la tension arrivant au négative est supérieur on aura un état bas. Donc si notre sinusoïdal est au dessus du triangle, la tension de sortie aura l'état haut, comme c'est présenté sur la figure (III-10, III-11)

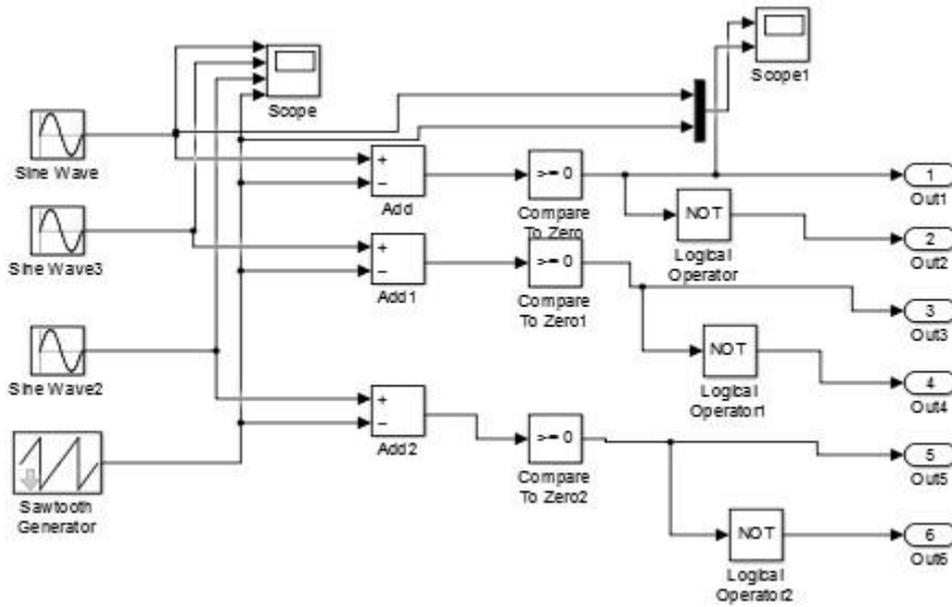


Figure III-10 schéma bloc d'une commande MLI (intersective)

