

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electrotechnique

En vue de l'obtention du diplôme

*Master Professionnel en génie électrique
Option: Electrotechnique Industrielle*

Thème

**Protection électrique d'un alternateur
de la centrale thermique de Bab Ezzouar**

Proposé par :

Mr: HANAIZI Mohand
Ouidir

(SONELGAZ)

Dirigé par :

Mr: KHALDI R

Réalisé par :

Mr: GUEMAR SAID

Mr: GUEROUAZ EL MADJID

Promotion 2012-2013

Remerciements

Nous remercions Dieu qui nous a donné force et volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nos vifs remerciements vont à notre promoteur M_R KHALDI qui a accepté de nous encadrer et de nous orienter ainsi que « Mr HANAIZI MOHAND OUIDIR » qui nous a encadrés durant la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Grand merci à tout le personnel de la centrale de Bab Ezzouar.

Nous sommes aussi reconnaissants envers tous les enseignants qui ont contribué à notre réussite.

Nos remerciements vont aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Nos parents qui nous ont soutenus de toutes leurs forces et par tous les Moyens.



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- Mes chers parents.
- Mes frères et mes sœurs.
- Mes collègues de la section.
- Tout mes amis.

SAID

Je dédie ce travail à :

- Mes chers parents.
- Mes frères et mes sœurs.
- Mes collègues de la section.
- Tout mes amis

MADJID

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation de la centrale de Bab Ezzouar	
I.1 INTRODUCTION.....	3
I.2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE (SONELGAZ)	3
I.2.1 Création de l'entreprise.....	3
I.2.2 Les structures de l'entreprise	3
I.2.3 présentation de la centrale turbine à gaz de bab ezzouar.....	4
I.2.3.1 Présentation	4
I.2.3.2 Historique de la centrale.....	5
I.2.3.3 Constitution d'un groupe.....	5
I.3. Présentation des différents blocs d'un groupe	7
I.3.1 Bloc de lancement	7
I.3.1.1 Moteur de lancement	7
I.3.1.2 Coupleur hydraulique	8
I.3.1.3 Fonctionnement du bloc.....	8
I.3.2 Bloc Alternateur	9
I.3.2.1 Alternateur	9
I.3.2.2 Excitatrice	10
I.3.3 Bloc Réducteur	10
I.3.3.1 Réducteur de vitesse.....	10
I.3.3.2 Vireur	10
I.3.4 Bloc thermique.....	11
I.3.4.1 Compresseur	11
I.3.4.2 Chambre de combustion	12
I.3.4.3 Turbine.....	12
I.3.5 Echappement	13
I.3.6 Bloc d'aspiration	14
I.4. Présentation des Auxiliaires de la centrale.....	15

I.4.1 Réseau incendie.....	15
I.4.2 Poste gaz.....	15
I.4.3 Bac fuel.....	16
I.4.4 Groupe diesel de secours.....	16
I.4.5 Transformateur principal.....	17
I.4.6 Transformateur auxiliaire.....	18
I.5. Conclusion.....	19

Chapitre II : L'ALTERNATEUR DE LA CENTRALE

II.1 INTRODUCTION.....	20
II.2 Description générale.....	20
II.3 Schéma de coupe d'un alternateur de la centrale.....	21
II.4 Construction du stator.....	22
II.5 Construction du rotor.....	24
II.6 Circuit de réfrigération.....	25
II.7 Caractéristique à vide et en court-circuit.....	27
II.8 Principe de fonctionnement.....	28
II.9 Système d'excitation (Excitatrice).....	29
II.9.1 Excitatrice pilote (auxiliaire).....	30
II.9.2 Excitatrice Principale.....	30
II.10 Régulation des paramètres alternateur.....	31
II.10.1 Régulation de tension.....	31
II.10.2 Régulation de fréquence.....	32
II.10.3 Régulation de vitesse.....	33
II.11 Couplage d'un alternateur au réseau.....	33
II.11.1 Condition de couplage.....	34
II.11.1.1 Même fréquence.....	34
II.11.1.2 Même tension.....	35
II.11.1.3 Même ordre de succession des phases des f.e.m.....	35
II.12. Conclusion.....	35

Chapitre III : LES DEFAUTS DE FONCTIONNEMENT

III.1 INTRODUCTION.....	36
III.2 Origine des défauts (interne, externe).....	36
III.2.1 Défauts d'origine interne.....	36
III.2.2 Défauts d'origine externe.....	37

III.3 Détection des défauts	39
III.4 Elimination des défauts	41
III.4.1 Défauts d'origine interne	41
III.4.2 Défauts d'origine externe	42
III.5 Conséquences sur les machines et le système électrique	43
III.6 CONCLUSION	45

Chapitre IV : LES PROTECTIONS DE L'ALTERNATEUR

IV.1 INTRODUCTION	46
IV.2 Définition	46
IV.3 Grandeur physique utile pour la détection des défauts	46
IV.4 Rôle des protections électriques	47
IV.5 Qualité que doit présenter un système de protection	47
IV.6 Structure d'un dispositif de protection.....	48
IV.6.1 Dispositif de protection	48
IV.6.2 Définition d'un relais	48
IV.6.3 Désignation d'un relais.....	48
IV.6.4 Construction d'un relais	48
IV.6.4.1 Relais électromagnétiques	48
IV.6.4.2 Relais statique	49
IV.6.4.3 Relais thermique	49
IV.7 Alimentation des dispositifs de protection	49
IV.8 Différentes protections électriques d'un alternateur.....	50
IV.8.1 Protection différentielle.....	50
IV.8.2 Protection déséquilibre.....	50
IV.8.3 Protection masse stator.....	50
IV.8.4 Protection masse rotor.....	50
IV.8.5 Protection retour de puissance	51
IV.8.6 Protection surcharges	51
IV.8.7 Protection mini de fréquence.....	51
IV.8.8 Protection contre les surtensions (maximum de tension).....	51
IV.8.9 Protection contre les surintensités.....	52
IV.8.10 Protection défaut d'excitation.....	52
IV.8.11 Protection incendie.....	52
IV.9 Réglages et actions des relais de protection de l'alternateur	52

IV.10 Schéma simplifié de protection d'un alternateur de Bab Ezzouar	53
IV.11 Contrôle des protections électriques de la centrale de Bab Ezzouar	54
IV.11.1 Relais de protection à Maximum de tension	55
IV.11.2 Relais de protection à maximum de courant	57
IV.12 CONCLUSION	59
Conclusion générale	60
Bibliographie	

Introduction générale

Les sources d'énergies naturelles sont transformables en énergies électriques par différents procédés, on cite ; Les Centrales nucléaires, Hydrauliques, Thermiques à vapeur, Thermiques à gaz, les groupes électrogènes (les diesels) et autres centrales à technologie d'énergie nouvelle (Solaires – éolienne etc...).

Les alternateurs de production électrique peuvent comme tous les appareils industriels être affectés de défauts de fonctionnement. Ces défauts les rendent en général inapte à plus ou moins long terme, à assurer leur service, et perturbent le fonctionnement d'autres matériels. Les défauts ainsi que les conditions anormales de fonctionnement, doivent donc être détectés le plus rapidement possible et éviter de provoquer la déconnexion électrique entre la machine et le réseau auquel elle est raccordée.

L'alternateur est un organe vital d'un réseau d'énergie électrique. Pour définir les dispositifs de protection d'un alternateur, il est nécessaire de considérer l'ensemble fonctionnel qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Cette transformation peut être affectée par des incidents qui risquent par leurs répétitions et leurs durées, être préjudiciables aux enroulements de l'alternateur.

Le but de ces dispositifs de protection est de détecter ces incidents de les localiser ou de signaler leur persistance et de donner automatiquement des ordres nécessaires afin de séparer les parties défectueuses des parties saines, permettant aussi la remise en état et la reprise rapide du service normal après une panne.

Les travaux effectués à la centrale de BAB EZZOUAR tel que l'étalonnage des appareils de protection, essais périodiques, essais avec simulation de panne etc. sont basés essentiellement autour des dispositifs de protection de l'alternateur équipant cette centrale.

Dans notre travail, on s'intéresse particulièrement aux essais de ces dispositifs de protection, afin de vérifier leur fiabilités et les réglages nécessaires du point de vue temporisation et temps de réponse ainsi que les valeurs des paramètres à ne pas dépasser.

Pour se faire on subdivise notre travail en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre on fait une présentation de la centrale de Bab Ezzouar.

Dans le deuxième chapitre nous présenterons l'alternateur de la centrale.

Nous aborderons ensuite dans le troisième chapitre les défauts de fonctionnement.

Le dernier chapitre est sera consacré aux protections de l'alternateur.

Enfin on termine notre travail par une conclusion générale.

I.1 INTRODUCTION :

L'électricité est le premier facteur pour bâtir une civilisation basée sur des pionniers tel que la technologie, l'industrie, l'informatique et d'autres domaines.

Et par ses lettres de noblesse, son utilité et son efficacité, elle est devenue l'élément de référence et le critère fondamental pour mesurer le développement d'un pays.

L'énergie électrique est produite dans des centrales de productions par différents principes, on cite :

Centrales hydraulique – Centrales nucléaire – Centrales thermique – Centrale d'énergie nouvelle (Solaire –éolienne etc.....)

L'exploitation de cette énergie exige l'élaboration d'un processus qui lui même exige un ensemble d'équipements et des dispositifs, qui seront groupés d'une façon à assurer la transformation et le maintien de la production.

La conjoncture économique mondiale qui s'écrit actuellement vient d'éveiller tous les pays pour une gestion rigoureuse de leurs ressources, des activités en particuliers dans les pays de tiers monde.

La maintenance des équipements de productions est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits.

I.2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE (SONELGAZ) :**I.2.1 Création de l'entreprise :**

La société nationale de l'électricité et du gaz par abréviation SONELGAZ à été créée le 28 Juillet 1969 suite à la dissolution de l'électricité et du gaz Algérien EGA.

Lors de sa création, cette entreprise était considérée comme entreprise publique (EPE) jusqu'au 14 Décembre 1991. Elle est ensuite transformée de la nature juridique de l'EPE en établissement public à caractère industriel EPIC SONELGAZ. [4]

I.2.2 Les structures de l'entreprise :

La structure de la société à été articulée autour de sept directions opérationnelles fondamentales :

- Ø La direction de la production de l'électricité.

- ∅ La direction du transport de gaz.
- ∅ La direction de transport et mouvement d'énergie.
- ∅ La direction de la distribution de l'électricité et du gaz.
- ∅ La direction de l'engineering.
- ∅ La direction de la télécommunication.
- ∅ La direction de la recherche et développement.

Il existe autour de ces structures des directions reflétant les activités principales des directions de support

- ∅ La direction des ressources humaine.
- ∅ La direction des finances et du budget.
- ∅ La direction de l'administration générale.
- ∅ La direction des études économiques.
- ∅ La direction de l'organisation et de l'information.

I.2.3 présentation de la centrale à turbine à gaz de bab ezzouar :

I.2.3.1 Présentation :

La centrale turbine à gaz de BAB EZZOUAR à été parmi les premières à contribué et à faire face à la demande relativement importante. Cette évolution et croissance de l'énergie est relative au développement et l'élargissement de la capitale. [1]

I.2.3.2 Historique de la centrale :

La centrale de BAB EZZOUAR a été construite en mai 1977 et ça Par C.E.M « Compagnie Electromécanique de France » par visas du constructeur de l'équipement B.B.C « Brown Boveri Compagnie », cette centrale abrite 04 groupes de **type 9D2** dont la puissance unitaire est de 27MW « un total de 108MW ».

Au départ, elle avait un rôle stratégique de par sa situation dans une zone de consommation excessive, mais après la construction de la centrale turbine à vapeur de CAP-DJENET, BZC elle est devenue une centrale de réserve. [4]

Les premiers démarrages de chaque groupe à été comme suit :

Groupe N° 01 : 03 Juillet 1978

Groupe N° 02 : 05 Août 1978

Groupe N° 03 : 05 Juin 1978

Groupe N° 04 : 27 Septembre 1978

Le choix de SONELGAZ porte sur les turbines à gaz .Ce choix est basé essentiellement sur :

- Ø Coût d'investissement moins cher qu'une turbine à vapeur.
- Ø Exploitation simple.
- Ø Temps de démarrage rapide.
- Ø Maintenance simple et pas coûteuse.

