



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machine Electrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Ouamane Mohamed Achraf

Le : samedi 6 juillet 2019

Les machines électriques dans les unités industrielles : pilotage et maintenance

Jury :

Dr.	Megherbi Ahmed Chaouki	MCA	Université de biskra	Rapporteur
Dr.	Cheriet Ahmed	PR	Université de biskra	Président
Dr.	Bourek Amor	PR	Université de biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machine Electrique

Présenté et soutenu par :
Ouamane Mohamed Achraf

Le : samedi 6 juillet 2019

Les machines électriques dans les unités industrielles : pilotage et maintenance

Présenté par :
Ouamane Mohamed Achraf

Avis favorable de l'encadreur :
Dr. Megherbi Ahmed Chaouki *signature*

Avis favorable du Président du Jury

Cheriet Ahmed

Signature

Cachet et signature

RESUMES (Français et Arabe)

Résumé :

Ce mémoire consiste à l'étude des différents types des machines électriques exploitées dans l'industrie selon leurs pilotage, protection et maintenance.

Pour arriver à cet objectif nous avons commencé par une étude théorique des différents types des machines électriques dans les unités industrielles, ensuite nous avons réalisé une étude pratique sur le pilotage et la maintenance des machines électriques suivi de deux stages au sein de différentes unités industrielles : ENICAB et DMB-SONATRACH.

ملخص :

في هذه المذكرة تطرقنا الى دراسة مختلف انواع الالات الكهربائية المستخدمة في الوحدات الصناعية وفقا لقيادتها، حمايتها و صيانتها.

ولتحقيق هذا الهدف بدأنا بدراسة نظرية لمختلف انواع الالات الكهربائية في الوحدات الصناعية ، ثم قمنا بانجاز دراسة عملية على قيادة وصيانة الالات الكهربائية تليها تربصين في وحدات صناعية مختلفة : المؤسسة الوطنية لصناعة الكوابل ببسكرة و قسم الصيانة سوناطراك بسكرة.

REMERCIEMENTS

Je remercie premièrement Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a données durant toutes ces années d'étude.

J'exprime ma profonde gratitude à mes parents pour leurs encouragements.

Je remercie sincèrement mon encadreur : Dr. Megherbi Ahmed Chaouki Pour son aide, son encouragement et sa patience ainsi pour ses conseils précieux pendant la période de la réalisation de ce travail.

Je tiens de remercier aussi toutes mes proches et toutes les personnes qu'on m'a aidé dans mon parcours d'étude.

SOMMAIRE

- Résumés	01
- Remercîments	02
- Sommaire	03
- Liste des figures et tableaux	05
- Introduction générale	08
Chapitre I : Généralité sur les machines électriques dans l'industrie	
I. Les machines asynchrones triphasés	11
I.1. Constitution	11
I.2. Principe de fonctionnement	12
I.2.1 Création du champ tournant	12
I.2.2 Glissement	12
I.2.3 Vitesse de synchronisme	12
I.3 Pilotage de la MAS	12
I.3.1 Démarrage de la machine asynchrone	13
I.3.2 Les différents types de démarrage	14
I.3.3 Variation de vitesse de la machine asynchrone	17
I.3.4 Variateurs de vitesse	18
I.3.5 Freinage de la machine asynchrone	20
II. Les machines synchrones	21
II.1. Constitution	21
II.2. Principe de fonctionnement	22
II.3 Fonctionnement de l'alternateur	23
II.4 Pilotage de la machine synchrone	23
II.4.1 Principe de l'autopilotage des machines synchrones	23
II.4.2 Contrôle du couple moteur de la machine	24
III. Machine à courant continue	24
III.1 Constitution	24
III.2 Principe de fonctionnement	25
III.3 Différents types de moteurs à courant continu	26
IV. Protection et maintenance des machines électriques	28
IV.1 La protection des machines électriques	28
IV.2 Les éléments de Protection	29
IV.2.1 Protection contre les court-circuits	29
IV.2.2 Protection contre les surcharges	30
V. La maintenance des machines électriques	31
V.1 Les différentes formes de maintenance (d'après la norme NFX 60-010)	31
V.2 Rôle de la maintenance	32
Chapitre II : Pilotage des machines électriques dans l'unité industrielle.	
II.1 Présentation de l'entreprise ENICAB	35
II.2 Les produits de l'entreprise	35
II.3 Matière première	36
II.4 Les étapes de fabrication des câbles	36
II.4.1 Tréfilage	36
II.4.2 Assemblage « câble nu »	37
II.4.3 Isolation	37
A. Analyse du moteur de l'extrudeuse	37
B. Vitesse de rotation du moteur	39
C. Excitation du moteur	39
D. Roulement du moteur	39
E. Dispositifs de protection du moteur	40
II.4.4 Assemblage « câble avec isolation »	40
II.4.5 Armature des câbles électriques	40
A. Rubanage des câbles	40
B. Les différents dispositifs du rubaneuse	41

C. Description matériel de chaque unité du rubaneuse	41
1. Le dérouleur	41
1.1 Les composants du dérouleur	42
1.2 Fonctionnement de dérouleur	42
1.3 Caractéristique des moteurs du dérouleur	43
1.4 Caractéristique du variateur de vitesse	44
2. Rubaneuse tangentielle	45
2.1 Les composants du rubaneuse tangentielle	45
2.2 Fonctionnement du rubaneuse tangentielle	45
3. Rubaneuse tangentielle 2	46
4. Rubaneuse tangentielle 3	46
5. Chenille de tirage	46
6. Enrouleur autotrançage	47
6.1 Fonctionnement de la commande automatisé	47
7. L'écran générale de la chaîne	48
D. Fonctionnement de la chaîne de production	48
II.4.6 Compteur métrage	49
A. Fonctionnement du compteur métrage	49
B. Caractéristique du compteur métrage	49
Chapitre III : La maintenance des machines électriques dans l'industrie	
III.1 Présentation de l'entreprise	53
III.2 Moteur Asynchrone triphasé « WEG »	54
III.2.1 Constitution	54
III.2.2 Les procédures de la maintenance préventive du moteur asynchrone triphasé « WEG »	58
A. Expertise et essais de réception	58
B. Démontage du moteur asynchrone triphasé « WEG »	62
C. Réparation du moteur triphasé « WEG »	64
D. Remontage du moteur	65
E. Procédure d'essais après la réparation	65
III.3 ALTERNATEUR PARTNER « LEROY SOMER »	69
III.3.1 Caractéristiques de l'alternateur	69
III.3.2 Les procédures de la maintenance corrective d'un alternateur PARTNER « LEROY SOMER »	75
1) Procédure d'expertise et essais de réception	75
2) Démontage de l'alternateur	78
3) Réparation de l'alternateur	80
4) Remontage de l'ensemble	86
5) Procédures d'essai en fin de réparation	86
- Conclusion générale	88
- Bibliographie	89

Listes des figures

Chapitre I : généralité sur les machines électriques dans l'industrie.

- Figure I.1 Machine asynchrone à rotor à cage d'écureuil et à rotor à bagues.	11
- Figure I.2 Schéma de couplage étoile triangle.	14
- Figure I.3 Schéma de principe de convertisseur de fréquence.	16
- Figure I.4 Influence de la vitesse de synchronisme.	18
- Figure I.5 Schéma fonctionnel d'un onduleur triphasé industriel.	18
- Figure I.6 Les quatre quadrants de fonctionnement de la machine asynchrone.	20
- Figure I.7 Principe du freinage à contre-courant.	21
- Figure I.8 Rotor d'une machine synchrone à aimants permanents.	22
- Figure I.9 Différents types d'excitation des moteurs à courant continu	26
- Figure I.10 Sectionneurs 32 et 125A à fusible.	29
- Figure I.11 Disjoncteur magnétique.	30
- Figure I.12 Relais électronique LR9.	31
- Figure I.13 Relais thermique de surcharge à bilames.	31
- Figure I.14 Organigramme de la maintenance industrielle.	33

Chapitre II : Pilotage des machines électriques dans l'unité industrielle.

- Figure II.1 l'entreprise ENICAB.	35
- Figure II.2 Machine à tréfiler.	36
- Figure II.3 Machine de câblage.	37
- Figure II.4 La machine extrudeuse et son schéma fonctionnel.	37
- Figure II.5 Le moteur à courant continu de l'extrudeuse.	38
- Figure II.6 Boîtier et le schéma de raccordement.	38
- Figure II.7 Tachymètre à tension continue.	39
- Figure II.8 La ligne du rubaneuse.	41
- Figure II.9 Le dérouleur.	42
- Figure II.10 Moteur asynchrone de positionnement vertical.	43
- Figure II.11 Variateur de vitesse.	44
- Figure II.12 Schéma de connexions typiques du variateur avec le système.	44
- Figure II.13 Rubaneuse tangentielle.	45
- Figure II.14 Moteur d'entraînement à courant continu.	46
- Figure II.15 Chenille de tirage.	46
- Figure II.16 Moteur à courant continue de la chenille de tirage.	47
- Figure II.17 Armoire de commande automatisé avec une carte électronique.	48
- Figure II.18 Ecran générale de la chaine.	45
- Figure II.19 L'armoire générale de commande de la chaine.	49
- Figure II.20 Testeur des défauts « zumbach ».	49
- Figure II.21 Organigramme de production des câbles.	51

Chapitre III : La maintenance des machines électriques dans l'industrie.

- Figure III.1 Moteur asynchrone triphasé.	54
- Figure III.2 Schéma de plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé.	54
- Figure III.3 Couplage triangle du moteur asynchrone.	55
- Figure III.4 Rotor à cage d'écureuil.	56
- Figure III.5 Arbre du moteur asynchrone.	56

- Figure III.6 Flasque et contre flasque du moteur asynchrone.	56
- Figure III.7 Joint d'étanchéité.	57
- Figure III.8 Ventilateur et capot de ventilation.	57
- Figure III.9 Roulements à billes radial.	57
- Figure III.10 La mesure de résistance entre bobine et la terre avec un mégohmmètre.	59
- Figure III.11 Mesure des résistances entre bobine avec micro- ohmmètre.	60
- Figure III.12 Poulie du moteur.	62
- Figure III.13 Démontage du flasque coté poulie.	62
- Figure III.14 Extraction du rotor.	63
- Figure III.15 Démontage du flasque coté ventilateur.	63
- Figure III.16 Extraction du roulement.	63
- Figure III.17 Séchage du moteur dans le four.	64
- Figure III.18 Echauffement du roulement par induction.	65
- Figure III.19 Banc d'essai.	65
- Figure III.20 Essai à vide du moteur.	66
- Figure III.21 Mesure du courant avec une pince ampérométrique.	67
- Figure III.22 Mesure de la vitesse de rotation avec un Tachymètre.	67
- Figure III.23 Mesure des températures avec multimètre.	68
- Figure III.24 Schéma synoptique de l'exploitation de ce moteur dans la station de pompage SP2.	68
- Figure III.25 Alternateur mono-palier.	69
- Figure III.26 Plaque signalétique de l'alternateur.	69
- Figure III.27 Boite a bornes.	70
- Figure III.28 Schéma de connexion des bobines de l'alternateur.	71
- Figure III.29 Schéma de système AREP avec R 448.	71
- Figure III.30 Capot et schéma de connexion du régulateur R448.	72
- Figure III.31 Stator de l'alternateur.	72
- Figure III.32 Roue polaire.	73
- Figure III.33 L'induit et l'inducteur de l'excitatrice.	73
- Figure III.34 Pont de diodes tournant.	74
- Figure III.35 Roulement à billes.	74
- Figure III.36 Mesure de résistance d'isolation du stator.	75
- Figure III.37 Mesure d'isolation de la roue polaire.	76
- Figure III.38 Test globale masse pour l'excitateur.	76
- Figure III.39 Essai des diodes.	77
- Figure III.40 Pont diodes de l'alternateur.	78
- Figure III.41 Capotage et la porte d'accès au régulateur.	78
- Figure III.42 Flasque et chapeau extérieur.	79
- Figure III.43 Paliers coté accouplement et coté excitatrice.	79
- Figure III.44 Extraction du roulement.	79
- Figure III.45 Extraction de la roue polaire du stator.	80
- Figure III.46 Nettoyage de l'alternateur de la poussière.	81
- Figure III.47 Four de débobinage.	81
- Figure III.48 Cuve d'imprégnation par arrosage.	81
- Figure III.49 Four d'étuvage.	82
- Figure III.50 Repérage et relevé du pas.	83
- Figure III.51 Essai de stator.	84
- Figure III.52 L'isolation du fer du stator.	84
- Figure III.53 L'emplacement du bobinage dans le stator.	85
- Figure III.54 Appareille d'équilibrage.	85
- Figure III.55 Source de tension variable sinusoïdale de 50 Hz.	87

Liste des Tableau

- Tab.I.1 Tableau de vitesse de rotation en fonction du nombre de pôles.	10
- Tab I.2 Tableau comparatif entre les types de démarrage.	13
- Tab I.3 Tableau comparative des différents types de commande des machines asynchrones.	17
- Tab I.4 Tableau comparative des différentes machines électrique.	24
- Tab II.1 Les icones de l'écran générale de la chaine.	45
- Tab III.1 Test globale masse.	56
- Tab III.2 Test résistances ohmiques.	57
- Tab III.3 Index de polarisation.	57
- Tab III.4 Rapport d'absorbation diélectrique.	58
- Tab III.5 Les valeurs acceptables de DAR.	58
- Tab III.6 Les défauts et les causes du moteur.	58
- Tab III.7 Test globale masse.	63
- Tab III.8 Teste résistance ohmique.	63
- Tab III.9 Mesure des températures du moteur.	65
- Tab III.10 Mesure d'isolation stator.	74
- Tab III.11 Les défauts et les causes du l'alternateur.	74
- Tab III.12 Les mesures d'essais de l'alternateur.	84

INTRODUCTION GENERALE

Les machines électriques sont de nos jours, les récepteurs les plus nombreux dans les industries. Leur fonction, de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique, leur donne une importance économique toute particulière qui fait qu'aucun concepteur d'installation ou de machine, aucun installateur et aucun exploitant ne peut les ignorer. Parmi tous les types de machines existants dans l'industrie, les machines asynchrones triphasés notamment les machines à cage d'écureuil sont les plus utilisés. De plus, bien que leur commande par des équipements à contacteurs soit parfaitement adaptée pour un grand nombre d'applications, ainsi que leur maintenance ne nécessite pas des technologies très avancées, simples et non coûteuse par rapport d'autre type de machine. Surtout avec l'emploi de matériels électroniques en constante progression élargit leur champ d'application. C'est le cas pour contrôler par exemple : le démarrage et l'arrêt avec les démarreurs-ralentisseurs progressifs, comme lorsqu'un réglage précis de la vitesse est également nécessaire avec les variateurs-régulateurs de vitesse. Toutefois, les machines asynchrones à bagues sont utilisées pour certaines applications de forte puissance dans l'industrie.

L'utilisation des machines synchrones dits sans balais ou à aimants permanents associés à des convertisseurs se généralise dans les applications nécessitant de fortes performances, notamment en couple dynamique (au démarrage ou aux changements de régime), en précision et plage de vitesse et leur maintenance est presque comme celle de la machine à induction.

Les machines à courant continu à excitation séparée sont encore quelquefois utilisées pour l'entraînement des équipements industrielles à vitesse variable, Très faciles à miniaturiser, ils s'imposent dans les très faibles puissances et les faibles tensions. Ils sont aisément adaptables par construction à toutes les applications. Ils sont chers, tant en coût matériel qu'en maintenance, car ils nécessitent un entretien régulier du collecteur et des balais. [1]

Ce mémoire consiste à l'étude des différents types des machines électriques exploitées dans l'industrie y compris certaines démarches de pilotage, protection et maintenance des machines électriques suivi de deux stages au sein de différentes entreprises (DMB, SONATRACH) et l'Entreprise spécialisée dans la production et la commercialisation de câbles BT MT (ENICAB).

Le contenu de ce mémoire comporte trois chapitres :

Le premier chapitre concerne des généralités sur les machines électriques dans l'industrie selon la constitution, principe de fonctionnement et les différents techniques de commande et réglage de vitesse et selon aussi la maintenance et la protection des entraînements électriques exploitées dans l'industrie.

Dans le deuxième chapitre, on fait un passage revu des différentes techniques de commande et réglage de vitesse (démarrage, ralentissement, freinage...). Afin d'accomplir une étude pratique dans le milieu industriel sur le pilotage et la protection des machines, j'ai assisté un stage pratique dans l'unité de production des câbles « ENICAB » où j'ai pu prendre des connaissances pratiques sur :

- Les techniques appliquées dans l'entreprise sur le pilotage des machines électriques.
- La commande des machines électriques (Machine asynchrone 2,7 kW, Machine à courant continu 15,7 kW) dans la chaîne de production des câbles BT MT.
- Les différents types de protection exploitées dans l'unité de production de cette entreprise.

Le troisième chapitre est consacré à la maintenance des machines électriques dans l'industrie, pour réaliser cette étude pratiquement j'ai effectué un autre stage au sein de la direction de la maintenance SONATRACH BISKRA (DMB) qui est une des deux bases de maintenance de SONATRACH dans l'Algérie, dans cette entreprise, précisément dans le service électromécanique il s'agit de suivre pratiquement les étapes de la maintenance des machines électriques (diagnostic, détection de la panne, réparation de la panne, identification...) pour différents types de machines électriques à savoir :

- Moteur Asynchrone triphasé WEG 37 Kw.
- Alternateur PARTNER LEROY-SOMER 550 kVA.

**CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MACHINES
ELECTRIQUES DANS L'INDUSTRIE.**

Chapitre I : généralité sur les machines électriques dans l'industrie.

Ce chapitre présente dans un premier lieu un aperçu des différentes machines électriques utilisée dans l'industrie, Selon leur classification, constitution, principe de fonctionnement, les différents techniques de commande et réglage de vitesse et selon aussi la maintenance et la protection des entrainements électriques exploitées dans l'industrie.

I. Les machines asynchrones triphasés

Les machines asynchrones triphasés sont les plus utilisés dans l'industrie pour l'entraînement des équipements. Ces machines s'imposent en effet dans un grand nombre d'applications en raison des avantages qu'ils présentent : normalisés, ils sont robustes, simples d'entretien, faciles à mettre en œuvre et de faible coût. [1]

I.1 Constitution

Une machine asynchrone triphasé à cage comporte deux parties principales : un inducteur ou stator et un induit ou rotor. Le stator c'est la partie fixe de la machine. Une carcasse en fonte ou en alliage léger renferme une couronne de tôles minces en acier au silicium. Le rotor c'est l'élément mobile de la machine, il est constitué d'un empilage de tôles minces isolées entre elles et formant un cylindre claveté sur l'arbre de la machine. Cet élément, de par sa technologie, permet de distinguer deux familles de machines asynchrones : ceux dont le rotor est dit « à cage d'écureuil » [(a) Figure I.1], et ceux dont le rotor bobiné est dit « à bagues » [(b) Figure I.1] [1].