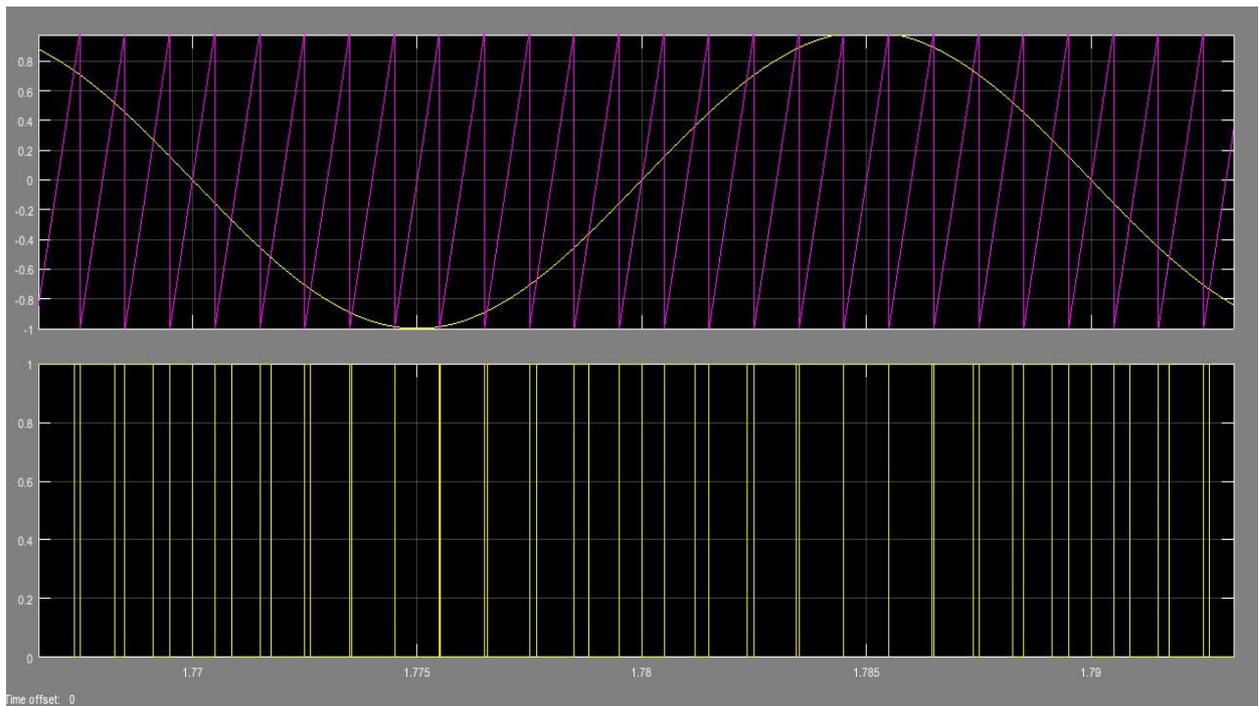


Figure III-11 signale de commande mli

### III.2.5 Régulateur de Vitesse

Le contrôleur de vitesse basé sur un régulateur PI, est donné par la Figure III.11. Les sorties de ce régulateur sont des points de réglage pour appliqués à ce bloc.

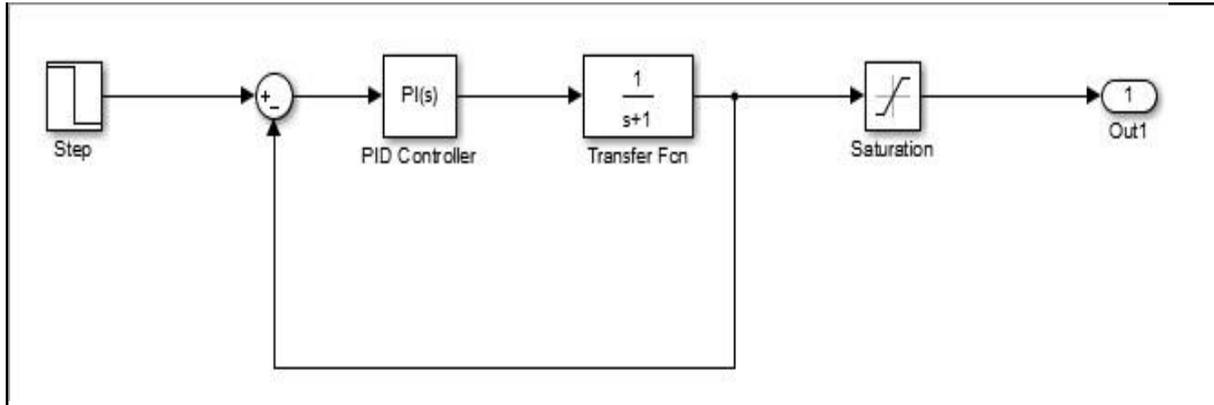


Figure III-schéma bloc régulateur de vitesse

### III.3 Interprétation des Résultat

#### III.3.1 Tension du Redresseur

La tension d’entrée triphasée alternative appliquée sur le redresseur va être transformer en tension continue. La figure III-12 montre la tension d’entrée et de sortie.