I.2.3.3 Constitution d'un groupe : [2]

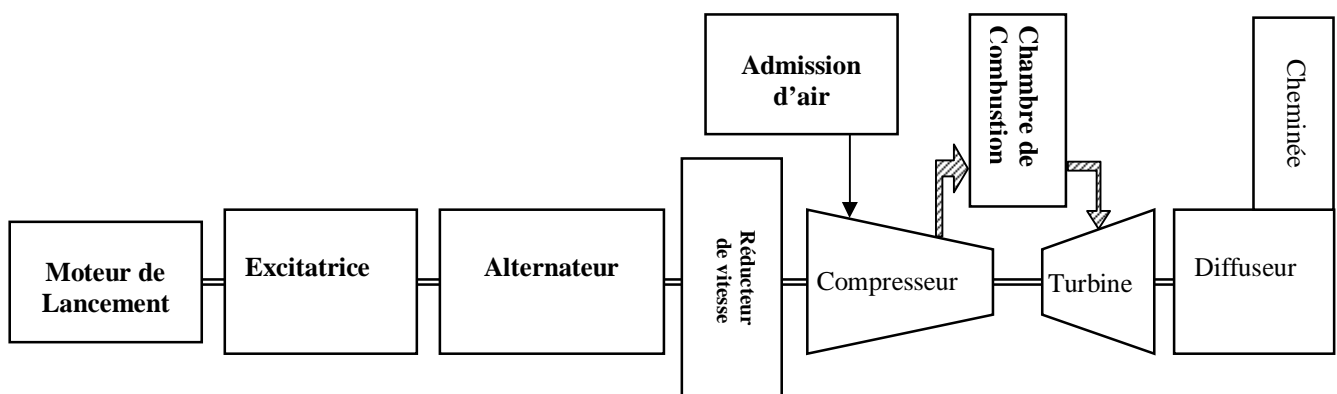


Fig. 1.1. Schéma simplifié des principaux organes constituant un groupe de production

Groupe Turbo-Alternateur 9D2

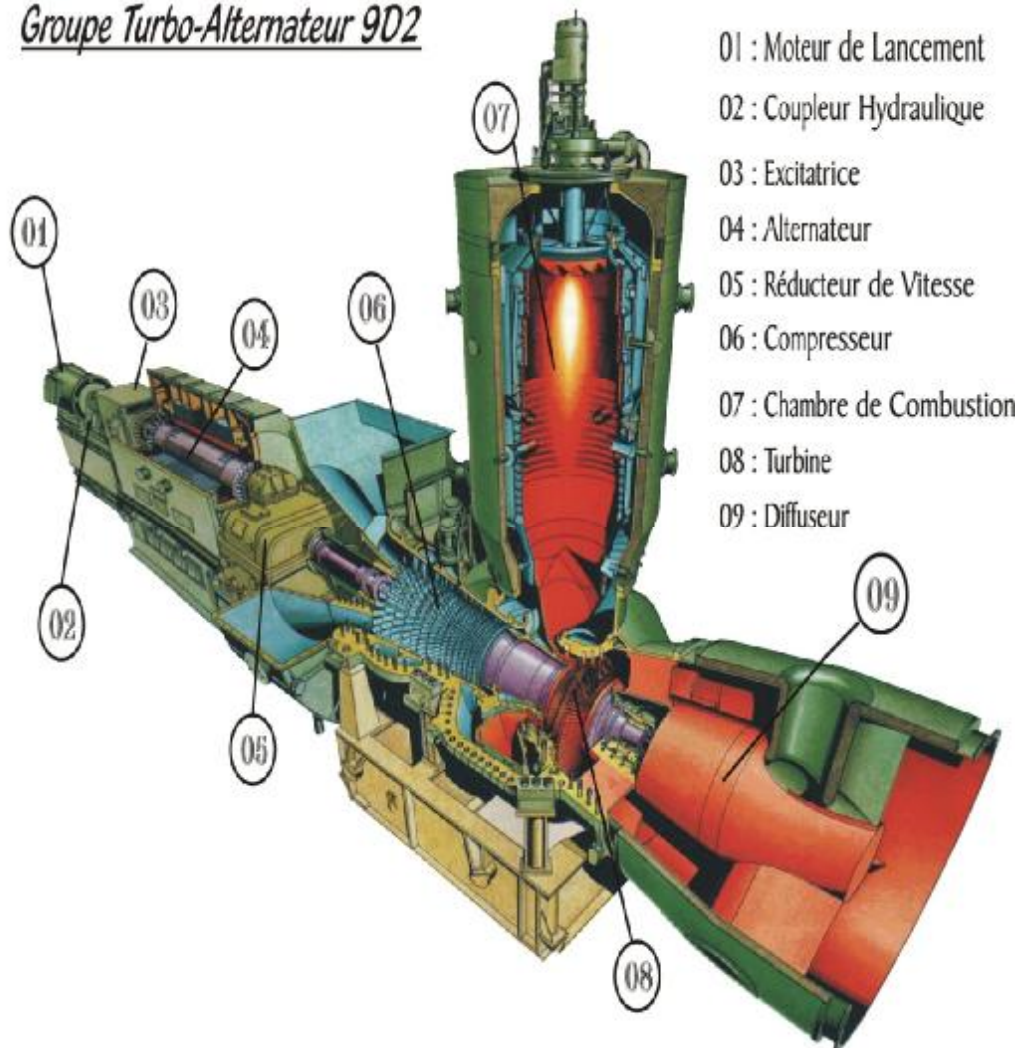


Fig. 1.2. Groupe Turboalternateur

I.3. Présentation des différents blocs d'un groupe :



Fig. I.3 Groupe Turbo-alternateur

La centrale de Bab Ezzouar est composée de quatre groupes turboalternateur, chaque groupe est constitué d'un ensemble d'organes inclus dans des systèmes et qui peuvent être divisés comme suit :

I.3.1 Bloc de lancement :

Le bloque de lancement ce compose d'un moteur de lancement et d'un coupleur hydraulique.

I.3.1.1 Moteur de lancement :

Le moteur de lancement est un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil, son démarrage ce fait en étoile triangle avec des systèmes asservie, et cela pour réduire le courant de démarrage. [4]

Les caractéristiques du Moteur son représenté sur le tableau suivant :

Type	MAF 500 SM/2
Puissance	600 KW
Tension	380 V
Fréquence	50 Hz
Intensité	1072A
Vitesse	3000 tr/min

I.3.1.2 Coupleur hydraulique :

Le coupleur hydraulique est relié au moteur de lancement par l'arbre d'entrée, et à l'excitatrice par l'arbre de sortie il comporte essentiellement une roue pompe centrifuge, une roue turbine à aubage de réaction, le transfert de l'effort moteur entre la roue pompe et la roue turbine fait appel à la force massique de l'huile hydraulique en mouvement entre ces deux éléments.

Le couple de sortie est amplifié par rapport au couple d'entrée ce qui permet de faire décoller la ligne d'arbre.

L'huile sous pression peut être vidangée après lancement du groupe. [4]

Les caractéristiques du coupleur hydraulique sont représentées sur le tableau suivant :

Vitesse (tr/min)	Couple (N. m)
0	670
2000	220

I.3.1.3 Fonctionnement du bloc :

Le moteur de lancement permet d'entraîner l'arbre de la turbine à gaz du démarrage jusqu'à ce qu'elle puisse tourner et accélérer d'elle-même afin d'atteindre la vitesse de synchronisme.

Il est alimenté à partir du réseau par l'intermédiaire d'un transformateur auxiliaire de 1250 kVA et démarre avec un coupleur à vide.

Dès que le moteur de lancement atteint sa vitesse nominale (2948 tr/mn), le coupleur hydraulique est rempli d'huile, permettant ainsi la transmission de couple mécanique par un effet tourbillonnaire à la turbine et un démarrage progressif de celle-ci.

Durant le démarrage, après l'allumage du brûleur de la chambre de combustion, la turbine à gaz sera entraînée et accélérée d'une part par le moteur de lancement et d'autre part par sa propre accélération.

A une vitesse de 2000 tr/mn le coupleur hydraulique est vidé de son huile et la turbine à gaz continue d'accélérer d'elle-même jusqu'à la vitesse de synchronisme de 3000 tr/mn. [4]

I.3.2 Bloc Alternateur :

Le bloque alternateur se compose de l'alternateur et son système d'excitation (excitatrice) :

I.3.2.1 Alternateur :

Les Caractéristiques de l'alternateur sont représentées sur le tableau suivant :

Alternateur	
Type	WY 14L 061 LLT.
Puissance apparente nominale	37 MVA
Facteur de puissance($\cos j$)	0,8
Tension Nominale	11500 V
Courant Nominale	1858 A
Fréquence Nominale	50 Hz
Couplage	Y
Vitesse nominale	3000 tr/min
Tension d'excitation	200 V
Courant d'excitation	760 A

L'alternateur est composé principalement de :

Ø Un **ROTOR** en acier porte le bobinage qui est fait de conducteur creux en cuivre, creux pour pouvoir se dilater en direction axiale et permettre le passage de l'air de refroidissement.

Sur les têtes de bobines on trouve les deux capots du rotor appelés « frettes » en acier amagnétique qui supporte la force centrifuge.

L'air de refroidissement provient de deux ventilateurs montés à chaque extrémité du rotor.

Ø Un **STATOR** est composé de l'empilage des tôles magnétiques, du bobinage en deux couches et de la carcasse.

Les tôles sont vernies des deux faces pour réduire les pertes magnétiques.

I.3.2.2 Excitatrice :

Composé principalement de l'excitatrice principale et l'excitatrice pilote.

L'excitatrice principale de type sans balais elle est excitée par l'excitatrice pilote qui génère un courant alternatif qui est redressé par des diodes tournantes ce courant sera réglé par un régulateur de tension qui excitera l'alternateur en fonction de la charge désirée.

Excitatrice principale	
Type	WBT 74/208 – 30 A25
Tension	285 V
Intensité	1000 A
Puissance	285 KW
Tension d'excitation	89 V
Courant d'excitation	15,4 A

I.3.3 Bloc Réducteur :

Le bloque réducteur se compose d'un réducteur de vitesse et du vireur.

I .3.3.1 Réducteur de vitesse :

Le réducteur de vitesse relie la turbine à gaz à l'alternateur ce qui permet de réduire la vitesse de la turbine de 4473 tr/min à la vitesse voulu pour l'alternateur, à savoir 3000 tr/min.

Le réducteur est composé d'un carter sur lequel sont montés un engrenage mécanique (un pignon et une roue dentée).

Le pignon est accouplé directement à l'arbre de la turbine à gaz. La roue est accouplée directement à l'arbre de l'alternateur. Le pignon et la roue sont montés sur des paliers lisses lubrifiés à l'huile.

Sur le réducteur se trouvent d'autres petits arbres qui entraînent des pompes à huile principale ou auxiliaire.

I.3.3.2 Vireur :

Le vireur est un équipement rattaché au réducteur qui fait tourner la ligne d'arbre après chaque arrêt du groupe et pendant la période de refroidissement.

Un moteur électrique à courant continu de 1.6 KW de tension 125 V fait tourner la ligne d'arbre à travers le réducteur pour éviter que l'arbre s'immobilise ce qui conduira au fléchissement du rotor turbocompresseur.

En cas de perte du réseau le vireur est alimenté à partir des batteries de secours.

I.3.4 Bloc thermique :

Le bloc thermique est l'endroit où l'énergie mécanique est générée, il comprend principalement le compresseur, la turbine et la chambre de combustion.

I.3.4.1 Compresseur :

Il se compose de 15 étages fixes et 17 étages mobiles pour la compression de l'air ambiant.

Le compresseur partie fixe est composé d'aubes (ailettes) en acier chromé, l'air aspiré par le compresseur vient de l'atmosphère à travers un filtre à air (bloc d'aspiration). Il est comprimé et injecté sur la chambre de combustion.

Les aubes mobiles du compresseur et de la turbine sont disposées sur un arbre commun appelé **rotor**. [2]



Fig. I.4 Compresseur

I.3.4.2 Chambre de combustion :

La chambre de combustion est l'équipement où les gaz chauds nécessaire (énergie cinétique) sont générés.

La chambre de combustion qui est situé entre le compresseur et la turbine reçoit l'air comprimé (comburant) par le compresseur et le gaz naturel ou le gasoil (carburant), transforme cette énergie cinétique en énergie mécanique par détente des gaz chaud sur les aubes de la turbine.

L'air comprimé du compresseur et le gaz qui est injecté à travers un brûleur sont les principales matières nécessaires à la combustion.



Fig. I.5 Chambre de combustion

I.3.4.3 Turbine :

La partie fixe est composée d'aubes (ailettes) à réaction en acier spéciale qui résiste aux hautes températures, sachant que la température à ce niveau atteint les 1200°.

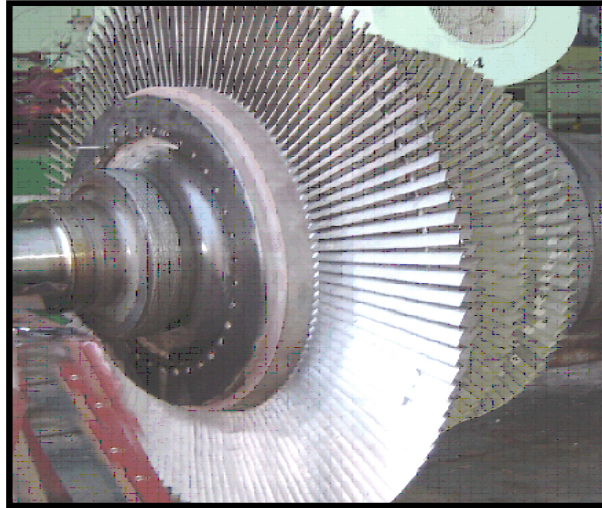


Fig. I.6 Turbine

Les aubes de la turbine fixes sont refroidies par l'air frais piqué du compresseur.

Après détente des gaz sur les aubes, les gaz passent sur l'échappement à travers un diffuseur. [2]

I.3.5 Echappement :

Partie extrême du groupe qui sert uniquement à acheminer les gaz chaud vers l'extérieur.



Fig. I.7 Echappement

I.3.6 Bloc d'aspiration :

Ce bloc est constitué successivement des éléments suivant : un caisson de filtration d'air, des silencieux d'aspiration, une pièce conique de transition, un coude avec aube de guidage et une volute d'aspiration.

Le système d'aspiration est conçu de telle manière à garder un débit d'air constant, cependant, lors du démarrage de la turbine le besoin d'air est moins important qu'en marche normale.

Pour cela, des soupapes anti-pompage ont été installées, Bloc d'aspiration afin de permettre le dégagement de l'excès d'air et éviter le pompage du compresseur.

La filtration de l'air s'effectue par huit rouleaux de toile en feutre ; dès que la teneur en poussière de ces toiles est grande, un système automatique comportant quatre moteurs électrique permet le déroulement des rouleaux et laissant apparaître des toiles neuves. [2]



Fig. I.8 Bloc d'aspiration

I.4. Présentation des Auxiliaires de la centrale :

I .4.1 Réseau incendie:

La rénovation du système devra assurer la protection anti-incendie (incendie centrale et incendie fuel) de la centrale de Bab Ezzouar et cette dernière sera composé d'équipements conformes aux normes en vigueur concernant ce type d'installation en termes de fabrication, fonctionnement et sécurité. Avec une pression de 10 bars. [4]



Fig. I.9 Réseau incendie

I.4.2 Poste gaz :

C'est l'arrivée de la source principale du combustible gaz, il a été mis en marche en 1977, avec une pression d'arrivée nominale de 20 bars qui sera réduite en 15 bars à l'entrée de la chambre de combustion par un réducteur de pression. [1]



Fig. I.10 Poste gaz

I.4.3 Bac fuel:

Avec une capacité de 9000 m³ (9 millions de litre), cette réserve de fuel est le combustible de secours qui alimente les groupes turbo-alternateur précisément la chambre de combustion en cas d'absence du gaz. [4]



Fig. I.11 Bac fuel

I.4.4 Groupe diesel de secours :

Le groupe diesel est destiné à fournir la puissance nécessaire au dispositif de lancement d'une turbine à gaz, ainsi que celle nécessaire à l'alimentation des auxiliaires de la turbine.