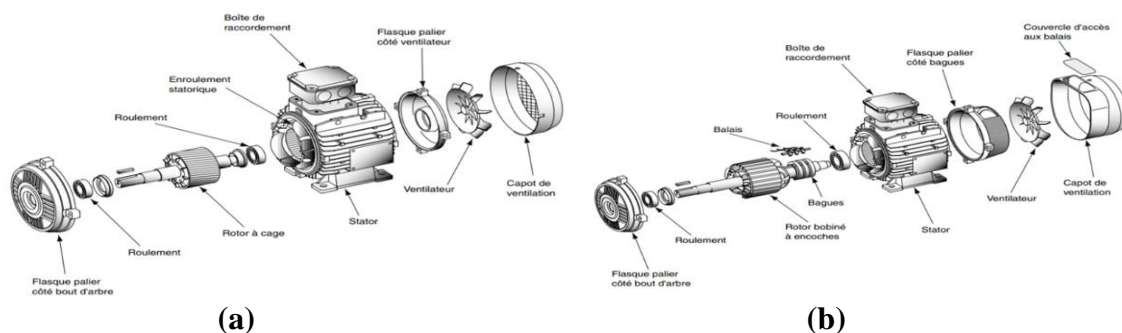


Figure I.1 Machine asynchrone à rotor à cage d'écureuil et à rotor à bagues. [1]

I.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une machine asynchrone repose sur la création d'un courant induit dans un conducteur lorsque celui-ci coupe les lignes de force d'un champ magnétique, d'où le nom de « moteur à induction ». L'action combinée de ce courant induit et du champ magnétique crée une force motrice sur le rotor de la machine. Les spires sont soumises à un flux variable et devient le siège d'une force électromotrice induite qui donne naissance à un courant induit (loi de Faraday). [1]

I.2.1 Création du champ tournant :

La création du champ tournant sur une machine asynchrone triphasé nécessite trois enroulements, géométriquement décalés de 120°, sont alimentés chacune des phases d'un réseau triphasé alternatif. Les enroulements sont parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique, et qui produisent chacun un champ magnétique alternatif sinusoïdal. Sa vitesse est fonction de la fréquence du réseau et du nombre de paires de pôles. Elle est appelée « vitesse de synchronisme ». [1]

I.2.2 Glissement :

La différence entre la vitesse de synchronisme (N_s) et celle de la spire (N) est appelée « glissement » (g) et s'exprime en % de la vitesse de synchronisme. [1]

$$g = [(N_s - N) / N_s] \times 100 \quad \text{(I.1)}$$

I.2.3 Vitesse de synchronisme :

La vitesse de synchronisme des machines asynchrones triphasés est proportionnelle à la fréquence du courant d'alimentation et inversement proportionnelle au nombre de paires de pôles constituant le stator. Par exemple :

$$N_s = 60 f/p \quad \text{(I.2)}$$

Pour les fréquences industrielles de 50 Hz et 60 Hz et une autre fréquence (100 Hz), les vitesses de rotation du champ tournant, ou vitesses de synchronisme, en fonction du nombre de pôles, sont données dans le tableau suivant : [Tab I.1]

NOMBRE DE POLES	VITESSE DE SYNCHRONISME EN TR/MIN		
	50 Hz	60Hz	100Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	540	750

Tab I.1 Tableau de vitesse de rotation en fonction du nombre de pôles.

- Les vitesses de rotation des machines asynchrones sont légèrement inférieures aux vitesses de synchronisme.

Dans la pratique, il n'est pas toujours possible d'augmenter la vitesse d'une machine asynchrone en l'alimentant sous une fréquence supérieure à celle pour laquelle il est prévu, même si la tension est adaptée. Il convient en effet de vérifier si ses conceptions mécanique et électrique le permettent. [1]

I.3 Pilotage de la machine asynchrone

I.3.1 Démarrage de la machine asynchrone :

Lors de la mise sous tension d'une machine asynchrone, celui-ci provoque un fort appel de courant qui peut provoquer des chutes de tension importantes dans une installation électrique. Pour ces raisons en autres, il faut parfois effectuer un démarrage différent du démarrage direct. Il est donc logique de limiter le courant pendant le démarrage à une valeur acceptable. [6]

I.3.2 Les différents types de démarrage :

1) Le démarrage direct :

C'est le mode de démarrage le plus simple, La machine démarre sur ses caractéristiques naturelles. Au démarrage, elle se compose comme un transformateur dont le secondaire (rotor) est presque en court-circuit, d'où la pointe de courant au démarrage. Ce type de démarrage est réservé aux machines de faible puissance. Le couple est énergique, l'appel de courant est important (5 à 8 fois le courant nominal). Malgré les avantages qu'il présente (simplicité de l'appareillage, démarrage rapide, coût faible), le démarrage direct convient dans les cas où :

- La puissance de la machine est faible par rapport à la puissance du réseau.
- Le couple de démarrage doit être élevé.

Ce démarrage ne convient pas si :

- Le réseau ne peut accepter de chute de tension.
- La machine entraînée ne peut accepter les à-coups mécaniques brutaux. [6]

2) Démarrage étoile triangle :

Ce mode de démarrage n'est utilisable si les deux extrémités de chaque enroulement sont accessibles. De plus, il faut que le moteur soit compatible avec un couplage final triangle. [6]

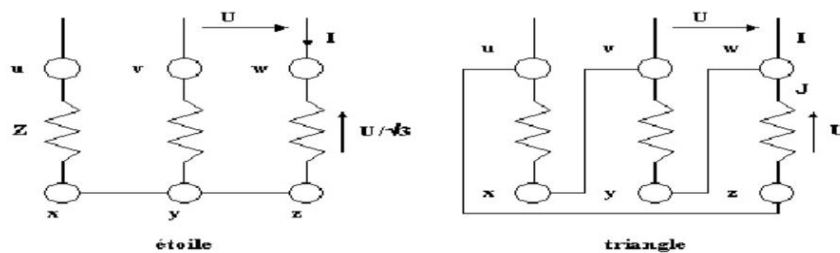


Figure I.2 Schéma de couplage étoile triangle. [6]

3) Démarrage statorique :

Ce type de démarrage a des caractéristiques comparables au démarrage étoile triangle Il n'y a pas de coupure de l'alimentation du moteur entre les deux temps de démarrage. Cette mode peut être associé au dispositif de démarrage étoile-triangle. On démarre en étoile, enfin on termine en couplage triangle direct. Pour les moteurs de grosse puissance. [6]

4) Tension réduite par autotransformateur :

Ce mode de démarrage est surtout utilisé pour les fortes puissances ($> 100 \text{ kW}$) et conduit à coût de l'installation relativement élevé, surtout pour la conception de l'autotransformateur. [6]

5) Démarrage des moteurs à bagues :

Un moteur à bagues ne peut démarrer en direct, avec ses enroulements rotorique court-circuités, sinon il provoquerait des pointes de courant inadmissibles. Il est nécessaire, tout en alimentant le stator sous la pleine tension du réseau, d'insérer dans le circuit rotorique des résistances qui sont ensuite court-circuitées progressivement, ce type de démarrage est extrêmement souple, car il est facile d'ajuster le nombre et l'allure des courbes représentant les temps successifs aux impératifs mécaniques ou électriques (couple résistant, valeur d'accélération, point maximal de courant, etc.). [7]

6) Démarrage/ralentissement par démarreur électronique :

C'est un mode de démarrage performant qui permet un démarrage et un arrêt en douceur Il peut être utilisé :

- en limitation de courant : Le contrôle par limitation de courant permet de fixer un courant maximum ($3 \text{ à } 4 \times I_n$) pendant la phase de démarrage au détriment des performances en couple. Ce contrôle est particulièrement adapté aux « turbomachines » (pompes centrifuges, ventilateurs).

- en régulation de couple : Le contrôle par régulation de couple permet d'optimiser les performances en couple du démarrage au détriment de l'appel de courant sur le réseau. Celui-ci est adapté aux machines à couple constant. Ce type de démarreur permet une multitude de schéma : - un sens de marche, - deux sens de marche, - shuntage de l'appareil en fin de démarrage. [6]

7) Démarrage par convertisseur de fréquence :

C'est un mode de démarrage performant utilisé dès qu'il est nécessaire de contrôler et de faire varier la vitesse, il permet : - de démarrer des charges de forte inertie, - d'optimiser la consommation d'énergie électrique en fonction de la vitesse sur les turbomachines. Ce type de

démarrage s'applique sur tous types de machines. Cette solution est utilisée pour le réglage de la vitesse du moteur et accessoirement pour le démarrage. [7]

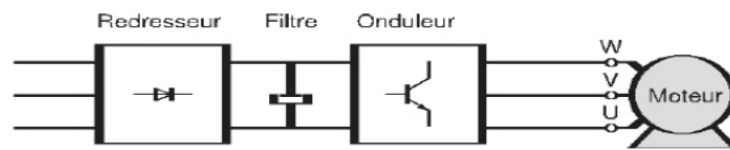


Figure I.3 Schéma de principe de convertisseur de fréquence. [7]

Après la présentation des différents types de démarrage des machines asynchrones, on procède à une comparaison illustrée dans le tableau suivant : [Tab I.2]

	Démarrage direct	Démarrage étoile triangle	Démarrage statorique	Démarrage par autotransformateur	Démarrage rotorique	Démarrage électronique
Courant de démarrage	100%	33%	50%	45/80%	70%	150 à 750%
Surcharge en ligne	4 à 8 In	1,3 à 1,6 In	4,5 In	1,8 à 4 In	<2,5 In	/
Couple en % de Cd	100%	33%	50%	45/80%	70%	10 à 50% (50% à 100% en 100 ms)
Couple initiale au démarrage	0,6 à 1,5 Cn	0,2 à 0,5 Cn	0,6 à 0,85 Cn	0,4 à 0,85 Cn	0,4 à 0,85 Cn	<2,5 Cn
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Démarreur simple et économique - Couple au démarrage important. 	<ul style="list-style-type: none"> - économiques. - Bon rapport couple/courant. 	<ul style="list-style-type: none"> -possibilités de réglages des valeurs au démarrage. 	<ul style="list-style-type: none"> - bon rapport couple/courant - possibilités de réglages des valeurs au démarrage. 	<ul style="list-style-type: none"> - très bon rapport couple/courant - possibilité de réglage des valeurs au démarrage. 	<ul style="list-style-type: none"> - démarrage sans à coup - montée progressive en vitesse. -limitation de l'appel de courant au démarrage
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Pointe de courant très importante - Démarrage brutal 	<ul style="list-style-type: none"> - Couple de démarrage faible. - Coupure d'alimentation au changement de couplage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible réduction de la pointe de courant au démarrage. - Nécessite des résistances volumineuses. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite un autotransformateur onéreux. - Présente des risques de réseau perturbé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Machine à bague plus onéreuse. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prix.

Tab I.2 Tableau comparatif entre les types de démarrage.

L'exploitation industrielle des machines asynchrones nécessite la mise en place des moyens de variation de la vitesse de rotation dans le but d'entraîner la charge à vitesse variable. Cette application est fondée sur une bonne connaissance du modèle de la machine et de l'expression du couple électromécanique dépendant des paramètres électriques. C'est l'occasion de recenser les moyens de déplacer le point de fonctionnement par certaines actions citées dans la prochaine partie (I.3.3).

I.3.3 Variation de vitesse de la machine asynchrone :

- 1) **Inversion du sens de rotation** : Pour inverser la rotation, il suffit de changer le signe de ce champ en inversant deux phases statoriques. Le rotor suit le sens du champ tournant, c'est ce procédé qui est utilisé industriellement.
- 2) **Action sur la tension simple du réseau d'alimentation** : Ce moyen permet une certaine modification de la vitesse, mais la plage des variations reste faible. De plus, le réseau est perturbé par les harmoniques.
- 3) **Action sur la résistance rotorique** : Cette fois, la modification de la vitesse est plus performante puisque la plage de variation s'étend d'une vitesse nulle à celle de synchronisme. Il faut donc que la machine dispose d'un rotor bobiné.
- 4) **Action sur la fréquence d'alimentation** : Dernier paramètre, la pulsation de synchronisme $\Omega_s = \omega/p$ influence le couple à travers des termes : $3V_s/\Omega_s$, $g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s}$ et ω .

On exprime le couple en fonction de Ω_s :

$$C_{em} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\Omega_s} \cdot \frac{\frac{R_2'}{g}}{\left(\frac{R_2'}{g}\right)^2 + (L_2' \cdot \omega)^2} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\Omega_s} \cdot \frac{R_2' \cdot g}{R_2'^2 + (L_2' \cdot \omega \cdot g)^2} = 3 \cdot \left(\frac{V_s}{\Omega_s}\right)^2 \cdot \frac{R_2' \cdot (\Omega_s - \Omega_r)}{R_2'^2 + (L_2' \cdot p \cdot (\Omega_s - \Omega_r))^2} \quad (\text{I.3})$$

Cette loi d'évolution du couple met en évidence son augmentation lorsque la pulsation de synchronisme diminue et permet de tracer les caractéristiques suivantes : [Figure I.4]

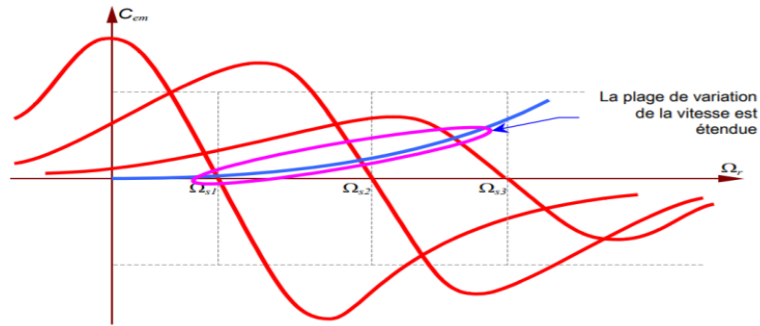


Figure I.4 Influence de la vitesse de synchronisme. [1]

I.3.4 Variateurs de vitesse :

Parmi les solutions permettant d'obtenir la variation de la vitesse de rotation d'une machine asynchrone, la plus performante consiste à modifier la fréquence du réseau d'alimentation tout en maintenant le rapport de la tension efficace sur la fréquence d'alimentation statorique constante. Le dispositif moderne, issu de l'électronique de puissance, remplissant ce rôle est l'onduleur autonome triphasé. C'est un convertisseur continu-alternatif (sinusoïdal). Leurs commutateurs sont des transistors bipolaires, MOSFET, IGBT ou des thyristors pour les puissances contrôlées les plus élevées. La source de tension constante peut être obtenue industriellement par un redresseur monophasé ou triphasé fixe suivi d'un filtre pour l'élimination des harmoniques.

Pratiquement, les nouvelles applications industrielles nécessitent des variateurs de vitesse ayant des hautes performances dynamiques. Ces dernières années plusieurs techniques ont été développées pour permettre aux variateurs d'atteindre ces performances. Cependant le contrôle vectoriel, qui permet un découplage entre les variables de commande, reste le plus utilisé vu des performances dynamiques élevées qu'il offre pour une large gamme d'applications. [4]

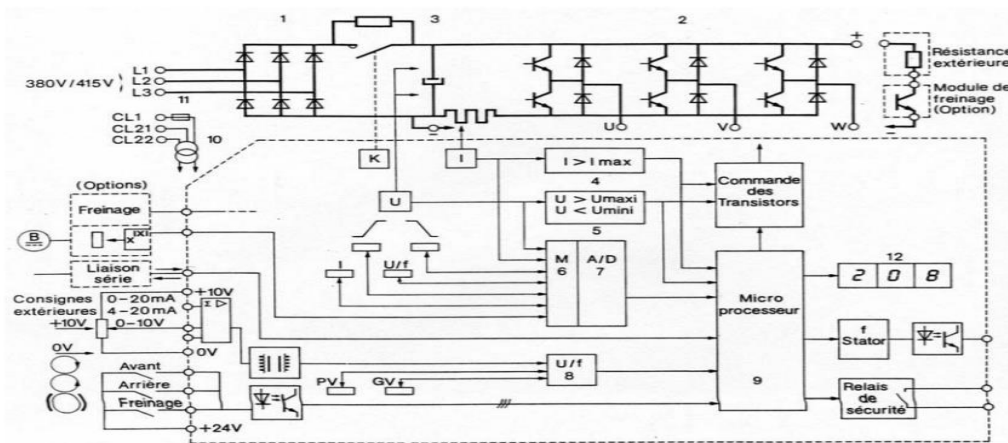


Figure I.5 Schéma fonctionnel d'un onduleur triphasé industriel. [2]

Distinction des éléments importants :

- **Réseau d'alimentation et redresseur (1)** : monophasé ou triphasé, l'association réseau-redresseur n'utilise qu'un convertisseur non commandé car le contrôle s'opère sur un autre élément de la chaîne.
 - **Onduleur triphasé (2)** : la structure, ici à transistors bipolaires, limitation du courant de charge : la résistance série peut être mise en service par l'interrupteur pour contrôler le courant issu du redresseur.
 - **Filtre (3)** : le condensateur permet la diminution du taux d'harmonique pour disposer d'une source la plus continue possible.
 - **Contrôle courant maxi (4)** : la mesure du courant dans le redresseur est obtenue par le capteur « I » pour être comparée au seuil maximal et agir en conséquence sur la commande de l'onduleur.
 - **Contrôle tension maxi (5)** : la tension est mesurée aux bornes du condensateur de filtrage et l'ondulation est déterminée par croisement des seuils mini et maxi.
 - **Acquisition capteurs et conversion A/N** : le multiplexeur (6) concentre les différentes informations analogiques en une seule convertie en numérique (7) pour être traitée par le calculateur (9).
 - **Convertisseur tension-fréquence (8)** : les signaux analogiques extérieurs sont convertis en grandeurs numériques pour être compatibles avec le calculateur.
 - **Calculateur (9)** : assure la gestion des différentes informations pour établir la stratégie de commande des transistors.
 - **Alimentation des circuits de contrôle (10)** : elle est intégrée au variateur.
- **Interfaçage industriel** : Le calculateur délivre aussi des informations particulières : défaut, pour utilisation dans une commande câblée à contacteurs, affichage de la fréquence statorique et fournir l'information « fréquence atteinte » isolée galvaniquement et une liaison série vers un automate programmable industriel (A.P.I.) est disponible si besoin. [2]

Afin de retenir plusieurs types de commandes existent selon que l'on agit sur le courant ou sur la tension. Elles dépendent surtout de la topologie de l'actionneur. De cela on distingue : la commande scalaire, la commande vectorielle et la commande DTC (Direct Torque Control) introduite en 1985 par TAKAHASHI et DEPENDROCK, elle est basée sur l'orientation de flux statorique.

	Comportement à basse vitesse	Adapté aux survitesses	Sensibilité aux variations des paramètres	Contrôle en régime permanent	Contrôle en régime transitoire
Commande scalaire	médiocre	Oui, avec des performances médiocre	Oui pour certain algorithmes	oui	non
Commande vectorielle	bon	bon	beaucoup	oui	oui
DTC	médiocre	Oui, avec des bonnes performances	moyen	oui	oui

Tab I.3 Tableau comparative des différents types de commande des machines asynchrones.