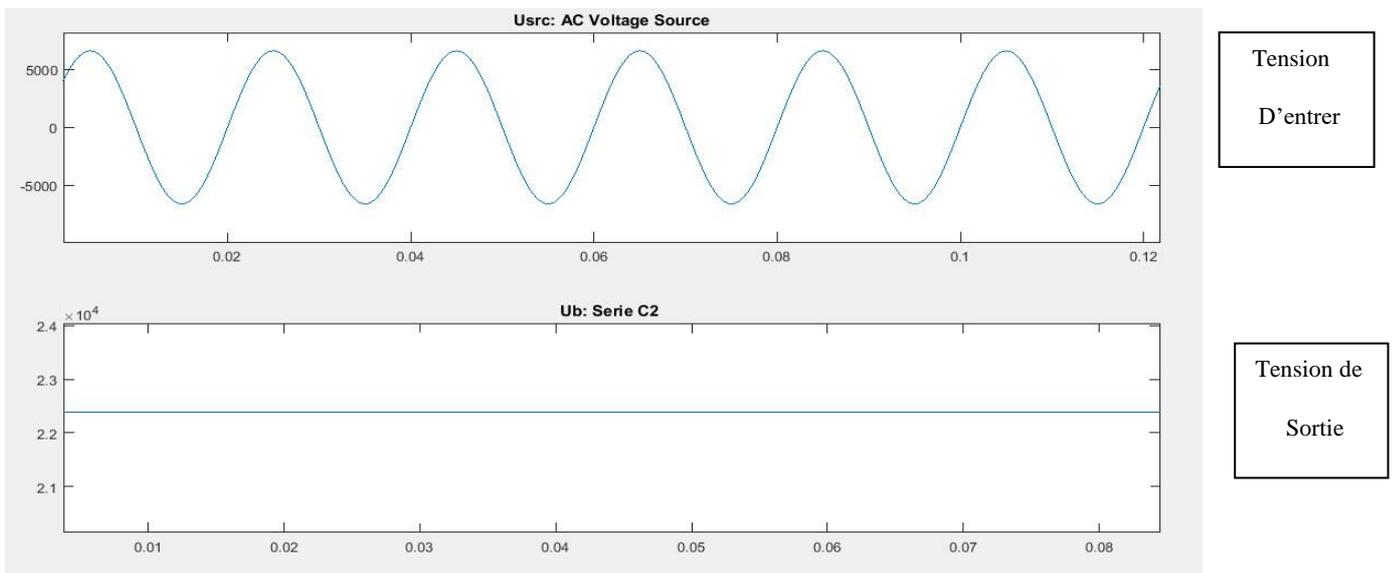
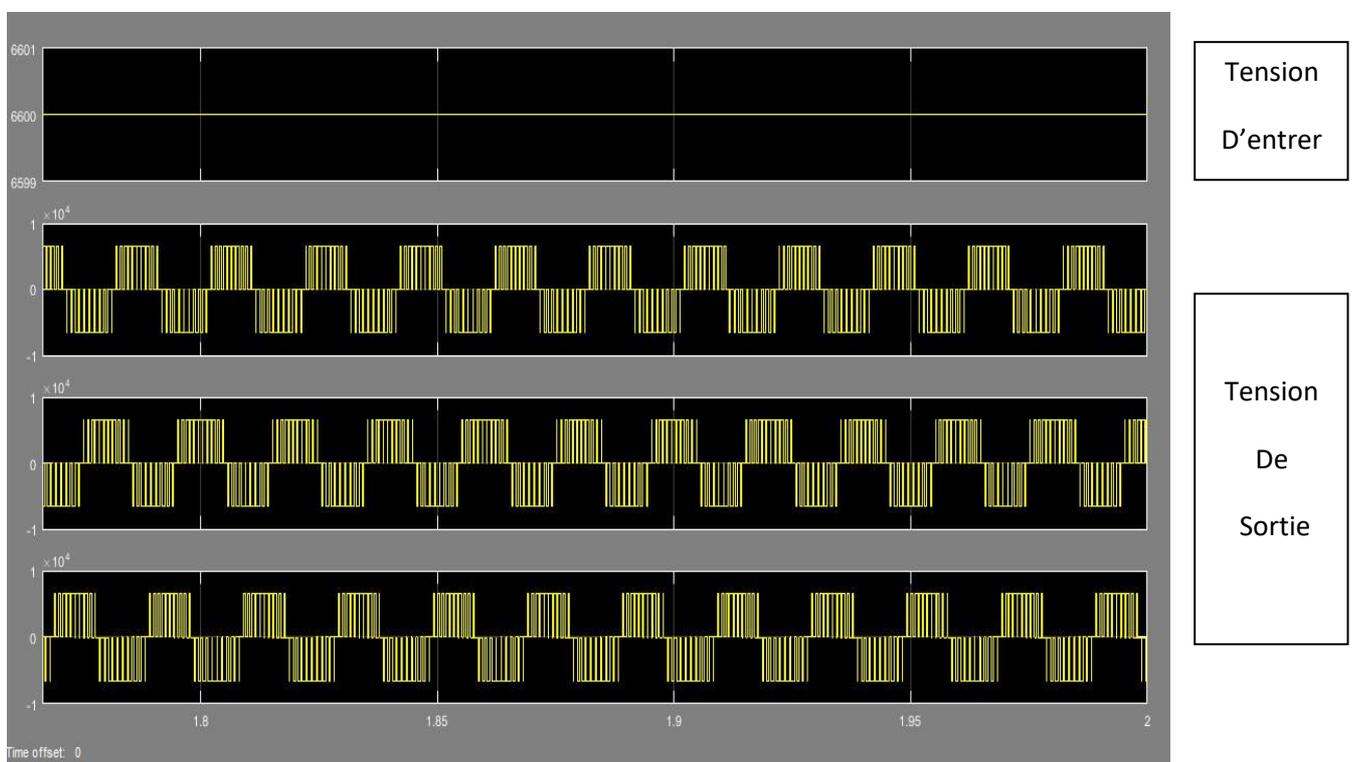