En cas de perte du réseau, le groupe diesel démarre automatiquement, mais on peut aussi le démarrer depuis la salle de commande, tant que la pression d'huile de graissage et la température d'eau sont suffisantes.

En ultime secours, il est ensuite possible de le démarrer localement à basse charge après un pré-graissage manuel.

Le bloc du moteur diesel est maintenu à chaud par des résistances pendant sa mise à l'arrêt, cette procédure permet de garder le groupe de secours toujours prêt à démarrer rapidement et remplir sa fonction en cas d'absence d'énergie électrique à la centrale. [1]



Fig. I.12 Groupe diesel de secours

I.4.5 Transformateur principal :

C'est un transformateur élévateur qui à pour rôle de transformer l'énergie électrique au réseau à une tension de 63kV.

Caractéristiques principales

- ◆ Fréquence : 50Hz
- ◆ Puissance apparente : $S=37$ MVA
- ◆ Courant nominale enroulement : MT=1858A, HT=339A
- ◆ Rapport de transformation : 11.5kV/63kV
- ◆ Enroulement HT : couplage étoile
- ◆ Enroulement MT : couplage triangle

Le transformateur principal est raccordé au côté primaire et aux cellules MT et le coté secondaire au jeu de barres HT. [2]



Fig. I.13 Transformateur principal

I.4.6 Transformateur auxiliaire :

C'est un transformateur à huile permettant l'alimentation des auxiliaires du groupe et le jeu de barre prioritaire.

Caractéristiques principales

- ◆ Fréquence : 50Hz
- ◆ Puissance apparente : $S=1250\text{kVA}$
- ◆ Rapport de transformation : 11.5kV/380V

Le transformateur auxiliaire est raccordé au côté primaire aux cellules MT et coté secondaire au réseau BT alimenté par l'intermédiaire de disjoncteurs. [2]

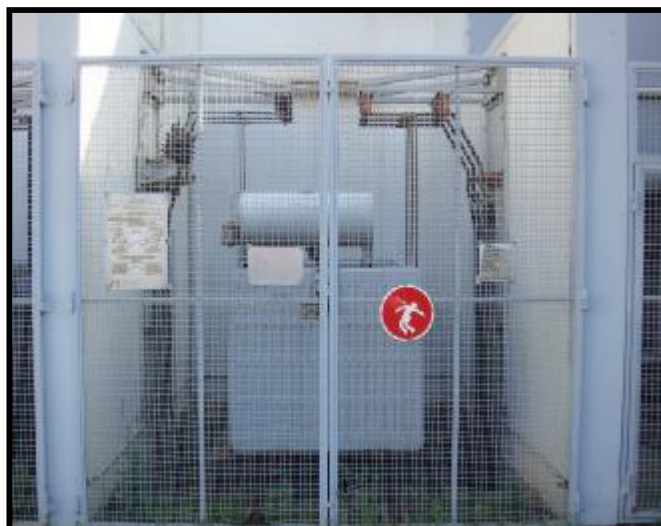


Fig. I.14 Transformateur auxiliaire

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu la méthode de création de l'énergie électrique grâce à l'étude des différents blocs de la tranche de production puis de fonctionnement du groupe turboalternateur. En cas d'absence de l'énergie électrique aux réseaux on utilise le groupe diesel pour l'alimentation des groupes de la centrale de BAB-EZZOUAR.

II.1 INTRODUCTION :

Toute centrale électrique possède au minimum un alternateur, qui assure la production de l'énergie électrique, qui sera transporté vers les consommateurs sous forme de courant alternatif triphasé.

La centrale de BAB EZZOUAR est équipée par 4 alternateurs de type (WY 14L 061 LLT) qui délivre une puissance active de 27 MW chacun, Tension Nominale de 11,5 kV la Vitesse nominale de 3000 tr/min et de Fréquence 50 Hz

II.2 Description générale :

L'alternateur [Fig. II.1] est composé d'un stator qui comprend un circuit magnétique constitué par un empilage de tôles en forme de couronne, isolées l'une de l'autre.

Le circuit magnétique stator comporte des encoches uniformément réparties, dans lesquelles l'enroulement triphasé est logé.

Le rotor à pôles lisse est porté sur des chaises palier et tourne à l'intérieur du stator immobile, il possède deux pôles. Il comporte des encoches axial où se loge l'enroulement qui est alimenté par l'excitatrice avec du courant continu.

Pour la circulation de l'air de refroidissement, on trouve deux ventilateurs placés dans les deux extrémités du rotor.

L'air est refroidi en passant par des réfrigérants placés dans la partie inférieure de l'alternateur. [1]

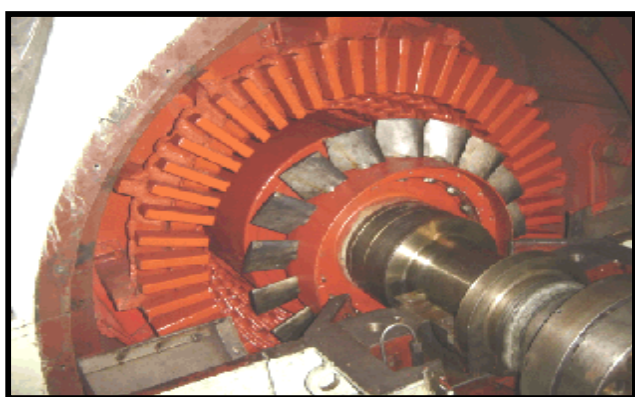


Fig. II.1 L'alternateur

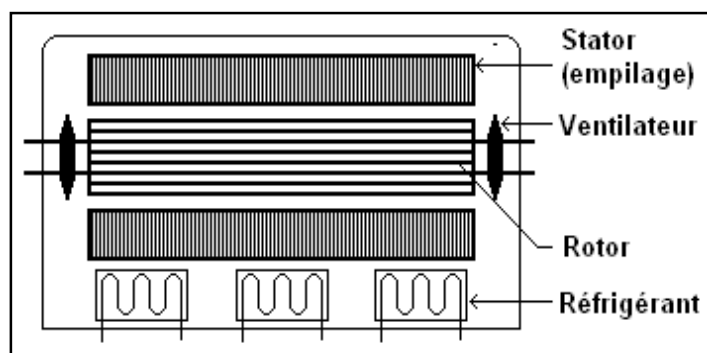


Fig. II.2 Système de Refroidissement

I.3 Schéma de coupe d'un alternateur de la centrale

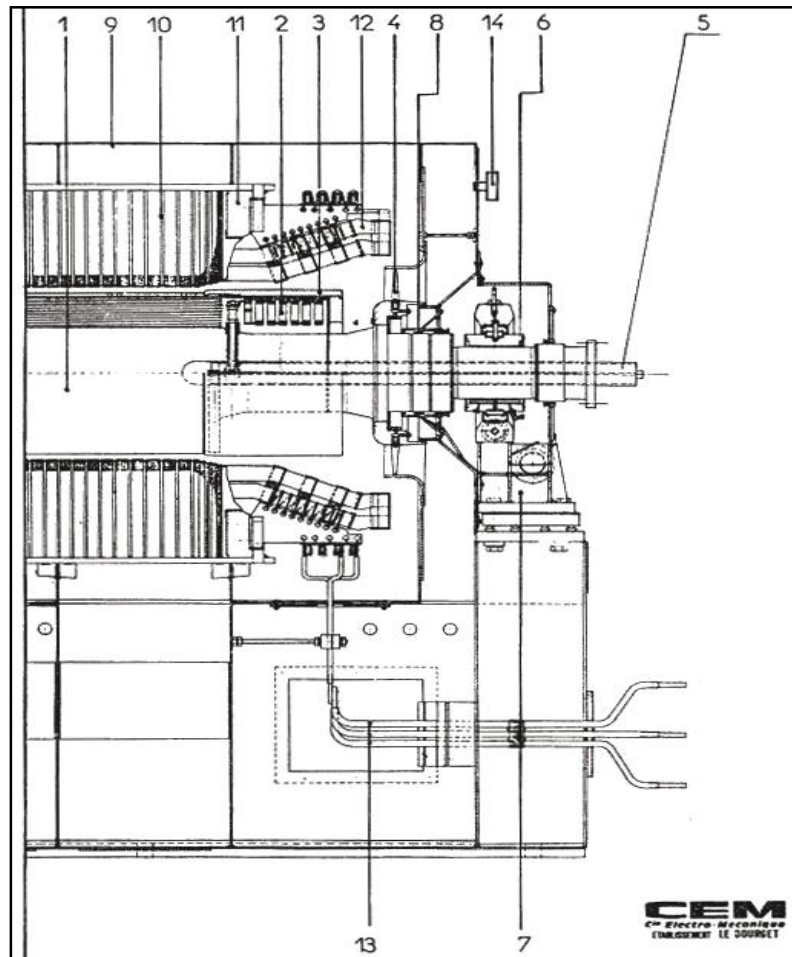


Fig. II.3 SCHEMA DE COUPE D'UN ALTERNATEUR DE LA CENTRALE

Nomenclature du schéma de coupe de l'alternateur : présenté dans la fig. II.3

Numéro	Désignation
01	Rotor
02	Bobinage rotor
03	Capot rotor
04	Ventilateur axial
05	Alimentation du bobinage rotor
06	Palier
07	Chaise palier
08	Défecteur d'huile
09	Carcasse
10	Empilage de tôles

11	Plaque de pressage
12	Tête de bobine stator
13	Borne
14	Filtre de compensation des fuites d'air

Tableau II.1 Nomenclature du schéma de coupe de l'alternateur

II.4 Construction du stator :

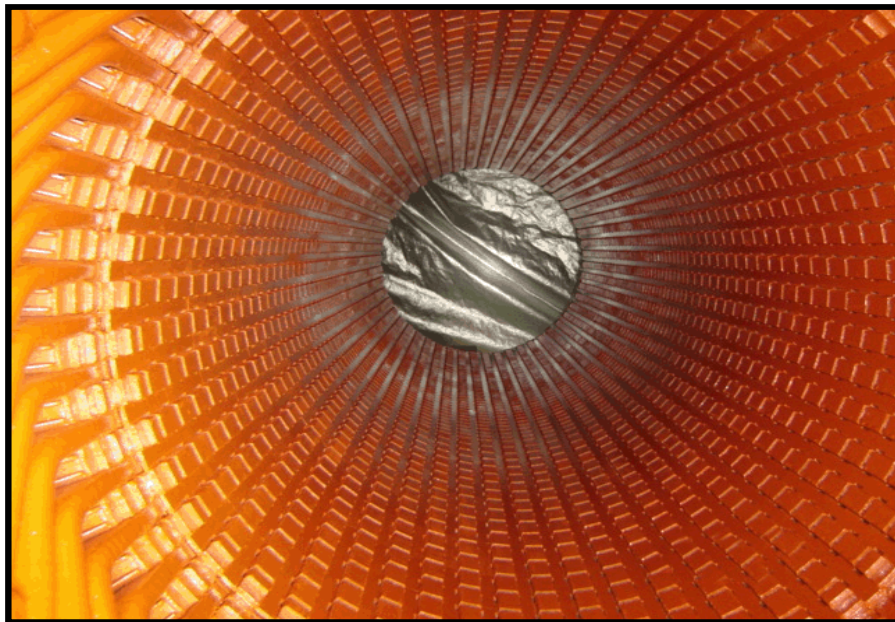


Fig. II.4 Le Stator

Il se compose de l'empilage des tôles magnétique, du bobinage et de la carcasse.

La tôlerie est réalisée à l'extérieur de la carcasse par empilage de tôles magnétique vernies sur les deux faces pour minimiser les pertes fer.

Pour assuré le serrage de la tôlerie, des plaques de serrage en fonte d'aluminium métallisé sont disposé aux deux extrémités.

