



Université SAAD DAHLAB de Blida1
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Projet fin d' étude
Pour l'obtention du diplôme master
en électrotechnique
Option : Machines électriques

Etude et modélisation d'un groupe turbo- alternateur de la centrale électrique de BOUFARIK

Présenté par :

- Bennacer Hind
- Lebad Sarah

Encadré par :

- DR.KOUCHIH. djilali

Plan de travail

Introduction générale

Description de groupe turbo-alternateur

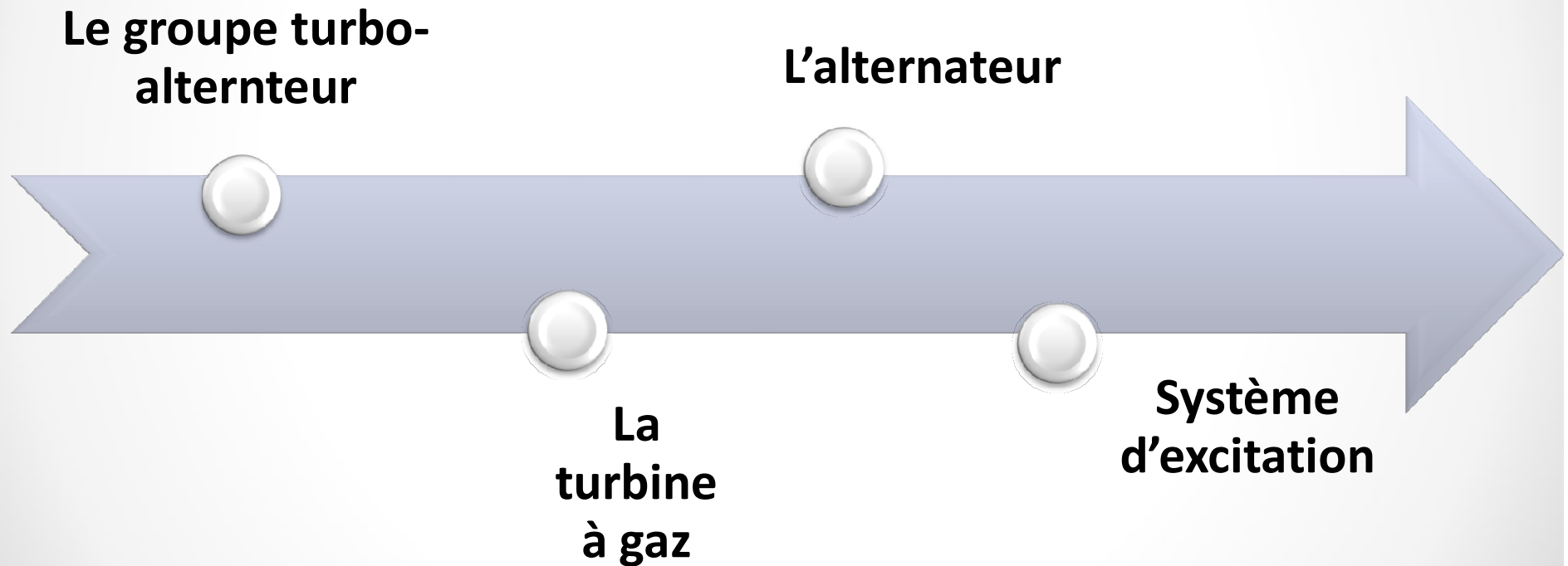
La modélisation de groupe

Régulation tension, vitesse

Test et simulation

Conclusion

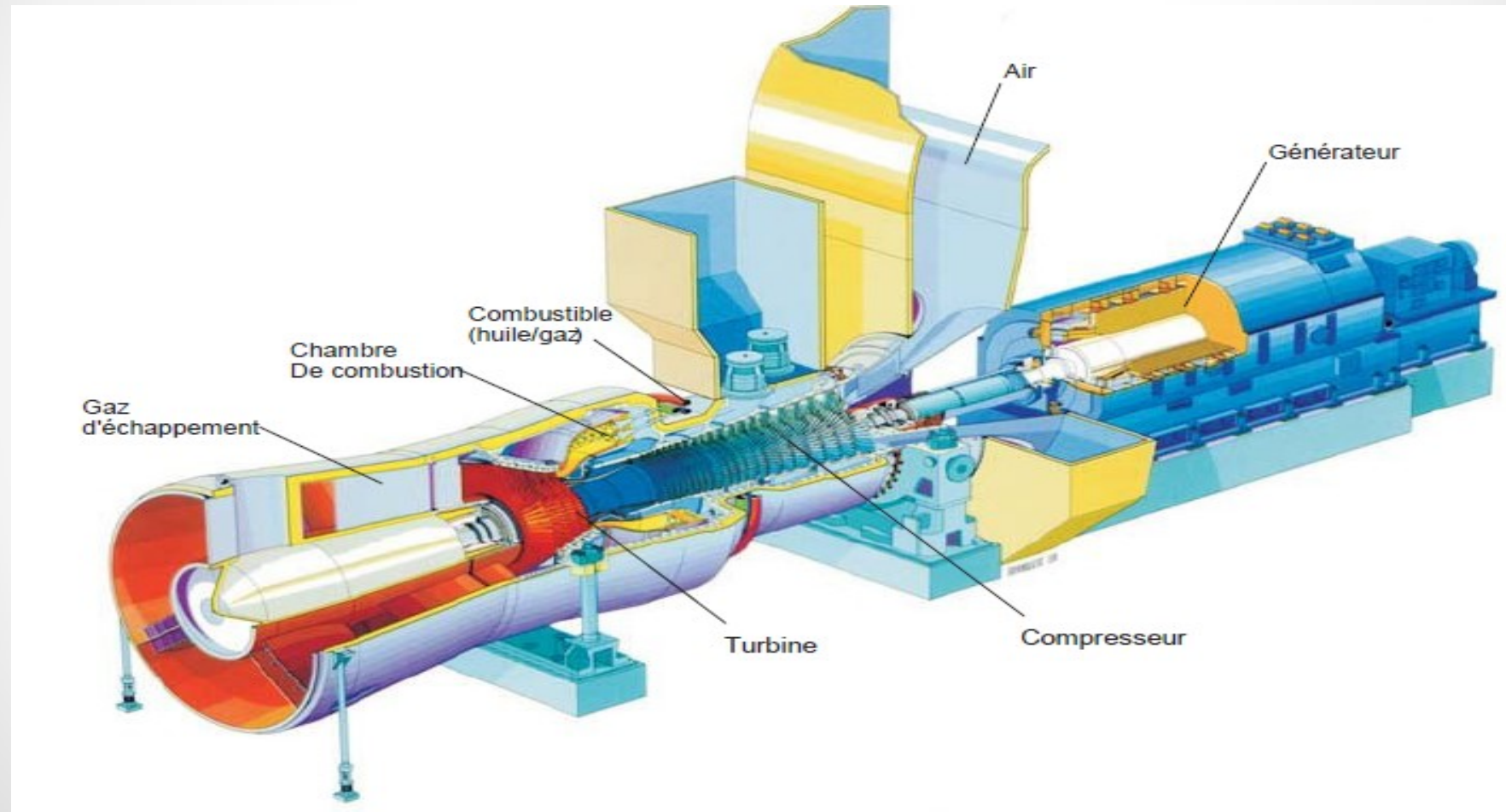
introduction



introduction

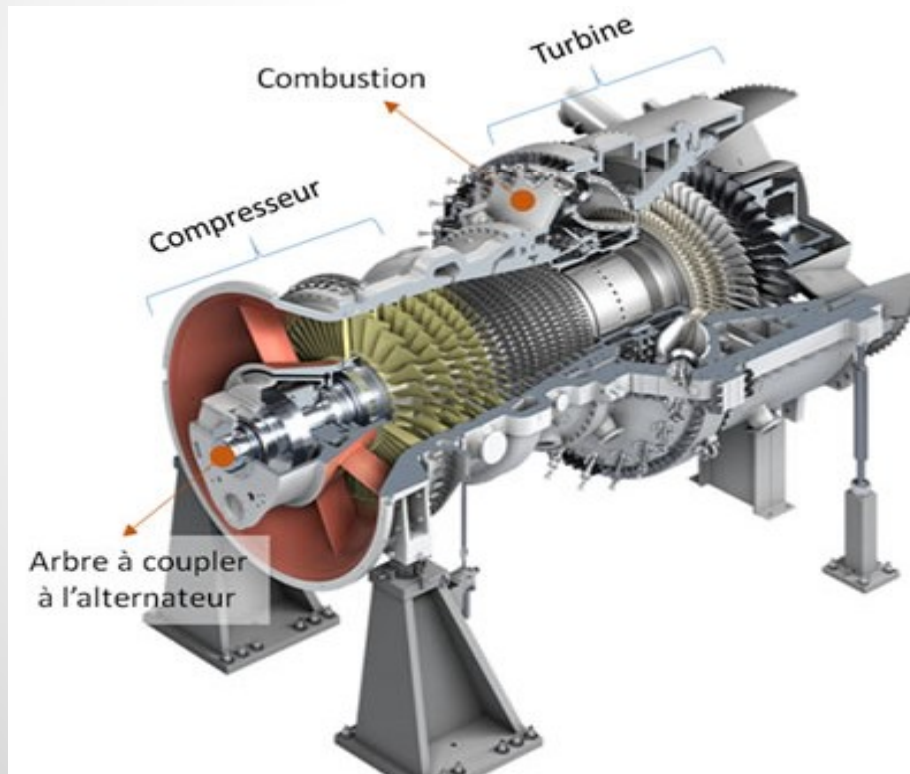
L'électricité est un élément essentiel dans la vie humaine elle est indispensable dans tous les domaines, L'obtention de cette énergie est par la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique par le groupe turbo-alternateur qu'ils sont des alternateurs entraînées par des turbine à gaz

Le groupe turbo-alternateur

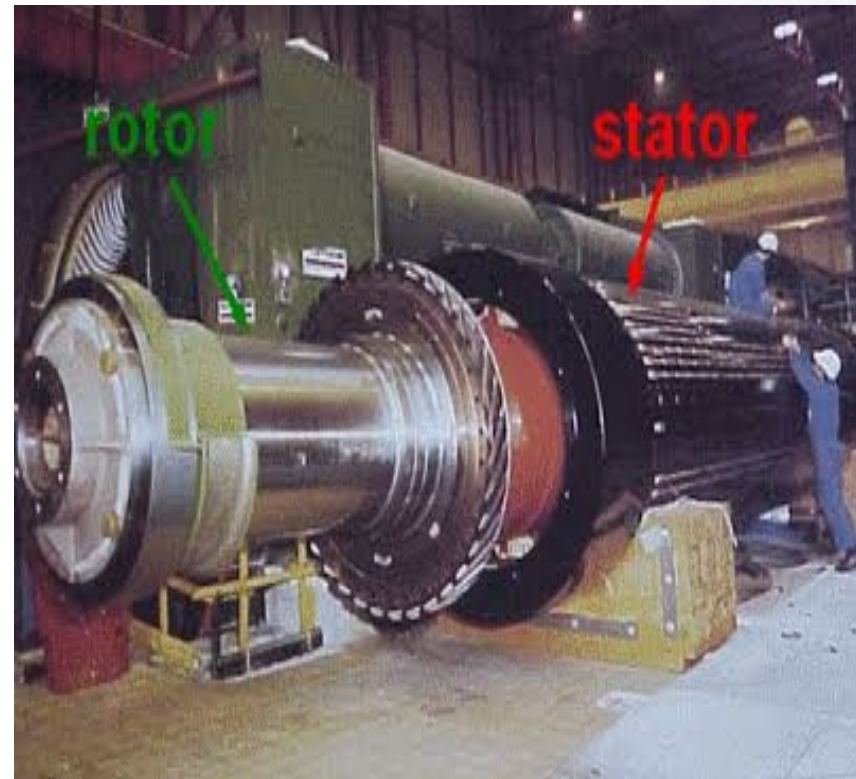


Turbo-alternateur

- Turbine à gaz



- L'alternateur

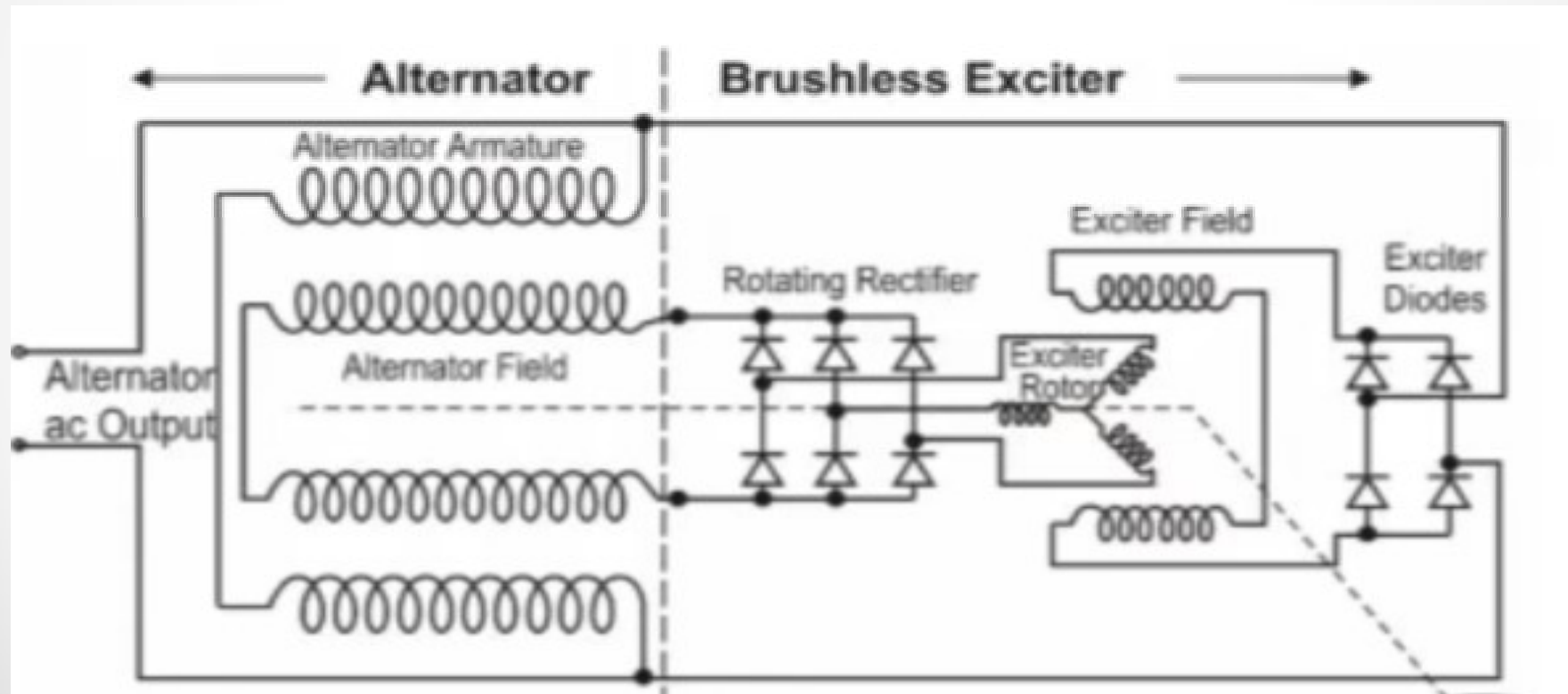


Comment ça marche

- Le moteur de lancement est embrayé avec la turbine qu'il l'entraînera
- Auparavant vers 20% de la vitesse nominale le combustible est injecté et enflammé.
- la turbine devient autonome
- La turbine continue la montrée en vitesse jusqu'à la fin du séquence de démarrage.
- Couplage avec le réseau

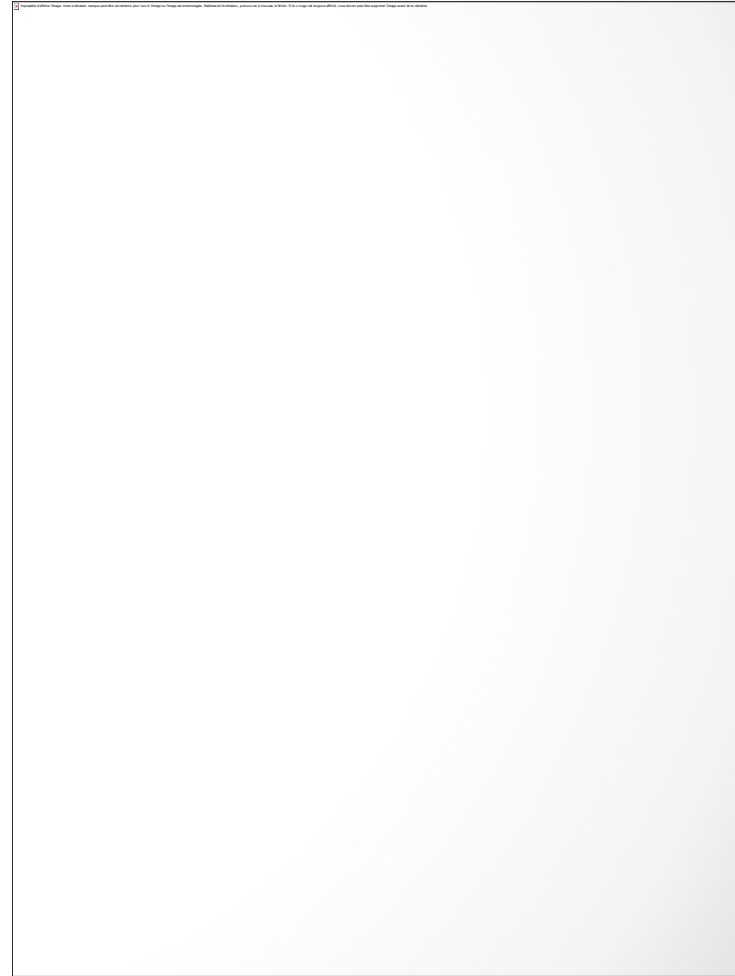
Excitation

L'excitation de l'alternateur est réalisée par un système à diodes tournantes au bout de l'excitatrice principale et une excitatrice auxiliaire solidaire à l'arbre de l'alternateur principal.

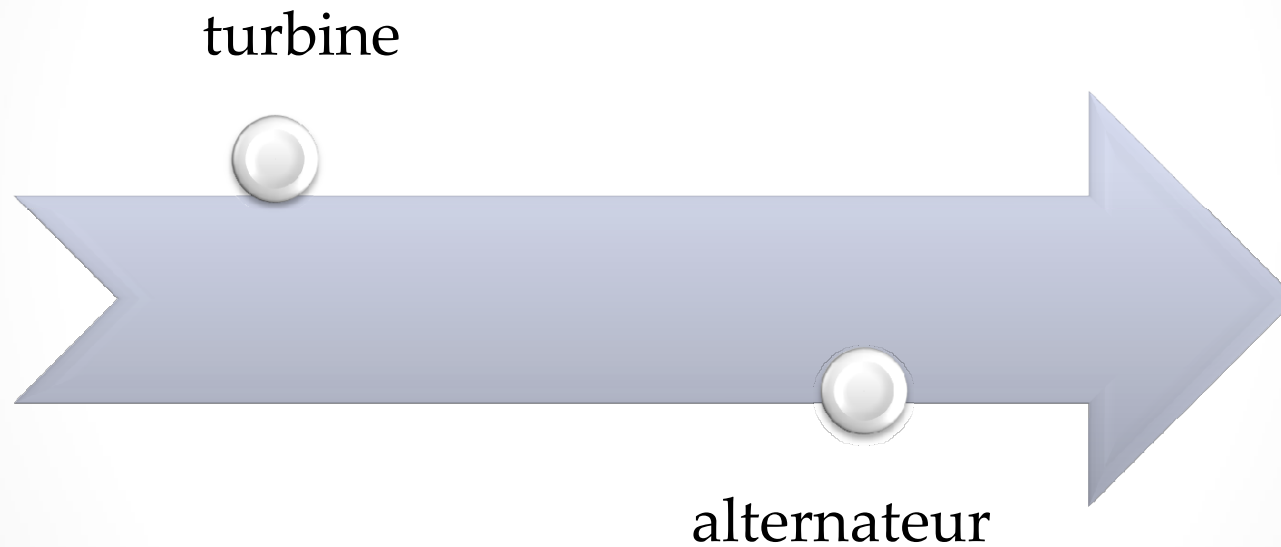


L'armoire MARK VI

- **système basé sur la logique câblé**
- ✓ **La Protection en cas de fonctionnement dangereux.**
- ✓ **régulation du débit de combustible et d'air**

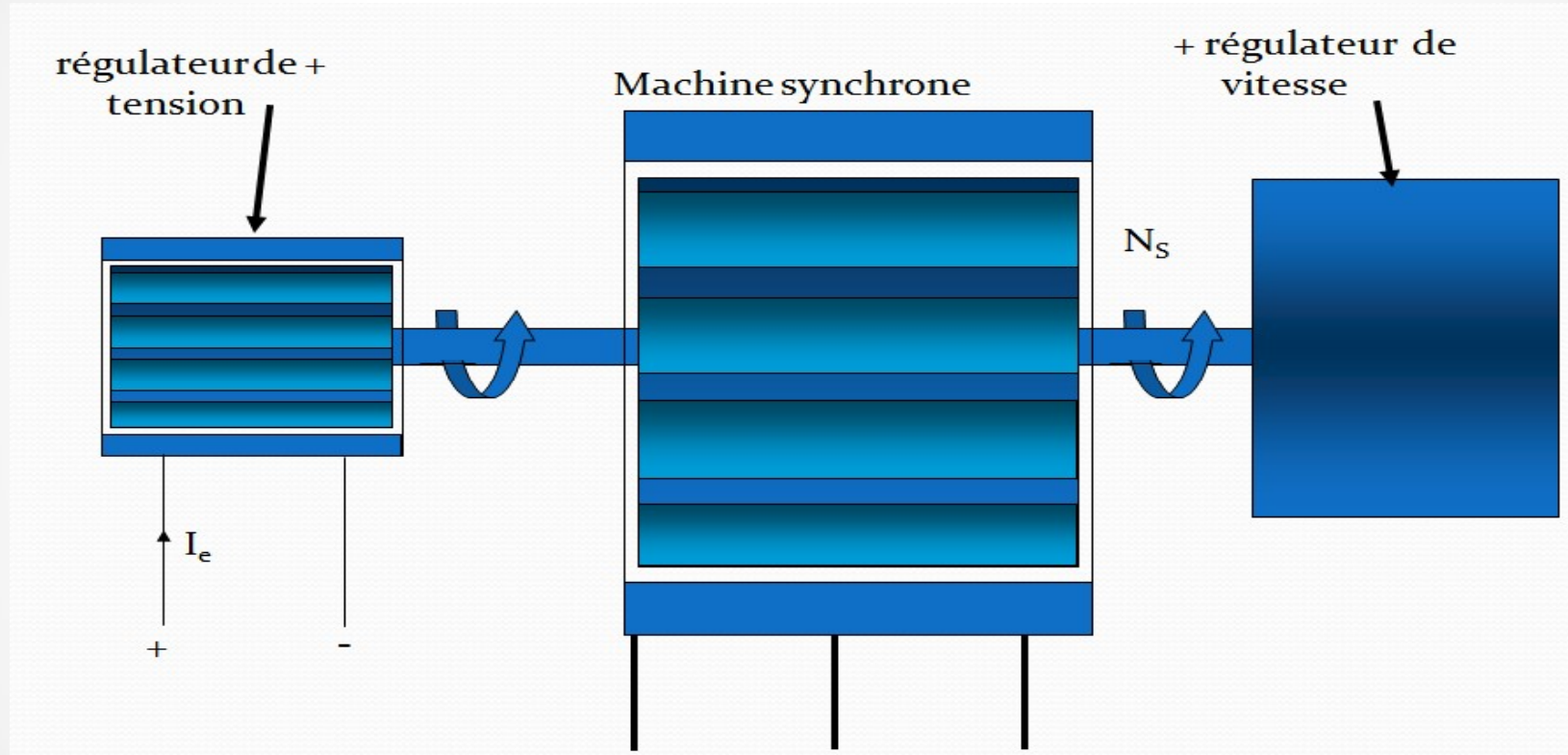


Modélisation d'un turbo-alternateur



$$\begin{pmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \\ \Phi_f \\ \Phi_D \\ \Phi_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{af} & M_{aD} & M_{aQ} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} & M_{bf} & M_{bD} & M_{bQ} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c & M_{cf} & M_{cD} & M_{cQ} \\ M_{af} & M_{bf} & M_{cf} & L_f & M_{fD} & M_{fQ} \\ M_{aD} & M_{bD} & M_{cD} & M_{fD} & L_D & M_{DQ} \\ M_{aQ} & M_{bQ} & M_{cQ} & M_{fQ} & M_{DQ} & L_Q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_f \\ I_D \\ I_Q \end{pmatrix}$$

Régulation tension, vitesse

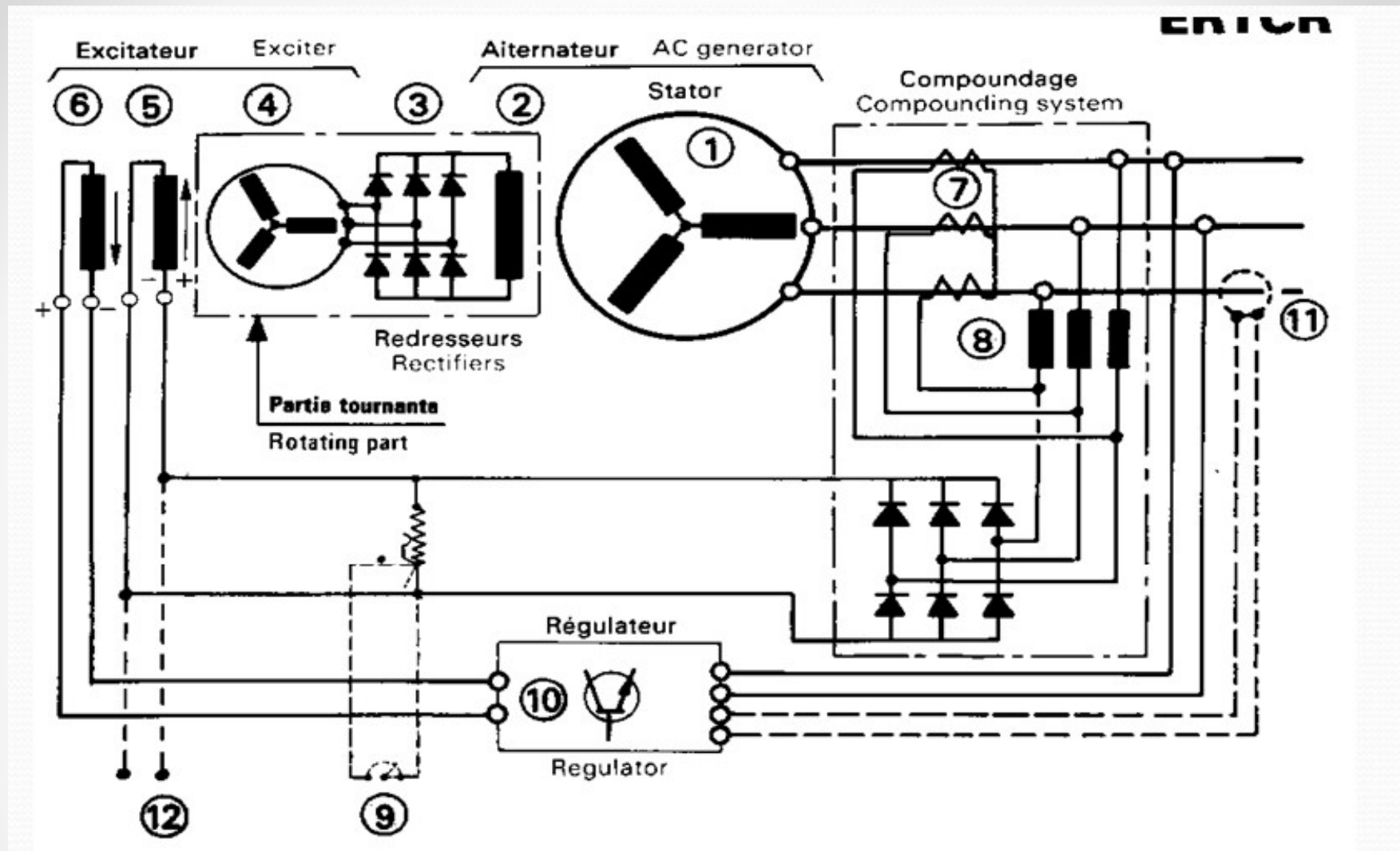


Régulation turbo-alternateur

■ **Systeme de régulation tension**

Un régulateur de tension, est un organe électrotechnique ou un composant électronique qui maintient à sa sortie, dans certaines limites, une tension constante, indépendamment de la charge et de la tension d'entrée,

La sortie de l'AVR dépend uniquement de la tension terminale. Il agit sur l'excitatrice du générateur afin de maintenir la tension terminale constante



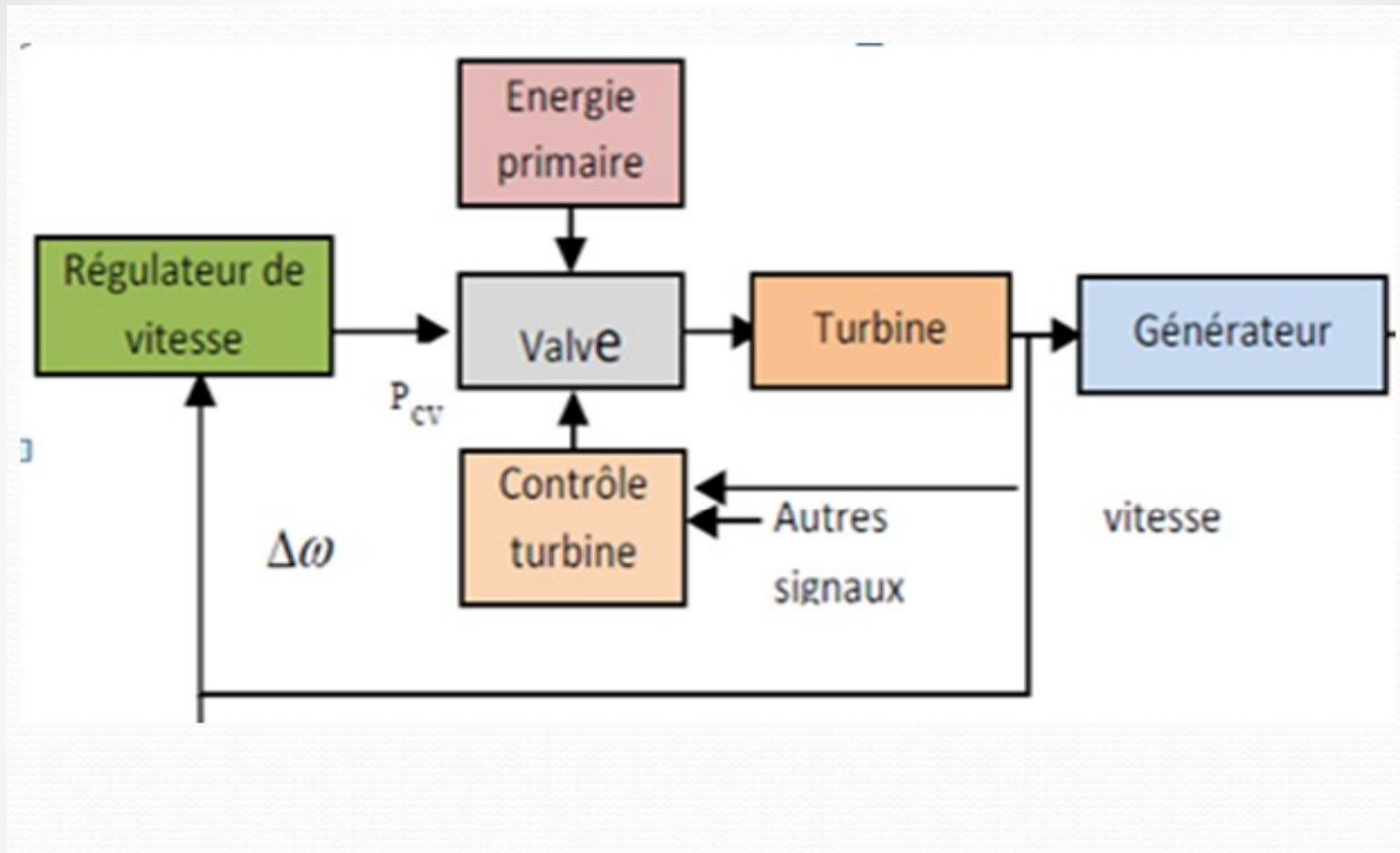
Systeme régulation de tension

■ Système de régulation de vitesse

Lorsque l'alternateur est couplé à un réseau, le seul paramètre de régulation est la vitesse du moteur d'entraînement qui agit sur le niveau de puissance.

