



**ANALYSE ET AMELIORATION DU FONCTIONNEMENT
DES ALTERNATEURS 12.5 MW LEROY SOMER DE LA
CENTRALE THERMIQUE DE KOMSILGA: CAS DU GROUPE 3**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER D'INGENIERIE EN EAU ET ENVIRONNEMENT
SPECIALITE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 02 juillet 2019 par

Boampoundi Madina OUALI [2013 1112]

Encadrant 2iE : Ingénieur Justin BASSOLE

Maître de stage : Daouda MAIGA, chef de la division Maintenance électrique de la centrale thermique de Komsilga

Structure d'accueil du stage : SONABEL

Jury d'évaluation du stage :

Président : Ing. Moussa KADRI

Membres et correcteurs : Ing. Justin BASSOLE
Ing. Ahmed ZONGO

Promotion [2018/2019]



Je dédie ce travail à ma famille

REMERCIEMENTS

J'adresse ma reconnaissance à :

- L'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE) pour la qualité de la formation qui nous a été donnée,
- Monsieur Justin BASSOLE, enseignant au département GEE de 2iE, pour son encadrement durant toute la période de stage,
- Au personnel de la Centrale thermique de Komsilga, pour l'accueil sur le site de production,
- Monsieur Maïga DAOUDA, chef de la division maintenance électrique de la Centrale thermique de Komsilga pour son soutien dans l'évolution des travaux durant toute la période du stage,
- Monsieur Thérie TONTEPAMBO, chef de section de la division maintenance électrique pour ses conseils et directives,
- Monsieur Nacro BELI chef de section de la division maintenance électrique pour ses conseils et partages enrichissants d'expérience,
- Monsieur Malgaré Adama SAWADOGO chef de section de la division maintenance électrique pour ses conseils et partages enrichissants d'expérience,
- Monsieur Pankayi Jean Marc BOMBIRI, électricien de centrale pour ses conseils et ses orientations,
- Monsieur Tidiane DIALLO, électricien de centrale pour ses conseils et ses orientations,
- Monsieur Noël OUEDRAOGO, électricien de centrale pour ses conseils et ses orientations
- Monsieur Jean Paul CREUX Co-directeur technique en électricité de l'entreprise Eliteam pour ses conseils et partages enrichissants d'expérience,
- Monsieur Tankoano S. Mathias, président du conseil supérieur de la communication pour son soutien multiforme
- Tous ceux, qui de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce document.

RESUME

Ce mémoire traite le sujet suivant : « **Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3** ».

Afin de réaliser cette étude, nous avons, dans un premier temps, analysé la panne en effectuant des mesures d'isollements et des mesures de résistances ohmiques. Il en ressort que l'une des bornes des enroulements auxiliaires est à la masse et que les deux enroulements sont coupés.

Pour déceler les causes de la défaillance des enroulements auxiliaires, nous avons émis différentes hypothèses pouvant conduire à ce type de panne avant de les vérifier une par une. Nous en avons déduit que la panne est arrivée suite à un défaut d'isolement et à des vibrations importantes durant le fonctionnement de l'alternateur.

Comme solution curative, nous proposons un système de sous-tirage en utilisant un transformateur en remplacement des enroulements auxiliaires. Le système de sous-tirage consistera à connecter le primaire du transformateur de potentiel aux bornes de la sortie de l'alternateur afin d'abaisser cette tension de sortie pour l'alimentation du régulateur (fonction qui était assurée par les enroulements auxiliaires). Le budget estimé pour la réalisation de cette opération est d'environ **300 000 FCFA**.

Comme solution préventive, nous préconisons un entretien régulier du bobinage en renforçant périodiquement l'isolation par un vernissage et un calage dans les règles de l'art. Nous recommandons également un système de filtration d'air alternateur afin de le protéger contre les particules poussiéreuses.

Mots clés :

-
- 1 - Alternateur**
 - 2 - Défaillance**
 - 3 - Enroulement**
 - 4 - Excitation**
 - 5 – Protection**

ABSTRACT

This brief addresses the following topic: "analysis and improvement of the operation of the 12.5 MW LEROY SOMER generators of the Komsilga thermal power plant: case of Group 3".

In order to carry out this study, we initially analyzed the breakdown by carrying out measurements of insulation and measurements of ohmic resistors. It appears that one of the terminals of the auxiliary windings is ground and the two windings are cut.

To detect the causes of the failure of the auxiliary windings, we have issued different assumptions that could lead to this type of failure before checking them one by one. We infer that the breakdown occurred as a result of defective isolation and an out-of-standard vibration of the windings.

Thus, we suggested to implement a sub-draught system using a transformer to replace the auxiliary windings. The underprint system consists of connecting the primary of the potential transformer to the terminals of the alternator output in order to lower this output voltage for the regulator power supply (function that was ensured by the windings auxiliary). The estimated budget for the realization of this operation is **300 000 FCFA**.