Le bobinage comporte deux couches de barre avec un encombrement très faible des têtes de bobine, l'isolation des barres est réalisée par le système MICADUR. [1]

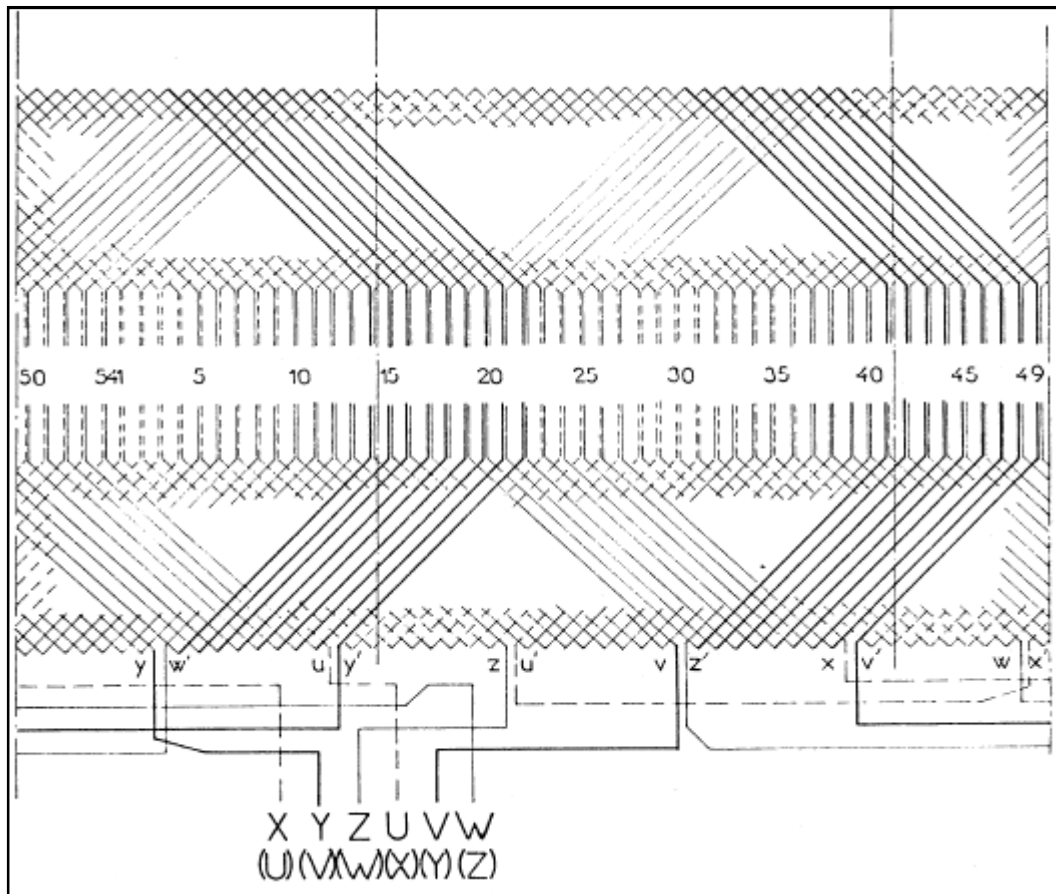


Fig. II.5 Schéma du bobinage statorique

Les deux nappes de tête de bobine sont renforcées par des cordes en tissu de verre imprégné et supportées par des équerres triangulaires fixées sur les plaques de serrage. Ceci assure sa rigidité en direction radiale vers l'extérieur, tout en assurant son élasticité en direction axiale pour permettre la dilatation du bobinage statorique par rapport à l'empilage.

L'ensemble terminé de l'empilage avec le bobinage statorique est embauché dans la carcasse et soudé avec la carcasse au moyen de clavettes. [1]

II.5 Construction du rotor :



Fig. II.6 Le Rotor

Le corps du rotor avec l'accouplement vient de forge. Le bobinage rotor comporte des conducteurs creux en cuivre à l'argent rectangulaire étiré.

Le bobinage rotorique est logé dans les encoches de manière élastique en direction axiale de façon à permettre sa libre dilatation en exploitation.

Le bobinage rotor est isolé avec du NOMEX et des fibres de verre stratifiées. Les capots rotors qui sont destinés à supporter les forces centrifuges qui agissent sur les têtes des bobines sont les parties du rotor qui subissent les contraintes plus élevées. Ils sont réalisés en acier spécial amagnétique et fixé sur les extrémités du rotor. Ils sont bloqués pour éviter les déplacements axiaux.

De part et d'autre du rotor on trouve respectivement un ventilateur axial qui alimente le rotor et le stator avec l'air de réfrigération nécessaire.

Le rotor est porté par deux paliers lisses lubrifiés à l'huile sous pression. [4]

II.6 Circuit de réfrigération :

Le système de réfrigération est symétrique par rapport à l'axe de la machine. Il est indépendant de la disposition des réfrigérants.

Le stator et le rotor de l'alternateur sont refroidis par air en circuit fermé.

Des capteurs de températures à résistance placés sur la périphérie du stator contrôlent en permanence l'échauffement.

L'air de réfrigération pour le rotor, pénètre entre l'anneau du capot et l'arbre vers un espace réservé sous les têtes de bobine et ensuite, se dirige vers l'entrée des encoches, par l'intermédiaire de fentes dans les conducteurs creux ou il se répartit.

Une première partie parcourt les conducteurs creux dans les encoches, sort à proximité du centre du rotor, par l'intermédiaire de trous radiaux dans les conducteurs creux, puis gagne l'entrefer.

Une deuxième partie parcourt les conducteurs creux dans les têtes de bobine et sort dans l'axe polaire par des fentes au voisinage de l'extrémité du bobinage vers l'entrefer.

L'air de réfrigération pour le stator se répartit immédiatement après le ventilateur. La première partie parcourt directement l'entrefer. Une deuxième partie parcourt la tête de bobine du stator et passe ensuite dans la deuxième chambre de la carcasse. De là, il se dirige radialement de l'extérieur vers l'entrefer puis repasse à travers l'empilage vers l'extérieur.

En amont du ventilateur, donc au point de plus faible pression statique, il existe un filtre de compensation des fuites d'air qui remplace l'air qui s'échappe du circuit de réfrigération.

Les réfrigérants d'air sont disposés en dessous de l'alternateur dans une chambre étanche, il est constitué de tubes à ailettes à l'intérieur desquels passait l'eau de refroidissement. [4]

L'eau est à son tour refroidi à l'extérieur par une série d'aéro-réfrigérants.

L'air venait lécher l'extérieur des tubes et s'y refroidissait. Avec ce procédé on est arrivé à maintenir presque totalement l'état des propriétés de l'alternateur.

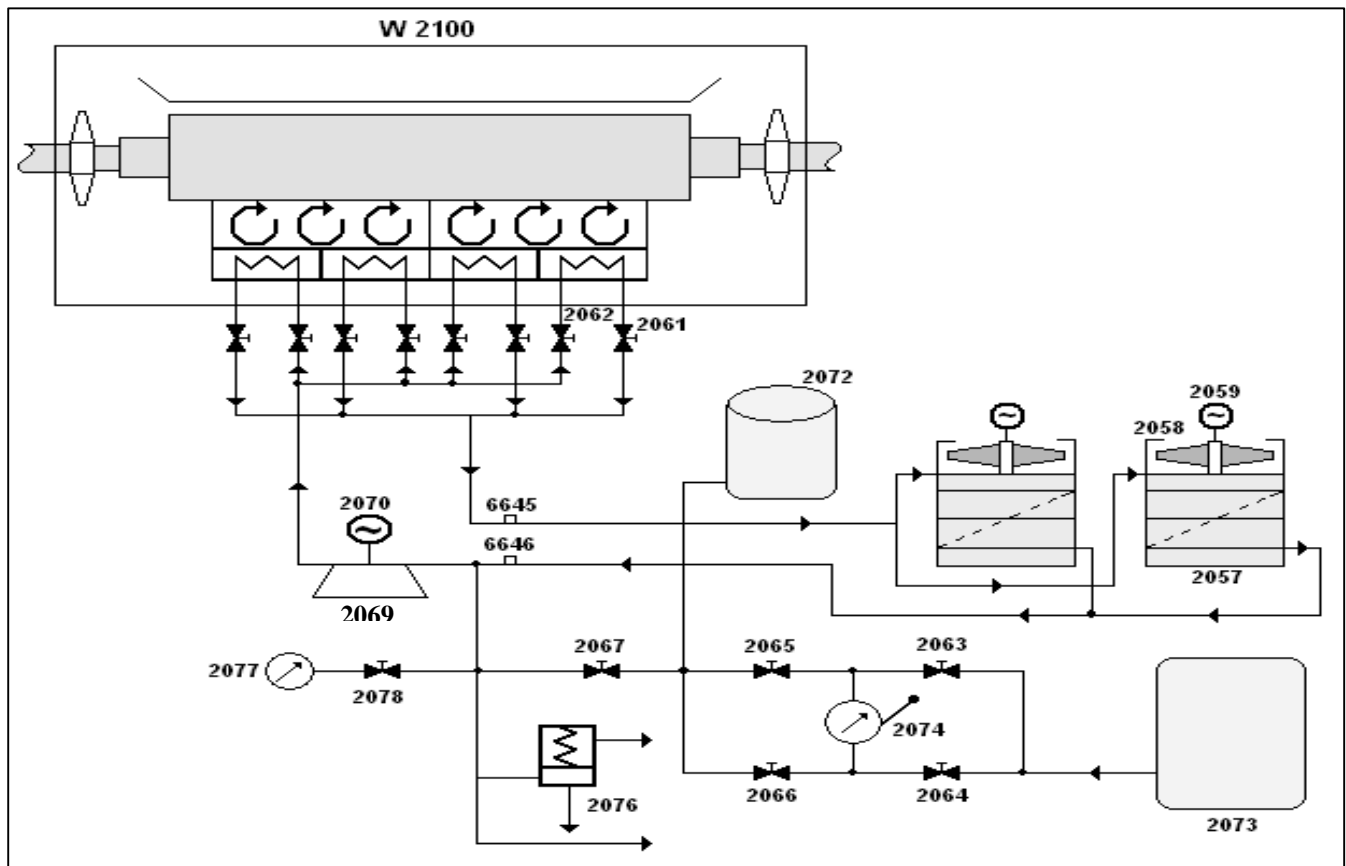


Fig. II.7 Circuit de refroidissement de l'alternateur

W2100	Alternateur	2077	Manomètre
2061	Vanne d'arrêt entrée réfrigérant	2078	Robinet du manostat
2062	Vanne d'arrêt sortie réfrigérant alternateur	2067	Robinet d'arrêt conduite remplissage réfrigérant alternateur
2072	Vase d'expansion pneumatique	2076	Soupape de sécurité
2058	Ventilateur pour réfrigérant	2063	Robinet d'arrêt conduit vidange
2059	Moteur pour ventilateur	2066	Robinet d'arrêt conduit vidange
6645	Prise de température avant réfrigérant alternateur	2064	Robinet d'arrêt conduite remplissage
6646	Prise de température après réfrigérant alternateur	2065	Robinet arrêt conduite remplissage
2069	Pompe de circulation fluide	2073	Réservoir d'eau
2070	Moteur Pompe de circulation		

Tableau II.2 Nomenclature de Circuit de refroidissement de l'alternateur

II.7 Caractéristique à vide et en court-circuit :

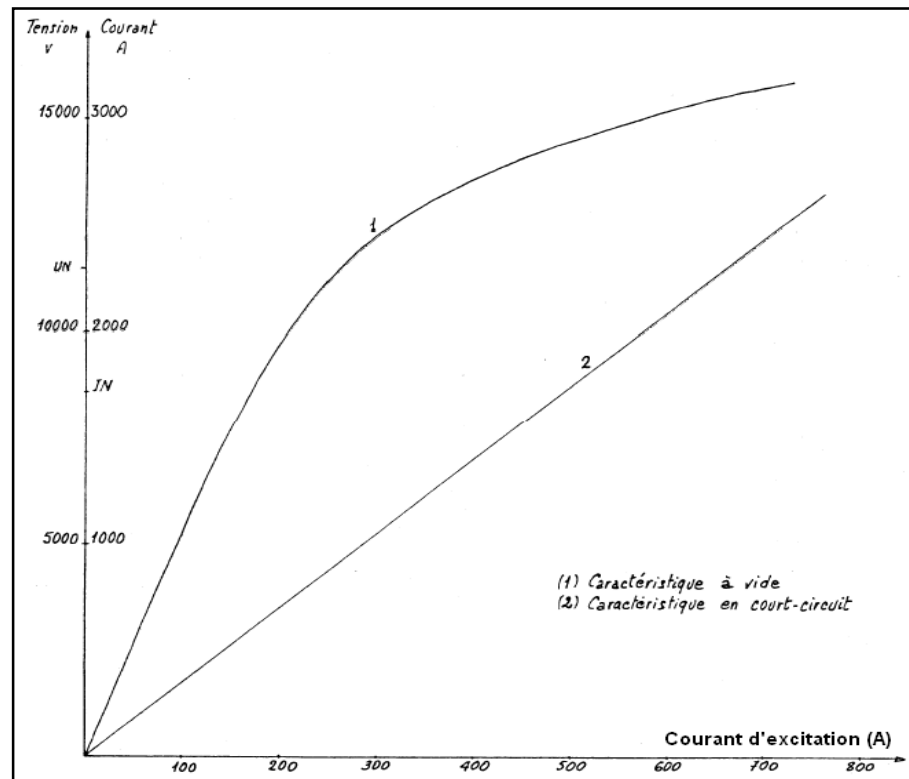


Fig. II.8 Courbes de la tension et du courant en fonction du courant d'excitation

On peut déduire la valeur de la réactance synchrone de la machine :

$$X_d = \frac{E_v}{I_{cc}}$$

II.8 Principe de fonctionnement :

Le stator de l'alternateur comporte 3 bobines A1, A2 et A3 décalés de 120° l'une par rapport à l'autre.

Faisant tourner le rotor de l'alternateur une fois excité. Chacune des bobines constitue un enroulement monophasé et les forces électromotrices engendrées sont représentées par des courbes suivantes :

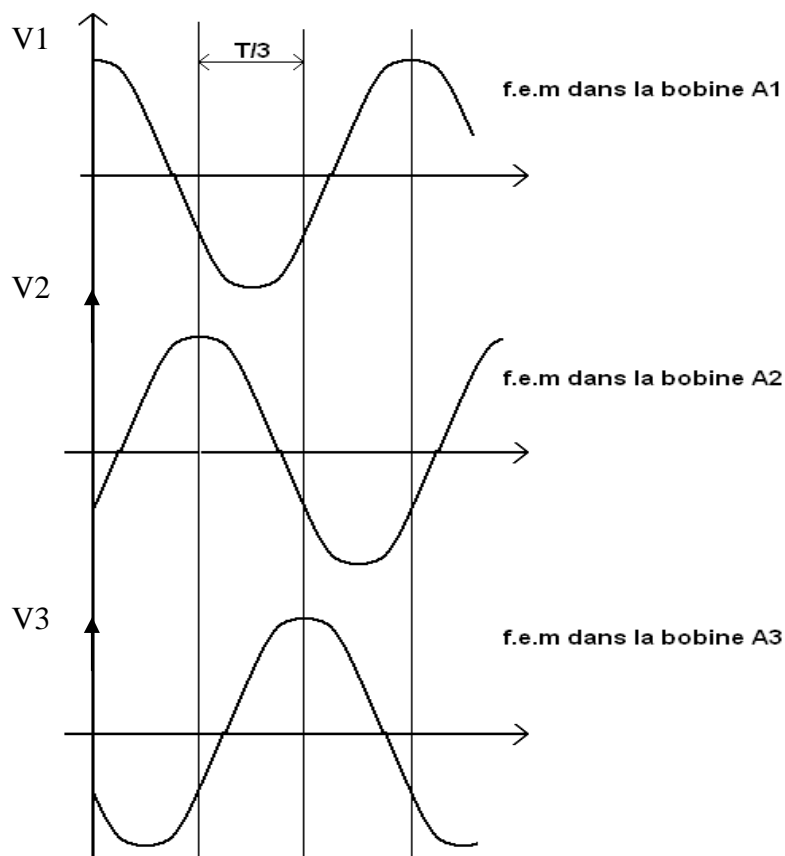


Fig. II.9 Courbes des f.e.m des trois bobines du stator

Pour chaque bobine nous aurons une force électromotrice de même valeur maximale et de même période. Par contre, ils seront décalé d'un tiers de période l'une par rapport à l'autre.