Figure III-12 la tension d’entrée et composée à la sortie de redresseur.

### III.3.2 Tension de l'Onduleur

Le système des tensions triphasées de référence à appliquer sur l'onduleur sera obtenu par un redresseur appliquée aux grandeurs  $V+$  et  $V-$ . La conception de contrôle intersective (Commande MLI). La Figure III-13 montre la tension d'entrée ; La tension composée obtenue à la sortie de l'onduleur.

Donc en aura des signaux qui vont venir commander les interrupteurs, et donc imposer des tensions au bord des bobines de la machine, on obtient des tensions entre les phases, qui vont être des créons positive ou négative, donc la largeur va varier.



**Figure III-13** la tension composée à la sortie de l'onduleur.

### III.3.3 Courant de l'Onduleur

La Figure III-14 montre le courant obtenu par l'onduleur est commandé par MLI. Par contre le courant dans chaque phase va être sinusoïdal.

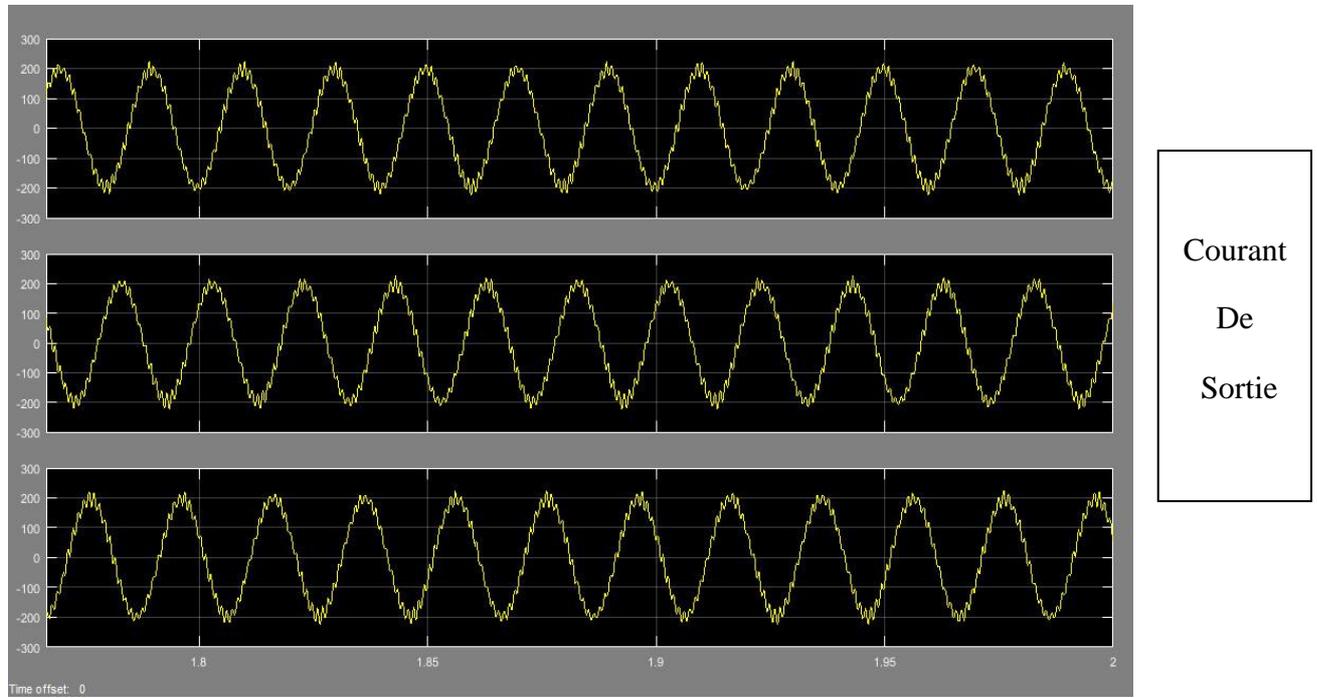


Figure III-14 le courant sortie de l'onduleur

III.3.4 Vitesse de Rotation

Les résultats de simulation de la vitesse montrent les performances de la régulation étant donné que la vitesse est obtenue, représenter par figure III-15.