I.3.5 Freinage de la machine asynchrone :

Dans un grand nombre d'application, l'arrêt de la machine est obtenu simplement par décélération naturelle. Le temps de décélération dépend alors uniquement de l'inertie de la machine entraînée. Il est souvent nécessaire de réduire ce temps pour cela le freinage électrique apporte dans ce cas une solution efficace et simple. Par rapport aux freinages mécanique et hydraulique, il offre l'avantage d'être régulier et de mettre en œuvre aucune pièce d'usure. La machine asynchrone est capable de fonctionner dans les quatre quadrants. Il développe un couple moteur dans l'un et l'autre sens dans les quadrants **1** et **3** et un couple de freinage dans les quadrants **2** et **4**. [4]

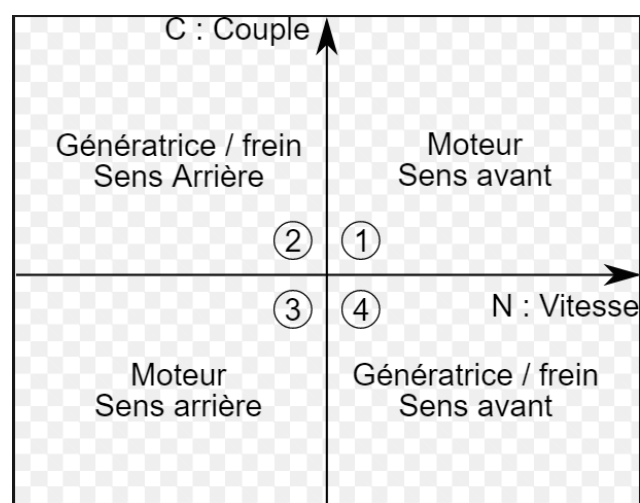


Figure I.6 Les quatre quadrants de fonctionnement de la machine asynchrone.

Diverses méthodes sont utilisables pour freiner électriquement un moteur asynchrone :

- Le freinage hyper synchrone avec renvoi d'énergie active au réseau. Ce freinage intervient naturellement en survitesse.
- Le freinage en contre-courant par inversion du champ tournant « Figure I.7 ».
- Le freinage par injection de courant continu.

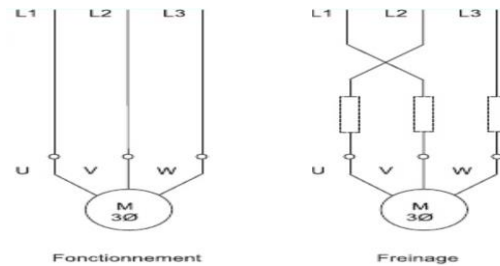


Figure I.7 Principe du freinage à contre-courant. [7]

II. Les machines synchrones

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

- Production d'énergie électrique à partir d'énergie mécanique ou elle porte le nom de génératrice synchrone lorsque la vitesse est variable ou d'alternateur lorsque sa vitesse est fixe.
- Production d'énergie mécanique à partir d'énergie électrique ou elle porte le nom de moteur synchrone.

II.1 Constitution

La machine synchrone se compose, d'un stator et d'un rotor séparés par l'entrefer. Il s'en différencie par le fait que le flux dans l'entrefer n'est pas dû à une composante du courant statorique, il est créé par des aimants ou par le courant inducteur fourni par une source à courant continu extérieure qui alimente un enroulement placé dans le rotor. Le stator comprend une carcasse et un circuit magnétique généralement constitués de tôles d'acier au silicium et d'un bobinage triphasé analogue à celui d'une machine asynchrone triphasé pour produire un champ tournant. Le rotor porte des aimants ou des bobines d'excitation parcourues par un courant continu qui créent des pôles Nord et Sud intercalés. Il existe donc deux types distincts de machines synchrones : les machines à aimants et les machines à rotor bobiné.

Pour les premiers, le rotor de machine est équipé d'aimants permanents « Figure I.8 », en général en terre rare pour obtenir un champ élevé dans un volume réduit. Ces machines peuvent accepter des courants de surcharge importants pour réaliser des accélérations très rapides. Ils sont toujours associés à un variateur de vitesse.

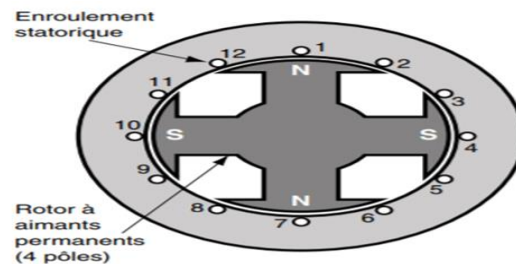


Figure I.8 Rotor d'une machine synchrone à aimants permanents.

Les autres machines synchrones sont à rotor bobiné sont deux types selon le rotor : Rotor bobiné à pôles lisses et à pôles saillants, elles sont réversibles et peuvent fonctionner en générateurs (alternateurs) ou en moteurs. Pendant longtemps ces machines ont surtout été utilisées en alternateurs. Leur usage en moteur était pratiquement confiné aux applications où il était nécessaire d'entraîner des charges à vitesse fixe. Bien que dans l'industrie on trouve des machines synchrones dans la gamme de puissance de 150 kW à 5 MW, majoritairement associés à des variateurs de vitesse. [1]

II.2 Principe de fonctionnement

Le couple moteur de la machine synchrone est proportionnel à la tension à ses bornes alors que celui de la machine asynchrone est proportionnel au carré de cette tension. Contrairement au moteur asynchrone, il peut travailler avec un facteur de puissance égal à l'unité ou très voisin de celle-ci. La machine synchrone bénéficie un certain nombre de particularités avantageuses en ce qui concerne son alimentation par le réseau à tension et fréquence constantes :

- La vitesse du moteur est constante, quelle que soit la charge.
- Il peut fournir de la puissance réactive et permettre d'améliorer le facteur de puissance d'une installation.
- Il peut supporter sans décrocher des chutes de tension relativement importantes (de l'ordre de 50 % en raison de ses possibilités de surexcitation).

Toutefois, la machine synchrone alimentée directement par le réseau de distribution d'énergie à tension et fréquence constantes présente deux inconvénients :

- Il a des difficultés de démarrage : de fait, si la machine n'est pas associée à un variateur de vitesse, le démarrage doit s'effectuer à vide, soit par démarrage direct pour les petites machines, soit à l'aide d'un moteur de lancement qui l'entraîne à une vitesse proche du synchronisme avant le couplage direct sur le réseau.
- Il peut décrocher si le couple résistant dépasse son couple électromagnétique maximal et, dans ce cas, il faut reprendre tout le processus de démarrage. [1]

II.3 Fonctionnement de l'alternateur

- Excitation de l'alternateur : Lorsque l'inducteur n'est pas constitué d'aimants permanents, on doit l'alimenter en courant continu.
 - Si l'alternateur à bagues et balais on l'alimente par une source continue extérieure à la machine fournit l'énergie au rotor (par l'intermédiaire de balais frottant sur des bagues isolées).
 - Si l'alternateur auto-excité : Un petit alternateur à induit tournant, solidaire du rotor, fournit des courants alternatifs qui, après redressement par un pont de diodes, alimente le rotor de l'alternateur principal.

Au fait, Dans les deux cas, il faut prévoir un rhéostat pour le réglage de l'intensité du courant d'excitation.

II.4 Pilotage de la machine synchrone

La machine synchrone est de loin la plus facile à piloter car le flux magnétique du rotor est créé uniquement soit par le moment magnétique de l'aimant permanent du rotor, soit par le courant inducteur continu envoyé dans le bobinage rotorique.

II.4.1 Principe de l'autopilotage des machines synchrones :

L'autopilotage d'une machine synchrone consiste à maintenir constant ou peu variable le décalage angulaire entre les f.e.m et les courants statorique avec cette condition le couple électromagnétique développé par la machine peut être contrôlé et une boucle d'asservissement de position ou de vitesse peut être réalisée autour de la boucle de commande du couple de la machine.

II.4.2 Contrôle du couple moteur de la machine :

Pour contrôler la rotation du rotor à vitesse variable, il faut à tout instant contrôler la valeur de son couple moteur qui est le résultant du produit vectoriel entre le champ magnétique

« B » créé par le stator et le moment magnétique « M » du rotor : $\Gamma = M \wedge B$ (I.3)

La commande du couple se réduit à contrôler le module de B, c'est à dire le flux, et son orientation dans l'espace par rapport au rotor.

III. Machines à courant continue

Les machines à courant continu à excitation séparée sont encore quelquefois utilisées pour l'entraînement des équipements industrielles à vitesse variable, Très faciles à miniaturiser, ils s'imposent dans les très faibles puissances et les faibles tensions. Généralement les tensions les plus utilisées dans l'industrie sont 12 et 24 V, Ils se prêtent également fort bien, jusqu'à des puissances importantes (plusieurs mégawatts), à la variation de vitesse avec des technologies électroniques simples et peu onéreuses pour des performances élevées. Leurs caractéristiques permettent également une régulation précise du couple, en moteur ou en générateur. Leur vitesse de rotation nominale, indépendante de la fréquence du réseau, sont aisément adaptables par construction à toutes les applications. Ils sont chers, tant en coût matériel qu'en maintenance, car ils nécessitent un entretien régulier du collecteur et des balais.

III.1 Constitution

Une machine à courant continu est composé des éléments suivants :

- L'inducteur ou stator : c'est un élément du circuit magnétique immobile sur lequel un enroulement est bobiné afin de produire un champ magnétique.
- L'induit ou rotor : c'est un cylindre en tôles magnétiques isolées entre elles. L'induit est mobile en rotation autour de son axe et est séparé de l'inducteur par un entrefer, ses conducteurs sont régulièrement repartis.
- Le collecteur et les balais : le collecteur est solidaire de l'induit. Les balais sont fixes, ils frottent sur le collecteur et ainsi alimentent les conducteurs de l'induit. [1]

III.2 Principe de fonctionnement

Lorsque l'inducteur est alimenté, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) dans l'entrefer, dirigé suivant les rayons de l'induit. Ce champ magnétique rentre dans l'induit du côté pôle Nord de l'inducteur et sort de l'induit du côté du pôle Sud de l'inducteur.

Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle inducteur sont parcourus par des courants de même sens. Les deux forces de sens opposés (loi de Laplace) créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur. Lorsque l'induit du moteur est alimenté sous une tension continue ou redressée U , il produit une force contre-électromotrice E dont la valeur est $E=U-RI$ (I.4) dont :

- RI : représente la chute de tension ohmique dans l'induit.
- E : La force contre-électromotrice est liée à la vitesse et à l'excitation par la relation

$E = k \omega \Phi$ (I.5) dans laquelle :

- K : est une constante propre au moteur.
- ω : la vitesse angulaire.
- Φ : le flux.

Cette relation montre qu'à excitation constante la force contre-électromotrice E , proportionnelle à ω , est une image de la vitesse.

Le couple est lié au flux inducteur et au courant dans l'induit par la relation : $C = k \Phi I$ (I.6) En réduisant le flux, le couple diminue. Deux méthodes permettent de faire croître la vitesse :

- Soit augmenter la force contre-électromotrice E , donc la tension d'alimentation à excitation constante : c'est le fonctionnement dit « à couple constant ».
- Soit diminuer le flux d'excitation, donc le courant d'excitation, en maintenant la tension d'alimentation constante : c'est le fonctionnement dit en régime « défluxé ». Ce fonctionnement impose que le couple soit décroissant avec l'augmentation de vitesse, pour des rapports élevés de défluxage ce fonctionnement nécessite des moteurs spécialement adaptés pour s'affranchir des problèmes de commutation. [1]

Le fonctionnement de cette machine est réversible :

- Si la charge s'oppose au mouvement de rotation (charge dite résistante), l'appareil fournit un couple et fonctionne en moteur.

- Si la charge est telle qu'elle tend à faire tourner l'appareil (charge dite entraînante) ou qu'elle s'oppose au ralentissement, l'appareil fournit de l'énergie électrique et fonctionne en génératrice. [1]

III.3 Différents types de moteurs à courant continu

- A excitation parallèle (séparée ou shunt) : Les bobinages, induit et inducteur, sont connectés en parallèle ou alimentés par deux sources de tensions différentes pour des questions d'adaptation aux caractéristiques de la machine (ex : tension d'induit 400 volts et tension d'inducteur 180 volts). L'inversion du sens de rotation s'obtient par l'inversion de l'un ou de l'autre des enroulements, en général l'inversion de la tension d'induit en raison des constantes de temps beaucoup plus réduites, pour cela ce type supporte des variateurs bidirectionnels.
- A excitation série : Ce moteur est de construction semblable à celle du moteur à excitation séparée. Le bobinage inducteur est connecté en série avec le bobinage induit. L'inversion du sens de rotation est obtenue indifféremment par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur. Ce moteur est essentiellement utilisé en traction, (les anciennes motrices du TGV) utilisaient ce type de machine, sinon récemment utilisent des moteurs asynchrones.
- A excitation série parallèle (composée) : Cette technologie permet de réunir les qualités du moteur à excitation série et du moteur à excitation parallèle. Ce moteur comporte deux enroulements par pôle inducteur. L'un est en parallèle avec l'induit. Il est parcouru par un faible courant. L'autre est en série. Ce mode de montage est très rarement utilisé car il conduit à un fonctionnement instable pour les fortes charges. [1]

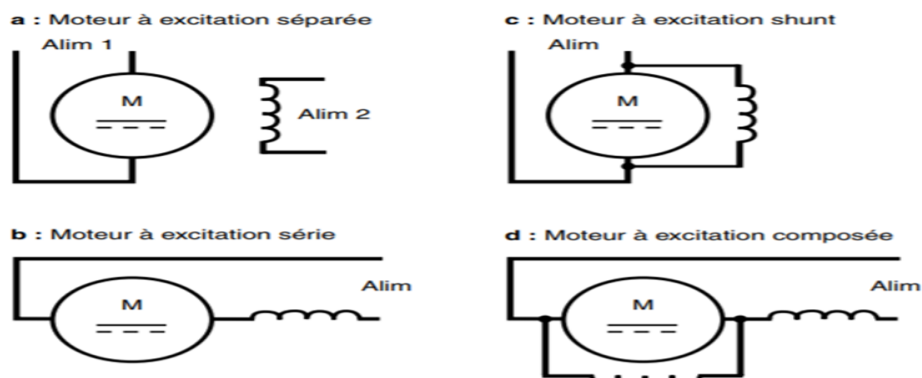


Figure I.9 Différents types d'excitation des moteurs à courant continu. [1]

Le tableau ci-après « Tab I.4 » résume l'ensemble des machines électriques disponibles dans l'industrie, leurs principales caractéristiques et leurs domaines d'emploi. De cela en mettre en point la place tenue par les machines asynchrones à cage triphasés surtout lorsqu'elles sont renforcées par une parfaite adaptation à l'emploi consécutive au développement des dispositifs électroniques qui autorisent la variation de vitesse d'une façon plus facile.

Type de Machine	Asynchrone à cage triphasé	Asynchrone à bague triphasé	Asynchrone monophasé	Synchrone à rotor bobiné (pôles saillant et pôles lisses)	Synchrone à aimant permanent	A courant continu
Cout	faible	Elevé	faible	Elevé	Elevé	Elevé
Machine étanche	standard	Sur demande, couteux	possible	Sur demande, couteux	standard	Très couteux
Démarrage direct sur le réseau	aisé	Dispositif de démarrage particulier	aisé	Impossible à partir de quelques kW	Non prévu	Non prévu
Variation de vitesse	facile	possible	Très rare	Fréquent	Toujours	Toujours
Cout de la solution variation de vitesse	De plus en plus économique	économique	Très économique	Très économique	Assez économique	Très économique
Performance en variation de vitesse	De plus en plus élevé	moyenne	Très faible	Elevée	Très élevée	Elevé à très élevé
Emploi	Vitesse variable ou constante	Vitesse variable ou constante	Vitesse constante	Vitesse variable ou constante	Vitesse variable	Vitesse variable
Application industrielle	universelle	En diminution	Pour les petites puissances	Dans les grandes puissances en moyenne tension	Machine outils, forte dynamique	En diminution

Tab I.4 Tableau comparative des différentes machines électrique.

IV. Protection et maintenance des machines électriques

IV.1 La protection des machines électriques

Les machines électriques tournantes peuvent, comme tous les appareils industriels, être affectées de défauts de fonctionnement. Ces défauts les rendent en général inaptes 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 provoquer la déconnexion électrique entre la machine et le réseau auquel elle est raccordée.

- Électrique : - surtension, chute de tension, déséquilibre et perte de phases qui provoquent des variations sur le courant absorbé, - court-circuit dont le courant peut atteindre des niveaux destructeurs pour le récepteur.
- Mécanique : - calage du rotor, surcharge momentanée ou prolongée qui entraînent une augmentation du courant absorbé par le moteur, d'où un échauffement dangereux pour ses bobinages.

Au niveau d'une installation comportant des moteurs électriques, nous pouvons distinguer deux types de défauts à détecter par les relais de protections, selon leur origine :

a) Les défauts d'origine interne : dont la source est une avarie d'un composant de la machine électrique tournante, les avaries affectant l'enroulement statorique des moteurs sont de même nature que celles relatives aux alternateurs. Par exemple, le court-circuit entre deux phases évolue plus rapidement en court-circuit avec la masse, du fait des dimensions relativement plus compactes de la carcasse et du circuit magnétique.

b) 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. Ces défauts pouvant affecter le fonctionnement des moteurs sont dus soit aux perturbations de l'alimentation électrique : les tensions déséquilibrées sont dues à la présence de charges dissymétriques sur le réseau, à l'ouverture d'une phase (fusion de fusible).

Soit à l'auxiliaire entraîné : le démarrage trop long est produit, soit par l'augmentation du couple résistant de l'auxiliaire entraîné (pompe ou ventilateur), soit par diminution du couple moteur, due à une baisse excessive de tension (couramment de 20 à 30 % U_n).

Afin de distinguer un cas particulier, est le blocage du rotor.

De plus, les moteurs synchrones sont sensibles à des perturbations propres à leur type de fonctionnement :

- La surcharge ou la perte de l'excitation peuvent provoquer une perte de synchronisme par augmentation de l'angle interne. [7]

IV.2 Les éléments de Protection

IV.2.1 Protection contre les court-circuits : La protection contre les court-circuits est réalisée avec les moyens suivant :

a) Les fusibles (coupe-circuits) : Les fusibles réalisent une protection phase par phase (unipolaire), avec un pouvoir de coupure important sous un faible volume. Ils se montent :

- soit sur des supports spécifiques appelés porte-fusibles.
- soit dans des sectionneurs en remplacement des douilles ou des barrettes.