Quant le pôle nord du rotor passera devant la bobine A1, la f.e.m sera maximal dans cette bobine, elle deviendra maximale dans la bobine A2 quand le rotor aura tourné de $1/3$ de tour, et dans la bobine A3 quand le rotor aura tourné d'un autre tiers de tour.

Les bobines A1, A2 et A3 sont appelées phases du stator. Les 3 forces électromotrices engendrées sont représentées par la figure suivante :

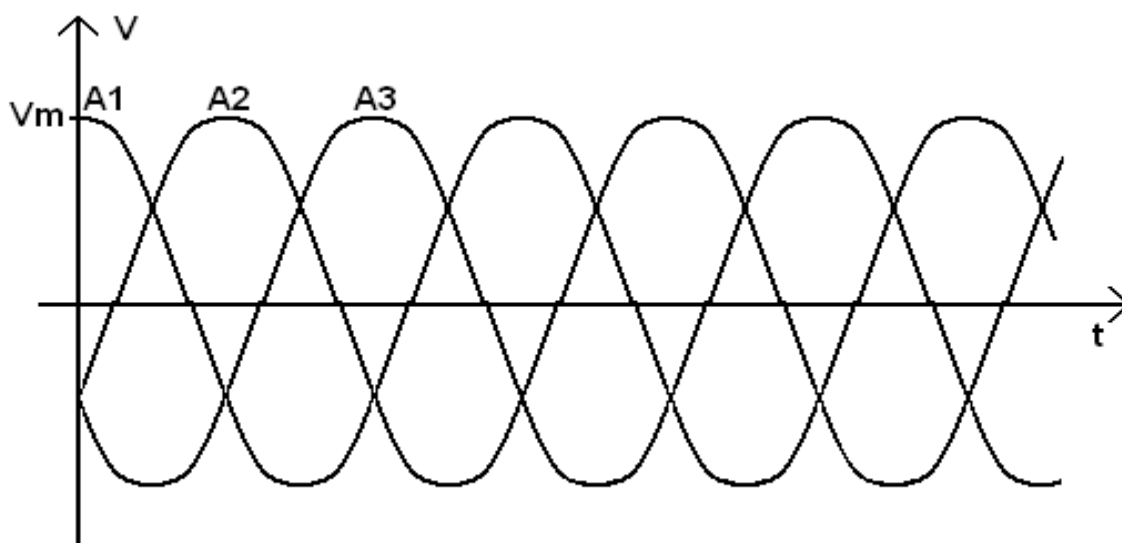


Fig. II.10 la f.e.m des trois bobines du stator dans la même courbe

II.9 Système d'excitation (Excitatrice) :

L'excitatrice est entraînée directement par le rotor de l'alternateur, elle est réalisée par un système de diode tournante qui a remplacé le redressement par collecteur et balais. Le principal avantage de ce système réside en la suppression totale des contacts glissants, avec tous les nombreux problèmes de difficulté de commutation et d'entretien qu'ils posaient (changement de balais, poussière de carbone,...).

L'excitatrice de notre alternateur est composé de :

II.9.1 Excitatrice pilote (auxiliaire) :

Elle est prévue pour rendre la fonction d'excitation entièrement indépendante des autres circuits électriques de la centrale. 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. [2]

II.9.2 Excitatrice Principale :

L'excitatrice principale est du type sans balais, elle est excitée sur le stator par l'excitatrice pilote, elle génère un courant alternatif à son rotor qui est redressé par des diodes tournantes.

Le réglage de l'excitation de l'alternateur est effectué par action sur l'inducteur de l'excitatrice principale, l'excitation de cet inducteur est assurée par un dispositif à redresseurs contrôlés (pont de thyristor) alimenté par l'excitatrice pilote. [4]

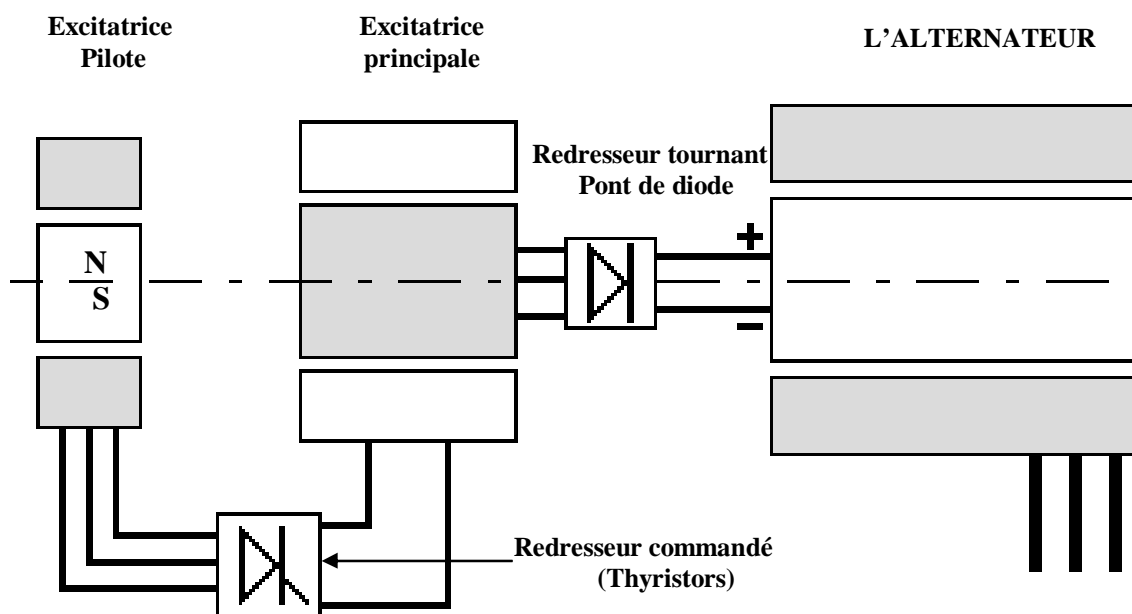


Fig. II.11 Schéma détaillé des deux excitatrices reliées à l'alternateur

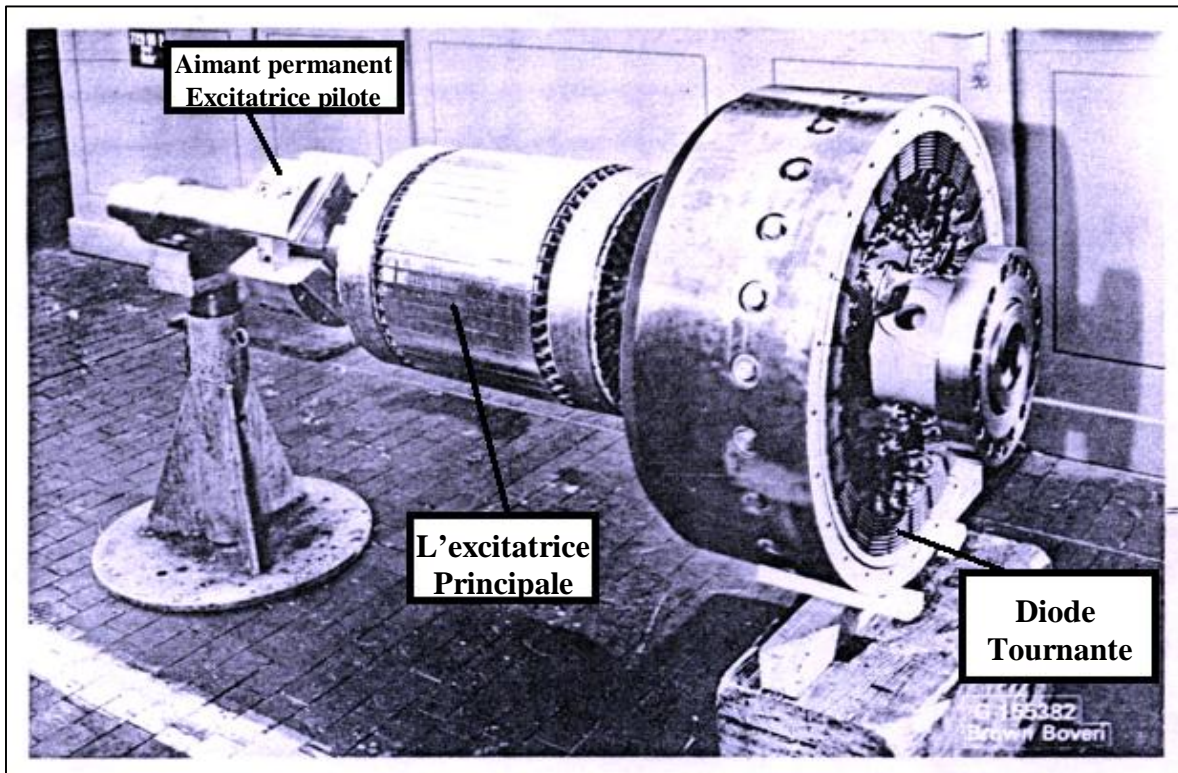


Fig. II.12 Photo de la partie tournante de l'excitatrice (le rotor)

II.10 Régulation des paramètres alternateur :

II.10.1 Régulation de tension :

Dans toutes les centrales électriques, la tension aux bornes des alternateurs doit être maintenue constante, quel que soient le facteur de puissance et l'intensité du courant débité par le stator.

Pour arriver à ce résultat, on augmente la force électromotrice de l'alternateur, en agissant sur le courant d'excitation du rotor. Si on augmente l'excitation, le champ produit par le rotor augmente et il en résulte une augmentation de la force électromotrice et la tension aux bornes de l'alternateur.

On obtient le résultat inverse, en diminuant le courant d'excitation.

Cette régulation se fait à partir d'un appareillage spécifique qui agit directement sur le redresseur commandé de l'excitatrice.

Supposant qu'à un moment donné la charge du réseau croît brutalement. Le courant dans les enroulements du stator augmentera rapidement ainsi que la réaction d'induit, il en résultera une baisse instantanée de la tension aux bornes de l'alternateur.

Le régulateur de tension doit alors intervenir pour augmenter le courant d'excitation de l'alternateur. Son action doit être rapide pour que la tension de l'alternateur redevienne normale le plus tôt possible.

L'alternateur étant couplé sur un réseau de grande puissance, supposant qu'à un moment donné une perturbation violente se produise sur le réseau (court circuit ou augmentation très importante de la charge), le champ du stator diminuera. Le champ résultant pourra baisser à une valeur telle que la puissance ne soit plus suffisante pour maintenir le synchronisme de l'alternateur, celui-ci « décroche ». Il faut, dans ce cas, en particulier, que l'action du régulateur de tension soit assez rapide pour augmenter l'excitation de l'alternateur afin que cette limite ne soit pas atteinte.

II.10.2 Régulation de fréquence :

La fréquence de l'alternateur est imposée par la vitesse de l'arbre du turboalternateur et par la construction du rotor de la machine, donc elle est proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor et le nombre de paires de pôles du rotor :

$$n = \frac{f}{P} \Rightarrow f = p \times n \quad \text{Avec } n \text{ en Rad/s et } f \text{ en Hz}$$

La fréquence normalisée du réseau électrique algérien est de 50 Hz.

Toutes les centrales algériennes fonctionnent en parallèle sur le même réseau à une fréquence de 50 Hz.

Si la puissance totale des centrales est égale à la puissance demandée à la consommation, la fréquence reste constante.

Si la puissance totale des centrales est supérieure à la puissance demandée à la consommation, la fréquence augmentera jusqu'à ce que les deux puissances redeviennent égales.

Au contraire, la fréquence baissera, si la puissance totale des centrales est inférieure à la puissance totale des consommateurs. Elle diminuera jusqu'à ce que les deux puissances soient à nouveau égales.

Un réglage de fréquence conduit toujours à un réglage de vitesse, ce réglage de vitesse est obtenu par action sur la turbine. [1]

II.10.3 Régulation de vitesse :

La régulation de vitesse est établie par système mécanique de type masselottes, entraîné par l'arbre du groupe.

Le régulateur de vitesse est prévu pour maintenir la vitesse de la turbine pendant le démarrage et le fonctionnement normal à une valeur de consigne bien déterminée en agissant sur les organes d'admission gaz, en même temps il doit éviter un accroissement inadmissible de la vitesse de la turbine. [4]

II.11 Couplage d'un alternateur au réseau :

Le disjoncteur de couplage 63 kV étant ouvert, on met en marche la machine d'entraînement, et on règle sa vitesse, en agissant sur le régulateur, pour régler la tension aux bornes de l'alternateur on agit sur le courant d'excitation, par l'intermédiaire d'un dispositif de réglage.

Lorsque les conditions de couplage sont parfaites, on couple l'alternateur avec le réseau.

II.11.1 Condition de couplage :

Pour le couplage de l'alternateur avec le jeu de barres de réseau soit parfait, il faut avoir les conditions de couplage car le jeu de barre de réseau peut être normalement en liaison avec un réseau important, sur le quelle débitent de nombreux alternateurs, ces conditions de réglage s'appelant le SYNCHRONISME.

