



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M/GE/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Electrotechnique Industriel

Thème

ETUDE DU SYSTEME DE CONTROLE DE LA TENSION DES ALTERNATEURS DE
GRANDE PUISSANCE
APPLICATION : ALTERNATEUR DE LA CENTRALE DE MARSAT EL HADJADJ

Présentés par :

- 1. Kellal Mohamed**
- 2. Saadaoui Mouad**

Soutenu le 10/ 07/ 2019 devant le jury composé de :

Président	: H.Neddar	MAA	UMAB - Mostaganem
Examineur	: Souag Slimane	MCB	UMAB - Mostaganem
Encadreur	: Bekkouch Benaissa	Pr	UMAB - Mostaganem
Co-Encadreur	: Messoud Abdelkrim	DOCTORANT	

Année Universitaire : 2018 / 2019

يقدم هذا العمل دراسة مفصلة عن تنظيم المولد، تبدأ هذه الدراسة عبر شرح دورة إنتاج الطاقة الكهربائية في محطة التوليد في (مرسات الحجاج)، إضافة إلى شرح مبدأ تشغيل المولد وجميع مكوناته الرئيسية مثل الدوار و الجزء الثابت و الإثارة و كيفية تنظيم الجهد و التردد في المحطة، ثم سنقدم المعادلات الكهربائية و الميكانيكية للألة المتزامنة لتسهيل محاكاة المولد الذي يعمل في شبكة متعددة المولدات. الغرض من هذه المحاكاة هو دراسة كفاءة تنظيم المولد في حالة التشغيل العادي و في حالة حدوث خلل فجائي، سنقوم بتحليل نتائج المحاكاة لنوعين من منظمي جهد إثارة الدوار (التقليدي والمنطق الغامض) لمعرفة أيهما الأكثر كفاءة، في الأخير استنتجنا أن المنظم الذي يستعمل المنطق الغامض أفضل من المنظم التقليدي. تم إجراء المحاكاة باستعمال برنامج ماتلاب سيمولينك.

الكلمات المفتاحية: الألة المتزامنة، المولد، تنظيم الجهد و التردد، الطاقة الكهربائية.

Résumé

Ce travail présente une étude détaillée sur la régulation d'un alternateur. Cette étude a été introduit par une présentation du cycle de production de la central thermique de Marsat El Hadjadj. Une explication du principe de fonctionnement d'alternateur et tous ces principaux organes comme le rotor, le stator, l'excitation et les régulations de tension et de fréquence utilisée dans la centrale ont été décrits. Ensuite Nous présentons la mise en équation d'une machine synchrone pour faciliter la simulation d'un alternateur débitant dans un réseau infini. Le but de notre simulation et d'analyser le fonctionnement des régulations dans le fonctionnement normal et dans la présence d'un défaut temporaire. Nous analysons notre résultat pour deux types de régulation de tension d'excitation (conventionnelle et floue) pour déterminer le meilleur régulateur. Enfin nous avons déduit que le régulateur flou est plus fiable en comparant avec le régulateur conventionnel. La simulation a été réalisée sous le logiciel Matlab-Simulink.

Mot clé : machine synchrone, générateur, régulation de tension et de fréquence, énergie électrique.

Summary

This work presents a detailed study on the regulation of a synchronous generator. This study is introduced by presenting the cycle of production of the thermal power station of Marsat El Hadjadj. An explanation about the operation of an alternator and all these main organs like the rotor, the stator, the excitation system and the voltage and frequency regulations used in the power station have been described. Then we present the equation of a synchronous machine to facilitate our simulation of a generator running in an infinite network. The purpose of our simulation is to analyze the operation of the regulations in normal conditions and in the presence of a temporary fault. We analyze our result for two types of excitation voltage regulation (conventional and fuzzy logic based) to determine which one is best. Finally we have concluded that the fuzzy logic regulator is better than the conventional.

Key words: synchronous machine, generator, voltage and frequency regulation, electrical power.

DEDICACE

Nous dédions ce projet à toutes les personnes qui nous ont accompagnés, Par une parole, un geste ou même une pensée, A toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à cette finalité :

A nos très chers parents qui n'ont cessé de nous aider et de nous encourager durant tout notre parcours et qui nous ont permis d'être aujourd'hui ce qu'on est,

A nos frères qui nous ont soutenus et encouragés tous au long de notre projet

A nos sœurs, qui nous ont toujours soutenus et poussés à donner le meilleur de nous-même,

A nos chers amies et cousines

Avec une dédicace spéciale à Mr BEKKOUCH BENAÏSSA et MESSOUDI ABDEL KARIM qui nous ont encouragés et permis de réaliser ce projet

Remerciement

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce rapport.

*Tout d'abord, nous adressons nos remerciements et toute nos gratitude à notre encadreur **monsieur Bekkouch Benaissa** qui nous a apporté un soutien moral et intellectuel tout au long de ce travail et qui a contribué à cette recherche; ayant accepté de répondre à nos questions, par mail. Un grand merci*

*Nous tenons à remercier vivement notre co-encadreur **monsieur Messoudi Abdel Karim** , pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien. Grâce aussi à sa confiance qu'on a accomplie notre rédaction.*

*Nous voulons adresser toute notre gratitude aux membres de jury : **Mr Slimane Souag, Mme H.Neddar** d'avoir accepté d'analyser et de juger notre travail.*

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont conseillé lors de la rédaction de cette étude : notre famille, nos amies et nos camarades de promotion.

À vous tous, nous ne vous remercierons jamais assez

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale.....	01
Chapitre I : Présentation de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj	
Introduction.....	04
I.1. Présentation de la centrale de MARSAT EL HADJADJ.....	04
I.1.1. Situation géographique.....	04
I.1.2. Présentation de la centrale.....	05
I.2. Installation électrique.....	07
I.2.1. Partie Haute Tension (220 KV).....	07
I.2.2. Ligne de Secours.....	07
I.2.3. Les auxiliaires électriques.....	08
I.2.3.1. Les auxiliaires Tranches.....	08
I.2.3.1.1. Partie Moyenne Tension.....	08
I.2.3.1.2. Basses Tension BT (380V).....	09
I.2.3.1.3. Partie Courant Continue.....	10
I.2.3.2. Les Auxiliaires Généraux.....	11
I.2.3.2.1. L'éclairage.....	12
I.2.3.2.2. Eclairage de secours.....	12
I.3. Généralité sur l'alternateur de Marsat El Hadjadj.....	13
I.3.1. Principaux éléments de l'alternateur.....	13
I.3.1.1. Le Rotor.....	13
I.3.1.2. Le Stator	13
I.3.2. Principe de fonctionnement	14
I.3.2.1. Représentation vectorielles	15
I.3.2.2. Caractéristique vectorielle de Fresnel	16
I.3.2.3. Caractéristiques à vide et en charge de l'alternateur	16
I.3.2.3.1. Caractéristique à vide de la machine	16
I.3.2.3.2. Caractéristique en charge de la machine	17

Sommaire

I.3.2.3.2.1. L'alternateur couplé au réseau	18
I.3.2.3.2.1.1. Réaction magnétique d'induit	19
I.3.2.3.2.1.2. Influence d'une variation du courant de charge I.....	19
I.3.2.3.2.1.3. Influence d'une variation due au déphasage courant/tension du réseau....	20
I.3.2.4. Limites de fonctionnement dues au courant rotorique.....	20
I.3.2.5. Association avec la représentation des valeurs de puissance active et réactive...	21
I.3.2.6. Limites de fonctionnement dues à l'angle interne	22
I.3.3. L'excitation.....	23
I.3.3.1 Caractéristiques principales de l'équipement du système d'excitation.....	23
I.3.3.1.1 Transformateur d'excitation	23
I.3.3.1.2 Armoire d'excitation	23
I.3.3.2. Différents types d'excitation	24
I.3.3.3. Système de régulation.....	25
I.3.3.4. Les rôles de la régulation dans l'excitation.....	25
I.3.3.5. Alimentation du système de contrôle	26
I.3.3.6. Alimentation du système d'excitation	27
I.3.3.7. Amorçage excitation	28
I.3.4. Le refroidissement de l'enceinte alternateur.....	28
Conclusion.....	29

Chapitre II : Modélisation de la machine synchrone

Introduction	31
II.1. Mise en équation des machines synchrones à pole lisse.....	31
II.1.1. Les équations de tension.....	32
II.1.1.1 Les équations de tension relative au stator.....	32
II.1.1.2 Les équations de tension relative au rotor.....	32
II.1.2. Les Equations magnétique Statorique/Rotorique.....	32
II.2. Transformation de Park.....	34

Sommaire

II.2.1. Machine virtuelle de Park.....	35
II.2.2. Equations électriques dans les axes d et q.....	36
II.2.3. Equations magnétiques dans les axes d et q.....	37
II.2.4. Expression de couple.....	37
II.2.5. Equation mécanique.....	38
II.3. Etude de système régulation de l'alternateur.....	39
II.3.1. Rappels sur la théorie du réglage	39
II.3.2. Description de régulation de l'alternateur.....	41
II.3.2.1. La régulation de la tension	41
II.3.2.1.1. Les régulateurs de tension conventionnelle.....	42
II.3.2.1.2. La régulation de la tension en utilisant la logique floue.....	44
II.3.2.1.2.1. Principes de la logique floue	44
II.3.2.1.2.2. Variables linguistique floue	44
II.3.2.1.2.3. Raisonnement flou	45
II.3.2.1.2.4. Conjonction floue.....	45
II.3.2.1.2.5. Disjonction floue	45
II.3.2.1.2.6. Implication floue.....	45
II.3.2.1.2.7. Régulation par la logique floue	46
II.3.2.2. La régulateurs de la fréquence	47
II.3.2.2.1. Cas du fonctionnement de la machine en régime iloté	47
II.3.2.2.2. Cas du fonctionnement de la machine en régime couplé au réseau national interconnecté	50
Conclusion.....	55

Chapitre III : Analyse et comparaison des résultats de simulation

Introduction :.....	57
III.1 Simulation de régulation d'excitation AVR.....	57
III.1.1. Simulation avec une régulation conventionnelle	57

Sommaire

III.1.1.1. Modèle de simulation.....	57
III.1.1.2. Simulation en fonctionnement normal	59
III.1.1.3. Interprétation des résultats	61
III.1.1.4. Simulation en présence d'un court-circuit fugitif	62
III.1.1.5. Interprétation des résultats	63
III.1.1.6. Simulation avec une coupure du circuit d'excitation	63
III.1.1.7. Interprétation des résultats.....	65
III.1.2. Simulation avec une régulation d'excitation en utilisant la logique floue.....	65
III.1.2.1. Modèle de simulation.....	65
III.1.2.2. Simulation en fonctionnement normal	68
III.1.2.3. Interprétation des résultats.....	69
III.1.2.4. Simulation en présence d'un court-circuit fugitif	70
III.1.2.5. Interprétation des résultats.....	71
III.2. Comparaison entre les deux régulateurs	71
III.2.1. Comparaison pour le fonctionnement normal	72
III.2.1.1. Comparaison des tensions d'excitation	72
III.2.1.2. Comparaison des courant statoriques	73
III.2.2. Comparaison pour l'essai de court-circuit fugitive	76
III.2.2.1. Comparaison des tensions d'excitation	76
III.2.2.2. Comparaison des courants statoriques.....	76
Conclusion	78
Conclusion générale.....	80
Annexes.....	83
Bibliographie.....	86

Listes des Figures

Listes des Figures

Chapitre I : Présentation de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj

Figure (I-1) : Position de la centrale donnée par Google earth.....	4
Figure (I-2) : Schéma de cycle.....	5
Figure (I-3) : Diagramme de Molier	6
Figure (I-4) : Architecture du réseau de transport	7
Figure (I-5) : Jeux de barres moyen tension des auxiliaires de l'alternateur	8
Figure (I-6) : Jeux de barres moyen tension des auxiliaires du central	9
Figure (I-7) : Jeux de barres basse tension des auxiliaires de l'alternateur	9
Figure (I-8) : Jeux de barres de courant continue des auxiliaires de l'alternateur	10
Figure (I-9) : Jeux de barres basse tension des services généraux de la centrale	11
Figure (I-10) : Jeux de barres d'éclairage de la centrale	12
Figure (I-11) : Jeux de barres d'éclairage de secours de la centrale	12
Figure (I-12) : Rotor à Pôles lisses d'un alternateur haut tension	13
Figure (I-13) : Stator d'un alternateur haut tension.....	14
Figure (I-14) : Vue externe de l'alternateur du centrale Marsat El hadjadj.....	15
Figure (I-15) Représentation schématique de l'alternateur (une phase)	15
Figure (I-16) Diagramme de Fresnel de l'alternateur.....	16
Figure (I-17) : Courbe de saturation de l'alternateur montrant la tension induite en fonction du courant d'excitation [1]	17
Figure (I-18) : Caractéristique en charge de l'alternateur	17
Figure (I-19) Diagramme de Behn-Eschenbourg d'un alternateur	19
Figure (I-20) Diagramme de Behn-Eschenbourg de la variation de courant de charge..	19
Figure (I-21) Diagramme de Behn-Eschenbourg d'une variation due au déphasage.....	20

Listes des Figures

Figure (I-22) Diagramme de fonctionnement dues au courant rotorique.....	20
Figure (I-23) Diagramme de fonctionnement représentant les puissances.....	21
Figure (I-24) Variation de couple en fonction de l'angle interne.....	22
Figure (I-25) : Types d'excitation.....	24
Figure (I-26) : Structure de régulation d'excitation	25
Figure (I-27) : schéma d'alimentation de système de régulation.....	27
Figure (I-28) : schéma d'alimentation de système d'excitation.....	27
Figure (I-29) : schéma d'amorçage de système d'excitation.....	28

Chapitre II : Modélisation de la machine synchrone

Figure II.1 : Machine synchrone triphasé avec amortisseurs	31
Figure II.2 : Développement de la machine virtuelle de Park	36
Figure II.3 : Modèle électrique de la machine synchrone.....	38
Figure II.4 : Modèle mécanique de la machine synchrone.....	39
Figure II.5 : Schéma de transformation de Park.....	39
Figure II.6 : Schéma simplifié d'une boucle de régulation	40
Figure II.7 : Description bref de la régulation d'alternateur	41
Figure II.8 : Système régulation (AVR) d'une excitation d'une machine synchrone.....	42
Figure II.9 : Courbe de magnétisation de l'excitatrice.....	43
Figure II.10 : Le schéma simplifié d'un système régulation (AVR) d'une excitation d'une machine synchrone	43
Figure II.11 : Exemple de fonction d'appartenance.....	44
Figure II.12 : Configuration interne d'un régulateur par la logique floue.....	47
Figure II.13 : Schéma d'un groupe turbo-alternateur en régime iloté.....	48

Listes des Figures

Figure II.14 : Schéma explicatifs sur variations de couple moteur – couple résistant de la turbine.....	48
Figure II.15 : Schéma d'équilibre entre la puissance et la vitesse/fréquence.....	49
Figure II.16 : Schéma indiquant des différentes valeurs de statisme.....	50
Figure II.17 : Schéma d'un groupe turbo-alternateur couplé à un réseau national interconnecté.....	51
Figure II.18 : Fourniture de la puissance par translation de la droite de statisme.....	52
Figure II.19 : Participation des différents groupes couplés en fonction de leur statisme.....	53
Figure II.20 : Schéma de régulation d'ouverture des soupapes.....	54
Figure II.21 : Schéma de régulation de puissance	55

Chapitre III : Analyse et comparaison des résultats de simulation

Figure (III.1) : modèle globale de simulation.....	58
Figure(III.2): régulateur de vitesse de la turbine à vapeur.....	59
Figure (III.3): régulateur conventionnelle tension d'excitation	59
Figure (III.4): les courants statoriques	59
Figure (III.4.1): Les courants statoriques régime permanent.....	60
Figure (III.4.2):Les courants statoriques pendant Le démarrage.....	60
Figure (III.5) : La puissance active.....	60
Figure (III.6) : Le couple électromagnétique.....	60
Figure (III.7) : L'angle interne Delta.....	60
Figure (III.8) : la vitesse angulaire du rotor	60
Figure (III.9) :La tension d'excitation.....	61
Figure (III.)10 : La puissance mécanique de la turbine.....	61

Listes des Figures

Figure (III.11) : Les courants statoriques.....	62
Figure (III.11.1) : Les courants statoriques.....	62
Figure (III.12) : La puissance active.....	62
Figure (III.13) : La coule électromagnétique.....	63
Figure (III.14): La tension d'excitation.....	63
Figure (III.15) : Les courants statoriques.....	64
Figure (III.16) : La puissance active.....	64
Figure (III.17): Le couple électromagnétique.....	64
Figure (III.18): La vitesse angulaire du rotor.....	64
Figure (III.19): régulateur de vitesse de la turbine à vapeur.....	66
Figure (III.20): régulateur de tension d'excitation.....	66
Figure (III.21): Modèle globale de simulation.....	67
figure (III.22): Les courants statoriques.....	68
figure (III.22.1): Les courants statoriques.....	68
Figure (III.23) : Le couple électromagnétique.....	68
Figure (III.24) : La puissance active.....	68
Figure (III.25) : La vitesse angulaire du rotor.....	69
Figure (III.26) : La tension d'excitation.....	69
Figure (III.27) : Les courants statoriques.....	70
Figure (III.27.1) : Les courants statoriques.....	70
Figure (III.28) : La tension d'excitation.....	70
Figure (III.29) : Le couple électromagnétique.....	71
Figure (III.30) : La puissance active.....	71
Figure (III.31) : la tension d'excitation pour les deux régulateurs.....	72

Listes des Figures

Figure (III.32) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs.....	73
Figure (III.32. : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs.....	73
Figure (III.32.2) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs	73
Figure (III.32.3) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs.....	75
Figure (III.33) : la puissance active pour les deux régulateurs.....	75
Figure (III.34) : la tension d'excitation pour les deux régulateurs.....	76
Figure (III.34.1) : la tension d'excitation avec un régulateur par la logique floue.....	76
Figure (III.35) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs.....	76
Figure (III.36) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs.....	77
Figure (III.37) : la puissance active pour les deux régulateurs.....	78

Annexe

Figure (1) la fonction de la logique floue.....	83
Figure (2) Les règles de la logique floue.....	83
Figure (3) Les entrées de la logique floue.....	84
Figure (4) Les sorties de la logique floue.....	84

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, les besoins énergétiques de l'Algérie sont satisfaits, presque exclusivement, par les hydrocarbures, notamment le gaz naturel, l'énergie la plus disponible. La reconduction du modèle national de consommation énergétique actuel peut rendre problématique l'équilibre entre l'offre et la demande pour cette source d'énergie. Les niveaux des besoins en gaz naturel du marché national seraient de l'ordre de 45 milliards de m^3 en 2020 et 55 milliards de m^3 en 2030. A ces besoins s'ajoutent les volumes dédiés à l'exportation dont les revenus contribuent au financement de l'économie nationale. Quoique le nombre de centrales de production d'énergie électrique est très satisfaisant, mais leur entretien et leur maintenance est nécessaire, ce qui exige obligatoirement la préparation d'un personnel qualifiés pour leur développement et leur durabilité. Donc afin de contribuer en futur dans l'amélioration de ces sources, nous avons choisi de passer notre stage au niveau de la centrale de Marsat El Hadjadj. Bien que cette source de production d'énergie électrique été réalisé en 1984 la majorité de son personnel vas partir en retraite sans remplacement.

Cependant ce stage pratique au sein de la structure nous a permet d'apprendre beaucoup de compétences pratiques, et d'acquiers une grande familiarisation avec le matériel de la centrale. Encore fois pour compléter notre savoir-faire sur ces systèmes industriels nous avons choisi de faire une mémoire de fin d'étude sur la régulation de l'alternateur.

La régulation de l'alternateur est le maintien en stabilité la tension et la fréquence des tensions statorique couplé à un réseau infini en contrôlant deux éléments majeures

- ✓ La tension d'excitation
- ✓ La vitesse de la turbine

La stabilité d'un alternateur couplé à un réseau infini est un élément très essentiel à maintenir pour des raisons de sécurité de la machine est le réseau en générale, notre étude sera répartie dans trois parties :

La première partie, sera consacrée à la présentation de la centrale de production de Marsat El Hadjadj avec une explication du cycle de production et de distribution de l'énergie électrique dans la centrale. Une étude détaillée sur l'alternateur, son principe de fonctionnement et ses organes principaux comme le rotor, le stator sera décrite .Le dispositif de régulation de tension d'excitation (l'AVR : Automatic Voltage Régulator) sera détaillé. Nous rappelons que lors de notre stage au sein de la centrale nous avons remarqué que le système d'exciton utilisé jusqu'à l'heure actuelle est basé sur les circuits conventionnels.

La deuxième partie sera destinée à une modélisation de l'alternateur en passant par les équations électriques et mécaniques .Le modèle de Park sera déterminé pour la simulation de

Introduction générale

la machine. Ensuite nous allons expliquer les deux types de régulation à savoir la régulation conventionnelle utilisée dans la centrale et la régulation intelligente par la logique floue. Les schémas bloc des régulateurs de tension et fréquence utilisés pour la simulation seront expliqués.

En fin l'exécution des différentes simulations, l'analyse des résultats et leurs interprétations seront présentés dans la troisième partie. Dans cette partie nous allons faire fonctionner l'alternateur dans plusieurs états de marche en utilisant les types de régulateurs. Si les régulateurs donneront une satisfaction dans la fonction de régulation, alors une comparaison entre les deux régulateurs sera faite pour monter lequel des deux sera le plus rapide et le plus performant. D'après nos connaissances théoriques nous souhaiterons accomplir cette mission et recommander la centrale pour appliquer la régulation numérique pour moderniser nos systèmes de production d'énergies électriques

Chapitre I

Introduction :

Le stage pratique au sein de la centrale de production d'énergie électrique a Marsat El Hadjadj nous a permis d'apprendre beaucoup de compétences pratiques, et d'acquies une grande familiarisation avec le matériel de la centrale. Nous avons appris qu'une centrale représente un système industriel très compliqué, il regroupe plusieurs disciplines. Alors pour compléter notre savoir-faire sur ces systèmes industriels nous avons choisi de faire une mémoire de fin d'étude sur la régulation de l'alternateur de grande puissance.

Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur le cycle de la production de l'énergie électrique par la centrale. Notre description commencera par le réseau électrique de la production jusqu'à la distribution de l'énergie, les installations électriques, les auxiliaires, et enfin les alternateurs.

I.1. Présentation de la centrale de MARSAT EL HADJADJ :

I.1.1. Situation géographique :

La centrale thermoélectrique de MARSAT EL HADJADJ est située au bord de la mer à 14 Km environ de la zone industrielle d'Arzew et à 50Km à l'est d'Oran comme le montre la figure (I-1).



Figure (I-1) : Position de la centrale donnée par Google earth

I.1.2. Présentation de la centrale :

Cette centrale se compose de cinq tranches identiques produisant chacune 176 MW pour une totalité de 880 pour toute la station, la puissance de chaque tranche est 168 MW injectée dans le réseau national et 8 MW pour l'alimentation des auxiliaires de la centrale. La figure (I-2) présente la structure générale d'un cycle de production d'une seule tranche [2] :

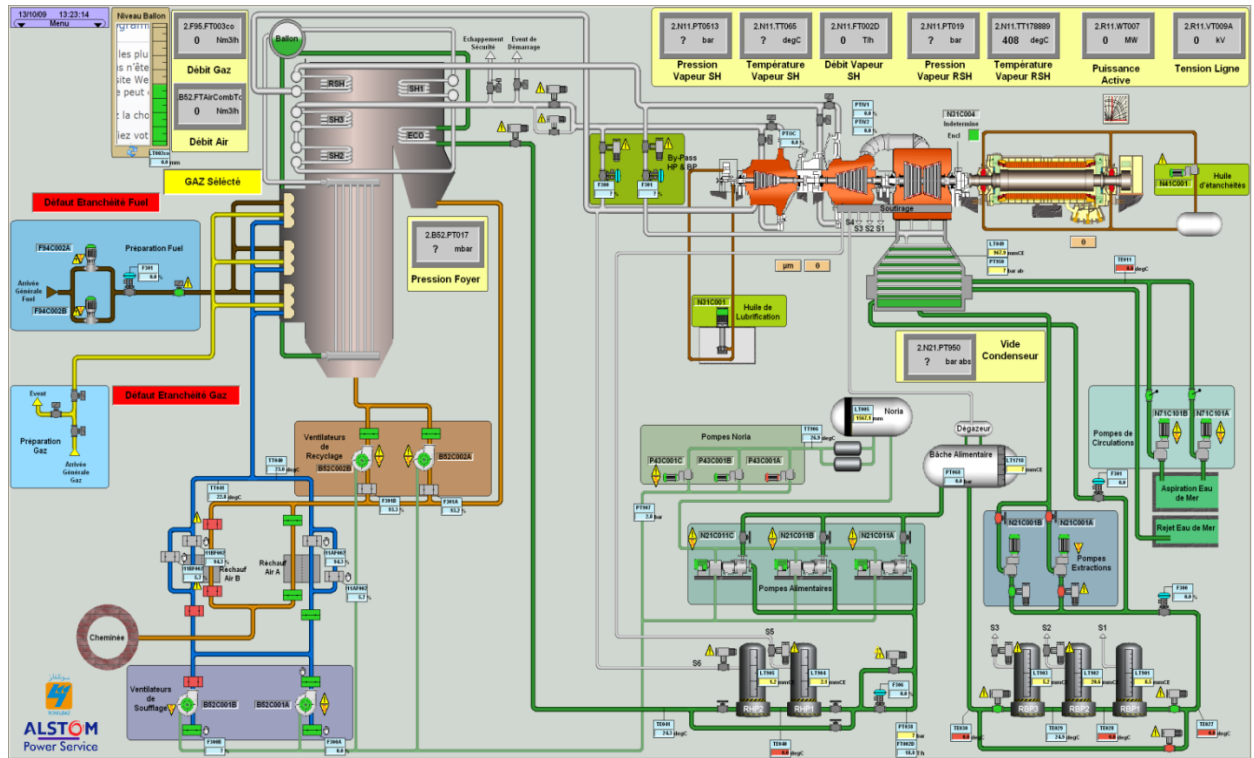


Figure (I-2) : Schéma de cycle

- : Air
- : Vapeur d'eau
- : Gaz
- : Eau
- Huile
- : Fuel
- : Fumée
- : Eau de réfrigération
- : Hydrogène
- : Dioxyde de carbone

La centrale thermoélectrique produit de l'énergie électrique à partir d'une énergie calorifique. L'énergie calorifique ne peut être directement transformée en énergie électrique ; il faudra donc réaliser plusieurs transformations successives.

Entre l'énergie thermique dégagée par combustion et l'énergie électrique produite, la vapeur d'eau est l'intermédiaire nécessaire. Elle est portée à haute pression et haute température dans la chaudière, alimentée elle-même en combustible (fuel, gaz, poussière de charbon) et en air (ventilateur de soufflage). La vapeur saturée ainsi produite se dégage dans un ballon, puis passe par les surchauffeurs ou elle est transformée en vapeur surchauffée. Ayant atteint son

maximum d'énergie thermodynamique, le flux de vapeur se détend dans les corps HP, MP, et BP de la turbine du groupe turboalternateur, la faisant tourner à grande vitesse. L'énergie est devenue énergie cinétique de rotation. L'arbre de transmission entraîne le rotor de l'alternateur qui transforme l'énergie en énergie électrique, à basse tension. La vapeur qui a cédé son énergie à la turbine est récupérée sous forme d'eau dans le condenseur (lui-même refroidi par un circuit extérieur). Avant de recommencer un nouveau cycle, elle est d'abord réchauffée par de la vapeur prélevée en différents points de la turbine par les soutirages et encore chauffée dans le poste de réchauffage. Quant aux gaz de combustion formés dans la chaudière, ils servent dans le réchauffeur à élever la température de l'air entrant, puis sont évacués après avoir été préalablement dépoussiérés.

Le cycle thermique de la production de l'électricité est représenté par le diagramme de MOLIER suivant :

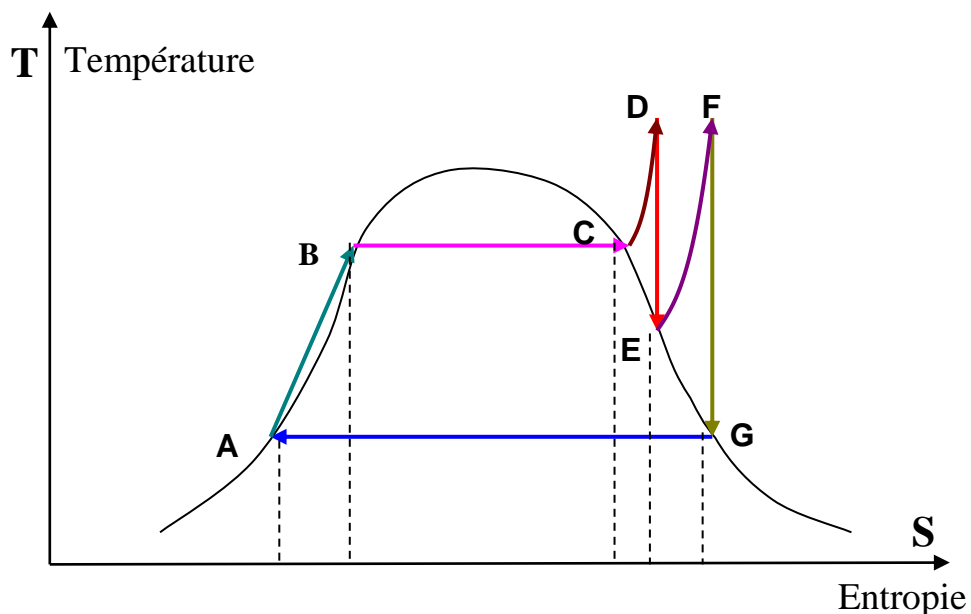


Figure (I-3) : Diagramme de Molier [2]

[AB] : Poste d'eau RBP et RMD.

[BC] : Ballon chaudière (évaporation).

[CD] : Surchauffeurs (sh1, sh2 et sh3).

[DE] : Détente de la vapeur dans le corps HP de la turbine.

[EF] : Resurchauffeurs de la vapeur.

[FG] : Détente de la vapeur dans le corps MP et BP de la turbine.

[GA] : Condensation de la vapeur dans le condenseur.

I.2. Installation électrique :

I.2.1. Partie Haute Tension (220 KV) :

Le transport de la tension produite est réalisé à l'aide d'un transformateur élévateur HT installé et connecté à la sortie de l'alternateur par l'intermédiaire d'un disjoncteur appelé disjoncteur machine pour élever la tension de 13,8 KV au 220 KV avec une puissance nominal de 220 (MVA) pour le réseau national, une partie de cette puissance est utilisé pour l'alimentation des tableaux MT et BT des auxiliaires de central à travers un transformateur de soutirage.

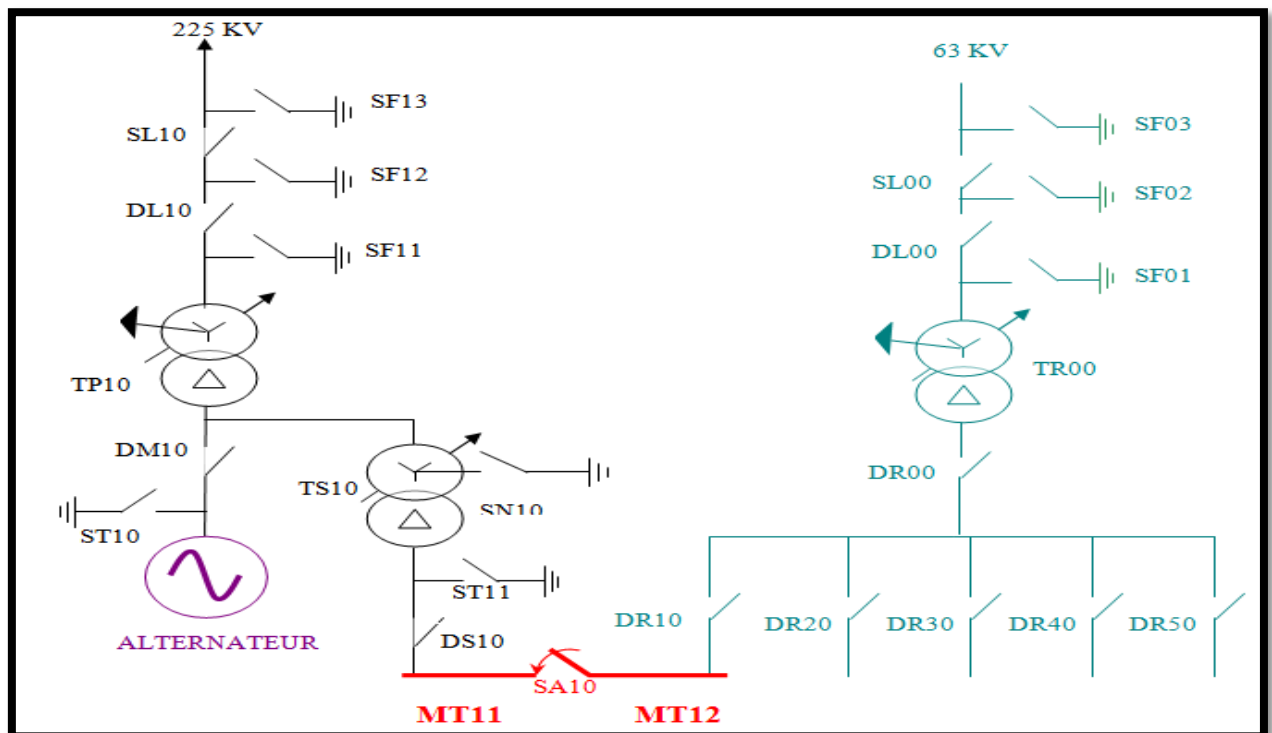


Figure (I-4) : Architecture du réseau de transport [2]

I.2.2. Ligne de Secours :

La ligne de secours est alimentée par le réseau en cas de manque de courant dans la centrale, avec une tension de 63 kV qui alimente les jeux de barres moyen tension des tranches à travers un transformateur de réseau TR00 (63 KV/6,6 KV).

Cette même ligne assure l'interconnexions entre les trois tranches partie MT (6,6 KV).

Donc nous avons deux types de secours :

- Secours tranche réseau: avec fermeture des disjoncteurs DR00 et DR10, DR20 ou DR30 de la tranche à secourir.
- Secours tranche-tranche : ouverture de disjoncteur DR00 et fermeture des disjoncteurs de la ligne de secours de la tranche donneuse et réceptrice.

I.2.3. Les auxiliaires électriques :

I.2.3.1. Les auxiliaires Tranches :

I.2.3.1.1. Partie Moyenne Tension :

Une puissance de 8 MW est destinée à alimenter la partie moyenne tension (6,6 kV) tel que les tableaux MT (11 ,12), MT (21 ,22), MT (31 ,32) à travers les transformateurs de soutirage TS10, TS20, TS30 comme indiqué dans la figure (I-4) , le jeu de barres MT de chaque tranche alimente les jeux de barres des auxiliaires BT (11, 12,13), BT (21, 22,23), BT (31, 32,33) (380V) à travers les transformateurs auxiliaires TA (11, 12,13) (6,6 KV/380 V) un jeu de barres contient [2] :

- Arrivée du transformateur de soutirage TS comme est montré sur la figure (I-4).
- Les disjoncteurs de départ vers les Pompes et les Ventilateurs comme est montré dans les figures (I-7) et (I-9)
- Disjoncteur de départ vers l'excitatrice de l'alternateur à travers un transformateur TX.
- Disjoncteur de départ vers les transformateurs auxiliaires DA (11, 12,13).
- Disjoncteur de départ vers le tableau commun MT(01,02). Comme est montré dans la figure (I-6)
- Disjoncteur arrivée de la ligne de secours réseau DR00 comme est montré sur la figure (I-4).