Le PID agit sur la position du vannage de la turbine en fonction de la Variation de la vitesse par rapport à sa valeur nominale.

Le régulateur doit maintenir le turbo-alternateur avec une vitesse constante donc, quand la demande de puissance du réseau augmentera, on doit augmenter l'ouverture des vannes gaz.



Systeme régulation de vitesse

Test et simulation

Ce travail consiste à :

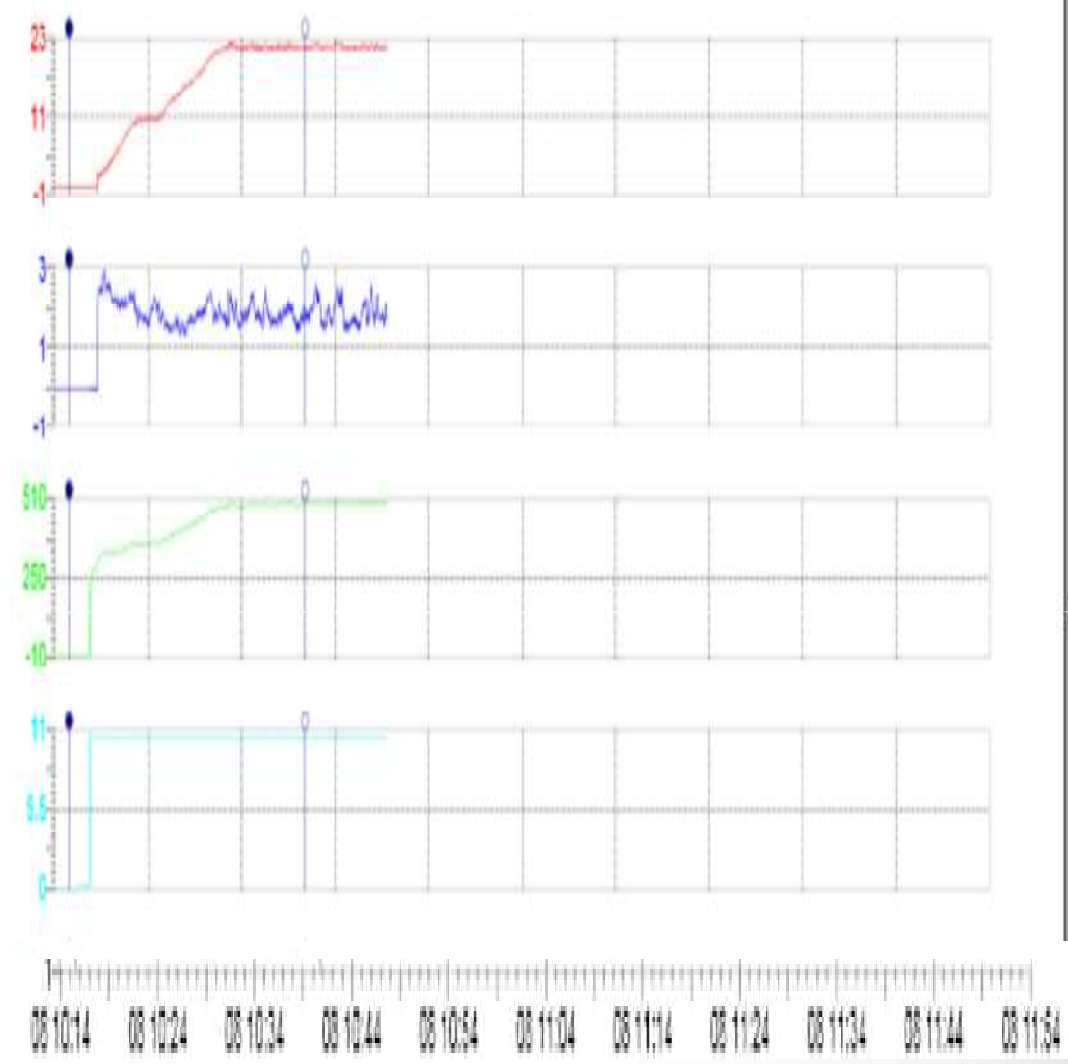
- modéliser et à simuler le fonctionnement d'une turbine raccordée au réseau et à confronter les résultats de la simulation au comportement de la machine réelle.
- traité l'essai et la simulation d'une machine synchrone rotor lisse, excitation « brushless » à puissance 32MVA couplé au réseau dans le cas sain (sans défauts d'excitation) ,

— PUISSANCE ACTIVE [MW]

— PUISSANCE REACTIVE [VAR]

— COURANT D'EXCITATION [A]

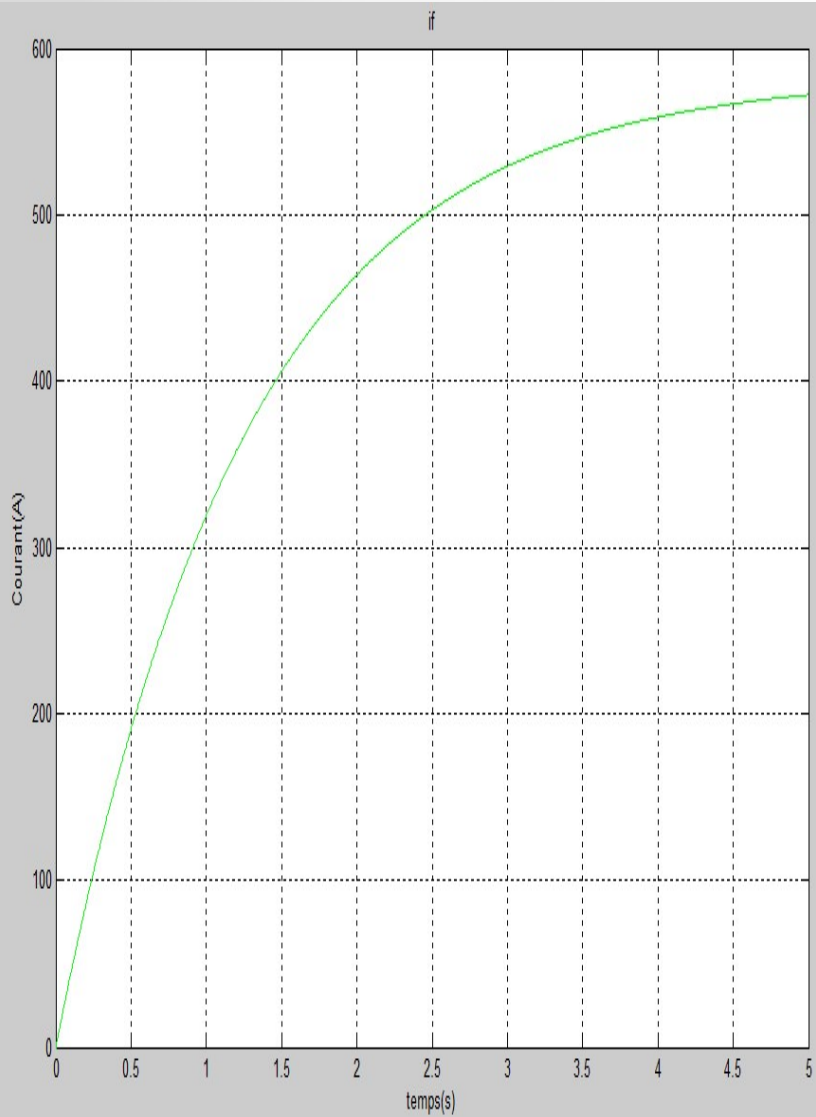
— TENSION GENERATEUR [V]



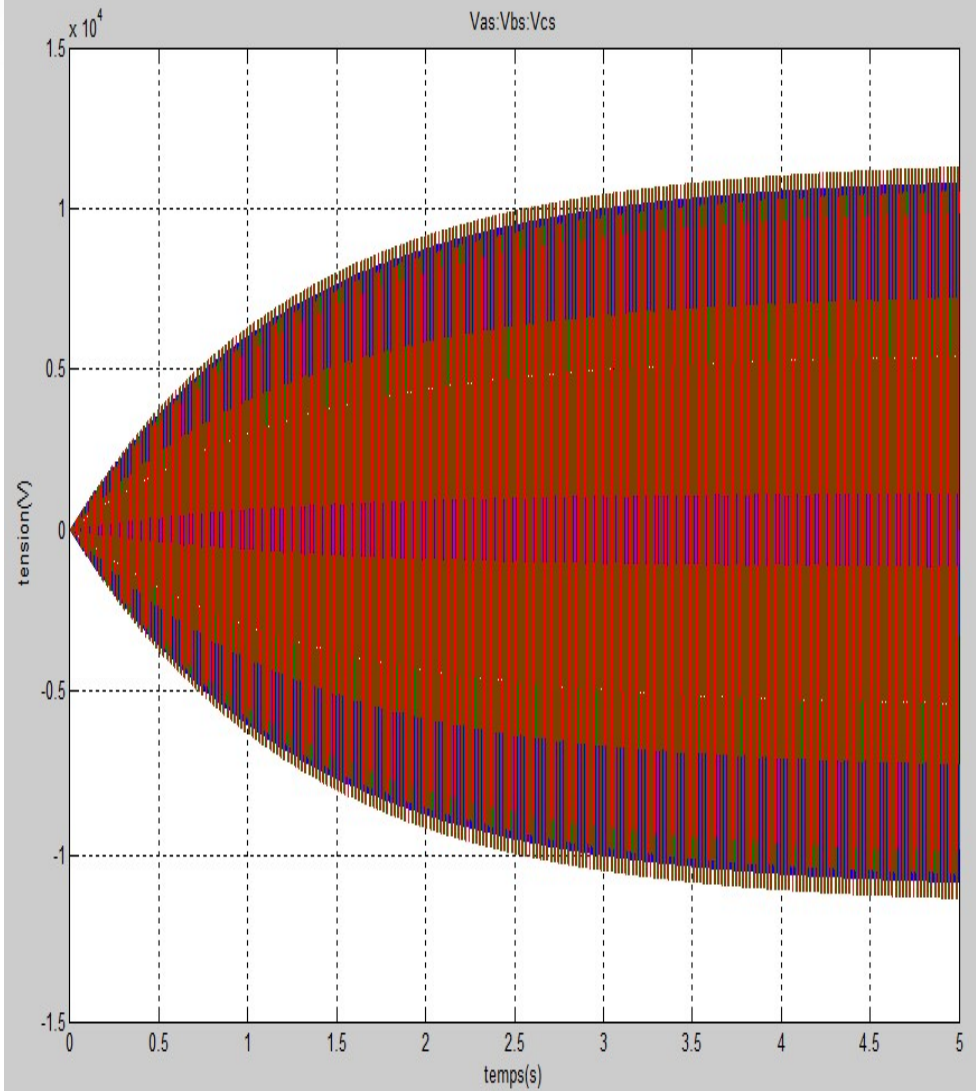
Les paramètres essentiels de sortie alternateur

En fonctionnement a vide

- En marche à vide, le courant statorique d'un alternateur est nul.
- L'intensité du courant d'excitation I_f alimentent le circuit de rotor depuis une source extérieure à courant continu peut être réglée dans les limites de zéro à une certaine valeur maximale
- Cela permet de faire varier le flux magnétique inducteur dans la large limite



Courant d'excitation (fonctionnement a vide)



Tension statorique (fonctionnement a vide)

En marche a vide la variation de tension est liée a la variation de courant d'excitation selon la formule le LENZ :

$$E = - d\Phi/dt$$

$$\Phi = d \cdot B \cdot S$$

$$S = L \cdot dx$$

Donc : $\Phi = B \cdot L \cdot dx$

Et $E = -d\Phi/dt = -B \cdot L \cdot (dx/dt)$

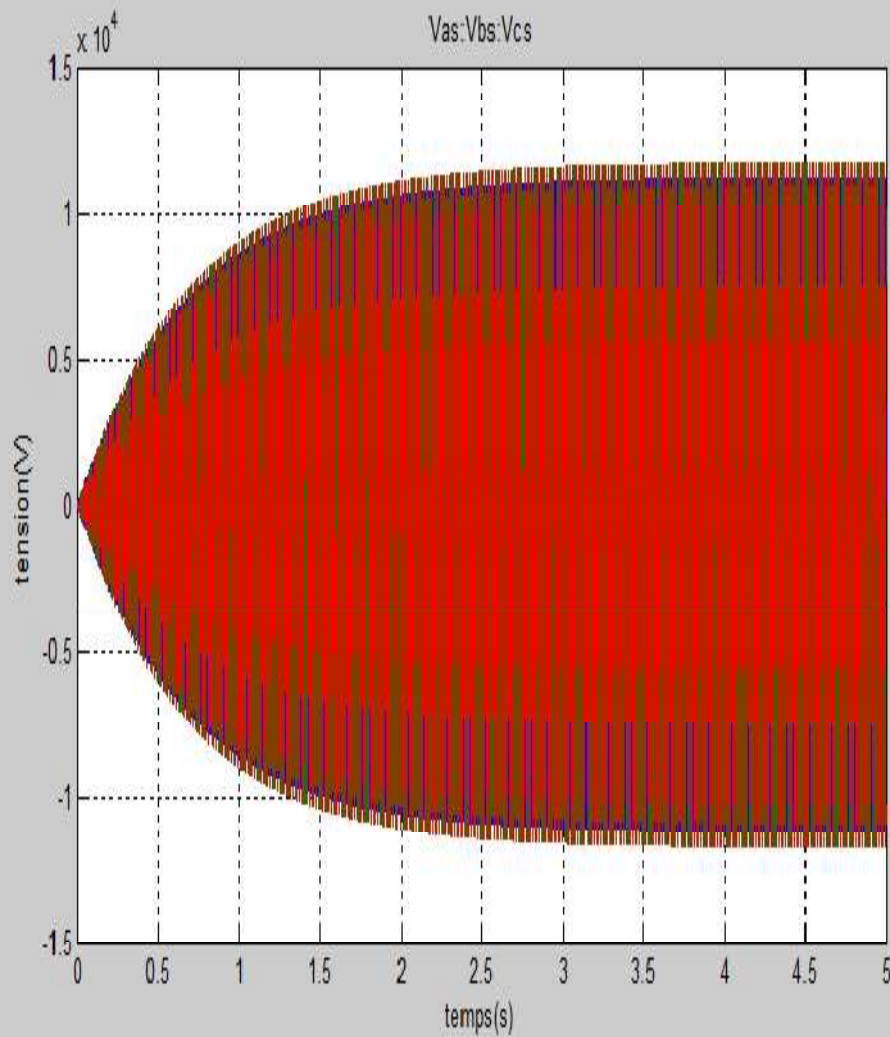
$$E = B \cdot L \cdot V$$

Et $E = n \cdot \Phi \cdot If$

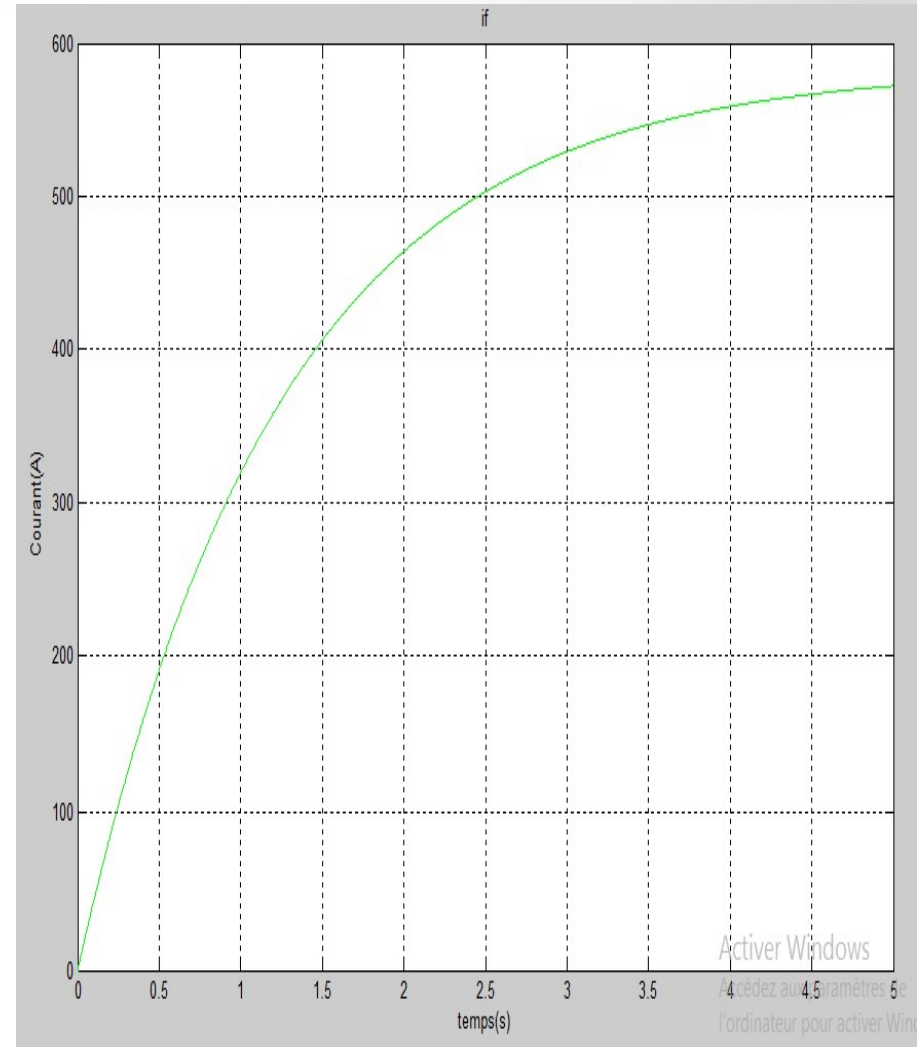
Cela implique que le courant d'excitation a une relation avec la tension ,

Le fonctionnement en charge

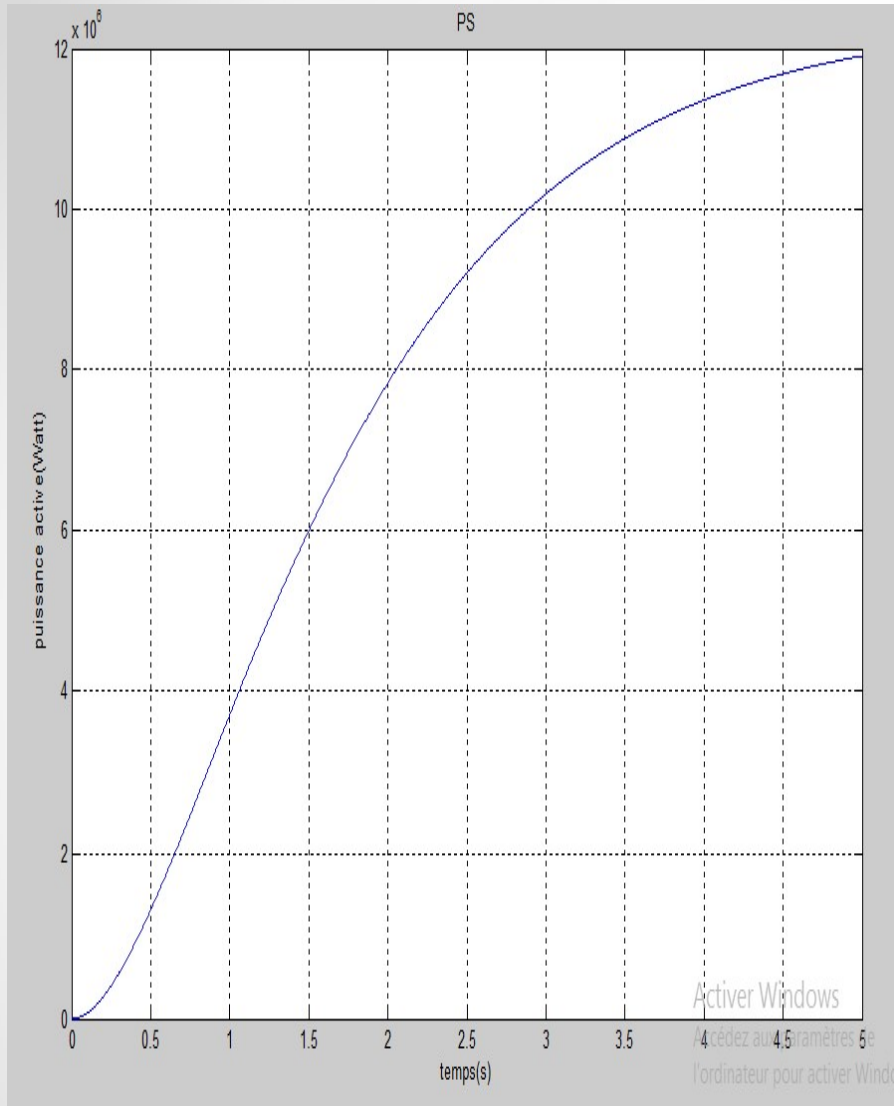
- le stator d'une machine fournira au réseau auquel il est raccordé une énergie électrique lorsqu'on fournit au rotor un couple mécanique,