Les conditions de couplage sont :

II.11.1.1 Même fréquence :

Pour avoir la fréquence désirée au niveau de l'alternateur il faudrait augmenter la vitesse d'entraînement de rotor jusqu'à la vitesse de synchronisme.

Par conséquent, la fréquence et la période des tensions de l'alternateur et de tensions barres devront être les mêmes.

Pour avoir une fréquence $f = 50\text{Hz}$, il faudrait que la vitesse de rotation du rotor atteint 3000 tr/min car

$$N = 60 \cdot f / p$$

N : Vitesse de rotation en tr/min

f : Fréquence en Hz

P : Nombre de paire de pôles

$$\text{Comme } p = 1 \quad \Longrightarrow \quad n = 60 \cdot f$$

$$\Longrightarrow \quad f = n / 60 = 3000 / 60 = 50 \text{ Hz}$$

On suppose que le rotor de l'alternateur tourne à une vitesse de 2880 tr/min, la fréquence de ces tensions sera de 48 Hz, leur période sera :

$$T = 1 \text{ seconde} / f = 1 / 48 \text{ s}$$

Si les tensions de barres du réseau sont à 50 Hz leur période sera $T' = 1 / 50 \text{ s}$

Si on effectuait le couplage de l'alternateur avec les barres à ce moment là on provoquerait un décalage de période. [4]

II.11.1.2 Même tension :

L'égalité des tensions est obtenu en excitons la machine, au moment de couplage l'intensité de courant d'excitation doit être tel que la f.e.m induite entre phase soit égale à la tension de réseau. [1]

II.11.1.3 Même ordre de succession des phases des f.e.m :

Avant de fermer l'interrupteur de couplage il faudrait s'assurer que l'alternateur à coupler au même ordre de phase que le réseau (R, S, T), ces différents appareils de synchronisation existent (synchroscope), cet ordre peut aussi être vérifié grâce à 3 lampes insérées entre le réseau et l'alternateur à coupler.

A savoir que la vérification de l'ordre de succession des phases de l'alternateur avec les phases des jeux de barres, avant la première mise en service d'un alternateur, ou après une révision pendant modification. [4]

II.12 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'alternateur de la centrale. Tout d'abord, nous avons fait la présentation des différents organes de l'alternateur, suivi par une présentation de circuit de refroidissement de l'alternateur et le système d'excitation, après avoir cité les paramètres de régulation de l'alternateur. Par la suite, nous avons citez les conditions de couplage de l'alternateur au réseau.

III.1 INTRODUCTION :

Nous distinguerons deux types de défauts à détecter par les relais de protections, selon leur origine.

III.2 Origine des défauts (interne, externe) :

✓ les défauts d'origine interne, dont la source est une avarie d'un composant de la machine électrique tournante.

✓ les défauts d'origine externe, dont la source est localisée en dehors de la machine électrique, mais dont les conséquences peuvent entraîner des dégradations dans celle-ci.

III.2.1 Défauts d'origine interne :

✚ L'isolation des conducteurs formant l'enroulement statorique peut se rompre par des causes :

- ✓ Electriques : décharges superficielles, pénétration d'humidité.
- ✓ Thermiques : sur échauffement par surcharge ou manque de refroidissement.
- ✓ Mécaniques : efforts de court-circuit trop importants.

Ces défauts, dont l'évolution peut être lente au début du processus de dégradation, dégénèrent en général très rapidement à la fin de ce processus en un court-circuit, du fait de la tension élevée appliquée à l'enroulement statorique. À ce stade, le court-circuit est en général permanent.

Un court-circuit peut se produire :

- entre une phase et la masse, constituée par le circuit magnétique ou la carcasse.
- entre deux phases, avec ou sans contact avec la masse.
- entre les trois phases, souvent par évolution d'un court-circuit biphasé (extension d'arc).

Un court-circuit peut aussi se produire entre deux spires ou deux barres d'une même phase.

✚ L'isolation des conducteurs de l'enroulement rotorique peut également être défaillante, le plus souvent par des causes :

- ✓ Mécaniques : par usure des isolants ou rupture.

✓ Thermiques : par manque de refroidissement général ou localisé.

✓ Electriques : par percement de l'isolation ou le plus souvent par contournement dû à une pollution (air, huile).

Une machine synchrone peut également subir une perte d'alimentation électrique de l'inducteur.

La cinétique de la dégradation de l'isolement (statorique ou rotorique) dépend évidemment de la cause du défaut, lente dans le cas d'une usure ou d'un début de suréchauffement dû à une pollution, plus ou moins rapide en cas de rupture ou d'emballement thermique (sur échauffement).

En cas de pollution de l'enroulement rotorique, on peut ainsi observer une baisse lente de la résistance d'isolement. [1]

III.2.2 Défauts d'origine externe :

Les groupes constitués d'une turbine ou d'un moteur thermique et d'un alternateur peuvent être soit connectés directement à un système de distribution (réseau d'usine, auto producteur), soit raccordés au système général de production-transport-distribution d'électricité, ou réseau par l'intermédiaire d'un transformateur élévateur de tension, appelé transformateur principal (TP).

Dans une centrale de production, l'énergie nécessaire aux auxiliaires est prélevée, soit en amont, soit en aval du transformateur principal, par un transformateur de soutirage (TS).

Les défauts pouvant affecté le système électrique sont de différentes natures :

✚ Les courts-circuits, monophasés ou polyphasés, peuvent se produire :

- ✓ sur la liaison directe entre l'alternateur et le réseau, ou entre l'alternateur et le TP.
- ✓ sur la liaison entre le TP et le système électrique.
- ✓ sur les alimentations des services auxiliaires.

✚ Les déséquilibres entre la production et la consommation d'énergie électrique peuvent être dus à :

- ✓ un manque de production, entraînant une baisse de fréquence du groupe turboalternateur ;

✓ un surplus de production, entraînant une hausse de fréquence du groupe turboalternateur.

✓ un défaut de répartition des charges principalement réactives, entraînant une surcharge en courant de l'alternateur ; la surcharge en puissance active est en effet, peu probable du fait de la limitation de puissance mécanique de la machine motrice (turbine, moteur diesel, etc.).

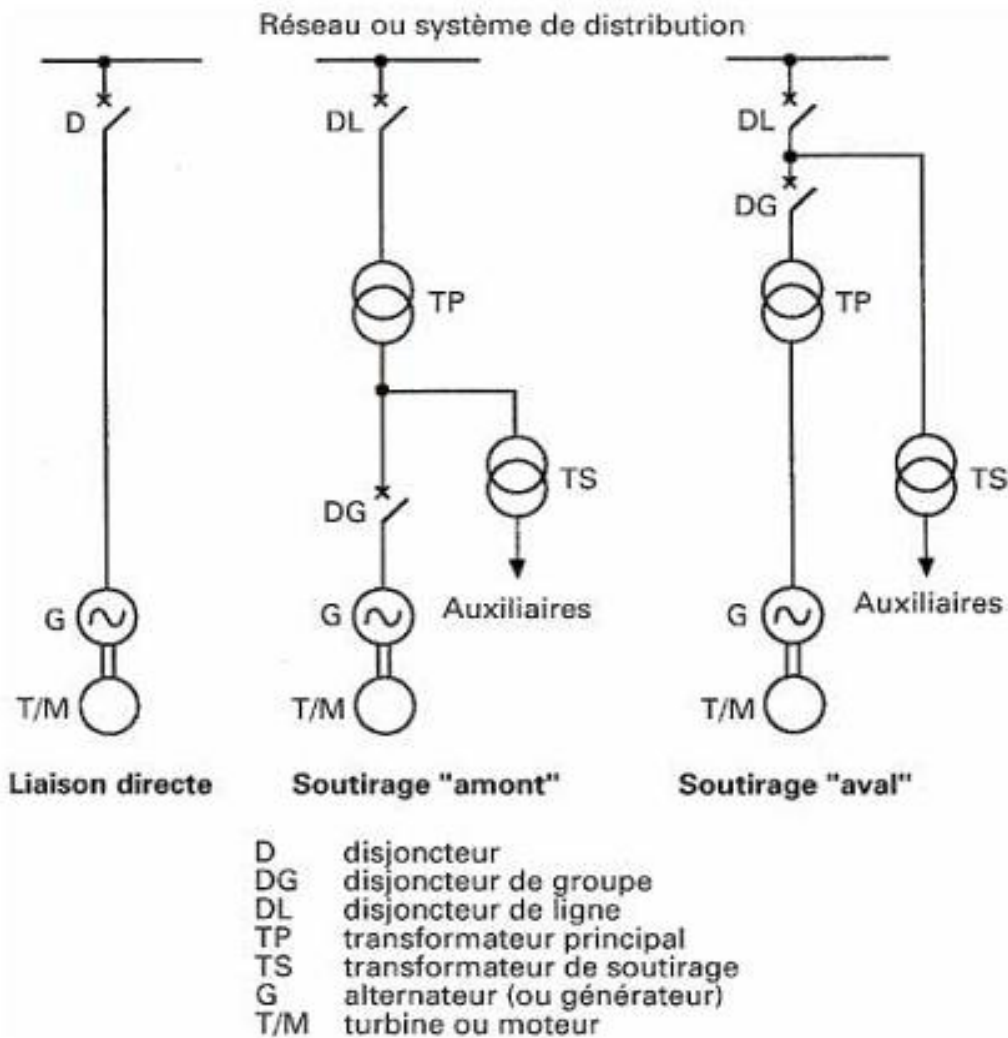


Fig.III.1 Schéma de raccordement d'un alternateur au réseau

✚ Les pertes de synchronisme de l'alternateur raccordé au réseau peuvent provenir de :

✓ l'apparition et le maintien d'un court-circuit sur le réseau, proche de l'alternateur.

✓ l'augmentation de l'impédance de liaison (ouverture de lignes HT), au-delà de la limite de stabilité.

✓ l'augmentation de l'angle interne (diminution du courant d'excitation de l'alternateur).

✚ Les courants déséquilibrés peuvent être dus à :

✓ une alimentation de charges monophasées.

✓ des dissymétries locales de réseau (non-transposition de lignes, ouverture de phase ou courts-circuits biphasés - ou monophasés).

✚ Les baisses de tension du réseau peuvent provenir d'une insuffisance de production de l'énergie réactive (tension basse) ou de courts-circuits (creux de tension). Ces phénomènes entraînent une surcharge en courant de l'alternateur.

✚ Les surtensions sont dues à :

✓ un défaut de fonctionnement de la régulation de tension de l'alternateur.

✓ une diminution brutale de la puissance fournie par la machine ou délestage, par ouverture de la ligne de raccordement au réseau par exemple. Ce défaut peut affecter plus particulièrement des groupes hydrauliques, dont la régulation de vitesse est en général plus lente que celle des turboalternateurs.

✓ un fonctionnement de groupes hydrauliques en antenne sur des lignes peu chargées.

✚ Les défauts mécaniques ont des conséquences sur les grandeurs électriques, par exemple intempestive des vannes d'alimentation en vapeur de la turbine entraîne le passage de la machine en fonctionnement en moteur synchrone, avec consommation de puissance active sur le réseau. [3]

III.3 Détection des défauts

✚ La détection des défauts électriques des machines tournantes obéit à des grands principes :

✓ elle doit être la plus simple possible, pour assurer la plus grande fiabilité et la plus grande rapidité.

✓ elle doit être sensible, en fonctionnant de manière fiable pour la plus petite variation possible des grandeurs caractéristiques du défaut.

✓ elle doit être sélective, c'est-à-dire éliminer le défaut par les organes les plus proches et permettre de discriminer les défauts internes et les défauts externes, car les actions qu'elle entraîne ne sont pas les mêmes.

✚ Deux modes de détection de défaut peuvent être envisagés.

✓ Détection directe de l'avarie du matériel (par exemple, pour les défauts à la masse, par mesure du courant de défaut ou de la résistance d'isolement). Ce mode de détection est sélectif et par suite peut commander si nécessaire la mise hors service très rapide du matériel incriminé.

La détection directe est la plus satisfaisante, mais :

- elle n'est pas toujours réalisable, du moins de façon fiable.
- sa généralisation conduirait à multiplier le nombre des dispositifs de protection et par accroissement corrélatif des risques de fonctionnement intempestif, à compromettre la qualité du service. Par suite elle sera surtout utilisée pour les défauts susceptibles d'endommager gravement le matériel, et bien sûr lorsqu'elle constitue le seul moyen de détection (masse rotor par exemple).

✓ Détection des effets indirects du défaut par la mesure des variations de tension, courant, fréquence, angle interne, puissance, etc.

Le dispositif de protection fonctionne lorsque les variations de ces grandeurs, en amplitude et en durée, dépassent les limites admissibles pour le matériel, quelle que soit l'origine du défaut.

- La chaîne de détection d'un défaut électrique comprend deux éléments.
- Le capteur donne une image de la grandeur à surveiller par :
 - soit un transformateur de courant.
 - soit un transformateur de tension, qui peut également servir à une mesure de fréquence du courant alternatif.
 - soit d'autres capteurs destinés à élaborer des grandeurs plus complexes (par exemple : capteur de position angulaire du rotor d'alternateur pour la mesure de l'angle interne).
- Le relais de protection lui-même reçoit en entrée l'image de la grandeur électrique surveillée, ou une combinaison de différentes grandeurs (relais de puissance, de rupture de

synchronisme, images thermiques de moteurs, etc.) et élabore un ordre en sortie par la fermeture (ou l'ouverture) de contacts.

Le changement d'état de ces contacts insérés dans les circuits de contrôle-commande de l'installation, provoque des actions destinées à éliminer le défaut ou éventuellement à émettre une alarme. Les relais de protection des alternateurs sont généralement regroupés dans une ou plusieurs armoires équipées de dispositifs d'alimentation auxiliaire, de surveillance de l'état des relais, ainsi qu'éventuellement des équipements d'essais de fonctionnement.