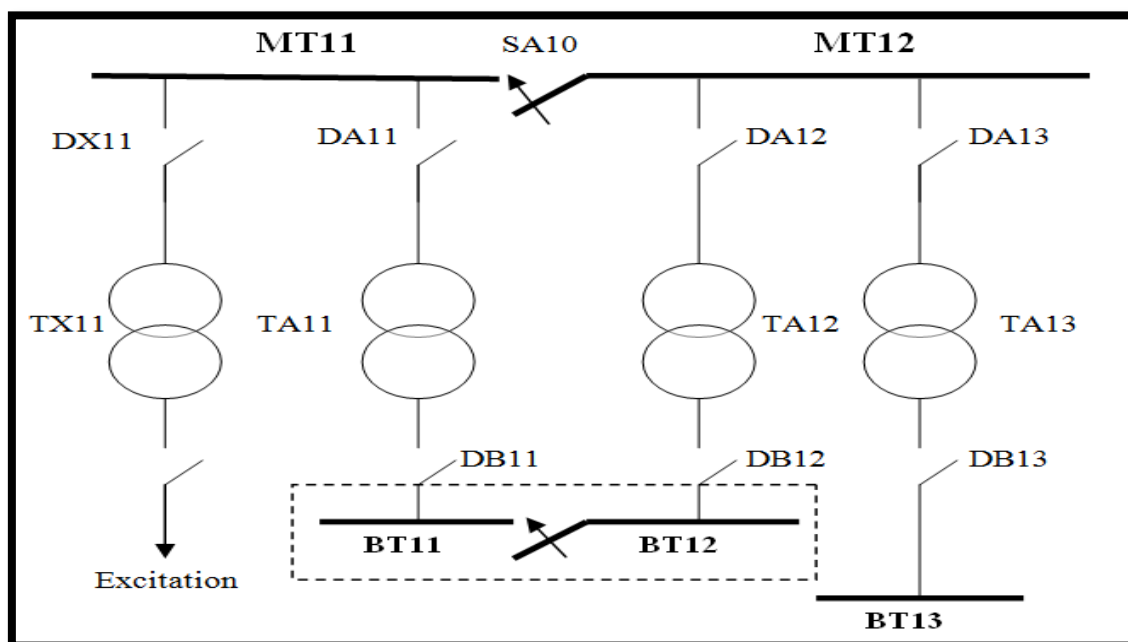


Figure (I-5) : Jeux de barres moyen tension des auxiliaires de l'alternateur [2]

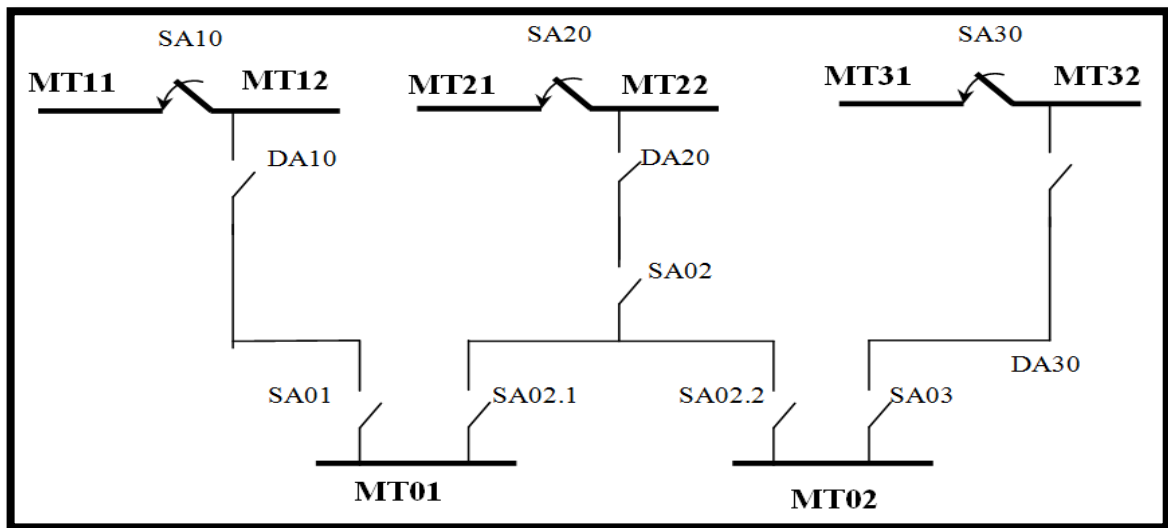


Figure (I-6) : Jeux de barres moyen tension des auxiliaires du central [2]

I.2.3.1.2. Basses Tension BT (380V) :

Chaque tranche BT (13, 23, 33) comme est indiqué sur les Figures (I-7) et (I-8) alimente un tableau de basse tension commune BC00 pour l'alimentation des auxiliaires de secours.

Pour MARSAT (I) nous avons 02 générateurs à moteurs (diesels) qui secourent la tranche qui a besoin d'être alimenté en cas de coupure.

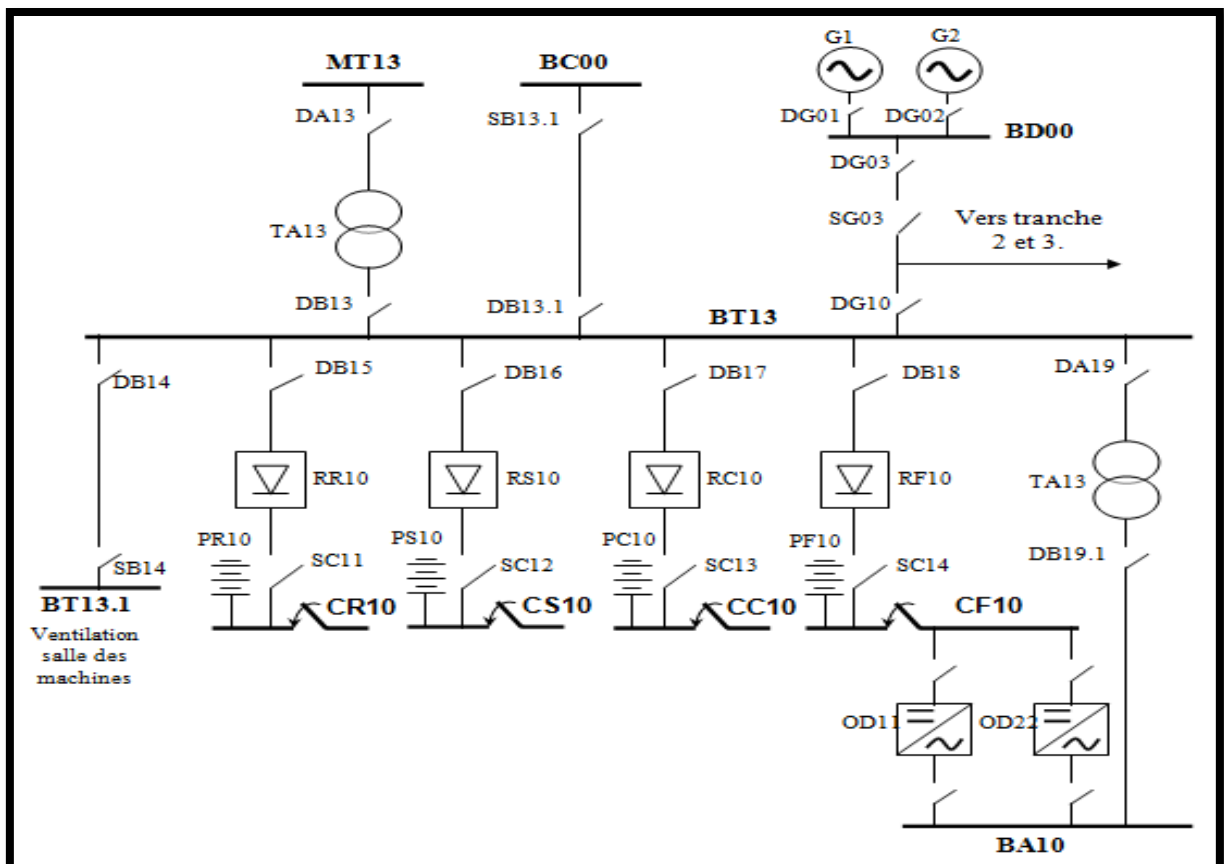


Figure (I-7) : Jeux de barres basse tension des auxiliaires de l'alternateur

Sur chaque tableaux des auxiliaires de tranche basse tension nous avons (comme exemple la tranche 01) :

- DB14 : disjoncteur basse tension départ ventilation salle machine.
- DB16 : disjoncteur basse tension départ redresseur courant de régulation.
- DB16 : disjoncteur basse tension départ courant de signalisation.
- DB17 : disjoncteur basse tension départ courant de commande.
- DB13.1 : disjoncteur basse tension départ BC00.
- DB13 : disjoncteur basse tension arrivée transformateur auxiliaire TA13.
- DG10 : disjoncteur basse tension arrivée diesel de secours.
- DB19 : disjoncteur basse tension départ transformateur T0 10.

Pour MARSAT(II) le BC01 et l'interconnexion entre les deux tranches BT42 et BT53 [2].

I.2.3.1.3. Partie Courant Continu :

Vu la nécessité du maintien en service des organes prioritaires tel que : Le graissage, l'étanchéité de l'alternateur, donc certains fonctions sont obligatoire dans les cas de fonctionnement le plus défavorable de la centrale tel que :

- Redresseurs et batteries.
- Courant de régulation (courant de commande des régulateurs) CR : 48 Vcc.
- Courant de signalisation (courant qui commande les détecteurs) CS : 48 Vcc.
- Courant de commande (courants qui commande les actionneurs) CC : 110 Vcc.

Chaque fonction est alimentée par leur propre tableau commun (CR00, CC00, CS00, CF00), dans le cas de défaillance dans le réseau, les tableaux sont alimentés par leurs propres batteries de secours (PC, PS et PR).

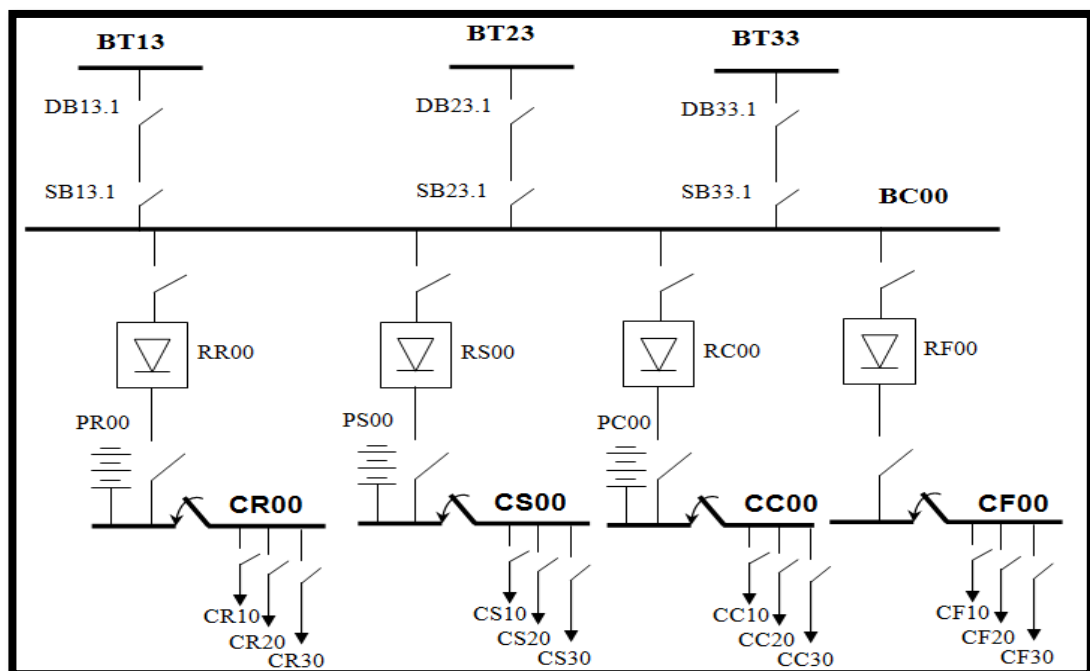


Figure (I-8) : Jeux de barres de courant continu des auxiliaires de l'alternateur [2]

I.2.3.2. Les Auxiliaires Généraux :

A partir du tableau MT une dérivation est destinée à alimenter une partie MT commune (MT01/MT02) comme est montré dans la figure (I-6), les jeux de barres MT communs destinés à l'alimentation des auxiliaires généraux :

- Station dessalement.
- Station d'électro chloration.

Et les services généraux comme :

- Tableau atelier.
- Tableau cuisine.
- Station de pompage et chloration.
- Déminéralisation.
- Traitement chimique.

Les tableaux basse tension BT01 et le BT02 des auxiliaires généraux sont alimentés par les jeux de barres MT01 et MT02 à travers les transformateurs auxiliaires TA01 et TA02.

Chaque tableau a deux possibilités d'être alimenté, soit par les jeux de barres BT01 ou BT02 dans le cas où il y a intervention sur l'un des deux.

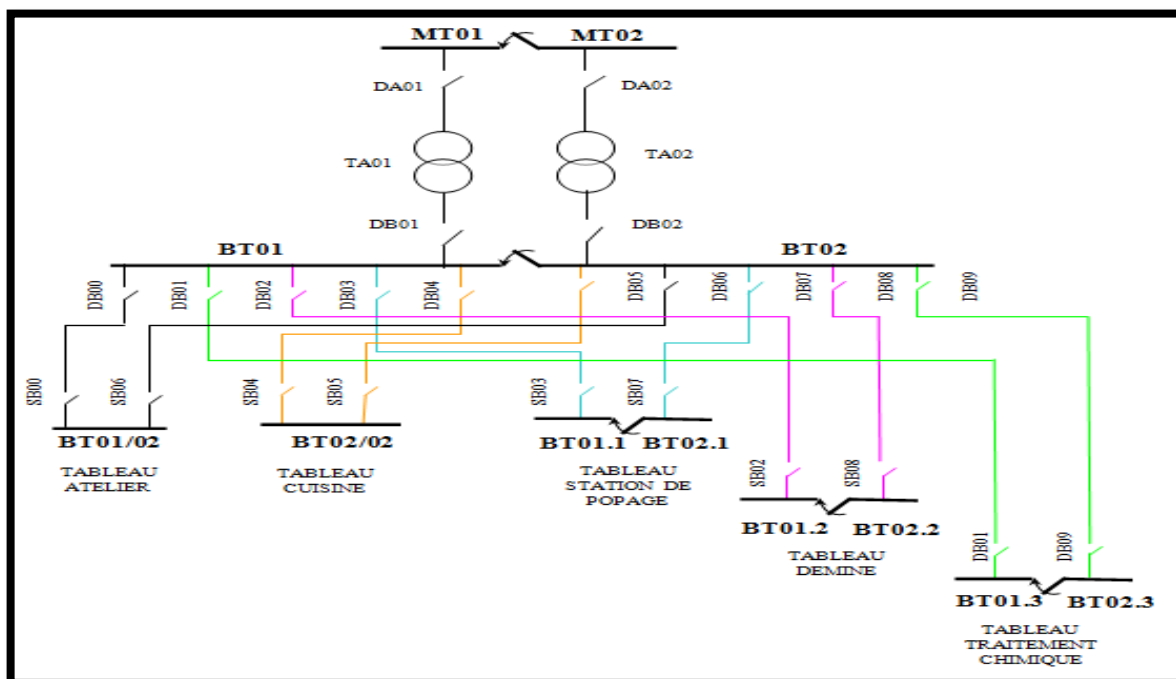


Figure (I-9) Jeux de barres basse tension des services généraux de la centrale [2]

I.2.3.2.1. L'éclairage :

L'éclairage de MARSAT 01 de la centrale est assuré par le tableau BE (01,02) (éclairage basse tension) alimenté par les transformateurs d'éclairage TE01 et TE02 des jeux de barres MT01, MT02 (6,6 KV).

L'éclairage de MARSAT 02 du central est alimenté par le tableau BE (03,04) des jeux de barres MT03, MT04 en passant par les transformateurs d'éclairage TE03, TE04.

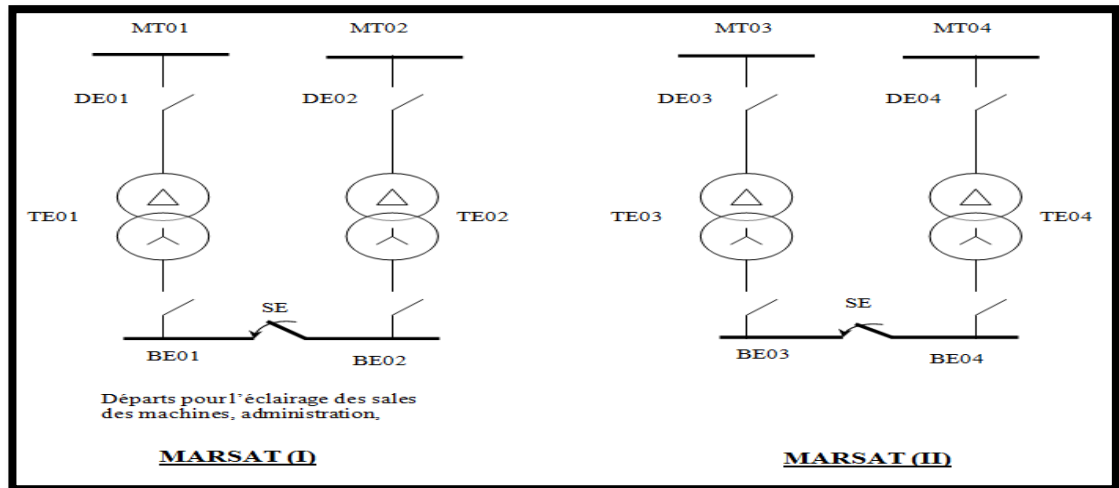


Figure (I-10) : Jeux de barres d'éclairage de la centrale [2]

I.2.3.2.2. Eclairage de secours :

L'éclairage de secours est assuré par le tableau BE03 alimenté par le tableau basse tension commun BC00 à travers un transformateur TE03(380,380).

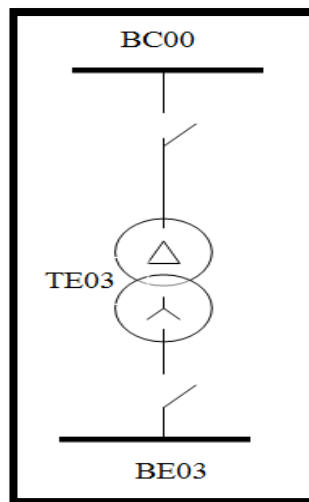


Figure (I-11) : Jeux de barres d'éclairage de secours de la centrale [2]

I.3. Généralité sur l'alternateur de Marsat El Hadjadj:

L'alternateur est l'élément qui permet la conversion de l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique fournie au réseau, il est constitué d'un rotor, solidaire du rotor de la turbine, d'un stator qui porte les bobinages induits produisant le courant triphasé vers la charge et le dispositif d'excitation du rotor. Ces caractéristiques nominales principales sont:

- Puissance apparente : 220 MVA.
- Facteur de puissance : 0,8.
- Tension : 13,8 KV \pm 5% KV.
- Fréquence : 50Hz.
- Vitesse : 3000 tr/min.

I.3.1. Principaux éléments de l'alternateur :

I.3.1.1. Le Rotor:

C'est la partie tournante (pour des machines de faible puissance, c'est un aimant permanente), sinon c'est un électroaimant qui est alimenté (excité) en courant continue, génère P paires de pôles. Il existe des rotors à pôle saillantes avec un nombre de pôle élevé (c'est pour des machines tournantes à faible vitesse), on a aussi des pôles lisse ou entrefer constant, qui sont adopté pour les alternateurs de forte puissance donc la fréquence de rotation est élevée (turbo alternateur),



Figure (I-12) : Rotor à Pôles lisses d'un alternateur haut tension [1]

En extrémité de fût du rotor, un dispositif de frettes permet de maintenir en place les têtes de bobines et contenir l'action de la forte force centrifuge sur les composants d'assemblage.

I.3.1.2. Le Stator :

Le stator constitue la partie fixe de l'alternateur, du point de vue électrique, le stator d'un alternateur est identique à celui d'un moteur asynchrone triphasé, il se compose d'un noyau feuilleté ayant la forme d'un cylindre vide et comportant des encoches dans lesquelles sont

logés les conducteurs d'un enroulement triphasé, l'enroulement est toujours raccordé en étoile et le neutre est accessible pour permettre sa mise à la terre [4].

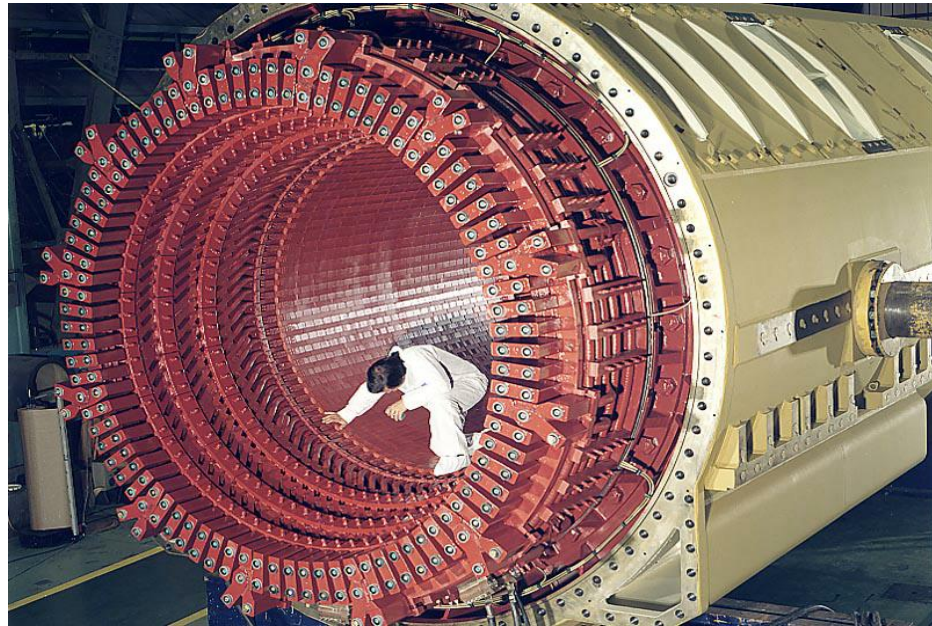


Figure (I-13) : Stator d'un alternateur haut tension

I.3.2. 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 statorique pendant un intervalle de temps permettent de créent une force électromotrice induite e aux bornes des enroulements statorique.

$$e = N d\Phi / dt$$

Avec

$$\Phi = N B S$$

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 (m^2)

N : nombre de spire de la bobine

e : force électromotrice induit, en volts (V)



Figure (I-14) : Vue externe de l'alternateur de la centrale de Marsat El hadjadj

I.3.2.1. Représentation vectorielles :

On peut donner un schéma simplifié d'une phase d'alternateur dans lequel apparaissent les grandeurs de f.é.m., de tension et de courant débité par cette phase [1].

Sur ce schéma,

- E est la f.é.m. vide, en dehors de toute charge externe ; elle est exprimée en volts
- V est la tension aux bornes d'un enroulement de la machine, exprimée en volts.
- I est le courant d'induit, débité par la phase ; il est exprimé en Ampères
- R est la résistance de l'enroulement d'induit ; exprimée en Ohms
- X est la réactance synchrone de la machine, exprimée en Ohms.

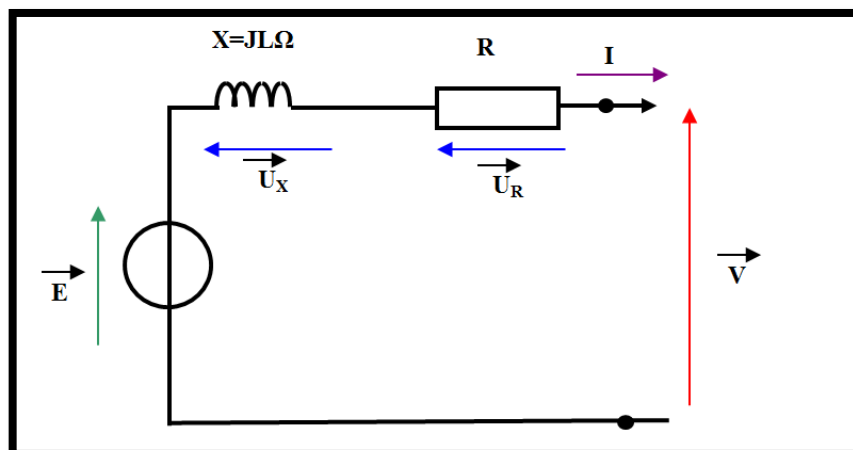


Figure (I-15) Représentation schématique de l'alternateur (une phase)

L'inductance L du schéma tient compte à la fois de l'inductance réelle de l'enroulement et de la réaction magnétique d'induit.

I.3.2.2. Caractéristique vectorielle de Fresnel :

La représentation de Fresnel permet de bâtir un graphe sur lequel les différentes grandeurs électriques sinusoïdales participant au système apparaissent avec leur module et leur phase, c'est à dire, le décalage temporel entre elles. Par exemple, on sait que la chute de tension aux bornes de la résistance d'induit « r » se trouve en phase avec le courant de charge qui la traverse ($\varphi = 0$). Au contraire, la chute de tension due à la réactance synchrone $L \omega$ à profil inductif est en quadrature avant sur le courant qui la traverse ($\varphi < 0$) [1].

Sur ce graphe apparaissent :

- l'angle φ , caractéristique du déphasage introduit par la charge à laquelle est connecté l'alternateur
- l'angle θ , existant entre la f.e.m de la machine et la tension aux bornes, est l'**angle interne**

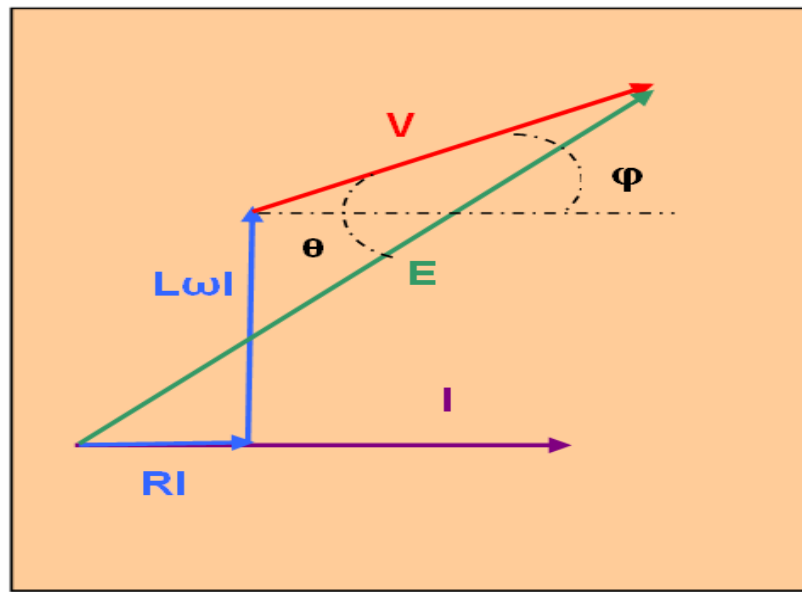


Figure (I-16) Diagramme de Fresnel de l'alternateur

I.3.2.3. Caractéristiques à vide et en charge de l'alternateur :

I.3.2.3.1. Caractéristique à vide de la machine :

Lorsqu'on augmente graduellement le courant d'excitation tout en observant la tension E_0 entre une phase (la phase A par exemple) et le neutre N. On constate que E_0 augmente d'abord proportionnellement à I_{exc} cependant, au fur et à mesure que le flux augmente, l'acier se sature, et la tension croît de moins en moins pour une même augmentation de I_{exc} . En effet si l'on trace la courbe de E_0 en fonction de I_{exc} , on obtient une courbe de saturation semblable à celle d'une génératrice à courant continu [1]

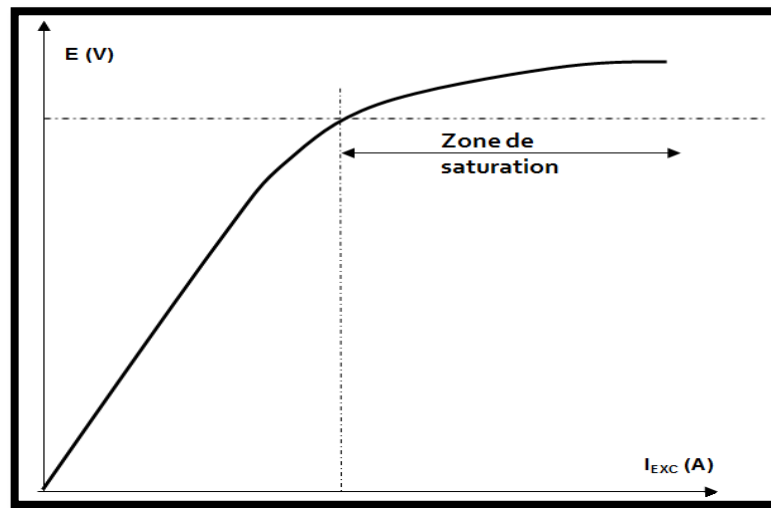


Figure (I-17) : Courbe de saturation de l’alternateur montrant la tension induite en fonction du courant d’excitation [1]

I.3.2.3.2. Caractéristique en charge de la machine :

Le Comportement d’un alternateur dépend de la nature de la charge qu’il alimente. On distingue quatre types de charge

- 1-charge résistive
- 2- charge capacitive
- 3-charge inductive
- 4- réseau infini

La caractéristique de l’alternateur est tracée ci-après pour 3 types de déphasage distincts

- $\varphi_1 = 0$ charge purement résistive
- $\varphi_2 < 0$ charge inductive
- $\varphi_3 > 0$ charge capacitive

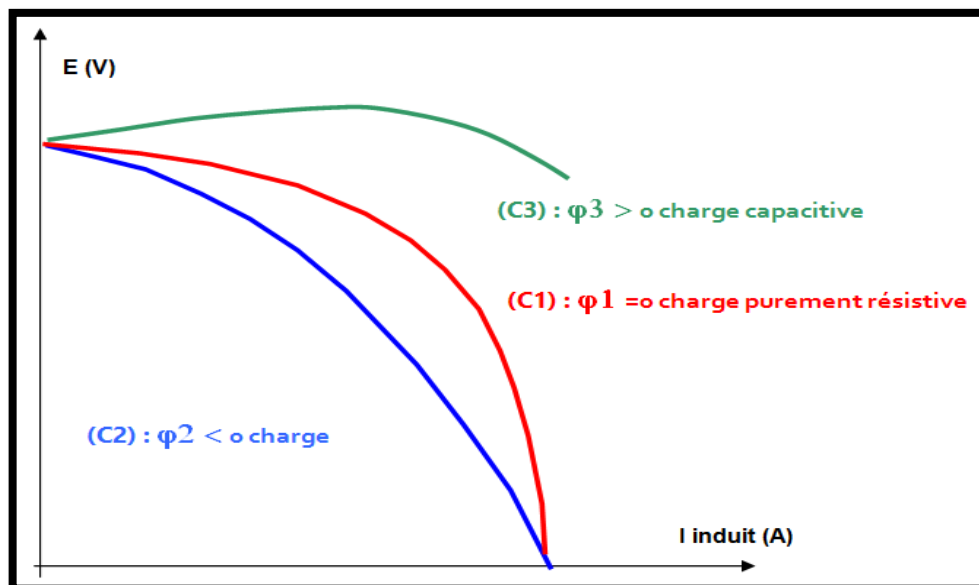


Figure (I-18) : Caractéristique en charge de l’alternateur [1]

La courbe C1 correspond à une charge purement résistive. La tension au stator décroît à mesure que le courant induit augmente, donc la charge de l'alternateur augmente.

La courbe C2 correspond à une charge résistive et inductive. Elle est entièrement au-dessous de la courbe C1 : pour un courant d'intensité déterminée $I(A)$ et avec la même excitation I_{exc} , la chute de tension est d'autant plus grande que la charge est inductive.

La courbe C3 correspond à une charge résistive et capacitive. Elle est entièrement située au-dessus de C1 : pour un courant d'intensité déterminée $I(A)$ et avec la même excitation I_{exc} , la chute de tension est d'autant plus petite que la charge est capacitive [1].

I.3.2.3.2.1. L'alternateur couplé au réseau :

Lorsqu'on branche un alternateur à un grand réseau comportant déjà plusieurs centaines d'alternateurs. Ce réseau est tellement puissant qu'il impose une tension et une fréquence constante à tout appareil branché à ses bornes. C'est pourquoi on l'appelle réseau infini.

Une fois couplé à un grand réseau, il est impossible de préciser la nature de la charge (grosse ou petite, résistive, inductive ou capacitive) branchée aux bornes de cet alternateur en particulier, la tension et la fréquence appliquées étant constantes, on ne peut plus faire varier que deux paramètres qui déterminent la puissance que l'alternateur débite dans ces circonstances [4] :

- Le courant d'excitation.
- Le couple mécanique exercé par la turbine.

L'ensemble des grandeurs en jeu est représenté sur un diagramme dit de Behn-Eschenbourg, qui met en évidence :

- la tension V (v) réputée fixe (tension simple).
- le courant débité I (A),
- l'angle interne θ
- le déphasage φ entre le courant I et la tension V .
- rI , la chute de tension due à la résistance de l'enroulement d'induit qui est en phase avec le courant I débité.
- XI , la chute de tension due à la réactance qui tient compte à la fois de l'inductance réelle de l'enroulement et de la réaction magnétique d'induit ; XI se trouve en quadrature avant sur le courant I débité.

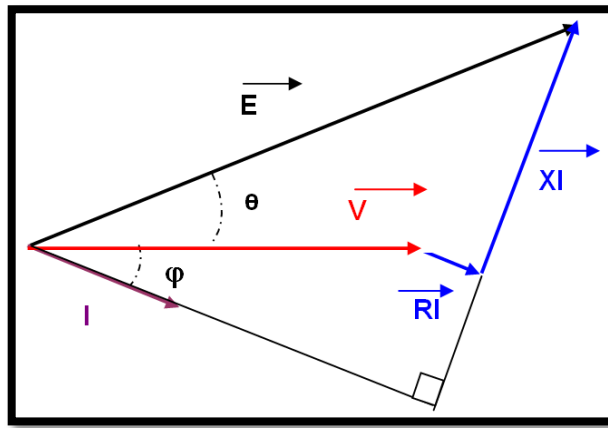


Figure (I-19) Diagramme de Behn-Eschenbourg d'un alternateur [1]

I.3.2.3.2.1.1. Réaction magnétique d'induit :

Lorsque l'induit est fermé sur une charge, il est parcouru par des courants sinusoïdaux induits, qui a leur tour créent un flux variable qui perturbe l'état magnétique de la machine et modifient la valeur de la f.é.m induite. La nécessité de conserver une tension constante à la sortie de la machine nécessite donc d'agir sur la valeur du courant d'excitation pour adapter la f.é.m en fonction de la charge qui peut varier en intensité [1].