Pour la protection des moteurs, les fusibles utilisés sont ceux de type « AM ». Leur particularité est de laisser passer les surintensités du courant magnétisant à la mise sous tension des moteurs. De fait, ils ne sont pas adaptés à la protection contre les surcharges. C'est pourquoi, il est nécessaire d'ajouter un relais de surcharge dans le circuit d'alimentation des moteurs. En général, leur calibre doit être immédiatement supérieur au courant de pleine charge du moteur à protéger. [7]

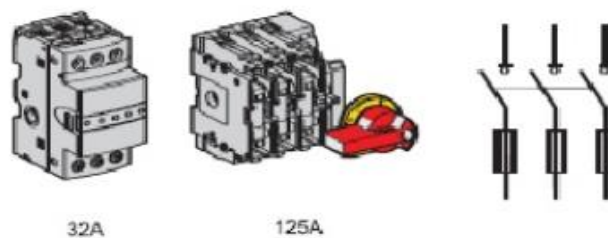


Figure I.10 Sectionneurs 32 et 125A à fusible. [7]

b) Les disjoncteurs magnétiques

Ces disjoncteurs assurent, dans la limite de leur pouvoir de coupure et par l'intermédiaire de leurs déclencheurs magnétiques (un par phase), le fonctionnement d'un seul déclencheur magnétique suffit à commander l'ouverture simultanée de tous les pôles, pour des courants de

court-circuit peu élevés, le fonctionnement des disjoncteurs est plus rapide que celui des fusibles. Pour interrompre efficacement un courant de court-circuit, trois impératifs doivent être respectés : - détecter très tôt le courant de défaut, - séparer très vite les contacts, - interrompre le courant de court-circuit.

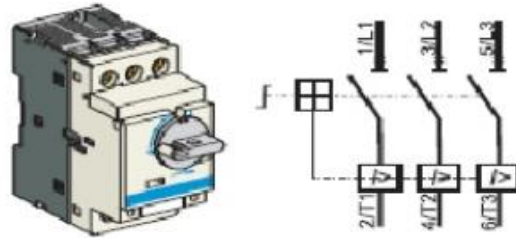


Figure I.11 Disjoncteur magnétique. [7]

IV.2.2 Protection contre les surcharges :

La surcharge est le défaut le plus fréquent sur les moteurs, elle se manifeste par une augmentation du courant absorbé par le moteur et par des effets thermiques. La classe d'isolation détermine l'échauffement normal d'un moteur à une température ambiante de 40°C. Tout dépassement de la température limite de fonctionnement conduit à une réduction de la durée de vie par vieillissement prématuré des isolants. Les conditions réelles d'emploi (température ambiante, altitude d'utilisation et service normalisé) sont essentielles pour déterminer les valeurs d'emploi du moteur (puissance, courant) et pour pouvoir choisir une protection efficace contre les surcharges, alors on distingue :

a) Les relais électroniques de surcharge :

Ce sont des nouveaux relais de surcharge possèdent des capacités avancées. Sa protection accrue du moteur et ses capacités de communication permettent une surveillance directe du courant moteur dans chaque phase. Grâce à ses composants à l'état solide uniques en leur genre, conçus avec précision, ils sont conçus pour couper l'alimentation si le moteur tire trop de courant pendant une période de temps prolongée. Ses relais peuvent être complétés par des options telles que : - la protection contre les blocages du rotor, - la protection contre les inversions de phases, - la protection contre les défauts d'isolement. [6]



Figure I.12 Relais électronique LR9.

b) Les relais thermiques de surcharge à bilames :

Un relais thermique de surcharge repose sur la déformation de ses bilames chauffés par le courant qui les traversent. Au passage du courant les bilames se déforment, suivant le réglage, provoquent l'ouverture brusque du contact du relais.

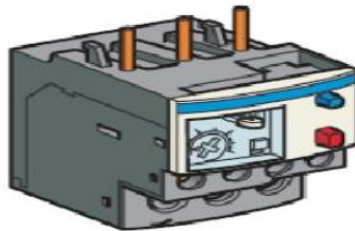


Figure I.13 Relais thermique de surcharge à bilames. [7]

V. La maintenance des machines électriques

La maintenance est définie comme étant l'ensemble des activités permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise ou assurer le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

V.1 Les différentes formes de maintenance (d'après la norme NFX 60-010)

- **La maintenance corrective :** Il s'agit d'une maintenance effectuée après défaillance. C'est une politique de maintenance qui correspond à une attitude de réaction à des évènements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. Il se scinder en deux cas :
 - **La maintenance palliative :** il s'agit d'un dépannage, qui consiste à remettre provisoirement le bon état de fonctionnement, en attendant la réparation.

- **La maintenance curative** : il s'agit d'une réparation de manière définitive des causes et conséquences de la défaillance.

- **La maintenance préventive** : Il s'agit d'une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du service (maintenance conditionnelle).
 - **Maintenance préventive systématique** : Ce type de maintenance comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer, en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défaillants. Ces tâches sont décidées en fonction du temps ou de la production, sans considération de l'état des matériels à cet instant.

 - **Maintenance conditionnelle** : Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défaillants, les entreprises en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli.

 - **Maintenance prévisionnelle (préventive)** : C'est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien. Elle permet de planifier les interventions. Pour des raisons financières, les industries s'orientent de plus en plus vers ce type de maintenance.

V.2 Rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise, cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

Il faut donc définir des stratégies les mieux adaptées :

- Prévisions à long terme.
- Prévisions à moyen terme.
- Prévisions à courts termes. [8]

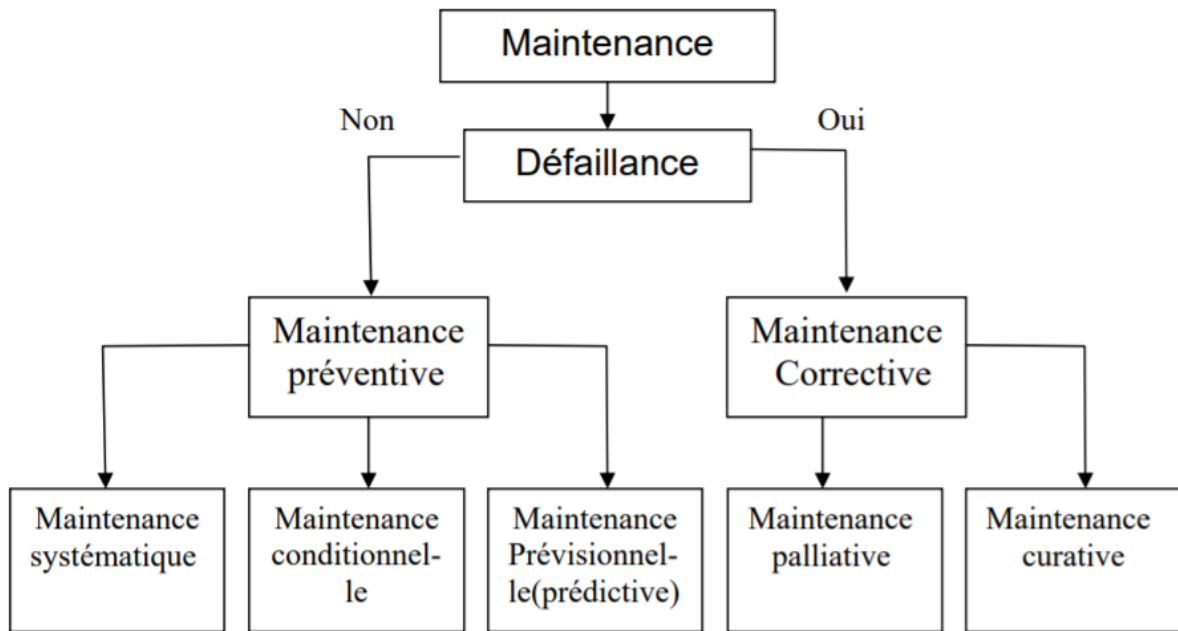


Figure I.14 Organigramme de la maintenance industrielle.

**CHAPITRE II : PILOTAGE DES MACHINES ELECTRIQUES
DANS L'UNITE INDUSTRIELLE.**

Chapitre II : Pilotage des machines électriques dans l'unité industrielle.

Dans ce chapitre on va présenter une étude pratique sur l'exploitation des machines électriques dans l'entreprise ENICAB, selon les différentes techniques de commande, réglage de vitesse (démarrage, ralentissement, freinage...) et la protection de ses machines : (Machine à courant continu, machine asynchrone) exploitées dans les unités de production des câbles BT, MT.

II.1 Présentation de l'entreprise ENICAB

ENICAB est une entreprise algérienne pionnière dans la fabrication des câbles d'énergie, avec plus de trente-deux ans de service dans le domaine, offrant à ses clients une large gamme des produits comprenant les câbles basse tension, les câbles industriels, les câbles moyenne tension et les câbles haute tensions et très haute tension, câbles Telecom et Data ainsi que les Câbles sans Halogènes. L'entreprise accompagne l'Université Algérienne et les étudiants et leur offre l'opportunité d'effectuer au son sein des stages pratiques.



Figure II.1 l'entreprise ENICAB. [11]

II.2 Les produits de l'entreprise

Actuellement l'entreprise produit plusieurs types de câbles électriques, atteints jusqu'à 400 types de câble, de plusieurs familles répartis selon l'usage, comme suit :

- **Câble domestiques** : Il existe 229 types, utilisé dans les maisons et les bâtiments, de conducteurs en cuivre, de tension entre 250/500 volts, de section allant de 0.5 à 35 mm².

- **Câbles moyens tension** : Il existe presque 80 types de ce modèle des câbles, ils peuvent être en cuivre ou en aluminium. Ces types ont une tension allant de 10 KV à 30 KV et une section variant entre 50 mm² à 240mm².
- **Câbles de distributions (réseaux)** : Il existe presque 70 types de ces câbles, de conducteurs en aluminium, de section allant de 6mm² à 3x70 mm² et de tension entre 0.6 KV à 1KV.
- **Câbles industriels** : Il existe 70 types, leur tension entre 0.6 KV et 1 KV, conducteurs en cuivre dont la section varie de 1.5 à 240 mm²

II.3 Matière première

Les principales matières premières utilisées par l'entreprise sont :

- Une matière chimique appelée Polyéthylène Réticule Chimiquement (PRC).
- L'aluminium sous la forme de fils de diamètre 9.5mm.
- Le cuivre sous la forme de fils de diamètre 8mm.
- Le bois. [11]

II.4 Les étapes de fabrication des câbles

Le processus de fabrication des câbles (de la matière première jusqu'au produit fini) passe par les étapes successives suivantes :

II.4.1 Tréfilage

Réduction progressive (par allongement à froid) de la section du fils qui passe de 9.5 mm² à 0.15 mm² pour le fil d'aluminium et de 8 mm² à 0.15 mm² pour celui de cuivre.



Figure II.2 Machine à tréfiler. [14]

II.4.2 Assemblage « câble nu »

Torsion en spirale d'un certain nombre de fils. Par exemple un câble moyen tension en aluminium nécessite 37 fils de câblage, on remarque que les deux premières étapes concernent toutes les types de câble et se font dans une atelier tréfilage câblage. [14]



Figure II.3 Machine de câblage.

II.4.3 Isolation :

L'isolation des fils se fait avec des matières chimiques (PRC, PVC...) selon le type de câble. Par exemple : isolation des câbles domestiques avec une couche d'isolation en PVC, la machine qui assure cette opération s'appelle une extrudeuse.

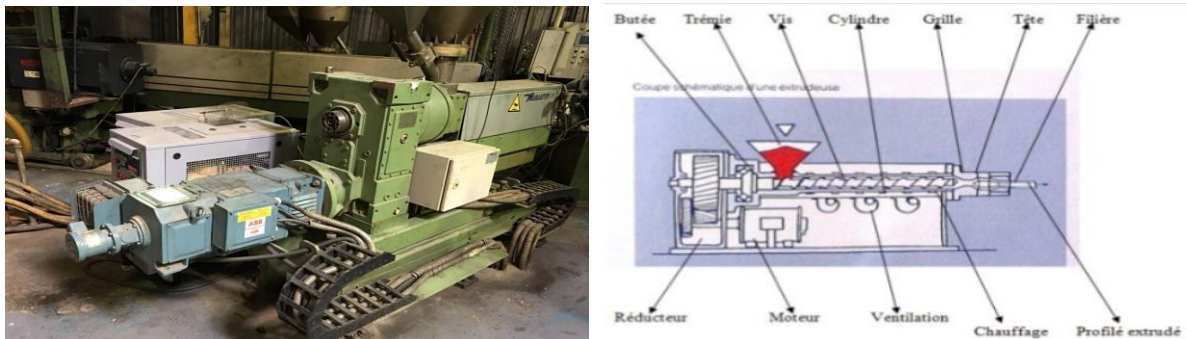


Figure II.4 La machine extrudeuse et son schéma fonctionnel. [14]

A. Analyse du moteur de l'extrudeuse :

- Le moteur de l'extrudeuse est un moteur à courant continu « ABB » 15,7 kW, type DMP 132-4L fournit avec une génératrice tachymétrique.

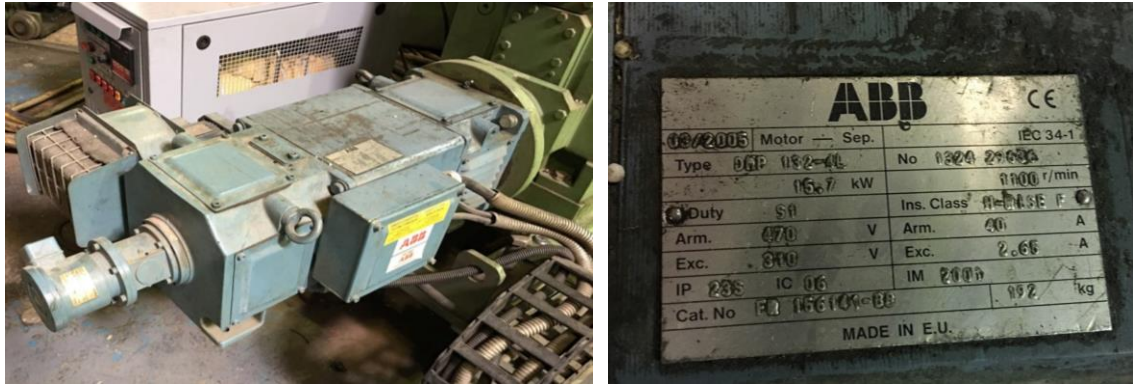


Figure II.5 Le moteur à courant continu de l'extrudeuse.

- Marque : ABB
- Type de moteur : (DMP 132-4L) → Moteur DC de type P, Hauteur d'axe en mm, Nombre de pôles, Longueur du noyau.
- Mode de refroidissement : IC06 → Ventilateur monté sur le moteur et circulation d'air libre.
- Indice de protection : IP23 → machine protégée contre l'intrusion de solides, étanche aux liquides.
- Puissance : 15,7 kW.
- Intensité d'excitation : 2,65 A.
- Classe d'isolation : H.
- Température ambiante : 40°C.
- Vitesse de rotation : 1100 tr/mn.
- Poids : 192 kg.

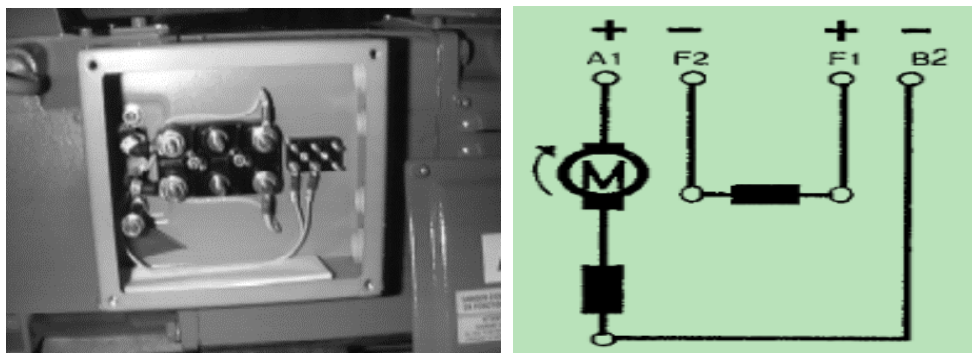


Figure II.6 Boîtier et le schéma de raccordement. [12]

- Le schéma de raccordement (Figure II.6) montre les connexions du moteur pour une rotation dans le sens horaire, pour obtenir la rotation en sens inverse, on inverse la polarité soit du bobinage de champ (F1, F2), soit de l'enroulement d'induit (A1, B2).

B. Vitesse de rotation du moteur :

- La réduction ou l'augmentation de la vitesse de rotation s'opère conventionnellement en agissant sur la tension d'induit pour atteindre la vitesse souhaitée, cela implique l'augmentation ou le baissement de puissance, donc le moteur fonctionne en couple constant dans la plage de 0V jusqu'à la tension d'induit sélectionnée.
- Dispositif de contrôle vitesse : Un potentiomètre permet de régler la vitesse de rotation de 0% à presque 100%, installer avec une génératrice tachymétrique, qui fait le rôle d'un capteur de vitesse.
- Caractéristiques du Tachymètre :
 - Tension : 100V.
 - Intensité : 0,02 A
 - Fréquence : 50 Hz.
 - Vitesse de rotation : 1500 tr/ mn.
 - Indice de protection : IP44.

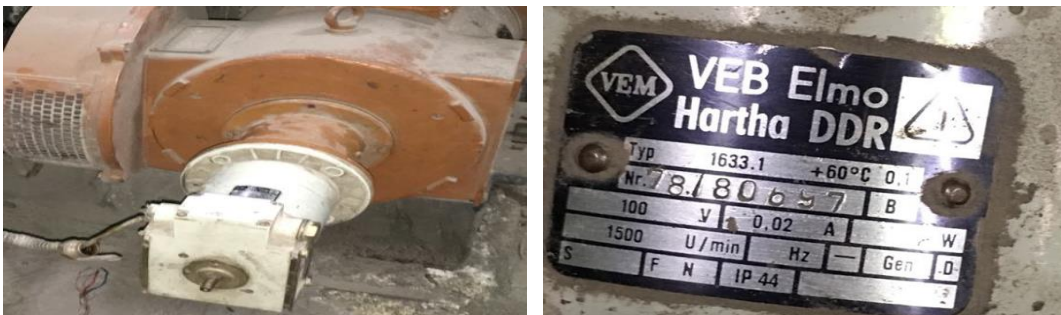


Figure II.7 Tachymètre à tension continue.

C. Excitation du moteur :

Le moteur est à excitation séparée sans enroulement de stabilisation, Lors de coupure du courant continu, l'enroulement d'excitation doit être protégé d'une coupure liée à la surtension par d'une résistance parallèle.

D. Roulement du moteur :

Le moteur est livré avec des roulements à billes, généralement le roulement côté entraînement est libre et le roulement côté collecteur est fixe.

E. Dispositifs de protection du moteur :

Le moteur est protégé contre les surtensions, les surintensités, les court-circuits, les survitesses, les échauffement défectueuse et les cassures des roulements avec les dispositifs suivant :

- Balais de mise à la terre en cas d'enroulements humides ou trop encrassés.
- Dispositif de contrôle de la vitesse.
- Capteur de roulement avec récepteur de vibrations
- Contacteur différentielle.

II.4.4 Assemblage « câble avec isolation »

Câblage des fils déjà isolé au PRC pour fabriquer des câbles non unipolaires, la possibilité d'assemblage s'étend jusqu'à six conducteurs dont la section varie entre 10 mm² et 240 mm² selon le type de câble. [11]

II.4.5 Armature des câbles électriques

L'enveloppement des câbles se fait par une couche de protection et trois autres couches : couche conductrice, couche en papier cuivre et couche en papier.