Le circuit de protection reliage composite de l'armoire **[Fig.III.2]** participe à la protection de l'ensemble de l'équipement vis-à-vis de l'environnement : conditions climatiques, perturbations électromagnétiques, sécurité du personnel, et limite l'accès aux réglages au seul personnel habilité. [3]



Fig.III.2 Armoire de protection d'alternateur

III.4 Elimination des défauts :

III.4.1 Défauts d'origine interne :

En cas de défaut interne, la machine doit être séparée des sources d'énergie externes.

La cinétique du défaut étant en général très rapide, l'action doit être exécutée dans les délais les plus courts, fonction du temps de réaction du relais (quelques dizaines de

millisecondes) et du temps d'ouverture des disjoncteurs ou contacteurs (environ une centaine de millisecondes).

- Dans le cas des alternateurs, l'action du relais (par exemple court-circuit à la masse, entre phases...) provoque en général et simultanément :

- ✓ l'ouverture du disjoncteur de groupe reliant l'alternateur au réseau.
- ✓ la fermeture des vannes d'alimentation en vapeur ou des vannes d'alimentation en eau et vannage de la turbine, ou la coupure de l'arrivée de combustible du moteur, etc. ;
- ✓ l'ouverture du disjoncteur alimentant le circuit d'excitation.
- ✓ si un tel dispositif est prévu, la fermeture d'un contacteur de désexcitation rapide, fermant le circuit de l'inducteur sur une résistance extérieure, destinée à dissiper rapidement l'énergie électromagnétique du rotor.

Cette séquence d'actions est appelée déclenchement du groupe.

Le court-circuit à la masse de l'enroulement rotorique en un point représente un cas particulier en sens qu'il peut ne provoquer qu'une simple alarme, sans déclenchement. [1]

III.4.2 Défaits d'origine externe :

En cas de défauts externes, les machines tournantes doivent réagir pour assurer leur service pour un temps précis et permettre aux relais de protection d'agir aux moments opportuns le plus longtemps possible, pour laisser le temps nécessaire aux relais de protection, extérieurs à l'installation, pour éliminer ces défauts.

Le fonctionnement des relais de protection contre les défauts externes doit donc assurer la sélectivité des actions, en n'interférant pas avec les relais de protection du réseau.

- Deux types d'actions sont commandés par les relais de protection :

∅ Si la cause du régime anormal est sans ambiguïté (par exemple régimes déséquilibrés, variations de fréquence, ...) ou très probablement extérieure à l'alternateur, celui-ci est séparé du réseau, soit immédiatement, soit après une temporisation destinée à laisser agir les protections du réseau par l'ouverture du disjoncteur de ligne.

L'alternateur fournit alors uniquement l'énergie électrique nécessaire aux auxiliaires de l'unité. Cette action est appelée îlotage.

∅ Si l'origine interne ou externe du défaut ne peut pas être discriminée par les variations des grandeurs électriques (par exemple baisse de tension, rupture de synchronisme...), l'élimination du défaut se fait en deux temps :

- Tout d'abord îlotage du groupe.
- Si le défaut persiste après une certaine temporisation, déclenchement du groupe.

D'autres régimes anormaux, dont les effets sur les alternateurs ne sont pas immédiats, par exemple surcharge ne provoquent qu'une alarme. [3]

III.5 Conséquences sur les machines et le système électrique :

Les défauts de fonctionnement, qu'ils soient d'origine interne ou externe, ont des conséquences sur les machines tournantes, en termes d'effets, et sur le système électrique en termes de fonctionnement ou d'actions à mener pour rétablir une situation normale.

Ces conséquences sont résumées dans le tableau suivant, en indiquant les durées approximatives de régimes anormaux supportables par les machines et les actions commandées par les relais de protection. [4]

Conséquences des défauts sur les machines et le système électrique						
Défaut	Conséquences sur la machine			Conséquences sur le système électrique		
	Effet	Temps	Action	Fonctionnement	Temps	Action
ORIGINE INTERNE						
Masse du stator	Dégradation de l'isolation	0,1 s	D	Perte de la fonction production	-	-
Court-circuit entre phases du stator	Fusion des conducteurs. Fusion du circuit magnétique	0,1 s	D	Perte de la fonction production	-	-
Court-circuit entre spires du stator	(Défaut peu probable)	-	-			
Perte d'excitation	Contraintes de torsion. Échauffement des conducteurs	Quelques secondes	D	Variations importantes de la tension. Perte de la fonction production	Quelques secondes	-
Masse du rotor	1er défaut : pas de conséquence 2e défaut : fusion des conducteurs, fusion du fer	0,1 s	A D	Perte de la fonction production		
Court-circuit entre spires du rotor	Dégradation de l'isolation. Fusion des conducteurs (voir perte d'excitation)			Perte de la fonction production	-	-
ORIGINE EXTERNE						
Court-circuit liaison alternateur-TP à la masse	(Voir masse du stator)	0,1 s	D	Perte de la fonction production	-	-
Court-circuit triphasé liaison alternateur-TP	Efforts importants sur conducteurs. Échauffements	0,1 s	D	Perte de la fonction production	-	-
Court-circuit liaison TP-système (HT)	Efforts sur conducteurs. Échauffements	Quelques secondes	I	Élimination du défaut sur l'ouvrage concerné	< 0,1 s à quelques secondes	E
Manque de production	Fréquence basse → Fatigue des ailettes de la turbine	Quelques secondes	I	Rétablissement de l'équilibre production-consommation. En dernier stade, perte de la fonction production	quelques minutes	-
Surplus de production	Fréquence élevée → Fatigue des ailettes de la turbine	Quelques secondes	I	Rétablissement de l'équilibre production-consommation. En dernier stade, perte de la fonction production	quelques minutes	-
Surcharge	Échauffement des conducteurs	Quelques minutes	A	Rétablissement de l'équilibre des charges (puissance réactive)	quelques minutes	-

Perte de synchronisme	Contraintes de torsion. Échauffement des conducteurs	Quelques minutes	I	Rétablissement de la stabilité du système production-transport	quelques minutes	-
Déséquilibre de courants	Échauffement amortisseur du rotor	Quelques minutes à quelques secondes	A I	Rétablissement de la structure du réseau	quelques minutes	E
Baisse de tension	Échauffement des conducteurs	Quelques secondes	I	Rétablissement de l'équilibre des charges (puissance réactive)	quelques minutes	E
	Si défaut persistant	Quelques secondes	D	Élimination du défaut sur l'ouvrage concerné	0,1 s	
Élévation de tension	Risque de claquage des isolants	Quelques secondes	D	Perte de la fonction production	-	-
Retour de puissance	Échauffement des ailettes de la turbine	Quelques minutes	D	Arrêt normal de l'unité ou rétablissement du fonctionnement normal de la régulation de vitesse de la turbine	-	-
<p>A : alarme D : déclenchement de l'unité ou de l'auxiliaire</p> <p>I : flotage E : élimination du défaut réseau</p>						

Tableau III.1 Conséquences des défauts sur les machines et le système électrique

III.6 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons cité les différents défauts d'origine interne et externe sur la machine, et les moyens utilisés pour leurs détections et leurs éliminations. Enfin, nous avons présenté les conséquences de ces défauts sur la machine et sur le système électrique.

IV.1 INTRODUCTION :

Chaque installation électrique en service risque d'être exposée à des défauts électriques, il s'agit la plus part du temps des courts circuits. [Tableau III.1]

Ces défauts peuvent mettre des installations en danger et réduire considérablement leur durée de vie, il faut donc les éliminer dans le plus court délai et dans les meilleures conditions, par des dispositifs de protection.

Le but de ces derniers est de détecter ces incidents ou de signaler leur persistance et de donner automatiquement des ordres nécessaires afin de séparer les parties défectueuses des parties saines, permettant aussi la remise en état et la reprise rapide du service normal après une panne.

IV.2 Définition :

Un système de protection peut être défini comme un ensemble de dispositif plus ou moins complexe, dont le rôle est la mise hors service immédiate d'un organe ou élément de réseau quand celui-ci devient le siège d'un défaut électrique.

Cette mise hors service a pour finalité d'une part, de limiter les dommages qui pourraient être causés à l'élément protégé et d'autre part de préserver le reste du système électrique. [4]

IV.3 Grandeurs physiques utiles pour détecter des défauts :

La protection d'un alternateur représente un système de sécurité dans lequel la fiabilité est la plus importante de ces qualités.

Les caractéristiques utilisées sont essentiellement mécanique ou électrique. Pour la plus part des contrôles, ce sont principalement :

- Ø La tension
- Ø Le courant
- Ø La fréquence

IV.4 Rôle des protections électriques : [1]

Chaque défaut électrique dans une machine ou un système est le résultat d'un défaut d'isolation.

Le système de protection doit être très rapide pour mettre hors circuit cet élément de réseau.

La partie la plus vulnérable d'un alternateur est constituée par les isolants qui subissent des contraintes :

1) d'ordre mécanique

- ✓ Effort centrifuge sur le conducteur du rotor.
- ✓ Vibration du conducteur sous l'effet du champ magnétique.
- ✓ Effort électrodynamique qui s'exerce entre les conducteurs.

2) d'ordre thermique

- ✓ Effort dus à la déformation des conducteurs par variation de température
- ✓ Détérioration des isolants sous l'effet de l'échauffement exagéré.

3) d'ordre électrique

- ✓ Surtension provoquée par une manœuvre d'origine atmosphérique.

IV.5 Qualité que doit présenter un système de protection : [2]

Un système de protection doit être :

- Ø Sélectif.
- Ø Suffisamment sensible.
- Ø Action rapide.
- Ø Insensibilité aux surcharges.
- Ø Autonome.
- Ø Sûre.

IV.6 Structure d'un dispositif de protection :

IV.6.1 Dispositif de protection :

Il est constitué :

- ✓ D'un organe de mesure ou d'une chaîne de mesure.
- ✓ D'un organe de comparaison.
- ✓ D'un organe d'élaboration d'ordre des manœuvres.
- ✓ D'un organe de signalisation et de l'exécution d'ordre des manœuvres. Ces

dispositifs sont des relais. [1]

IV.6.2 Définition d'un relais :

Le relais est un dispositif à action mécanique ou électrique provoquant le fonctionnement des systèmes qui isolent une certaine zone de réseaux en défaut ou actionnant un signal en cas des conditions anormales de marche (alarme, signalisationEtc.) [5]

IV.6.3 Désignation d'un relais : [1]

Un relais désigné selon la grandeur surveillée (tension, courant, puissance, fréquence, impédance...)

- ✚ Relais à maximum de courant.
- ✚ Relais à maximum ou minimum de tension.
- ✚ Relais à minimum d'impédance.
- ✚ Relais directionnel de puissance.
- ✚ Relais à minimum de réactance.

IV.6.4 Construction d'un relais :

IV.6.4.1 Relais électromagnétiques :

Un relais électromagnétique comporte une armature ou un équipement mobile sur lequel agissent les bobines ou des aimants ou des conducteurs. Ils dépendent de la conception du circuit magnétique.

Le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courants de court-circuit. [5]

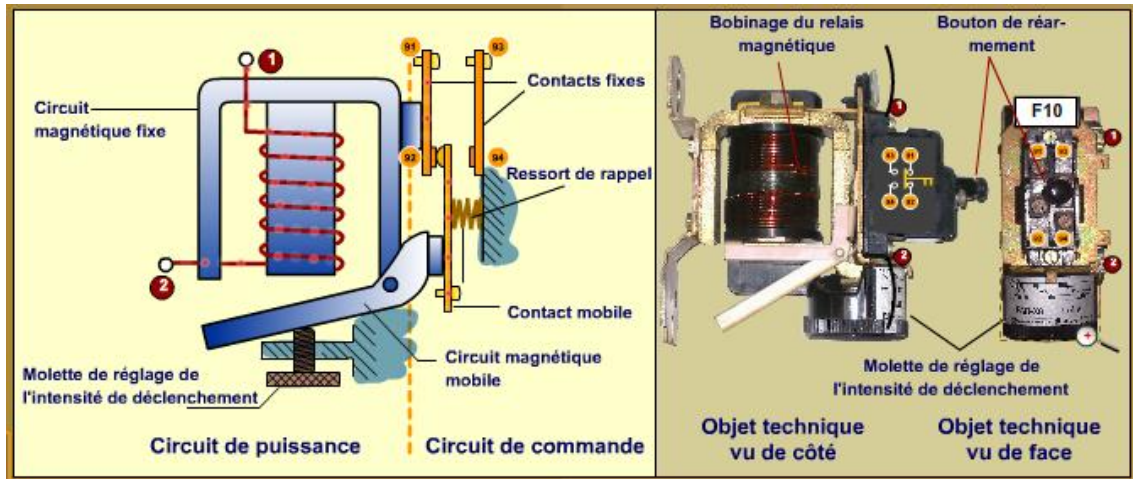


Fig.IV.1 Relais électromagnétique

IV.6.4.2 Relais statique :

Il remplace de plus en plus les relais électromagnétiques pour les avantages suivants : Plus précis, plus sensible, rapide, sélectifs, rapidité de démarrage, durée de vie plus longue, faible consommation, moins encombrant. [5]

IV.6.4.3 Relais thermique :

Il est composé d'un bilame métallique à coefficient de température différent. Le courant parcourant ce relais, engendre l'échauffement et la déformation du bilame qui entraîne à l'aide d'un contact électrique associé à ce bilame le déclenchement du circuit de commande. [5]

IV.7 Alimentation des dispositifs de protection : [1]

Les systèmes de protections sont alimentés par des transformateurs de mesure (transformateur de tension, transformateur de courant).

Les transformateurs de courant et de tension sont destinés sur les circuits électriques à des valeurs plus faibles à :

- ✚ Mesurer.
- ✚ Utiliser pour alimenter les installations de comptage.

✚ Utiliser pour alimenter les dispositifs de protection électriques.