I.3.2.3.2.1.2. Influence d'une variation du courant de charge I :

Si on observe l'évolution des différentes grandeurs lorsque le courant de charge (le courant débité par l'alternateur), passe d'une valeur I_1 à I_2 (la tension V , la fréquence et le déphasage φ étant fixes) [1]:

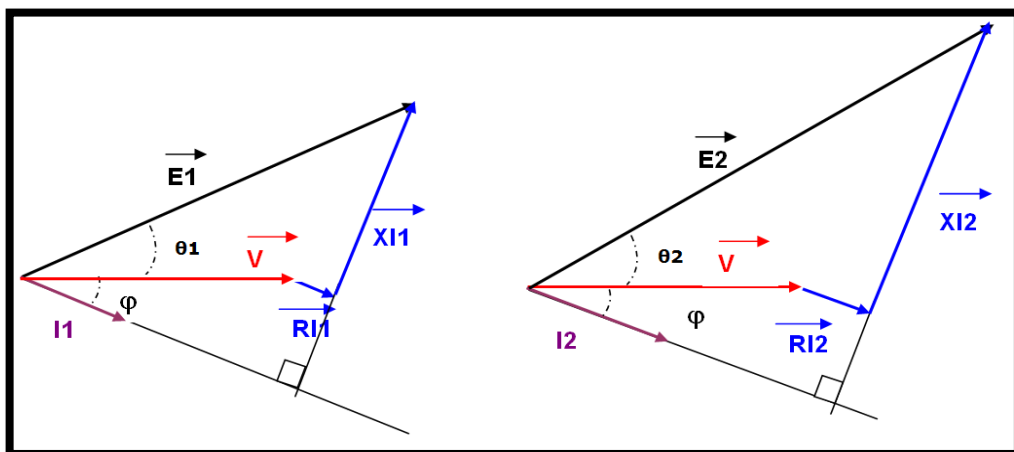


Figure (I-20) Diagramme de Behn-Eschenbourg de la variation de courant de charge [1]

On constate que V et φ étant constants, la f.e.m. doit varier. Or, $E = K.N.\Phi F$, ce qui n'est possible qu'en faisant varier le flux Φ , donc **le courant d'excitation.**

I.3.2.3.2.1.3. Influence d'une variation due au déphasage courant/tension du réseau :

Si on observe l'évolution des différentes grandeurs lorsque le déphasage de la charge passe d'une valeur φ_1 à φ_2 (la tension V , la fréquence et le courant de charge étant fixes) [1]:

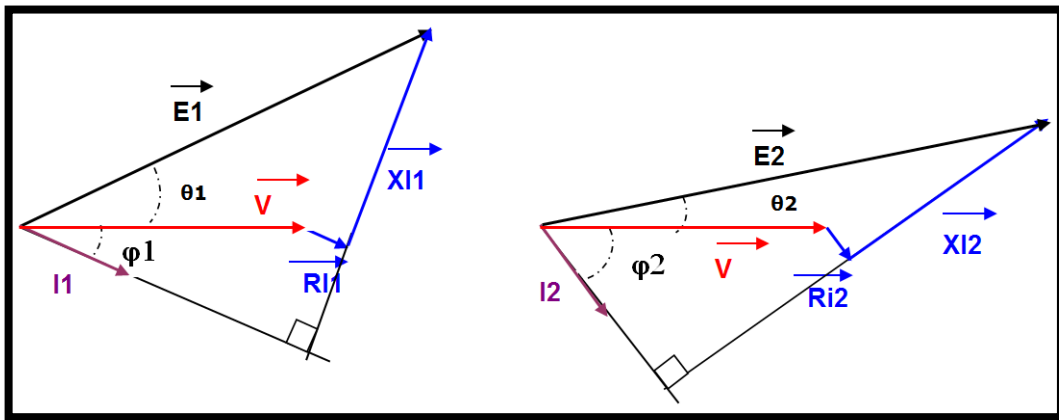


Figure (I-21) Diagramme de Behn-Eschenbourg d'une variation due au déphasage [1].

On constate que V et I étant constants, la f.e.m. doit à nouveau varier. Or, $E = K.N.\Phi F$, ce qui n'est possible qu'en faisant varier le flux Φ , donc le **courant d'excitation** [1]

I.3.2.4. Limites de fonctionnement dues au courant rotorique:

Le centre de schéma de Behn-Eschenbourg d'un alternateur figure (I-23) est l'origine d'un cercle portant la valeur de la f.e.m.

Le cercle C_1 représente le lieu géométrique du point de fonctionnement de l'alternateur pour différentes puissances de l'alternateur ; CM est l'image de la f.e.m générée par le courant d'excitation. Le cercle C_0 représente la limite inférieure de la f.e.m (excitation minimum).

Le cercle C_2 représente la limite maximum de f.e.m liée à la limitation du courant rotor [1].

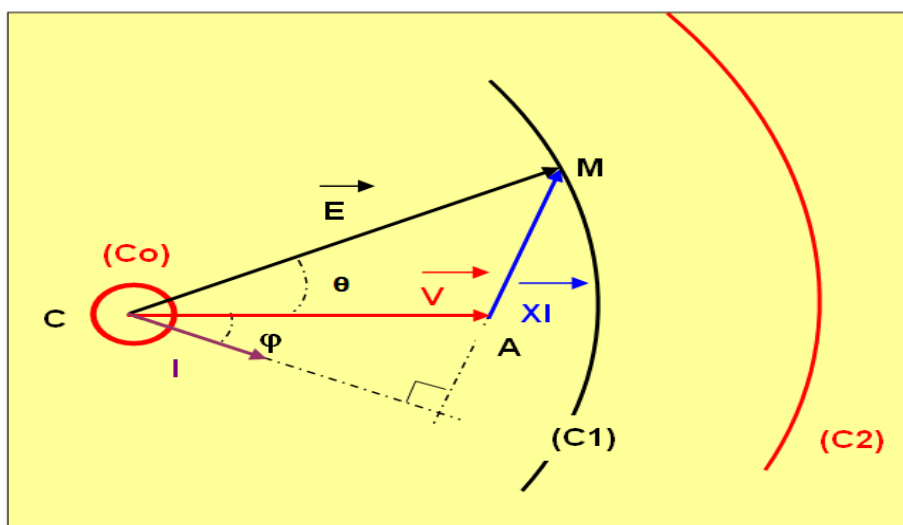


Figure (I-22) Diagramme de fonctionnement dû au courant rotorique

I.3.2.5. Association avec la représentation des valeurs de puissance active et réactive :

Dans le schéma précédent Figure (I-26) , on doit considérer que la tension V n'est pas un élément réglable une fois le générateur couplé à un réseau important, La tension du générateur est largement imposée à la valeur nominale requise par le réseau. En quelque sorte, l'extrémité A du vecteur tension est un point fixe autour duquel le vecteur de la chute de tension de la réactance XI (chute de tension rI négligée) peut être modifié en amplitude (avec la variation du courant induit I) ou en phase avec la variation de déphasage φ .

Si on projette le segment $AM (= XI)$ sur les axes orthonormés Ap et Aq passant par A , on détermine les segments respectifs AP et AR avec $AP = XI \cos \varphi$ et $AR = XI \sin \varphi$.

Les valeurs respectives de la puissance active $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$ et de la puissance réactive $Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi$ sont donc lisibles directement sur les axes Ap et Aq moyennant une graduation appropriée (rapport d'échelle $3V/X$ entre U et P , avec V tension simple d'un enroulement stator soit $U/\sqrt{3}$) [1].

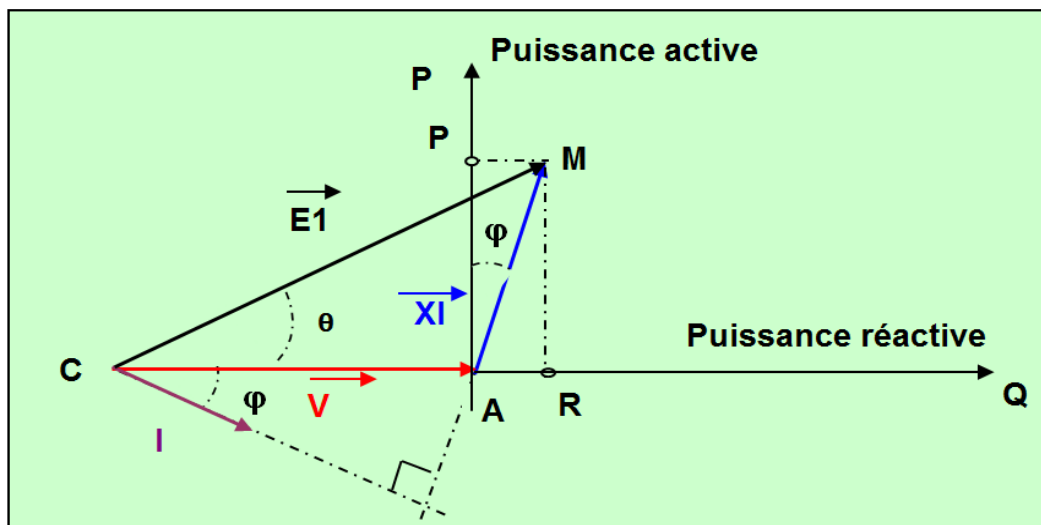


Figure (I-23) Diagramme de fonctionnement représentant les puissances

On distingue deux cas de fonctionnement de l'alternateur couplé au réseau

1^{er} cas : $P > 0$ et $Q > 0$

L'alternateur est surexcité et fournit la puissance active et la puissance réactive au réseau ;

2^{ème} cas : $P > 0$ et $Q < 0$

L'alternateur est sous excité et fournit la puissance active au réseau et consomme la puissance réactive de réseau.

I.3.2.6. Limites de fonctionnement dues à l'angle interne :

L'angle interne caractérise le **décalage entre les flux magnétiques engendrés respectivement par le rotor, et le champ tournant statorique** imposé par la charge réseau.

Le diagramme qui suit montre la variation du couple moteur transmissible par le groupe turbo-alternateur (donc de la puissance active) en fonction de l'angle interne. Ce diagramme montre que :

- à vide (couple moteur nul), l'angle interne est nul
- l'angle interne croît avec le couple moteur, donc la puissance transmise
- il existe un maximum du couple transmissible au-delà duquel le groupe décroche.

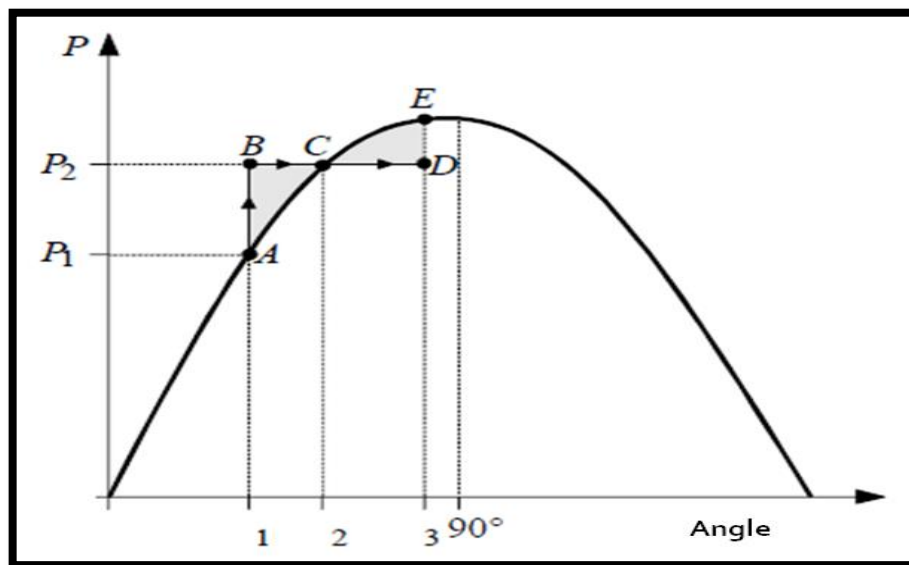


Figure (I-24) Variation de couple en fonction de l'angle interne

En théorie, la limite de stabilité de la machine est atteinte lorsque cet angle atteint un décalage de $\pi/2$; **En pratique, on limite cet angle interne à une valeur inférieure**, de façon à éviter tout décrochage dû à un franchissement transitoire lors des variations brusques de puissance active.

En effet, à partir d'une marche stable déterminée (point **A**), une variation de la puissance apportée par le groupe devrait permettre un déplacement du point **A stable** vers le point **C, stable** lui aussi. Dans la réalité, le passage de **A** à **C**, en raison des forces d'inertie en jeu, s'opère schématiquement par un passage rapide de **A** à **B** (ouverture des soupapes turbine) puis de **B** vers **D**, puis retour de **D** vers **C** pour un état final stable pour lequel la puissance délivrée est passée de **P1** à **P2**, augmentant l'angle interne de **θ_1** à **θ_2**

I.3.3. L'excitation :

Le rotor de l'alternateur, constituant le circuit inducteur, doit être alimenté en courant continu (courant d'excitation) pour permettre la génération de courant par l'induit, le but du système d'excitation est de contrôler la tension statorique d'un alternateur

Le contrôle de l'excitation est basé sur un régulateur de tension numérique (AVR), qui contrôle l'allumage de ponts de thyristor afin d'alimenter l'alternateur avec un courant d'excitation variable.

L'équipement peut être configuré selon les demandes du système de contrôle. Il y a plusieurs configurations possibles

- Configuration basique AVR/FCR avec un seul régulateur
- Configuration complètement redondante AVR/FCR avec deux régulateurs

Le nombre de pont redresseur dépend du courant d'excitation à fournir à l'alternateur, le système d'excitation peut être connecté à un DCS via un bus de terrain (MODBUS ou FIP).

Le matériel du système d'excitation est monté dans deux armoires compactes et robustes qui seront assemblées sur le site. La conception du régulateur évite les défauts électriques et assure une bonne immunité contre les perturbations électromagnétiques [3].

I.3.3.1. Caractéristiques principales de l'équipement du système d'excitation :

I.3.3.1.1. Transformateur d'excitation

Nombre de phases	3
Puissance nominale du transformateur	1350 kVA
Fréquence nominale	50 Hz
Tension primaire	6,6 kV
Tension secondaire	720 V
Couplage	Yd11

I.3.3.1.2. Armoire d'excitation

Structure régulation	2/2
Nombre de ponts redresseurs	2 twin
Courant d'excitation nominal	1195 A
Courant d'excitation à vide	419 A
Courant d'excitation de max (10 sec)	1920 A
Tension d'excitation nominale	429 V
Tension d'excitation max	686 V
Indice de protection	IP 31

I.3.3.2. Différents types d'excitation :

Il existe deux types de dispositifs d'excitation :

- a- **L'excitation statique** : Dans ce type d'excitation, un transformateur d'excitation prélève de l'énergie en sortie d'alternateur et alimente un redresseur qui délivre en sortie le courant continu d'excitation de la machine. Le courant d'excitation alimente le rotor au travers d'un disjoncteur d'excitation et de balais fixes qui assurent la connexion aux pôles + et - du rotor
- b- **L'excitation tournante** : Dans ce type d'excitation au contraire, le dispositif d'excitation est rotatif et constitué par un jeu de diodes tournantes. Un transformateur d'excitation prélève de l'énergie en sortie d'alternateur et alimente un redresseur qui délivre en sortie le courant continu à une excitatrice entraînée par l'alternateur et disposée en bout d'arbre. La tension alternative de l'excitatrice est redressée par les diodes tournantes et le courant continu délivré est directement distribué aux pôles positive et négative du rotor [1].

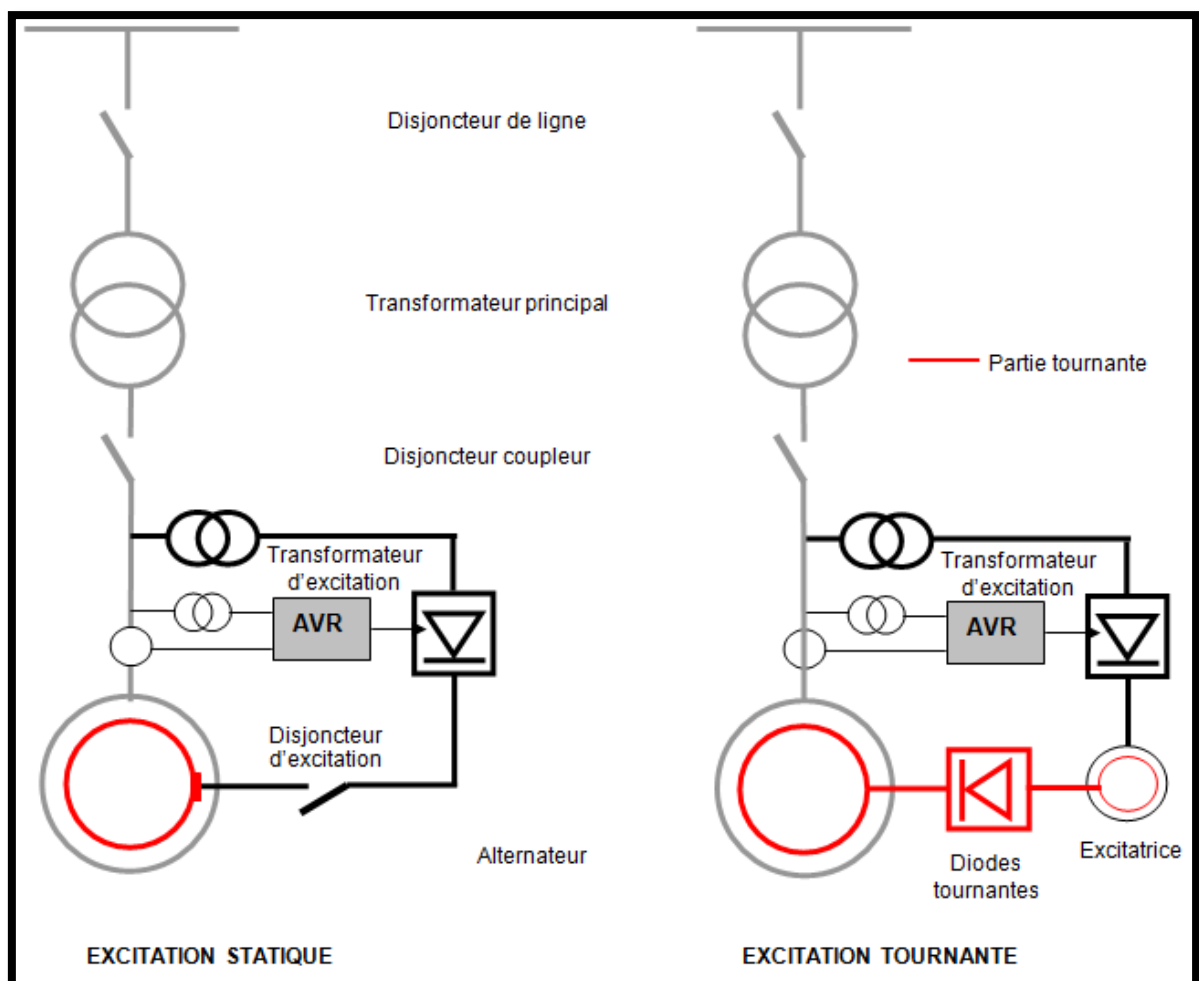


Figure (I-25) : Types d'excitation

Nous avons remarqué que le type d'excitation utilisé dans la centrale de Marsat El Hadjadj est une excitation statique.

I.3.3.3. Système de régulation :

La configuration du régulateur utilisé dans la central de Marsat El Hadjadj est la Configuration complètement redondante AVR/FCR avec deux régulateurs, Le système est constitué de deux régulateurs de tension numériques identiques, Les deux régulateurs intègrent chacun un FCR (régulateur de courant d'excitation), Chaque régulateur a sa propre alimentation et son propre générateur d'impulsion pour contrôler un des ponts redresseurs (pour une redondance indépendante entre régulateur et redresseur. Un défaut du régulateur actif entraîne un basculement vers le régulateur de secours assurant la meilleure disponibilité du système de production d'énergie, Un système de poursuite permet un passage sans à-coup d'une voie à une autre [3].

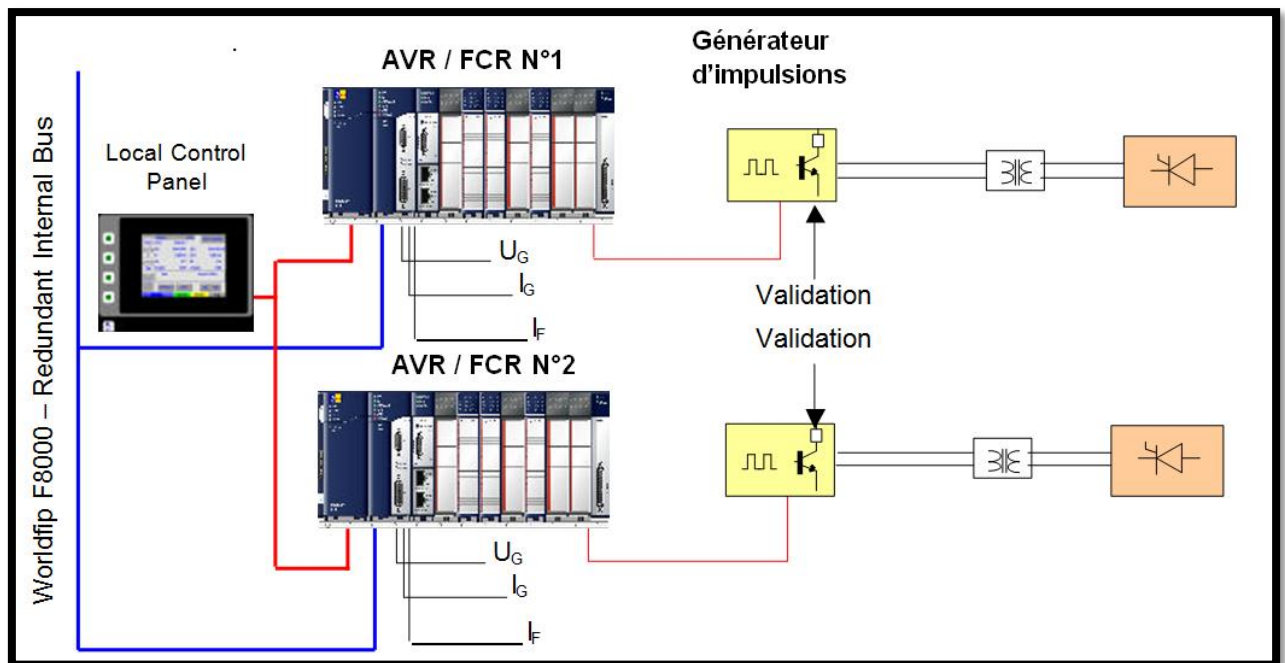


Figure (I-26) : Structure de régulation d'excitation [3]

I.3.3.4. Les rôles de la régulation dans l'excitation:

Les principales fonctions du système sont [3]:

- **Alimentation du système de contrôle:** Le régulateur et ses auxiliaires ont besoin d'une source sécurisée et fiable afin d'éviter un risque d'arrêt machine dû à un défaut de matériel auxiliaire ;
- **Alimentation du système d'excitation :** L'alimentation de l'excitation peut venir de sources différentes (ex : transformateur d'excitation, batterie);

- **Amorçage excitation:** Une source externe est nécessaire pour démarrer l'alternateur. Cette source de puissance peut être une batterie ou une alimentation alternative redressée ;
- **Démarrage CSF:** Certaines turbines (spécialement les turbines à gaz) ont besoin d'un système auxiliaire de démarrage. Au lieu d'un moteur électrique ou un moteur diesel, l'alternateur peut être utilisé comme un moteur synchrone pour cette application ;
- **Protection de surtension rotor:** La protection surtension rotor est généralement faite par un Crowbar. Dans les petites et moyennes unités cette protection est réalisée par une résistance non linéaire ;
- **Décharge des enroulements d'excitation (uniquement sur excitation statique):** Avant l'ouverture du contacteur d'excitation, les enroulements rotor doivent être déchargés afin de prévenir des surtensions aux bornes des contacts principaux du contacteur d'excitation. Ceci est fait avec un groupe de résistances ;
- **Redresseur à Thyristors :** Le courant d'excitation variable est fourni par le redresseur à thyristor ;
- **Système de mesure :** Le régulateur nécessite l'acquisition de certaines mesures alternateur telles que la tension stator, le courant stator & le courant d'excitation ;
- **Régulation de tension automatique:** Pour améliorer la stabilité, le régulateur de tension automatique contrôle la tension alternateur en calculant l'angle d'allumage des thyristors du pont redresseur ;
- **Système d'interface:** Dans certaine application le régulateur est connecté à un DCS afin d'échanger diverses variables, états et défauts. Le régulateur a aussi besoin d'être configuré et certains paramètres doivent être adaptés à l'alternateur. Pour cette application le système d'excitation est connecté à des appareils externes ou des interfaces utilisateur [3].

I.3.3.5. Alimentation du système de contrôle :

Le système de commande est alimenté par deux sources différentes. Une est la batterie de la centrale, l'autre est prise en soutirage sur le transformateur d'excitation puis redressée par un pont de diodes. Ces deux sources sont connectées en parallèles dans un but de redondance [3].

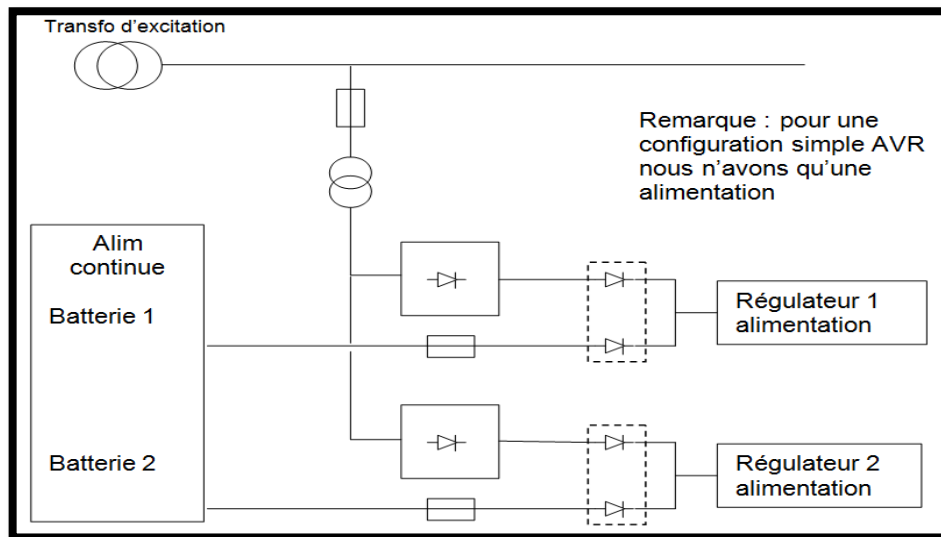


Figure (I-27) : schéma d'alimentation de système de régulation [3]

I.3.3.6. Alimentation du système d'excitation :

Le courant nécessaire pour l'excitation de l'alternateur est fourni par un **transformateur d'excitation type shunt** connecté aux bornes de l'alternateur [3].

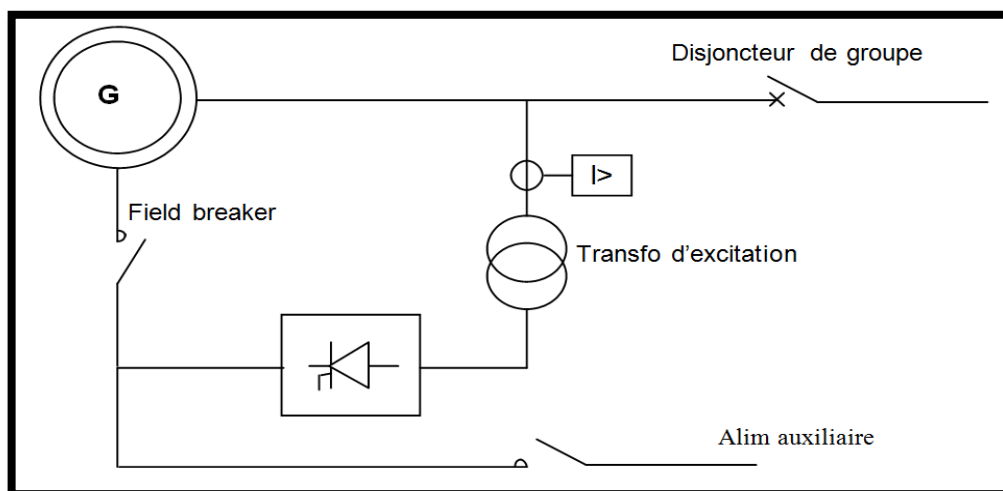


Figure (I-28) : schéma d'alimentation de système d'excitation [3]

En fonctionnement normal, le transformateur d'excitation est alimenté directement par l'alternateur. Pendant la séquence de démarrage, le champ magnétique rémanent de l'alternateur n'est pas suffisant pour produire une tension. Tant qu'aucun courant n'est fourni par le transformateur d'excitation, le rotor est alimenté avec une source extérieure DC ou AC redressée, ce circuit est appelé circuit d'amorçage.

Le transformateur d'excitation est protégé contre le court-circuit par un relais connecté au secondaire de celui-ci. Dans le cas d'un défaut, l'unité est déclenchée ; Le disjoncteur de groupe puis le contacteur d'excitation sont ouverts [3].

I.3.3.7. Amorçage excitation :

La fonction d'amorçage est utilisée sur les excitation type shunt et destiné à alimenter le rotor pendant la séquence de démarrage de l'alternateur. Ce courant est fourni par une source alternative redressée prévue pour fournir la puissance nécessaire jusqu'à 15% du courant d'excitation à vide de l'alternateur. (Cette valeur peut être adaptée en fonction du type d'alternateur). Le circuit d'amorçage est mis hors tension quand la tension alternateur atteint 50% de sa valeur nominale [3].

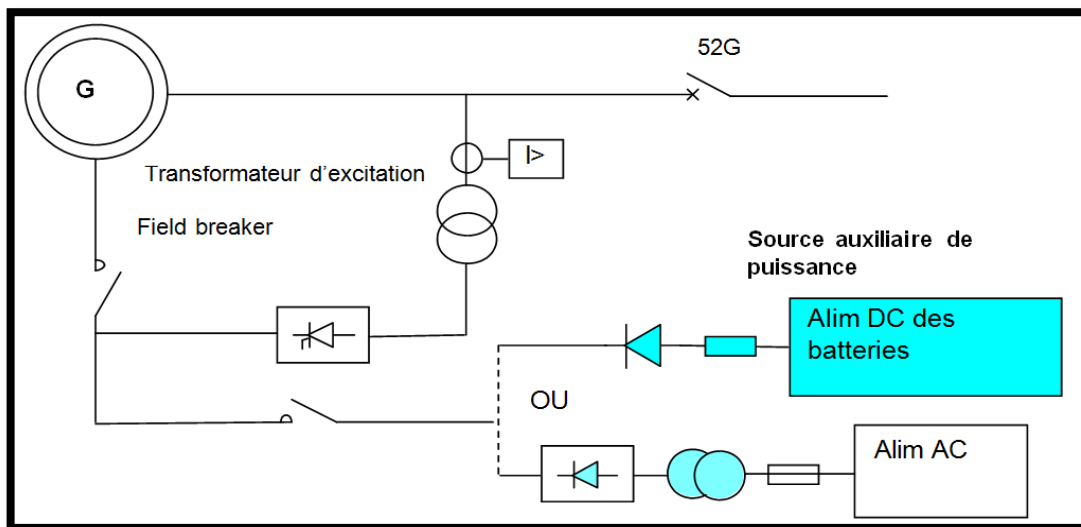


Figure (I-29) : schéma d'amorçage de système d'excitation [3]

I.3.4. Le refroidissement de l'enceinte alternateur :

Compte tenu des courants et des puissances mises en jeu, il est important d'assurer un refroidissement continu de l'alternateur. Ce refroidissement est assuré par circulation forcée d'un fluide à l'intérieur de la machine dans les parties libres et notamment entre stator et rotor, ainsi qu'à l'intérieur des barres du rotor assurant la réfrigération des conducteurs. Suivant les technologies on rencontre des techniques de refroidissement à l'air ou encore à l'hydrogène [3].

Conclusion:

Ce chapitre, nous a permis d'étudier tous les sous-systèmes principaux de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj que nous avons observés lors de notre stage. Il présente la description des divers composants qui rentrent dans le cycle de production de l'énergie électrique non absente des différents circuits de marche en mode secours. Enfin nous avons expliqué le fonctionnement de l'alternateur et ses principaux composants et caractéristiques. Les modes d'excitations, la stabilité, la Structure de régulation d'excitation AVR et les rôles de la régulation dans l'excitation de cette machine ont été évoqués. Donc pour l'analyse de cette régulation une modélisation de la machine sera faite dans le chapitre II.

Chapitre II

Introduction :

En générale la modélisation des machines électriques triphasées est basée sur la détermination d'un modèle réduit de la machine. Donc ce modèle consiste à la projection des bobines de la machine sur les axes q et d appelé transformation de Park. Cette transformation nous permet de obtenir une machine biphasé. Quoique les équations mathématiques du modèle demande beaucoup de mise en formes et des hypothèses simplificatrice mais il facilite l'analyse de la machine. Bien que la stabilité d'énergie produit par l'alternateur peut être considérablement améliorée en utilisant des systèmes en boucle fermée avec des systèmes de contrôle adaptés. Cependant des efforts de recherche importants sont déployés pour trouver les meilleurs contrôleurs.

Dans ce chapitre on va voir la modélisation mathématique d'une machine synchrone à inducteur bobiné à pole lisse avec amortisseurs, ensuite on va voir les différents techniques telle que la régulation de tension et fréquence pour améliorer la stabilité de l'alternateur, le modèle de cette étude va être simulé à l'aide de logiciel Matlab-Simulink pour obtenir le résultat final de la machine en régime transitoire de démarrage et en régime permanent.

II.1. Mise en équation des machines synchrones à pole lisse :

La machine synchrone comporte au stator les bobinages (A, B, C) des trois phases décalés de 120° . Au rotor, elle comporte le bobinage inducteur F et l'amortisseur direct D suivant l'axe direct et l'amortisseur Q suivant l'axe en quadrature. Les amortisseurs s'opposent à toute variation rapide du flux à travers le rotor comme il est indiqué dans la figure suivante [7] :

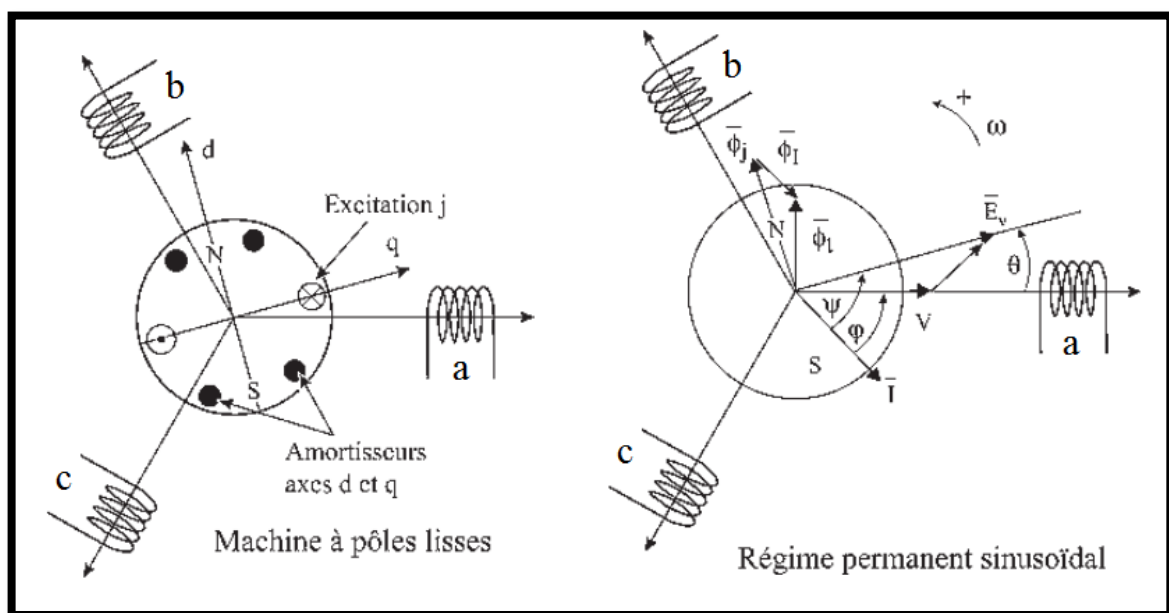


Figure II.1 : Machine synchrone triphasé avec amortisseurs [5]

II.1.1. Les équations de tension :

II.1.1.1. Les équations de tension relative au stator :

$$\begin{aligned}
 V_a &= - r_a \dot{i}_a - \frac{d\varphi_a}{dt} \\
 V_b &= - r_b \dot{i}_b - \frac{d\varphi_b}{dt} \\
 V_c &= - r_c \dot{i}_c - \frac{d\varphi_c}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{II-1}$$

II.1.1.2. Les équations de tension relative au rotor :

$$\begin{aligned}
 v_f &= r_f \dot{i}_f + \frac{d\varphi_f}{dt} \\
 0 &= r_D \dot{i}_D + \frac{d\varphi_D}{dt} \\
 0 &= r_Q \dot{i}_Q + \frac{d\varphi_Q}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{II-2}$$

Avec :

$r_a = r_b = r_c$: résistance d'une phase d'induit

r_f : résistance de l'inducteur

r_D : résistance de l'amortisseur d'axe d

r_Q : résistance de l'amortisseur d'axe q

φ_k ($k = a, b, c, f, D, Q$) flux d'enroulement traversant l'enroulement k

II.1.2. Les Equations magnétique Statorique/Rotorique :

$$\begin{cases}
 \Phi_s = [L_{ss}] (i_s) + [M_{sr}] (i_r) \\
 \Phi_r = [M_{rs}] (i_s) + [L_{rr}] (i_r)
 \end{cases}
 \tag{II-3}$$

Avec

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c \end{bmatrix} ;
 \tag{II-4}$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_f & M_{fD} & 0 \\ M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} ;
 \tag{II-5}$$

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} M_{af} & M_{aD} & M_{aQ} \\ M_{bf} & M_{bD} & M_{bQ} \\ M_{cf} & M_{cD} & M_{cQ} \end{bmatrix} \quad (\text{II-6}); \quad [M_{rs}] = [M_{sr}]^T \quad (\text{II-7})$$

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

M_{ab}, M_{bc}, M_{ca} : les inductances mutuelle entre les phases a et b et c

$M_{af}, M_{aD}, M_{aQ}, M_{bf}, M_{bD}, M_{bQ}, M_{cf}, M_{cD}, M_{cQ}$: les inductances mutuelle entre les enroulements statoriques et rotoriques [7].