A. Rubanage des câbles :

Après les trois étapes : tréfilage, câblage et isolation le câble arrive à cette étape qui est effectuée par une rubaneuse composée de plusieurs machines dont le rôle est de poser trois type de ruban sur le câble, qui sont successivement :

- Un ruban semi-conducteur (bande noir).
- Un ruban métallique en cuivre ou en aluminium.
- Un ruban semi-conducteur (bande blanche) gonflable.

B. Les différents dispositifs du rubaneuse :

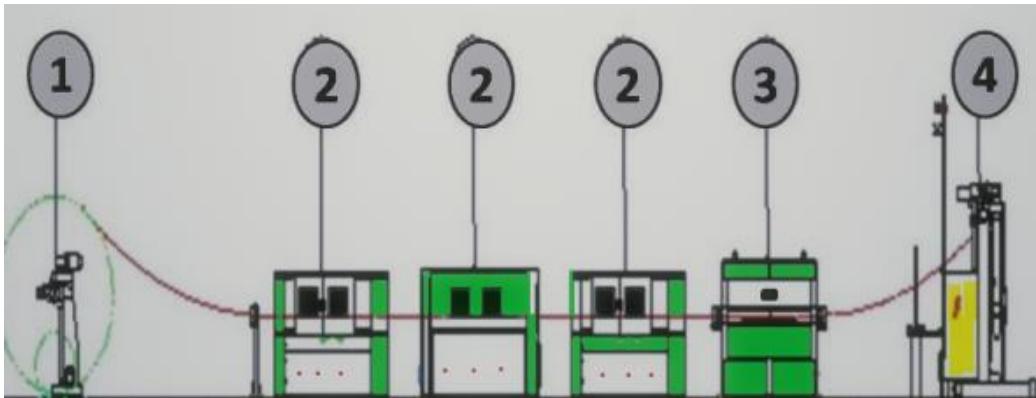


Figure II.8 La ligne du rubaneuse. [14]

- 1- Dérouleur de colonnes.
- 2- Trois rubaneuse tangentielle.
- 3- Chenille de tirage.
- 4- Enrouleur autotrançanage.

Comme la chaîne a pour fonction la pose de trois types de rubans, il est évident qu'elle soit composée de trois machines principales responsables chacune d'un type de ruban, on distingue :

- L'une responsable du tirage du câble lors de son rubanage en vue d'avoir une finesse le long du câble avec une vitesse proportionnelle et synchrone à celle du rubanage pour éviter les défauts.
- La deuxième où on place le touret qui contient le câble à rubaner.
- La troisième est réservée pour la collection de produit finale.

C. Description matériel de chaque unité du rubaneuse :

Dans cette partie on fait une description de chaque unité, sa constitution de matériels et son mode de fonctionnement.

1. **Le dérouleur :** Ils se place en tête de la rubaneuse car elle contient le touret du câble à traiter. Ils se compose d'un châssis général électro soudé, qui sert à soutenir et en même temps de pistes de glissement aux colonnes et les moteurs électriques à courant alternatif pour la commande.

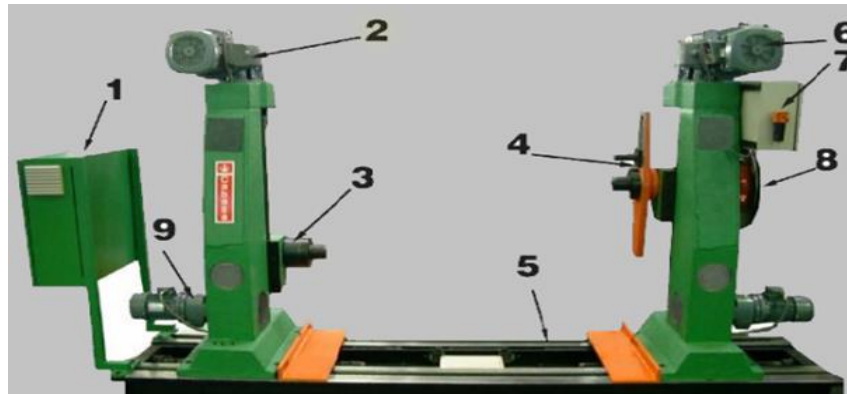


Figure II.9 Le dérouleur.

1.1 Les composants du dérouleur :

1. Armoire électrique, 2. Moteur positionnement Vertical, 3. Contre-pointe fixé,
4. Contre-pointes mobile, 5. Pistes de glissement, 6. Moteur de positionnement Vertical,
7. Armoire pneumatique, 8. Frein à disque pneumatique, 9. Moteur positionnement Horizontal.

1.2 Fonctionnement de dérouleur :

- Les quatre moteurs asynchrones, leurs fonctions sont de fixer le touret et le disposer sur la ligne de tirage pour le bon fonctionnement, Ils sont commandés par un petit levier qui permet de les déplacer dans les quatre directions (haut, bas, gauche et droite), avec un bouton sélectionne les contre-points à commander, l'élévation s'effectue par deux moteurs capables de fonctionner ensemble ou indépendamment l'un de l'autre et le rapprochement horizontal des colonnes s'effectue au moyen d'autres deux moteurs pouvant fonctionner aussi ensemble ou indépendamment, ses mouvements sont protégés par des micro rupteurs pour éviter toute détérioration de la bobine.
- Après la fixation du touret les moteurs n'ont aucune intervention dans le déroulement de la suite de l'opération (ils sont mis hors service), la tension de déroulage est obtenue au moyen d'un frein à disque pneumatique de disque réglable par un régulateur de pression, il y a aussi un deuxième circuit pneumatique pour les arrêts d'urgence.
- Le frein se peut débloquer manuellement pour permettre positionner le système de traînage de la bobine au moment de chargement.

1.3 Caractéristique des moteurs du dérouleur :

- Les deux moteurs asynchrones « Siemens » de positionnement vertical (2 et 6) :
 - Puissance : 2.2/2.7 kW
 - Vitesse de rotation : 1420 /1700 tr/min
 - Fréquence : 60/50 Hz
 - Tension : 220/440 - 480/420 V
 - Intensité : 5.3 A
 - Facteur de puissance : 0.79
 - Indice de protection : IP55



Figure II.10 Moteur asynchrone de positionnement vertical.

- Les deux moteurs asynchrones « siemens » de positionnement horizontal (9)
 - Puissance : 0.37/0.44 kW
 - Vitesse de rotation : 1400/1680 tr/min
 - Fréquence : 60/50 Hz
 - Tension : 380/ 440 - 480/420 V
 - Intensité : 1.1 A
 - Facteur de puissance: 0.71
 - Indice de protection : IP 55

Les ‘servomoteurs asynchrones’ exploités sont nettement plus robustes et plus précis pour un fonctionnement avec un **variateur de vitesse**.

1.4 Caractéristique du variateur de vitesse :

Le variateur de vitesse peut être équipé d'un codeur standard en mode réglé de vitesse « Figure II.11 » ou d'un codeur incrémental plus précis, pour des applications de positionnement.

- Marque : SIEMENS.
- Type : SINAMICS DCM.
- Données d'entrée : 3AC 400V 50A 50/60 Hz.
- Données de sortie : DC + - 420V 60A.
- Indice de protection : IP00.
- Température ambiante : 0° - 45°C



Figure II.11 Variateur de vitesse.

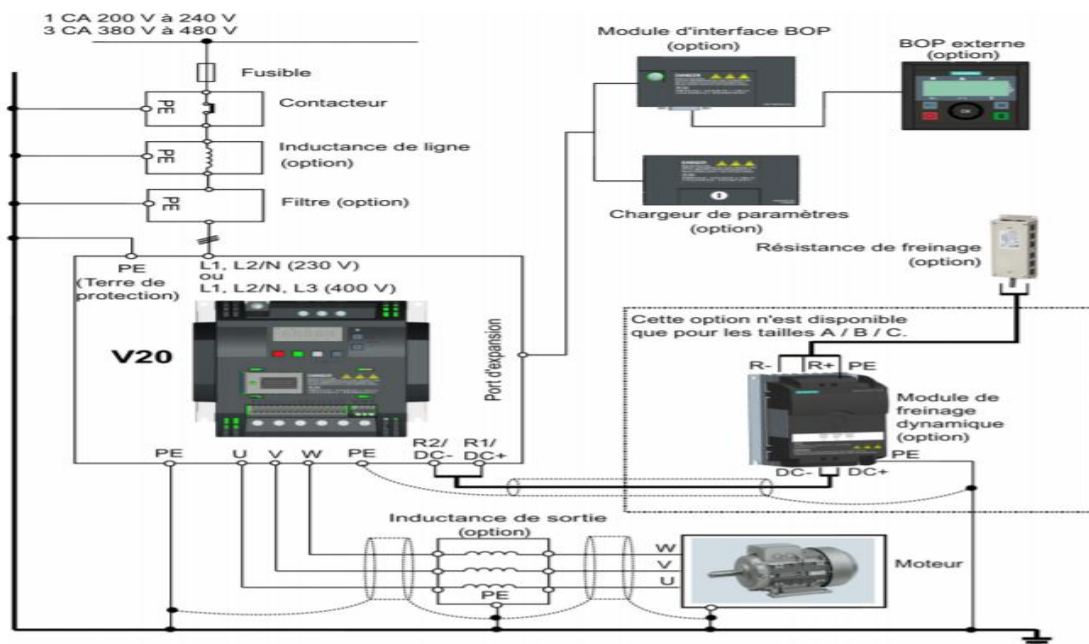


Figure II.12 Schéma de connexions typiques du variateur avec le système. [13]

2. Rubaneuse tangentielle : Cette unité fait la pose de premier ruban semi-conducteur en noire, le rôle de ce dernier est la canalisation du champ induit leur commande se fait à travers une armoire électrique comme elle est montrée sur la « figure II.13 »



Figure II.13 Rubaneuse tangentielle.

2.1 Les composants du rubaneuse tangentielle :

1- Filière d'entrée, 2- Frein à disque, 3- Frein à corde, 4- Détecteur de casse 5- Frein pneumatique, 6- Levier de blocage palpeur, 7- Régulateur de la tension du galet, 8- Bras palpeur, 9- Rouleau de rubanage, 10- Support des dynamomètres, 11- Dynamomètres, 12- Bouton de blocage de galet, 13- Rondelle de blocage, 14- Filière de sortie, 15- Collecteur.

2.2 Fonctionnement du rubaneuse tangentielle :

Un moteur à courant continu de 15 kW fait tourner ces galets sur le câble produisant la pose du ruban. Cette unité offre la possibilité de poser deux rubans en même temps quand c'est nécessaire pour certains câbles, ces deux rubans sont décalés l'un par rapport à l'autre d'une distance choisie et le réglage de vitesse se fait avec un potentiomètre, le bouton RUN en façade de l'armoire met le variateur sous tension et le potentiomètre fait varier la vitesse de rotation.

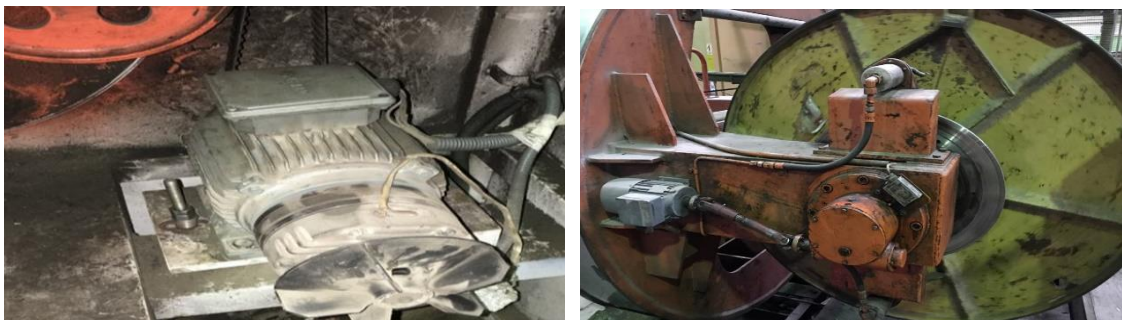


Figure II.14 Moteur d'entraînement à courant continu.

3. **Rubaneuse tangentielle 2** : Elle a la même constitution matérielle que la précédente sauf qu'elle est responsable de la pose du ruban métallique qui peut en aluminium ou en cuivre utilisée comme en nature un neutre ou bien un fils de terre.
4. **Rubaneuse tangentielle 3** : Elle est identique au deux organes précédents mais elle est responsable de la pose d'un ruban blanc gonflable utilisé pour la protection du câble contre l'eau.
5. **Chenille de tirage** : Pendant le fonctionnement de la ligne cet organe sert à tirer le câble pour avoir un rubanage homogène, sa vitesse est proportionnelle à la vitesse du rubanage, l'absence de synchronisation entre les vitesses de rubanage et de tirage entraîne des défauts sur le câble.



Figure II.15 Chenille de tirage.

La chenille de tirage contient un moteur à courant continu de 20 kW, pour l'application de toutes les mécanismes de traction des réducteurs, contrôlent de vitesse et l'entraînement des courroies.



Figure II.16 Moteur à courant continu de la chenille de tirage.

6. Enrouleur autotrancanage : La machine est composée d'un châssis de parfiles électro soudés avec deux colonnes d'acier verticaux, qui fais de soutien des rails de glissement des bobines. Les mouvements de levage et descend s'effectuent par un vérin, avec moteurs électriques qui peuvent travailler ensemble ou indépendamment l'un de l'autre. Elle équipée d'un senseur de sécurité à chaque colonne pour le mouvement de descend de la bobine, il s'active quand la bobine touche le sol, arrêtent la machine immédiatement.

L'enrouleur comporte cinq moteurs asynchrones, 3 pour la fixation du touret, un pour le trancanage de l'unité, et le dernier pour la rotation du touret, ces deux derniers moteurs sont commandés par leurs vitesse de rotation qui est définie par l'opérateur comme une valeur de consigne entrée à travers le pupitre.

6.1 Fonctionnement de la commande automatisé :

A la saisie de valeur de vitesse de consigne par l'opérateur à travers le pupitre, l'API lance le démarrage du moteur à courant continu responsable du rubanage, aussi il fait le contrôle et la régulation par l'acquisition de la valeur mesure de vitesse en temps réel par une génératrice tachymétrique. Cette valeur est comparée avec la valeur de consigne, en cas de présence d'erreur, un programme de régulation PID est lancé, pour déterminer la valeur de la nouvelle tension, pour rattraper cette erreur.

Cette nouvelle tension est insérée dans un programme MLI sinus-triangle pour la génération de commande de thyristors.



Figure II.17 Armoire de commande automatisé avec une carte électronique.

7. L'écran générale de la chaîne :

La chaîne est disposée d'un écran tactile (console) qui permet la saisie des données de fonctionnement comme : la vitesse, le sens de rotation, métrage de câble... etc. qui sert aussi à nous informer sur les valeurs instantanées de vitesse, courant, couple... etc.

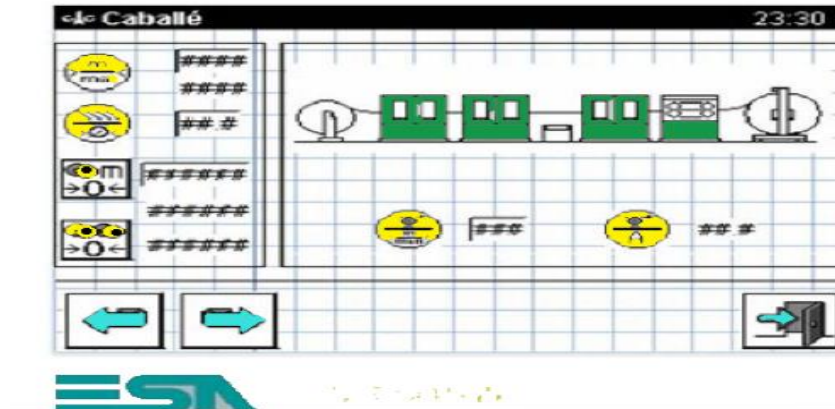











Figure II.18 Ecran générale de la chaîne.

Les icônes :

	Prochaine écran		Ecran antérieur
	Retour à le menu principal		Remise à zéro du compte mètres total
	Remise à zéro du compte mètres partiel		Présélection vitesse du ligne
	Présélection de la vitesse d'impulsion		Présélection du diamètre du câble
	Courant du moteur		

Tab II.1 Les icônes de l'écran générale de la chaîne.

D. Fonctionnement de la chaîne de production :

Après la saisie des données nécessaires pour le bon fonctionnement de la machine par l'opérateur, comme la vitesse, le sens de rotation, le diamètre de câble, le pas de câblage... etc. on appuie sur le bouton de démarrage sur l'armoire de commande « Figure II.19 », ce qui mis en marche toutes les unités en même temps avec des vitesses proportionnels et synchrones.



Figure II.19 L'armoire générale de commande de la chaîne.

Le processus commence par l'entrée de câble à travers les filières d'entrées, les trois unités posent les différents types des rubans, comme il peut avoir la suspension de l'une des unités et la pose d'un ou deux couches de ruban pour chaque unité selon le besoin.

Entre les unités de production, le câble passe par un testeur des défauts « zumbach », il travaille comme un capteur en cas de défaillance la lampe s'allume en rouge.



Figure II.20 Testeur des défauts « zumbach ».

L'unité de tirage synchronise son déplacement avec la vitesse des moteurs, à la fin en retrouve le produit final collecté dans la dernière unité.

Le fonctionnement de la chaîne est automatisé mais il peut être manuelle en cas de besoin.

Avant la mise en commercialisation, les produits de l'ENICAB subissent des essais et des contrôles de confirmation de la bonne qualité. Pour cela, l'entreprise dispose des plates formes spécialisées en contrôle de matière première jusqu'à le produit à commercialiser.

II.4.6 Compteur métrage

Après la production du cables et le contrôle de son qualité, il reste que la mesure du métrage du cable à commercialisé avec la machine « compteur métrage » programmable électroniquement de 0,1 mètre jusqu' à 9999,9 mètres.

A. Fonctionnement du compteur métrage :

La machine « compteur métrage » est une appareil de mesure de la longueur du cable produit, elle est programmable et électroniquement à travers un écran tactile, elle contient un moteur électrique coonécté avec un variateur de vitesse réglable électroniquement.

- Lorsque on appuit sur le bouton « menu » elle affiche « presse 1 » pour entrée une valeur souhaitée par exemple : 98 mètres, « presse 2 » pour la deuxième valeur par exemple :100 mètres. Le variateur augmente la vitesse au max par exemple à « 100 Hz » jusqu'à la première valeur « 98 mètres », le variateur de vitesse reduit automatiquement la vitesse jusqu'à le freinage totale à la deuxième valeur « 100 mètres ».
- La protection du compteur lorsque la mise en marche est au moyen d'un crochet de protection.

B. Caractéristique du compteur métrage :

- Tension: 380 V.
- Puissance: 5,88 kW.
- Vitesse de rotation: 0-100 Hz/mn.
- Poids: 1350 kg.