As a preventive solution, we recommend regular maintenance of the winding by periodically reinforcing the insulation by a varnishing and a levelling in the rules of the art. We also recommend an air filter system to protect the alternator from dusty particles.

Key words:

-
- 1 - Generator**
 - 2 - Excitation**
 - 3 - Failure**
 - 4 - Protection**
 - 5 - Winding**

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AFD : Agence Française de Développement

AOF : Energie de l'Afrique Occidentale Française

ANSI : Institut Américaine de normalisation

BM : Banque Mondiale

BOAD : Banque Ouest Africaine de Développement

CCCE : Caisse Centrale de Coopération Economique

CFD : Caisse Française de Développement

Com : Communication

CRCO : Centre Régional de Consommation de Ouagadougou

DECS : Digital Excitation Control System

Dép : Département

DP : Direction de la Production

Env : Environnement

FED : Fond Européen de Développement

f.e.m e(t) : Force électromotrice

GEE : Génie Électrique et Énergétique

Norm : Normalisation

PEPU : Projet d'Electrification des zones Péri-Urbaines

PERREL : Projet d'Extension et de Renforcement des Réseaux Electriques

PI : Index de Polarisation

SAFELEC : Société Africaine d'Electricité

SNE : Société Nationale des Eaux

SONABEL : Société Nationale d'Electricité du Burkina

Sommaire

ABSTRACT.....	iv
<i>Sommaire.....</i>	<i>1</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>3</i>
<i>Introduction.....</i>	<i>5</i>
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL (SONABEL).....	7
<i>I. Historique de la sonabel</i>	<i>7</i>
<i>II. Missions et attributions.....</i>	<i>8</i>
<i>III. Organigramme de la sonabel.....</i>	<i>8</i>
<i>IV. Presentation de la centrale thermique de production ouaga - sud (komsilga).....</i>	<i>9</i>
CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES ALTERNATEURS.....	14
<i>I. Principe de fonctionnement.....</i>	<i>15</i>
<i>II. Constitution technologique de l'alternateur</i>	<i>16</i>
<i>III. Mode d'entretien des alternateurs leroy somer.....</i>	<i>20</i>
<i>IV. Le mode de couplage d'un alternateur</i>	<i>21</i>
<i>V. Conséquences dues au non-respect des consignes de couplage.....</i>	<i>22</i>
<i>VI. Défaut pouvant survenir sur l'alternateur et conséquences</i>	<i>23</i>
<i>VII. Protections des alternateurs</i>	<i>24</i>
<u>Conclusion.....</u>	25
CHAPITRE III : ANALYSE DE LA PANNE DU GROUPE 3 ET DETECTION DES CAUSES DE LA DEFAILLANCE DU GROUPE	27
<i>I. Analyse de la panne</i>	<i>28</i>
<i>II. Analyse des causes de la panne</i>	<i>33</i>
<i>III. Proposition de solutions.....</i>	<i>43</i>

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

<u>Conclusion</u>	49
Conclusion Générale	50
IV. Bibliographie	51
V. Annexes	52
Annexe I : Rapport d'exploitation du réseau national du Burkina Faso.....	53
Annexe II : Dispositifs de protection des alternateurs.....	57
Annexe III : Branchement de la boîte à borne du groupe 3.....	59
Annexe IV : Rapport de maintenance du groupe 3	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Valeurs de température en °C pour l'entretien de 30 000h de l'alternateur du groupe 3 [1]	20
Tableau II: Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du stator (l'induit) de l'alternateur pour l'entretien de 30 000h [1].....	21
Tableau III: Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du rotor (l'inducteur) de l'alternateur pour l'entretien de 30 000h [1].....	21
Tableau IV: Historique des pannes survenues sur les alternateurs de la centrale thermique de Komsilga.....	24
Tableau V: Inventaires des dispositifs de protections des alternateurs de la deuxième tranche (SONABEL Komsilga) [11]	25
Tableau VI: Caractéristiques de l'alternateur du groupe 3	27
Tableau VII: Données enregistrées au niveau du superviseur le 31/01/2019	28
Tableau VIII: Valeurs enregistrées à la sortie du transformateur 11KV/33KV le 31/01/2019	29
Tableau IX: Inventaire des mesures des résistances d'isolement [1]	31
Tableau X: Inventaire des mesures des résistances ohmiques [1]	32
Tableau XI: Tableau représentatif des causes susceptibles de la défaillance.....	33
Tableau XII: Rapport d'exploitation du réseau national.....	35
Tableau XIII: Liste des évènements ayant eu lieu autour de 20h20 sur le réseau national à la date du 31/01/2019.....	36
Tableau XIV: Mesures des résistances d'isolement des enroulements auxiliaires par rapport aux enroulements statoriques	40
Tableau XV: Estimation budgétaire de la réparation avec enroulements auxiliaires selon Eliteam	44
Tableau XVI: Estimation budgétaire de la réparation avec transformateur.....	46
Tableau XVII: Avantages et inconvénients de l'utilisation du système d'excitation avec transformateur et ceux avec enroulement auxiliaires.....	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la SONABEL	9
Figure 2: Vue des groupes Caterpillar	11
Figure 3: Organigramme de la centrale de Komsilga	12
Figure 4: Vue de profil et vue de face de l'alternateur LEROY SOMER	14
Figure 5: Phénomène d'induction magnétique 1[6]	15
Figure 6: Vue du stator [13].....	16
Figure 7: Vue du rotor [4].....	17
Figure 8: Système d'excitation à excitatrice statique [12].....	18
Figure 9: Système d'excitation à excitatrice mobile [10].....	18
Figure 10: Courbe représentative de la tension-intensité-fréquence enregistrée lors du déclenchement.....	29
Figure 11: Mégohmmètre CHAVIN ARNOUX C.A 6545.....	30
Figure 12: Figure illustrative du mode opératoire de la prise de mesure des résistances d'isolement de la borne 17 par rapport à la masse.....	31
Figure 13: Schéma de principe de l'excitation des alternateurs LEROY SOMER	37
Figure 14: Schéma illustratif du calage défaillant.....	41
Figure 15: Décharges électrique constaté au niveau des enroulements satoriques	42
Figure 16: figure montrant l'état de salissure des enroulements	43
Figure 17: Schéma de principe de l'excitation par sous-tirage.....	45
Figure 18: Transformateur de potentiel triphasé 2000 VA	46
Figure 19: Schéma illustratif de l'isolement d'une bobine [5].....	48
Figure 20: Schéma représentatif du mode calage [7].....	49