En vertu de l’hypothèse de non-saturation et de feuilletage de circuit magnétique les flux sont lié aux courant par les relations suivantes exprimées sous forme matriciel, et dans lesquelles les coefficients ‘L’et ‘M’sont des fonctions de l’angle θ (θ : est l’angle entre l’axe d et l’axe de référence ou angle du rotor) [6]:

$$\begin{pmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \\ \varphi_f \\ \varphi_D \\ \varphi_Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{af} & M_{aD} & M_{af} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} & M_{bf} & M_{bD} & M_{bQ} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c & M_{cf} & M_{cD} & M_{cQ} \\ M_{af} & M_{bf} & M_{cf} & L_f & M_{fD} & M_{fQ} \\ M_{aD} & M_{bD} & M_{cD} & M_{fD} & L_D & M_{DQ} \\ M_{aQ} & M_{bQ} & M_{cQ} & M_{fQ} & M_{QD} & L_Q \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{pmatrix} \quad (\text{II-8})$$

Les inductances en fonction de θ ont pour expressions [7] :

$$\begin{cases} L_A = L_S + L_m \cos 2\theta \\ L_B = L_S + L_m \cos 2(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ L_C = L_S + L_m \cos 2(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (\text{II-9})$$

$$\begin{cases} M_{AB} = M_S + L_m \cos 2(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ M_{BC} = M_S + L_m \cos 2\theta \\ M_{AC} = M_S + L_m \cos 2(\theta - \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (\text{II-10})$$

$$\begin{cases} M_{AF} = M_{FS} \cos \theta \\ M_{BF} = M_{FS} \cos (\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{CF} = M_{FS} \cos (\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (\text{II-11})$$

$$\begin{cases} M_{AD} = M_{DS} \cos \theta \\ M_{BD} = M_{DS} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ M_{CD} = M_{DS} \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \end{cases} \quad (\text{II-12})$$

$$\begin{cases} M_{AQ} = -M_{QS} \sin \theta \\ M_{BQ} = -M_{QS} \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ M_{CQ} = -M_{QS} \sin \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \end{cases} \quad (\text{II-13})$$

M_{fs}, M_{Qs}, M_{Ds}: l'amplitude des inductances mutuelles entre enroulement statorique et rotorique.

L_s : partie fixe des inductances propre statorique.

L_m : l'amplitude des inductances statorique en fonction de θ

M_s : partie fixe des inductances mutuelles entre phase statorique.

II.2. Transformation de Park :

La transformation de Park permet de simplifier la description mathématique pour l'étude des régimes transitoires des machines synchrones polyphasées à pole lisse ou à pole saillants en réalisant une transformation des enroulements des phases a, b, c, de la machine original en des enroulements équivalents du point de vue électrique et magnétique disposés selon les axes d et q (passage des grandeurs statoriques (v_a, v_b, v_c) et (i_a, i_b, i_c) à leur composantes relatives (v₀, v_d, v_q) et (i₀, i_d, i_q)) [5][6][7].

Cette transformation a pour effet de rendre, les inductances mutuelles du modèle de la machine, indépendantes de la rotation.

Dans la transformation de Park on définit une matrice unique de transformation pour les courants, les tensions et les flux, à savoir.

$$[P(\theta)] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos (\theta - 2\pi/3) & \cos (\theta + 2\pi/3) \\ \sin \theta & \sin (\theta - 2\pi/3) & \sin (\theta + 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (\text{II-14})$$

[P(θ)] est la matrice de la transformation.

$$[v_{dq0}] = [P(\theta)] [v_{abc}] \quad ; \quad [i_{dq0}] = [P(\theta)] [i_{abc}] \quad ; \quad [\varphi_{dq0}] = [p(\theta)] [\varphi_{abc}] \quad (\text{II-15})$$

$$[vdq0] = \begin{pmatrix} v_d \\ v_q \\ v_0 \end{pmatrix} \quad [idq0] = \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix} \quad [\varphi dq0] = \begin{pmatrix} \varphi_d \\ \varphi_q \\ \varphi_0 \end{pmatrix} \quad (\text{II-16})$$

Le coefficient ($\frac{2}{3}$) correspond à un changement de base dans des repères orthonormés, qui lorsqu'il est appliqué au vecteur courant et à la vectrice tension, conserve la valeur de la puissance (le produit scalaire est indépendant de la base choisie).

Ce type de changement de base présente également l'avantage d'obtenir une matrice de transformation inverse qui est transposée de la matrice de transformation directe [6]:

$$[P(\theta)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos (\theta - 2\pi/3) & \sin (\theta - 2\pi/3) & 1 \\ \cos (\theta + 2\pi/3) & \sin (\theta + 2\pi/3) & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II-17})$$

II.2.1. Machine virtuelle de Park :

Il est donc possible en vue de la simulation de reproduire exactement le fonctionnement de la machine synchrone initiale (figure II-2-a), en gardant la même vitesse de synchronisme des champs, la même f.é.m. tournante, le même champ tournant stator B_s le même moment magnétique et le même moment du couple en remplaçant le stator triphasé initial par [5]:

- Un stator équivalent formé de deux bobines fixes d_s et q_s , d'axes d et q perpendiculaires quelconques et parcourues par des courants diphasés de pulsation ω (figure II-2-b)
- Deux bobines mobiles, d_s et q_s , tournant au synchronisme avec le rotor et dans le même sens, perpendiculaires entre elles dans l'espace et parcourues en régime permanente par des courants continus (figure II-2-c)
- Deux bobines d_s et q_s , comme précédemment, mais à repère unique avec le rotor comportant lui deux bobines d_r et q_r (figure II-2-d). on peut obtenir alors le maximum de simplification dans les équations.

Dans cette machine virtuelle, les bobines rotor comme les bobines stator tournent au synchronisme. Pour un observateur installé sur le rotor, les deux champs stator et rotor semblent fixes comme dans une machine à courant continu, mais ils peuvent pulser [5].

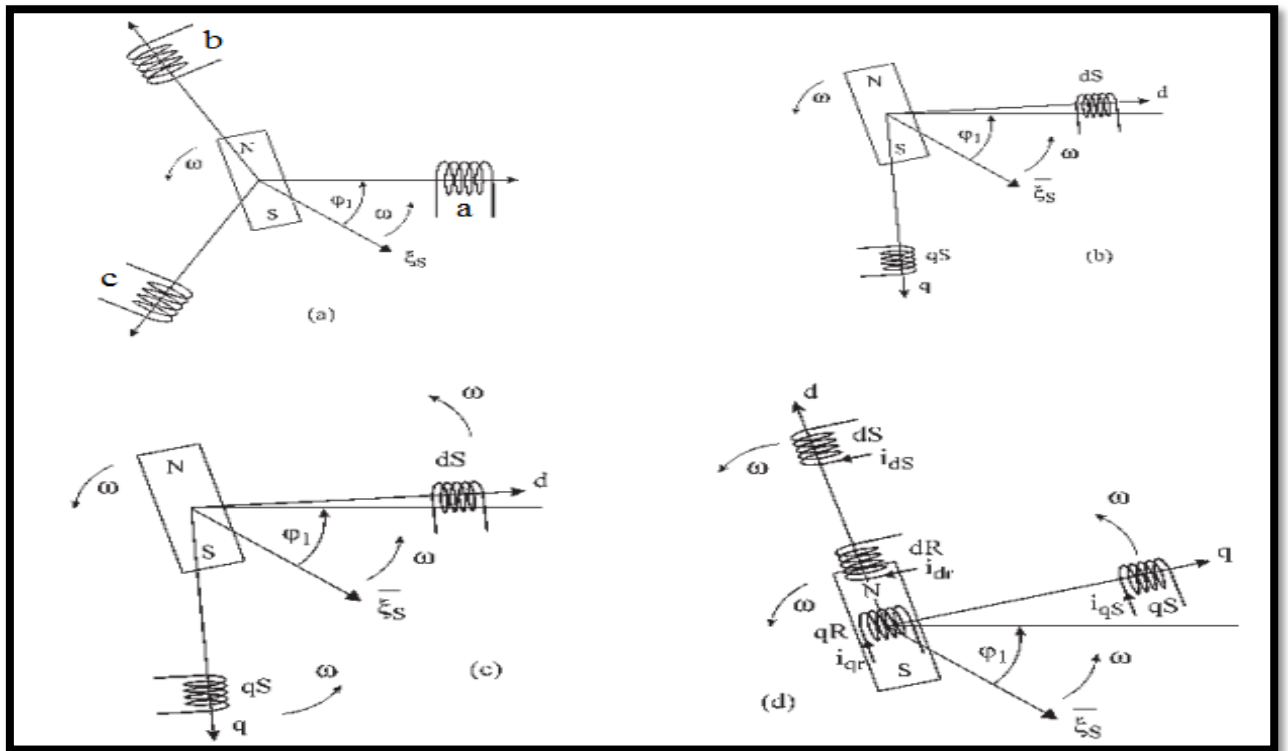


Figure II.2 : Développement de la machine virtuelle de Park [5]

II.2.2. Equations électriques dans les axes d et q :

On a donc les équations de tensions statorique et rotorique [7]:

$$[VS] = [RS] [iS] + \frac{d}{dt} \{ [LSS] [iS] + [MSR] [iR] \} \tag{II-18}$$

$$[VR] = [RR] [iR] + \frac{d}{dt} \{ [MRS] [iS] + [LRR] [iR] \}$$

Avec [P(θ)] en abrégé [P] :

$$[P] [vcS] = [RS] [P] [icS] + \frac{d}{dt} \{ [LSS][P] [icS] + [MSR] [iR] \} \tag{II-19}$$

$$[vR] = [RR] [iR] + \frac{d}{dt} \{ [MRS] [iS] + [MRR] [iR] \}$$

Après calculs et simplification on obtient les résultats suivants [7]:

$$\begin{pmatrix} V_0 \\ V_d \\ V_q \\ V_f \\ V_0 \\ V_0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_{op} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s + L_{dp} & -L_q\omega & M_{fp} & M_{Dp} & -M_{Q\omega} \\ 0 & L_d\omega & R_s + L_{qp} & M_{fq} & M_{Dq} & M_{Qp} \\ 0 & M_{fp} & 0 & R_f + L_{fp} & M_{fDp} & 0 \\ 0 & M_{Dp} & 0 & M_{fDp} & R_D + L_{Dp} & 0 \\ 0 & 0 & M_{Qp} & 0 & 0 & R_Q + L_{Qp} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} I_0 \\ I_d \\ I_q \\ I_f \\ I_0 \\ I_0 \end{pmatrix} \tag{II-20}$$

Avec p est l'opérateur différentiel et ω qui est égale à $\frac{d\theta}{dt}$ est la vitesse angulaire du rotor [7].

II.2.3. Equations magnétiques dans les axes d et q :

Nous avons les équations de flux statorique rotorique [6] [7] :

$$\begin{cases} \Phi_s = [L_{ss}] (i_s) + [M_{sr}] (i_r) \\ \Phi_r = [M_{rs}] (i_s) + [L_{rr}] (i_r) \end{cases} \quad (\text{II-21})$$

Avec la matrice de transformation $[P(\theta)]$ on a :

$$[p(\theta)]^{-1} (\varphi_s) = [L_{ss}] [p(\theta)]^{-1} (i_s) + [M_{sr}] (i_r) \quad (\text{II-22})$$

$$\varphi_r = [M_{rs}] [P(\theta)]^{-1} (i_s) + [L_{rr}] (i_r)$$

Sachant que:

$$L_d = L_s - M_s + \frac{3}{2} L_m \quad ; \quad L_q = L_s - M_s - \frac{3}{2} L_m \quad ; \quad L_0 = L_s + 2 M_s ; \quad (\text{II-23})$$

$$M_F = \sqrt{\frac{3}{2}} M_{FS} \quad ; \quad M_D = \sqrt{\frac{3}{2}} M_{DS} \quad ; \quad M_Q = \sqrt{\frac{3}{2}} M_{QS}$$

Après calculs et simplification on obtient l'équation matricielle suivante [6] [7]:

$$\begin{pmatrix} \varphi_d \\ \varphi_q \\ \varphi_0 \\ \varphi_f \\ \varphi_D \\ \varphi_Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 & M_{af} & M_{aD} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & 0 & M_{aQ} \\ 0 & 0 & L_0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{2} M_{af} & 0 & 0 & L_f & M_{fD} & 0 \\ \frac{3}{2} M_{aD} & 0 & 0 & M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & \frac{3}{2} M_{aQ} & 0 & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{pmatrix} \quad (\text{II-24})$$

II.2.4. Expression de couple :

L'expression du couple électromécanique T_{em} de la machine avec un nombre de pôles P est donnée par [7]:

$$T_{em} = \frac{P e_m}{\omega} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\varphi_d i_q + \varphi_q i_d) \quad (\text{N.m}) \quad (\text{II-25})$$

Avec :

P_{em} : est la puissance électromécanique en w.

ω : est la vitesse angulaire du rotor en rad/s

La valeur du couple électromécanique est positive dans le cas du fonctionnement en moteur et négative dans le cas de génératrice

II.2.5. Equation mécanique :

L'équation qui définit le mouvement de rotor est [7]:

$$T_{em} + T_{mec} - T_{amor} = J \frac{d\omega}{dt} \text{ (N.m)} \tag{II-26}$$

J : moment d'inertie (Kg.m²)

ω : vitesse angulaire rotorique (rad/s)

Le couple électromécanique T_{em} et le couple mécanique T_{mec} sont dans la direction de rotation du rotor. Par contre, le couple d'amortissement T_{amor} est dans la direction opposée de rotation du rotor [7].

L'utilité de cette étude et de savoir la représentation électrique et mécanique de notre simulation puisque nous allons faire une analyse sur la fonction de régulation. Le logiciel utilisé pour notre étude et Matlab-Simulink, ce logiciel utilise principalement les équations électrique et mécanique pour le modèle électrique et mécanique de la machine synchrone. D'autre part, la transformation de Park est essentiellement utilisée pour la simplification des calculs des tensions statoriques pour le modèle électrique de la machine, ainsi pour le feed back des tensions statoriques vers le circuit d'excitation puisque ce dernier forme une boucle fermé de régulation avec le modèle électrique de l'alternateur.

Voici le modèle électrique de la machine synchrone capturé depuis le logiciel utilisé de notre simulation :

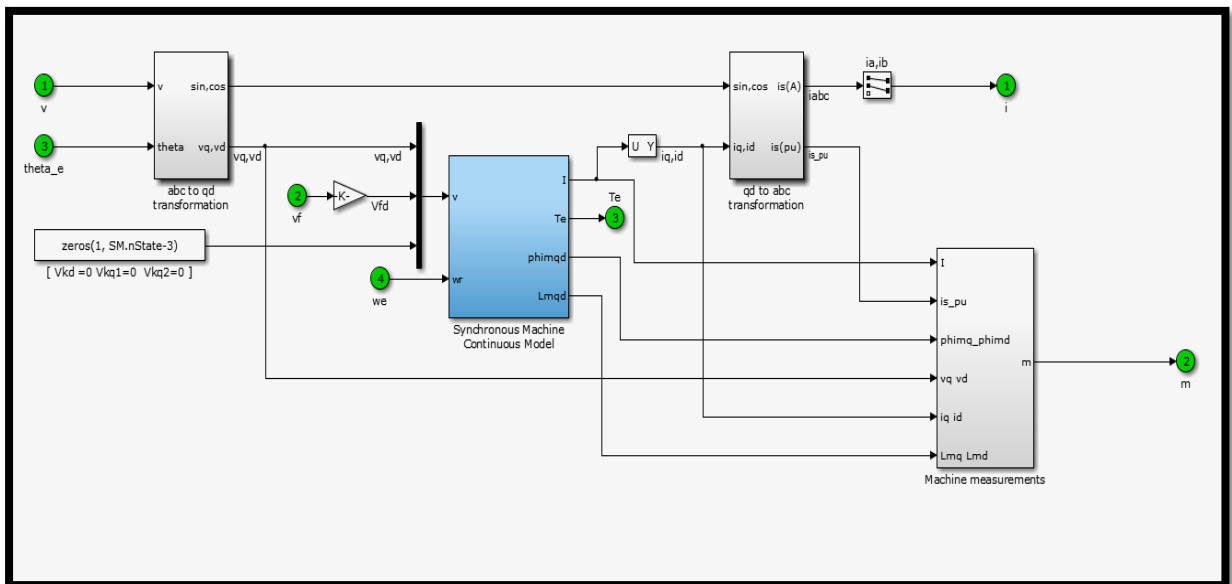


Figure II.3 : Modèle électrique de la machine synchrone

Voici le modèle mécanique de la machine synchrone capturé depuis le logiciel utilisé de notre simulation :

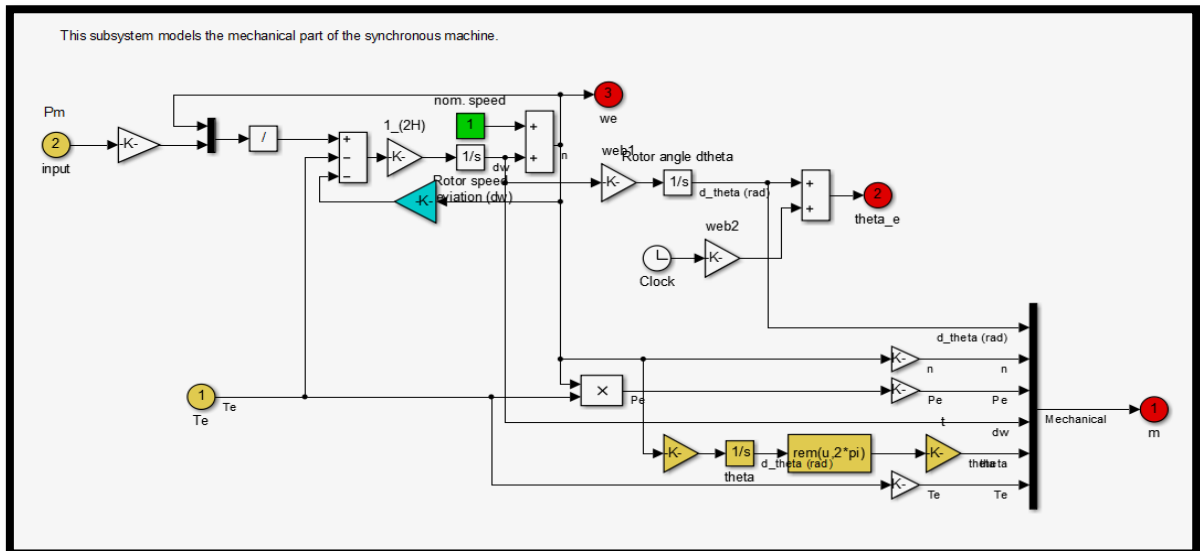


Figure II.4 : Modèle mécanique de la machine synchrone

Le schéma responsable de la transformation de Park des tensions statorique :

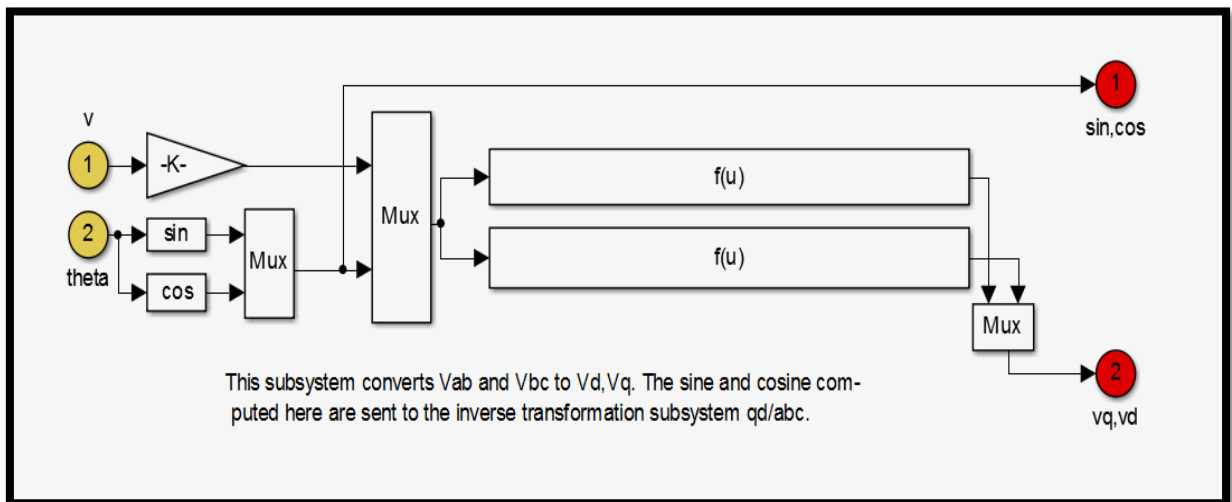


Figure II.5 : Schéma de transformation de Park

II.3. Etude de système régulation de l’alternateur :

Lorsqu’un alternateur débite sur une charge isolée (ou dans un réseau), il se produit dans cet alternateur une chute de tension dépendant de l’intensité et du déphasage du courant ; lorsque ces grandeurs varient la tension aux bornes varie également et il faut agir sur l’excitation pour maintenir la tension constante aux bornes de l’alternateur, c’est donc ici apparaît le rôle du régulateur [8].

II.3.1. Rappels sur la théorie du réglage :

Un système asservi se représente par une chaîne d’action de transmittance G et une chaîne de réaction de transmittance H . cette dernière réalise une réaction négative. Il y a ainsi une véritable séparation des rôles essentiels du système : la chaîne d’action fournit la puissance

tandis que la chaîne de réaction effectue le contrôle et donne les ordres à la chaîne d'action [8]:

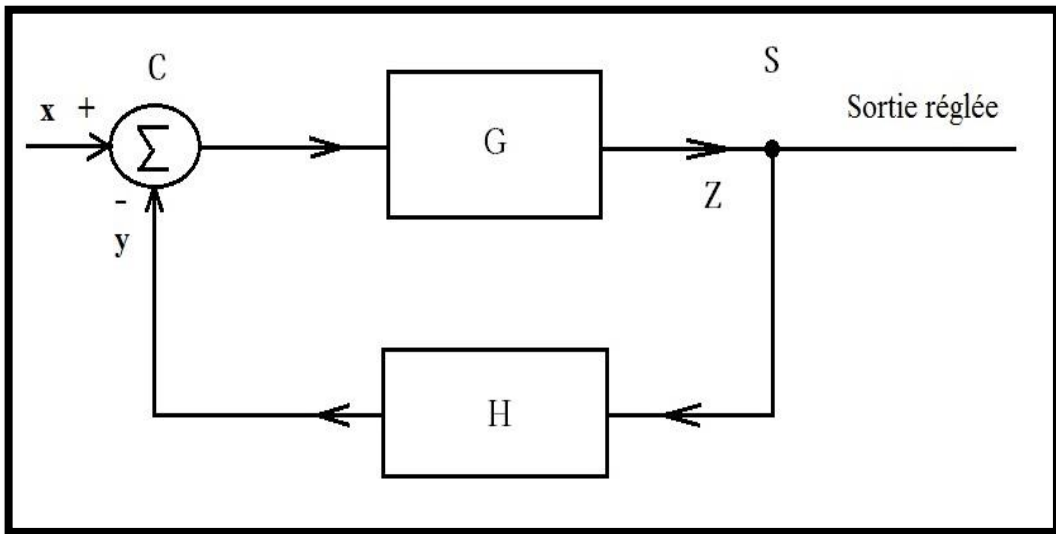


Figure II.6 : Schéma simplifié d'une boucle de régulation [8]

Les organes essentiels de l'ensemble sont :

- Le capteur S qui prélève le signal de sortie
- La transmittance de retour H qui transforme éventuellement la grandeur Z en une grandeur de même nature que le signal de référence x,
- Le comparateur C qui délivre un signal d'erreur ε commandant la chaîne d'action dans le sens qui tend à l'annuler.
- Le signal de référence x stable, qui permet d'effectuer le réglage du système.

Les équations définissant le système en régime stationnaire sont :

$$E = x - y \rightarrow x = \varepsilon + y$$

$$Z = \varepsilon G$$

$$y = Z G$$

La transmittance du système s'écrit :

$$\frac{Z}{x} = \frac{G}{1 + GH}$$

Cette relation est fondamentale dans tout système asservi, elle représente la transmittance en boucle fermée de l'ensemble.

Le passage de la grandeur x à la grandeur Z ne dépend donc plus uniquement du comportement de la chaîne d'action G, mais également de celui de la chaîne de réaction H, il est ainsi possible d'éliminer dans une large mesure les imperfections affectant la chaîne d'action, comme par exemple les non linéarités ou les variations de caractéristiques provoquées par des grandeurs perturbatrices [8].

II.3.2. Description de régulation de l'alternateur :

La stabilité d'un système de puissance est la capacité d'un système d'énergie électrique, pour une condition de fonctionnement initiale donnée, de retrouver le même état ou un autre état d'équilibre après avoir subi une perturbation, en gardant la plupart des variables de système dans leurs limites, de sorte que le système entier demeure en fonctionnement normal. Les paramètres principaux pour la sûreté du système de puissance sont : La tension, La vitesse de la turbine, La fréquence et Le courant d'excitation. La régulation pendant des perturbations est faite selon ces paramètres comme est montré sur la figure suivante [6]:

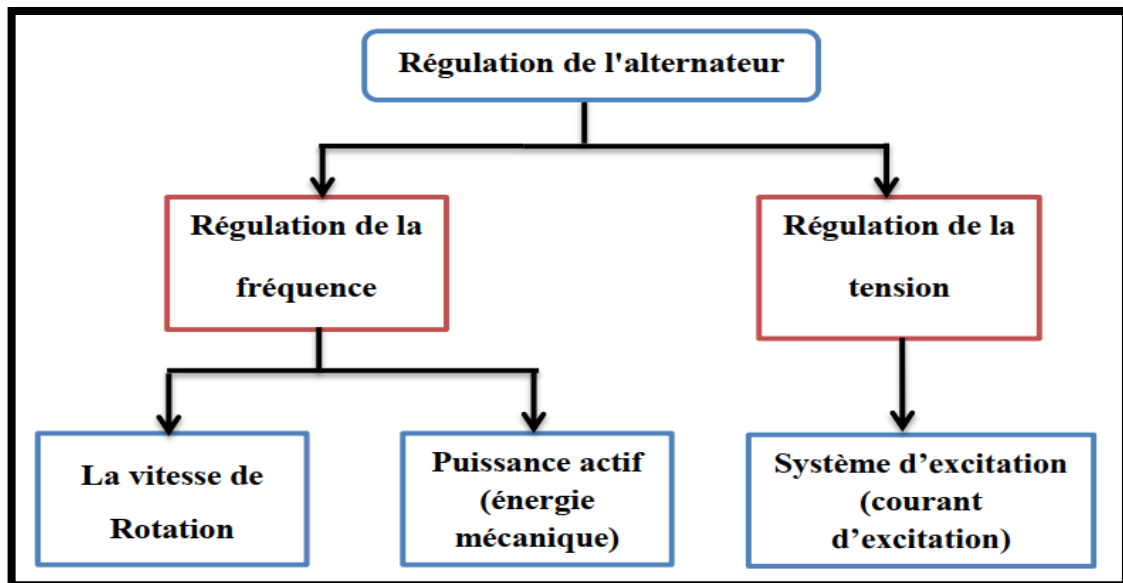


Figure II.7 : Description bref de la régulation d'alternateur [6]

II.3.2.1. La régulation de la tension :

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

Ces derniers 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 souhaitées. Une caractéristique très importante d'un régulateur de tension est sa capacité à faire varier rapidement la tension d'excitation [6].

Dans note étude nous allons voir la régulation de tension selon 2 méthode :

- Régulateur de tension conventionnelle
- Régulateur de tension en utilisant la logique floue

II.3.2.1.1. Les régulateurs de tension conventionnelle:

La figure suivante montre le modèle du système d'excitation et de son régulateur de tension conventionnelle utilisé dans notre cas [7] [12].

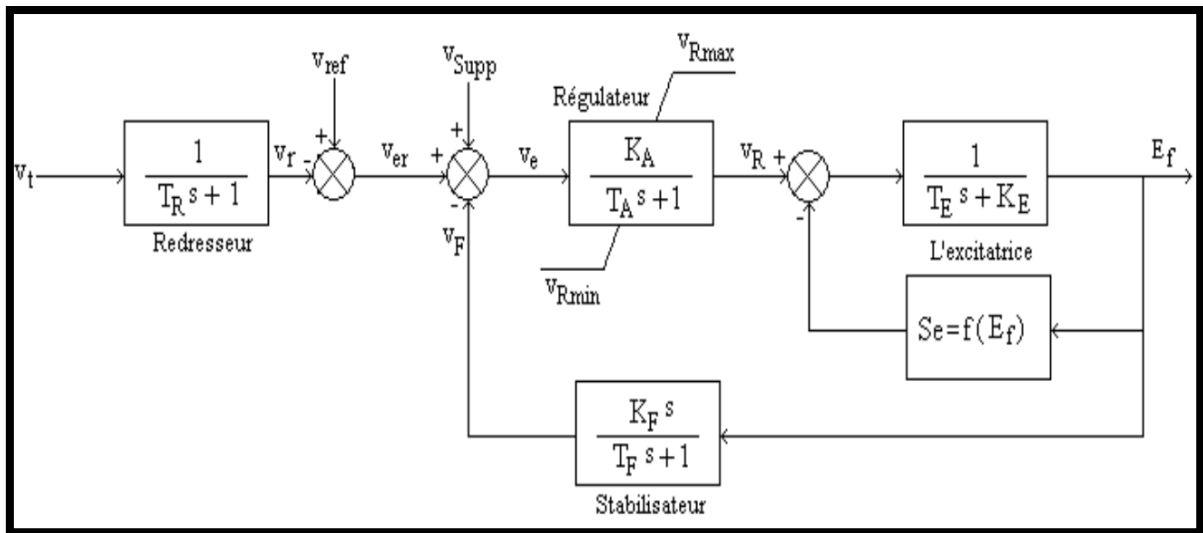


Figure II.8 : Système régulation (AVR) d'une excitation d'une machine synchrone [7] [12]

Redresseur : Le premier bloc représente la fonction de transfert du redresseur et un filtre de la tension à la sortie de la machine (v_t) .

Régulateur : Le deuxième bloc est un régulateur de tension ayant une constante de temps (T_A) et un gain (K_A). Il consiste typiquement à amplifier l'erreur (v_e) avec une limitation :

$$v_e = v_{er} + v_{Supp} - v_F$$

Les signaux d'entrée du régulateur de tension sont : le signal de retour du stabilisateur (v_F), le signal d'erreur (v_{er}) (entre la tension à la sortie de la machine et la tension de référence) et le signal supplémentaire (v_{supp}) du PSS (régulateur de puissance).

Le stabilisateur : K_F et T_F sont respectivement le gain et la constante de temps du stabilisateur. Son rôle est de fournir l'avance de phase nécessaire pour atteindre les marges de phase appropriées dans la réponse fréquentielle en boucle ouverte, (l'amortissement en boucle fermée dépend de la marge de phase et de l'amortissement en boucle ouverte).

L'excitatrice : Les systèmes d'excitation peuvent être classés selon la source primaire de puissance d'excitation. On distingue deux types : à courant continu (dc-exciter) et ceux à courant alternatif (ac-exciter).

Le modèle de l'excitatrice inclut le bobinage d'excitation et la non linéarité magnétique du chemin principal du champ de l'excitatrice (la saturation du circuit magnétique donnée par la fonction S_e).

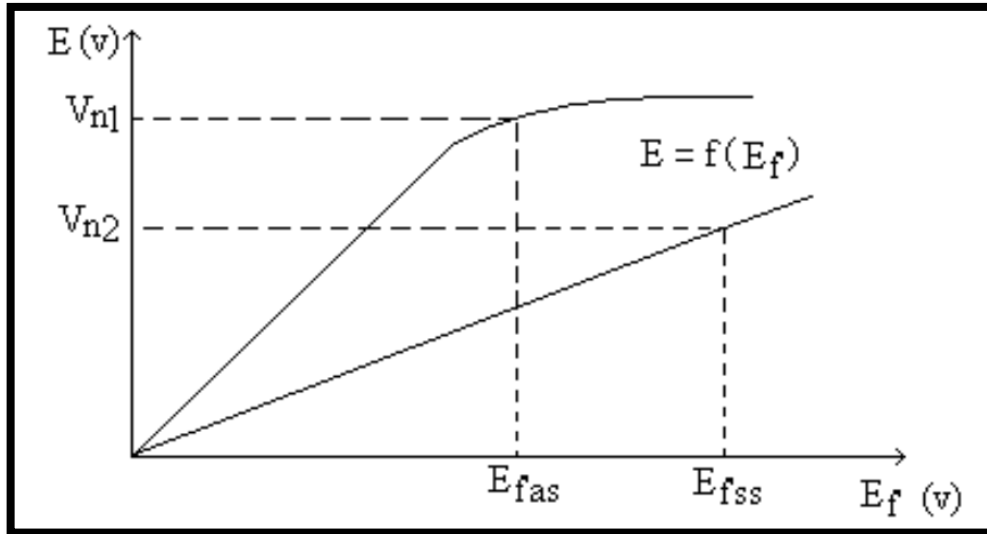


Figure II.9 : Courbe de magnétisation de l'excitatrice [7] [12]

Avec:

E : la f.e.m induit par phase.

E_{fas} et E_{fss} : les tensions inducteurs donnant à vide les tensions nominales V_{n1} et V_{n2} respectivement avec et sans saturation.