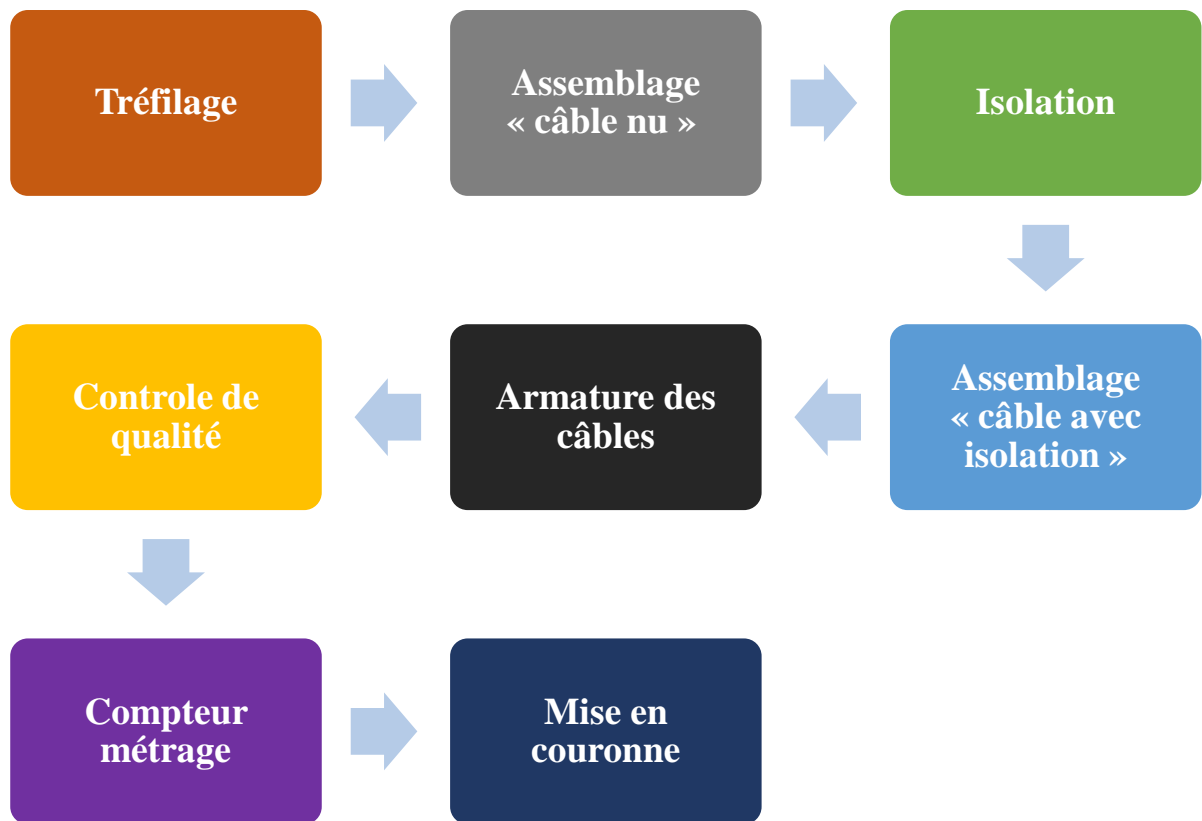


Figure II.21 Organigramme de production des câbles.

CHAPITRE III : LA MAINTENANCE DES MACHINES ELECTRIQUES DANS L'INDUSTRIE.

Chapitre III : La maintenance des machines électriques dans l'industrie.

Dans ce chapitre on va présenter une étude pratique sur la maintenance des machines électriques au sein de la direction de maintenance SONATRACH, Lorsque la période de mon stage j'ai assisté différents types de maintenance : celle de rétablissement d'un moteur asynchrone « 37 kW » en état de dysfonctionnement et d'un Alternateur « 550 kVA » en panne, dans ce chapitre j'vais présenter les procédures de maintenance exploités dans l'atelier d'électromécanique.

III.1 Présentation de l'entreprise

Pour ces raisons, la fonction maintenance de ces équipements est devenue un élément stratégique dans la politique générale de l'entreprise. La direction maintenance de BISKRA et celle de LAGHOUAT ont été chargées officiellement de la maintenance et la réparation de tous ces équipements. Parmi les équipements installés : Les machines électriques, qui font une partie essentielle de l'activité de maintenance. Peut se définir comme étant une suite d'actions organisées, ayant pour objectifs :

- L'établissement des procédures et contrôle de la maintenance des équipements de l'activité en collaboration avec les directions régionales.
- Maintenir la machine, par une suite d'actions préventives et planifiées, en état parfait de fonctionnement.
- Rétablir une machine, si elle est en état de dysfonctionnement, par sa remise en état du bon fonctionnement.

III.2 Moteur Asynchrone triphasé « WEG »

Ce moteur asynchrone triphasé été stocké dans la station de pompage SP2 BISKRA, en raison de son rétablissement pour l'exploitation, été envoyé pour le maintenir.



Figure III.1 Moteur asynchrone triphasé.

III.2.1 Constitution

1. **Plaque signalétique** : elle comporte les caractéristiques du moteur, la « Figure III.2 » montre le schéma de la plaque signalétique de ce moteur.



Figure III.2 Schéma de plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé.

- Marque : WEG
- Nombre de phases : (3~) → moteur triphasé
- Type de moteur : (250S/M-6)
- Nombre de pôles : (6 pôles)
- Numéro de série : (0A81103)
- Facteur de puissance (Cos φ) : 0,89

- Puissance : (37 KW) → puissance utile délivrée sur l'arbre du moteur.
- Tension : (380 V) → la valeur nominale de la tension.
- Couplage : Triangle à effectuer en fonction du réseau d'alimentation.
- Intensité : (68,5 A).
- Fréquence : (50Hz).
- Température ambiante → (AMB) : 45°C
- Facteur de service : (S1) → définit le type d'utilisation.
- Vitesse de rotation : (980 tr/min) → Indique la vitesse nominale du rotor « Nr » donc la vitesse de synchronisme « Ns » du moteur est 1000tr/mn.
- Indice de protection : (IP55) → indique la résistance du moteur à l'eau et la poussière.
- Classe d'isolation : (F) → définit sa température maximale d'exploitation.
- Type de roulements et quantité de graisse : (6314-C3)
- Type de graisse pour roulements : (POLYREX EM-ESSO)
- Intervalle de lubrification en heures : (6510 h)
- Masse : (489 Kg).
- Altitude : (1000 m.a.s.l).

2. **Boîte de raccordement** : elle contient une plaque à bornes, ou les enroulements statoriques sont couplées en triangle « Δ » pour la tension d'alimentation 380 V.

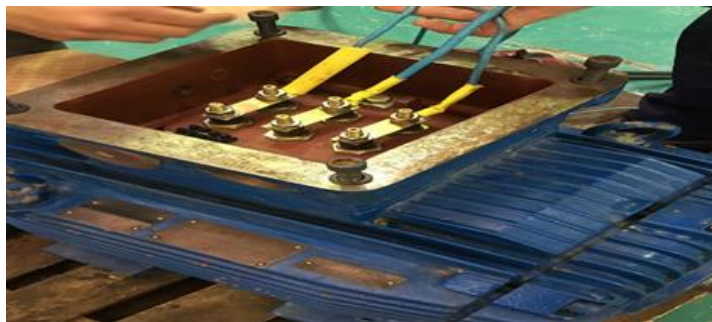


Figure III.3 Couplage triangle du moteur asynchrone.

3. **Rotor à cage d'écureuil** : C'est la partie tournante du moteur sur lequel on récupère l'énergie mécanique pour l'entraînement d'un système.



Figure III.4 Rotor à cage d'écureuil.

- L'arbre du moteur placé au milieu du rotor, elle est disposée pour l'installation des roulements à rouleaux adaptés aux applications avec poulies en coté charge, elle est fournie aussi avec une rainure de clavette débouchant, avec trou central taraudé.



Figure III.5 Arbre du moteur asynchrone.

4. **Le flasque** : Le flasque côté bout d'arbre (Figure III.6) comporte des ailettes pour améliorer la dissipation thermique et permettre une basse de fonctionnement des roulements, les intervalles de lubrification sot rallongés. Le contre flasque s'installe à l'intérieur du flasque son rôle est de fixé plus précisément l'arbre au centre.



Figure III.6 Flasque et contre flasque du moteur asynchrone.

- **Joint d'étanchéité** : l'étanchéité de l'arbre du moteur assurée par un joint torique évite la pénétration d'eau et des poussières dans l'intérieure du moteur.



Figure III.7 Joint d'étanchéité.

- 5. Ventilateur et capot de ventilation** : La ventilateur monté sur l'arbre du moteur permette la circulation de l'air dans les ailettes et améliorant l'échange thermique, le capot de ventilation est en fonte de conception aérodynamiques, permettent de réduire considérablement le niveau sonore et d'optimiser l'air qui circule au moteur.



Figure III.8 Ventilateur et capot de ventilation.

- 6. Roulements** : le moteur est équipé de roulements à billes radial, leur durée de vie est entre (20000 à 40000 heures) ça dépend la charge.



Figure III.9 Roulements à billes radial.

III.2.2 Les procédures de la maintenance préventive du moteur asynchrone triphasé « WEG » :

Dans ce cas, le moteur asynchrone triphasé réceptionné en raison de révision générale, pour cela on a appliqué les différentes opérations de la maintenance préventive, la procédure adaptée pour ce cas s'articule sur cinq étapes complémentaires :

A. Expertise et essais de réception : La présente procédure a pour but, d'inspecter visuellement et sensoriellement le moteur selon : le couplage, des bruits anormaux, des vibrations, un échauffement excessif, des signes d'usure, un défaut d'alignement ou des pièces endommagées, présence de poulie... dès l'heure de son arrivée en l'atelier et faire son diagnostic afin de d'intervenir à l'ensemble des contrôles et les valeurs à mesurer lors d'essai du moteur.

a) Diagnostic : La démarche du diagnostic repose sur une analyse systématique des paramètres physiques du moteur, elle nécessite la connaissance des grandeurs significatives à mesurer pour avoir une image aussi proche que possible de l'état réel par l'identification de la nature des défauts.

La méthode systématique adoptée pour cette analyse consiste à :

- Recenser les défauts et les pannes pouvant se produire, à partir de ses symptômes.
- Trouver les grandeurs mesurables liées à ces défauts.

La recherche d'un défaut relève ou d'un raisonnement logique faisant appel aux phases suivantes:

- Identification du problème : acquisition et sélection des informations,
- Évocation d'hypothèses : dans cette phase, on utilise les symptômes pour envisager des défauts possibles,
- Validation ou confirmation d'hypothèses, ensuite inspecté aux tests.

b) Les tests électriques :

1. **Teste globale masse** : Ce test est utilisé pour vérifier l'état de l'isolation au cours de la vie d'une machine en connectant un Mégohmmètre permettant de mesurer la résistance entre chaque enroulement et la terre tout en enregistrant le relevé.

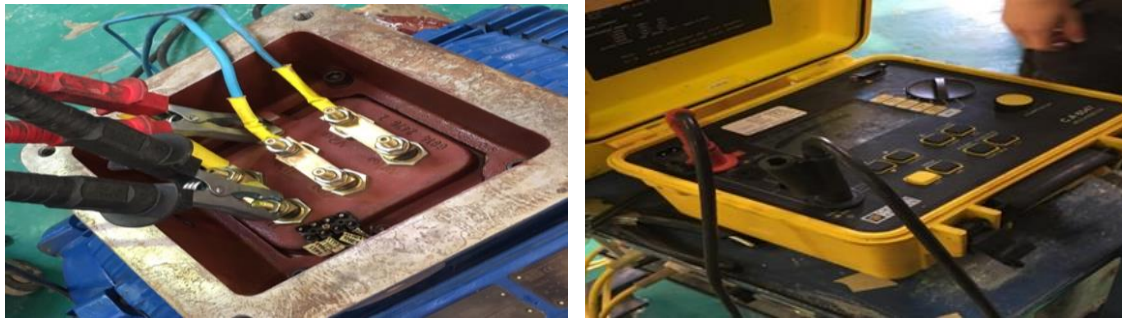


Figure III.10 La mesure de résistance entre bobine et la terre avec un mégohmmètre.

- **Le mégohmmètre CA 6547 CHAUVIN ARNOUX** : Appareil de mesure des résistances isolements de $10\text{k}\Omega$ à $10\text{M}\Omega$, il dispose quatre tensions d'essai fixes : 500 / 1000 / 2500 et 5000V, mémorisation de plusieurs milliers de mesures, connecteur RS 232 pour raccordement vers un PC, il fait aussi des mesures d'indice de protection et rapport d'absorption diélectrique.

La mesure d'isolation se fait après :	« 1mn » d'électrocuter.
Tension d'essai :	500V
Température d'essai :	26 C°
la résistance de l'isolation entre bobine et la terre :	2 G ohm → Bon.

Tab III.1 Test globale masse.

2. **Teste de résistance ohmique** : ce teste se fait pour la mesure d'isolation entre bobine avec un Micro-ohmmètre pour but de :
 - La détection des coupures dans les bobines.
 - L'identification des résistances des phases et la comparaison entre les valeurs mesurer et calculée, la différence ne doit pas être supérieur à 3%.
 - Les résistances des bobines équilibrées dans les machines triphasées.



Figure III.11 Mesure des résistances entre bobine avec micro- ohmmètre.

- **Le micro- ohmmètre :** Appareil de mesure des résistances ohmique entre bobine, de gammes de mesure de $400\mu\Omega$ à 400Ω avec courant de test jusqu'à 10 A et résolution maximale $1\mu\Omega$, il dispose une mémoire de 100 mesures et communication par liaison optique USB.

R (ph1-ph2) :	127,8 m ohm
R (ph2-ph3) :	112,7 m ohm
R (ph1-ph3) :	131,01 m ohm

→ **Mauvais.**

Tab III.2 Test résistances ohmiques.

3. Index de polarisation : Le test d'index de polarisation est effectué durant 10 minutes, les valeurs de l'index de polarisation ne doivent pas être inférieures aux valeurs définies par la classe d'isolement, elle est influencée par trois facteurs :

- L'humidité dans la machine (les sorties des bobines, les câbles de sortie...).
- La pollution à l'intérieure de la machine (poussière, graisse...).
- Détérioration de l'isolement.

$I_p = \frac{R_{isol \text{ à } 10mn}}{R_{isol \text{ à } 1mn}} = \frac{0,9}{2} :$	0,45 → Mauvais , autant que la classe d'isolation de ce moteur est : Classe F.
--	---

Tab III.3 Index de polarisation.

4. Rapport d'absorption diélectrique (DAR) : Il s'agit de test de rapport temporisés qui vérifient les caractéristiques de l'absorption de l'isolement humide ou contaminé, le relevé des résistances d'isolement est effectué à 30 secondes et à 60 secondes peut suffire pour qualifier l'isolement.

$\text{DAR} = \frac{\text{Risol à 60 sec}}{\text{Risol à 30sec}} = \frac{1,18}{0,96} :$	1,23 → Insuffisante.
---	-----------------------------

Tab III.4 Rapport d'absorption diélectrique.

- Le Tableau suivant présente les valeurs du DAR :

Condition d'isolement	Valeurs du DAR
Insuffisante.	DAR < 1,25
Bonne.	1,25 < DAR < 1,6
Excellente.	DAR > 1,6

Tab III.5 Les valeurs acceptables de DAR.

Après les contrôles précédents, on a trouvé les défauts possibles à partir des valeurs qu'on a obtenues :

Défauts	Causes
Bruit anormal	Portée de roulement défectueux.
Faible résistance d'isolement	Présence d'eau et la poussière dans le bobinage
Échauffement excessive palier coté charge	Roulement usé
Trop de graisse	Le non-respect des conditions de graissage.

Tab III.6 Les défauts et les causes du moteur.

B. Démontage du moteur asynchrone triphasé « WEG » :

Après les tests, on doit procéder au démontage du moteur, les processus suivants démontrent les opérations du démontage du moteur asynchrone triphasé « WEG » :

- Nettoyage de la carcasse du moteur.
- Repérage, des deux côtés des flasques.
- Retraitement de clavette de bout d'arbre.
- Extraction de poulie à l'aide d'un arrache-roulement, le joint et disque d'accouplement.



Figure III.12 Poulie du moteur.

- Extraction capot de ventilateur dévisser les boulons et retirer le capot à la main.
- Démontage du ventilateur qui est installé avec un circlips, retraitement du circlips à l'aide d'une pince à circlips coudée.
- Extraction du flasque côté poulie avec une arrache-moyeu.



Figure III.13 Démontage du flasque côté poulie. [15]

- Extraction et dépose du rotor avec une arrache-moyeu hors du stator.



Figure III.14 Extraction du rotor. [15]

- Dépose du flasque côté ventilateur par choc de l'intérieur avec un « jet » en nylon pour ne pas endommagé et récupérer la rondelle de précharge et le joint du flasque arrière.



Figure III.15 Démontage du flasque coté ventilateur. [15]

- Extraction des roulements avec une arrache-moyeu coté accouplement et coté ventilateur avec les deux joints et la rondelle de précharge coté ventilateur.



Figure III.16 Extraction du roulement. [15]

- Après le démontage on procède à la vérification de toutes les pièces du moteur endommagées et l'identification de la nature des défauts.

C. Réparation du moteur triphasé « WEG » :

a) **Nettoyage du moteur** : L'opération de nettoyage est nécessaire pour le remettre dans ces conditions favorables de fonctionnement et d'exploitation il faut que les enroulements et les pièces soient aussi propres et sèches que possible, à l'intérieur comme à l'extérieur.

- Nettoyage et étuvage du stator et ces encoches.
- Nettoyage du rotor et l'arbre.
- Nettoyage du bobinage statorique : Il faut bien souffler de l'air a fin d'élevé la poussière.
- Nettoyage et lubrification du logement du roulement.
- Nettoyage des pièces mécanique constructive du moteur (Flasque, contre flasque, ventilateur, capot ventilateur...) par le lavage à pression avec d'eau chaud.
- Nettoyage du poulie d'accouplement.
- Nettoyage des tiges et des barrettes de plaque à bornes.

Après certaines procédures de nettoyages on doit procéder au :

- Extraction du bobinage statorique.
- Vernissage du stator et les autres composants du fer au vernis anti-flash pour éliminer les risques des étincelles, afin de compenser les défauts d'isolement et d'augmenter la rigidité diélectrique du bobinage.
- Séchage du stator et les autres composants dans le four.



Figure III.17 Séchage du moteur dans le four.

- Changement des roulements à « billes radial » de référence : « 2382SI8 »
- Changement de joint d'étanchéité.

D. Remontage du moteur : Le remontage se fait en suivant l'arbre inverse des opérations du démontage (tout en respectant le repérage pré-établie) et la lubrification de l'arbre avec huile.

- échauffement des roulements par induction pour l'insertion.



Figure III.18 Echauffement du roulement par induction.

- Graissage et montage des roulements sur l'arbre.
- Remontage du circlips, ventilateur et leur capot.
- Introduire l'ensemble rotor, arbre, flasque à l'intérieure du stator avec l'alignement des tiges dans la carcasse.
- Remontage du flasque arrière après avoir mis la rondelle de précharge dans le logement du roulement.
- Serrages des écrous.
- Remontage de la clavette.
- Remontage de poulie d'accouplement.

E. Procédure d'essais après la réparation :

Après le nettoyage, changement des pièces endommagés, remontage du moteur on doit procédés au essai de fin de réparation au banc d'essai (Figure III.19) après leur remise en état pour l'exploitation.



Figure III.19 Banc d'essai.