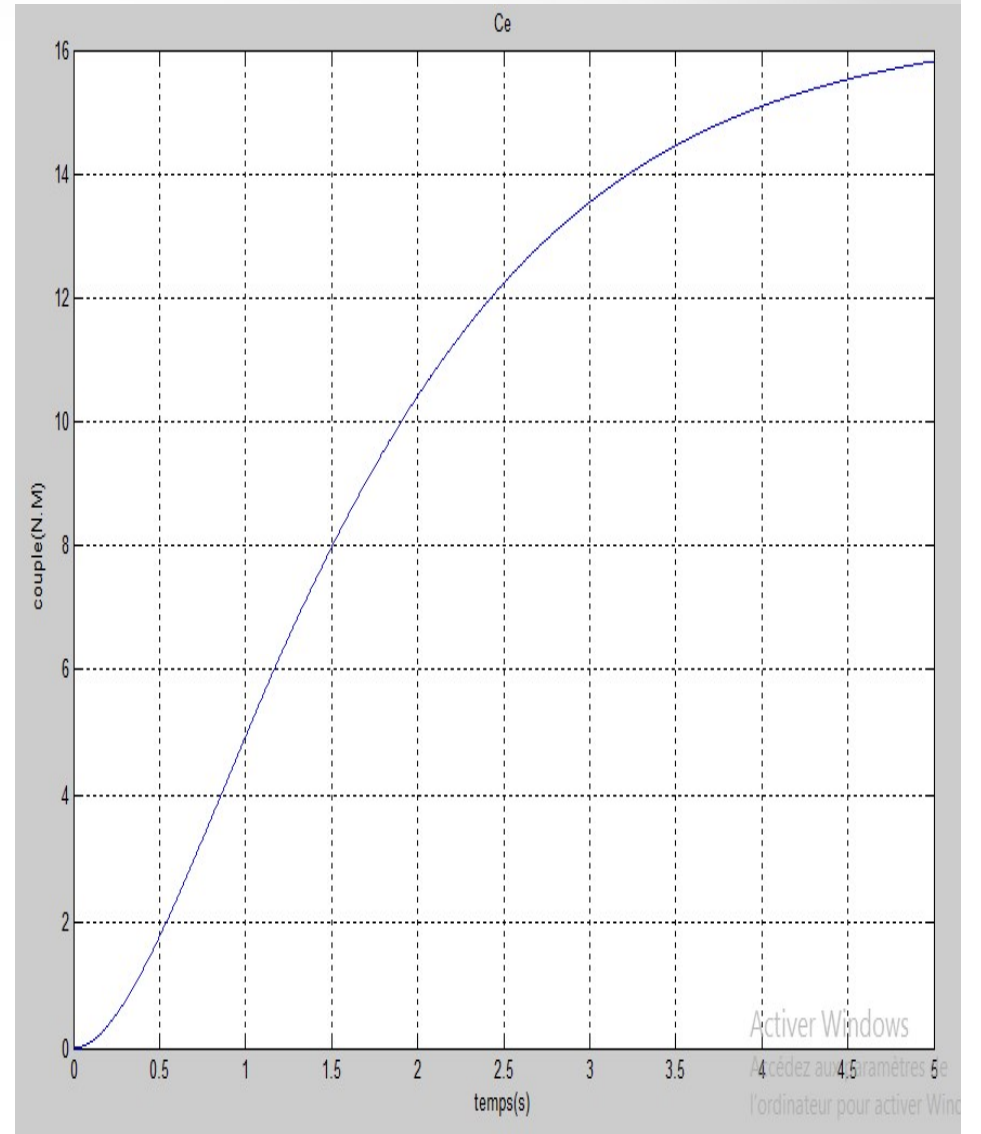
La tension générateur



le courant d'excitation 575A



la puissance active 20.5 MW



Couple de l'alternateur

On a su que le couple mécanique se transforme en puissance électrique lorsque la fréquence est constante donc la vitesse est constante selon l'équation mécanique :

$$d\theta/dt = C_{tu} - C_{ém} - S_v * \omega$$

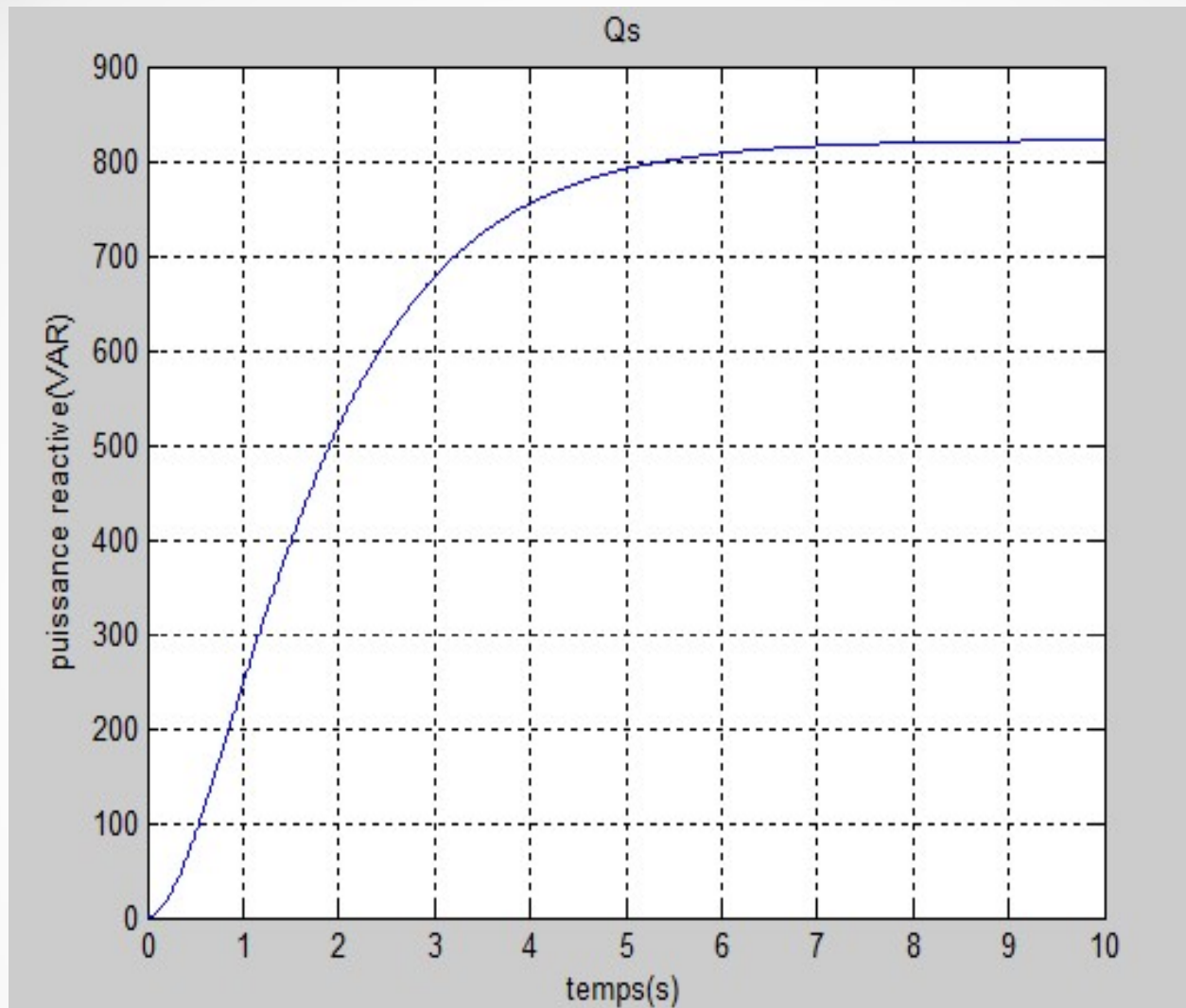
et $C_{ém} = P / \Omega$

On a constaté que la puissance est liée au couple turbine et la turbine liée au débit de gaz

- pour augmenté la puissance active on doit augmenté le couple mécanique ,

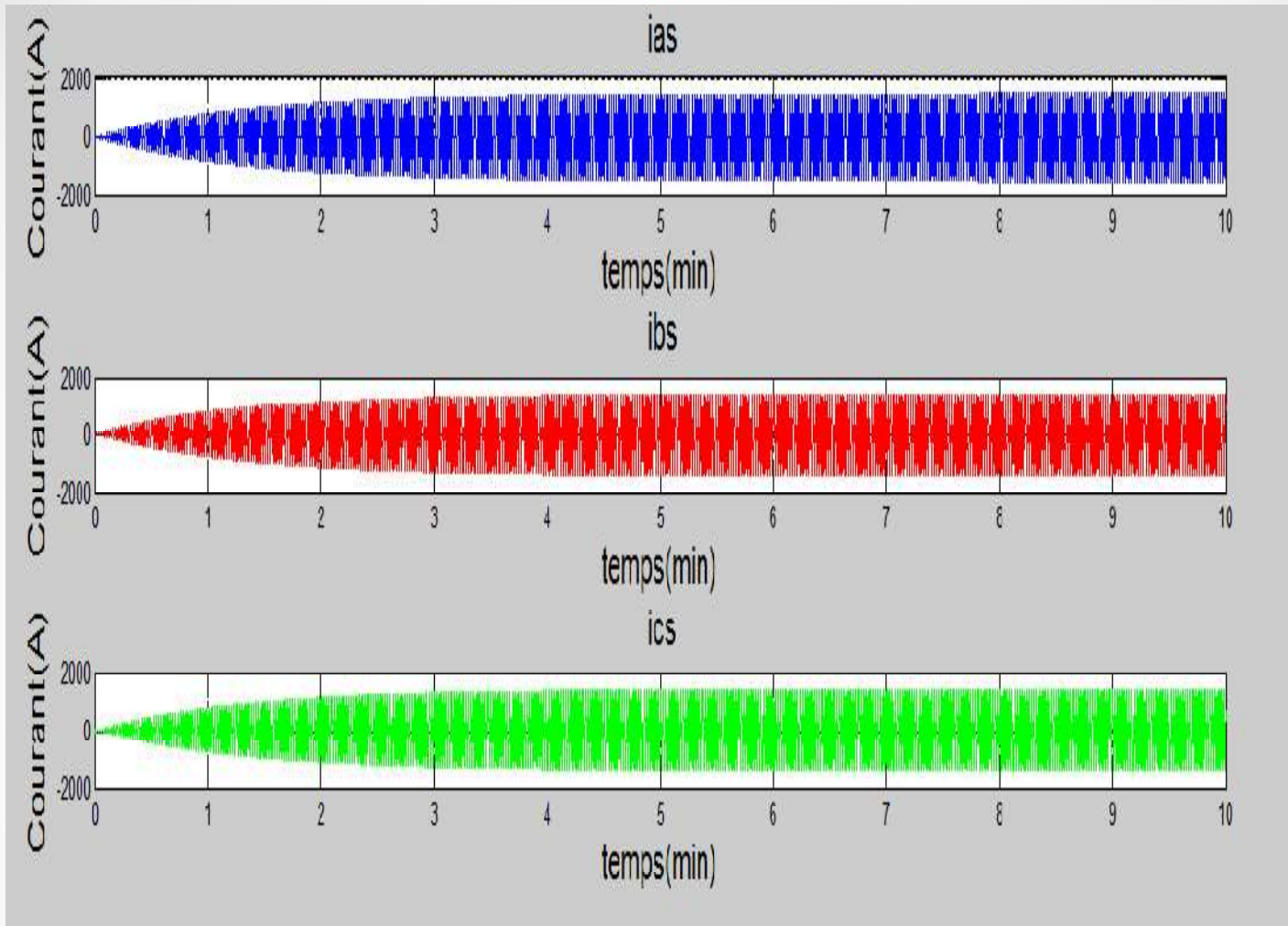
Puisque la vitesse est constante donc la fréquence est stable car on est liée dans le réseau

$$C_e = P / \Omega$$

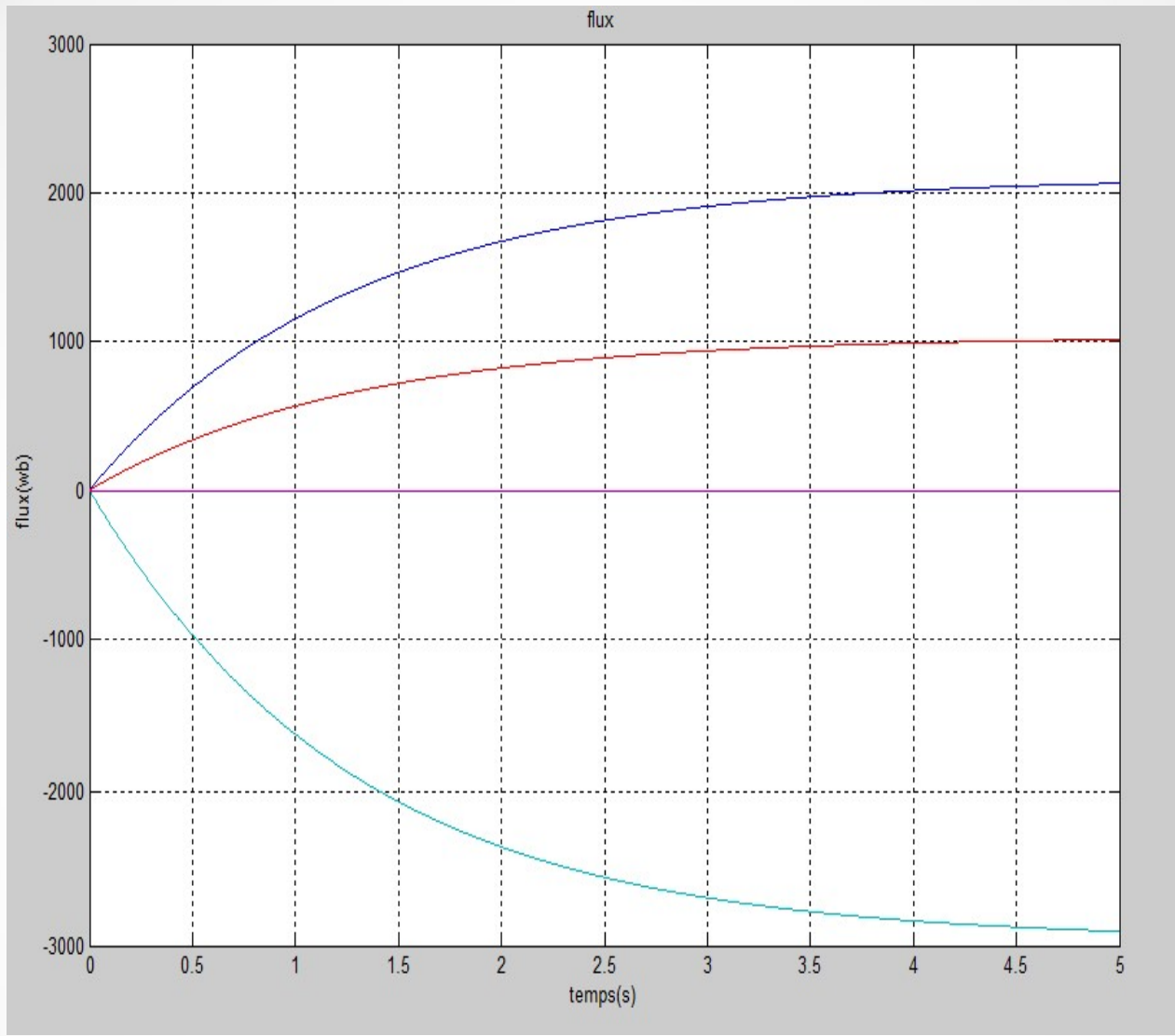


la puissance réactive 840 VAR

- Le contrôle de la puissance réactive liée à la tension, alors si on veut régler le réactif on doit réagir sur l'excitation,
- Puisque on augmente le courant d'excitation il se transforme sous forme de puissance réactive



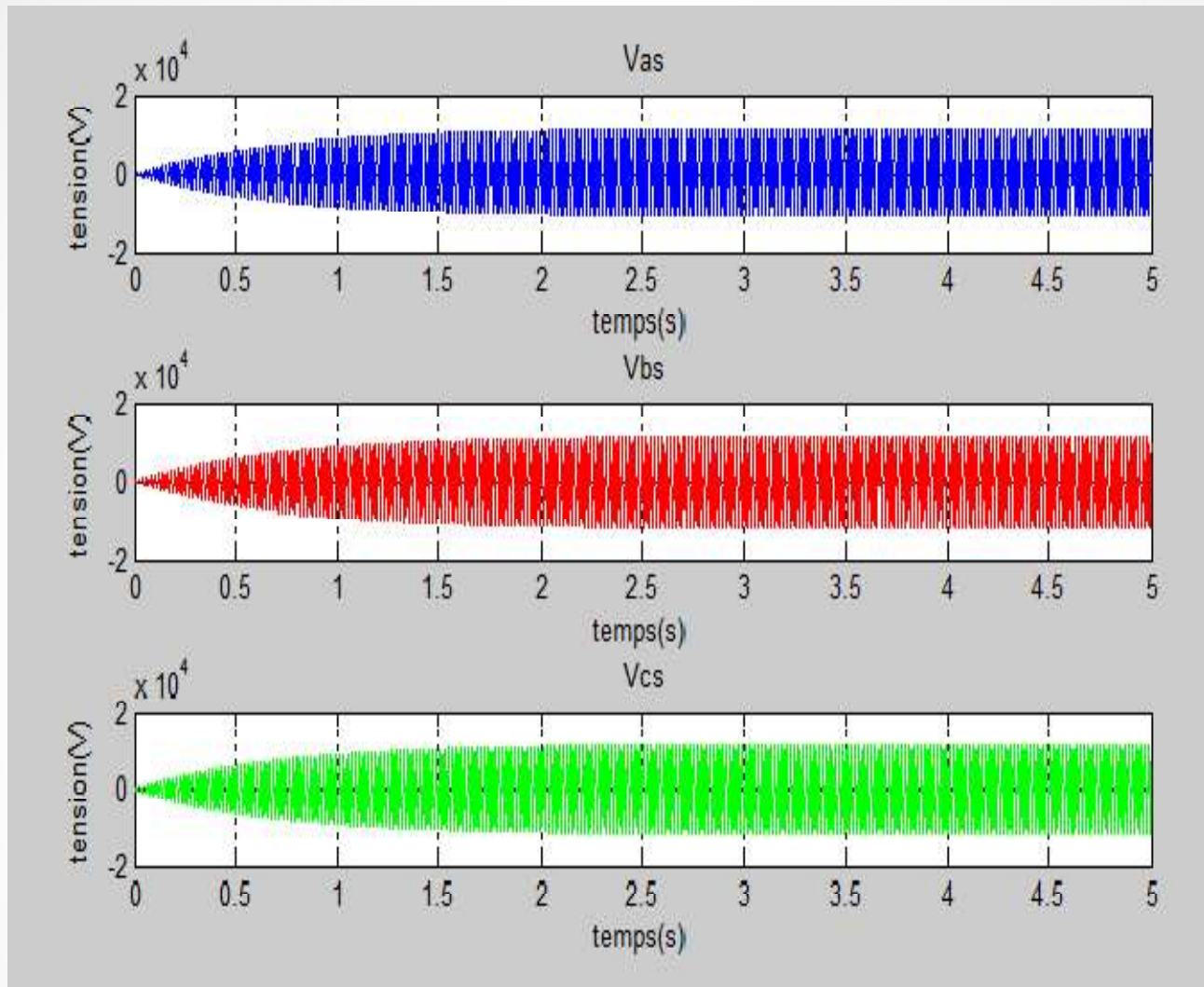
Le courant final de sortie générateur de entre phases ,



Le flux magnétique.

Sachant que chaque conducteur parcourue par un courant

engendre un flux magnétique ,(FARADAY)



Tension de sortie dans les trois phases

Conclusion

- Pour assurer le bon fonctionnement et garantir un coût optimal du kilowattheure (kWh) du système production-transport, il est nécessaire de contrôler les grandeurs mécaniques et électriques du groupe turbo – alternateur,
- Le système d'excitation opère un rôle très important dans un alternateur, entre assurance de la protection des éléments du générateur et amélioration des performances dynamiques de l'ensemble. Notre travail a visé cet important élément, traitant alors sa modélisation, et l'optimisation de leurs paramètres de régulation.

- Les alternateurs sont équipés de régulateurs de tension qui agissent sur les excitations des alternateurs pour maintenir la tension constante,
- Les résultats de simulation de turboalternateur à vide montrent que la vitesse est stabilisée à une valeur constante avec la stabilisation de courant d'excitation, et les tensions sont parfaitement sinusoïdales dans le régime permanent
- les résultats de simulation de turboalternateur en charge illustrent que la vitesse mécanique augmente avec l'augmentation du couple moteur et la même chose pour les tensions et les courants, c'est-à-dire, la puissance électrique est de fonction directe avec la puissance mécanique.
- Dans les travaux futurs, il est aussi important d'étudier et évaluer la sûreté de fonctionnement du turboalternateur,

***Fin de la
présentation***



***Merci pour
votre attention***

25/35

Remerciements

*Tout d'abord nous remercions dieu tout puissant qui
Nous a gardés en bonne santé afin de faire ce modeste travail.*

*Tous nos vif remerciements vont pour notre promoteur
Mr: D.KOUCHIH pour sa disponibilité, sa patience, sa critique
instructive et pour toute l'aide et les conseils qu'ils nous ont
prodigués pour l'achèvement de ce mémoire de master et les
enseignants de notre département qui ont énormément
contribué à notre formation.*

*Nous n'oublions pas notre parrain **Mr: M.HOCINE** grâce à ses
efforts, ses observations avisés, son soutien et ses
encouragements tout au long du stage de fin d'études.*

*Nous exprimons notre gratitude à tous personnel de l'entreprise
SPE de BOUFARIK rencontrés lors de stage.*

*Nous remercions d'avance, les membres de jury pour l'intérêt
qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de
l'enrichir par leurs propositions.*

ملخص:

تمثل الطاقة الكهربائية حوالي ثلث الطاقة المستهلكة في العالم، والمولد التوربيني هو قلب إنتاج هذه الكهرباء. هي مولدات تعمل بسرعة دوران عالية بواسطة توربين غازي. سوف يقومون بتحويل الطاقة الميكانيكية لمائع (غاز) إلى حركة، ثم إلى كهرباء. الهدف من هذا العمل ومعرفة العناصر المكونة لمجموعة المولد التوربيني و مبدأ التشغيل ودراسة و نمذجة هذه المجموعة

كلمات المفاتيح المولد التوربيني ، المثير ، المنظم ، الآلة غير المتزامنة

Résumé :

L'énergie électrique représente environ un tiers de l'énergie consommée dans le monde, Le turbo-alternateur est le cœur de la production de cette électrique. Ils des alternateurs entraînés à grande vitesse de rotation par une turbine à gaz. Ils vont transformer la puissance mécanique d'un fluide (gaz) en mouvement, puis en électricité. L'objectif de ce travail est de connaître les éléments constitutifs d'un groupe turbo-alternateur, leur principe de fonctionnement et l'étude et la modélisation de ce groupe.

Mots clés :

turbo-alternateur, excitatrice, régulateur, machine asynchrone.

Abstract :

Electric energy represents about a third of the energy consumed in the world. The turbo-alternator is the heart of the production of this electric. They are alternators drive with high rotational speed by a gas turbine. They will transform the mechanical power of a fluid (gas) into motion, then into electricity. The objective of this work is to know the constituent elements of a turbo-alternator group, their operating principle and the study and modeling of this group.

Keywords:

Turbo-alternator, exciter, regulator, asynchronous machine.

Dédicace

Je dédie humblement ce modeste travail :

*À ceux qui m'ont fierté, de donné la vie, symbole de
beauté, de sagesse et de patience.*

*À ceux qui sont la source de mon inspiration et de
Mon courage, auquel je dois de l'amour et de la
reconnaissance.*

*Les plus merveilleux **parents** qui m'ont tant encouragé.*

*À mes très chères sœurs : **Amel, karima** ainsi que leurs
époux.*

À mes chers petits neveux : Alicia, Malik, Sarah et Anes.

*À tous la famille **LEBAD et DJAFFEL***

*À ma très chère binôme **Hind.***

*À tous mes amis **Abdou,***

Amina, Rahil, Asma, Selma, Shaima, Ihcen , et Ryma .

*À toi **Islem** pour tes conseils et orientations.*

À toute la promotion de Machine électrique 2019.

Lebad sarah

Dédicace

Je dédie humblement ce modeste travail :

*À mes très chers **parents** qui m'ont été un soutien pendant mes années d'études et qui m'ont entouré pour que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*À ma chère sœur **Rym** et son **époux**.*

*À mes adorables nièces **Norsine** et **Toline**.*

*À mes frères **Ahcen** et **Ramy***

*À ma tante **Hizia**, mon oncle **wahid** qui m'ont toujours encouragé.*

*À ma très chère binôme **Sarah***

*À tous mes amis **Ryma**, **Ihcen**, **Selma**, **Chaima**,*

*À toi **Hamdi** pour tes conseils et orientations*

À toute la promotion de Machine électrique 2019.

Bennacer Hind

Listes des acronymes et abréviations

SPE : société de la production de l'électricité.

MW: mégawatts.

KW: kilowatts.

TAG: turbine à gaz.

Tr/mn : tour par minute.

MVA: méga volte ampère.

F.e.m: force électromotrice.

Kf : coefficient de forme.

Kb : coefficient de bobinage.

f : fréquence en hertz.

P : nombre de paires de pôles du rotor.

n : vitesse en tours seconde.

N : nombre de conducteurs.

Φ : flux sous un pôle (weber).

K : coefficient de Kapp de la machine synchrone.

If : courant d'excitation.

V:la tension.

I : le courant.

Vs : Vecteur tension de phases statoriques.

Vr : Vecteur tension de phases rotoriques.

Is : Vecteur courant de phases statoriques.

I_r : Vecteur courant de phases rotoriques.

R_s : Resistances statorique.

R_r : Resistances rotorique.

Φ_s : Vecteur des flux totaux traversant les bobines statoriques.

Φ_r : Vecteur des flux totaux traversant les bobines rotoriques.

L_{ss} : inductance mutuelle statorique.

L_{rr} : inductance mutuelle rotorique.

L_a, L_b, L_c : les inductances propres statoriques.

$M_{ab}, M_{ba}, M_{ac}, M_{ca}$: les mutuelles entre phases statoriques.

M_{sr} : Le mutuel stator rotor

θ : la position du rotor.

C_{em} : le couple électromagnétique.

C_p : le coefficient de puissance thermique.

T_a : température ambiante du compresseur.

T_c : la température en sortie du compresseur.

T_{cc} : la température en sortie de la chambre de combustion.

\dot{M}_f : Le débit de masse de gaz.

$\dot{M}_o(t)$: le débit de masse d'air.

C_p : le coefficient de puissance thermique.

P_{thc} : La puissance thermique générée dans le compresseur.

P_{mc} : la puissance mécanique du compresseur.

P_{mt} : la puissance mécanique de la turbine.

τ : Constante de temps de.

F: le coefficient de frottement visqueux.

P : La puissance active.

Q : La puissance réactive.

J: Le moment d'inertie.

ΩT : La vitesse de la turbine.

VS: tension de sortie de génératrice

VSD: tension d'excitation.

Kp : Le gain proportionnel.

PID : Proportionnel intégral et dérivé.

AVR : Automatic voltage regulator (régulateur automatique de tension).

E : F.e.m. Transitoire de la machine synchrone.

GS : Génératrice synchrone.

Q : La puissance réactive (VAR).

V_{abc} : Les tensions des phases statoriques.

S: La puissance apparent (VA).

P : La puissance active (W).

Ω : La vitesse (rad/s).

V : La tension.

$\cos(\phi)$: Le facteur de puissance.

Kd : Le temps dérivatif.

Ki : la correction Intégrale.

Ei : la tension intérieure.

Table des matières

Introduction générale..... (1)

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Introduction	(3)
1.2 Présentation de la société SONALGAZ	(3)
1.3 Présentation de la centrale Boufarik	(4)
1.4 Conception générale de la turbine à gaz.....	(5)
1.4.1 Principe de fonctionnement	(6)
1.5 L'alternateur	(7)
1.5.1 Principe de fonctionnement	(9)
1.6 Le groupe turbo-alternateur.....	(9)
1.6.1 Principe de fonctionnement d'un groupe turboalternateur de la centrale de Boufarik.....	(10)
1.6.1.1 Système de démarrage	(12)
1.6.1.2 Fonctionnement du convertisseur de couple	(13)
1.6.1.3 Le système de virage	(13)
1.6.1.4 Réducteur auxiliaire	(14)
<i>a Le système de protection de survitesse</i>	<i>(14)</i>
<i>b La pompe principale d'huile de graissage</i>	<i>(15)</i>
<i>c L'Embrayage</i>	<i>(15)</i>
1.6.1.5 Compresseur	(15)

1.6.1.6	Système de combustion	(16)
	<i>a</i> Chambre de combustion.....	(17)
	<i>b</i> L'injecteur	(17)
	<i>c</i> La bougie d'allumage.....	(18)
	<i>d</i> Le détecteur de flamme	(18)
1.6.1.7	La turbine MS5001 PA	(18)
	<i>a</i> Rotor	(19)
	<i>b</i> Stator	(19)
	<i>c</i> caractéristique de la turbine a gaz MS5001 PA.....	(20)
1.6.1.8	Réducteur de charge	(21)
1.6.1.9	Alternateur AEG-KANIS.....	(21)
	<i>a</i> Rotor	(22)
	<i>b</i> Stator.....	(22)
	<i>c</i> Caractéristiques d'alternateur AEG-KANIS.....	(23)
1.6.1.10	Excitatrice	(23)
	<i>a</i> Excitatrice pilote.....	(24)
	<i>b</i> Excitatrice principale.....	(24)
1.7	Le système de commande SPEEDTRONIC TM Mark VI.....	(25)
1.7.1	Fonction de commande de Speed Tronic	(26)
1.8	Conclusion.....	(27)

Chapitre 2 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

2.1 Introduction.....	(28)
2.2 Analyse de fonctionnement d'un alternateur	(28)
2.2.1 Fonctionnement à vide.....	(28)
2.2.1.1 Expression de la f.e.m.	(28)
2.2.1.2 Caractéristique à vide	(29)
2.2.2 Alternateur couplé avec le réseau (en charge).....	(31)
2.2.2.1 Conséquences d'un mauvais couplage.....	(31)
<i>a Le non-respect de l'égalité des fréquences.....</i>	<i>(31)</i>
<i>b Le non-respect de l'égalité des tensions.....</i>	<i>(32)</i>
<i>c Le non-respect de la concordance des phases.....</i>	<i>(32)</i>
2.2.2.2 Diagramme de Behn-Eschenburg:.....	(32)
2.2.2.3 Diagramme de fonctionnement.....	(33)
2.3 Modélisation de la turbine à gaz MS5001 PA.....	(34)
2.4 Modèle alternateur	(37)
2.4.1 Le modèle simplifié.....	(37)
2.4.2 Les équations électriques et magnétiques	(38)
2.4.3 Transformation de Park.....	(40)
2.4 Conclusion.....	(44)

Chapitre 3 : Simulation et Régulation d'un groupe turbo- alternateur

3.1 Introduction.....	(45)
3.2 Schémas blocs simplifiés	(45)
3.2.1 Régulation et stabilisation de la tension d'excitation	(45)
3.2.2 Régulation de la tension de sortie de la génératrice synchrone.....	(47)
3.2.3 Régulation de la vitesse	(50)
3.3 Rôle et action du régulateur.....	(52)
3.4 Test et simulation à l'aide d'un programme sous MATLAB.....	(53)
3.4.1 Fonctionnement sans défaut d'excitation	(53)
3.4.1.1 Le fonctionnement à vide.....	(55)
3.4.1.2 Le fonctionnement en charge	(57)
3.5 Conclusion	(65)
Conclusion générale	(66)

Listes des figures

Chapitre 01

Figure 1.1. Logo SONELGAZ.....	(4)
Figure 1.2. Photo réel de la centrale de Boufarik.....	(5)
Figure 1.3. Les éléments de la turbine à gaz.....	(6)
Figure 1.4. Principe de fonctionnement	(7)
Figure 1.5. Alternateur triphasé.....	(8)
Figure 1.6. Le groupe turboalternateur.....	(10)
Figure 1.7. schéma des équipements d'un turboalternateur.....	(11)
Figure 1.8. Moteur de lancement.....	(12)
Figure 1.9. convertisseur de couple.....	(13)
Figure 1.10. clutch-vireur.....	(14)
Figure 1.11. Corps compresseur.....	(16)
Figure 1.12. System de combustion.....	(16)
Figure 1.13. Chambre de combustion.....	(17)
Figure 1.14. Turbine à gaz –MS5001 PA- mono-arbre.....	(18)
Figure 1.15. Le rotor de la turbine à gaz –MS5001 PA.....	(19)
Figure 1.16. Le stator de la turbine à gaz –MS5001 PA.....	(20)
Figure 1.17. Réducteur de charge.....	(21)
Figure 1.18. Flasqu d'alternateur.....	(22)
Figure 1.19. Excitatrice.....	(24)

Figure 1.20. Système d'excitation Brushless.....	(25)
Figure 1.21. L'armoire de protection.....	(26)
Figure 1.22. L'armoire MARK VI	(26)

Chapitre 02

Figure2.1. Caractéristique d'un alternateur à vide.....	(29)
Figure2.2. caractéristique à vide d'un alternateur MARK VI.....	(30)
Figure 2.3. Schéma de couplage d'un alternateur à un réseau.....	(31)
Figure 2.4. Diagramme Behn-Eschenburg d'un alternateur fonctionne en charge.....	(33)
Figure 2.5. Diagramme de fonctionnement en charge de l'alternateur AEG-KANIS.....	(34)
Figure 2.6. Machine synchrone triphasé, amortisseurs assimilés à deux enroulements en court-circuit, à 90° l'un de l'autre.....	(38)
Figure 2.7. Interprétation de la transformation de Park pour une machine synchrone.....	(40)

Chapitre 03

Figure3.1. Régulation et stabilisation de la tension d'excitation.....	(46)
Figure3.2 : Tension sortie excitatrice.....	(47)
Figure3.3. Régulation de la tension génératrice V_s	(48)
Figure 3.4. Tension finale de la sortie génératrice V_s	(49)
Figure 3.5. Tension d'excitation correspondante VFD.....	(49)
Figure3.6. Schéma bloc régulation de la vitesse.....	(50)
Figure 3.7. Régulation de vitesse.....	(51)
Figure3.8. Régulation du système d'excitation du redresseur rotatif avec stabilisateur de puissance.....	(52)

Figure3.9. Diagramme de capability générateur.....	(54)
Figure 3.10. Les paramètres essentiels de sortie alternateur, avant le couplage au réseau et après le couplage, durée de trente-cinq (s).....	(54)
Figure 3.11. Tension statorique à vide.....	(56)
Figure 3.12. Courant d'excitation à vide.....	(56)
Figure 3.14. Tensions statorique.....	(57)
Figure3.15. Couple de l'alternateur.....	(58)
Figure 3.16. Puissance active.....	(58)
Figure 3.17. Puissance réactive.....	(60)
Figure 3.18. Courants de sortie générateur de chaque phase.....	(61)
Figure 3.19. Le flux magnétique.....	(62)
Figure 3.20. Tension de sortie dans les trois phases.....	(63)

Introduction générale

L'électricité est un élément essentiel dans la vie humaine, elle est indispensable dans tous les domaines, que ce soit domestique, industriel ou agricole. L'obtention de cette énergie est par la transformation d'énergie mécanique engendrée par une turbine à gaz, une turbine à vapeur dans les centrales thermique .cette énergie mécanique présente la grandeur de sortie de la turbine et la grandeur d'entrée de l'alternateur et le couplage entre turbine et alternateur s'appelle turbo-alternateur.