La fonction de saturation S_e peut être estimée par une exponentielle:

$$S_e = f(E_f) = A \exp(B E_f)$$

En négligeant le phénomène de saturation, on aura le schéma simplifié du système d'excitation de la machine synchrone connecté à un réseau infini [7]

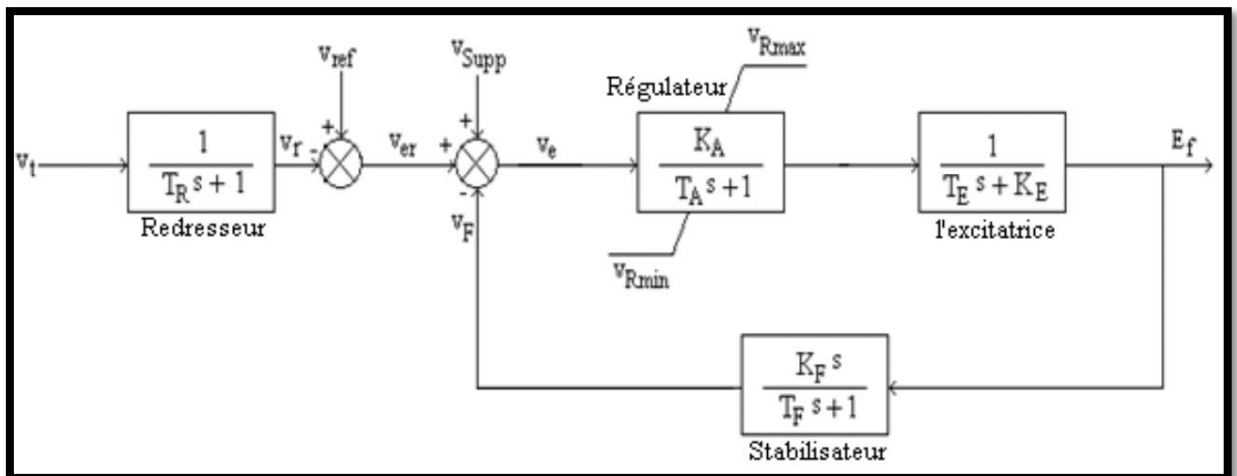


Figure II.10 : Le schéma simplifié d'un système de régulation (AVR) d'une excitation d'une machine synchrone [7]

II.3.2.1.2. La régulation de la tension en utilisant la logique floue:

II.3.2.1.2.1. Principes de la logique floue :

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous développée par Zadeh, qui permet d'étendre la logique classique associée aux variables booléennes ne prenant que deux valeurs 0 et 1, en tenant compte de variables dont les valeurs sont des sous-ensembles flous prenant des valeurs dans l'intervalle $[0, 1]$.

L'univers de discours d'une variable donnée, c'est-à-dire son domaine de variation, peut alors être subdivisé en plusieurs sous-ensembles au moyen de fonctions d'appartenance. La figure (II-11) montre un univers de discours subdivisé en trois valeurs floues représentées par des fonctions d'appartenance triangulaires [7]:

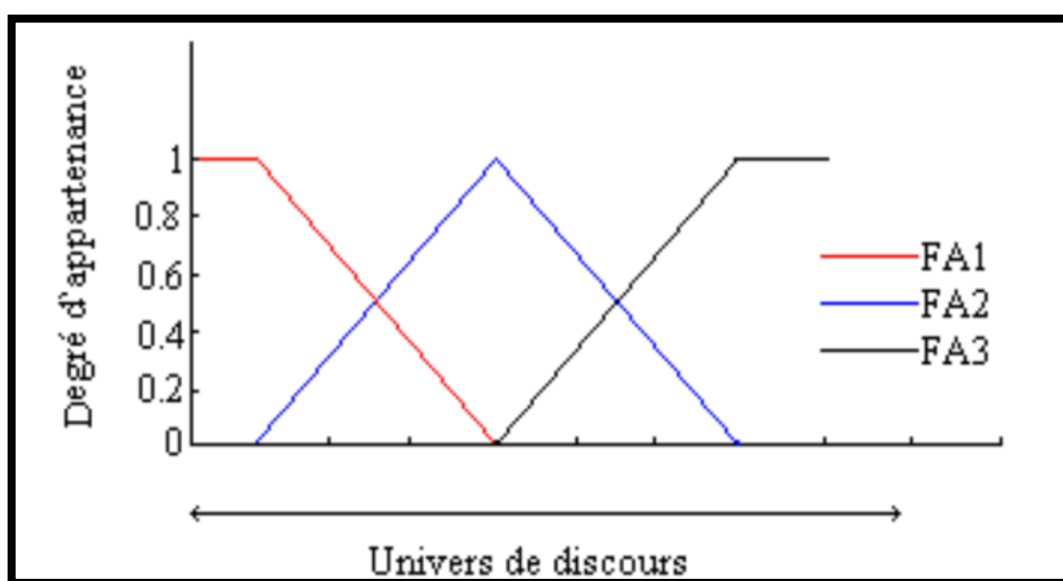


Figure II.11 : Exemple de fonction d'appartenance [7]

II.3.2.1.2.2. Variables linguistique floue :

Chaque mot x dans un langage L peut être vu comme une description d'un sous-ensemble floue $SF(x)$ d'un univers du discours U où $SF(x)$ représente le sens de x . Dans ce sens, un langage dans son ensemble peut être considéré comme un système d'assignation des étiquettes atomiques ou composites (mots, citations,...) aux sous-ensembles flous de U . D'où découle la notion des variables linguistiques.

Une variable linguistique comme son nom l'indique, est une variable dont les valeurs sont des mots ou des citations dans un langage naturel ou synthétique. En général, elles sont générées à partir d'un terme primaire (par exemple jeune), de son anonyme (vieux), d'une collection de modificateurs (non, très, plus ou moins,...) et des connectifs "ET" et "OU" [7].

II.3.2.1.2.3. Raisonnement flou :

Une caractéristique qui distingue la logique floue est que les prémisses (conditions) et les conclusions dans une règle sont exprimées, généralement, sous forme canonique. Cette représentation met en évidence le fait que chaque prémisse est une contrainte sur une variable et que la conclusion est une contrainte induite calculée à travers un processus de propagation de contraintes. Dans ce qui suit, on montre mathématiquement comment se fait cette propagation de contraintes dans les règles de type SI-ALORS. On commence par la définition des opérateurs de la logique floue [7]

II.3.2.1.2.4. Conjonction floue:

La conjonction floue est une opération logique ‘ ET ’ entre deux sous-ensembles flous A_1 et A_2 de deux univers du discours X_1 et X_2 . Elle peut être définie par la relation dans l’espace produit $X = X_1 \times X_2$

$$FA_{Ax}(x_1, x_2) = FA_{A_1.A_2}(x_1, x_2) = FA_{A_1}(x_1) * FA_{A_2}(x_2)$$

Avec:

$FA_{Ax}(x_1, x_2)$: est le degré d’appartenance de x_1 et x_2 dans le sous-ensemble flou produit A_x .

$FA_{A_1}(x_1)$: est le degré d’appartenance de x_1 dans le sous-ensemble flou A_1 .

$FA_{A_2}(x_2)$: est le degré d’appartenance de x_2 dans le sous-ensemble flou A_2 .

Le symbole ‘ * ’ représente la norme T. Deux normes sont souvent utilisées [7] :

- Intersection floue :

$$FA_{A_1} * FA_{A_2} = \text{Min} (FA_{A_1} , FA_{A_2})$$

- Produit algébrique :

$$FA_{A_1} * FA_{A_2} = FA_{A_1} . FA_{A_2}$$

II.3.2.1.2.5. Disjonction floue :

L’opération logique OU entre deux sous-ensembles flous A_1 et A_2 de deux univers du discours X_1 et X_2 peut être définie par la relation floue [7] :

$$FA_{A_1+A_2}(x_1, x_2) = FA_{A_1}(x_1) FA_{A_2}(x_2)$$

Le symbole + représente la co-norme T. Deux co-normes sont souvent utilisées :

- Union floue :

$$FA_{A_1}(x_1) FA_{A_2}(x_2) = \text{Max} (FA_{A_1} , FA_{A_2})$$

- Somme algébrique :

$$FA_{A_1}(x_1) FA_{A_2}(x_2) = FA_{A_1}(x_1) + FA_{A_2}(x_2) - FA_{A_1}(x_1). FA_{A_2}(x_2)$$

II.3.2.1.2.6. Implication floue:

Une implication linguistique ‘ SI x est A ALORS y est B ’ est un autre exemple de relation floue entre deux sous-ensembles flous A est B. Cette citation conditionnelle floue est représentée par un sous-ensemble flou R dont la fonction

d'appartenance peut être exprimée par :

- Opérateur Min :

$$FA_{A \rightarrow B}(x, y) = \text{Min} [FA_A(x), FA_B(y)]$$

- Produit algébrique :

$$FA_{A \rightarrow B}(x, y) = FA_A(x) \cdot FA_B(y)$$

Une règle floue de la forme:

SI x_1 est A_1 **ET** x_2 est A_2 **ALORS** y est B

peut être représentée par une relation floue R dont la fonction d'appartenance est déterminée en utilisant les équations de conjonction et d'implication floue données précédemment [7].

II.3.2.1.2.7. Régulation par la logique floue :

Dans la commande floue d'un système, on peut distinguer trois parties principales [9]:

Fuzzification : on définit pour chaque entrée du système un univers de discours et un partitionnement de cet univers en ensembles flous. La fuzzification consiste à attribuer à la valeur réelle de chaque entrée, au temps t , sa fonction d'appartenance à chacune des ensembles flous définies préalablement, et donc transformer l'entrée réelle en un sous ensemble flou.

Inférence : à partir de la base de règles donnée par l'expert et des sous-ensembles flous correspondants à la fuzzification des entrées, le mécanisme d'inférence calcule le sous ensemble flou Y relatif à la commande du système. La base de règles floues est constituée par une collection des règles linguistiques de la forme :

$R^{(i)}$: SI x_1 est F_1 et x_2 est F_2 ...et x_n est F_n , ALORS Y est $G^{(i)}$, $i = 1, \dots, M$ où : (x_1, x_2, \dots, x_n) est le vecteur des variables des entrées, Y est la commande, M est le nombre de règles, n est le nombre de variables floues, (F_1, F_2, \dots, F_n) sont les ensembles flous.

Défuzzification : La défuzzification a pour objectif de transformer le sous ensemble flou défini par le mécanisme d'inférence en une valeur non floue permettant ainsi la commande effective du système.

La Figure (II-13) montre la configuration interne d'un régulateur par logique floue.

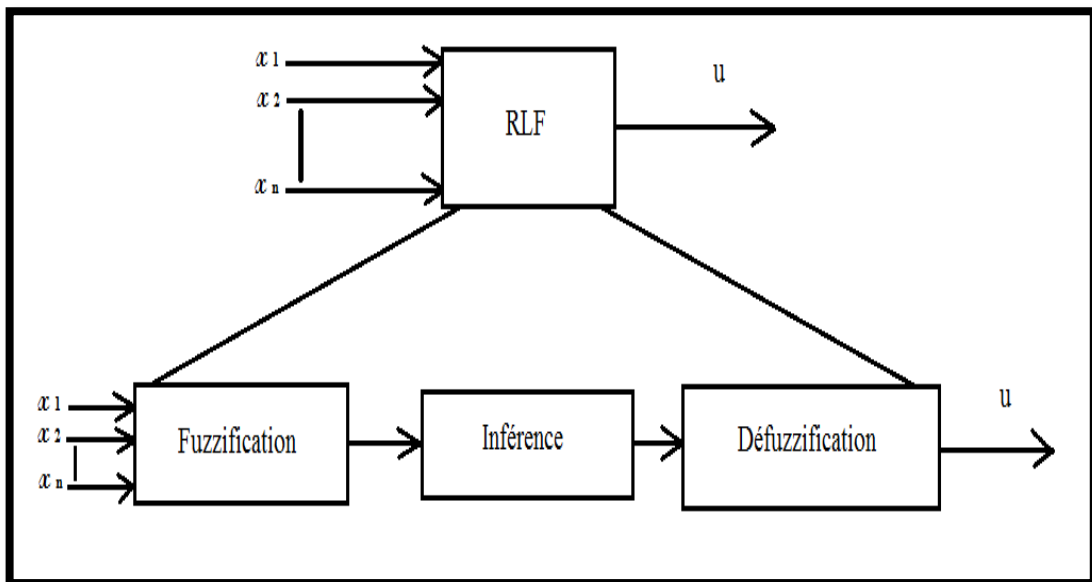


Figure II.12 : Configuration interne d'un régulateur par la logique floue

II.3.2.2. La régulation de la fréquence :

En tout premier lieu, la turbine devra absolument conserver une vitesse de rotation constante. Cette vitesse peut-être de 3000 tr/mn, de 3600 tr/mn ou de 1500 tr/mn (cas des tranches nucléaires) est le moyen direct de régler la fréquence du groupe turbo-alternateur, en conséquence de cette relation directe : $F = p.N$ ($N =$ vitesse de la machine, $p =$ nombre de paires de pôles, $F =$ Fréquence de la machine) mais elle doit être constante étant donné la fréquence du réseau sur lequel la machine est couplée.

Pour permettre le réglage de cette vitesse, la grandeur réglante utilisée sera le débit de vapeur admis dans les corps HP et MP de la turbine au travers des organes de réglage (soupapes de réglage HP et soupapes modératrices MP), pilotés par la régulation qui proportionne la levée des tiges de soupape au débit de vapeur requis.

On doit distinguer deux types de marches bien différentes dans lesquelles la régulation n'opère pas de façon identique : celui où la machine est seule sur un réseau dont elle détermine donc seule la fréquence établie, on parlera de marche en régime îloté. Et celui dans lequel la machine est couplée à un réseau alimenté en parallèle par plusieurs autres [1].

II.3.2.2.1. Cas du fonctionnement de la machine en régime îloté

Le groupe turbo-alternateur est dit « îloté » dans le cas où il est le seul à alimenter une charge constituée par un réseau local, une usine, un site industriel isolé. Dans ce cas, le disjoncteur coupleur est fermé mais le disjoncteur de ligne reliant le groupe au réseau national ou international est ouvert.

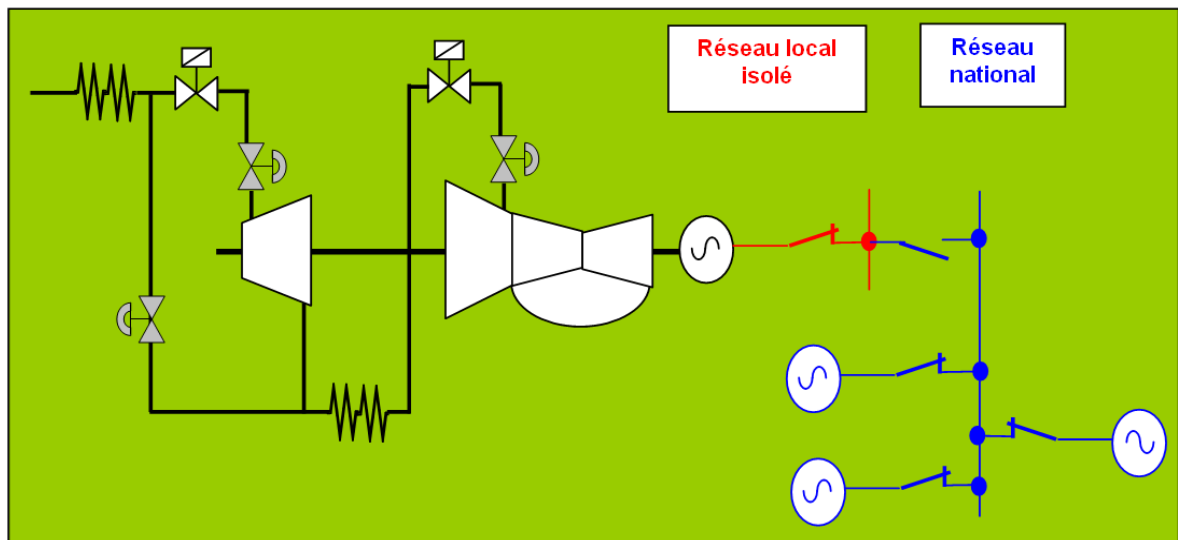


Figure II.13 : Schéma d'un groupe turbo-alternateur en régime îloté [1]

Dans ce cas, la totalité de la puissance consommée par le réseau local ou l'usine est fournie par le groupe îloté. Le système se caractérise par un équilibre entre le couple moteur (C_m) fourni par la machine et le couple résistant (C_r) constitué par la somme des consommateurs, cet équilibre se traduisant par une fréquence constante, ou une vitesse de rotation constante de la ligne d'arbre, c'est la vitesse qui est facilement accessible sur une machine tournante qui va permettre de contrôler efficacement la fréquence. Lors d'une baisse de la vitesse (donc de la fréquence) en raison d'un couple résistant croissant, il suffit d'augmenter le débit de vapeur admis en turbine (donc le couple moteur fourni) ce qui permet de rééquilibrer la balance couple moteur / couple-résistant et le retour à la vitesse souhaitée [1].

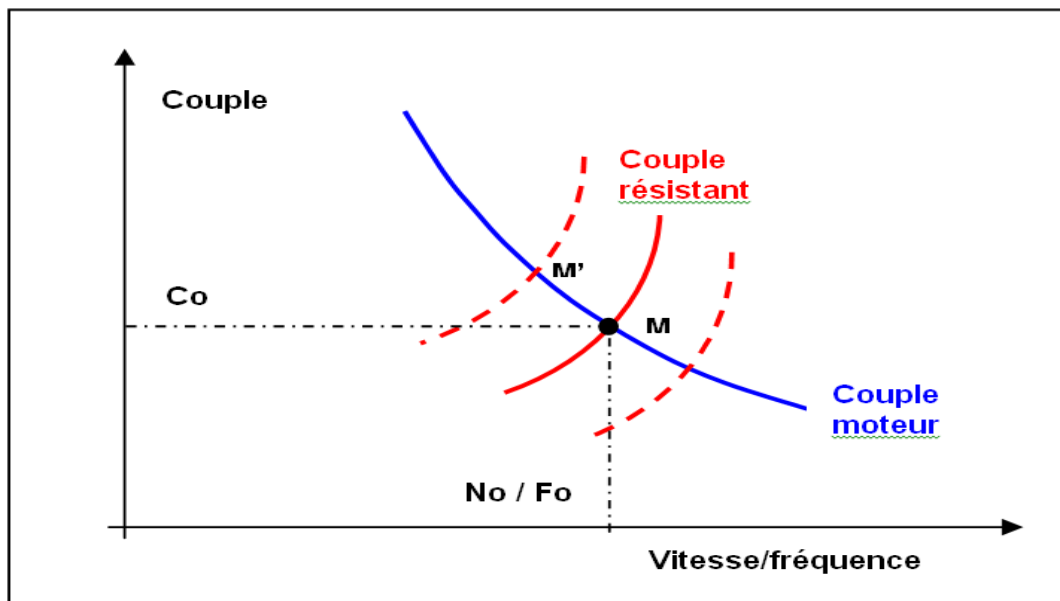


Figure II.14 : Schéma explicatifs sur variations de couple moteur – couple résistant de la turbine [1]

Une régulation de vitesse (ou fréquence) de type proportionnel pur permet de contenir les dérives constatées ; ainsi, à chaque fois qu'apparaît un écart couple moteur-couple résistant se traduisant par un écart de vitesse (ou de fréquence), on amplifie cet écart de façon proportionnelle pour agir sur l'ouverture des soupapes et adapter le couple moteur au nouveau couple résistant. On se rappellera toutefois que, aussi rapide qu'elle soit, la régulation proportionnelle comporte un certain inconvénient qui est le statisme, c'est à dire qu'il faut admettre qu'après stabilisation à un nouvel état d'équilibre, il subsiste un certain écart par rapport à la fréquence nominale souhaitée [1].

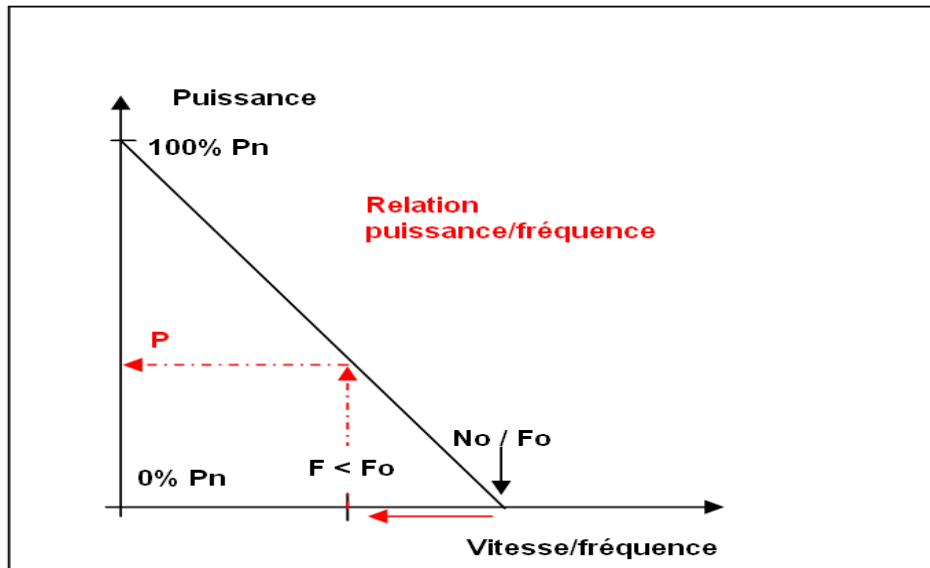


Figure II.15 : Schéma d'équilibre entre la puissance et la vitesse/fréquence [1]

Dès lors, on comprend qu'il existe, une relation linéaire entre la puissance délivrée par le groupe et la fréquence du réseau, relation qui se matérialise sous forme d'une droite (droite de statisme) dont la pente fixe en réalité la valeur de la variation de fréquence pour laquelle le groupe fournira sa pleine variation de puissance [1].

Le statisme est donc le rapport entre la variation de la grandeur réglée (ici la fréquence) et la variation de la grandeur de réglage (ici la puissance) qui s'exprime comme suit :

$$\text{Statisme (\%)} = \frac{\frac{\Delta F}{F} \text{ nominal}}{\frac{\Delta P}{P} \text{ nominal}}$$

Si par exemple, un groupe de 600MW fournit 30 MW supplémentaires pour un écart de fréquence de 0,1 Hz, le statisme de la machine sera de : $(0.1/50)/(30/60) = 0.04 = 4\%$

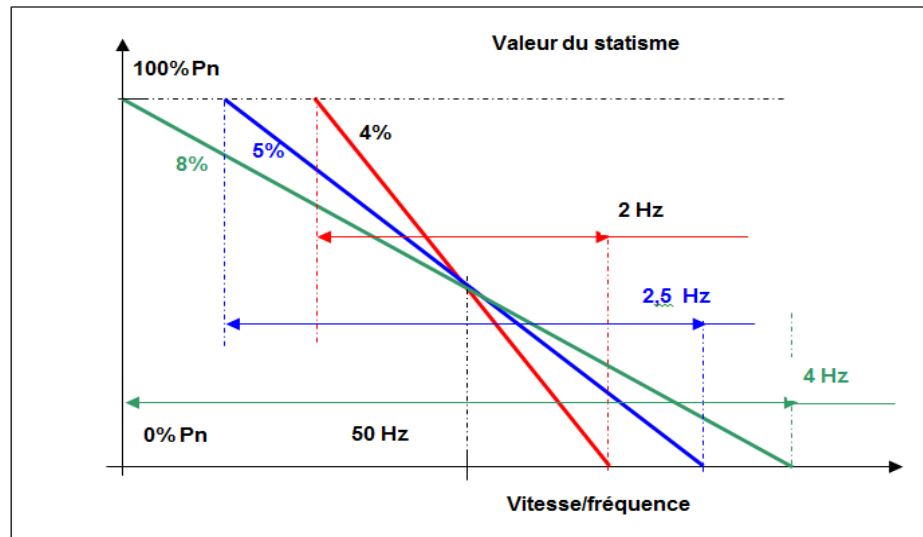


Figure II.16 : Schéma indiquant des différentes valeurs de statisme [1]

Le retour à une valeur de consigne fixe de la fréquence nécessite en plus une correction de type intégral, cette solution sera mise en œuvre que ce soit une configuration d'un groupe unique débitant sur un réseau local ou isolé du réseau national [1].

II.3.2.2.2. Cas du fonctionnement de la machine en régime couplé au réseau national interconnecté

Dans le cas où la machine est couplée à un réseau national qui peut être lui-même interconnecté à des réseaux d'étendue supérieure, la fréquence ne résulte pas de la vitesse d'un groupe unique comme précédemment. La fréquence dans ce cas résulte du solde entre la somme des puissances fournies par la multitude de groupes couplés et la somme des puissances absorbées par les consommateurs branchés sur le réseau. Il s'ensuit que cette fréquence vit en permanence en fonction des événements survenant dans le système :

- cycle jour/nuit des activités domestiques et de transport
- variations climatiques mobilisant plus ou moins de ressources électriques (chauffage, ventilation, climatisation...)
- démarrages et/ou arrêts/déclenchements de centrales et de sites industriels

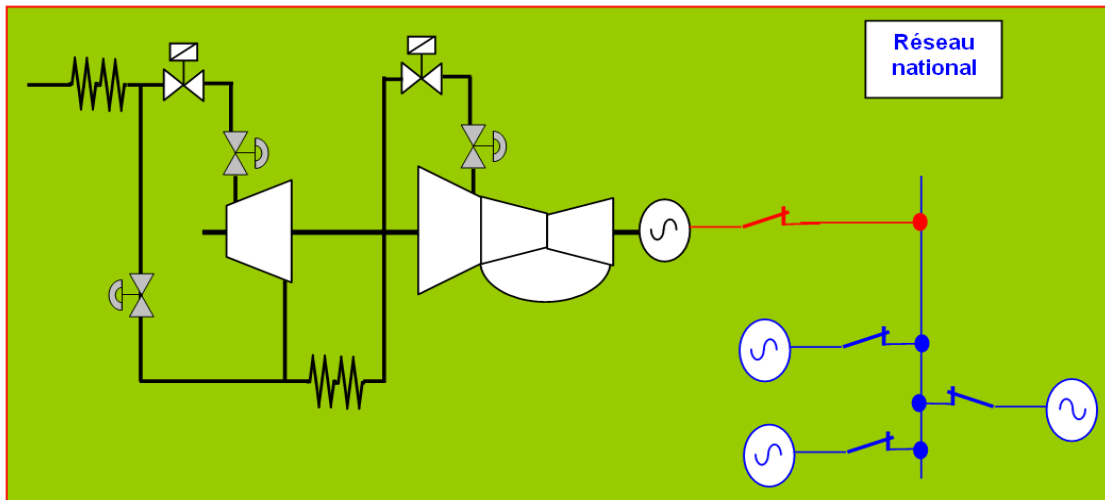


Figure II.17 : Schéma d'un groupe turbo-alternateur couplé à un réseau national interconnecté [1]

Imposer à chaque groupe couplé au réseau, de régler en permanence la fréquence commune par ses propres moyens de régulation est impossible :

- La multitude de groupes prétendant à régler une même grandeur commune conduirait, pour des raisons de dynamiques différentes et de précision des signaux à une **instabilité chronique de la fréquence et des points de fonctionnement des groupes.**
- L'**écart de réponse dynamique** entre les différents groupes, en raison des puissances nominales, des technologies (hydraulique, thermique charbon, turbines à gaz) ainsi que les **diverses limitations** introduites dans telle ou telle unité, conduiraient à **une iniquité dans la participation au réglage**, certains groupes assurant la totalité de la charge quand d'autres seraient totalement épargnés.

Obtenir de la puissance du groupe turbo-alternateur couplé au réseau, **c'est déplacer verticalement la droite de statisme**. C'est ce qu'obtient l'opérateur en pilotant sa **consigne de puissance P_o** en salle de commande en « + » ou en « - ». Le point M se déplace sur une verticale, la puissance variant de P_o à $P'o$.

Puis, par rapport au point M, la puissance totale du groupe peut osciller (points M' ou M'') en fonction de l'écart de fréquence du réseau sur la caractéristique de statisme comme il est indiqué dans la figure suivante [1] :

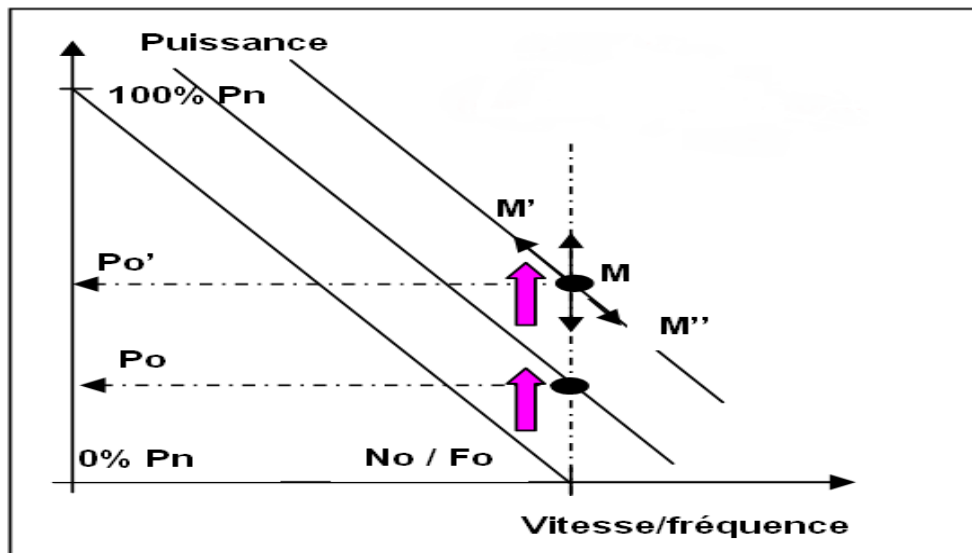


Figure II.18 : Fourniture de la puissance par translation de la droite de statisme [1]

En conclusion, on doit retenir que la puissance totale délivrée par le groupe est à tout moment constituée de 2 termes :

- **La puissance de base** correspondant à la **consigne P_o** fixée par l'opérateur
- Un terme **correctif $k\Delta F$** correspondant au **soutien en fréquence du réseau**.

C'est pourquoi, dans un système où participent de nombreux groupes connectés, aucun de ces groupes en propre ne règle la fréquence, chaque groupe fournit sa puissance de base, complétée ou diminuée d'un terme de puissance ($k\Delta F$) fonction du statisme décidé dans chaque unité et résultant de l'apparition d'un écart de fréquence.

L'utilisation de ce terme proportionnel $k\Delta F$, existant dans toutes les centrales présente un double avantage :

- **Il oblige chaque groupe à participer au soutien**, l'apparition d'un écart de fréquence ΔF générant immédiatement une adaptation proportionnelle de la quote-part de MW fournis (ou soustraits);
- Il concourt à la stabilité de l'ensemble puisque que chaque groupe se voit assigner un point de fonctionnement précis, constitué de **P_o** (valeur fixe affichée par l'opérateur) et $k\Delta F$, valeur n'oscillant pas en raison de la propriété de statisme de l'action proportionnelle.

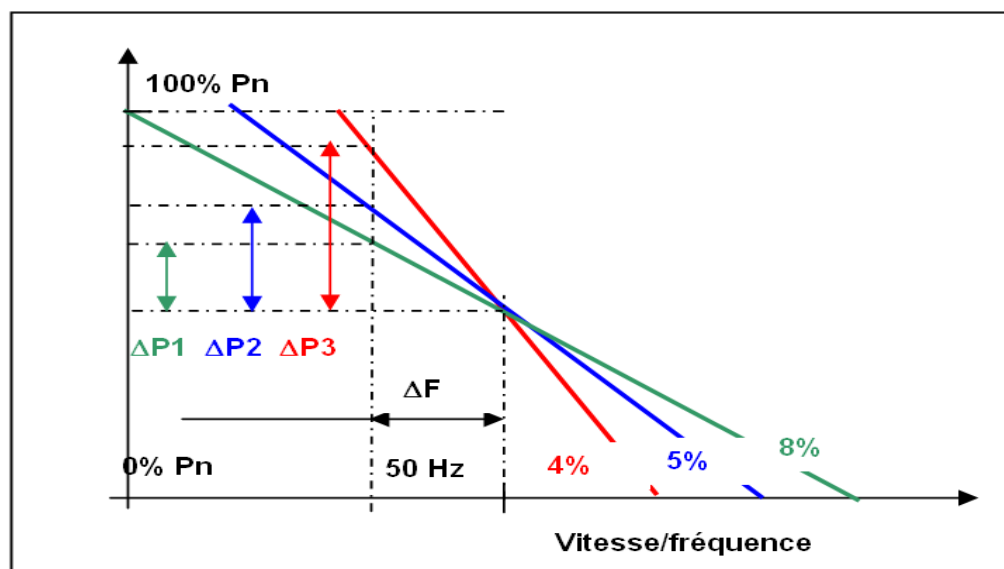


Figure II.19 : Participation des différents groupes couplés en fonction de leur statisme [1]

Cette façon de mobiliser une fraction de la puissance disponible de chaque groupe pour soutenir la fréquence du réseau est appelé **réglage primaire**.

Mais une fois effectuée cette correction instantanée, il reste que la fréquence s'est éloignée de sa valeur de référence, ce qui n'est pas acceptable pour des amplitudes importantes ou des durées longues. En effet, certains appareillages accrochés au réseau peuvent voir leurs performances modifiées par une variation de la fréquence (puissance active des moteurs par exemple ou rendement des transformateurs dont les circuits magnétiques sont sensibles aux écarts de fréquence) ou perturbées (horloges utilisant la base de temps du réseau).

C'est la raison pour laquelle le dispositif de contrôle de la fréquence repose sur **un second terme**, appelé **réglage secondaire de fréquence**, qui va permettre d'effacer l'écart ΔF , concédé au travers de l'action du réglage primaire.

Le principe du réglage secondaire repose sur les principes suivants :

- **Le régulateur de fréquence est unique et centralisé pour la zone considéré ;**
- La dynamique de correction étant basée en **un point unique ;**
- **La demande de correction** est ensuite **répartie entre les groupes connectés** selon une péréquation qui tient compte :
 - De la nature et de la puissance des groupes pilotés (dynamiques respectives fioul, gaz, charbon, hydraulique, etc...) ;
 - De la réserve disponible des différents groupes ;
 - Des limitations éventuellement connues de tel ou tel groupe au moment où la demande est effectuée ;

- Le régulateur central de fréquence réseau adresse ses **demandes de correction** aux différents groupes **en déplaçant le point de fonctionnement** de chacun des groupes. Lorsque, sous l'effet de ce réglage secondaire, la puissance totale a été ajustée, **l'écart de fréquence, donc le $k\Delta F$ s'est effacé** ;

Une fois couplé au réseau et fonctionnant en mode synchrone, les écarts de vitesse de la turbine (donc de fréquence) ne servent plus qu'à adapter la puissance totale fournie par le groupe. Le mode automatique de la régulation turbine est donc un mode de régulation de puissance [1].

On doit commencer par distinguer deux notions importantes qui sont la régulation secondaire simple ou « **régulation d'ouverture** » et la **régulation de puissance proprement dite**.