IV.8 Différentes protections électriques d'un alternateur : [4]

Il est nécessaire de signaler la machine avariée afin de limiter la zone défectueuse. Pour réaliser cette nécessité, l'alternateur est équipé de nombreuse protection électrique qui se complète mutuellement :

IV.8.1 Protection différentielle :

La protection différentielle est basée sur une comparaison de courant ; sans défaut est toujours sur les deux cotés du même courant. Ce courant entre dans l'objet d'un coté et sort par l'autre coté ; une différence de courant indique avec certitude un défaut à l'intérieur ou à l'extérieur de l'objet. En régime normale la comparaison de ces courants donne une différence nulle ; en cas de défauts entre phases un courant différentiel apparaît et vient actionner le relais.

IV.8.2 Protection déséquilibre :

Le déséquilibre des intensités débitées par le stator, donne naissance aux courants inverses qui provoquent, l'échauffement du fer et de l'enroulement amortisseur.

IV.8.3 Protection masse stator :

La majorité des défauts affectant le stator se produisent en pratique entre l'enroulement et la masse. Les courants de défaut résultants circulants vers la masse à travers le circuit magnétique de la machine engendrent un échauffement de cette dernière et sa détérioration. La protection stator utilise le principe de détection d'un courant qui apparaît au point neutre de l'alternateur lors d'un défaut à la terre.

C'est à dire que le point neutre de l'alternateur est relié directement à la terre à travers le primaire d'un transformateur de potentiel, le secondaire de ce transformateur est branché sur le relais de protection.

IV.8.4 Protection masse rotor :

Le circuit d'excitation d'un alternateur est une boucle indépendante, il est donc nécessaire de détecter la première mise à la masse du rotor, indice d'une détérioration de l'isolement sans qu'il ne soit nécessaire d'arrêter le groupe.

Un seul défaut à la terre du rotor ne perturbe pas ce fonctionnement de la machine ; mais un second défaut peut cependant faire apparaître une dissymétrie magnétique, et provoquer ainsi des vibrations très dangereuses.

Il est important de signaler chaque défaut à la terre du rotor et de le supprimer dès que possible.

Les contrôleurs d'isolement mesurent la variation du courant de défaut entre un point du circuit d'excitation et la masse du rotor s'il est isolé par des paliers, ou la masse de la machine. La nature de la source de mesure diffère selon la nature du courant d'excitation.

IV.8.5 Protection retour de puissance :

Un alternateur couplé sur le réseau doit fonctionner en générateur. S'il se comporte en récepteur, il y a retour de puissance et il absorbe de la puissance du réseau.

La cause d'une telle perturbation est en générale la défaillance de l'énergie d'entraînement de la turbine.

Le retour de puissance se crée aussi lors d'un réglage défectueux de la vitesse ou de la fréquence.

IV.8.6 Protection surcharges :

Protège le bobinage statorique contre une élévation inadmissible de la température quand l'alternateur est surchargé.

IV.8.7 Protection contre les mini fréquences :

Protège l'alternateur contre une baisse de fréquence premier et deuxième stade.

Lorsque nous avons une forte demande du réseau, le groupe en essayant de répondre, sachant que sa puissance est limitée, entraîne une baisse de fréquence. Le premier stade entraîne l'ouverture des disjoncteurs lignes, mais conserve le groupe en production, tandis que le deuxième stade entraîne l'ouverture des disjoncteurs lignes et ceux de couplage.

IV.8.8 Protection contre les surtensions (maximum de tension) :

Protège l'alternateur contre la rupture d'isolation au niveau du stator suite à une surtension.

IV.8.9 Protection contre les surintensités :

Les surintensités consécutives à un court circuit ou à une surcharge provoquent des échauffements qui peuvent détériorer l'alternateur, en particulier lorsque l'on a un fonctionnement prolongé sur un court circuit.

IV.8.10 Protection défaut d'excitation :

Cette protection a un rôle de protéger la machine contre la marche asynchrone et des échauffements.

La détection de la marche asynchrone de la machine synchrone est décelée par le relais de réactances capacitatives.

IV.8.11 Protection incendie :

Protège l'alternateur contre l'incendie grâce à un dispositif de détection par thermocouples et un dispositif d'extinction par gaz carbonique.

IV.9 Réglages et actions des relais de protection de l'alternateur : [2]

Sont résumés dans le tableau suivant et schématisés sur la [fig.IV.2]

Protection	Type A	Type B	Type C	Réglage	Temporisation
Différentielle			*	15%	Sans temporisation
Maximum de courant	*			1.2In	Temps inverse
Maximum de tension		*		1.2Un	2 s
Retour d'énergie	*			5% Sn	0.5 s
Minimum fréquence			* 2eme stade	1 ^{er} stade : 47.2Hz	0.15 s
				2 ^e stade : 46.2Hz	0.4 s
Déséquilibre	*			1 ^{er} stade 10% In	5 s
				2 ^e stade 20% In	9 s
Masse stator			*	2.5% Un	0.3 s
Masse rotor		*		>1.8 kΩ	0.3 s
Défaut d'excitation		*		12 Ω	2 s
				2 Ω	2 s

Tableau IV.1 Réglages et actions des relais de protection de l'alternateur

IV.11 Contrôle des protections électriques de la centrale de Bab Ezzouar :

Pour vérifier la fiabilité des relais de protection d'alternateur on a effectué des essais sur les relais à l'aide d'un appareil (caisse d'injection et avec le logiciel OMICRON et multimètre digital) on arrive à tester tous les relais de protections et leurs fiabilité. Dans notre exemple on prend deux relais de protection sur lesquels on a effectué des essais afin de tester leurs fiabilité. (Sensibilité et temps de réponse)

Appareillages utilisés :

- **Caisses d'injection courant – tension (triphasee) :**

Est un excellent appareil, marque OMICRON, type CMC 256 plus, de test pour les équipements de protection de toute sorte, mais c'est aussi un calibrateur universel. Sa grande précision permet d'étalonner une grande diversité d'appareils de mesure.



Fig.IV.3 Caisses d'injection courant – tension (3~)

- **Un multimètre digital :**

Est un ensemble d'appareils de mesures électriques regroupés en un seul boîtier, généralement constitué d'un voltmètre, d'un ampèremètre et d'un ohmmètre.

IV.11.1 Relais de protection à Maximum de tension :

Les relais de protection à maximum de tension sont utilisés pour la protection des appareils et des installations, pour l'alimentation des appareils d'éclairage de sécurité et pour la détection des coupures des conducteurs et des courtes interruptions de tension.



Fig.IV.3 : Relais de protection à Maximum de tension

Les surtensions, monophasées, biphasées ou triphasées qui provoquent le vieillissement accéléré ou le claquage de l'isolation des équipements électriques et plus particulièrement celui des machines tournantes doivent être détectées.

Les consignes d'exploitation de bab ezzouar :

R A P P O R T		N° Annexe N° 23	CENTRALE	
de M°		Date: 22/06/79	BAB EZZOUAR	
RELAIS DE TENSION			Gr TA TGD MW N° 2	
Fonction :			PROTECTION	
Repère n° 204 E-10 du schéma : FBLB 820-113			N° d'ordre : 311050	
N° du plan : _____			Plaque signalétique et/ou Données techniques	Relevés en fonctionnement
N° de spécification : _____				
N° de feuille de contrôle : _____				
Fournisseur : BSC				
Type de l'appareil : UM 31X				
N° de l'appareil : HE 76/130-100/36275				
T P d'alimentation			V/N	11500/110
rapport				0,5
classe			VA	100
puissance			Hz	50
Présence			V	110
Tension nominale ou relais			Un	1,2
Réglage			V	132
Temporisation			s	2

Tableau IV.2 Les consignes d'exploitation de bab ezzouar

On a :

$$U_{consigne} = K V_N$$

K : coefficient multiplicateur et varie entre [1,1.1, 1.2,...,2]

$$\text{Temps de consigne} = [1-5] \text{ s}$$

On a:

$$U = k V_N \quad V_N = 110 \text{ V}$$

D'après le cahier de charge on à :

$$K = 1,2$$

$$U_{consigne} = 132 V$$

$$T_{consigne} = 2 S$$

A l'aide de caisse d'injection on a injecté une tension de 132 V au borne de relais on a trouvé le temps de réponse de 1,922 s. Et ce temps se trouve dans l'intervalle [1-5] donc ce relais teste de la protection est fiable.

IV.11.2 Relais de protection à maximum de courant :

Les relais de protection à maximum de courant sont principalement définis par leur caractéristique temporisation en fonction du courant, plus le courant est élevé et plus la temporisation est faible.



Fig.IV.4 : Relais de protection à maximum de courant

A l'aide de l'appareil caisse d'injection on a testé les 3 phases(R, S, T) et dans notre exemple on prend une seule phase et pour les autres c'est la même procédure.

La phase R :

Les résultats des essais sont illustrés sur le tableau ci-dessous :

Courant mesuré (A)	Temporisation mesurée (s)
4,7	16,09
5	10,12
5,5	6,654
6	4,982
6,5	3,970
7	3,333
8	2,898
12	1,52
15	1,124
20	0,806

A partir des valeurs de tableau on a la courbe suivante :

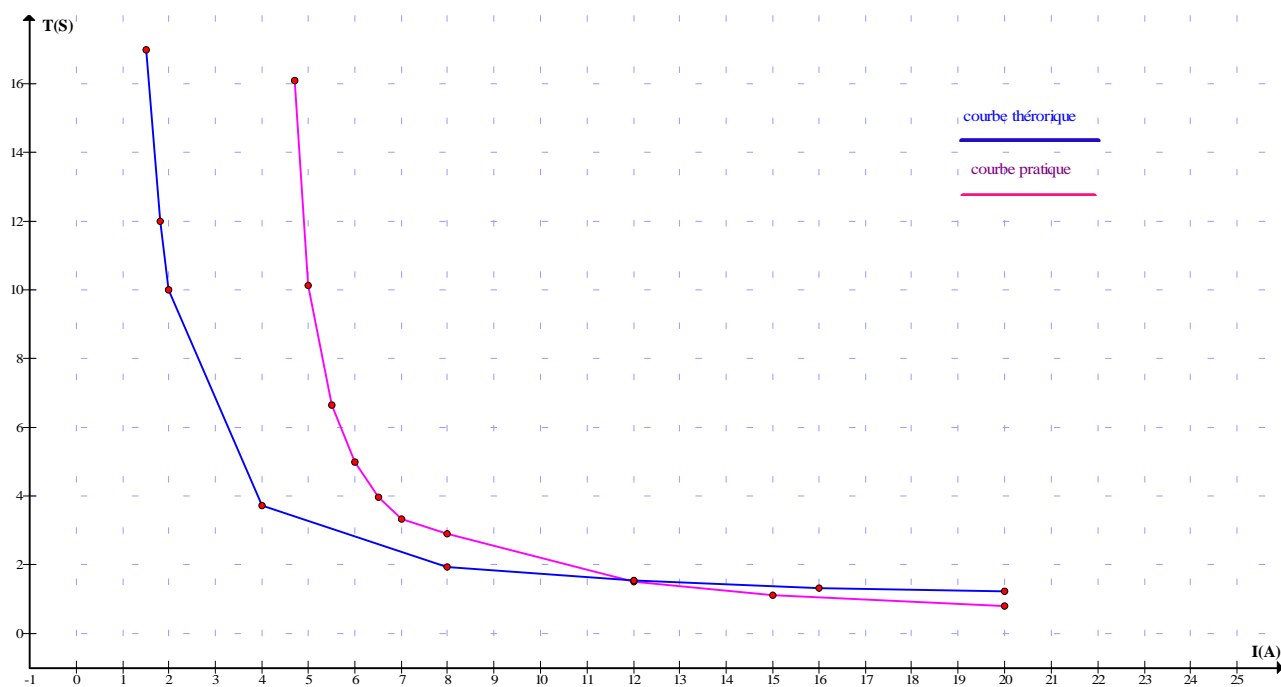


Fig.IV.5 : courbes de variation de la temporisation en fonction du courant de la phase R

On remarque que les deux courbes (théorique et pratique) présente un petit décalage entre elle. Cette différence est due au :

- § Vieillessement du matériel (1978).
- § Réglage de la sensibilité.
- § Angle d'enclenchement.

IV.12 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, on a fait l'état de l'art de la protection qui existe au niveau de la centrale de BAB EZZOUAR (utilisé aussi par la société algérienne SONELGAZ), on à aussi étudier des réglages de ces protections illustrée dans le [**Tableau IV.1**].

Conclusion générale

Le travail que nous avons réalisé au sein de la centrale thermique de Bab Ezzouar nous a été bénéfique sur plusieurs aspects, il nous a permis non seulement d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la production de l'énergie électrique, il nous a donné l'occasion de constater l'importance des différents relais de protection de l'alternateur.

Chaque machine est conçue avec un système de régulation qui présente des limites en fonctionnement et qui peut nuire aux ouvrages. C'est pour ces raisons que ces machines doivent avoir une protection qui veille sur leur bon fonctionnement et les protègent des différents défauts parasites interne ou externe.

Pour que ces systèmes de protection accomplissent convenablement leur mission, ils doivent présenter certaines qualités, comme la fiabilité, la sélectivité, la rapidité d'action, la sensibilité, et leur consommation d'énergie électrique réduite.

Enfin, il reste à ajouter que le système des protections est ancien par rapport au système numérique. Et souvent il ne reprend pas aux recommandations des normes à cause des poussières qui bloquent leur mécanisme. Pour cela il faut l'entretien, de ces systèmes protections, qui assure leurs fonctionnements.



Références bibliographiques

[1] – OUDJIDA Mohamed Lamine, ZOUBIR Rafik Zine El Abidine" Etude de l'Alternateur « WY 14L 061 LLT » de la centrale de Bab Ezzouar et ces protections" L'INSFP de Bordj El Bahri, 2009.

[2] – Lakrouz Messaoud, Lehad Farid « Etude des protections des alternateurs de la centrale thermique de Bab Ezzouar » Université Mouloud Mammeri, 2009.

[3] – Bernard GUIGUES « protections électriques des alternateurs et moteurs » Technique de l'ingénieur D3 775.

[4] – Documentations fournies à la centrale de Bab Ezzouar.

[5]– Madani Nora, Menai Dahbia «étude des protections de réseau électrique THT à SONELGAZ» Université Mouloud Mammeri. 2012.