INTRODUCTION

La centrale de Komsilga, qui est située à Ouagadougou et qui fait l'objet de notre étude, a une puissance installée de 90 MW et est considérée comme étant la plus récente (construite 2012) et comme étant celle possédant la plus grande puissance. Elle comprend sept groupes qui sont subdivisés en trois tranches : la tranche 1 composée du premier groupe d'une puissance de 18 MW, la tranche 2 composée des groupes 2, 3 et 4 d'une puissance de 12,5 MW chacun, et la tranche 3 composée des groupes 5, 6 et 7, produisant 12,5 MW chacun. Au cours de leur exploitation, des pannes prématurées ont été enregistrées sur cinq groupes de marque CATERPILLAR. Certaines de ses pannes se situent au niveau des alternateurs d'où l'importance **d'analyser et d'améliorer le fonctionnement des alternateurs 12.5 MW de la centrale thermique de Komsilga.**

L'incident le plus récent est arrivé sur le groupe 3, survenu le 31/01/2019. L'objectif général de notre étude est donc d'analyser les causes de la panne du groupe 3 et de proposer des solutions curatives spécifiques à cette panne mais aussi des solutions préventives applicables à tous les alternateurs de marque LEROY SOMER.

Les objectifs spécifiques sont : l'analyse la panne, l'analyse des causes de la défaillance du groupe 3, et la recherche de solutions appropriées pour une meilleure protection du groupe après sa remise en service.

Les résultats attendus sont que les causes du dysfonctionnement du groupe 3 sont analysées et expliquées et des solutions sont proposées.

Afin de d'atteindre nos objectifs nous suivrons la méthodologie suivante :

- **La collecte des données :**

La collecte de données consiste à recueillir toutes les informations sur le groupe 3 telles que : le mode de fonctionnement, le mode d'exploitation, les paramètres d'exploitation avant et après la panne.

- **L'Analyse des données :**

C'est une opération qui consiste à rechercher, dans les moindres détails, des indices pouvant nous conduire à la cause de l'incident.

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

- **Le Traitement des données**

A partir de l'analyse des données, un traitement est effectué en utilisant des méthodes techniques afin de détecter exactement l'élément défaillant.

- **Détermination des causes de la panne**

Après avoir détecté la panne, plusieurs hypothèses sur les causes sont émises afin d'évaluer la probabilité que ces dernières soient vérifiées exactes ou pas. Pour se faire, plusieurs techniques qui permettront de confirmer ou infirmer le long du processus de travail seront utilisées.

- **Proposition de solutions curatives et préventives**

Les causes de la panne ayant été détectées, des solutions sont proposées afin d'améliorer le mode de fonctionnement des alternateurs LEROY SOMER.