Dans le mode dit de **régulation d'ouverture**, on utilise la demande de puissance pour piloter l'ouverture des soupapes. Ce mode encore appelé mode direct ne dispose pas du retour de la valeur de puissance. La demande d'ouverture est donc directement conduite vers les soupapes afin de fournir la puissance requise selon le schéma ci-dessous [1] :

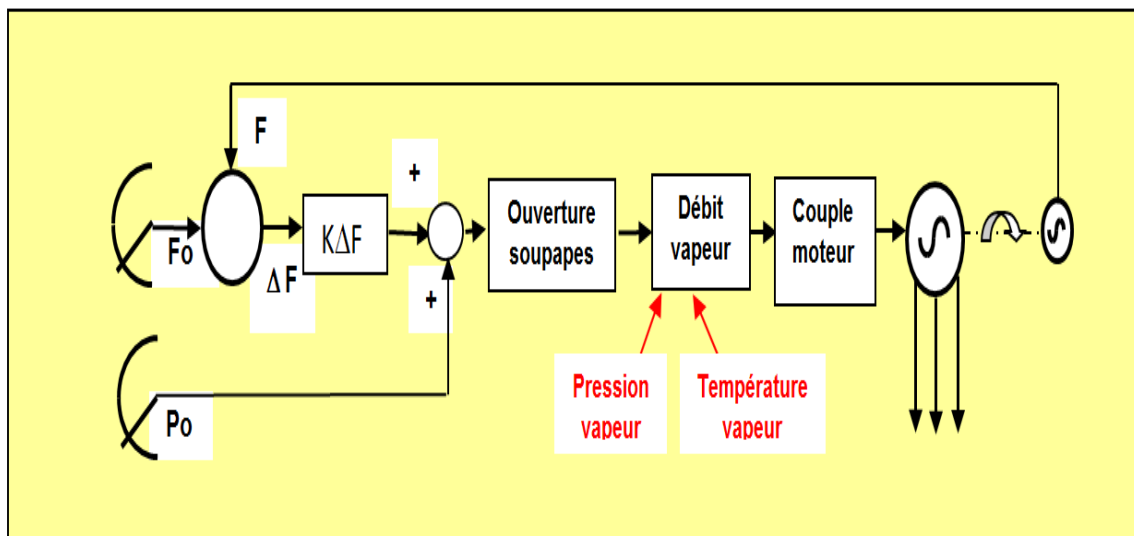


Figure II.20 : Schéma de régulation d'ouverture des soupapes [1]

Dans le mode de régulation de puissance proprement dite, au contraire, on intègre un asservissement par la puissance mesurée, de telle sorte que, dans tous les cas, l'ouverture des soupapes sera poursuivie tant que les MW demandés ne sont pas fournis. On s'affranchit alors des conditions de pression et de température de la vapeur. Dans ce mode, un régulateur P+I ne contrôle que la puissance active désirée ou bien fournie [1].

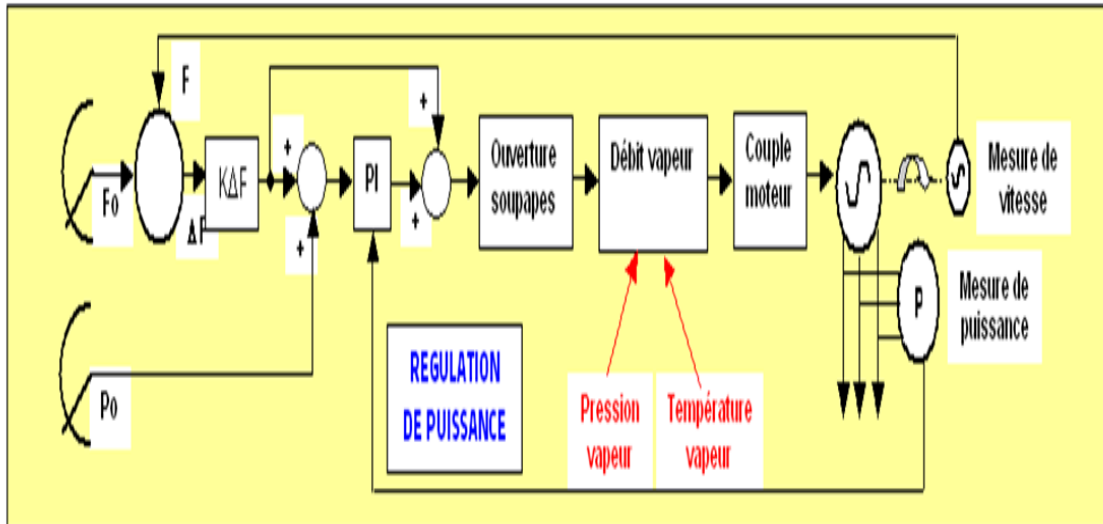


Figure II.21 : Schéma de régulation de puissance [1]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation de la machine synchrone par la représentation des différentes grandeurs énergétiques en vue de faire une simulation simple et efficace. Nous avons démontré les équations électriques et mécaniques qui sont essentielles pour la simulation d'une machine synchrone, ensuite nous avons expliqué la transformation de Park des tensions statoriques qui joue un rôle très important dans la simplification des calculs. Aussi nous avons vu les différents types de régulation de l'alternateur et leurs principes de fonctionnement en vue de maintenir la stabilité de système de production qui représente un élément majeur dans le central électrique.

Chapitre III

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons procéder à l'exécution de notre simulation du groupe turbo-alternateur de Marsat El Hadjaj pour analyser le processus de régulation, modélisé dans le chapitre précédent en utilisant deux méthodes de régulation de la tension. La première est une régulation conventionnelle basée sur un intégrateur proportionnel **PI**. La deuxième est une régulation basée sur la logique floue. Dans la dernière phase de notre analyse nous allons faire une comparaison entre les deux régulateurs pour observer la réaction de chaque contrôleur dans le cas normal de fonctionnement ainsi dans la présence des perturbations. Donc pour achever notre étude nous avons décidé de faire les essais suivants :

- Essai en fonctionnement normal de l'alternateur ;
- Essai en fonctionnement avec un court-circuit fugitif ;
- Essai en fonctionnement sans excitation (cas de coupure du circuit d'excitation) ;

Ces opérations seront exécutées par une régulation conventionnelle et une régulation intelligente.

En fin les résultats obtenus pour différentes simulations seront interprétés pour comprendre et maîtriser le comportement de la machine en régime de fonctionnement relié au réseau.

III.1. Simulation de régulation d'excitation AVR**III.1.1. Simulation avec une régulation conventionnelle****III.1.1.1. Modèle de simulation :**

Le schéma de notre modèle globale de simulation a été inspiré de matlab-simulink. Quoiqu'il existe plusieurs schémas de simulations sur ce logiciel le choix d'un prototype dépend des compétences d'opérateur. Cependant pour notre cas, nous avons combiné entre plusieurs schémas en intégrant le type de régulateur. Le schéma finale est constitué d'une machine synchrone (Alternateur), d'une turbine à vapeur et d'une excitation conventionnel a courant continue pour le rotor, un disjoncteur et une transformateur élévateur, une source de tension pour modélisé le réseau et des charge en parallèle. Les paramètres réels des équipements sont indiqués en annexe.

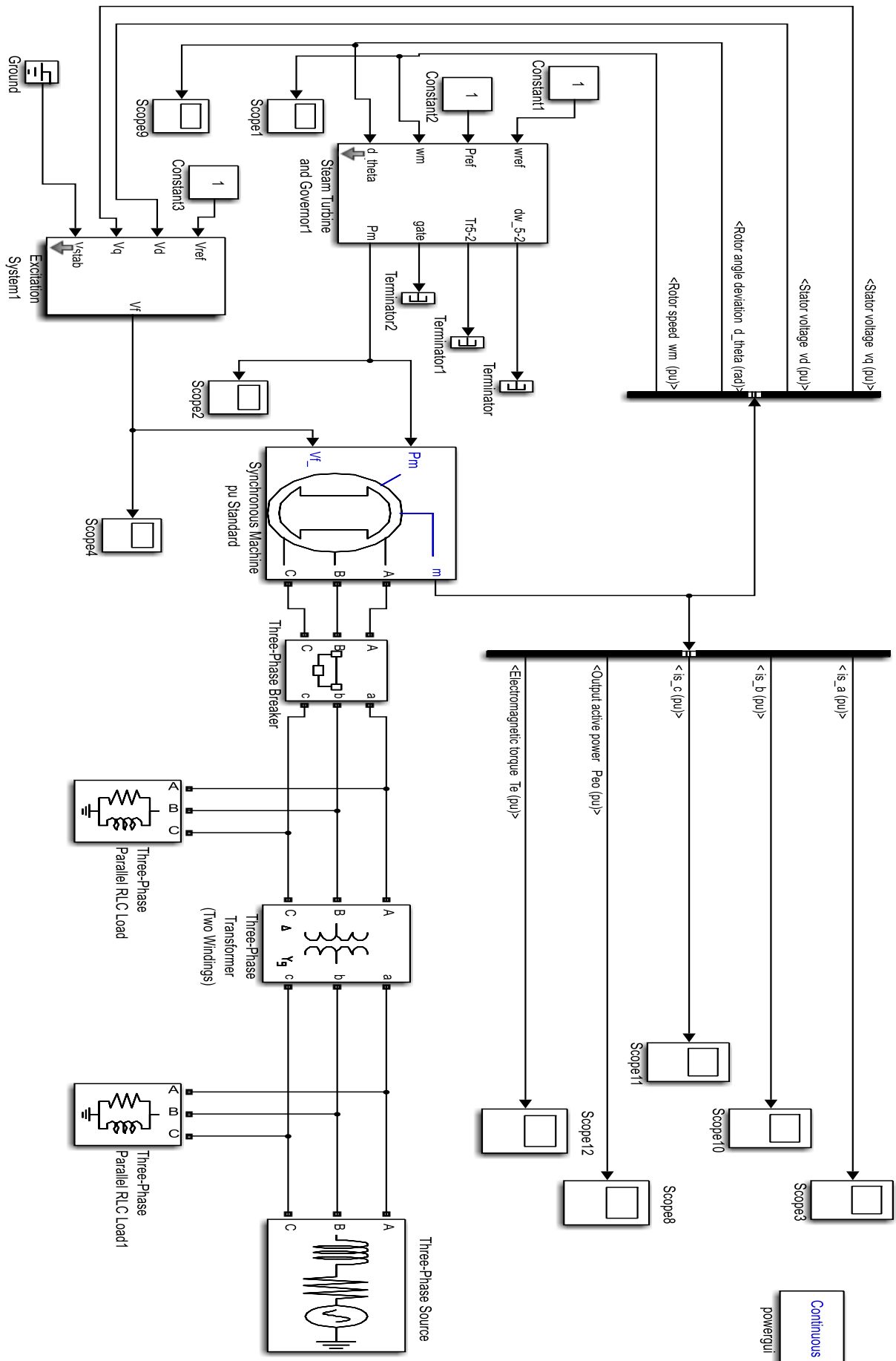
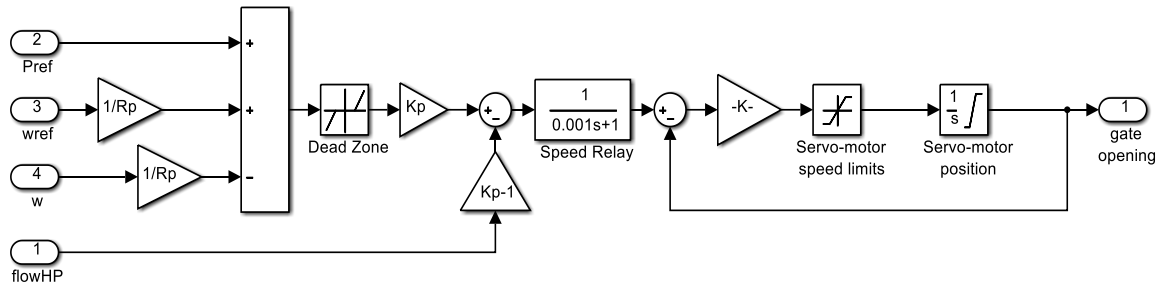


Figure (III.1) : modèle globale de simulation



Figure(III.2): régulateur de vitesse de la turbine à vapeur

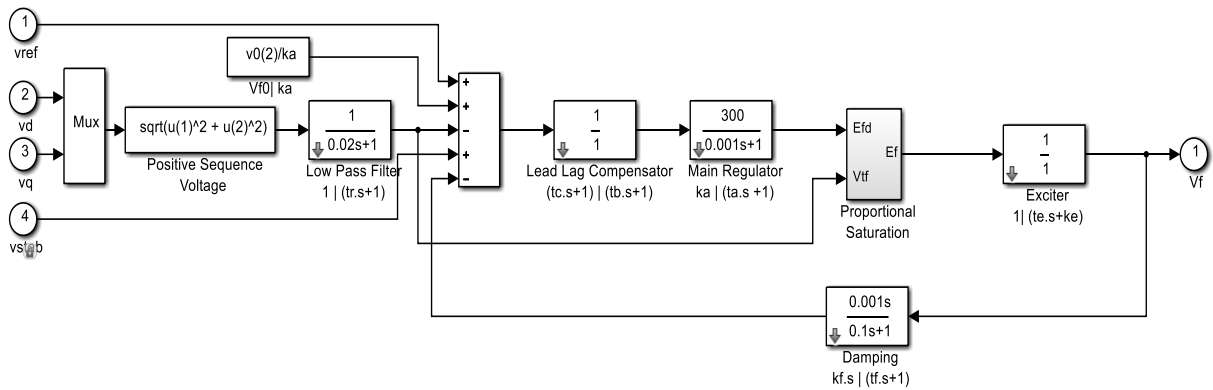


Figure (III.3): régulateur conventionnelle tension d'excitation

III.1.1.2. Simulation en fonctionnement normal :

Après l'introduction des paramètres de notre système dans le schéma pour la simulation avec un régulateur conventionnel, nous avons exécuté la simulation pour le premier essai de fonctionnement normal. Alors nous avons obtenu les résultats suivants.

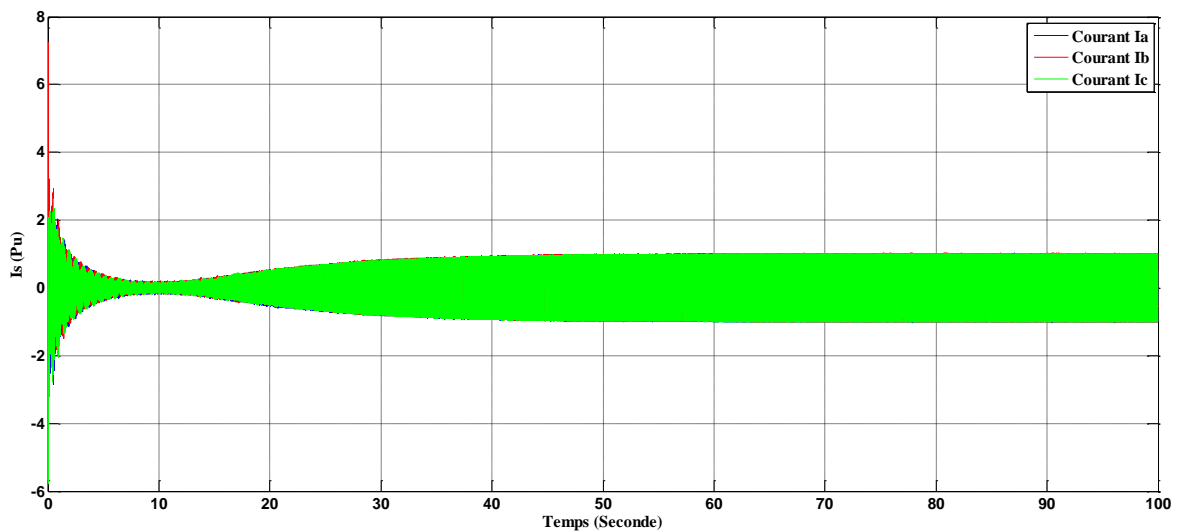


Figure (III.4): les courants statoriques

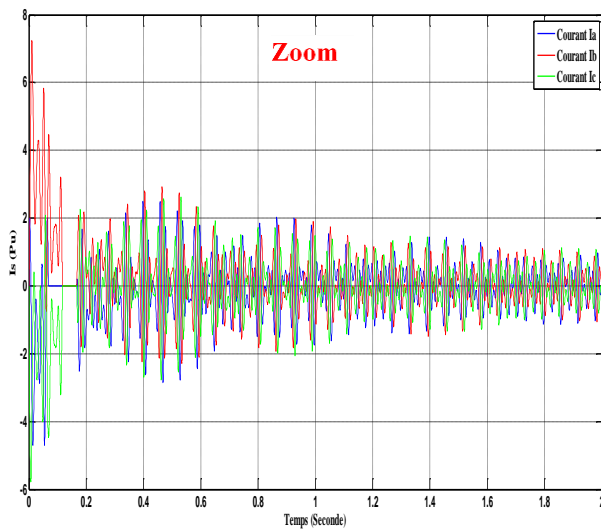


Figure (III.4.1): Les courants statoriques pendant Le démarrage

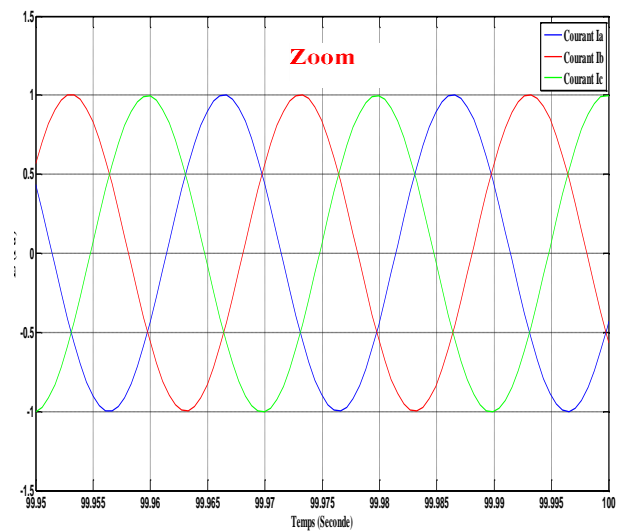


Figure (III.4.2): Les courants statoriques dans le régime permanent

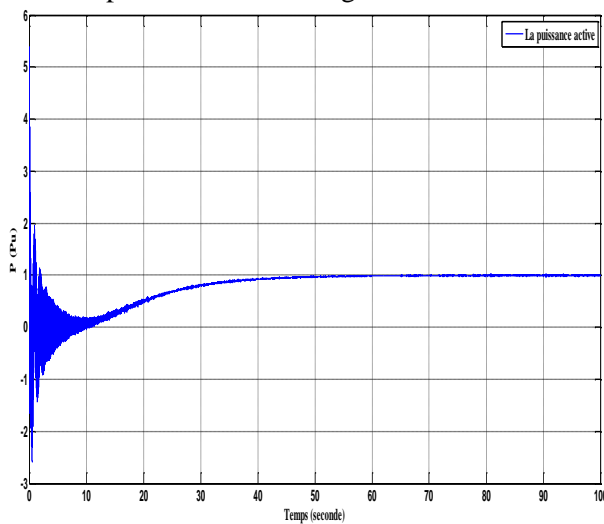


Figure (III.5) : La puissance active

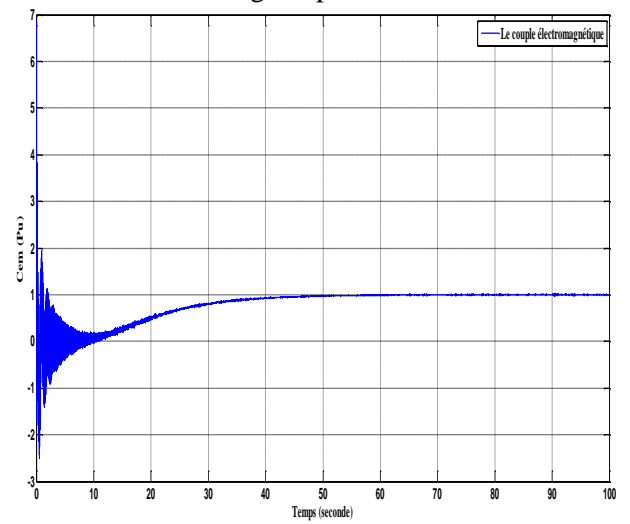


Figure (III.6) : Le couple électromagnétique

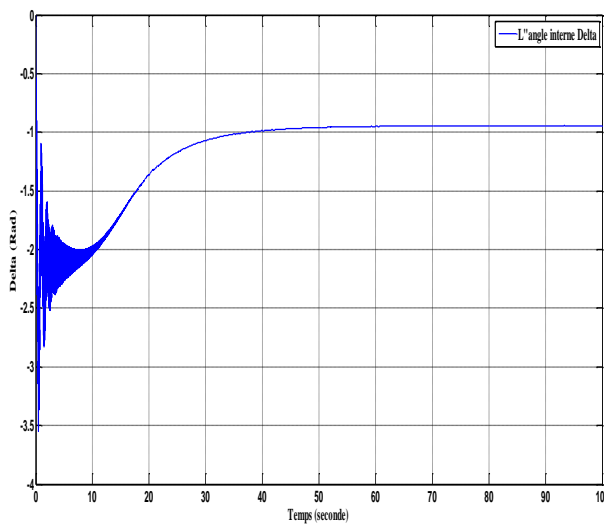


Figure (III.7) : L'angle interne Delta

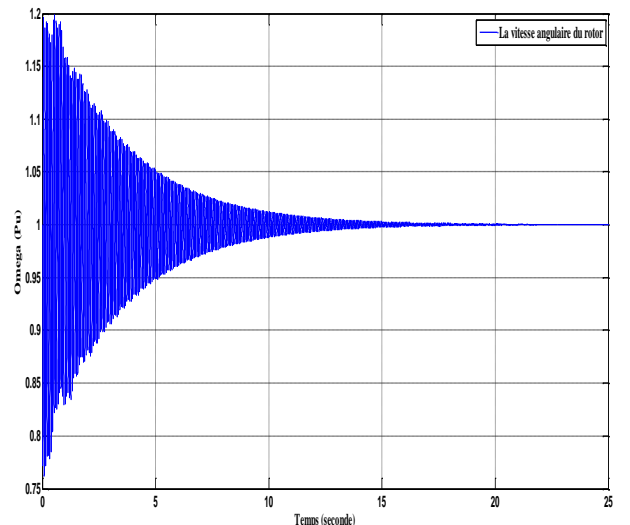


Figure (III.8) : la vitesse angulaire du rotor

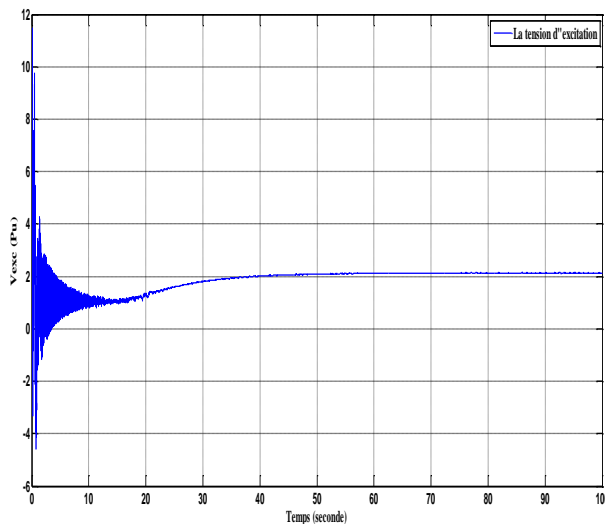


Figure (III.9) : La tension d'excitation

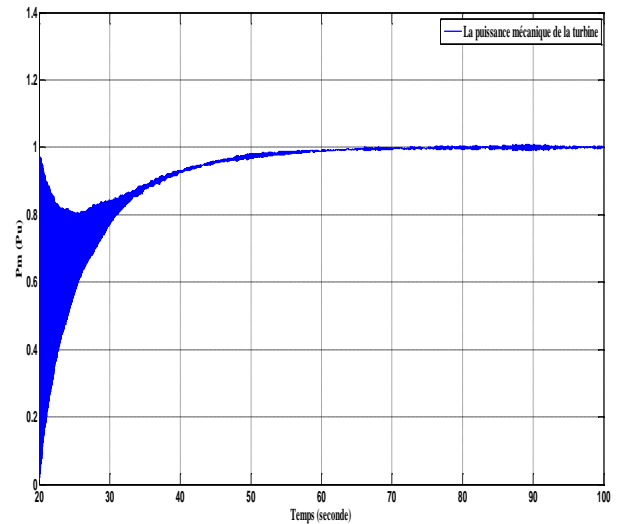


Figure (III.10) : La puissance mécanique de la turbine

III.1.1.3. Interprétation des résultats:

Dans la phase de démarrage on aperçoit une forte oscillation des courants statoriques d'après les figure (III.4.1) et (III.4.2) à cause de la grande vitesse de rotation de l'arbre de rotor figure (III.8) et aussi à cause du manque de régulation. En suite la courbe des courants décroît exponentiellement vers une valeur d'amplitude inférieure dans un temps approximativement très court de 10s. Cependant et à ce moment les régulateurs commence à réagir puisque il y a un retour des mesures des paramètres de sorties du système (tension statorique et vitesse du rotor) vers l'AVR et le régulateur de fréquence. Alors l'intervention de la régulation conventionnel ajuste cette perturbation et augment l'amplitude de courant exponentiellement et se rapproche du régime permanent pendant une durée de 30s. La tension d'excitation figure (III-9) et la puissance mécanique figure (III-10) augmentent proportionnellement et simultanément ce qui augmente les courant et stabilise alternateur dans le régime permanent pour un temps maximal de 20s. Dans notre analyse des courbes nous avons remarqué que l'ensemble des caractéristiques tracées atteint leurs valeurs nominales au même temps (60s) et avec la même forme d'oscillations. Les courbes de la puissance active et celle de couple électromagnétique ont les mêmes formes.

Bien que l'ensemble des courbes tracé présentent les mêmes perturbations de démarrage, le régime permanent établi reflète bien les amplitudes de notre machine, les courants de phase et le couple électromagnétique se stabilisent aux valeurs :

$$I_{ABC} = 9204,13 \text{ (A)}, \quad C_{EM} = 560509,6 \text{ (Nm)}, \quad P = 176 \text{ (MW)}$$

En plus du temps, nous avons fait une comparaison au niveau de l'amplitude entre les trois étapes du signal de courant obtenu (démarrage, la décroissance de la courbe et le régime permanent), cette opération nous a donné :

- ✓ Taux de décroissance = $I_{\text{Démarrage}} / I_{\text{Transitoire}} = 7.25/0.19 = 38,1579 = 3815,79\%$.
- ✓ Taux de croissance = $I_{\text{Transitoire}} / I_{\text{Permanent}} = 0.19/1 = 0,19 = 19\%$.

D'après ces résultats nous avons constaté que la décroissance est très importante ce qui demande plus de temps à la régulation conventionnel pour rétablir le régime permanent.

En fin les graphes que nous avons obtenus dans cet essai présentent un bon indice de fonctionnement de l'alternateur et que le régulateur utilisé réagisse aux normes exigés.

III.1.1.4. Simulation en présence d'un court-circuit fugitif :

Maintenant nous allons appliquer un court-circuit triphasé à la terre pour une courte durée (0.1 Secondes) à l'instant $t = 50$ (s) dans le régime permanent de fonctionnement de l'alternateur pour qu'on puisse voir la réaction des régulateurs ainsi les grandeurs de l'alternateur face à un défaut temporaire.

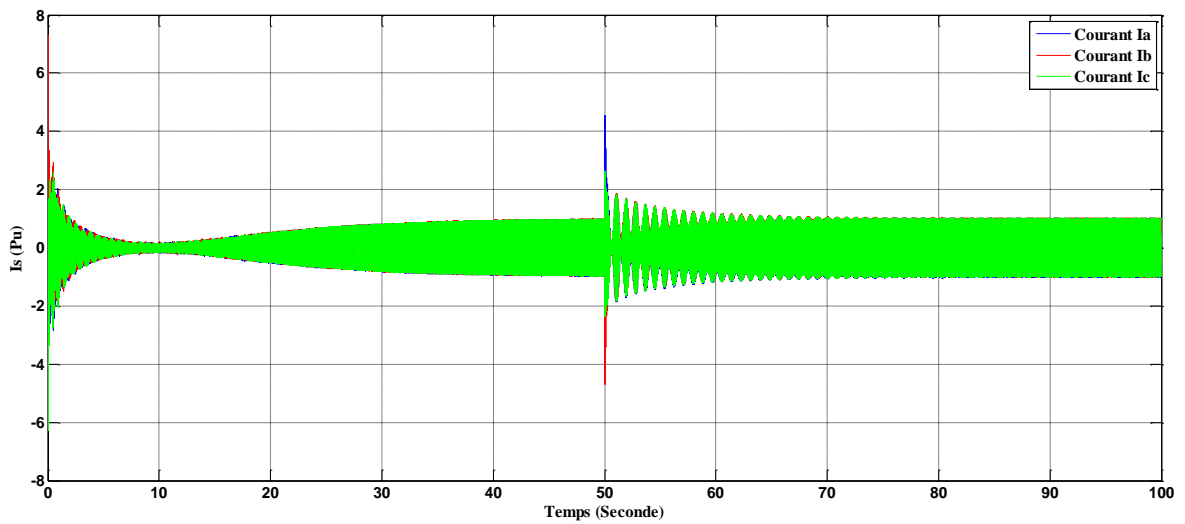


Figure (III.11) : Les courants statoriques

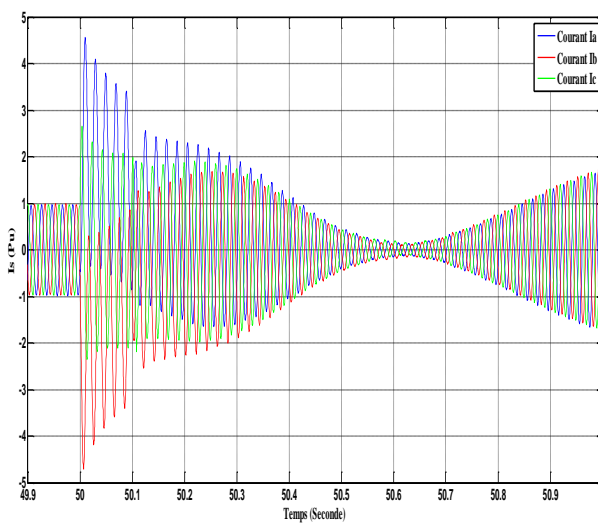


Figure (III.11.1) : Les courants statoriques

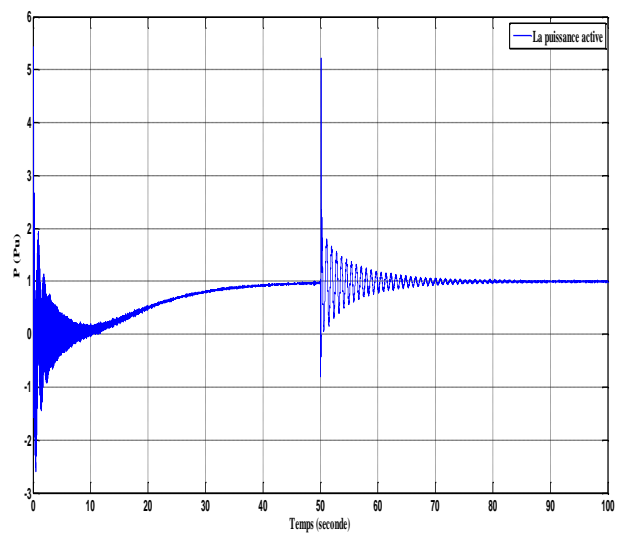


Figure (III.12) : La puissance active

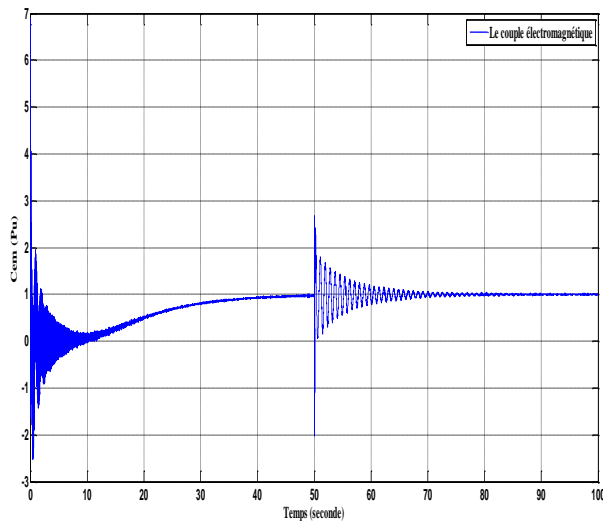


Figure (III.13) : La coule électromagnétique

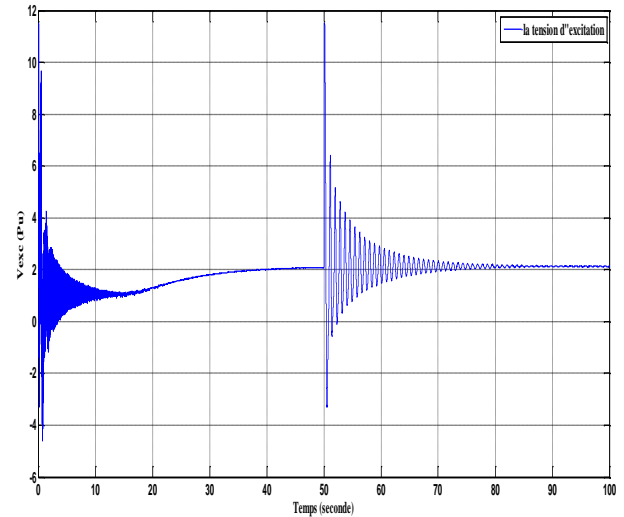


Figure (III.14): La tension d'excitation

III.1.1.5. Interprétation des résultats:

Le passage de l'état de démarrage à l'état de fonctionnement permanent de l'alternateur est déjà interprété dans le paragraphe précédent. Cet essai est effectué pour voir le comportement de l'alternateur face à une perturbation fugitive. Cependant, nous avons réalisé un court-circuit triphasé à la terre de courte durée ($t= 0.1$ seconds) à l'instant $t = 50$ seconds pendant le fonctionnement normal de la machine. On remarque d'après la figure (III.11.1) une grand oscillation dans la courbe des courants due au courant de court-circuit à l'instant de défaut, ces oscillations selon la figure (III.11) dure pendant 25 secondes et diminue d'amplitude rapidement à cause de l'intervention du le régulateur.

En plus, nous avons fait une comparaison au niveau de l'amplitude entre deux étapes du signal de courant obtenu (l'instant de défaut, stabilisation de courant), cette opération nous a donné :

$$\text{Taux de croissance} = I_{\text{défaut}} / I_{\text{Permanent}} = 4.56 / 1 = 4,56 = 456 \%$$

Quoique nous avons remarqué que la décroissance après défaut est moins importante comparant au régime de démarrage parce que la machine été en état de marche et aussi à cause de l'efficacité de la régulation.