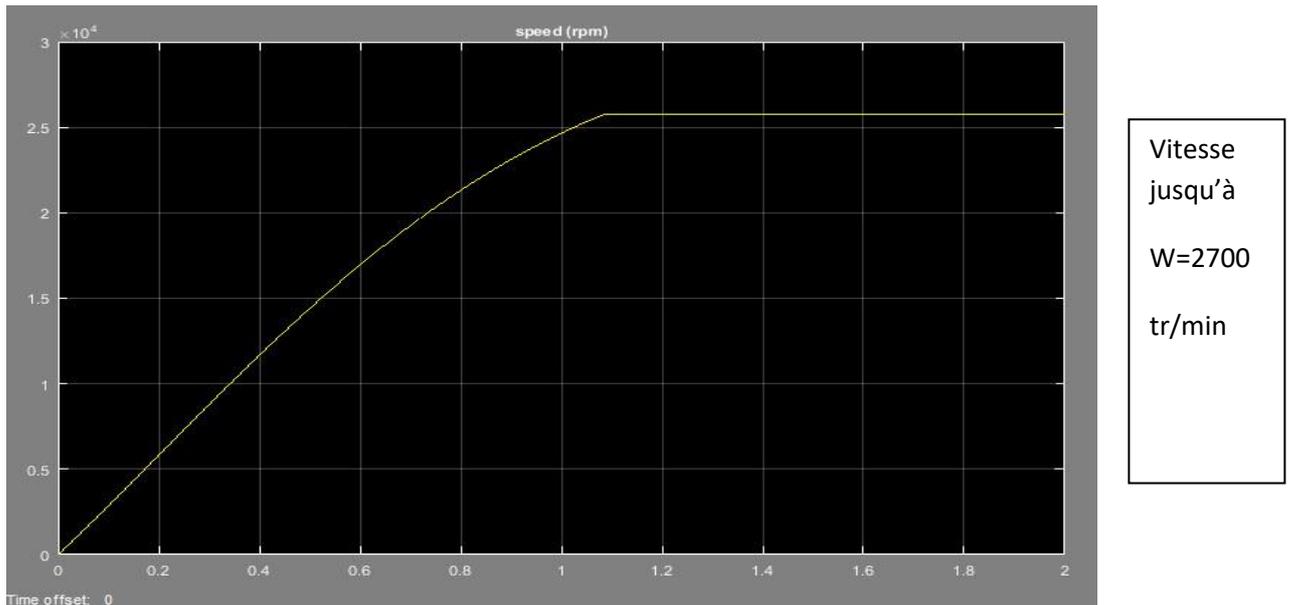


Figure III-15 la vitesse de rotation

### III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu comment faire varier la vitesse d'un moteur avec le système de démarrage statique en citant ses différents éléments en commençant par le redressement de la tension alternative en tension continue ensuite en la faisant passer dans un onduleur commandé avec une MLI intersective, la commande des interrupteurs, va imposer des tensions variées aux bornes des bobines, donc il en résulte une variation de la vitesse du moteur synchrone.

## **Conclusion Générale :**

Dans ce travail nous avons étudié et simulé la commande du système de démarrage statique pour la commande de la machine synchrone à rotor bobiné (alternateur) en vitesse afin de démarrer ce dernier progressivement de l'arrêt jusqu'à une vitesse proche de la vitesse de synchronisme.

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à l'étude du système de démarrage statique (redresseur-onduleur), ainsi que le système d'excitation de l'alternateur installé dans la centrale à cycle combiné de TERGA SKT.

Nous nous sommes intéressés par la suite par la mise en œuvre de la stratégie de commande qui permet l'obtention d'un modèle équivalent qui nous permettra de contrôler directement la vitesse du moteur synchrone et obtenir par la suite des performances de régulation performantes permettant un démarrage progressif souple et rapide.

Les résultats de ce travail étaient intéressants à voir que à l'aide de la technique de MLI intersective nous pouvons commander la commutation des interrupteurs par la suite avoir une tension sinusoïdale commandée à la sortie de notre système de démarrage statique qui nous permettra la commande de la vitesse de notre alternateur.