Actuellement, la plus grande partie de l'énergie électrique dans le monde est générée par les turbo-alternateurs, ces derniers sont constitués par une turbine et un alternateur qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique.

L'utilisation de la turbine à gaz de grande puissance est entraînée l'alternateur pour le but de générer l'électricité. Dans les centrales thermiques, le gaz est brulé dans les chambres de combustion en présence d'air comprimé pour produire des gaz chauds. Ces gaz chauds sous pression, entraînent la turbine à une vitesse de 3000tr/min. L'énergie mécanique qui fournit par la turbine est transformée en énergie électrique par l'alternateur.

Notre objectif dans ce présent travail se résume à la modélisation et simulation d'un ensemble turbine-alternateur, en identifiant leurs fonctionnements et leurs comportements. Notre mémoire est structuré en trois chapitres:

Dans le premier, on fera une présentation de la société SONELGAZ et la centrale de Boufarik, on donnant une description détaillé de l'un des quatre groupes de production et le rôle de chaque bloque, le système de commande et contrôle MARK IV, et le système d'excitation.

Le deuxième chapitre offre une étude théorique de l'alternateur et une modélisation simplifié de l'ensemble turboalternateur.

Dans le troisième chapitre nous allons parler de régulateur automatique de tension AVR qui permet de contrôler la tension d'excitation, et Le régulateur PID de la tension terminale AVR qui permet de contrôler la tension d'excitation, on fait un bilan de l'étude et

Introduction générale

montre les similitudes entre les essais et les simulations, ces différents tests et résultats d'application qui valide notre travail, nous verrons aussi les divergences entre les résultats et les simulations les paramètres essentielles du générateur à grande puissance couplé au réseau électrique.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale et une étude bibliographique.

1.1 Introduction

L'alternateur est une machine synchrone à courant alternatif qui est utilisé dans l'industrie tel que dans la production d'énergie électrique dans les centrales (hydraulique, thermique, nucléaire ...), groupes électrogène automobile, la marine, ...etc, il est la source primaire de toute l'énergie électrique de consommation. Cette machine constitue les plus gros convertisseurs d'énergie au monde.

L'alternateur converti l'énergie mécanique fournie au rotor en énergie électrique à courant alternatif, Le rotor de l'alternateur est entraîné en rotation par la turbine qui assure l'énergie mécanique, ce dernier fournit des tensions alternatives de fréquence proportionnelle à leur vitesse de rotation [10].

Ce chapitre est consacré à la présentation du groupe turbo-alternateur de la centrale électrique de BOUFARIK. Nous commençons par sa construction, le principe de fonctionnement ainsi que le système de contrôle **MarkVI** [19].

1.2 Présentation de la société SONALGAZ

La société nationale de l'électricité et du gaz «**SONELGAZ** » est la société la plus importante dans la fourniture de l'énergie électrique et gazière en Algérie. Cette société a subi plusieurs changements au fil des années, elle est passée d'une société qui avait le monopole de la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz à une société par action (**SPA**) sous forme de holding d'entreprises.

Elle est composée de trois grandes filiales:

- **SPE:** Société de production de l'électricité.
- **GRTE:** gestionnaire du réseau de transport de l'électricité.
- **SDx :** sociétés de distributions de l'électricité et du gaz.

La **SONELGAZ** a pour mission:

- La gestion des filiales.
- élaboration et la mise en œuvre de la stratégie financière.
- élaboration de la stratégie et le pilotage du groupe.
- La définition de la politique de rémunération et du développement de la Ressource Humaine du Groupe [01].



Figure 1.1. Logo SONEGAS.

1.3 Présentation de la centrale Boufarik

La centrale électrique de Boufarik se situe à 37 Km au sud d'Alger et à 2 Km du centre-ville de Boufarik, sa réalisation a commencé en 1974 et elle est entrée en production en 1978 pour répondre aux besoins de l'Algérie en énergie électrique. La centrale se compose de quatre turboalternateurs d'une puissance unitaire de 24,250 MW soit au total une puissance d'environ 100 MW. L'énergie produite par la centrale est débitée au poste de Boufarik qui est chargé du transport et de la distribution.

Cette centrale fait partie du sous groupement TG centre auquel fait partie aussi la Centrale de Hamma et de Bab Ezzouar [2].



Figure 1.2. Photo réel de la centrale de Boufarik.

1.4 Conception générale de la turbine à gaz

La turbine à combustion interne (plus connue sous le nom de turbine à gaz) [4] est une machine motrice permettant d'entraîner des alternateurs pour la génération d'électricité, ou des pompes, ou des compresseurs, en générale des fortes puissances, de façon autonome. Elle est composée de trois éléments principaux: [5]

- un compresseur, centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ.
- une chambre de combustion, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement.

- une turbine, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion [6].

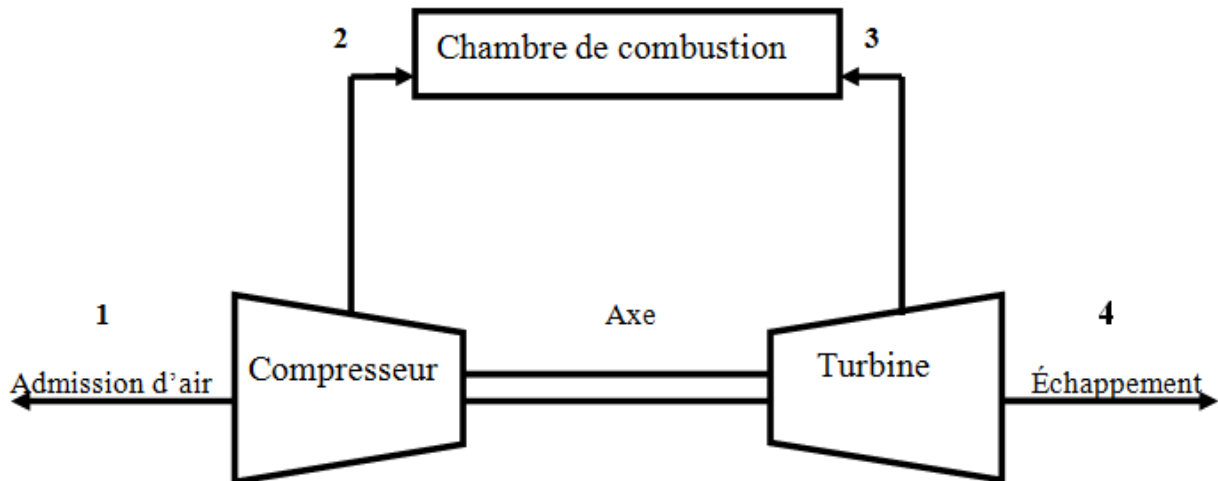


Figure 1.3. Les éléments de la turbine à gaz.

1.4.1 Principe de fonctionnement

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- elle extrait de l'air du milieu environnant.
- elle le comprime à une pression plus élevée.
- elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion. elle achemine la fumée à pression et à température élevées vers la section de la turbine qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre. Ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine.

- elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus. Les conditions de conception standard sont par convention classifiées comme des conditions ISO, avec les valeurs de référence citées plus haut [8].

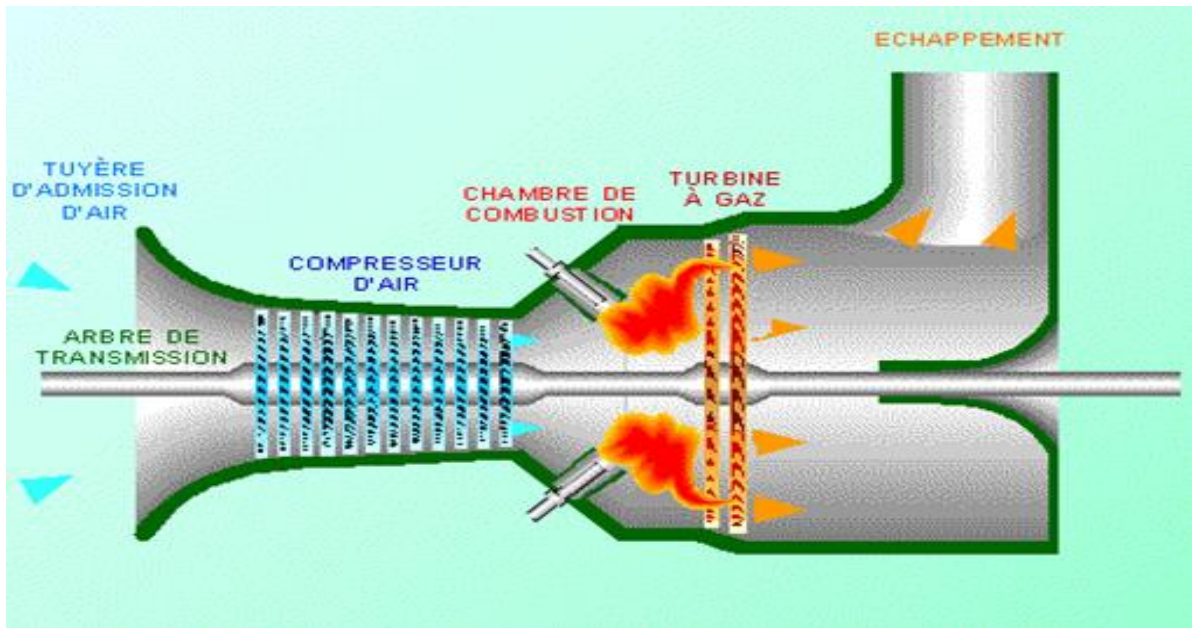


Figure 1.4. Principe de fonctionnement.

1.5 L'alternateur

Un alternateur est générateur électrique qui converti l'énergie mécanique en énergie électrique sous la forme d'un courant alternatif. C'est une machine synchrone fonctionnant comme toutes les machines synchrones à une vitesse dépendante de champs magnétique tournant et du nombre de pôle entraîné par une turbine à gaz.



Figure 1.5. Alternateur triphasé.

Il contient deux parties :

- **Le stator** est appelé induit.

La constitution de ce dernier est par les Enroulements qui vont être le siège du courant électrique alternatif induit par le changement du flux de champ magnétique due au mouvement relatif de l'inducteur par rapport à l'induit.

- **Le rotor** est nommé l'inducteur.

D'une part, ce rotor probablement constitue d'un aimant permanent (engendrant dans ce cas, un champ constant), c'est-à-dire, la tension fournie par la machine n'est pas réglable (si on considère que les pertes dans les conducteurs sont négligeables) et sa valeur efficace et sa fréquence varient avec la vitesse de rotation.

D'une autre part, la constitution de ce rotor est un électroaimant pour assurer l'induction, c'est à dire l'alimentation du bobinage est en courant continu par un collecteur à bague rotatif (un double bague avec balais) amenant une source extérieure ou par un exciteur à diodes tournantes et sans balais. Un système de régulation permet l'ajustement de la tension et de la phase du courant produit (exemple : turbine à gaz ou à vapeur qui entraîne l'alternateur).

1.5.1 Principe de fonctionnement

Lorsque le rotor est excité par un courant continu, il produit un champ tournant, qu'il entraîne avec lui. Ce champ tournant engendre une force électromotrice dans chacune des phases de l'enroulement stator (phénomène d'induction). Si les phases sont connectées sur une charge (réseau), il apparaît des courants triphasés dans les conducteurs des barres du stator.

L'ensemble de ces courants du stator produit un champ tournant dans le même sens et à la même vitesse que le rotor (machine synchrone). Le champ tournant induit (stator) se compose avec le champ de l'inducteur (rotor) et donne naissance à une force électromotrice en charge : Cette force électromotrice est

Décalée d'un angle (dit angle interne) par rapport à la force électromotrice qui serait engendrée à vide par le courant inducteur seul [19].

1.6 Le groupe turbo-alternateur

Les turboalternateurs sont des alternateurs entraînés à grande vitesse de rotation par une turbine à gaz pour la génération de puissance électrique. Ils vont transformer la puissance mécanique d'un fluide (gaz) en mouvement, puis en électricité [7].

Le couplage de l'alternateur fait par une turbine à gaz tournant à grande vitesse dans les centrales électriques thermiques. Ce type d'alternateur tourne généralement à 1500 tours par minute (rotor à 4 pôles) ou à 3000 tours par minute (rotor à 2 pôles), pour les réseaux de distribution à 50Hz [10].

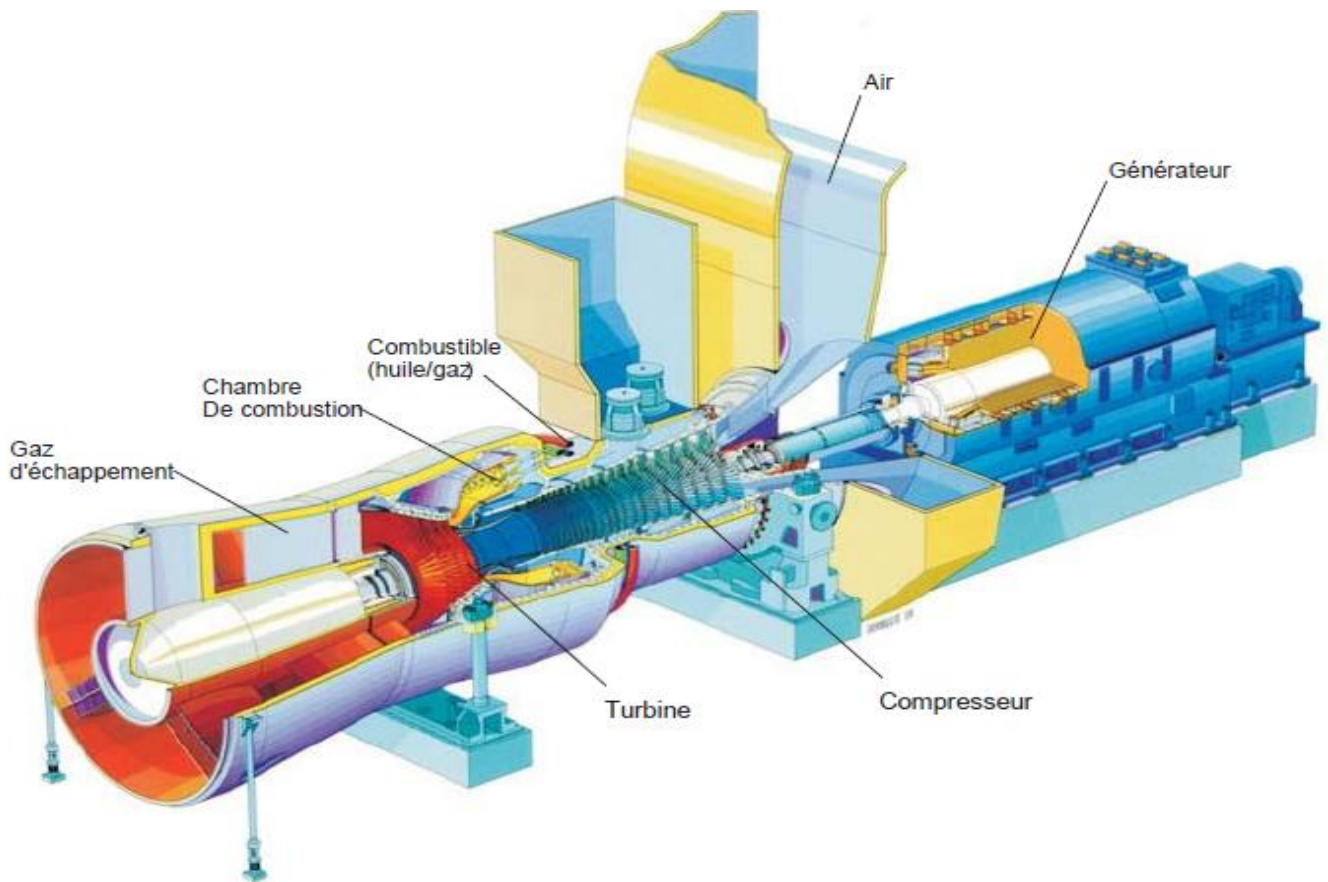


Figure 1.6. Le groupe turboalternateur.

1.6.1 Principe de fonctionnement d'un groupe turboalternateur de la centrale de Boufarik

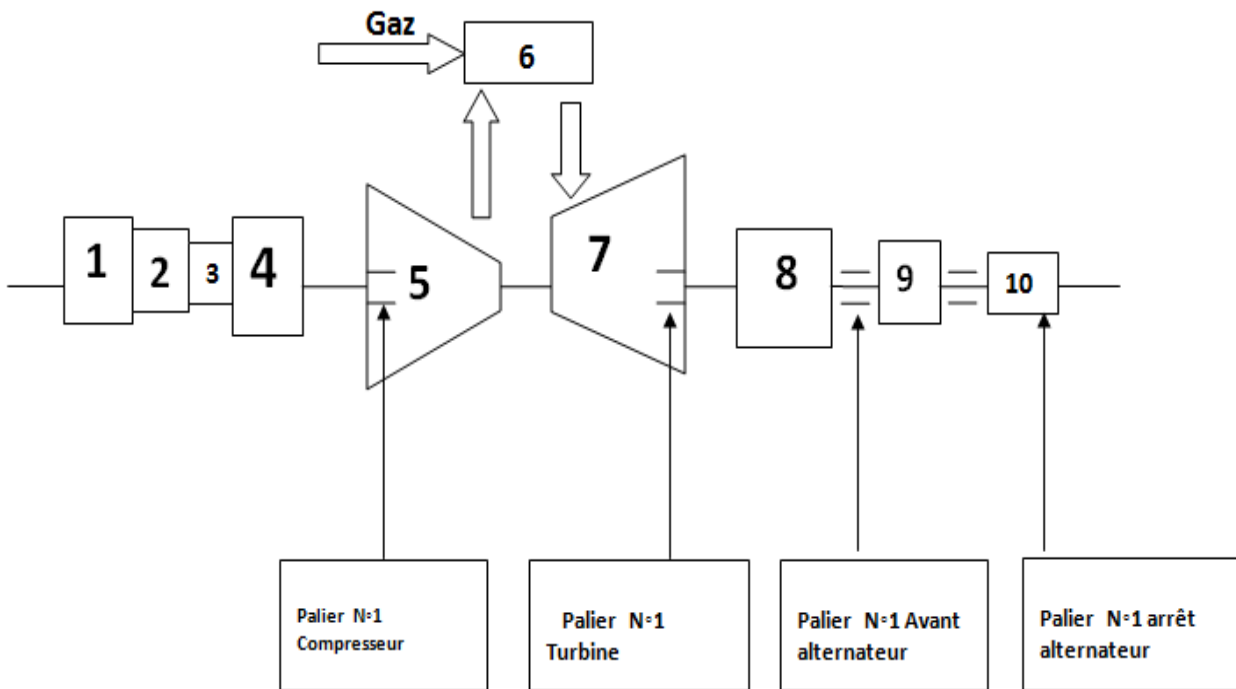


Figure.1.7. schéma des équipements d'un turboalternateur.

• Légende des équipements

1. moteur de lancement
2. convertisseur de couple
3. système de virage
4. réducteur auxiliaire
5. compresseur
6. système de combustion
7. turbine
8. réducteur de vitesse
9. alternateur
10. excitatrice

1.6.1.1 Système de démarrage

Le démarrage de la turbine se fait avec un moteur électrique asynchrone triphasé d'une puissance électrique de **375 KW**. Le moteur est doté d'un démarrage étoile triangle et d'une protection de surcharge qui arrête celui-ci automatiquement en cas de défaut électrique.



Figure1.8. Moteur de lancement.

1.6.1.2 Fonctionnement du convertisseur de couple

Le convertisseur de couple est une boîte dans laquelle sont disposés deux turbines, l'une motrice et l'autre réceptrice.

La turbine motrice est entraînée par le moteur électrique, et la turbine réceptrice est solidaire avec l'ensemble de la ligne d'arbre du turbocompresseur et alternateur. Dès le démarrage du moteur de lancement, le convertisseur de couple lance la turbine progressivement jusqu'à 20% de 5100t/min.



Figure.1.9. convertisseur de couple.

1.6.1.3 Le système de virage

Le système de virage a pour fonction principale de faire tourner le rotor turbocompresseur 1/8 t de tours tous les 03 min et cela durant toute la phase de refroidissement afin d'éviter les flexions du rotor sous l'effet de la haute température de la turbine.

Ce système de virage est utilisé aussi au démarrage pour décoller la ligne d'arbre durant le lancement ou le démarrage de la turbine.



Figure.1.10. clutch-vireur.

1.6.1.4 Réducteur auxiliaire

L'engrenage accessoire est une boîte de vitesse couplée directement au rotor de la turbine. Il contient les trains de roues dentées nécessaires pour produire les démultiplications appropriées afin d'entraîner les accessoires (pompes) aux vitesses requises et aux couples de torsion prescrits.

Les équipements installés sur le réducteur auxiliaire sont:

a Le système de protection de survitesse

Protéger la machine contre les défaillances de vitesse et arrête la turbine pour

Une vitesse supérieure à 5640 t/min.

b La pompe principale d'huile de graissage

La pompe est entraînée mécaniquement par le réducteur auxiliaire. Elle assure tout le graissage de la machine. Cela réduit les pertes mécaniques et augmente le rendement global du système

c L'Embrayage

L'embrayage de démarrage placé à l'avant de l'arbre principal de l'engrenage accessoire est monté sur l'arbre de celui-ci, et relie le moteur de démarrage au rotor de la turbine à gaz. Ce système est commandé automatiquement pour le démarrage de la turbine et débrayé lorsque la turbine atteint 3000 t/min la turbine devient autonome ce qui provoque l'arrêt du moteur de démarrage.

1.6.1.5 Compresseur

Le compresseur est de type axial à 17 étages, Il aspire l'air ambiant à travers un système de filtration et le comprime successivement dans les 17 étages pour donner une pression finale de 10 bars. L'air fournit par le compresseur est utilisé dans le système de combustion de la turbine.

Le compresseur se compose d'une partie fixe appelée stator, et d'un autre mobile appelé rotor. Un étage se compose d'un jeu d'ailettes fixe (stator), et d'un jeu d'ailettes mobile (rotor).

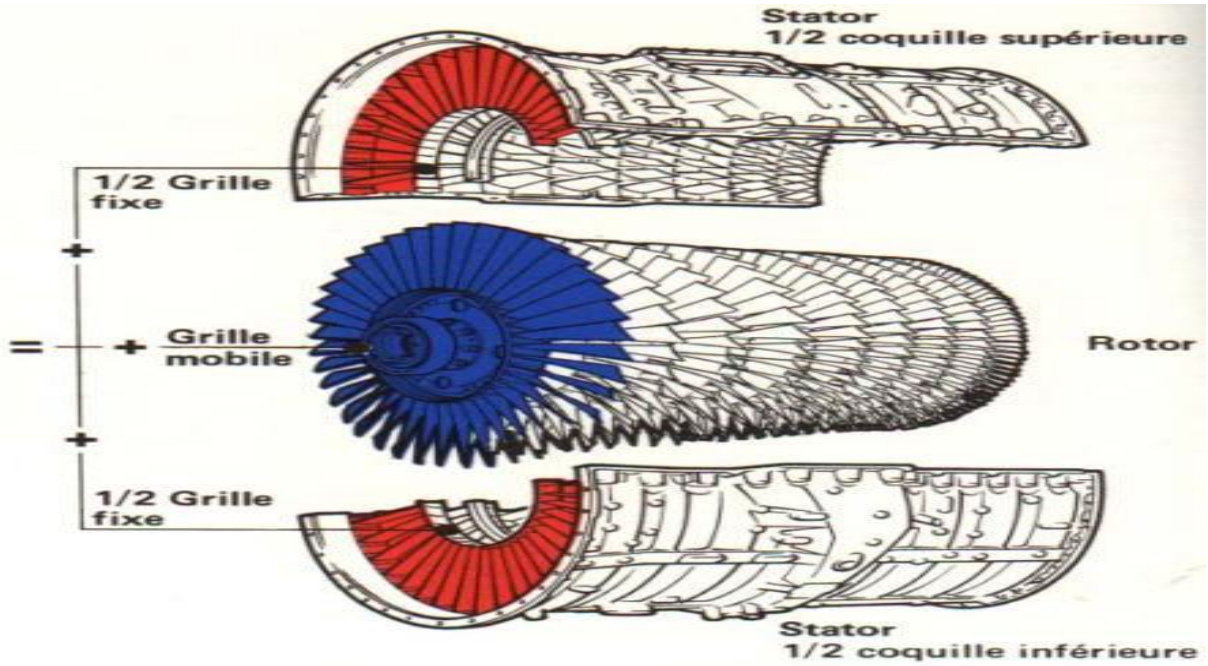


Figure.1.11. Corps compresseur.