III.1.1.6. Simulation avec une coupure du circuit d'excitation :

Pour cette simulation nous allons voir la réaction de l'alternateur face au manque de tension d'excitation dans le bobinage de rotor :

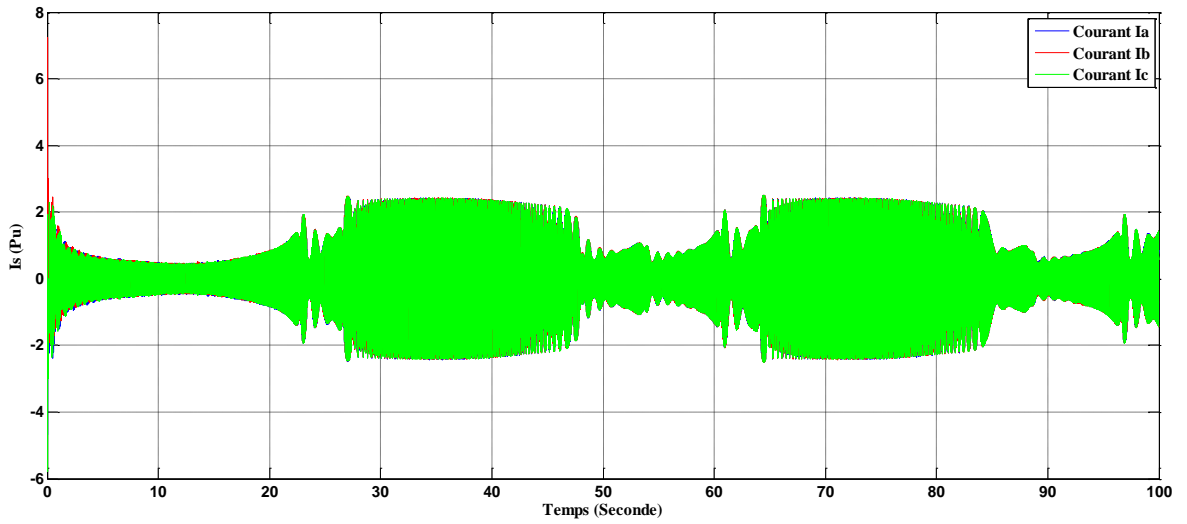


Figure (III.15) : Les courants statoriques

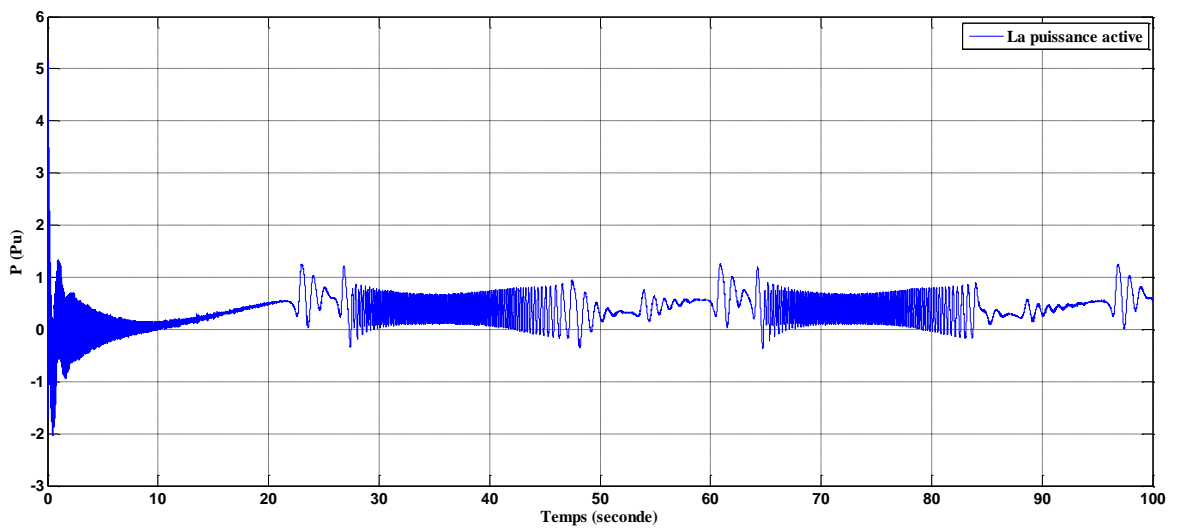


Figure (III.16) : La puissance active

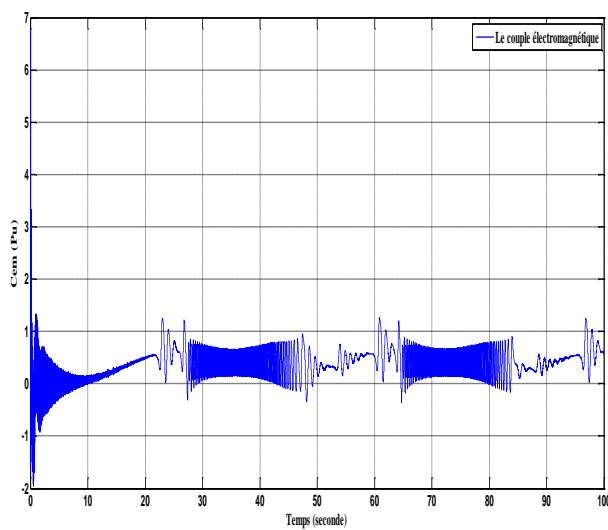


Figure (III.17): Le couple électromagnétique

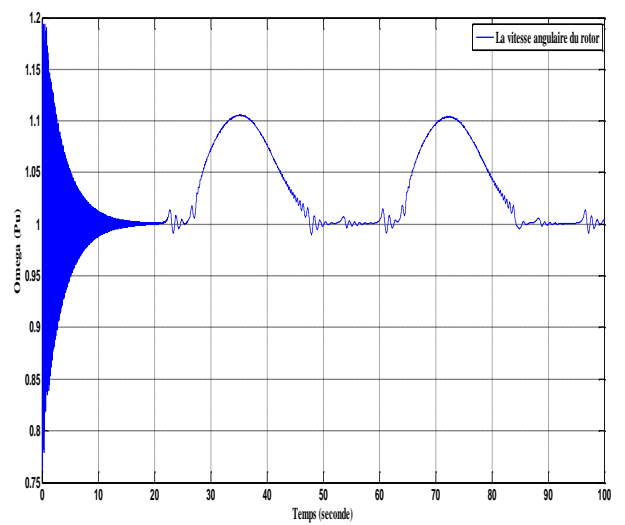


Figure (III.18): La vitesse angulaire du rotor

III.1.1.7. Interprétation des résultats:

Le fonctionnement de l'alternateur nécessite une excitation pour le rotor afin de garantir une aimantation permanente, dans cette essai nous avons vu le fonctionnement de l'alternateur avec une coupure d'excitation ($V_{exc} = 0$), la régulation de tension d'excitation est inutile puisque on a coupé totalement l'excitation de l'alternateur, néanmoins on remarque bien dans la figure (III.15) les ondulations de courants statorique dans qui se répète d'un cycle identique, ce phénomène se produit à cause du champ magnétique rémanent emmagasiné dans le rotor et la rotation continue de la turbine.

III.1.2. Simulation avec une régulation d'excitation en utilisant la logique floue

III.1.2.1. Modèle de simulation :

Ce schémas de notre modèle globale de simulation est identique au schéma globale utilisé précédemment, cependant on a modifié le circuit d'excitation qui utilise un régulateur conventionnelle avec un circuit d'excitation qui utilise la logique floue pour la régulation, le schéma de régulation est inspiré d'un article qui traite le même sujet que notre, l'article est disponible dans la partie des référence avec le numéro [10] , le schéma finale est constitué d'une machine synchrone (Alternateur), d'une turbine à vapeur et d'une excitation avec un régulateur à la base de logique, un disjoncteur et une transformateur élévateur, une source de tension pour modélisé le réseau et des charge en parallèle. Les paramètres réels des équipements sont indiqués en annexe.

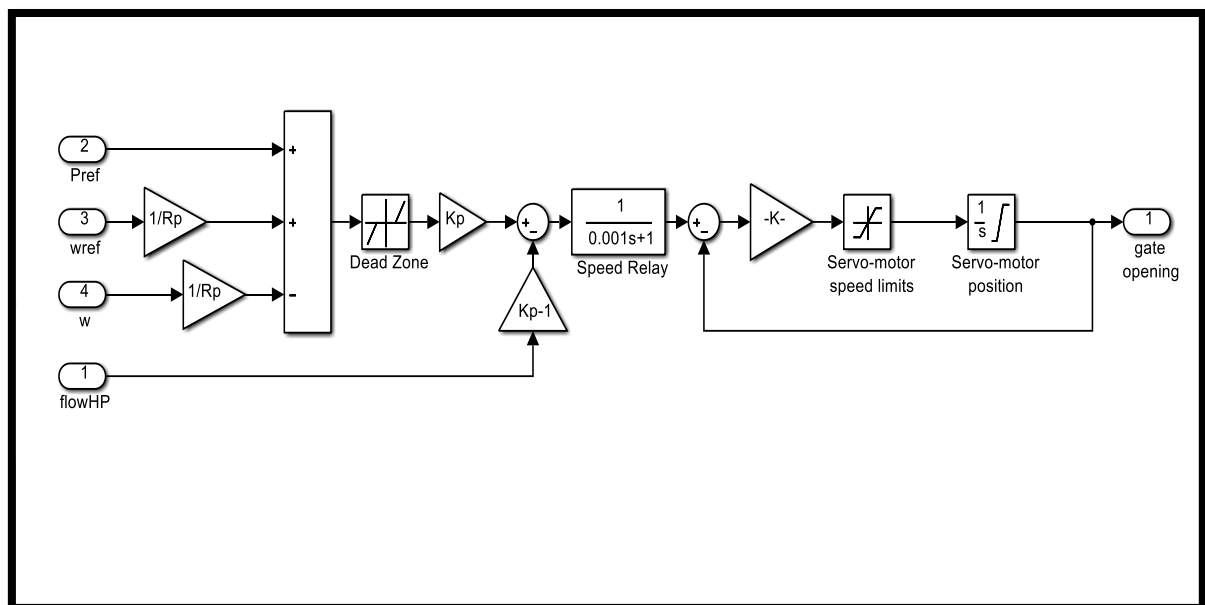


Figure (III.19): régulateur de vitesse de la turbine à vapeur

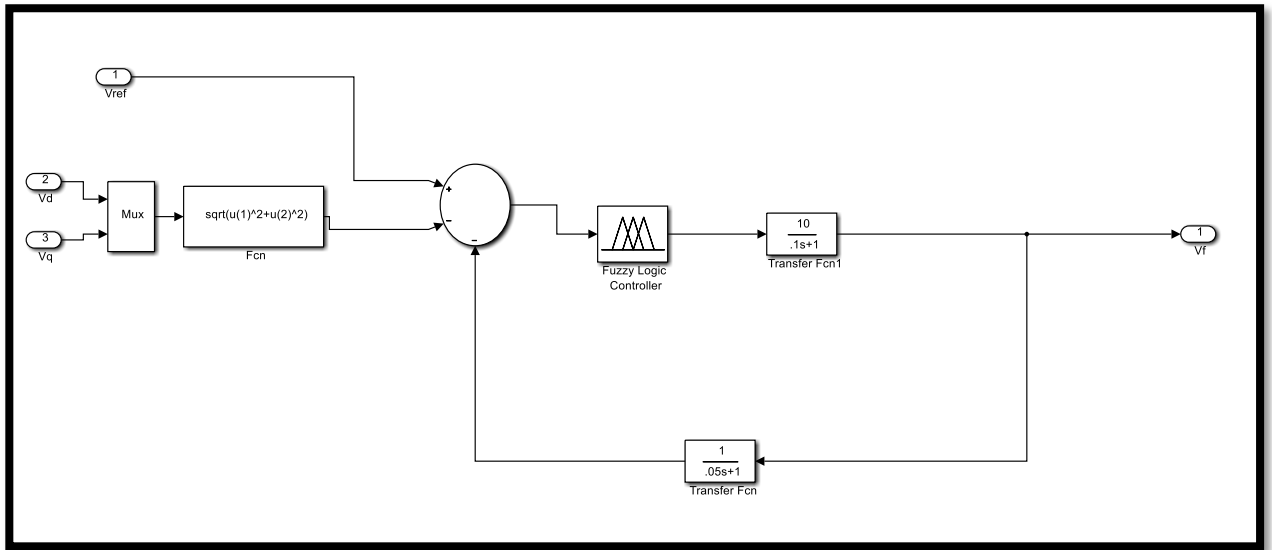


Figure (III.20): régulateur de tension d'excitation

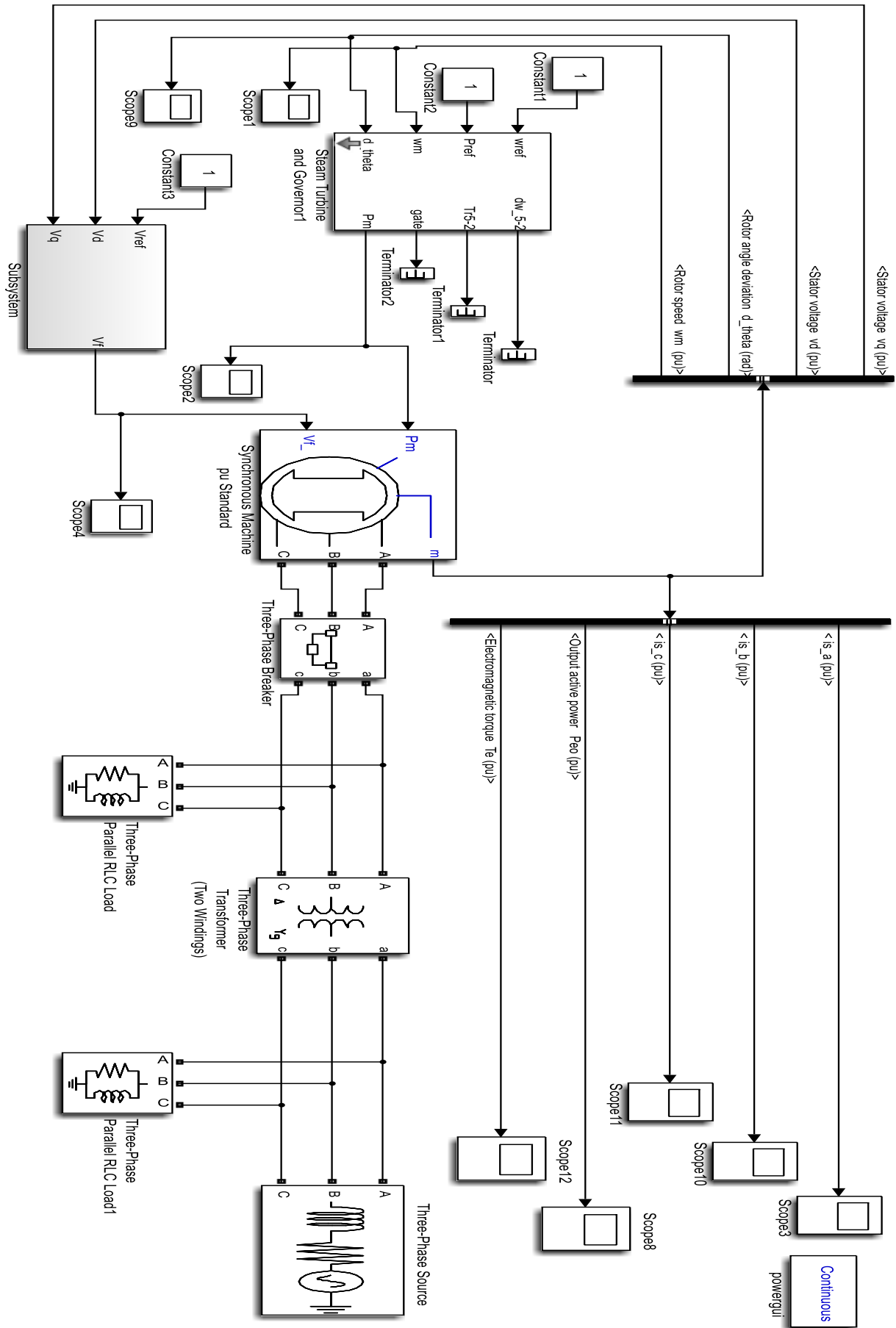


Figure (III.21): Modèle globale de simulation

III.1.2.2. Simulation en fonctionnement normal :

Nous allons exécuter notre simulation avec les paramètres normaux sous des conditions normales :

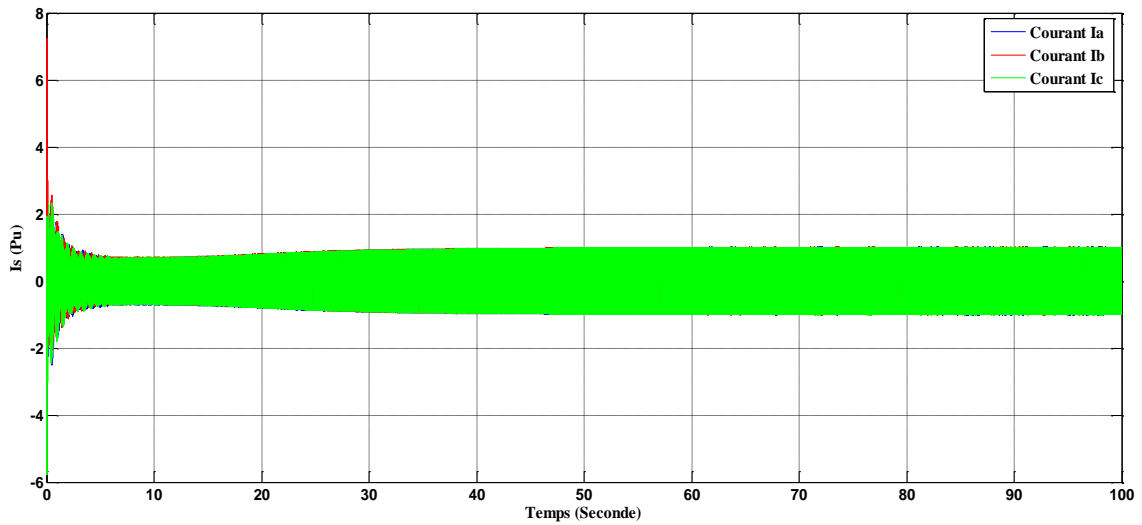


Figure (III.22): Les courants statoriques

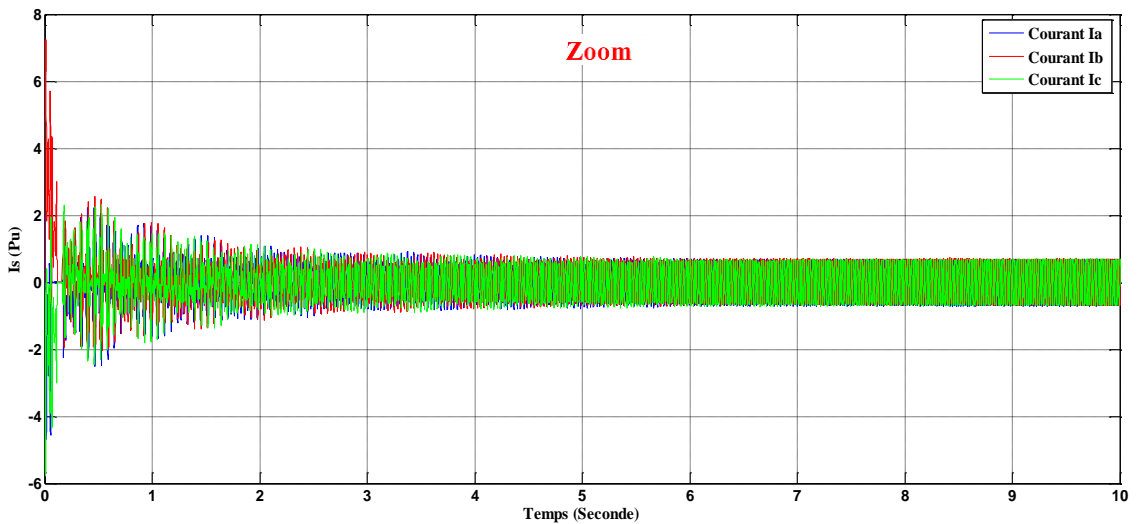


Figure (III.22.1): Les courants statoriques

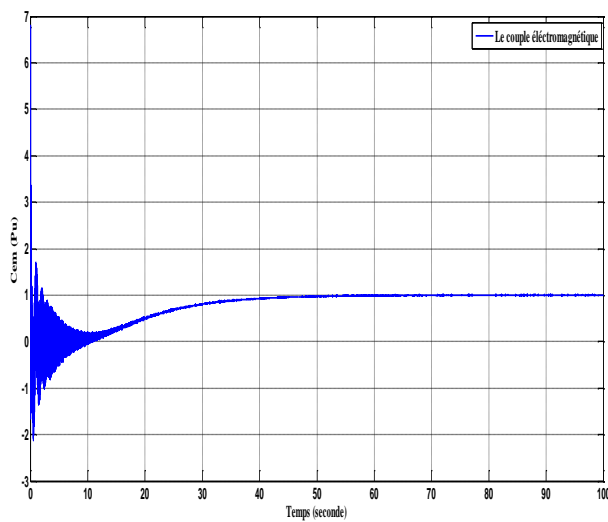


Figure (III.23) : Le couple électromagnétique

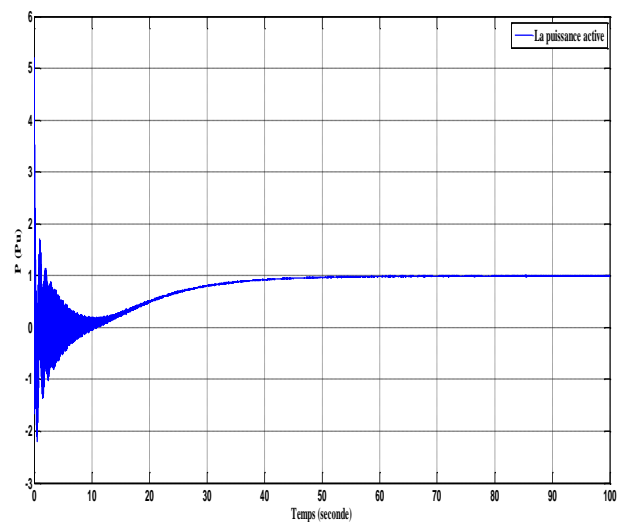


Figure (III.24) : La puissance active

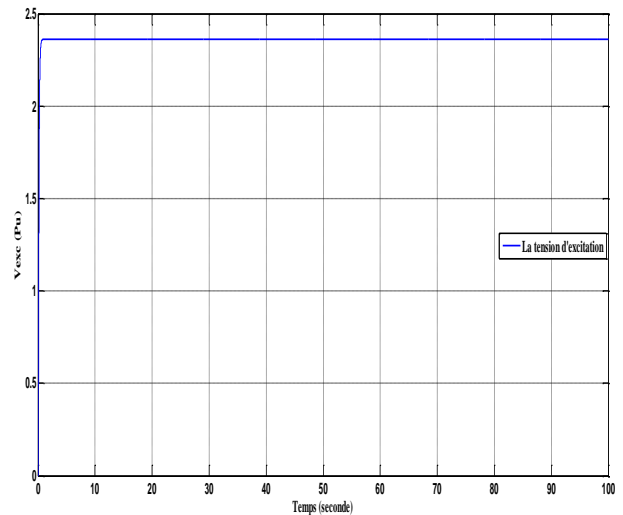
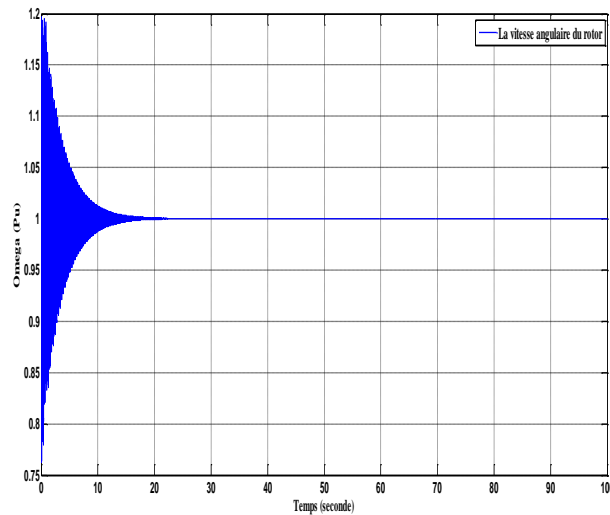


Figure (III.25) : La vitesse angulaire du rotor **(Figure III.26) :** La tension d'excitation

III.1.2.3. Interprétation des résultats:

Dans la phase de démarrage on aperçoit une forte oscillation des courants statoriques d'après les figures (III-22) et (III.22.1) à cause de la grande vitesse de rotation de l'arbre de rotor figure (III-25) et aussi à cause du manque de régulation. En suite la courbe des courants décroît exponentiellement vers une valeur d'amplitude un petit peu inférieure dans un temps approximativement très court de 6s. Cependant et à ce moment les régulateurs commencent à réagir puisque il y a un retour des mesures des paramètres de sorties du système (tension statorique et vitesse du rotor) vers l'AVR floue et le régulateur de fréquence. Alors l'intervention de la régulation avec la logique floue ajuste cette perturbation et augmente l'amplitude de courant exponentiellement et se rapproche du régime permanent pendant une durée de 24s. La tension d'excitation figure (III-26) et la puissance mécanique de la turbine augmentent proportionnellement et simultanément ce qui augmente l'amplitude des courants et stabilise l'alternateur dans le régime permanent pour un temps maximal de 20s. Dans notre analyse des courbes nous avons remarqué que l'ensemble des caractéristiques tracées atteint leurs valeurs nominales au même temps (50s) et avec la même forme d'oscillations. Les courbes de la puissance active et celle de couple électromagnétique ont les mêmes formes. Bien que l'ensemble des courbes tracé présentent les mêmes perturbations de démarrage, le régime permanent établi reflète bien les amplitudes de notre machine, les courants de phase et le couple électromagnétique se stabilisent aux valeurs :

$$\mathbf{I}_{ABC} = 9204,13 \text{ (A)}, \quad \mathbf{CEM} = 560509,6 \text{ (Nm)}, \quad \mathbf{P} = 176 \text{ (MW)}.$$

En plus du temps, nous avons fait une comparaison au niveau de l'amplitude entre les trois étapes du signal de courant obtenu (démarrage, la décroissance de la courbe et le régime permanent), cette opération nous a donné :

- ✓ Taux de décroissance = $I_{\text{Démarrage}} / I_{\text{Transitoire}} = 7,25 / 0,72 = 10,0694 = 1006,94\%$
- ✓ Taux de croissance = $I_{\text{Transitoire}} / I_{\text{Permanent}} = 0,72 / 1 = 0,72 = 72\%$.

D'après ces résultats nous avons constaté que la décroissance est moins importante ce qui ne demande pas beaucoup de temps à la régulation floue pour rétablir le régime permanent.

En fin les graphes que nous avons obtenus dans cet essai présentent un bon indice de fonctionnement de l'alternateur et que le régulateur utilisé réagisse aux normes exigés.

III.1.2.4. Simulation en présence d'un court-circuit fugitif :

On a appliqué un court-circuit triphasé à la terre pour une courte durée (0.1 Secondes) à l'instant $t = 50$ (s) dans le régime permanent de fonctionnement de l'alternateur pour qu'on puisse voir la réaction de régulateur floue ainsi les grandeurs de l'alternateur face à un défaut temporaire.

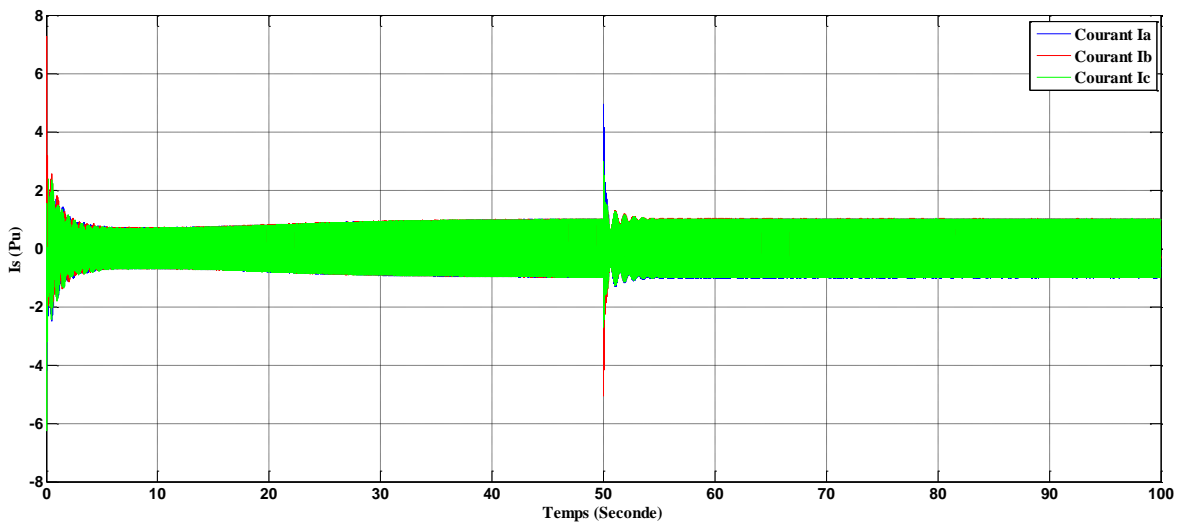


Figure (III.27) : Les courants statoriques

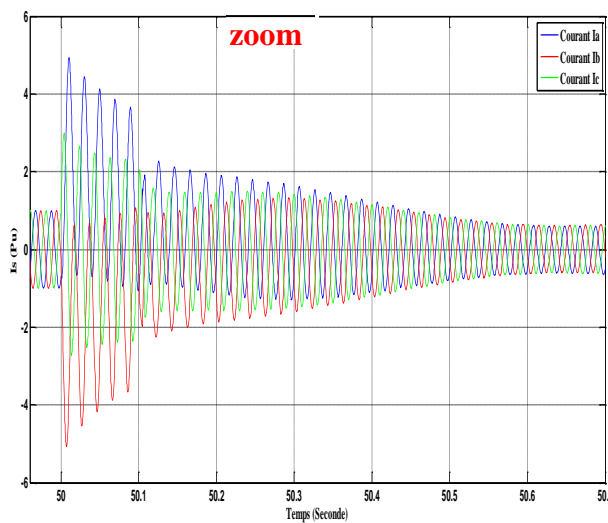


Figure (III.27.1) : Les courants statoriques

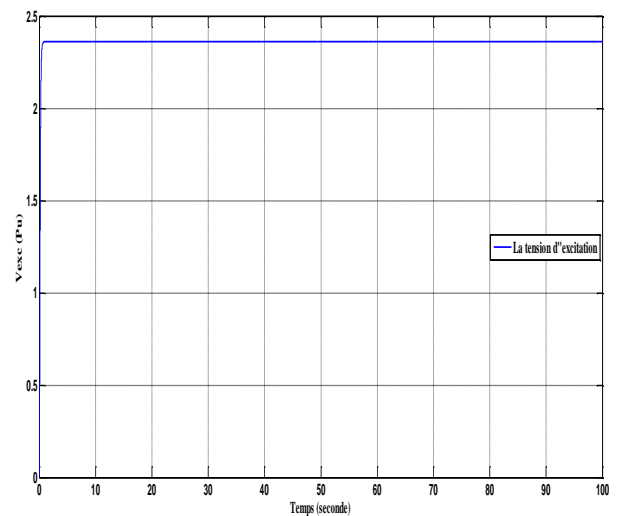


Figure (III.28) : La tension d'excitation

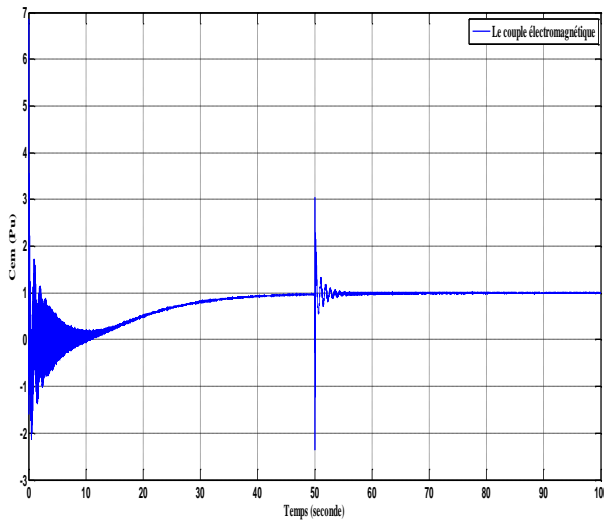


Figure (III.29) : Le couple électromagnétique

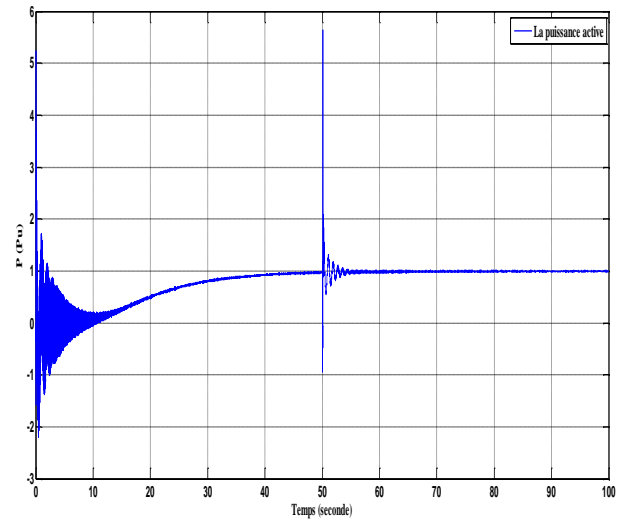


Figure (III.30) : La puissance active

III.1.2.5. Interprétation des résultats:

Le passage de l'état de démarrage à l'état de fonctionnement permanent de l'alternateur est déjà interprété dans le paragraphe précédent. Cet essai est effectué pour voir le comportement de l'alternateur face à une perturbation fugitive. Cependant, nous avons réalisé un court-circuit triphasé à la terre de courte durée ($t = 0.1$ seconds) à l'instant $t = 50$ seconds pendant le fonctionnement normal de la machine. On remarque dans les figures (III-27) et (III.27.1) une grande oscillation dans la courbe des courants due au courant de court-circuit à l'instant de défaut, ces oscillations qui durent pendant 10 seconds diminuent d'amplitude rapidement à cause de l'intervention du régulateur. En plus, nous avons fait une comparaison au niveau de l'amplitude entre deux étapes du signal de courant obtenu (l'instant de défaut, stabilisation de courant), cette opération nous a donné :

Taux de croissance = $I_{\text{défaut}} / I_{\text{Permanent}} = 4.93 / 1 = 4.93 = 493 \%$.

Quoique nous avons remarqué que la décroissance après défaut est moins importante comparant au régime de démarrage parce que la machine était en état de marche et aussi à cause de l'efficacité de la régulation.

III.2. Comparaison entre les deux régulateurs :

Dans cette partie de notre analyse, nous allons analyser la différence entre les deux régulateurs utilisés précédemment pour voir quelle sont les utilités qu'apporte la nouvelle technologie de régulation.

Puisque la stabilité des courants statoriques est le principal rôle de la régulation d'excitation, nous allons juste comparer la tension d'excitation et les courants statoriques entre les deux régulateurs.

Les légendes utilisées dans cette comparaison sont comme suit :

Vexc f : la tension d'excitation avec une régulation par la logique floue.

Vexc c : la tension d'excitation avec une régulation conventionnelle.

Ia f : courant statorique avec une régulation floue de tension d'excitation

Ia c : courant statorique avec une régulation conventionnelle de tension d'excitation

P f : la puissance active avec une régulation floue de tension d'excitation

P c : la puissance active avec une régulation conventionnelle de tension d'excitation

III.2.1. Comparaison pour le fonctionnement normal :

III.2.1.1. Comparaison des tensions d'excitation :

Cette fois nous allons analyser les tensions d'excitation entre les deux régulateurs :

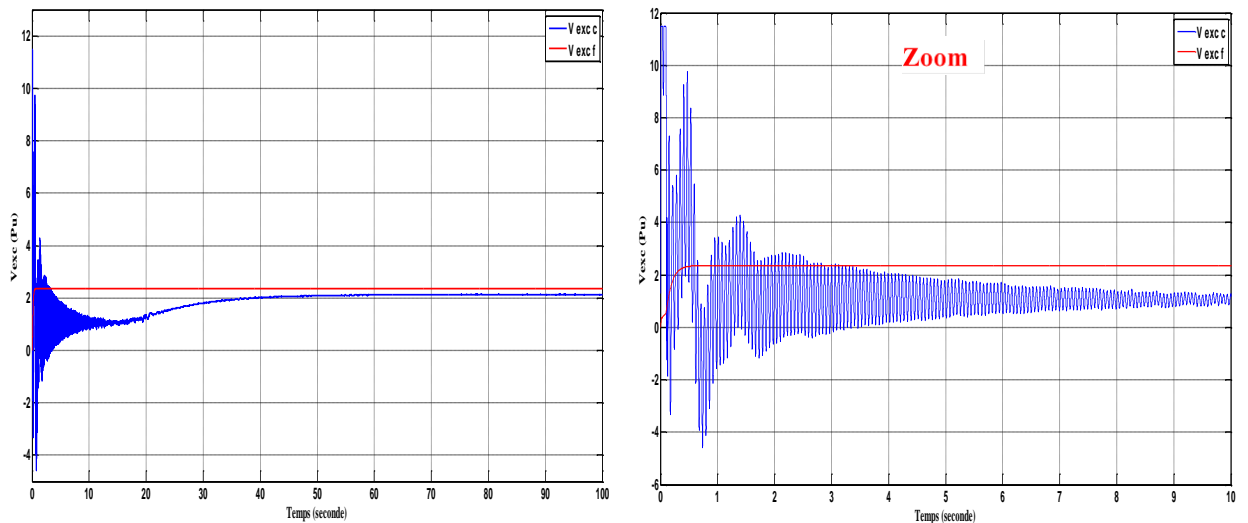


Figure (III.31) : la tension d'excitation pour les deux régulateurs

On remarque bien la différence entre les deux tensions dans la phase de démarrage en termes de rapidité et stabilité dans les figures (III.31). Contrairement à la tension d'excitation qui utilise la logique floue qui augmente exponentiellement et rapidement vers sa valeur nominale, la tension d'excitation avec une régulation conventionnelle subit beaucoup de perturbations et augmente à des valeurs beaucoup plus supérieures (environ onze fois sa valeur nominale). Ensuite la tension commence à se stabiliser pendant une période de 60 seconds pour arriver à sa valeur nominale.