Les résultats obtenus par simulation montrent que cette technique assure de bonnes performances statiques et dynamiques pendant le démarrage de l'alternateur, l'avantage de cette technique réside dans sa simplicité il suffit d'avoir un générateur triangle et un comparateur pour obtenir des prestations de qualité par rapport à d'autre technique.

## Références bibliographiques :

- [1] power Alstom « document technique de variateur de vitesse » ABB
- [2] centrale électrique Terga SKT and Alstom
- [3] Société Algérien De Production De L'électricité de Terga, « document technique »
- [4] Power Alstom (document ingénierie électrique Terga)
- [5] Alstom document turbine à Gaz centrale électrique (Sharikat Kahraba Terga)
- [6] Alstom document turbine à vapeur centrale électrique (Sharikat Kahraba Terga)
- [7] Centre de formation de la centrale électrique, « document technique Vue d'ensemble de la centrale
- [8] archive thermo-machine « diagramme de Molière d'un cycle de Turbine à vapeur » Wikipedia
- [9] GE Energie, « document technique : Alternateurs refroidis à l'hydrogène » General Electric Company, 2007.
- [10] Power Plant Training Center Alstom 2007.
- [11] Informations confidentielles réservées à Alstom: ALSTOM Power Centrales © 2006
- [12] Sandrine Blanchard, « Les groupes électrogènes à l'origine d'intoxications », Le Monde, 9 janvier 2008.
- [13] Alstom document (Fonctionnement de la turbine à gaz/ Dispositif de Maintenance électrique)
- [14] Hansruedi Bühler, Convertisseurs statiques, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romanes, coll. « Électricité », 1991
- [15] Thyristor Theory and Design Considerations – ON Semiconductor, SCILLC, hbd855/d. 2006,
- [16] (en) Mark P. D. Burgess, « General Electric History – Semiconductor Research and Development at General Electric » [archive], 2008-2011
- [17] Société ABB (Système MEGATROL Manuel d'utilisation)
- [18] ABB Switzerland Ltd document Maintenance préventive SES de centrale électrique Terga
- [19] ABB Switzerland Ltd Learning Center Power Electronics Turgi, Switzerland MEGATROL® Training Prelim © 2009 ABB Ltd - 62 –