1.6.1.6 Système de combustion

Le système de combustion comporte:

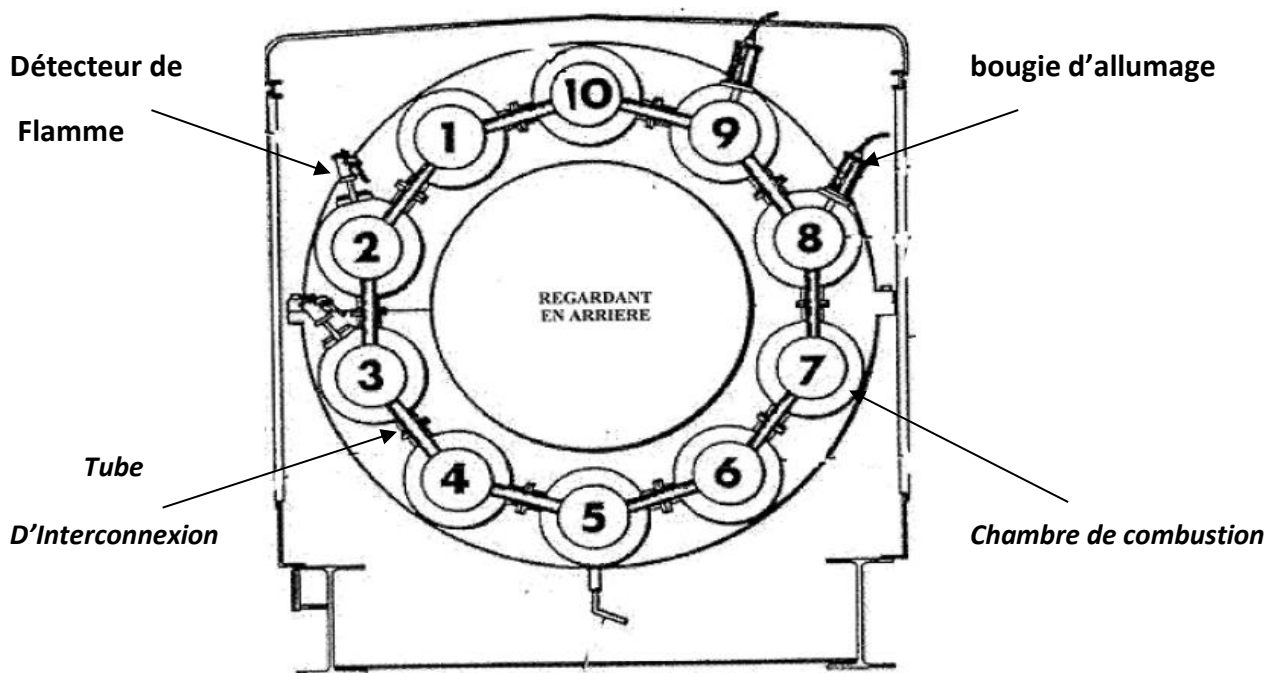


Figure 1.12. System de combustion.

a **Chambre de combustion**

Au nombre de 10. Elles sont disposées autour de compresseur et boulonnées à la section Élargie du corps d'échappement. Leur rôle est de fournir les calories nécessaires au cycle Thermodynamique de fonctionnement de la turbine [11].

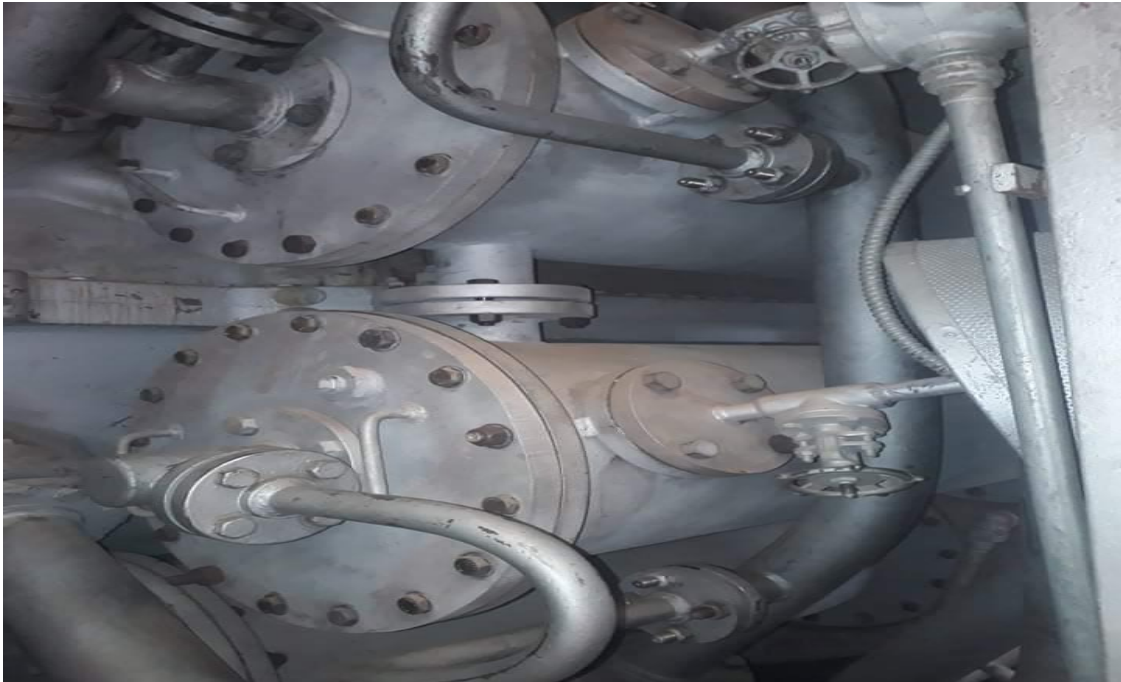


Figure 1.13. Chambre de combustion.

b **L'injecteur**

Chaque chambre de combustion est équipée d'un injecteur de combustible qui pulvérise une quantité mesurée de combustible à l'intérieur de la chambre. Il assure la diffusion du combustible de sorte que la flamme soit centrée à l'intérieur du tube à flammes.

c La bougie d'allumage [11]

Le déclenchement de la combustion du mélange combustible est assuré par des bougies d'allumage avec électrode ; deux bougies sont installées dans chacune des deux chambres de combustion (8 et 9) [16], sont alimentées à partir de transformateur d'allumage.

d Le détecteur de flamme

Permet de détecter la présence ou l'absence flamme dans la chambre de combustion pour maintenir la turbine en état de marche. La défaillance de ces deux détecteurs en même temps entraîne l'arrêt immédiat de la turbine.

1.6.1.7 La turbine MS5001 PA

La TAGMS 5001 P est une turbine à gaz à mono-arbre; à cycle simple. Il se compose d'un compresseur axial à 17 étages couplé à une turbine à deux étages et un système de combustion avec 10 chambres, capables de brûler un combustible liquide(feule) et un combustible gazeux.[16]

La turbine est composée d'une partie fixe (stator) et d'une partie mobile (rotor).

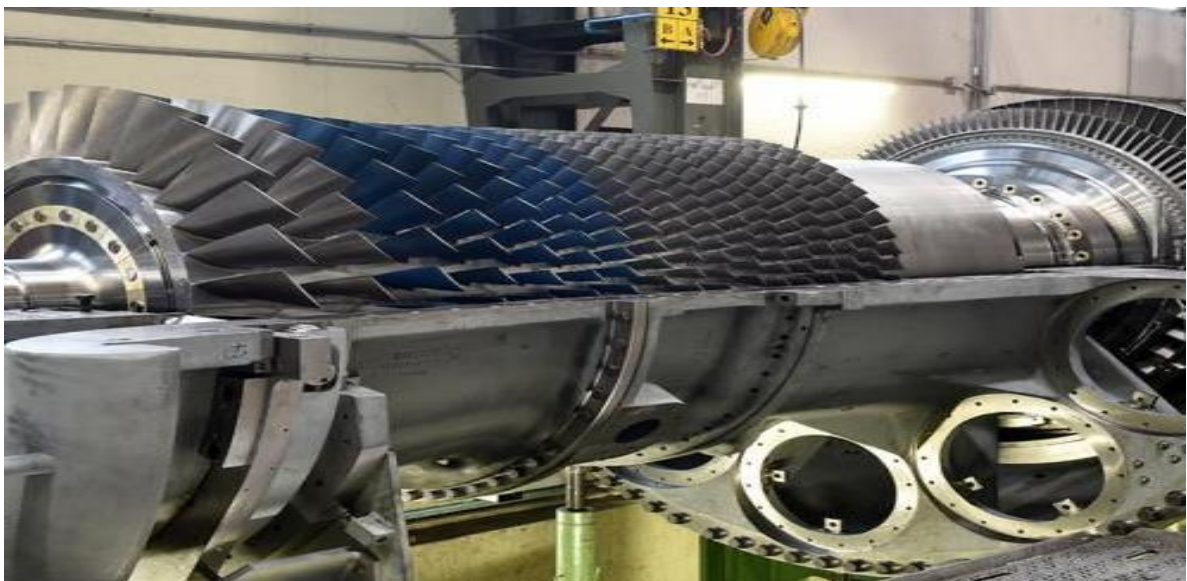


Figure 1.14. Turbine à gaz –MS5001 PA- mono-arbre.

a Rotor

Le rotor est composé de deux roues :

- Roue 1^{er} étage comportant 120 ailettes.
- Roue 2^{ème} étage comportant 90 ailettes.



Figure 1.15. Le rotor de la turbine à gaz –MS5001 PA.

b Stator

Le stator de la turbine est l'un des principaux éléments structuraux de la turbine à gaz, Le 1^{er} étage de la turbine se compose de la directrice qui est fixe et de la roue mobile qui est solidaire du rotor turbine, le 2^{ème} étage se présente suivant la même conception que le 1^{er} étage.

Les directrices jouent un rôle capital, elles dirigent et orientent les gaz brûlés vers les roues mobiles de la turbine. Cette énergie des gaz brûlés, en contact avec les ailettes des roues mobiles va se détendre et se transformer en énergie mécanique de la turbine.



Figure 1.16. Le stator de la turbine à gaz –MS5001 PA.

C caractéristique de la turbine a gaz MS5001 PA

Puissance Nominale	24.25 MW
Série	MS 5001 PA
Nombre D'étage Section Compresseur Axial	17
Vitesse	5100 tr /min
Température A L'admission	288.15 K
Nombre D'étage Section Turbine	2 étages
Système De Combustible	Gaz /feule
Système De Lancement	Moteur électrique
Charge	Puissance active
Rotation De L'arbre	Sens inverse horaire

Tableau 1.1. Caractéristique de la turbine MS 5001PA.

1.6.1.8 Réducteur de charge

Le réducteur de charge a pour fonction principale de réduire la vitesse de la turbine 5100 tour/mn en une vitesse de 3000 t/min qui est la vitesse de l'alternateur. La transformation de la vitesse se fait par un système de pignon dans un rapport bien adapté.



Figure 1.17. Réducteur de charge.

1.6.1.9 Alternateur AEG-KANIS

L'alternateur est une machine tournante triphasée d'une puissance de 32 MVA.

L'alternateur consomme l'énergie mécanique produite par la turbine et la transforme en énergie électrique disponible aux bornes de sortie de celui-ci. La transformation se fait au niveau de l'alternateur par les phénomènes du magnétisme.



Figure 1.18. Flasque d'alternateur.

a Rotor

Il est de forme cylindrique, forgé en une seule pièce à partir d'un acier de haute qualité. Les encoches, qui sont fraisées en direction axiale dans le bloc cylindrique, sont destinées à former les deux pôles de l'inducteur (rotor) et à recevoir l'enroulement du rotor.

Des bagues de retenues et des ventilateurs centrifuges sont montées aux deux extrémités du rotor.

Le rotor est porté sur deux paliers (A et B) qui sont isolés électriquement pour éviter l'écoulement des courants induit afin d'éviter l'usure de celui-ci.

b Stator

La Bâti du stator est fabriqué en tôles d'acier soudées en un élément rigide. Les bobinages du stator sont de type à deux couches, qui est utilisé pour réduire les pertes de courant entraînées par l'effet pelliculaire. Les bobines de l'alternateur sont couplées en étoile.

Chapitre 01 : Généralités

Le point neutre de l'étoile est mis à la terre à travers une résistance de protection de 2000 ohms.

c Caractéristiques d'alternateur AEG-KANIS

Puissance nominale	32MVA
Série	AEG-KANIS
Facteur de puissance	0.8
Vitesse nominale	3000 tr/mn
Fréquence	50 HZ
Couplage	Y
Tension d'excitation	10.5 kv
Courant d'excitation	200 A

Tableau1.2 caractéristique d'alternateur AEG-KANIS.

1.6.1.10 Excitatrice

L'excitation de l'alternateur est réalisée par un système à diodes tournantes au bout de l'excitatrice principale et une excitatrice auxiliaire solidaire à l'arbre de l'alternateur principal.



Figure 1.19. Excitatrice.

Le système d'excitation est donc composé de deux excitatrices qui sont :

a Excitatrice pilote

Elle est prévue pour rendre la fonction d'excitation entièrement indépendante des autres circuits électriques. Celle-ci est entraînée par l'arbre principal, elle a un rotor à pôles saillants en aimant permanent et produit à son stator l'énergie nécessaire à l'alimentation de l'excitatrice principale. Sa tension est redressée par un pont de thyristors, ce qui permet le réglage de l'excitation de l'alternateur.

B Excitatrice principale

L'excitatrice principale est du type sans balais, elle est excitée à son tour sur son stator par l'excitatrice pilote qui génère un courant alternatif à son rotor qui est redressé par des diodes tournantes. Ce courant sera réglé à travers un régulateur de tension pour exciter à son tour l'alternateur.

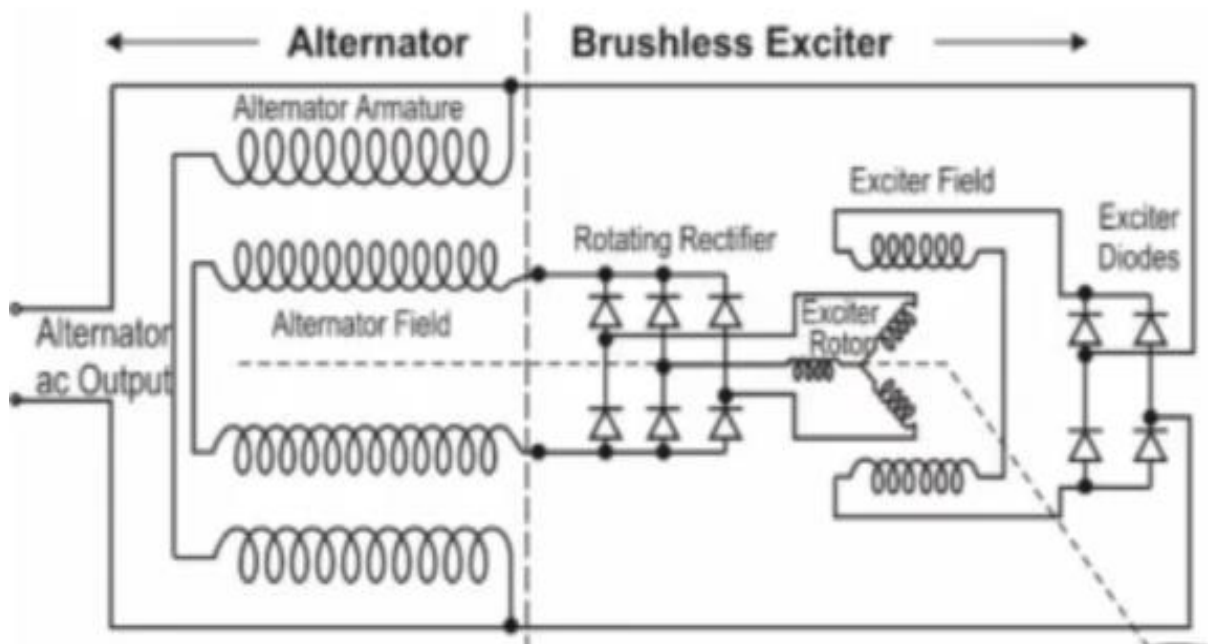


Figure 1.20. Système d'excitation Brushless.

1.7 Le système de commande SPEEDTRONIC TM Mark VI

GE est en train de développer les systèmes de contrôle des turbines speed tronic; elle a commencé par le MARK I en 1966. Ce système était basé sur le reliaje. En 1973 le MARK II a fait son apparition, système basé sur la logique câblé, la technologie des micros processeurs, la redondance ainsi que la philosophie de voting 2/3 a commencé en 1991 dans les systèmes Mark IV.

Dans les systèmes MARK V GE a créé la technologie SIFT (*Soft war Implemented Fault Tolerance*) afin de minimisé les arrêts de la machine provoquer par défaut instrumentation. Et par la suite le MARK VI, MARK VIe (*enhanced*) et MARK VIeS (*Safety*).

Le MARK VIeS est la dernière génération des systèmes speedtronic d'où les capteurs de gaz sont relativement incorporés dans les boucles de contrôle speedtronic. L'objectif de cette évolution c'est d'avoir un diagnostic rapide efficace et d'augmenter la disponibilité des machines.



Figure 1.21. L'armoire de protection.



Figure 1.22. L'armoire MARK VI.

1.7.1 Fonction de commande de Speed Tronic

Le système SPEEDTRONICTM de commande des turbines à gaz réalise les fonctions:

- régulation du débit de combustible et d'air.
- Contrôle des rejets atmosphériques.
- Commande séquentielle du combustible et des auxiliaires de la turbine pour le démarrage.
- L'arrêt et le refroidissement.
- Synchronisation et adaptation de la tension de l'alternateur et surveillance du système pour toutes les fonctions concernant la turbine.
- La régulation et les auxiliaires.
- La Protection en cas de fonctionnement dangereux.

Chapitre 01 : Généralités

Toutes ces fonctions sont réalisées de manière intégrée, adaptées spécialement pour réaliser la philosophie décrite [11].

1.8 Conclusion

Au cours ce chapitre, nous avons fait une description complète de groupe turboalternateur. On a vu que la turbine à gaz est convertie l'énergie thermique en énergie mécanique pour entraîner l'alternateur. On a vu aussi les blocs de ce groupe, leur fonctionnements et le rôle de chaque bloques.

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

2.1 Introduction

La modélisation est une étape imposante de l'étude des systèmes commandés. Pour commander un système donné il faut disposer de son modèle afin de l'étudier et de le simuler. [18]. Dans ce chapitre, la modélisation de chaque bloc (alternateur, turbine) du groupe turbine-alternateur est présentée. L'objectif de cette partie est d'illustrer chaque modèle indépendamment, et plus particulièrement présenter le modèle mathématique du système d'excitation du groupe turbine alternateur.

2.2 Analyse de fonctionnement d'un alternateur

Dans la suite, pour analyser le fonctionnement de l'alternateur. On va étudier leurs caractéristiques à vide et en charge.

2.2.1 Fonctionnement à vide

La caractéristique à vide est obtenue en mettant l'alternateur en circuit ouvert, on l'entraîne à sa vitesse de synchronisme 3000tr/mn. [18]. en branchant un transformateur de potentiel aux bornes de l'induit pour donner l'image de la tension. L'inducteur est alimenté par le système d'excitation de l'alternateur.

En pratique, le bobinage a plusieurs spires, afin d'augmenter la force électromotrice engendrée. La force électromotrice totale produite est alors égale à la somme des forces électromotrices développées dans chacune des spires de la bobine.

2.2.1.1 Expression de la f.e.m.

La formule générale est

$$E = 2,22 k_f k_b f N \quad (2.1)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

K_f : coefficient de forme

K_b : coefficient de bobinage

f : fréquence en hertz (Hz).

P : nombre de paires de pôles du rotor.

n : vitesse en tours seconde.

N : nombre de conducteurs.

Φ : flux sous un pôle (weber).

$K = 2,22 k_f k_b$: coefficient de Kapp de la machine synchrone.

Donc :

$$E = K f N \Phi \quad (2.2)$$

2.2.1.2 Caractéristique à vide

Pour simplifier le raisonnement supposons que le stator de l'alternateur monophasé ne comporte qu'un seul bobinage [17].

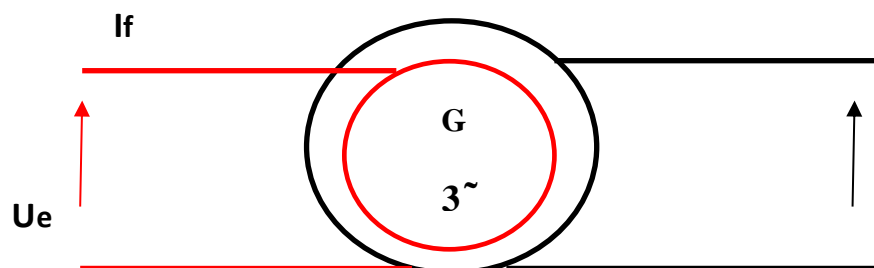


Figure 2.1. Caractéristique d'un alternateur à vide.

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

- On fait varier le courant d'excitation et on relève la f.e.m. correspondante.

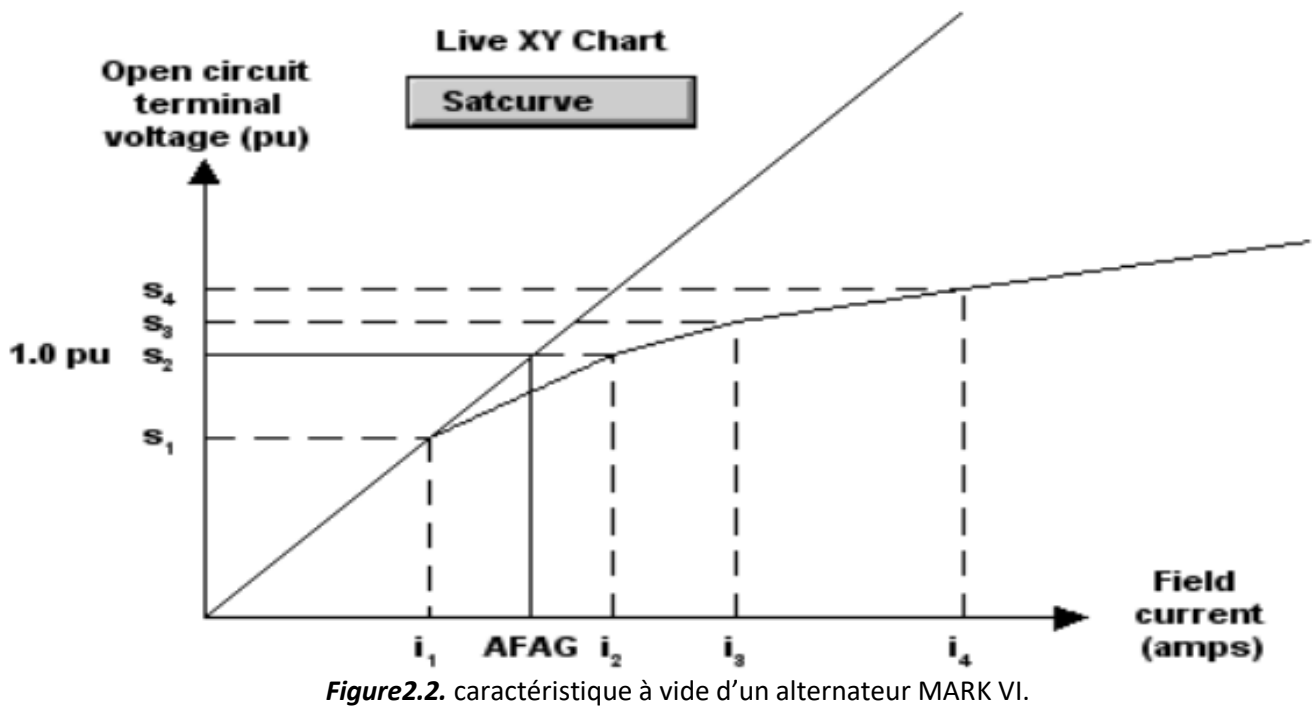


Figure 2.2. caractéristique à vide d'un alternateur MARK VI.

Cette caractéristique est constituée:

Dans la partie 1 non utilisée : une faible variation de **If** entraîne une variation importante de **V**.

Dans la partie 2 non utilisée : une faible variation de **If** entraîne une faible variation de **V**.

Dans la partie 3 non utilisée : une faible variation de **If** entraîne une faible variation de **V**, mais, courant important **If** donc sur dimensionnement du rotor [12].

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

2.2.2 Alternateur couplé avec le réseau (en charge) : [13]

Le couplage est l'opération qui consiste à connecter les bornes de l'alternateur à celles du réseau triphasé pour débiter de la puissance électrique [19].

Pour brancher un alternateur sur le réseau, il faut respecter les conditions suivantes:

- La tension de l'alternateur doit être égale à celle de réseau.
- La fréquence de l'alternateur doit être la même que celle de réseau.
- La séquence des phases de l'alternateur doit être la même que celle du réseau.

[13].

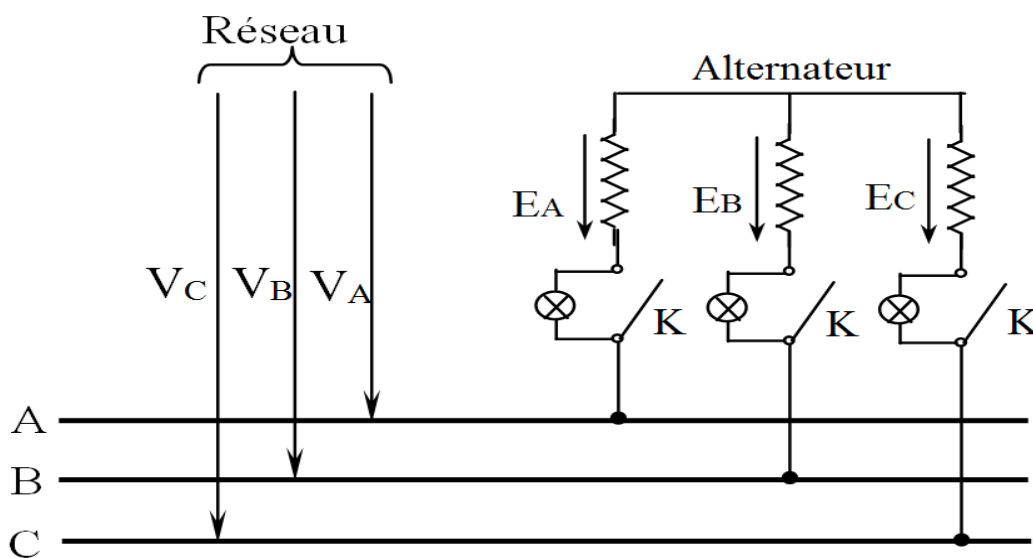


Figure 2.3. Schéma de couplage d'un alternateur à un réseau.

2.2.2.1 Conséquences d'un mauvais couplage

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

a Le non-respect de l'égalité des fréquences

Le non-respect des fréquences peut provoquer des retours de puissances ou des couplages en opposition de phases qui peuvent détériorer l'alternateur et les artifices d'excitation et créer des incidents sur les autres groupes.

NB : Il est conseillé, au moment du couplage, de garder la fréquence de l'alternateur légèrement supérieure à celle du réseau pour éviter le retour de puissance.

b Le non-respect de l'égalité des tensions

Cela implique que la différence des tensions n'est pas nulle entre l'alternateur et le réseau. Ce qui va provoquer des courants de circulation dans les enroulements de l'alternateur. Ces courants sont d'autant plus élevés que la différence est plus grande.

Ce phénomène est susceptible d'endommager l'alternateur et les artifices d'excitation tels que : les diodes, le régulateur de tension etc...

C Le non-respect de la concordance des phases

Le non-respect de cette condition conduit à un couplage en opposition de phases avec des courants de circulations très forts qui peuvent endommager le disjoncteur, l'alternateur et les artifices d'excitation. Le couplage en opposition de phase peut provoquer des incidents sur les autres groupes. De façon générale disons qu'un mauvais couplage peut détériorer un groupe, créant ainsi son immobilisation temporaire ou définitive, causant ainsi des pertes financières [17].

2.2.2.2 Diagramme de Behn-Eschenburg

Si l'alternateur est raccordé à un réseau dont la puissance est très importante devant celle de l'alternateur, la tension et la fréquence aux bornes de l'alternateur seront imposées par le réseau et le diagramme de Behn-Eschenburg pourra être réalisé en fonction des puissances fournies par l'alternateur figure(2.4).

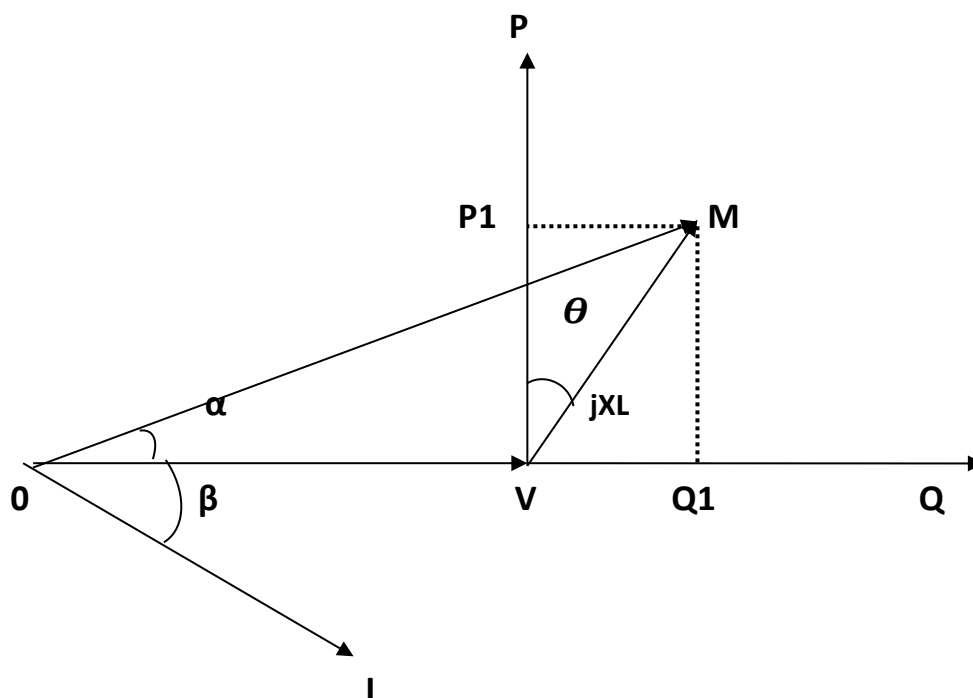


Figure 2.4. Diagramme Behn-Eschenburg d'un alternateur fonctionnant en charge.