Ce document sera structuré de la manière suivante :

- ❖ Le chapitre 1, portera sur la présentation de la structure d'accueil,
- ❖ Dans chapitre 2, nous aborderons quelques généralités sur les alternateurs,
- ❖ Au chapitre 3, nous étudierons les différentes causes probables de la défaillance du groupe 3 avant de proposer des solutions qui permettront d'améliorer les conditions de fonctionnement des unités de production de marque **LEROY SOMER**.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL (SONABEL)

I. HISTORIQUE DE LA SONABEL

La Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) est devenue une société d'Etat depuis le 14 avril 1995. Son capital qui était de quarante-six (46) milliards de francs CFA est passé à soixante-trois milliards trois cent huit millions deux cent soixante-dix mille (63 308 270 000) francs CFA depuis le 15 juillet 2013. Elle a son siège social à Ouagadougou, au 55 Avenue de la Nation.

La société a connu de nombreuses mutations, tant au niveau de son capital que de sa dénomination. Elle a en effet évolué de 1954 à 1984 en passant du nom d'Energie de l'Afrique Occidentale Française (AOF), à la SONABEL qui sera ensuite décrétée société d'Etat en avril 1995.

En 2000, le gouvernement du Burkina Faso a adopté un document intitulé "Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Energie". Ce document se veut un outil de référence dans la conduite des réformes dans le secteur de l'énergie. Il présente la situation du secteur de l'énergie et explique la stratégie adoptée.

Le rapport d'activité de la SONABEL pour l'année 2018 fait ressortir les projets suivants :

- La mise en service effective de la ligne d'interconnexion Ghana-Burkina ;
- La pleine exploitation de la centrale solaire photovoltaïque 33.7 MW de Zagtouli ;
- La poursuite des travaux de renforcement de la centrale thermique de Kossodo avec une puissance de 50 MW ;
- Le démarrage des travaux de construction de la ligne 132 kV Zano-Koupèla ;
- Lancement des appels d'offres pour la construction de la centrale solaire de Koudougou (20MWc) et de celle de Kaya (10 MWc) ;
- La poursuite des travaux d'extension de réseaux dans le cadre de projet PEPU et PERREL ;
- Le lancement des appels d'offres des travaux dans le cadre du projet PERREL.

II. MISSIONS ET ATTRIBUTIONS

Les missions principales assignées à la SONABEL sont la production, la distribution, l'importation, l'exportation, et à titre de monopole, le transport de l'énergie électrique dans le pays. Elle œuvre à assurer la bonne qualité de service et la sécurité de ses clients.

Elle exerce aussi des activités de formation d'appui au profit du personnel technique.

Pour réaliser sa mission, les ressources financières de la SONABEL proviennent :

- ✓ Des financements contractés par l'état sous forme de prêt ;
- ✓ De sa capacité d'autofinancement ;
- ✓ Des financements extérieurs qui proviennent des bailleurs de fonds tels que le Fond Européen de Développement (FED), la Banque Mondiale (BM), la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD), la Caisse Française de Développement (CFD), etc.

III. ORGANIGRAMME DE LA SONABEL

La SONABEL est hiérarchisée de la manière suivante:

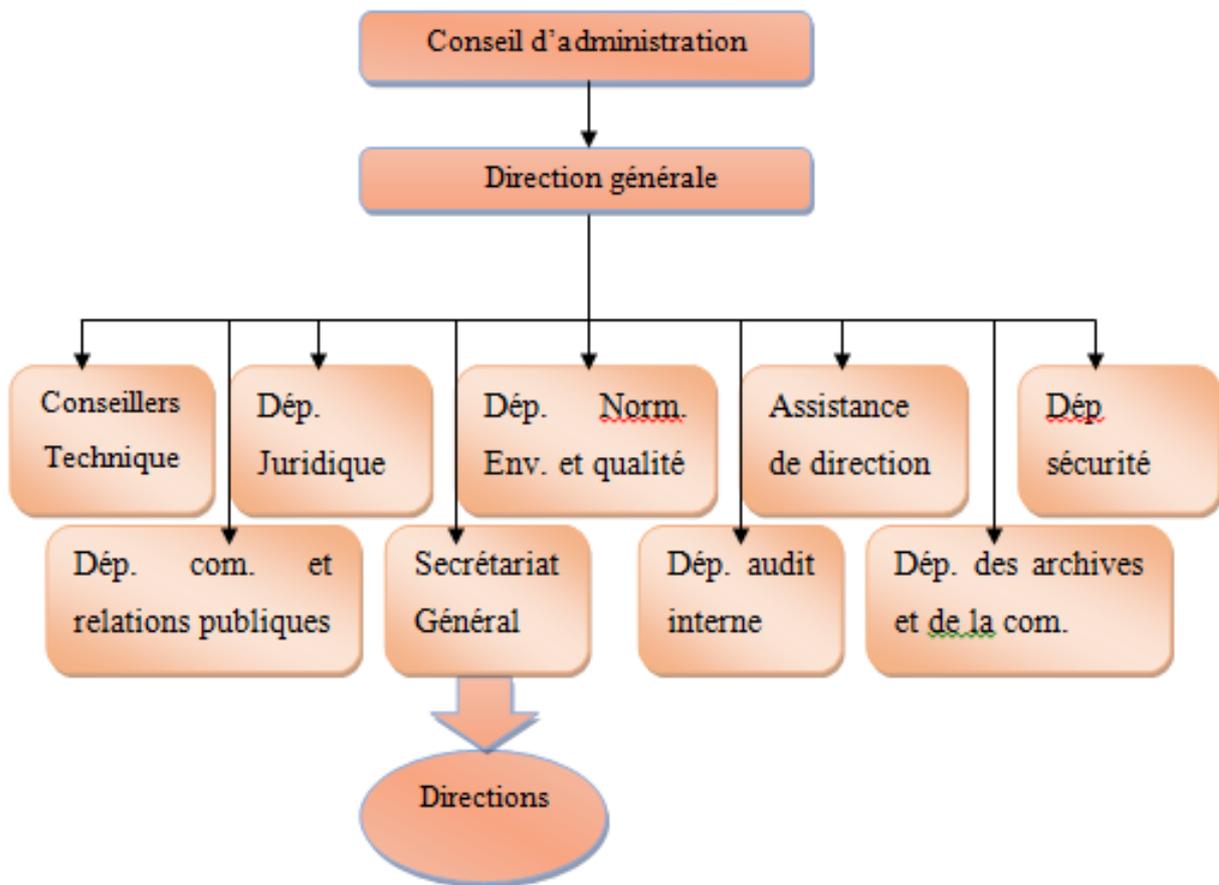


Figure 1: Organigramme de la SONABEL

IV. PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE DE PRODUCTION OUAGA - SUD (KOMSILGA)

Le Service de Production Thermique Ouaga-Sud a pour mission d'assurer l'exploitation et la maintenance de la centrale thermique de Komsilga. Ce service est rattaché au département production thermique qui relève de la Direction de la Production (DP). Il est situé dans la commune rurale de Komsilga et contribue à satisfaire à la demande en énergie électrique du Centre Régional de Consommation de Ouagadougou (CRCO).

La centrale thermique de Komsilga dispose actuellement de sept (07) unités de production d'énergie. Le groupe 1 est équipé d'un moteur de marque MAN et les six (06) autres groupes sont équipés de moteur de marque CATERPILLAR avec à leurs extrémités des alternateurs de marque LEROY SOMER. La puissance installée est de 93 MW et la

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

construction de la centrale s'est faite en trois (03) phases :

✓ Phase 1 : Début des travaux d'installation du groupe 1 en 2008, puissance installée 18 MW.

✓ Phase 2 : Début des travaux d'installation des groupes 2, 3, et 4 en 2011, puissance installée 37.5 MW.

✓ Phase 3 : Début des travaux d'installation des groupes 5, 6, et 7 en 2013, puissance installée 37.5 MW.

Les auxiliaires du groupe représentent l'ensemble des équipements utiles pour la mise en service et le bon fonctionnement des groupes électrogènes. Il s'agit entre autres de:

- Sept (07) modules Booster (dispositif de pompage et de permutation du DDO-fuel);
- Sept (07) modules de pompage d'eau ;
- Sept (07) séparateurs à huile ;
- Sept (07) systèmes de refroidissement composés d'aéro-réfrigérants, de ventilateurs d'induction d'air pour le refroidissement de la salle des machines et d'extracteurs ;

Les auxiliaires communs sont constitués de :

- Cinq (05) compresseurs 7 bars et quatre (04) compresseurs 30 bars ;
- Deux compresseurs 30 bars Diesel ;
- Deux modules de pré pressurisation ;
- Sept (07) séparateurs HFO ;
- Trois (03) séparateurs DDO ;
- Des pompes de transfert combustible ;
- Des cuves de stockage d'eau de maintenance et de combustible ;
- Des armoires électriques et de commandes ;
- Deux (02) groupes électrogènes de secours;
- Une aire de dépotage.

Une salle de commande centralise tous les paramètres de fonctionnement de ses unités de production d'énergie. Elle est équipée :

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

- D'armoires de contrôle-commande,
- D'armoires de protection CPP,
- Du pupitre de commande



Figure 2: Vue des groupes Caterpillar

Pour accomplir sa mission de production d'énergie, la centrale thermique ouaga-sud (Komsilga) est organisée comme suit:

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

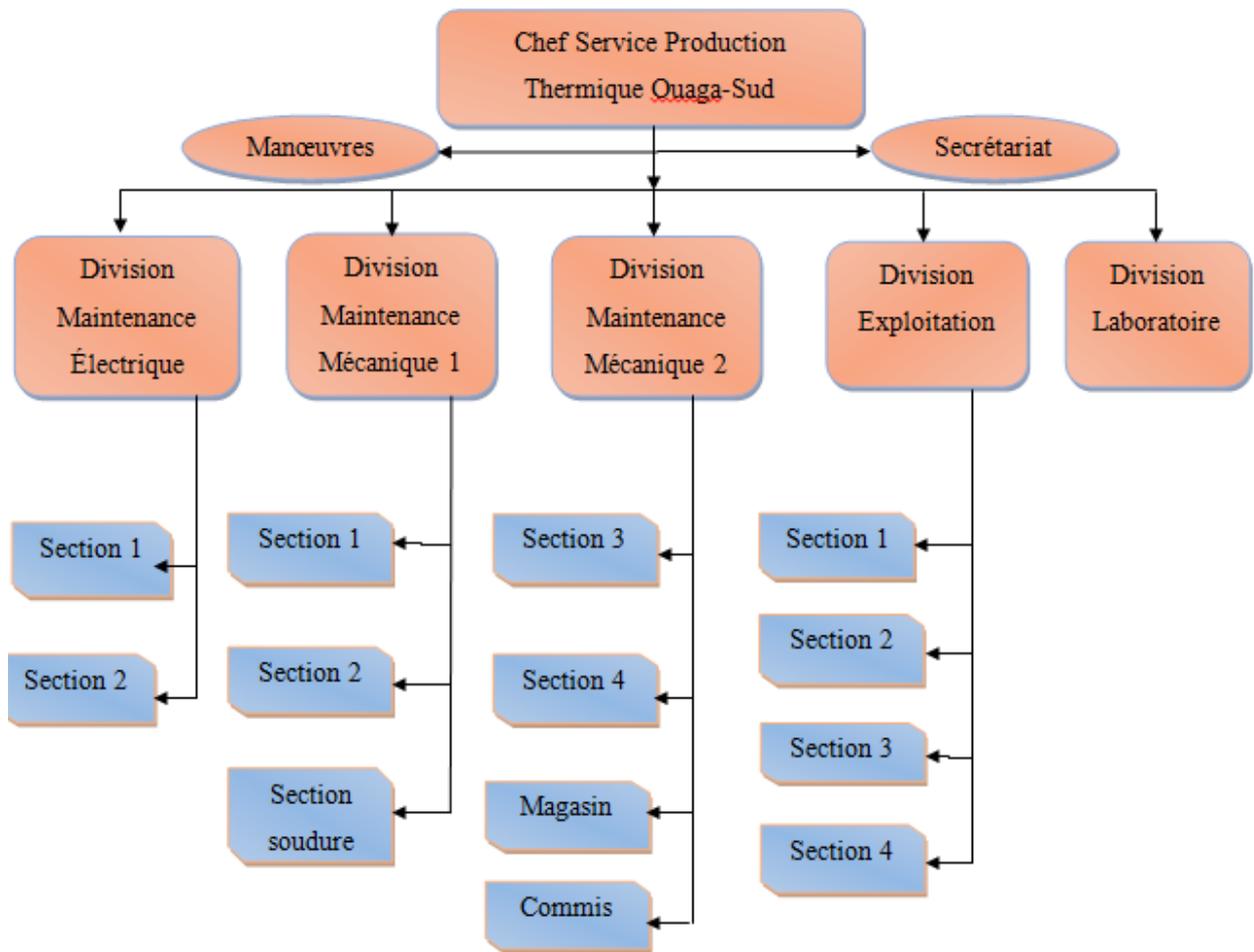


Figure 3: Organigramme de la centrale de Komsilga

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Conclusion

La SONABEL est une société étatique qui assure la production, le transport, l'importation, l'exportation et la distribution de l'énergie électrique au Burkina. La centrale thermique de Komsilga qui un démembrement de la SONABEL est rattachée à la direction de production et possède cinq (5) divisions : la division exploitation, la division laboratoire, la division maintenance électrique, la division maintenance mécanique 1 et la division maintenance mécanique 2. Toutes ses structures veillent sur le bon fonctionnement des sept (7) unités de productions de la centrale ainsi que de celui de leurs auxiliaires.