- [20] chapitre n°6 : Redresseur triphasé double alternance
- [21] Wikipedia types de MLI convertisseurs numériques et analogique« Exemple de MLI à porteuse en dents de scie »
- [22] Prouvost Patrick, Automatique contrôle et régulation : cours et exercices corrigés, Dunod, impr. 2010 (ISBN 9782100547777)
- [23] F. de Carfort, C Foulard (préf. R. Perret), Asservissements linéaires continus – Maîtrise d'E.E.A – C3-Automatique, Paris, Dunod université, 2<sup>e</sup> édit., 1971, 164 p.
- [24] Henri Bourlès, Systèmes linéaires - De la modélisation à la commande, Hermes Science Publishing, 2006, 510 p. (ISBN 2746213001)
- [25] Henri Bourlès et Hervé Guillard, Commande des systèmes. Performance et robustesse, Ellipses, 2012 (ISBN 2729875352).
- [26] Mikhail Kostenko et Ludvik Piotrovski, Machines électriques, t. II, Machines à courant alternatif, Éditions de Moscou (MIR), 1969 ; 3<sup>e</sup> édition, 1979, 766 p.
- [27] Ilarion Pavel, « L'invention du moteur synchrone par Nikola Tesla » [archive] [PDF], sur [bibnum.education.fr](http://bibnum.education.fr) [archive], bibnum [archive], janvier 2013.
- [28] Prendre des images de Google sur centrales électrique
- [29] Prendre des photos de la centrale Sharikat Kahraba Terga

## خلاصة:

الهدف من هذه الأطروحة هو دراسة نظام البدء الثابت بالإضافة إلى الإثارة الثابتة لبدء التشغيل ، ويعمل المولد كمحرك من أجل إطلاق التوربين الغازي حتى السرعة التي يصبح فيها التوربين مستقلاً ، وتستمر السرعة في التزايد حتى سرعة الاسمية ، و يأخذ نظام الإثارة الثابت الدور ، حيث أنه يغذي الدوار بالتيار المستمر الذي سيسمح بالحث الكهرومغناطيسي وبذلك ينتج التوتر الكهربائي في أقطاب الجزء الثابت.

ننظر أيضاً دراسة محاكاة على MATLAB حول بداية ثابتة لمولد التيار المتردد، والتي تعطي نفس النتائج الموجودة في محطة كهرباء تارقة.

## Résumer :

L'objet de ce mémoire est l'étude du système de démarrage statique ainsi que l'excitation statique pour démarrer, le générateur fonctionne comme moteur afin de lancer la turbine à gaz jusqu'à une vitesse où la TG devient autonome, elle continue sa montée en vitesse jusqu'à sa vitesse nominale, à présent le système d'excitation prend le rôle, il alimente le rotor en courant continu ce qui va permettre l'induction électromagnétique donc il en résulte une tension aux bornes du stator.

Voir également une étude de simulation dans l'espace MATLAB sur le démarrage statique de l'alternateur, qui donne les mêmes résultats existants dans la centrale à cycle combiné de Terga SKT.

## Abstract :

The object of this thesis is the study of the static starting system as well as the static excitation to start, the generator works as a motor in order to launch the gas turbine until a speed where the TG becomes autonomous, it continues its speed up to its nominal speed, now the excitation system takes the role, it feeds the rotor in DC current which will allow the electromagnetic induction so it results in a voltage at the stator terminal.

See also a simulation study in the MATLAB on the static start of the alternator, which gives the same results existing in the Terga power station.