2.2.2.3 Diagramme de fonctionnement

D'après cette figure, on voit que les projections du vecteur jXI sur les axes du repère représentent à un coefficient près la puissance active P et la puissance réactive Q . [18].

L'alternateur fournit au circuit extérieur triphasé une puissance active

$$P = 3 V I \cos(\phi) \quad (2.3)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

Et une puissance réactive

$$Q = 3 V I \sin(\phi) \quad (2.4)$$

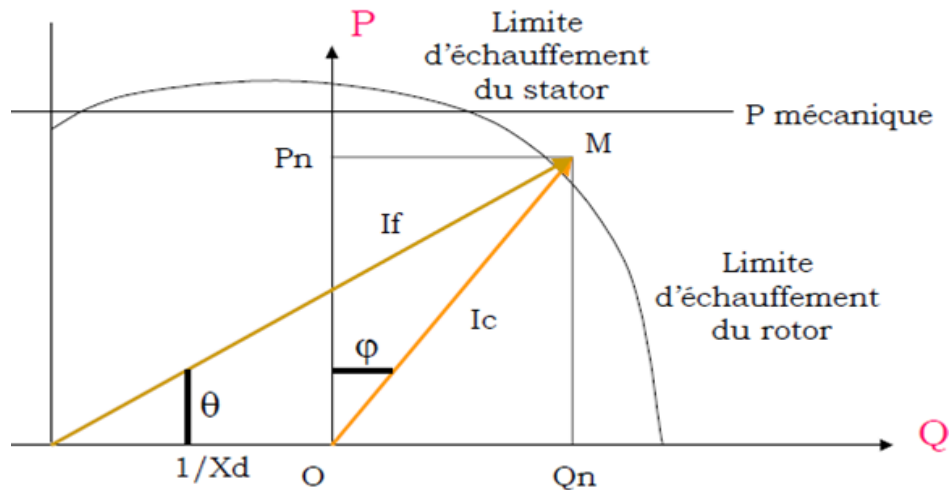


Figure 2.5. Diagramme de fonctionnement en charge de l'alternateur AEG-KANIS.

2.3 Modélisation de la turbine à gaz MS5001 PA

C'est au niveau de la section turbine que les gaz à haute température issus des chambres de combustion viennent se détendre produisant la puissance mécanique nécessaire pour entraîner le compresseur axial et l'alternateur [12].

Le débit de masse de gaz $\dot{m}_f(t)$ et le débit de masse d'air $\dot{m}_o(t)$ peuvent être considérés comme proportionnels avec le gain K :

$$\dot{m}_o(t) = K \dot{m}_f(t) \quad (2.5)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

Le compresseur est utilisé pour pressuriser le débit de masse d'air en entrée, et pour augmenter la température de l'air en entrée de la chambre de combustion. Le débit de masse d'air à la sortie du compresseur est le même qu'à l'entrée avec un temps de retard :

$$\dot{m}_c(t) = \dot{m}_o(t - \tau_c) \quad (2.6)$$

τ_c : le temps de retard (ms).

Le retard τ_c (1,3 ms) dépend de la vitesse du gaz et de la longueur du compresseur.

La puissance thermique générée dans le compresseur :

$$P_{thc} = 1,19 \cdot 10^{-3} C_p (\dot{m}_o(t) + \dot{m}_{CC}(t)^2)^{\frac{T_c - T_a}{2}} \quad (2.7)$$

C_p : le coefficient de puissance thermique.

$T_a = 210 \text{ C}^\circ$: température ambiante du compresseur.

$T_c = 25 \text{ C}^\circ$: la température en sortie du compresseur.

L'évolution de la puissance mécanique du compresseur P_{mc} est assimilable à la réponse d'une équation différentielle du 1er ordre avec une constante de temps de τ :

$$\tau \frac{dP_{mc}}{dt} = P_{thc} - P_{mc} \quad (2.8)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

Le débit de masse d'air du compresseur et le débit de masse de fuel sont injectés dans l'entrée de la chambre de combustion. L'air et le gaz sont mélangés et brûlent dans la chambre de combustion. Le temps de retard associé à ce processus est τ_{cc} :

$$\dot{m}_{cc}(t) = \dot{m}_c(t - \tau_{cc}) + \dot{m}_f(t - \tau_{cc}) \quad (2.9)$$

La puissance thermique de cogénération dans la chambre de combustion, ne participant pas à la puissance mécanique, est exprimée par :

$$P_{thcc} = 1,19 \cdot 10^{-3} C_p \dot{m}_{cc}(t) [T_{cc} - T_c] \quad (2.10)$$

Où T_{cc} (982 °C) est la température en sortie de la chambre de combustion.

Le débit de masse de gaz à la sortie \dot{m}_{cc} de la chambre de combustion est une grandeur d'entrée de la turbine. Le temps de retard associé avec ce processus est τ_T (0,294ms), et le débit de masse d'air de la turbine est donné par :

$$\dot{m}_T(t) = \dot{m}_{cc}(t - \tau_T) \quad (2.11)$$

La puissance thermique générée dans cette étape est exprimée par :

$$P_{thT} = 1,19 \cdot 10^{-3} C_p (\dot{m}_T(t) + \dot{m}_{cc}(t)) \frac{[T_{cc} - T_T]}{2} \quad (2.12)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

La puissance mécanique de la turbine P_{mT} est régie par l'équation différentielle suivante :

$$\tau_T \frac{dP_{mT}}{dt} = P_{thT} - P_{mT} \quad (2.13)$$

La puissance mécanique en sortie de la turbine est obtenue à partir de la puissance mécanique du compresseur et de la puissance mécanique de la turbine respectivement : [8]

$$P_{sma} = P_{mT} - P_{mc} \quad (2.14)$$

Alors, le couple est déduit en utilisant la vitesse de la turbine :

$$C_{tur} = \frac{P_{sma}}{\Omega_T} \quad (2.15)$$

D'où Le modèle dynamique simplifié de la partie mécanique repose sur les équations suivantes : [14]

$$\frac{d\Omega_T}{dt} = (1/J) C_{tur} - C_{em} - f_v \Omega_T \quad (2.16)$$

2.4 Modèle alternateur

2.4.1 Le modèle simplifié

Le modèle simplifié de la machine synchrone est une approximation du modèle complet, il s'obtient en négligeant certaines dynamiques rapides, il s'agit d'un modèle qui ne tient compte que des dynamiques du champ et du rotor, c'est un modèle d'ordre trois

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

dont les variables telles que : la tension à la sortie, la vitesse angulaire et la puissance électrique, sont toutes les composantes physiques mesurables, c'est un modèle simple. [18]

La machine synchrone considérée dans notre travail représente un alternateur synchrone à pôles saillants, elle est principalement composée de trois enroulements au stator, un enroulement au rotor et deux enroulements amortisseurs.

Après l'application de la transformée de Park aux équations de la génératrice, le modèle mathématique est exprimé en unité réduite (pu) par les équations électriques de tension et de flux ainsi que les équations mécaniques [15].

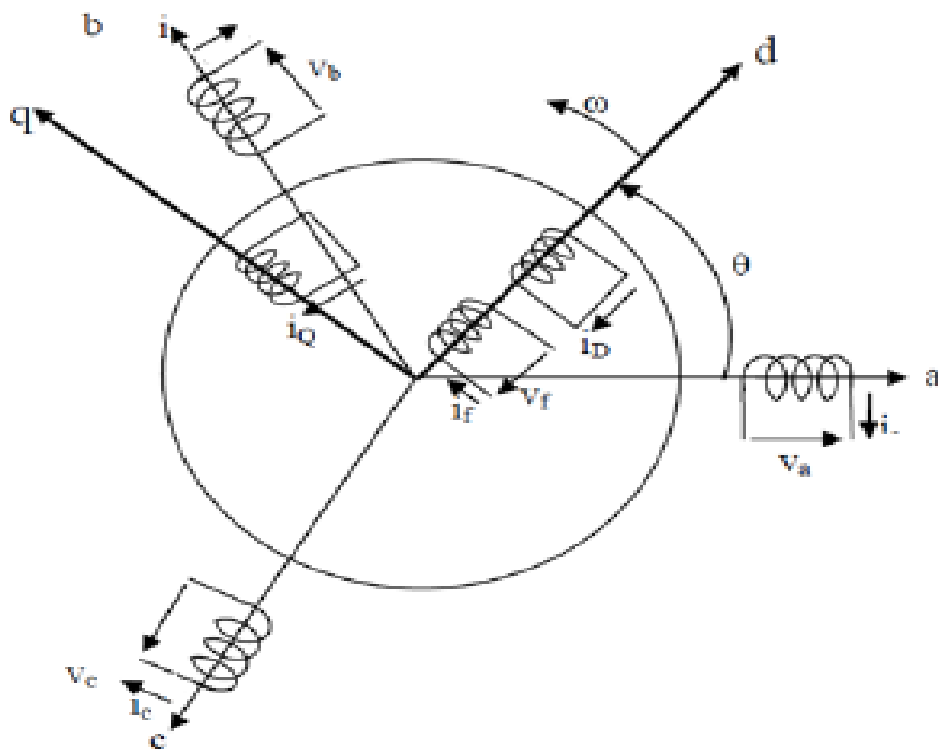


Figure 2.6. Machine synchrone triphasé, amortisseurs assimilés à deux enroulements en court-circuit, à 90° l'un de l'autre.

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

2.4.2 Les équations électriques et magnétiques

Les équations de tensions des phases statoriques servent au point de départ pour l'élaboration du modèle dynamique de la machine synchrone à aimants permanents. Le système d'équations suivant exprime les tensions en fonction des courants et des flux.

$$\text{Induit (stator)} \left\{ \begin{array}{l} V_{as} = R_{sias} + \frac{d\Phi_{as}}{dt} \\ V_{bs} = R_{sibs} + \frac{d\Phi_{bs}}{dt} \\ V_{cs} = R_{sics} + \frac{d\Phi_{cs}}{dt} \end{array} \right. \quad (2.17)$$

$$\text{Inducteur (rotor)} \left\{ \begin{array}{l} V_f = R_{rif} + \frac{d\Phi_f}{dt} \\ 0 = R_{riD} + \frac{d\Phi_D}{dt} \\ 0 = R_{riQ} + \frac{d\Phi_Q}{dt} \end{array} \right. \quad (2.18)$$

Avec :

R_a : résistance d'une phase statorique

R_{fDQ} : respectivement, résistances de l'inducteur, de l'amortisseur d'axe d et d'axe q

Φ_{abc} : Les flux totaux à travers les bobines statorique

V_{abc} : Les tentions des phases statoriques.

Les tensions appliquées aux circuits D et Q sont nulles puisqu'ils sont en court-circuit. [5]

Les flux sont liés aux courants par les relations suivantes, exprimées sous forme matricielle.

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

$$\begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \\ \Phi_f \\ \Phi_D \\ \Phi_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{af} & M_{aD} & M_{aQ} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} & M_{bf} & M_{bD} & M_{bQ} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c & M_{cf} & M_{cD} & M_{cQ} \\ M_{af} & M_{bf} & M_{cf} & L_f & M_{fD} & M_{fQ} \\ M_{aD} & M_{bD} & M_{cD} & M_{fD} & L_D & M_{DQ} \\ M_{aQ} & M_{bQ} & M_{cQ} & M_{fQ} & M_{QD} & L_Q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_f \\ I_D \\ I_Q \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Avec :

$L_a = L_b = L_c = \text{Constante}$, sont les inductances propres statoriques.

$M_{ab} = M_{ba} = M_{ac} = M_{ca} = \text{Constante}$, sont les mutuelles entre phases statoriques.

En ce qui concerne le rotor, les inductances propres rotorique sont constantes (L_f, L_Q).

L'inductance mutuelle relative aux enroulements rotorique de l'axe direct est $M_{fD} = \text{cte}$

Puisque les axes d et q sont en quadrature, $M_{QD} = M_{DQ} = M_{fQ} = 0$ Les inductances mutuelles entre enroulements statoriques et rotoriques sont fonction de l'angle électrique θ .

Dans la matrice (2.19), un certain nombre de coefficients sont fonction de l'angle θ , ce qui complique considérablement l'étude des régimes transitoires. Pour remédier à ce problème, on opère sur l'ensemble des grandeurs (tensions, courants, flux) un changement de base qui simplifie notablement les relations. Ce changement de variables, appelé « transformation de Park ».

2.4.3 Transformation de Park

La simplification du modèle dynamique de la machine est par l'application d'un changement du repère. Grâce à une transformation mathématique, on peut effectuer ce changement, alors elle transforme les trois bobines statoriques déphasées de $2\pi/3$ en deux bobines fictives équivalentes diphasées $\pi/2$ de et situées sur le rotor comme illustre dans la figure [2.7].

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

Les deux bobines sur les axes (d, q) tournent avec le rotor, produisant le même effet que les trois bobines fixes. Les variations exprimées dans ce nouveau repère (d, q), nous permettent de passer du repère naturel au repère de Park, et d'avoir ainsi un modèle relativement simple de la machine.

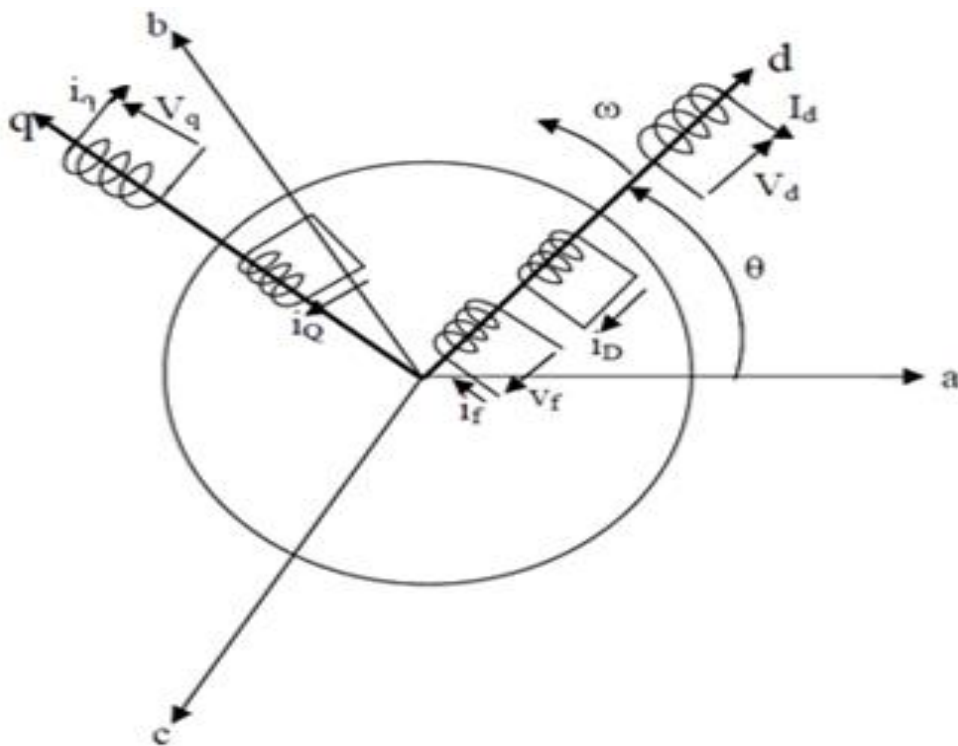


Figure 2.7. Interprétation de la transformation de Park pour une machine synchrone.

L'éclaircissement de la transformation de Park $P[(\Theta)]$ est par la matrice suivante:

$$P[(\Theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\Theta) & \cos\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\Theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin(\Theta) & -\sin\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\Theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

- Pour passer le système dans le repère (d, q, o) vers (a, b, c) , il faut utiliser la matrice inverse de Park $\mathbf{P}[(\Theta)]^{-1}$ qui définie comme suit :

$$\mathbf{P}[(\Theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\Theta) & -\sin(\Theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\Theta - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\Theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$\mathbf{P}[(\Theta)]^{-1}$: La matrice inverse de Park.

- Le passage des grandeurs statoriques $\mathbf{X}_{a,,}$ aux composante directe et en quadrature $\mathbf{X}_{d,q}$ est défini par:

$$[\mathbf{X}_{a, b, c}] = \mathbf{P}[(\Theta)]^{-1} \cdot [\mathbf{X}_{d, q, o}] \quad (2.22)$$

$$[\mathbf{X}_{d, q, o}] = \mathbf{P}[(\Theta)] \cdot [\mathbf{X}_{a, b, c}] \quad (2.23)$$

\mathbf{X} : le vecteur de courant, tension ou flux.

Θ : la position du rotor.

Donc on obtient :

$$[\mathbf{V}_{dqh}] = [\mathbf{P}(\Theta)] \cdot [\mathbf{V}_{abc}] \quad (2.24)$$

$$[\mathbf{I}_{dqh}] = [\mathbf{P}(\Theta)] \cdot [\mathbf{I}_{abc}] \quad (2.25)$$

$$[\Phi_{dqh}] = [\mathbf{P}(\Theta)] \cdot [\Phi_{abc}] \quad (2.26)$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

Les flux sont liés aux courants par les relations suivantes, exprimé sous forme matricielle.

$$\begin{bmatrix} \Phi_d \\ \Phi_q \\ \Phi_f \\ \Phi_D \\ \Phi_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & K_{Mf} & K_{MD} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & K_{MQ} \\ K_{Mf} & 0 & L_f & M_R & 0 \\ K_{MD} & 0 & M_R & L_D & 0 \\ 0 & K_{MQ} & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_f \\ I_D \\ I_Q \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

En multipliant par $[P(\Theta)]^{-1}$ l'équation (25), on obtient :

$$[V_{dqh}] = [R_s] \cdot [id_{qs}] + [P(\Theta)]^{-1} \cdot \frac{d}{dt} ([L_{ss}] \cdot [p(\Theta)] \cdot [id_{qh}] + [M_{sR}] \cdot [i_r]) \quad (2.28)$$

En tenant compte des expressions du flux le système d'équation des tensions peut s'écrire sous la forme :

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_s + sL_d & -L_{qwr} & sM_f & sM_{kD} & -MKQ\omega_r \\ L_{dwr} & R_s + sL_q & MF\omega_r & MKDwr & sM_{kQ} \\ sM_f & 0 & R_f + sL_f & sM_{FD} & 0 \\ sM_{kD} & 0 & sM_{FR} & R_{kD} + sL_{kD} & 0 \\ 0 & sM_{kQ} & 0 & 0 & R_{kD} + sL_{kQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_f \\ I_D \\ I_Q \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Ainsi le système d'équation électrique de la machine est mis sous la forme suivante :

$$\frac{d[I]}{dt} = -[L]^{-1} [A] [I] + [L]^{-1} [U] \quad (2.30)$$

Avec:

$$[A] = [A_1] + \omega [A_2]$$

Chapitre 02 : Modélisation d'un groupe turbo-alternateur

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} RS & 0 & 0 & 0 & \omega_r M_{kq} \\ \omega_r L_d & RS & \omega_r M_f & -\omega_r M_{kd} & 0 \\ 0 & 0 & R_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{Kd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{Kq} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

$$[\mathbf{A1}] = \begin{bmatrix} RS & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{Kd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{Kd} \end{bmatrix} \quad [\mathbf{A2}] = \begin{bmatrix} 0 & -L_q & 0 & 0 & -M_{kq} \\ L_d & 0 & M_f & M_{kd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

$$[\mathbf{U}] = \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [\mathbf{I}] = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_{Kd} \\ i_{Kq} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$[\mathbf{L}] = \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 & M_{Kd} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & M_{Kq} \\ M_f & 0 & L_f & M_{fd} & 0 \\ M_{Kd} & 0 & M_{fd} & L_{Kd} & 0 \\ 0 & M_{Kq} & 0 & 0 & L_{Kq} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

L'expression du couple électromagnétique est de la forme :

$$C_{em} = \frac{2}{3} (L_d i_d i_q + M_f i_f i_q + M_{Kd} i_{Kd} i_q - L_q i_q i_d - M_{Kq} i_{Kq} i_d) \quad (2.35)$$

2.4 Conclusion

Cette section du document, nous avons présenté toute la partie modélisation mathématique, et mise en équation de chaque élément constitutif d'un groupe turbine-alternateur.

En premier lieux nous avons vu le fonctionnement d'alternateur en vide, en charge et le raccordement de l'alternateur en réseau. En second lieux nous avons présenté la modélisation de la turbine à gaz puis la modélisation de l'alternateur triphasé.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

3.1 Introduction

Ce chapitre traite les différents équipements qui interviennent principalement au niveau du système d'excitation d'un groupe turbine-alternateur. Ces éléments dits régulateurs conventionnels sont utilisés afin d'assurer le bon fonctionnement du groupe. On distingue le régulateur automatique de tension AVR qui permet de contrôler la tension d'excitation, le régulateur classique PID de la tension terminale génératrice, le régulateur de vitesse (speed governor) qui lui contrôle la vitesse de rotation et enfin le stabilisateur de puissance (PSS) qui intervient en principe dans l'amortissement des oscillations de puissance au niveau du réseau [15]., et on fait un bilan de l'étude et montre les similitudes entre les essais et les simulations ces différents tests et résultats d'application qui valide notre travail, Nous verrons aussi les divergences entre les résultats et les simulations les paramètres essentielles du générateur à grande puissance couplé au réseau électrique.

3.2 Schémas blocs simplifiés

3.2.1 Régulation et stabilisation de la tension d'excitation

L'excitation utilisée est une machine synchrone inversée, couplée sur le même arbre que la génératrice principale, alimentant l'inducteur de cette dernière au travers d'un pont redresseur à diodes tournantes.

Les systèmes d'excitation comportent des circuits de stabilisation, qui interviennent souvent en cas d'instabilité du système causé par un important temps de réponse.

Lorsque le gain du régulateur de tension de sortie est très faible .pour assurer le bon fonctionnement du système, le bloc EXASP caractérisé par une compensation additionnelle à la boucle de régulation, qui est définie par une fonction de transfert sous la forme fin de contrôler la tension d'excitation [12].

Le système simplifié peut être représenté comme :

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

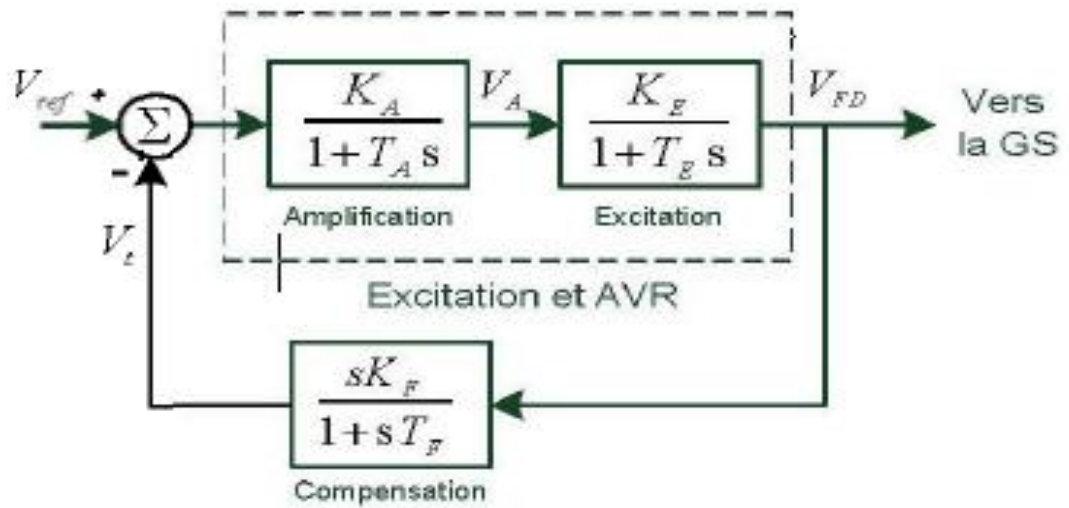


Figure 3.1. Régulation et stabilisation de la tension d'excitation.

Avec :

$\left(\frac{SK_F}{1+ST_F}\right)$: Fonction de transfert compensation.

$\left(\frac{KA}{1+T_A s}\right)$: Fonction de transfert amplification.

$\left(\frac{K_E}{1+T_E s}\right)$: Fonction de transfert excitation.

En utilisant les paramètres initiaux du régulateur automatique de tension AVR, on visualise la tension d'excitation comme suit :

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

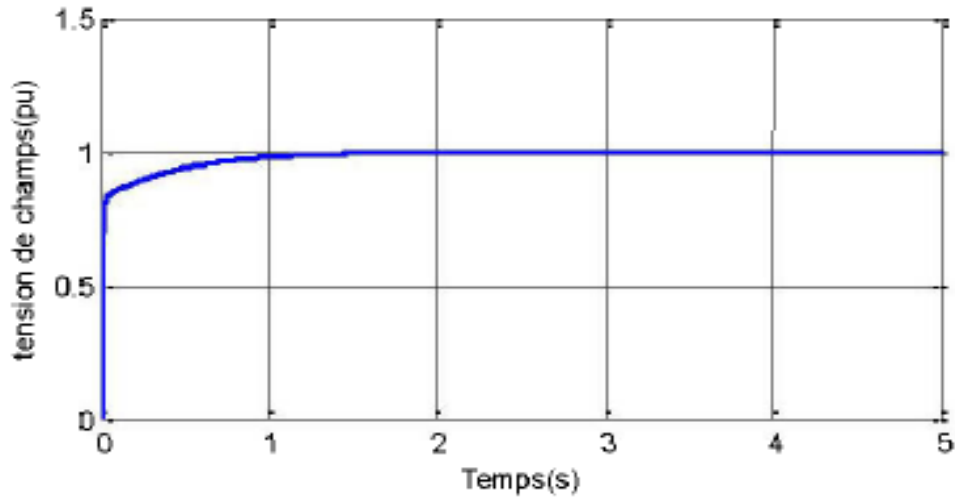


Figure3.2 : Tension sortie excitatrice

3.2.2 Régulation de la tension de sortie de la génératrice synchrone

La sortie de l'AVR dépend uniquement de la tension terminale. Il agit sur l'excitatrice du générateur afin de maintenir la tension terminale constante [15]. Les génératrices Synchrones sont évaluées en fonction de la sortie MVA maximale à une tension et un facteur de puissance spécifiés qu'elles peuvent supporter en continu sans surchauffe.

La sortie de puissance active est limitée par la capacité du moteur principal à une valeur comprise dans la valeur MVA. La capacité de sortie de puissance de réaction continue est limitée par trois considérations : limite de courant d'induit, limite de courant de champ et limite de chauffage de zone d'extrémité. L'une des limitations de la puissance nominale de la génératrice est le courant maximum qui peut être transporté par l'induit sans dépasser les limites de chauffage.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

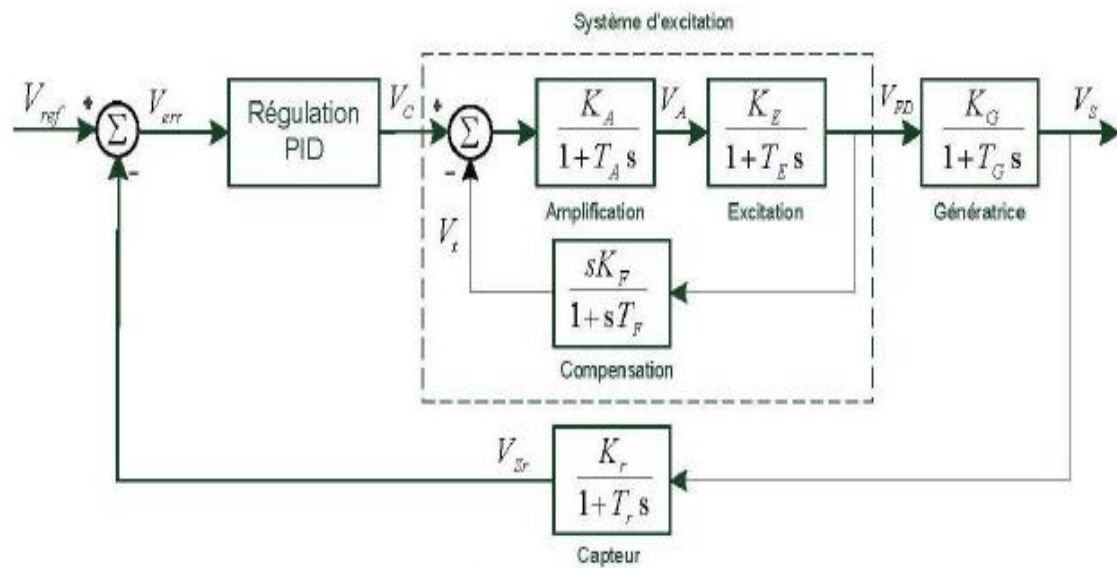


Figure3.3.Régulation de la tension génératrice V_s .