Les controles à effectué après la réparation sont :

1. Teste globale masse :

La mesure d'isolation se fait après :	« 1mn » d'��lectrocuter.
Tension d'essai :	500V
Température d'essai :	22 C��
la résistance de l'isolation entre bobine et la terre :	4 G ohm → Bon.

Tab III.7 Test globale masse.

2. Teste résistance ohmique :

R (ph1-ph2) :	126,88 m ohm	→ Bon.
R (ph2-ph3) :	126,92 m ohm	
R (ph1-ph3) :	127,02 m ohm	

Tab III.8 Teste résistance ohmique.

3. Essai à vide : On alimente le moteur avec une tension 380 V sans ventilateur et sans charge pour qu'on obtient la réelle température du moteur.

- $U_0(\text{ph1}) =$
- $U_0(\text{ph2}) =$ → 380 V
- $U_0(\text{ph3}) =$



Figure III.20 Essai à vide du moteur.

- On mesure le courant de chaque phase des trois pour voir es qu'il est équilibré ou non avec un Pince ampérométrique.
- $I_0(\text{ph1}) = 18,44 \text{ A}$
- $I_0(\text{ph2}) = 18,56 \text{ A} \rightarrow \text{Équilibré.}$
- $I_0(\text{ph3}) = 18,74 \text{ A}$



Figure III.21 Mesure du courant avec une pince ampérométrique.

- On mesure la vitesse de rotation qui est un peu supérieure à celle du la plaque signalétique (980 tr/mn) avec un Tachymètre :
- La vitesse de rotation est : 999,6 tr/mn.
- On change le sens de rotation avec le changement de deux phases et on remesure.



Figure III.22 Mesure de la vitesse de rotation avec un Tachymètre.

- **Echauffement** : On mesure la température ambiante et la température coté charge et côté opposé avec un Multimètre :
- Température ambiante : $21,8^\circ$
- Résistance préchauffage = 60,4 Ohm

	Temps (5mn)	Temps (15mn)	Temps (30mn)	Temps (45mn)	Temps (60mn)
Stator	22,3°	22,7°	23,2°	23,6°	24,4°
Palier Coté charge	20,9°	21,8°	22,3°	23,1°	24,6°
Palier côté opposé charge	19,2°	19,9°	20,2°	22,5°	23,6°

Tab III.9 Mesure des températures du moteur.



Figure III.23 Mesure des températures avec multimètre.

- **Commentaires :** d'après le fonctionnement du moteur et l'essai à vide nous avons entendu un bruit un peu anormal.
- **Causes :** L'origine de ce bruit est à cause de la graisse n'as pas atteint toutes les billes de roulement, le bruit vas disparaître avec plus de rotation.

Après tous ces procédures, on fait un relevé du moteur contient toutes les mesures effectuées.

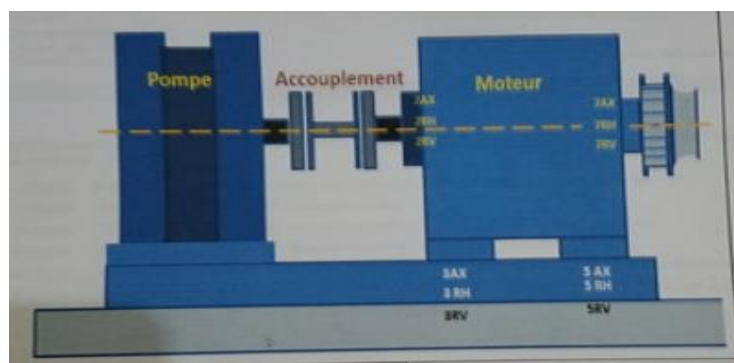


Figure III.24 Schéma synoptique de l'exploitation de ce moteur dans la station de pompage SP2 BISKRA.

III.3 ALTERNATEUR PARTNER « LEROY SOMER »

Cet Alternateur de la gamme PARTNER de puissance 550 kVA est réceptionné à l'atelier en état de panne.



Figure III.25 Alternateur mono-palier.

III.3.1 Caractéristiques de l'alternateur :

Cet Alternateur de construction standard MD 35 (mono-palier à disque et bride d'accouplement feuilletée pour éliminer le choc), auto excités sans bagues, ni balais à excitation composée, son carcasse est en acier, flasques en fonte, avec régulateur de tension.

A. Plaque signalétique : elle comporte les caractéristiques de cet alternateur de la gamme PARTNER, il se caractérise avec la référence : LSA 47.1 VL12 C 6/4.



Figure III.26 Plaque signalétique de l'alternateur.

- LSA → Gamme PARTNER, 47.1 → Type d'alternateur, VL12 → VL: Modèle d'alternateur, 12: 12 Fils.
- C6/4 → C: système d'excitation AREP, 6: Numéro de bobinage, 4: Nombre de pôles.
- Fréquence : 50 Hz.
- Régulateur AVR : R448 AREP.
- Vitesse de rotation → 1500 tr/mn.
- Indice de protection : IP23.
- Facteur de puissance : 0.80
- Classe d'isolation : H
- Poids : 1170 Kg.
- Phases : 3
- Tension : 400V
- Couplage : étoile.
- Puissance : 500 kVA.
- Intensité : 722 A.
- Altitude inférieure à 1000 m
- Type de graisse pour roulements : (Esso UNIREX N3)
- Température ambiante inférieure à 40° C

B. Boîte à bornes : La boîte à bornes principale de l'alternateur est située au-dessus de la machine. Dans laquelle la machine est couplée en étoile, les câbles de neutre et de phases sont connectés sur des barres. Elle contient des transformateurs d'intensité et du régulateur électronique R448 à côté de la boîte à borne.

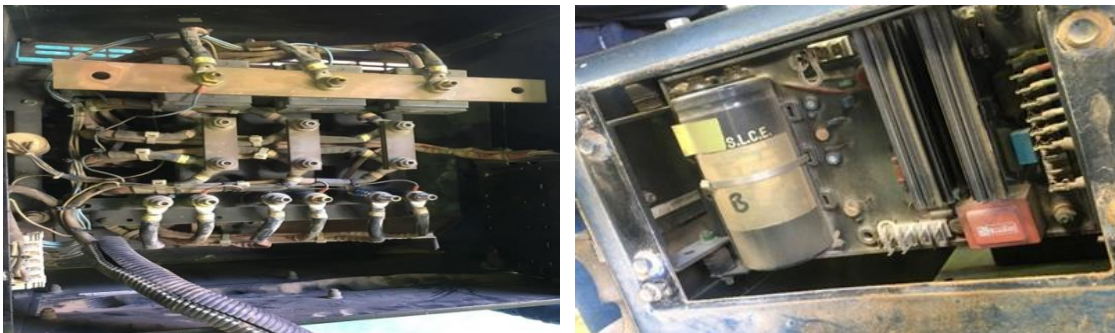


Figure III.27 Boîte a bornes.

B.1 Connexions des bornes : La connexion des bobines de cet alternateur est de type « D », de cela l'alternateur est couplé en étoile avec deux bobines connectés en série sur chaque phase avec l'utilisation de 12 fils pour le renforcement à cause des grandes valeurs du courant.

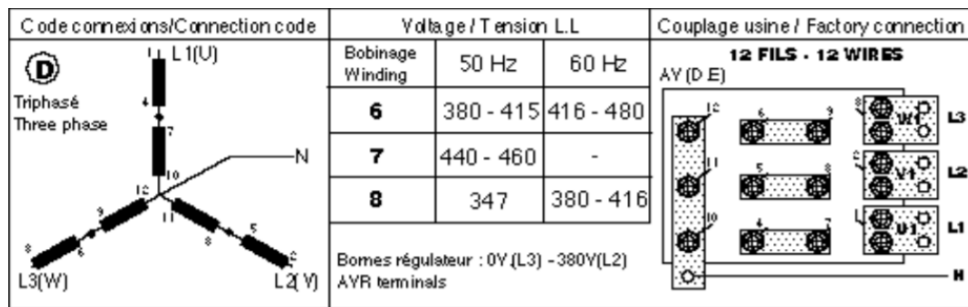


Figure III.28 Schéma de connexion des bobines de l'alternateur. [16]

B.2 Système d'excitation/régulation AREP :

En excitation AREP, Le régulateur de tension est alimenté par 2 bobinages auxiliaires, l'un des bobinages a une caractéristique shunt (tension proportionnelle à la tension alternateur), l'autre a une caractéristique série (tension proportionnelle au courant du stator). Lors d'un démarrage, grâce au rémanent de l'excitatrice, il se crée un courant dans l'induit de l'excitatrice. Ce courant, redressé par les diodes tournantes alimente la roue polaire. Celle-ci induit une tension dans le bobinage stator de l'alternateur. La tension induite dans le bobinage auxiliaire alimente le régulateur à travers l'inducteur de l'excitatrice. Le régulateur de tension contrôle le courant d'excitation de l'excitatrice en fonction de la tension de sortie de l'alternateur.

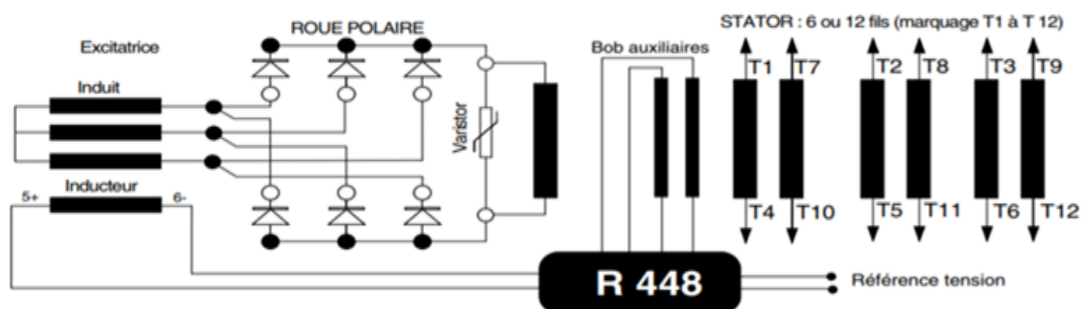


Figure III.29 Schéma de système AREP avec R 448. [16]

B.3 Caractéristiques du régulateur R 448 :

- Alimentation shunt : max 140V - 50/60 Hz.
- Courant de surcharge nominal : 10A.
- Protection électronique (surcharge, court-circuit): courant de plafond d'excitation pendant 10 s puis retour à environ 1A.
- Fusible : F1.
- Régulation de tension $\pm 0,5\%$
- Temps de réponse rapide ou normal par ST2
- Réglage de la tension par potentiomètre P2
- Détection de courant : marche en parallèle.
- Réglage du statisme par potentiomètre P1
- Protection en sous-vitesse (U/f) et LAM : seuil d'action réglable par potentiomètre P4
- Réglage du courant d'excitation maxi par P5 : de 4 à 10A.
- Sélection 50/60 Hz par ST3.
- Condensateur pour l'absorption et la diminution de la puissance réactive.

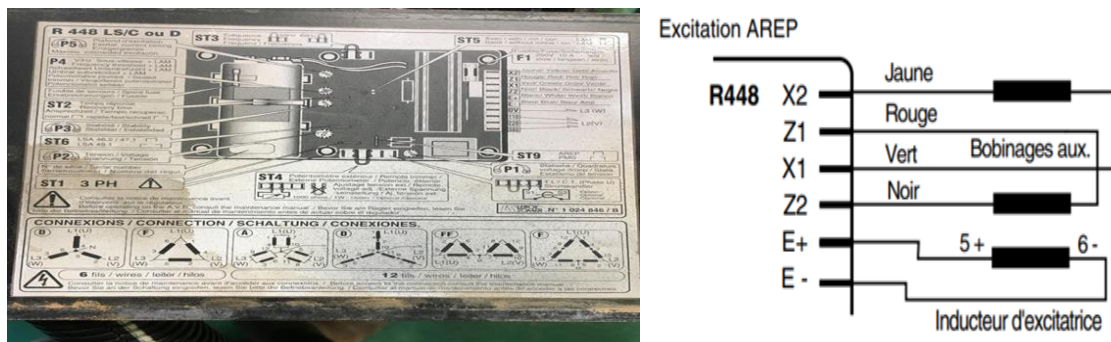


Figure III.30 Capot et schéma de connexion du régulateur R448.

C. Stator : Le stator de l'alternateur est constitué de tôles magnétiques à faibles pertes, ces bobines sont insérées et calées dans les encoches.



Figure III.31 Stator de l'alternateur.

D. Roue polaire (Rotor) : La roue polaire est constituée d'un empilage de tôles dont le découpage et le poinçonnage reproduisent l'empreinte des pôles saillants. L'empilage des tôles est terminé par des tôles de grande conductivité électrique.



Figure III.32 Roue polaire.

E. Excitatrice : Le système d'excitation de l'alternateur est composé de deux ensembles :

- L'induit de l'excitatrice qui alimente le pont de redresseur en courant alternatif, il est monté sur l'arbre de l'alternateur et électriquement interconnecté avec la roue polaire est construit par empilage de tôles magnétiques. Ces tôles sont maintenues par rivetage. .
- L'inducteur de l'excitatrice est alimenté en courant continu par le système de régulation, il est monté sur le palier arrière de l'alternateur.

Leurs bobinages se fait avec des fils de cuivre émaillés et isolés en classe H.



Figure III.33 L'induit et l'inducteur de l'excitatrice.

F. Pont de diodes tournant : Le pont redresseur est composé de six diodes, placé à l'arrière de la machine, il est alimenté par le courant alternatif de l'induit d'excitateur, et le redresse pour alimenter l'inducteur principal (roue polaire) en courant continu. Les diodes largement

dimensionnées sont protégées contre la surtension par une varistance montée en parallèle avec l'inducteur principal.

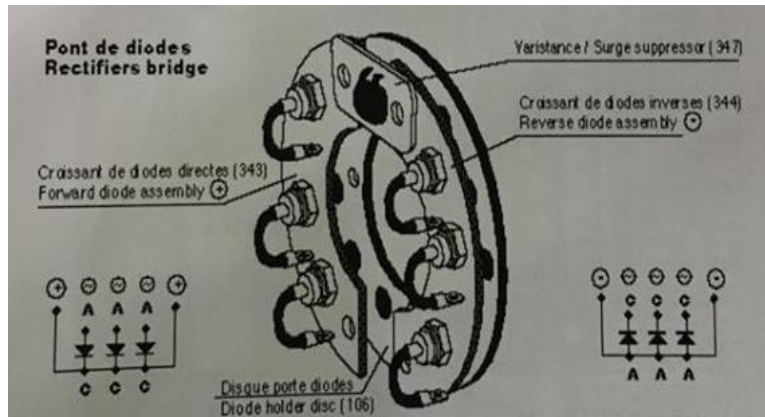


Figure III.34 Pont de diodes tournant. [16]

G. Ventilateur : Le générateur synchrone se caractérise par son système d'auto-ventilation. Un ventilateur centrifuge, monté entre la roue polaire et le palier avant, fait circuler l'air dans la machine.

H. Roulements à billes : Les roulements sont installés à chaque extrémité de la machine, ils sont démontables et peuvent être remplacés. Ils sont protégés de la poussière extérieure par des étanchéités à chicanes.

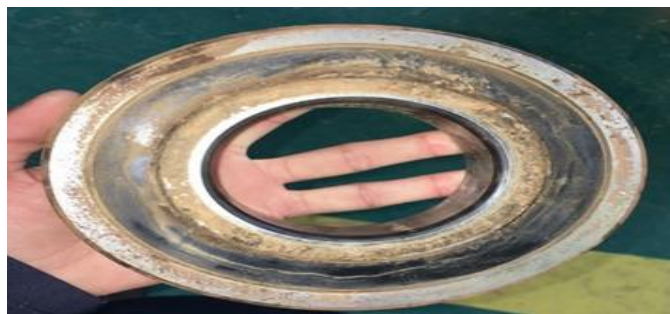


Figure III.35 Roulement à billes.

III.3.2 Les procédures de la maintenance corrective d'un alternateur PARTNER « LEROY SOMER »

1) **Procédure d'expertise et essais de réception** : cette étape a pour but de définir les contrôles à effectuer et les paramètres à mesurer lors des essais de la machine, dès leur arrivée en atelier.

A. Inspection visuel :

- Pièces défectueuses ou manquantes.
- Etat des câbles (entrées, sorties du stator et celle d'excitatrice).
- Etat du pont diode tournant.
- Etat de la carte régulation (AVR).
- Traces d'échauffement.
- Etat du transformateur d'intensité.

B. Inspections électrique :

1. **Mesure d'isolation stator** : La mesure des résistance d'isolation du stator doit être prise entre une phase et la terre et entre les trois phases.



Figure III.36 Mesure de résistance d'isolation du stator.

2. **Mesure d'isolation de la roue polaire** : d'abord on doit déconnecter la roue polaire au niveau du pont de diodes tournant.

- La mesure doit être prise entre une extrémité du bobinage du rotor et la terre.

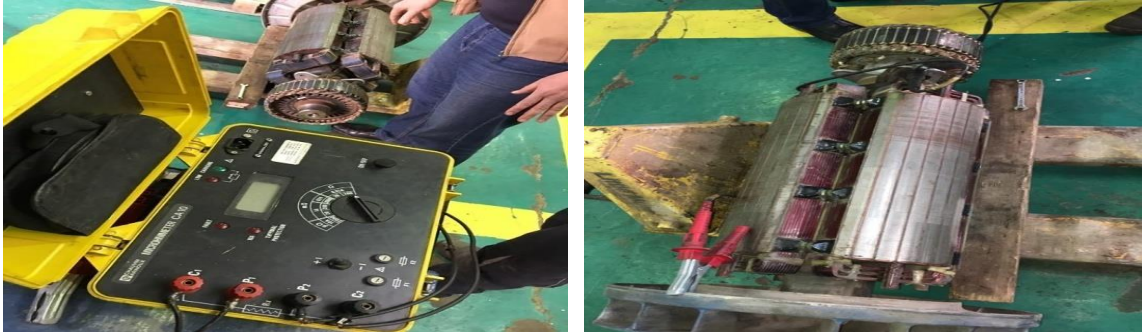


Figure III.37 Mesure d'isolation de la roue polaire.

- 3. Mesure d'isolation d'excitateur :** Pour mesurer la résistance d'isolation de l'inducteur d'excitateur il faut déconnecter les deux extrémités du bobinage au niveau du bornier situé sur le dessus de l'inducteur et pour la mesure d'isolation de l'induit d'excitateur déconnecter les trois extrémités du bobinage au niveau pont de diodes tournant, la mesure doit être faite entre une extrémité du bobinage et la masse.

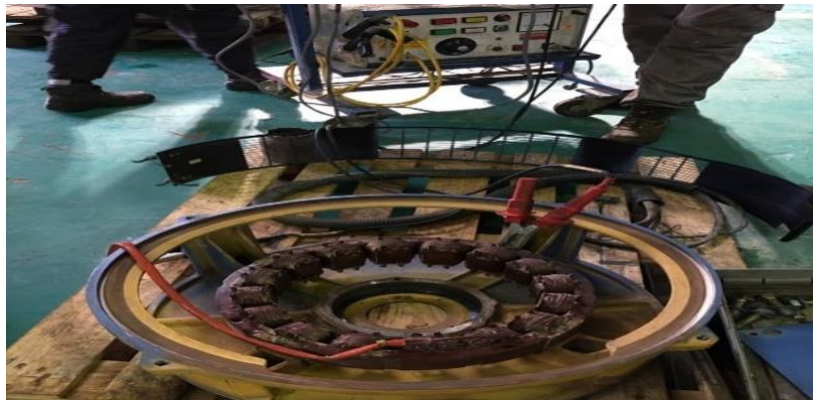


Figure III.38 Test globale masse pour l'excitateur.