En déduit que la régulation avec la logique floue est beaucoup plus rapide que la régulation conventionnelle.

III.2.1.2. Comparaison des courant statoriques :

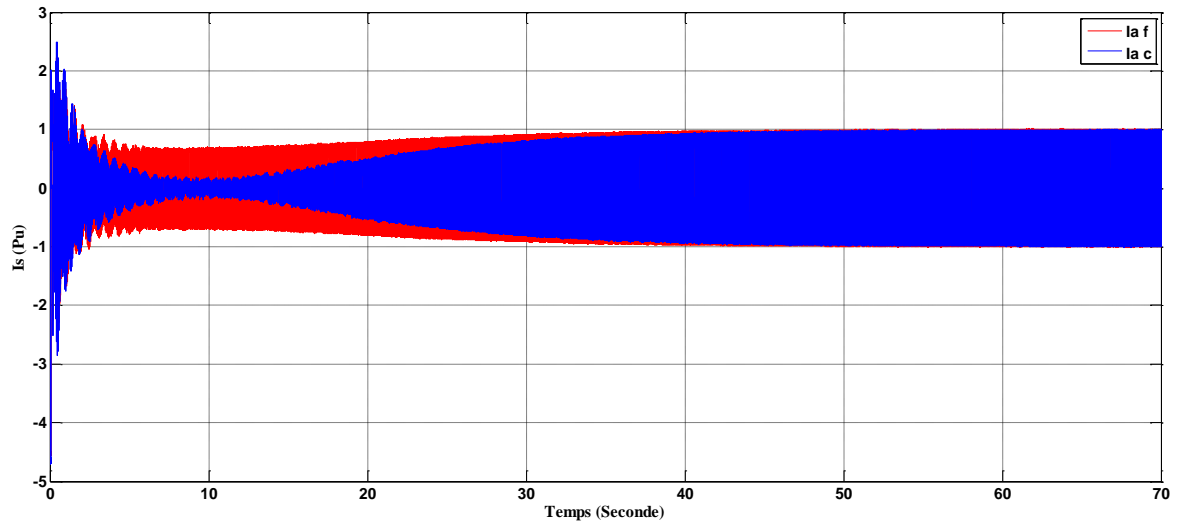


Figure (III.32) : le courant statorique Ia pour les deux régulateurs

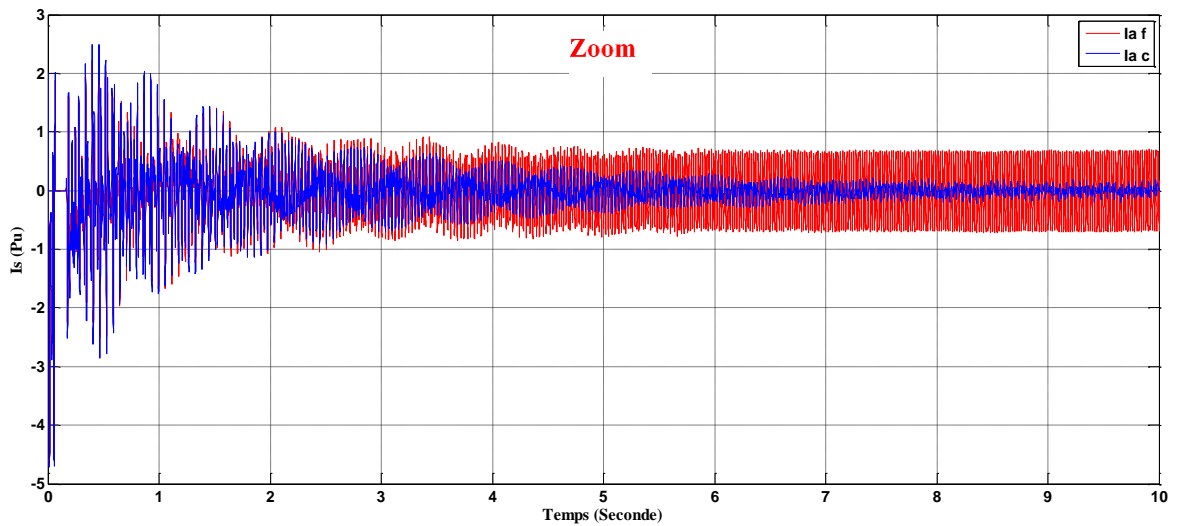


Figure (III.32.1) : le courant statorique Ia pour les deux régulateurs

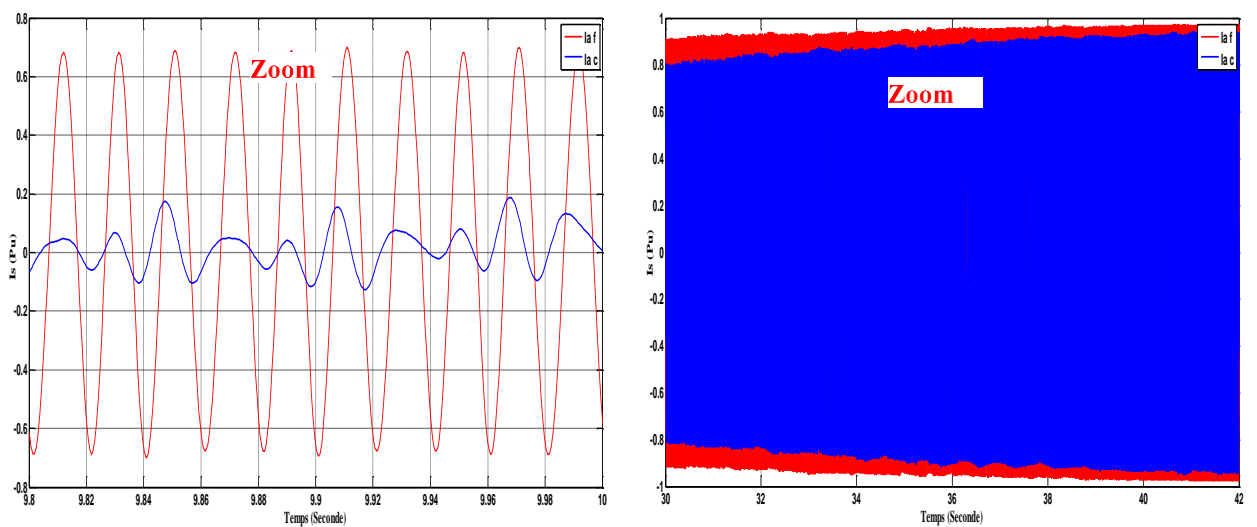


Figure (III.32.2) : le courant statorique Ia pour les deux régulateurs

D'après les figures (III.32.1) et (III.32.2) et les calculs que nous avons fait avant sur les taux de croissance de décroissance des courants statoriques, on remarque une grande différence entre les deux :

- ✓ Taux de décroissance de courant statorique pour le régulateur conventionnelle

$$\text{Taux} = 3815,79\%$$

- ✓ Taux de décroissance de courant statorique pour le régulateur avec la logique floue

$$\text{Taux} = 1006,94\%$$

En déduit que l'excitation avec la logique floue minimise l'amplitude de décroissance exponentielle d'une façon plus performante que le régulateur conventionnelle. On a calculé le temps de décroissance des deux courant et on a trouvé que :

- ✓ Temps de décroissance de courant statorique pour le régulateur conventionnelle

$$\text{Taux} = 10 \text{ seconds}$$

- ✓ Temps de décroissance de courant statorique pour le régulateur avec la logique floue

$$\text{Taux} = 6 \text{ seconds}$$

En déduit que l'excitation avec la logique floue minimise non seulement l'amplitude mais aussi le temps de décroissance d'une façon plus performante que le régulateur conventionnelle.

Ces propriétés sont très importantes puisqu'elles affectent le retour vers le régime permanent.

Dans le régime transitoire toujours on remarque que le courant avec le régulateur floue maintien une valeur supérieur que celle avec un régulateur conventionnelle. Cette propriété aide à accélérer le passage vers la stabilité de fonctionnement de l'alternateur. On a calculé aussi le taux de croissance du régime transitoire au régime permanent ainsi le temps nécessaire pour l'opération, on a trouvé :

- ✓ Taux de croissance de courant statorique pour le régulateur conventionnelle = 19 %

- ✓ Temps de croissance de courant statorique pour le régulateur conventionnelle = 50 seconds

- ✓ Taux de croissance de courant statorique pour le régulateur avec la logique floue = 72 %

- ✓ Temps de croissance de courant statorique pour le régulateur avec la logique floue = 44 seconds

On remarque une grande différence entre l'amplitude et le temps de croissance des courants statoriques du régime transitoire vers le régime permanent de fonctionnement de l'alternateur. On déduit par cela que le régulateur flou est plus performant que le régulateur conventionnel.

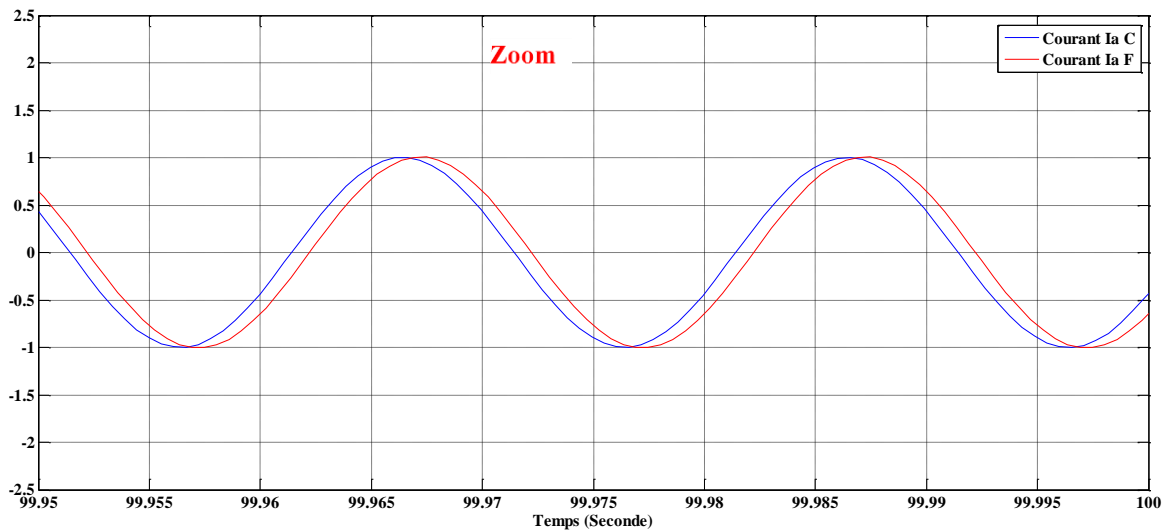


Figure (III.32.3) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs

Dans le régime permanent dans la figure (III.32.3) les courants pour les deux régulateurs sont identiques. La différence entre les deux régulateurs est visible sur toutes les grandeurs de l'alternateur, comme par exemple la puissance active dans la figure suivante :

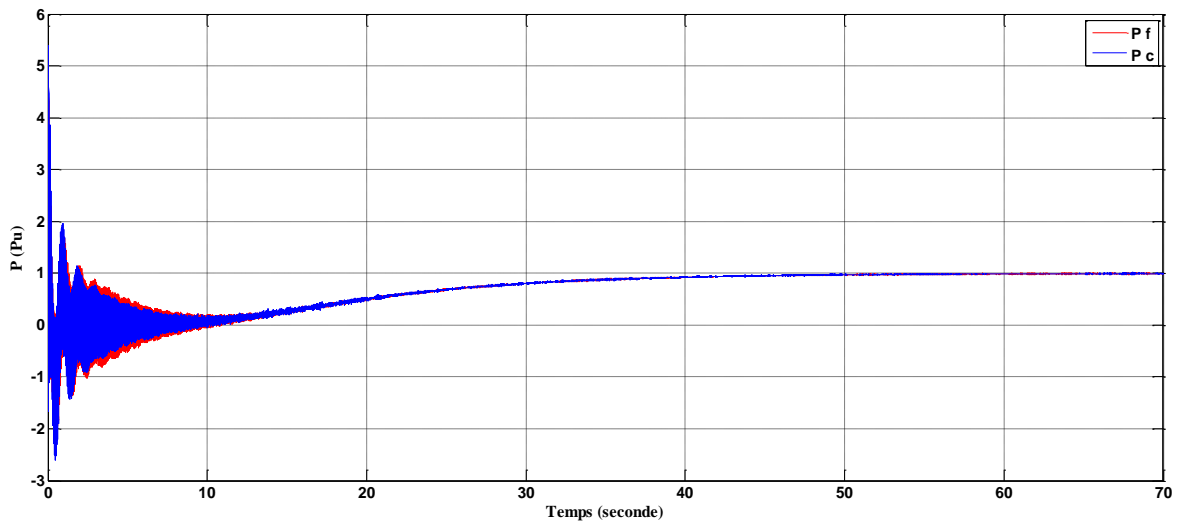


Figure (III.33) : la puissance active pour les deux régulateurs

III.2.2. Comparaison pour l'essai de court-circuit fugitive :

III.2.2.1. Comparaison des tensions d'excitation :

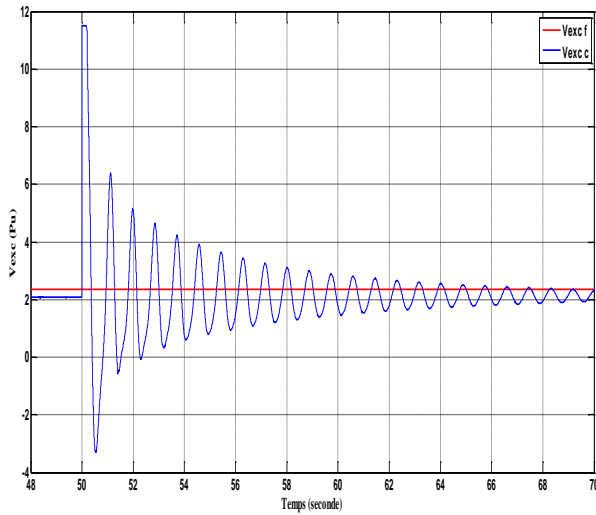


Figure (III.34) : la tension d'excitation
Pour les deux régulateurs

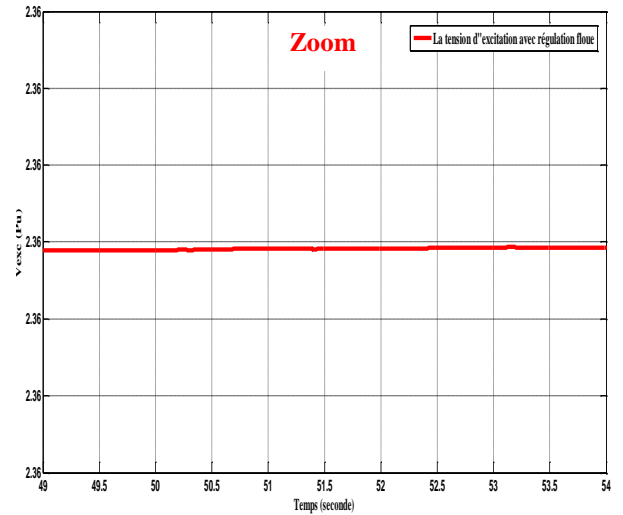


Figure (III.34.1) : la tension d'excitation
avec un régulateur par la logique floue

Il existe une grande différence entre les deux réponses à l'instant de défaut, comme il est indiqué dans la figure (III.34), la tension d'excitation la régulation conventionnelle subit une grande perturbation et met un certain temps pour être stabilisée contrairement au régulateur flou dans la figure (III.34.1) qui n'a subi qu'une légère perturbation macroscopique pendant 3,5 seconds, ce phénomène nous montre la grande différence de rapidité entre les deux régulateurs.

III.2.2.2. Comparaison des courants statoriques

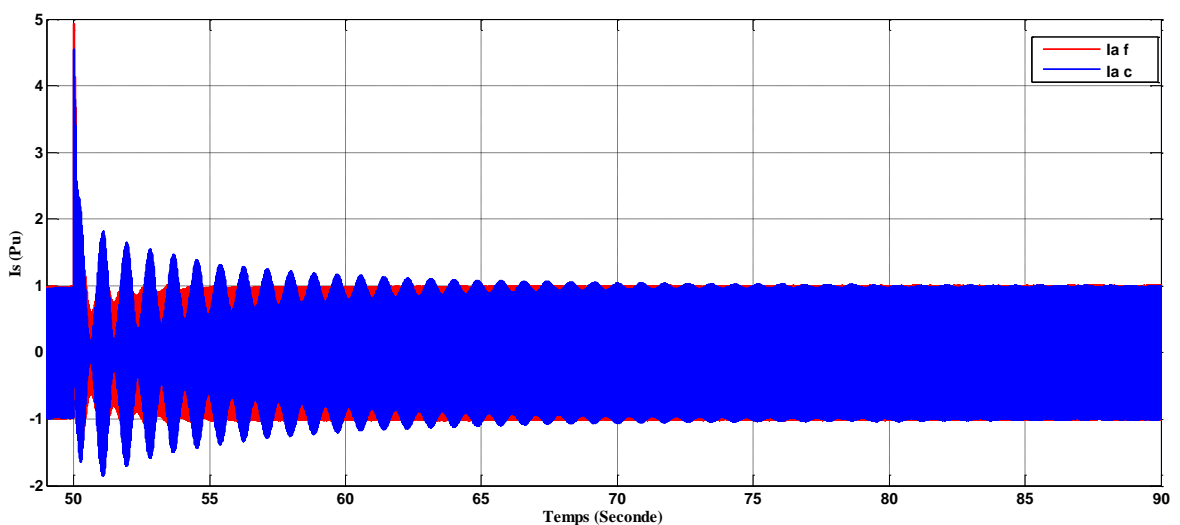


Figure (III.35) : le courant statorique Ia pour les deux régulateurs

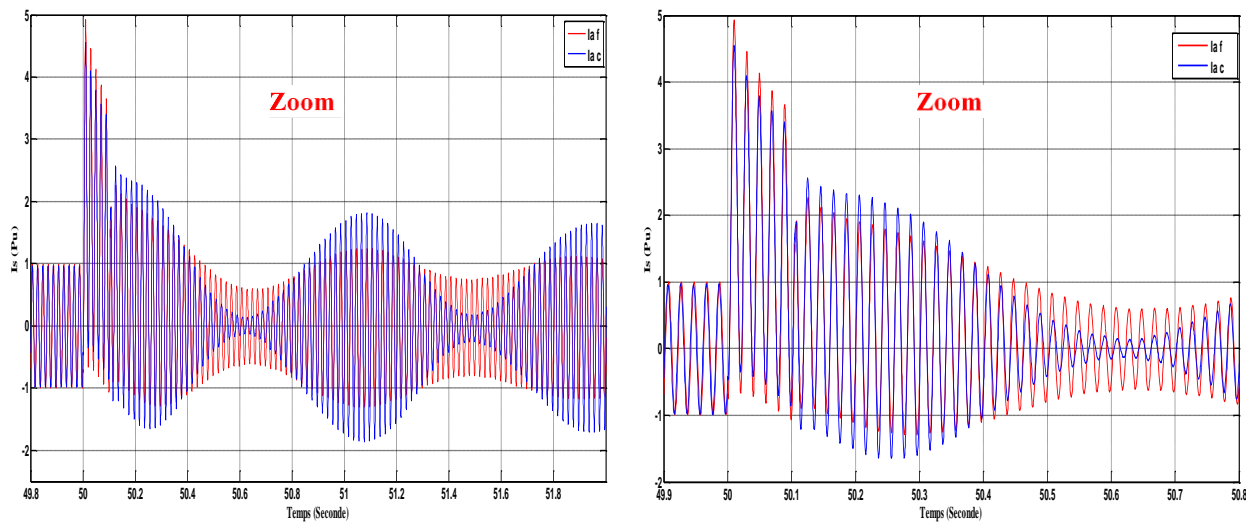


Figure (III.36) : le courant statorique I_a pour les deux régulateurs

Lorsqu'on applique un court-circuit fugitive à l'instant ($t=50$ seconds) pendant une courte durée ($t = 0,1$ seconds) on remarque une différence entre la réaction des deux régulateurs dans les figures (III.35) (III.36) , nous avons calculé l'amplitude de courant de court-circuit, ainsi le temps de stabilisation des courants après l'élimination de défaut, on a trouvé :

- ✓ Taux de croissance de courant statorique pour le régulateur conventionnelle = 456 %
- ✓ Temps de stabilisation des courants statoriques pour le régulateur conventionnelle = 25 seconds
- ✓ Taux de croissance de courant statorique pour le régulateur floue = 493 %
- ✓ Temps de stabilisation des courants statoriques pour le régulateur floue = 10 seconds

L'amplitude du courant de court-circuit avec le régulateur floue est supérieure à celle avec le régulateur conventionnelle, mais le temps de stabilisation après le défaut est beaucoup mieux pour le régulateur floue.

En déduit que le régulateur floue est beaucoup plus rapide et performant pour la stabilisation des courants après un défaut fugitive. La rapidité de régulation des courants après le défaut fugitive affecte tous les grandeurs de l'alternateur, comme la puissance active montrée dans la figure suivant :

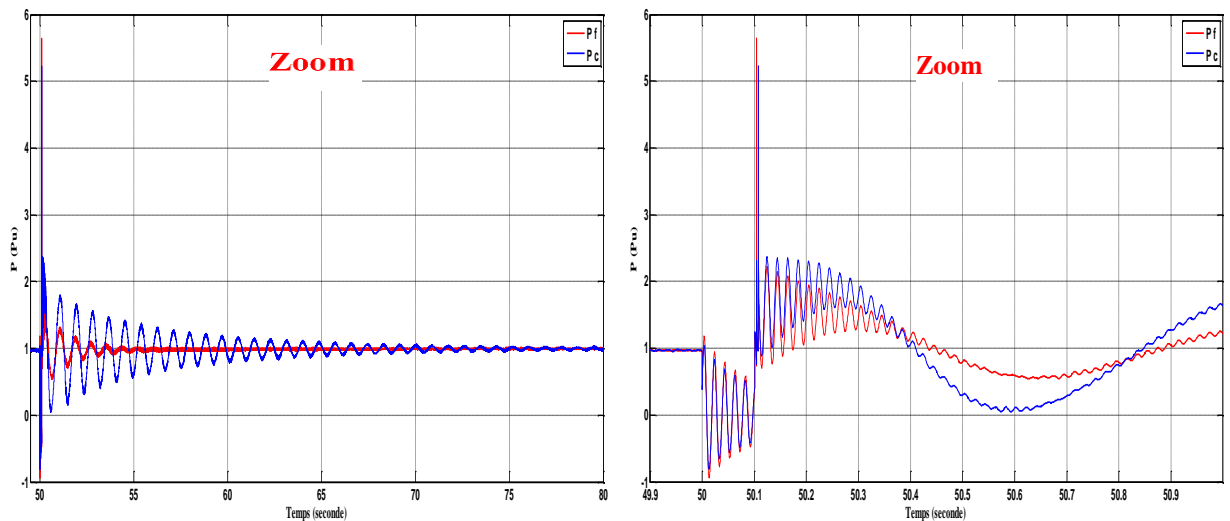


Figure (III.37) : la puissance active pour les deux régulateurs

Conclusion :

Ce dernier chapitre a présenté l'ensemble des résultats de notre étude de simulation avec leurs interprétations. D'abord nous avons élaboré les schémas des circuits de simulation en inspirant de matlab-simulink. Après la mise en fonctionnement, nous avons simulé le fonctionnement de la régulation par deux contrôleurs (un conventionnel et l'autre intelligent) les résultats de ce travail ont été analysés et interprétés. Ces derniers ont présentés des bons indices. Donc nous avons décidé de comparer le régulateur conventionnelle avec le régulateur floue en fonctionnement normal de l'alternateur, on a trouvé que le régulateur floue est beaucoup plus rapide et performant dans le passage du régime transitoire de démarrage vers le régime permanent. Ensuite nous avons introduit un défaut de court-circuit fugitive dans le fonctionnement normale de l'alternateur pour voir la réaction des deux régulateurs, on a trouvé que le régulateur floue surpasse encore le régulateur conventionnelle dans la stabilité des courants dans le cas d'une perturbation

D'après notre comparaison en déduit que le régulateur floue est beaucoup plus rapide et performant que le régulateur conventionnel.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons présenté dans ce mémoire une étude sur la centrale de production de Marsat El Hadjadj qui était le lieu de notre stage pratique. Nous avons introduit notre travail par une présentation de la centrale, l'endroit et le cycle de production. Architecture du réseau de transport 220 KV et la ligne de secours (63 KV/6,6 KV) qui sera alimentée par le réseau en cas de manque de courant dans la centrale ont été détaillés. Les différents tableaux ; moyen tension des auxiliaires de l'alternateur, de basse tension des auxiliaires de l'alternateur, le tableau d'éclairage de la centrale et le tableau d'éclairage de secours ont été enseignés. Ensuite nous avons fait une étude sur l'alternateur et ses principaux organes et son principe de fonctionnement. Le diagramme de Fresnel de l'alternateur pour les caractéristiques à vide et en charge de l'alternateur et le diagramme de fonctionnement représentant les puissances actives et réactives ont été expliqués. Comme nous avons aussi expliqué les divers types d'excitations de l'alternateur et le fonctionnement de la régulation de tension d'excitation et de la fréquence dans la turbine. En conséquence à travers cet aperçu nous avons acquis beaucoup de connaissances sur les systèmes industriels de productions de l'énergie électrique. Nous avons déduit que le processus global est très complexe et multi disciplinaire.

Dans le deuxième chapitre nous avons mentionné toutes les équations électriques et mécaniques et la transformation de Park qui nous a aidés énormément dans l'étude de notre simulation de l'alternateur avec ces organes de régulation.

Dans le troisième chapitre, nous avons exécuté notre simulation avec le logiciel de simulation Matlab-Simulink avec les mêmes paramètres de la centrale de Marsat El Hadjadj en vue de faire une analyse complète sur la régulation de tension d'excitation et de la fréquence. Nous avons obtenu des résultats acceptables des grandeurs de l'alternateur dans le cas de fonctionnement normales et le cas d'un fonctionnement perturbé en présence d'un court-circuit fugitive, nous avons déduit que le régulateur permet de stabiliser les tensions statoriques pendant le démarrage ainsi dans le cas d'un défaut temporaire.

Ensuite nous avons fait une comparaison entre le régulateur conventionnelle de tension d'excitation disponible dans la bibliothèque de Matlab et un régulateur intelligent de type flou. Donc, nous avons déduit d'après la comparaison que le régulateur flou surpasse le régulateur conventionnelle dans la vitesse de régulation et dans la réduction des perturbations dans le cas d'un défaut fugitive.

Enfin notre mission a été achevée par la rédaction de ce mémoire au niveau de la centrale ce qui nous a permis d'apprendre beaucoup de connaissances dans le secteur industriel et d'enrichir nos savoirs théorique et pratique. Finalement nous recommandons les

Conclusion générale

cadres de la centrale de passer à la régulation intelligente à cause de leurs avantages et de la sensibilité de ce système industriel.

Annexe

Les paramètres réels des équipements de simulation :

L'alternateur :

Tension nominal : 13,8 (kV)
Puissance nominal : 220 (MW)
Fréquence nominal : 50 (HZ)

La turbine à vapeur :

Fréquence : 50 (HZ)
Nombre de tours par minute : 3000 (tr/min)

Transformateur élévateur :

Tension primaire : 13,8 (kV)
Tension secondaire : 235 (kV)

Source de tension :

Tension nominal : 235 (kV)
Fréquence : 50 (HZ)

1^{er} charge :

Représente les auxiliaires du central :
Tension nominal : 13,8 (kV)
Puissance active : 8 (MW)
Puissance réactive: 4 (MVAR)

2eme charge :

Représente une charge dans le réseau :
Tension nominal : 235 (kV)
Puissance active : 168 (MW)
Puissance réactive: 30 (MVAR)

Les paramètres du bloc du régulateur flou :

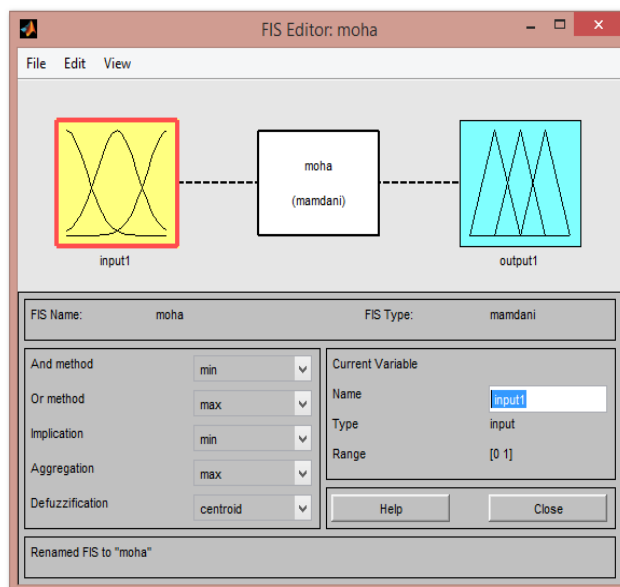


Figure (1) : La fonction de la logique floue

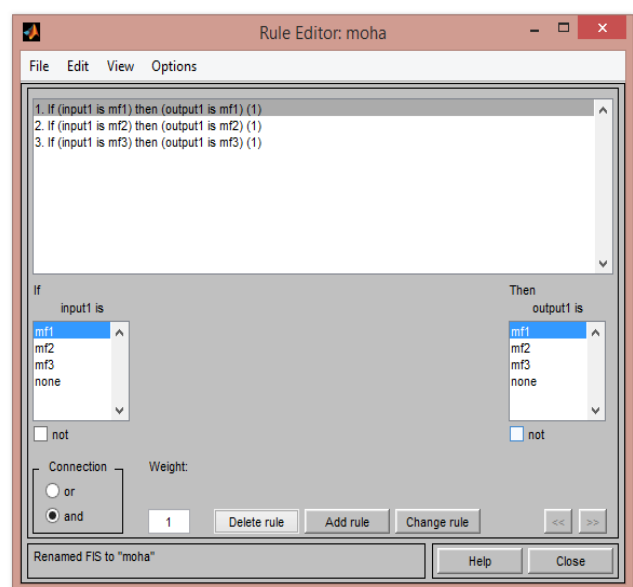


Figure (2) : Les règles de la logique floue

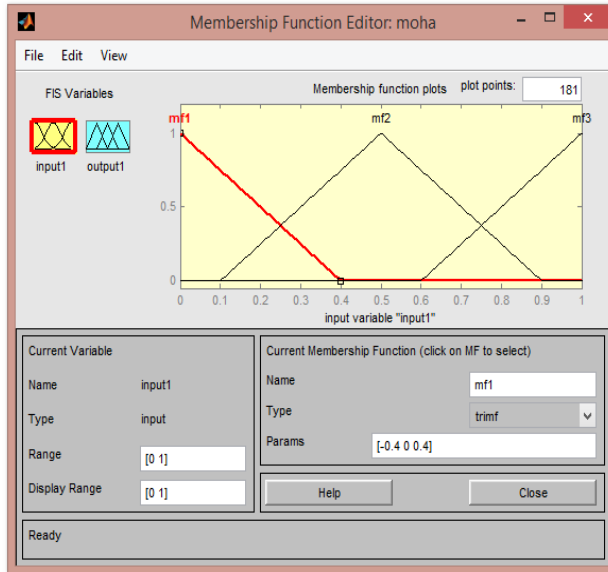


Figure (3) : Les entrés de la logique floue

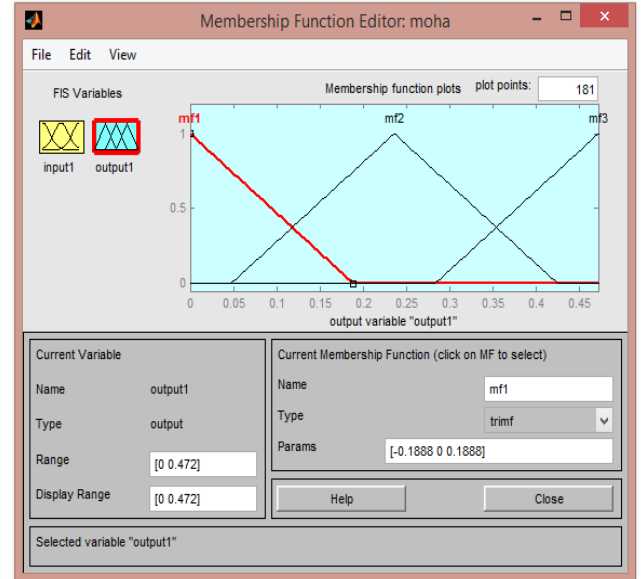


Figure (4) : Les sorties de la logique floue

Bibliographie

- [1] : formation sur les centrales thermiques, (document interne de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj).
- [2] : Rapport Centrale, (document interne de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj).
- [3] : Documentation ALSTOM, guide de fonctionnement et de maintenance Marsat système d'excitation, référence N° 0 6 1 2 A 4 0 N 1 0 , (document interne de la centrale thermique de Marsat El Hadjadj).
- [4] : Théodore Wildi avec la collaboration de Gilbert Sybille « Electrotechnique » 3^{eme} édition.
- [5] : Max Marty, Daniel Dixneuf, Delphine Garcia Gilabert « Principe d'électrotechnique »
- [6] : Baouali Bilal et Chibane Amir, « Etude du Système de Régulation Automatique de la Tension AVR+PSS des Alternateurs de Grande Puissance, Application : Alternateur 176 MW de la Centrale de Cap-Djinet », mémoire fin d'étude.
- [7] : Zebalah Rebiha, « Synthèse des stabilisateurs de puissance (PSS) en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle » mémoire fin d'étude.
- [8] : Marcel Moustier, « Etude et réalisation de l'excitation statique d'un groupe synchrone Moteur-Alternateur », mémoire fin d'étude.
- [9]: Abdel Ghani Aissaoui, Hamza Abid, Mohamed Abid , Ahmed TAHOUR, « Commande Par La Logique Floue Et Mode Glissant D'une Machine Synchrone Autopiloté »
- [10]: Mr. Omveer Singh, Shiny Agarwal, Shivi Singh, Zuyyina Khan, « Automatic Voltage Control for Power System Stability Using Pid And Fuzzy Logic Controller »
- [11] : A Ayad, H Hamdaoui, A Semmah, Y Ramdani, Fatima Maghfour « Utilisation d'un PSS basé sur la logique floue pour l'amélioration de la stabilité transitoire d'un réseau infini »
- [12]: P. M. Anderson, A. A. Fouad, « Power System Control and Stability », John Wiley and Sons, 2003.