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES ALTERNATEURS

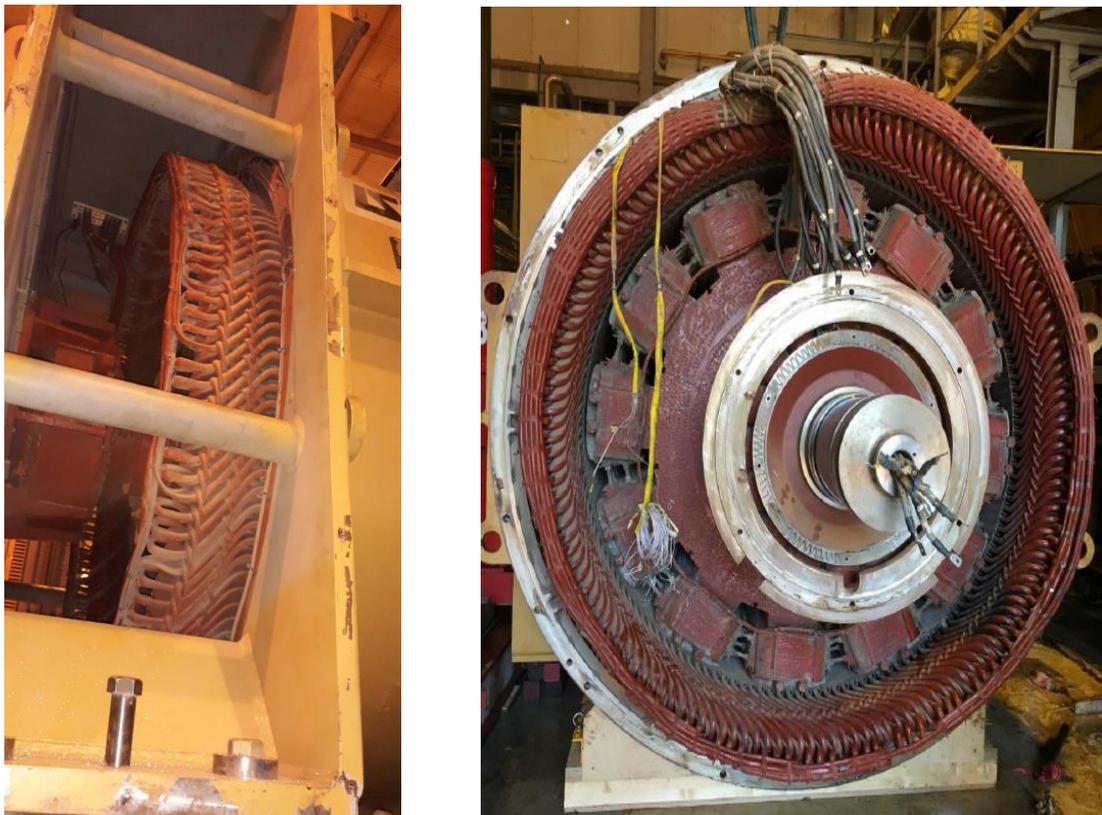


Figure 4: Vue de profil et vue de face de l'alternateur LEROY SOMER

Introduction

L'alternateur fait partie des machines tournantes pour la production d'énergie électrique et est composé d'un rotor, d'un stator, et d'une d'excitatrice.

Le rotor alternateur est accouplé mécaniquement au moteur qui l'entraîne à une vitesse qui dépend du type de moteur d'entraînement et de la fréquence du réseau auquel l'alternateur doit être connecté.

Le stator alternateur est par son enroulement électriquement relié au réseau au travers d'un transformateur de groupe assurant une isolation, couplé au le réseau à l'aide d'un disjoncteur et d'une colonne de synchronisation.

L'excitatrice comporte une partie puissance accouplée à l'arbre rotor alternateur qui est constitué de:

- Soit de deux bagues pour la transmission du courant d'excitation au moyen de balais en Carbone (excitation statique avec système porte balais PB).
- Soit d'un excitateur à diodes tournantes qui fournit un courant d'excitation redressé issue de l'enroulement induit des diodes qui constituent la partie tournante de l'excitatrice.[9]

I. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

I.1. Loi de faraday

Soit une bobine parcourue par un aimant polarisé. En déplaçant l'aimant à l'intérieur de la bobine on observe qu'un milliampèremètre branchée aux bornes de la bobine dévie : ce qui définit donc le siège d'un courant induit dans la bobine. [6]

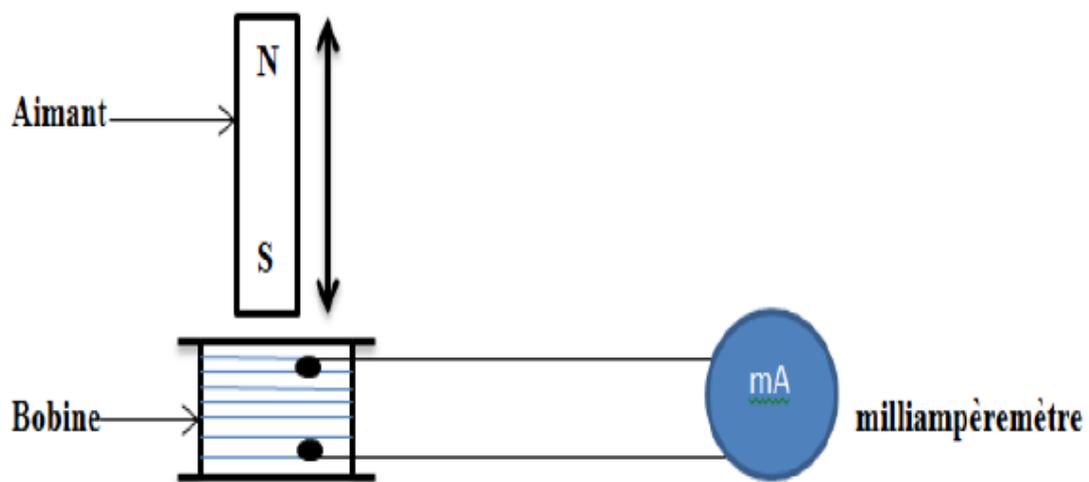


Figure 5: Phénomène d'induction magnétique 1[6]

I.2. Application à l'alternateur

L'alternateur exploite ce phénomène d'induction selon lequel un aimant en mouvement fait naître une tension aux bornes d'une bobine située à proximité.