Avec :

$\frac{K_r}{1+T_r s}$: Fonction de transfert capteur.

$\frac{K_G}{1+T_G s}$: Fonction de transfert Générateur.

Les variations des tensions de sortie VFD et V_s sont données comme suit :

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

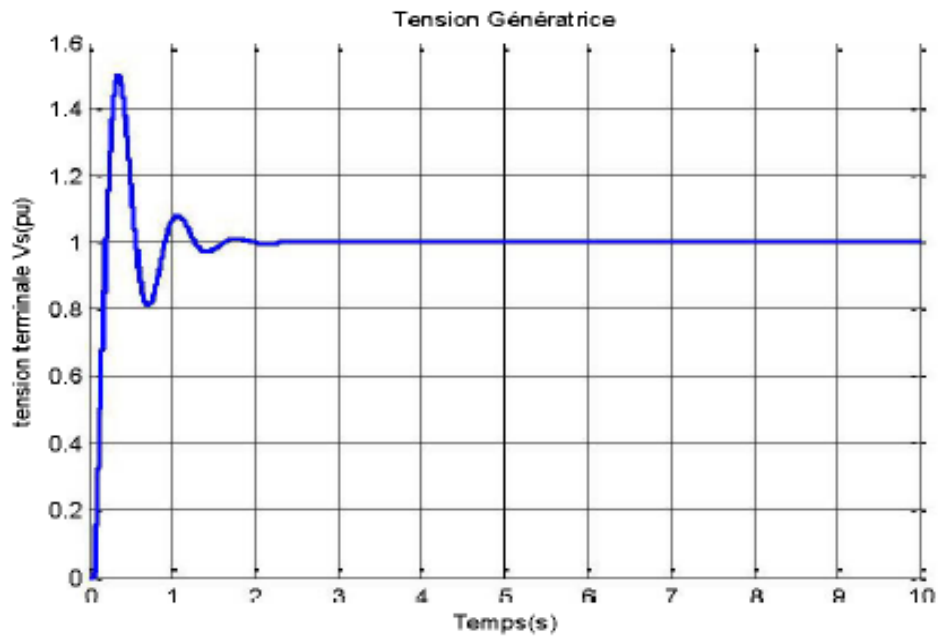


Figure 3.4. Tension finale de la sortie génératrice V_s .

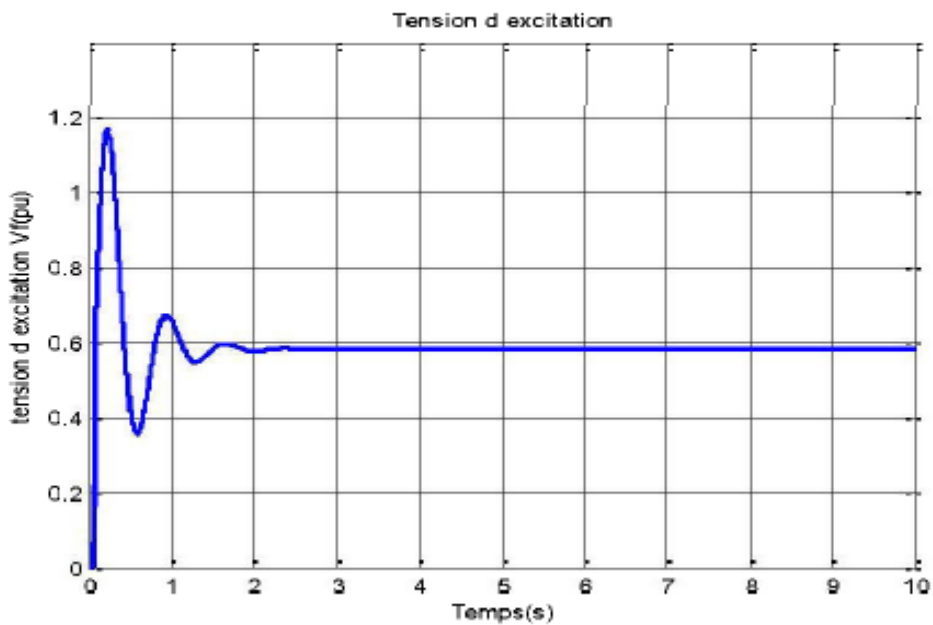


Figure 3.5. Tension d'excitation correspondante VFD .

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

- Remarque

- Réponse concordante entre la tension génératrice V_s et la tension d'excitation VFD (Figure 3.4) et (Figure 3.5).
- La régulation par PID classique utilisée révèle quelques dépassements, une bonne précision et une rapidité de réponse satisfaisante (Figure 3.4).

3.2.3 Régulation de la vitesse

Le PID agit sur la position du vannage de la turbine en fonction de la variation de la vitesse par rapport à sa valeur nominale. Le statisme a pour rôle le partage de la charge totale du réseau entre différents générateurs s'il y a lieu. Il permet aussi d'assurer le bon fonctionnement de plusieurs turbines dans un réseau électrique [15].

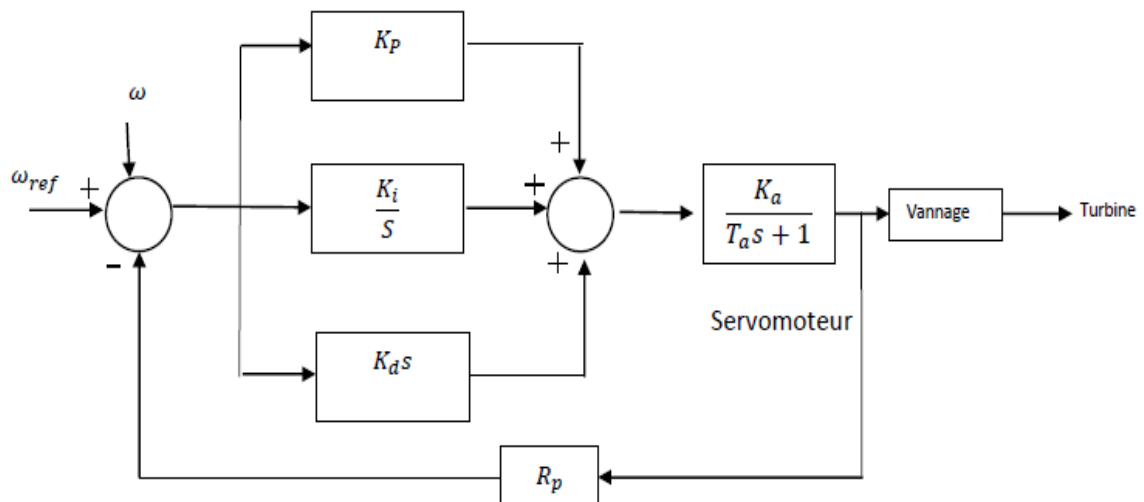


Figure 3.6. Schéma bloc régulation de la vitesse.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

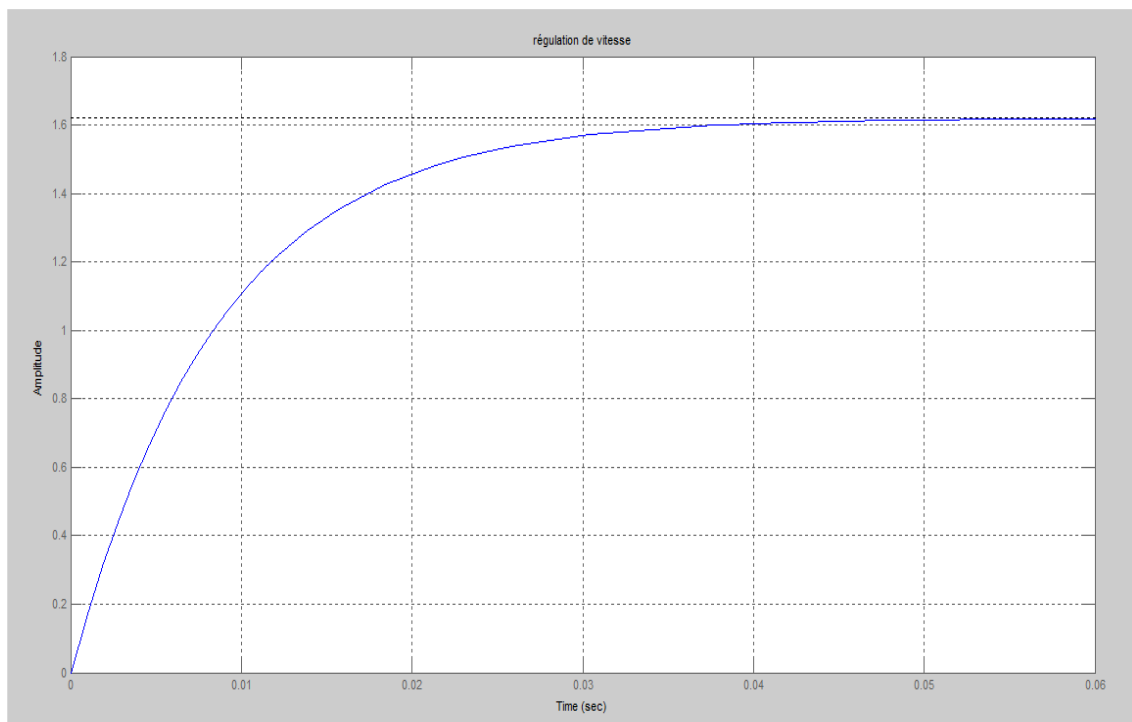


Figure 3.7. Régulation de vitesse.

Avec :

$$K_p = 1 / (K_a \cdot R_p \cdot \tau_c) \quad (3.1)$$

τ_c : constante de temps.

K_p : le coefficient de proportionnalité de l'erreur.

K_a : le coefficient de proportionnalité de la somme des erreurs.

$$K_i = K_a \quad K_d = T_a \quad (3.2)$$

K_i : la correction Intégrale.

K_d : la correction dérivée.

$T_a \sim 0$

Le modèle du servomoteur est décrit par une fonction de transfert simple du premier ordre $\left(\frac{K_a}{1+TAS}\right)$ semblable à celle d'une électrovanne. Elle génère la vitesse de rotation de la turbine en commandant l'ouverture du vannage [15].

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

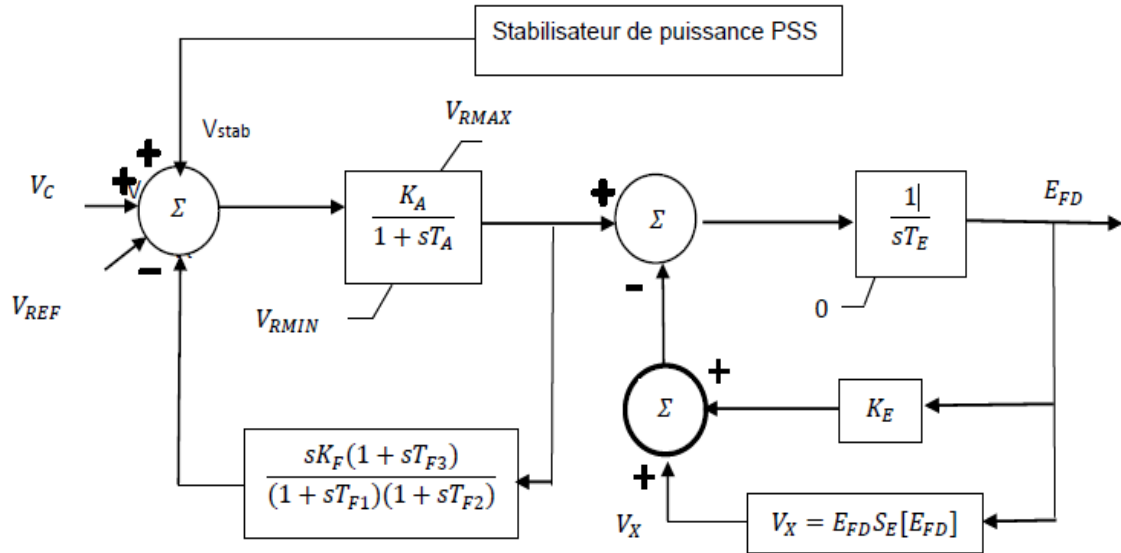


Figure 3.8. Régulation du système d'excitation du redresseur rotatif avec stabilisateur de puissance.

3.3 Rôle et action du régulateur

Le régulateur doit maintenir le turbo-alternateur à vitesse constante. Il devra donc, quand la puissance du réseau augmentera, augmenter le débit de gaz, pour maintenir la vitesse constante. Inversement, il devra diminuer le débit de gaz quand la puissance du réseau diminuera.

Le régulateur peut être hydraulique, mécanique ou électronique.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

3.4 Test et simulation à l'aide d'un programme sous MATLAB

3.4.1 Fonctionnement sans défaut d'excitation

Point de travail nominal" (MVA, MW, MVAR, cos) c'est la vraie référence pour la taille de turbine et alternateur. Ses MVA déterminent la taille du stator tandis que la taille du rotor est basée sur le courant d'excitation que lui correspond.

La configuration finale du diagramme de "capability" d'un turbo-groupe devient ainsi celle de l'image qu'il suit.

Tous les points de travail stables consentis au turbo-groupe (en parallèle), ils sont ceux-là seulement à l'intérieur de la zone verte.

La taille (en MW) de la turbine constitue la protection intrinsèque qui ne permet pas d'atteindre zones aux MW excessifs (ordonnés supérieurs aux MW du point nominal). Au contraire, les empiètements latéraux (à droite et à gauche dans le "capability" du turbo-groupe, ils sont empêchés par les protections électroniques contenues dans le système d'excitation [12].

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

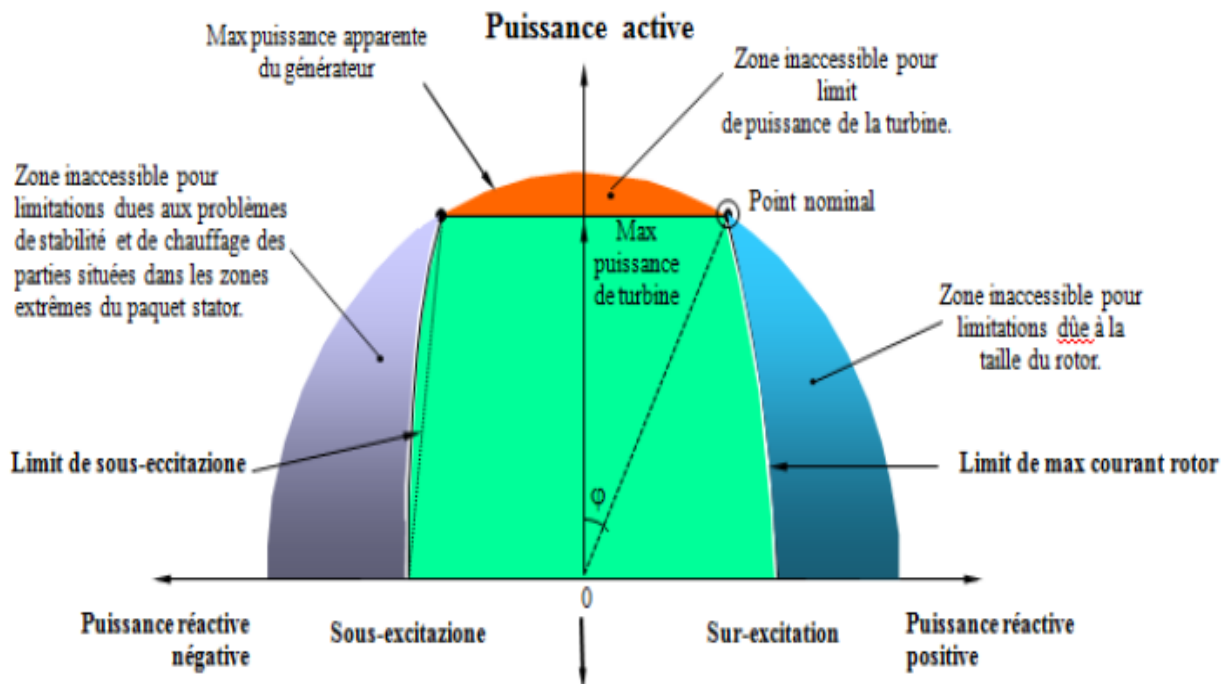


Figure 3.9. Diagramme de capability générateur

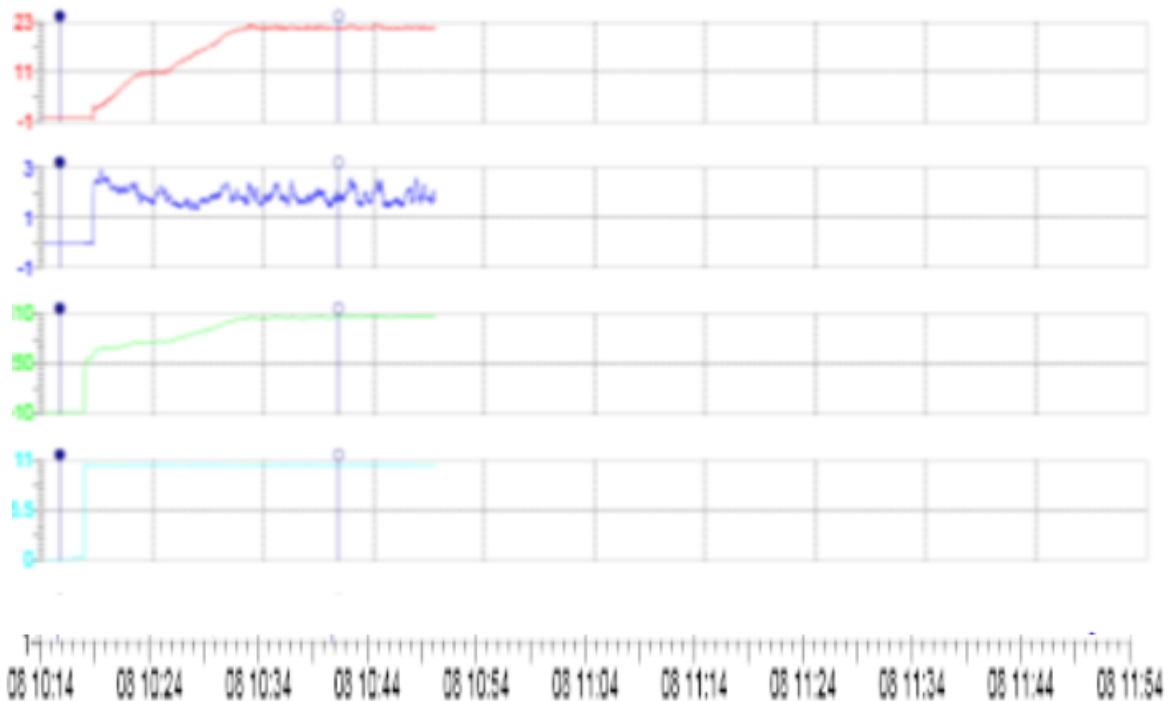


Figure 3.10. Les paramètres essentiels de sortie alternateur, avant le couplage au réseau et après le couplage, durée de trente-cinq (s).

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

Les paramètres sont :

Puissance active [MW] en rouge, puissance réactive [MVAR] en bleu, courant d'excitation(A) en vert, tension générateur [KV] en bleu clair.

D'après les courbes de la figure(**3.9**) nous constatons que le moment du couplage groupe la charge (en rouge) s'augmente progressivement et lentement,(2.4MW/min), mais la tension générateur (bleu claire) et le courant d'excitation augmentent rapidement, (5 sec)pour atteindre la valeur 10.8 KV, finalement les grandeurs sont stables comme suit :la puissance active 23 MW, la puissance réactive entre 2 et 3 MVAR, courant d'excitation 510 A, la tension sortie générateur 11 KV.

3.4.1.1 Le fonctionnement à vide

En marche à vide, le courant statorique d'un alternateur est nul. L'intensité du courant d'excitation alimentent le circuit de rotor depuis une source extérieure à courant continu peut être réglée dans les limites de zéro à une certaine valeur maximale. Cela permet de faire varier le flux magnétique inducteur dans la large limite, c'est-à-dire d'obtenir les valeurs différentes de la F.E.M du stator, parce que cette F.E.M est proportionnelle au flux magnétique du rotor, cherchons la variation de la F.E.M en fonction du courant d'excitation en marche à vide lorsque le circuit du stator est ouvert[24].

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

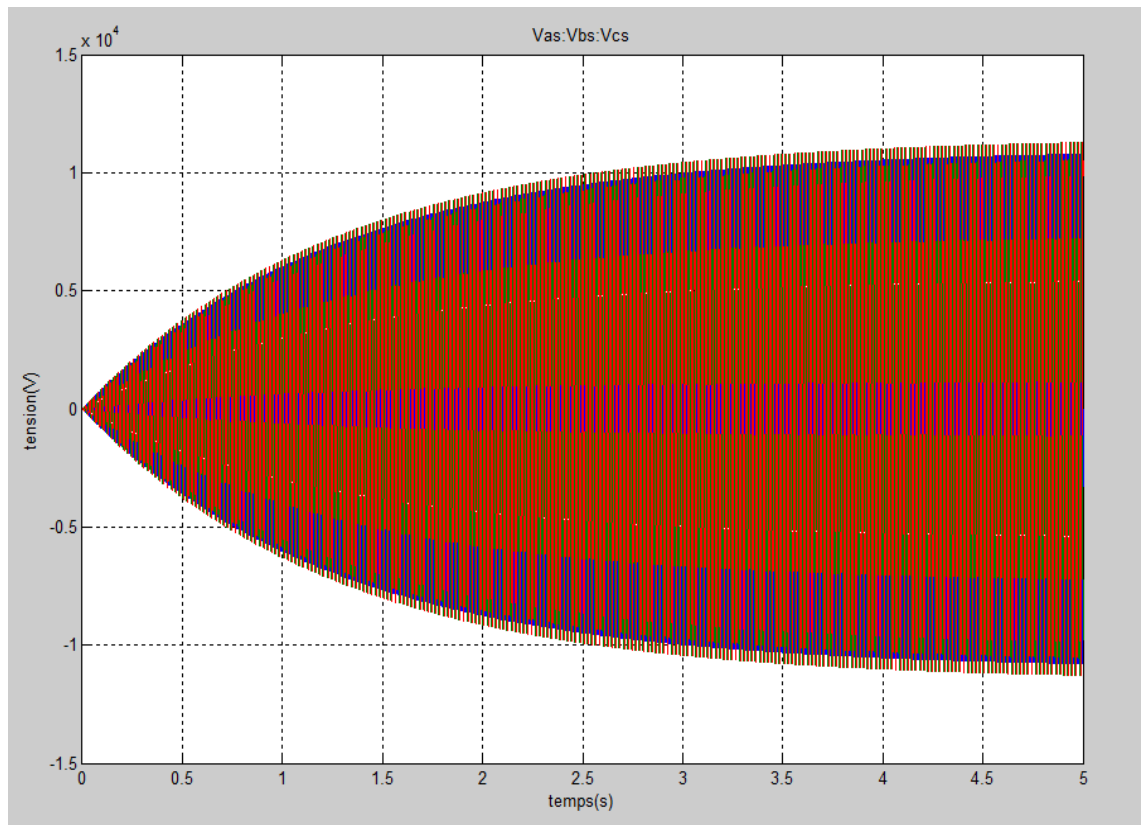


Figure 3.11. Tension statorique à vide.

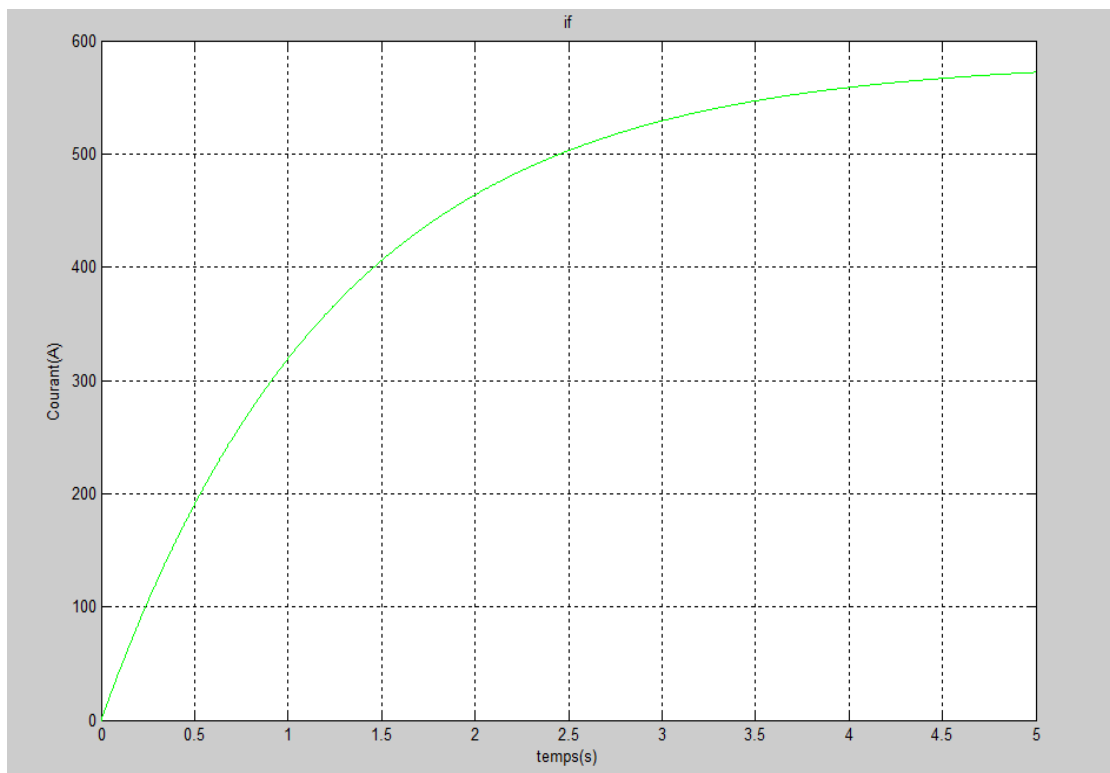


Figure 3.12. Courant d'excitation à vide.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

D'après les figures (3.10) et (3.11) on constate que la tension statorique dépend du courant d'excitation.

Lorsque le courant d'excitation augmente la tension statorique augmente aussi.

Si la tension atteint 10.5KV, l'excitatrice se stabilise. Car le régulateur de tension automatique AVR a pour consigne une tension de 10.5 KV qui constitue la consigne.

3.4.1.2 Le fonctionnement en charge

Nous réalisons bien une mise en parallèle. Il va de soi que nous devons respecter les grandeurs existantes du réseau comme la fréquence et la valeur de la tension. Il est illusoire de penser à modifier ces dernières. Pour ajuster la fréquence il nous suffira de jouer sur la vitesse du moteur d'entraînement et pour la tension il nous faudra jouer sur la valeur du courant d'excitation. Coupler un alternateur sur un réseau signifie simplement que l'on couple deux alternateurs ou plus en parallèle. En effet, comme le réseau est lui-même alimenté par un alternateur, dans une centrale, et que nous, nous envisageons également d'alimenter le réseau [24].