- 4. Index de polarisation :** L'index de polarisation permet de vérifier l'état d'isolation de la machine et donne une indication de la pollution du bobinage.

5. **Essai du redresseur tournant** : On doit effectuer la vérification en utilisant une source de tension continue, il faut débrancher les diodes avant l'essai.
- Une diode en bon état doit permettre au courant de circuler uniquement dans le sens anode-cathode.



Figure III.39 Essai des diodes.

La tension d'essai :	500 V
Température d'essai :	27C°
R (globale masse) :	1,98 G ohm → Bon.
R (Ph1-Ph2) :	147.2 K ohm
R (Ph2-Ph3) :	154 K ohm → Mauvais.
R (Ph1-Ph3) :	113.8 K ohm
$I_p = \frac{R_{10mn}}{R_{1mn}} = \frac{0,8}{1,98}$:	0,40 → Mauvais.

Tab III.10 Mesure d'isolation stator.

Après les inspections électriques précédentes, on a trouvé les défauts possibles à partir des valeurs qu'on a obtenues :

Défauts :	Causes :
Échauffement du stator.	Canaux de ventilation fermés par le sable et l'huile.
Vibrations.	Rotor déséquilibré.
Faible résistance d'isolation.	La gaine des câbles défectueuse.
Déformation des bobines du circuit magnétique.	Court-circuit entre bobines

Tab III.11 Les défauts et les causes du l'alternateur.

2) **Démontage de l'alternateur** : Avant d'entamer au démontage, il est toujours avantageux de consulter le plan d'ensemble de la machine, de préparer l'outillage nécessaire et faire le repérage, des deux coté.

A. Accès aux diodes : On vérifie les six diodes à l'aide d'un ohmmètre, si les diodes sont mauvaises, il faut qu'on les remplace, après on retire la varistance et on démonte les six écrous de fixation des ponts de diodes sur le support (Figure III.40).



Figure III.40 Pont diodes de l'alternateur.

B. Accès aux connexions et au système de régulation : L'accès se fait directement après avoir enlevé la partie supérieure du capotage et la porte d'accès au régulateur (Figure III.41).

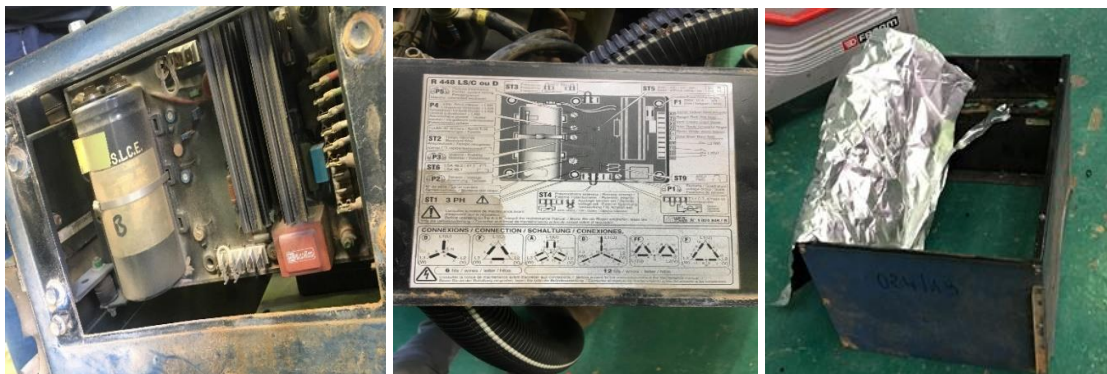


Figure III.41 Capotage et la porte d'accès au régulateur.

C. Démontage de l'ensemble :

- Démontage des chapeaux extérieurs et les flasques (coté accouplement et côté opposé).



Figure III.42 Flasque et chapeau extérieur.

- Démontage et les paliers (coté excitatrice et coté accouplement).



Figure III.43 Paliers coté accouplement et coté excitatrice.

- Démontage des ventilateurs de refroidissement.
- Extraction des roulements avec une arrache-moyeu coté accouplement et côté opposé avec les deux joints et la rondelle de précharge.



Figure III.44 Extraction du roulement.

- Démontage de l'excitatrice au bout d'arbre et le dépôt de l'inducteur.
- Démontage du pont diode tournantes et l'extraction de l'induit de l'excitatrice.

- Dépôt du rotor de l'alternateur : cette opération consiste à la sortie du rotor hors le stator par l'utilisation des rallonges d'arbre dont une forme cylindrique afin de ne pas endommager les portée d'arbre, après la mise en place des rallonges, l'ensemble du rotor est soulevé légèrement à l'aide d'un palan et un chariot élévateur, de façon que le rotor ne répare plus dans l'alésage du stator.



Figure III.45 Extraction de la roue polaire du stator.

- Extraction du bobinage su stator.
 - Pour éviter la disposition des pièces démontées pendent l'attente des remontages, il est conseillé de les disposer sur des étagères ou dans un endroit isolé.
 - **Constatations général après démontage de l'alternateur :** On procède par la vérification de toutes les pièces de l'alternateur :
 - La présence de l'humidité, l'huile, la graisse, la poussière ou les traces de carbone sur les enroulements à l'intérieur de l'alternateur.
 - Le vieillissement des isolants.
 - L'état des cales des encoches sur le stator de l'alternateur.
 - L'état d'usure des coussinets des paliers.

3) Réparation de l'alternateur : La présente procédure a pour but de définir l'ensemble des opérations adaptées pour l'élimination des défauts :

A. Nettoyage stator, rotor, excitatrice et pont de diodes : Le nettoyage est nécessaire pour remettre l'alternateur à ces conditions favorables de fonctionnement, il faut que les enroulements et les pièces soient aussi propres et sèches que possible, à l'intérieur comme à l'extérieur. [4]

- Nettoyage et lubrification du logement du roulement.
- Nettoyage de l'excitatrice.

- Nettoyage des pièces mécanique constructives de l'alternateur par le lavage à pression De l'eau chaud sous pression.



Figure III.46 Nettoyage de l'alternateur de la poussière.

B. Le rebobinage de l'alternateur : Cette procédure présente les opérations de rebobinage du circuit magnétique du stator.

B.1 Matériel de bobinage :

- Four de débobinage : pour bruler l'ancien bobinage.



Figure III.47 Four de débobinage.

- Machine cisaille pour isolant : pour couper le papier isolant.
- Tour à bobiner automatique : pour former les bobines.
- Cuve d'imprégnation par arrosage : pour vernir le bobinage.



Figure III.48 Cuve d'imprégnation par arrosage.

- Etuve atmosphérique : pour le séchage du stator.



Figure III.49 Four d'étuvage.

B.2 Mode opératoire :

Lorsqu'une machine doit être rebobinée, le nouvel enroulement doit être impérativement, identique au précédent, c'est-à-dire qu'à partir du premier enroulement qu'on détermine le second.

1. Relevé de l'ancien bobinage : Il est indispensable de relever, avant le débobinage, tous les indications utiles de l'ancien bobinage, telle que :

- **Caractéristique de la machine :** la plaque signalétique fournit toutes les indications nécessaires (Pas de bobinage, numéro de fabrication, tension, intensité de fonctionnement, vitesse de rotation ...).
- On compte le nombre d'encoches et on mesure également les dimensions du circuit magnétique (le diamètre du rotor, l'alésage du stator ainsi que la longueur du fer et les dimensions de l'encoche).
- **Type et données d'ancien bobinage :** On note sur l'ancien bobinage :
 - A un faisceau ou à deux.
 - Imbriqué ou ondulé.
 - Le nombre de section par bobine.
 - Les formes et dimensions exactes de ces dernier s'elles sont préfabriquées, ces données facilitent le calcul des dimensions du gabarit.
 - On relève également le pas sur le fer, en comptant la première et la dernière encoche recevant les faisceaux de la bobine.
 - Le remontage des faisceaux après la réparation ne sera possible que si l'encombrement des bobines le permet, on mesure donc la distance maximale entre les têtes de bobines et le circuit magnétique.

- On relève la nature de frettage et d'enrubannage, ainsi que la nature des cales et si possible, du vernis d'imprégnation.
- **Connexions des bobines :** Les liaisons entre les bobines doivent être repérées et relevées avec exactitude par une représentation schématique sur la fiche de bobinage, tout en mentionnant le nombre de branches parallèles des groupes de bobines, l'écart électrique entre les phases et le type de couplage adopté.

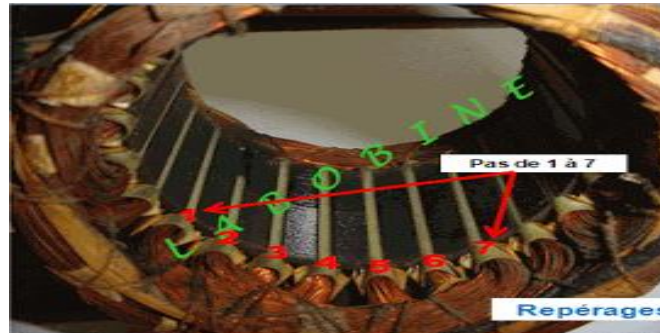


Figure III.50 Repérage et relevé du pas. [17]

- **Nombre de spires et diamètre du conducteur :** pour effectuer ces relevés, il est nécessaire de récupérer soigneusement un tête de bobine afin de pouvoir compter aisément le nombre des conducteurs par faisceau, et le diamètre du fil, il doit être mesurer avec précision en employant un palmer, l'échantillon à mesurer doit être redressé et son isolant gratté en prenant la précaution de ne pas attaquer le métal, pour éviter l'erreur en effectuant deux relevés, puis en vérifier la concordance des deux mesures.
 - Nombre du conducteur par bobine : 2
 - Diamètre du conducteur : 0,7 mm
 - Nombre des spires par bobine : 39 spires
 - Poids de cuivre : 2,8 Kg
 - Nombre des bobines par phase : 6
- **L'isolation employée :** il est utile de connaître, si possible, les caractéristiques de l'ancienne isolation, généralement le matériau d'isolation utilisés dans les machines est « Ruban mica ».

- 2. Vérification des paramètres de fonctionnement de la machine :** Le contrôle des paramètres permet de vérification des deux grandeurs importantes :
- L'induction du fer est de 3 à 10 A/mm² pour la densité,
 - La densité du courant dans les conducteurs selon la puissance mentionnée dans la plaque signalétique.
- 3. L'établissement du schéma de bobinage :** L'établissement du schéma de bobinage permet de déterminer le coefficient de remplissage de l'encoche, le coefficient de bobinage, le nombre d'encoche par pôle et pas d'entrée, la section du conducteur, la section du cuivre, la densité du courant et le coefficient de surcharge, le même calcul permet aussi de déterminer : la spire moyenne, le poids du cuivre, les pertes joules et la résistance d'une phase.
- 4. Essai de stator :** Si l'état du circuit magnétique est douteux, afin de déterminer si la tôle comporte des points chauds, on applique un choc par onde avec un testeur BAKER à 4 kV.



Figure III.51 Essai de stator.

- 5. Isolation du fer avant la mise en place du bobinage :** Il est recommandé de recouvrir toutes les masses magnétiques qui pourraient être en contact avec les conducteurs et de renforcer l'isolation utilisé qui doit protéger les conducteurs, non seulement dans l'encoche, mais à leurs sorties aussi sur une longueur de 5 à 10 mm



Figure III.52 L'isolation du fer du stator.

6. Préparation des bobines : Le bobinage s'exécute avec des sections gabariées dont on égrène les conducteurs dans les encoches, les bobines sont enroulées, à l'aide d'un tour automatique sur un gabarit, afin que toutes les sections d'une même bobine sont réalisées en même temps, la mise en place est facilitée en contractant les bobines pour approcher de la forme finale des développantes.



Figure III.53 L'emplacement du bobinage dans le stator. [17]

Après la construction des bobines et l'insertion dans les encoches on procède à des autres opérations :

C. Remplacement des roulements : le remplacement et le graissage des nouveaux roulements des deux cotées (accouplement et côté opposé).

D. Renforcement d'isolation des câbles de sortie avec des nouveaux gains.

E. Contrôle d'équilibrage et excentricité du rotor : L'équilibrage du rotor se fait par l'égalité des répartitions de la masse du rotor par rapport à son axe de rotation avec des masselottes.



Figure III.54 Appareille d'équilibrage.

4) Remontage de l'ensemble :

Le remontage de l'alternateur doit être suivant l'ordre inverse des opérations de démontage, tout en respectant le repérage préétabli.

- Installation de joint torique et la rondelle de précharge dans le logement du palier, montage et fixation de flasque arrière, montage de rotor dans le stator, remontage des plaques d'accès, remontage et fixation de flasque avant, fixation de chapeau intérieur, remontage et fixation de capot de la turbine, remontage de la turbine, remontage de la grille d'entrée d'air et enfin, branchement de l'inducteur et fermer la boîte à bornes.

5) Procédures d'essai en fin de réparation : La présente procédure a pour but définir les contrôles à effectuer et les valeurs à mesurer lors des essais de l'alternateur, en plate-forme (banc d'essai) après leur remise en état favorable.

1. Essais de l'alternateur :

- Contrôle visuel (contrôler le positionnement des borniers, le couplage des câbles, le serrage des vis...).
- Vérification du schéma de branchement (borne et connexions) ce dernier doit être conforme et identique à celui relevé et repéré pendant l'essai de réception.
- Contrôle de la résistance ohmique des enroulements du stator, roue polaire et d'excitatrice.
- Contrôle de la résistance d'isolation (global masse) des bobinages statorique, la roue polaire, l'excitatrice par rapport à la masse.
- Essai de rigidité di électrique.
- Essai de champs et connexions par l'alimentation de l'enroulement statorique à son courant nominale, avec stator sans rotor, afin de vérifier la présence des champs tournant.
- Contrôle des niveaux vibratoires, essai en charge de l'alternateur à 25%, 50%, 75% dans la mesure possible à 100% de la charge maximale (charge résistive).
- On contrôle de la régulation pendant le chargement de l'alternateur, la tension d'excitation à la sortie du régulateur doit être proportionnelle à la tension de sortie de l'alternateur, dans le cas contraire on peut conclure que la carte de régulation présente des signes de défectuosité.

U essai=500V		R (globale masse)	R(Ohmique)	Index de polarisation	DAR
Température : 21°C					
Stator		42 G ohm	R (Ph1-Ph2): 10,80 m ohm R (Ph2-Ph3): 10,90 m ohm R (Ph1-Ph3): 10, 83 m ohm	4,12	1,81
Rotor		78,7 G ohm	R = 2,53 ohm	3,56	1,79
Excitatrice	Inducteur	141 G ohm	R= 7,14 ohm	2,17	1,34
	Induit	107 G ohm	R(Ph1-Ph2) : 188,2 m ohm R(Ph2-Ph3) : 188,4 m ohm R(Ph1-Ph3) : 188,33 m ohm	2,04	1,36

Tab III.12 Les mesures d'essais de l'alternateur.

- **Essai de champ** : I=200A, U= 20,5V
- Essai de démarrage à vide concluant U=400V
- Essai de démarrage en charge concluant I=370 A, F= 50 Hz.



Figure III.55 Source de tension variable sinusoïdale de 50 Hz.

Commentaire : l'alternateur est bon pour l'exploitation.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous avons fait procéder à une étude théorique sur les machines électriques exploitées dans les unités industrielles, selon leurs classifications, constitutions, principes de fonctionnement, pilotages, protections et maintenances.

Au deuxième partie, nous avons procédé à l'étude pratique faite dans l'unité de production des câbles BT, MT « ENICAB », cette étude m'a apporté plus de lumière sur les étapes de production des câbles et surtout les techniques de commande, réglage de vitesse des lignes de production à travers des machines asynchrone « SIEMENS » de 2,7 kW et des machines à courant continue « ABB » de 15,7 kW ainsi que la protection de ces équipements électriques afin de conclure la valeur de développement de ses techniques qui augmentent la productivité et diminue tous genres de pertes ou défection.

Au troisième partie, nous avons effectué une étude pratique sur les types et les processus de maintenance des machines électriques au niveau de la direction de maintenance « SONATRACH », cette étude m'a apporté de l'opportunité de découvrir les différentes procédures de la maintenance préventive d'un moteurs asynchrone triphasés « WEG » de 37 kW et de la maintenance corrective d'un alternateur « LEROY SOMER » de 550 kVA, afin de conclure la grande importance de la maintenance dans l'industrie :

- Améliorer le rendement, la performance et la durée de vie des équipements électriques par le respect des conditions d'entretien.
- La protection des équipements d'une façon professionnelle.
- Assurer la continuité de production de l'entreprise sans interruptions.
- La minimisation des coûts.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Cahier technique n° 207 SHNEIDER ELECTRIC.*
- [2] JEAN BONAL, *Entraînements électrique à vitesse variable, SHNEIDER tec et doc (la voisier) 1982.*
- [3] *Commande des machines électrique, (cours), Université Abderrahmane Mira Bejaia.*
- [4] *Commande électrique des machines, (cours), Institut supérieure des études technologique SFAX, Tunisie.*
- [5] *Simulation et maintenance des systèmes de démarrages d'un moteur asynchrone, Mémoire fin d'étude, Université Abderrahmane Mira Bejaia.*
- [6] <https://fr.scribd.com/doc/190630349/Demarrage-Freinage-Protection-Des-Moteurs-Electriques>.
- [7] <https://fr.scribd.com/doc/43599527/Demarrage-et-protection-des-moteurs-electriques>.
- [8] DR. ZOUZOU, *Introduction à la maintenance industrielle, (cours), Université Mohamed Khider Biskra.*
- [9] *Document de Tests de résistance d'isolement, Fluke, SUISSE.*
- [10] M. SAHRAOUI, S. E. ZOUZOU, A. MENACER, A. ABOUBOU ET A. DERGHAL, *Diagnostic des défauts dans la machine asynchrone, Courrier du Savoir – N°05, Université Mohamed KHIDER, Biskra, Juin 2004*
- [11] *Document de Présentation ENICAB, Université Mohamed Khider, Biskra 28 Avril 2013.*
- [12] Y. JAFFREZOU, *Catalogue moteurs à courant continue ABB industrie, Persan, France.*
- [13] *Catalogue Variateur SINAMICS V20, Instructions de service, 02/2013.*
- [14] <https://prezi.com/jzcnc354jfcz/processus-de-fabrication-dun-cable-electrique/>
- [15] *Ressources formatives – Electricien de Maintenance des Systèmes Automatisés, Toulouse France, 28/04/2009.*
- [16] *Document technique, Installation et maintenance LEROY-SOMER Alternateur LSA 46.1 / 47.1 AREP. 4 Pôles.*
- [17] <https://sites.google.com/site/lerebobineur/home>