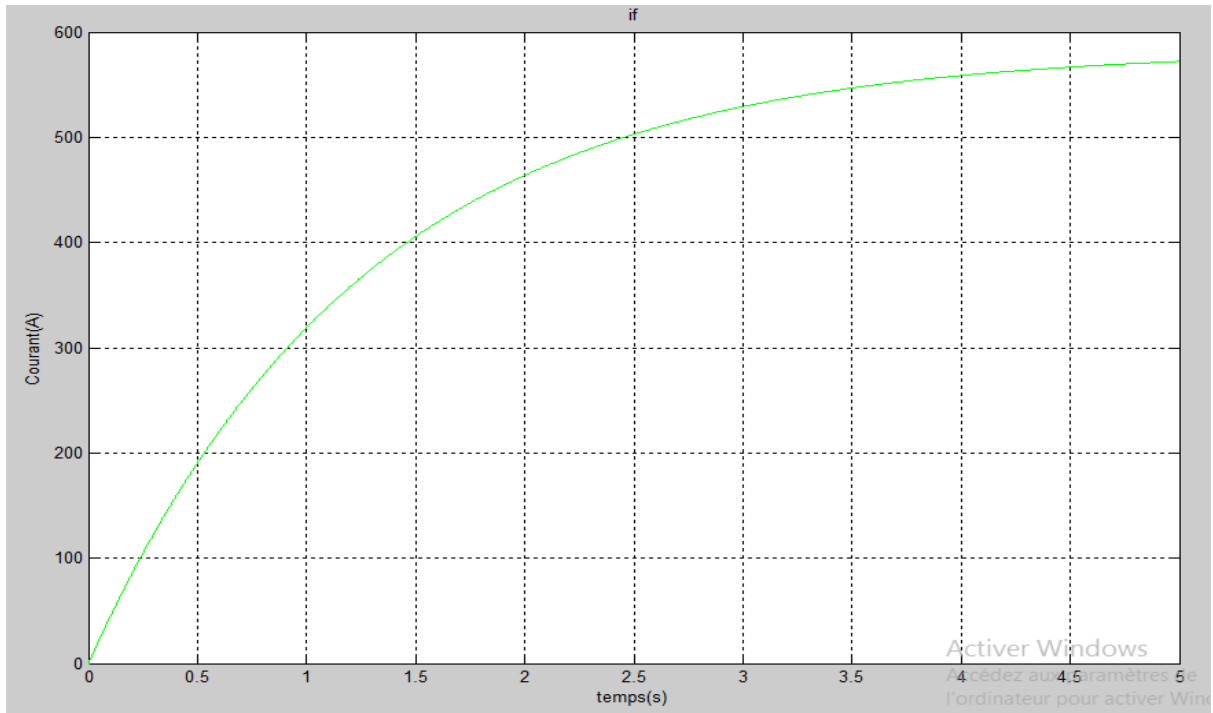


Figure 3.13. Courant d'excitation

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

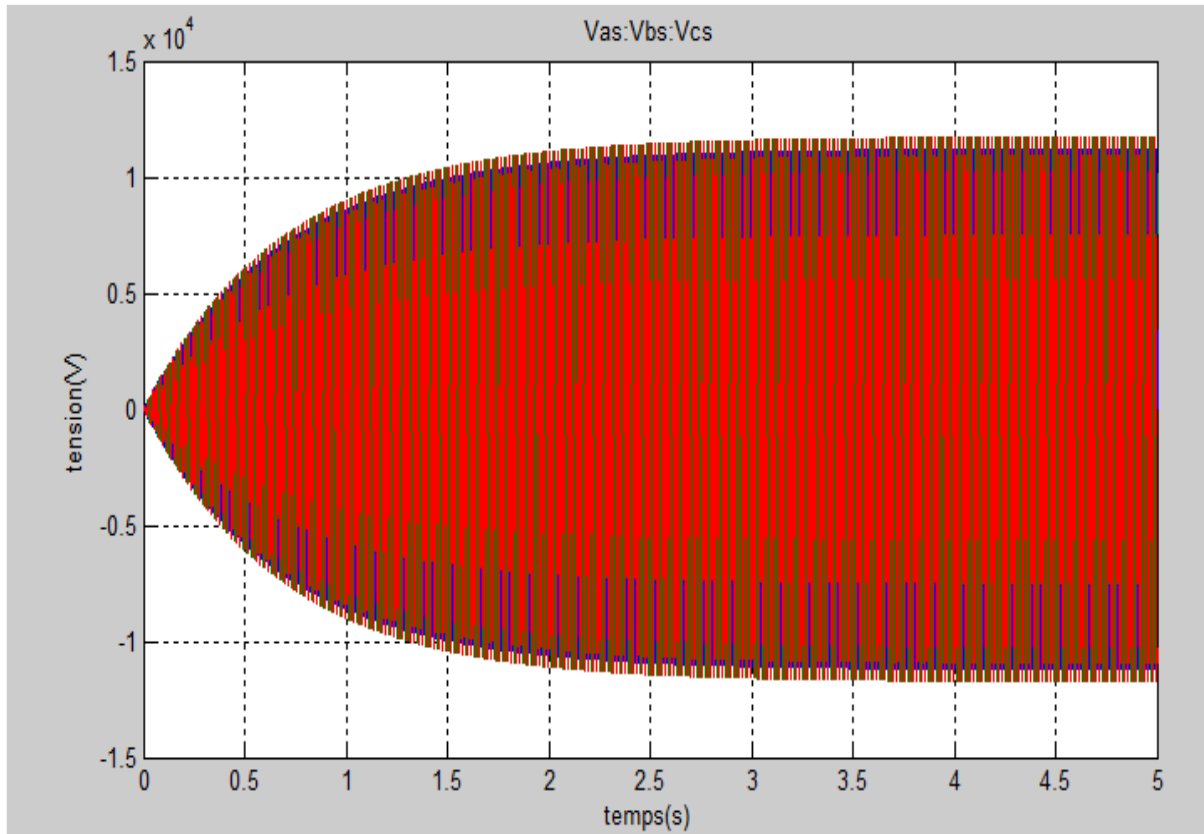


Figure 3.14. Tensions statorique.

D'après les figures (3.12) et (3.13) : on constate que l'augmentation et la stabilisation de la tension dépend de l'augmentation du courant d'excitation.

Dans l'intervalle :

[0s-2s] : la tension statorique augmente selon l'augmentation de courant d'excitation.-

[2s-5s]:la tension se stabilise selon la stabilisation du courant d'excitation.

Tel que l'image de régulateur automatique est donnée par le paramètre de courant d'excitation.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

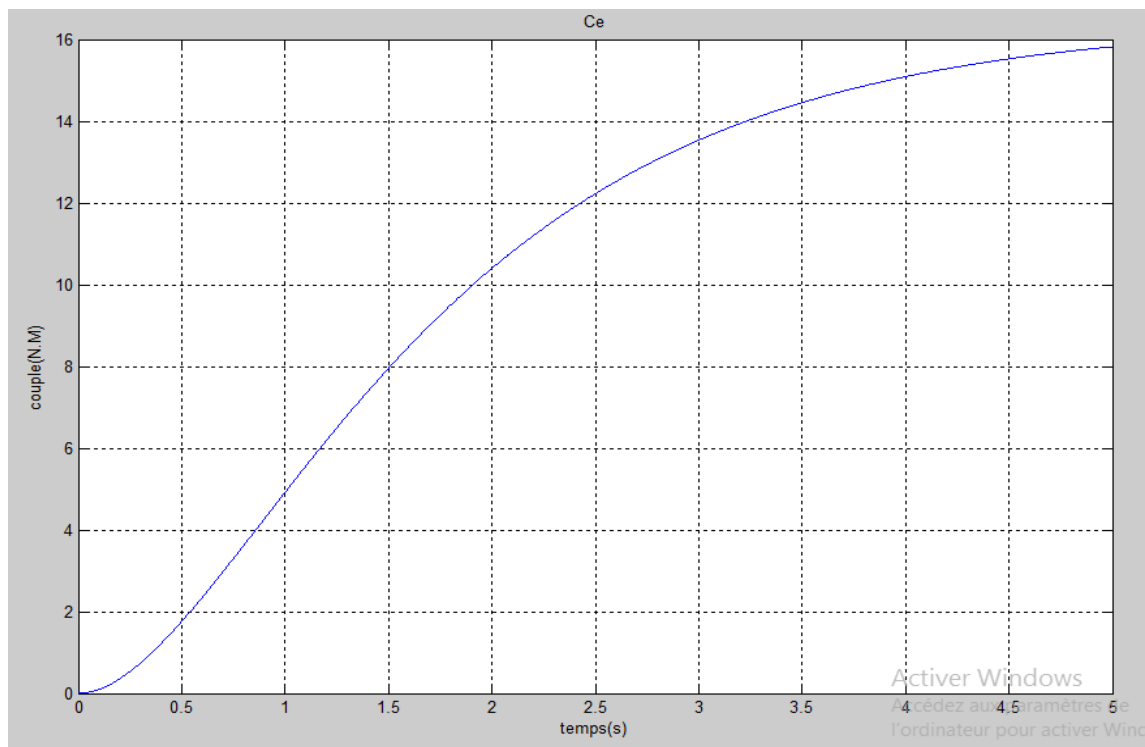


Figure 3.15. Couple de l'alternateur

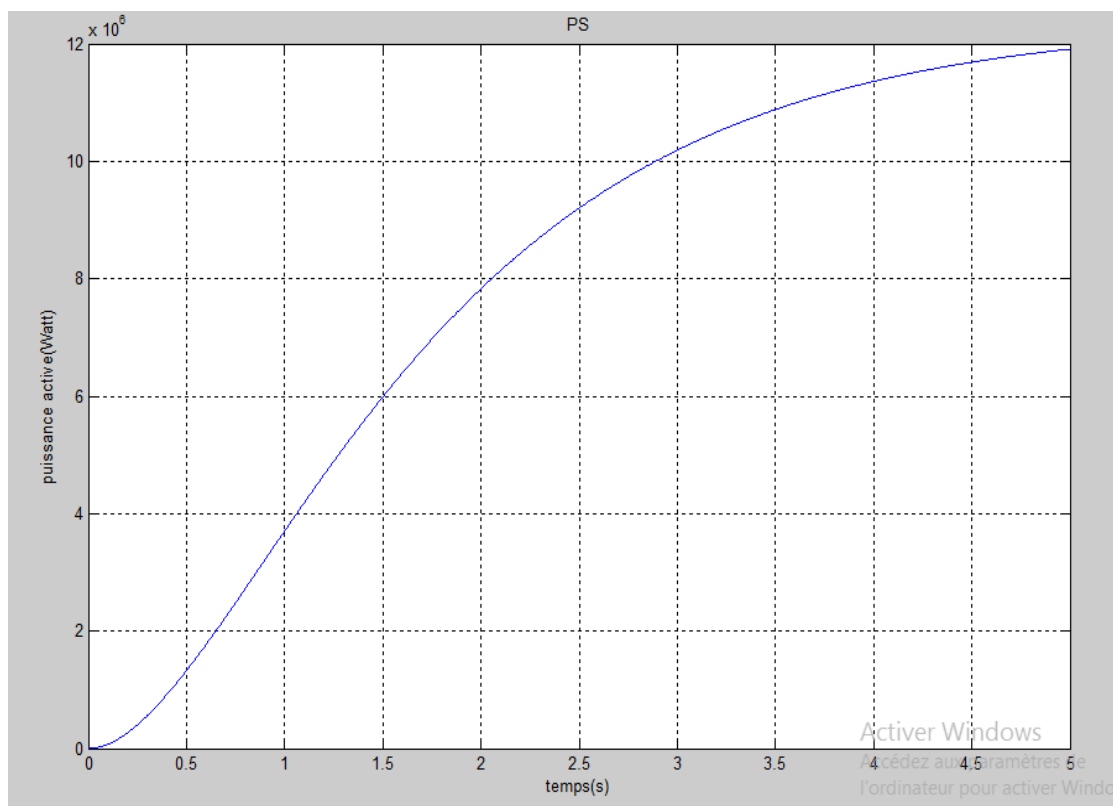


Figure 3.16. Puissance active

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

La figure (3.15) présente la puissance active dans les dix second après couplage du groupe au réseau, se stabilise à la valeur de 20,5 MW.

D'après la figure (3.14) et la figure (3.15) on remarque que le stator d'une machine fournira au réseau auquel il est raccordé une énergie électrique lorsque on fournit au rotor un couple mécanique, pour augmenter la puissance active on doit augmenter le couple mécanique, car la tension dans un fonctionnement en charge est stable.

$$C_e = P / \Omega \quad (3.3)$$

Si le groupe doit fournir au réseau une forte quantité d'énergie, la turbine doit produire hauts couples motrices à l'axe.

Le flux dans la machine doit être très robuste pour que les hauts couples appliqués au rotor permettent de "traîner" l'aimant statorique.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

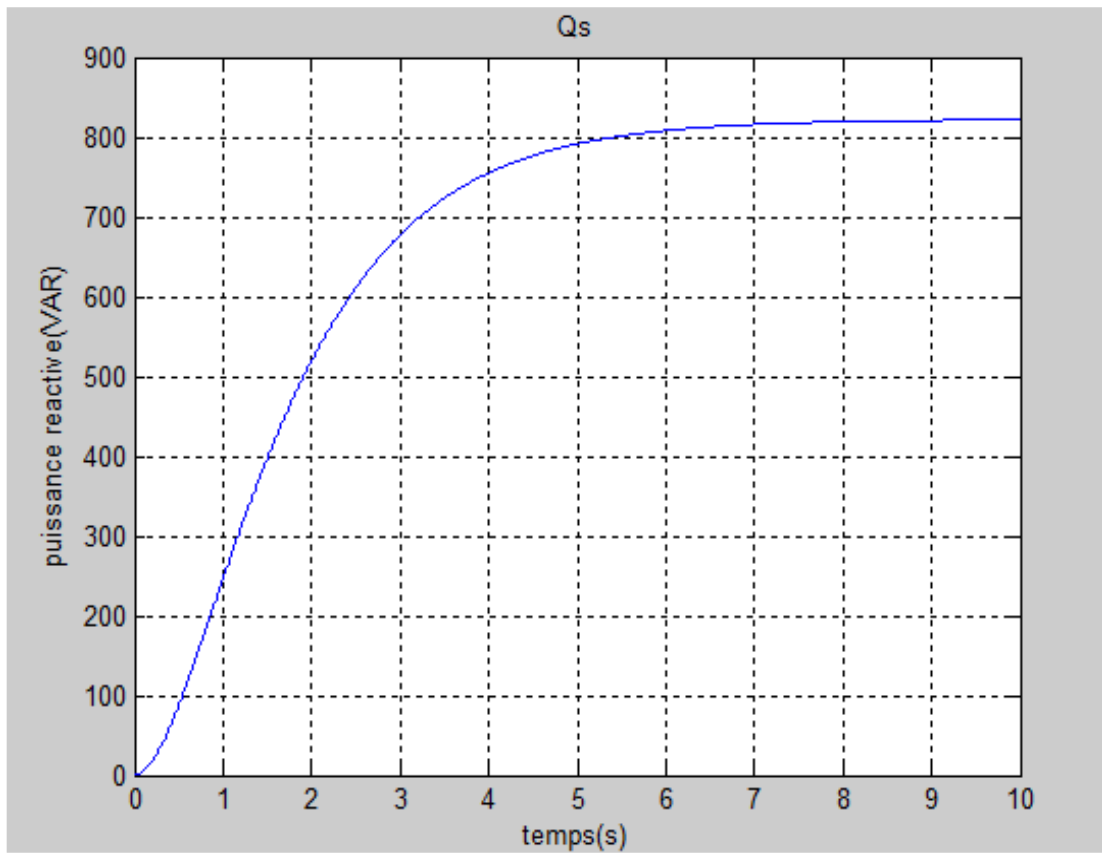


Figure 3.17. Puissance réactive

La figure (3.16) présente l'image de la puissance réactive dans la durée de dix seconde après le couplage du groupe au réseau.

La régulation de la puissance réactive Q se réalise à travers l'anneau de régulation de la tension statorique, par qui, en contrôlant le courant d'excitation.

On va changer la puissance réactive que le générateur échange avec la charge ce type de régulation est maintenu constant en maintenant constant la dénivellation entre la tension intérieure ' E_i ' et la tension de réseau $V_{\text{réseau}}$.

En pratique il se constitue un anneau de régulation qui compare la référence de Q avec la puissance réactive réelle actuellement délivrée par la machine : l'erreur éventuelle corrige la référence de l'anneau de tension pour faire modifier l' E_i de manière à faire produire au générateur une $Q = E_i - V_{\text{réseau}}$ égale à la référence Q choisie.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

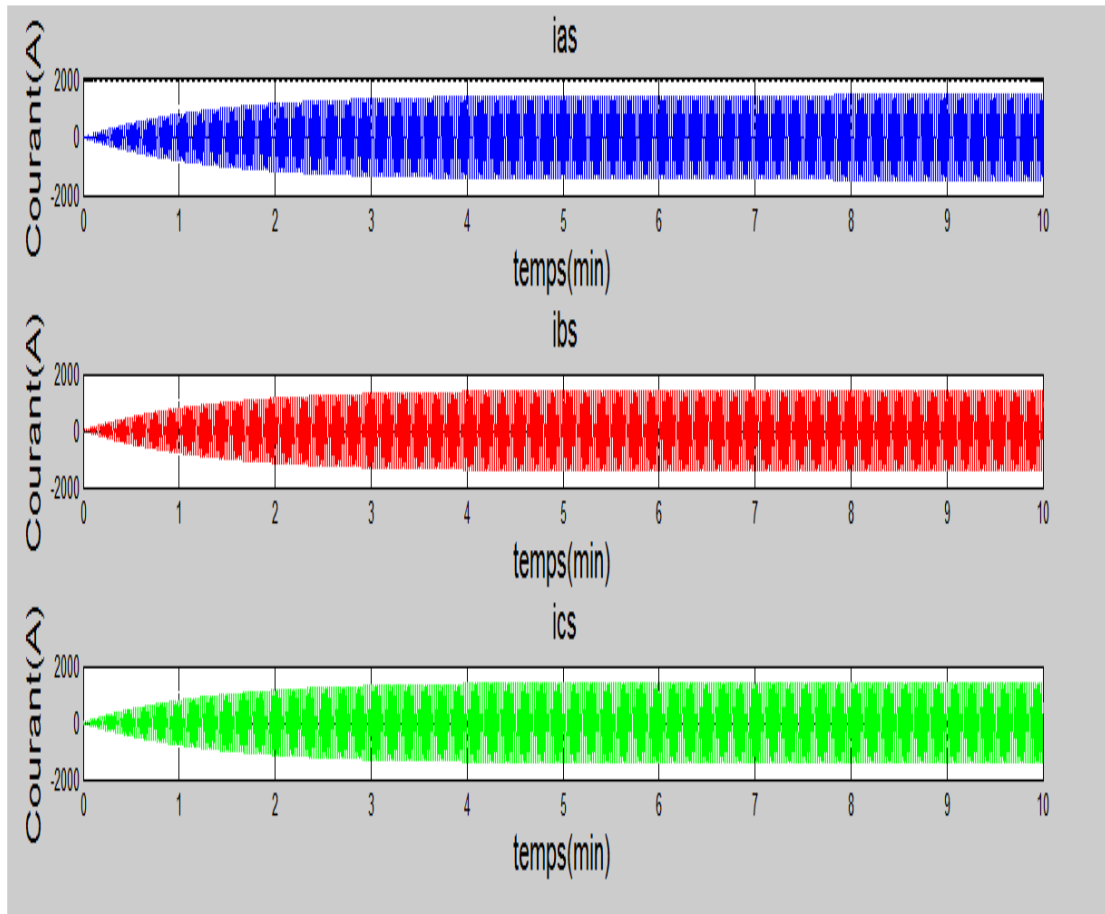


Figure 3.18. Courants de sortie générateur de chaque phase.

La **figure (3.17)** présente l'augmentation et la stabilisation des courants de sorties générateur, tel que cette augmentation dépend de l'augmentation de la puissance active selon la demande de consommation.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

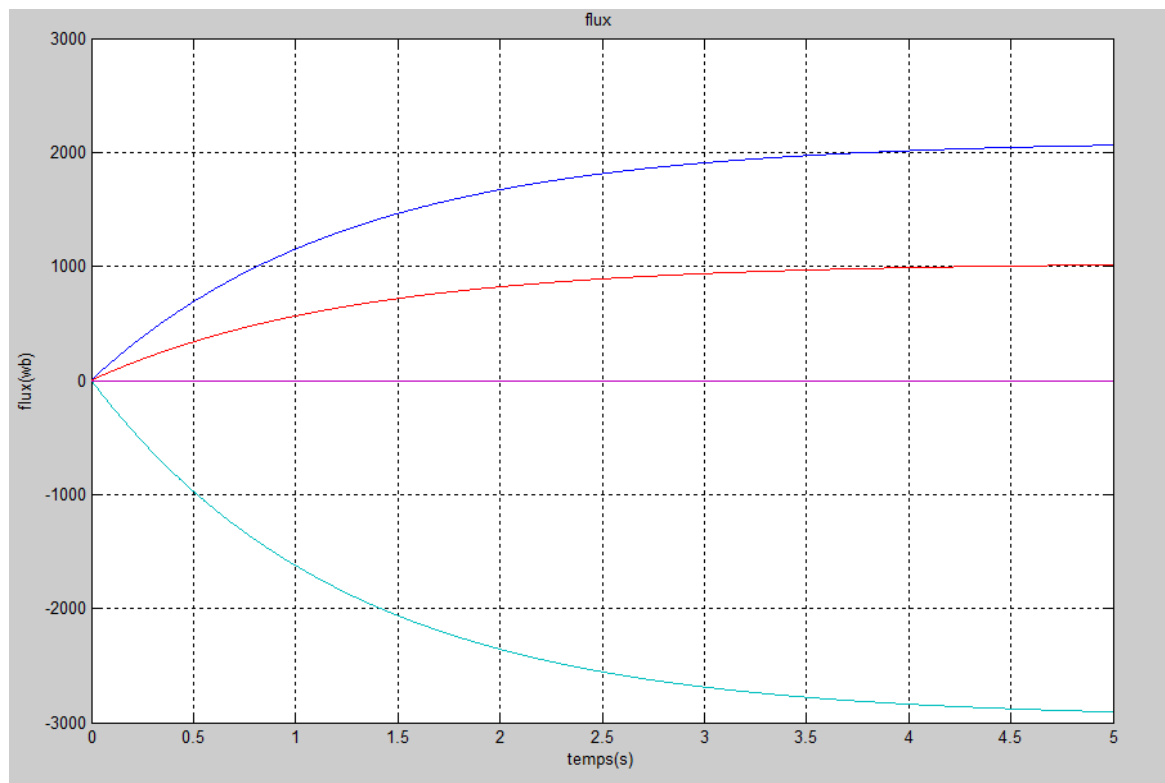


Figure 3.19. Le flux magnétique.

Dans un fonctionnement en charge, on a une circulation de courant (labcs) .ce dernier donne l'image de flux magnétique.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

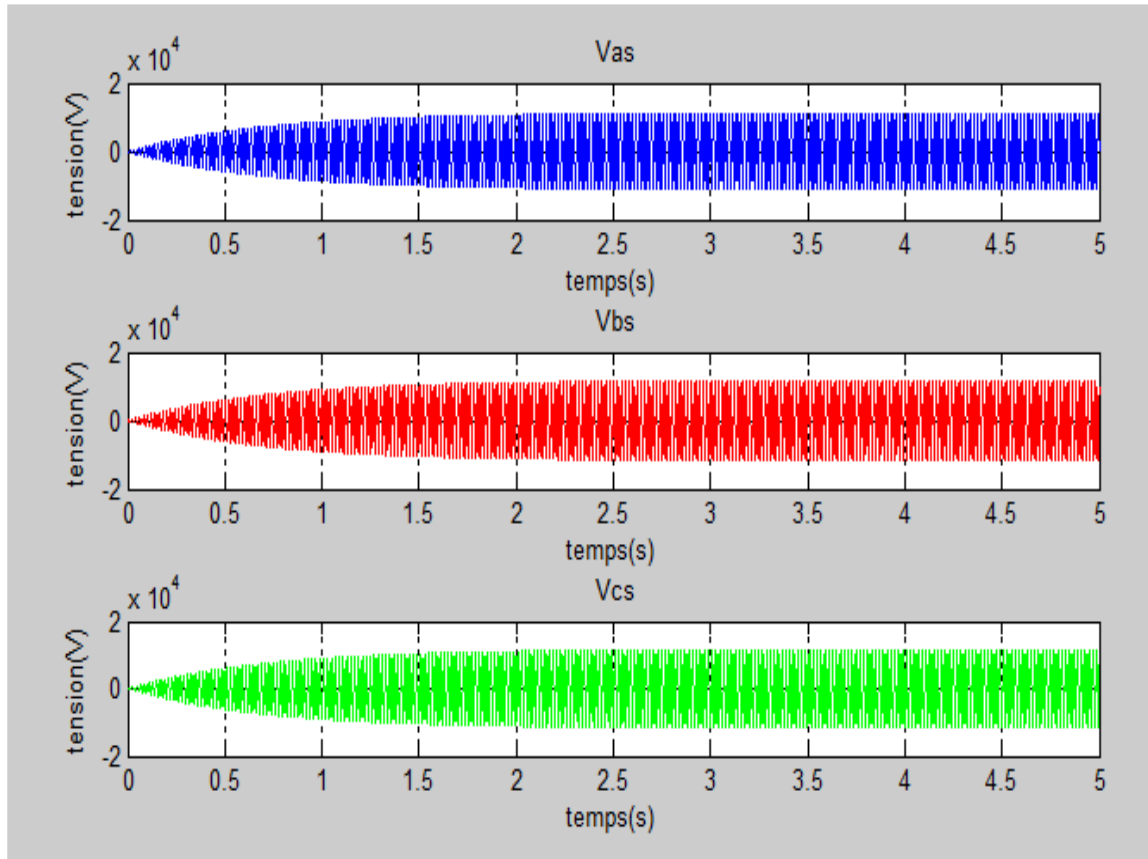


Figure 3.20. Tension de sortie dans les trois phases.

D'après les résultats des essais de **figure (3.9)** et les résultats de simulation sans défaut des **figure (3.12)**, **figure (3.13)**, **figure (3.14)**, **figure (3.15)**, **figure (3.16)**, **figure (3.17)**, **figure (3.18)**, **figure (3.19)** nous déduisons :

Pour toutes les machines d'une même catégorie, l'observation des grandeurs sont des indicateurs de l'état de la machine : si nous observons une évolution de ces grandeurs, ou si elles sont différentes sur une seule machine de la catégorie, alors il s'est probablement produit un défaut.

Chapitre 3 Simulations et Régulation d'un turbo-alternateur

3.5 Conclusion

Le contrôle des grandeurs de sortie d'un groupe turbo-alternateur est donc obtenu par deux niveaux de régulations principales, soit les régulateurs de tension ou de vitesse. la Régulation de tension se fait automatique, " AVR" qui agit sur l'excitation, et la régulation de vitesse se fait par l'action sur le servomoteur de la vanne gaz, si le groupe raccordé sur le réseau, ajoutant régulateur de puissance au système d'excitation afin d'amortir les oscillations de puissances.

Le travail présenté dans ce rapport consiste à modéliser et à simuler le fonctionnement d'une turbine raccordée au réseau et à confronter les résultats de la simulation au comportement de la machine réelle, Nous avons traité l'essai et la simulation d'une machine synchrone rotor lisse, excitation « brushless » à puissance 32MVA couplé au réseau dans le cas sain, nous avons établi l'influence de l'excitation sur les grandeurs de sortie et sur le comportement de la machine.

Conclusion générale

Le stage effectué à la centrale de production électrique (**SPE**) qui fait partie de la SONALAGAZ, nous a permis de découvrir le domaine de la production d'électricité, et d'acquérir des notions sur le plan professionnel.

Notre projet d'étude vise particulièrement sur le simulateur d'un alternateur à grande puissance afin de comprendre le fonctionnement d'un système électro énergétique d'un groupe Turbo-alternateur, ses propriétés, de maintenir la production de l'énergie électrique sans interruption et la continuité de service pour les consommateurs, le système d'excitation opère un rôle très important dans un alternateur, entre assurance de la protection des éléments du générateur et amélioration des performances dynamiques de l'ensemble. Notre travail a visé cet important élément, traitant alors sa modélisation, et l'optimisation de leurs paramètres de régulation.

La modélisation du turboalternateur permet de remplacer l'objet physique coûteux et peut être utilisé comme un outil de simulation comme le montré dans notre travail, le modèle extrait est un système triphasé et pour simplifier ce dernier, nous avons utilisé la transformation de Park pour le convertir vers un système biphasé. Ce modèle est validé par des tests de simulation à vide et en charge par l'utilisation du logiciel MATLEB.

Les résultats de simulation de turboalternateur à vide montrent que la vitesse est stabilisée à une valeur constante avec la stabilisation de courant d'excitation, et les tensions sont parfaitement sinusoïdales dans le régime permanent mais les résultats de simulation de turboalternateur en charge illustrent que la vitesse mécanique augmente avec l'augmentation du couple moteur et la même chose pour les tensions et les courants, c'est-à-dire, la puissance électrique est de fonction directe avec la puissance mécanique. Dans les travaux futurs, il est aussi important d'étudier et évaluer la sûreté de fonctionnement du turboalternateur (fiabilité, sécurité et disponibilité) qui peuvent aider à déterminer et améliorer le niveau de maintenance (par une proposition d'un plan de maintenance préventive).

Finalement nous pouvons conclure que ce type d'étude peut être généralisé à d'autres alternateurs, les applications de surveillance des générateurs pourraient être intéressantes, et la comparaison des résultats de simulation et des essais effectués sur le groupe illustre que l'approche était justifiée.