Lors de la rotation d'un aimant dans un alternateur, on a successivement des

mouvements d'approche puis d'éloignement du pôle sud magnétique puis du pôle nord.

Cependant, le signe de la tension produite dépend du pôle magnétique (nord ou sud) présenté face à la bobine ainsi que du mouvement d'approche ou d'éloignement de l'aimant.

L'alternateur fournit donc une tension variable, alternativement positive ou négative.

À chaque alternance du signe de la tension, les bornes positives et négatives portées par la bobine permutent et produisent un courant électrique dont le sens s'inverse.[4]

II. CONSTITUTION TECHNOLOGIQUE DE L'ALTERNATEUR

Les alternateurs se composent principalement de trois parties : le stator, le rotor, et l'excitatrice.

II.1 LE STATOR

Comme son nom l'indique, le stator constitue la partie fixe ou statique, de l'alternateur. Il s'agit donc, le plus souvent de l'induit. Le stator se compose alors d'un noyau en tôle d'acier muni d'encoches destinées à recevoir les conducteurs formant les enroulements de l'induit. Les enroulements du stator sont divisés en trois enroulements distincts, disposés à 120° les uns des autres.[13]



Figure 6: Vue du stator [13]

II.2 LE ROTOR

Le rotor constitue l'élément mobile de l'alternateur. Il renferme les pièces polaires qui constituent l'inducteur de la machine. Il est aussi appelé « roue polaire ». On distingue deux types de rotors : les rotors à pôles saillants et les rotors à pôles lisses.

Des bobines d'excitation, fabriquées de fils ou de barres de cuivre, sont fixées directement sur les pièces polaires. Ces bobines sont reliées en série, de façon à créer des polarités contraires entre deux pôles voisins.



Figure 7: Vue du rotor [4]

II.3 L'EXCITATRICE (AVEC OU SANS BALAI).

On distingue deux types d'excitatrices :

- Excitatrice statique: pour les alternateurs utilisant ce système, le système d'excitation est placé hors de l'alternateur. Le système d'excitation est représenté par un transformateur qui fournit la tension (alternative) d'excitation. Cette tension est ensuite redressée par le

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

redresseur pour alimenter la génératrice asynchrone (roue polaire de l'alternateur) en passant par les bagues collectrices.[12]

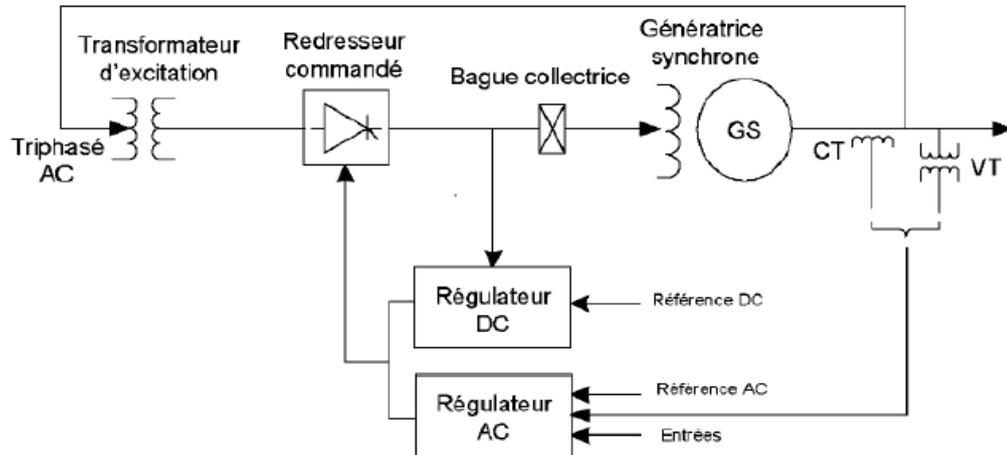


Figure 8: Système d'excitation à excitatrice statique [12]

➤ Excitatrice mobile (dynamique) : Le système d'excitation est monté du côté opposé à l'accouplement et est composé de deux ensembles : l'inducteur et l'induit. L'inducteur (stator excitatrice) reçoit le courant continu du régulateur de tension. L'induit (rotor excitatrice), quant à lui, génère un courant alternatif. A l'aide des diodes tournantes, ce courant est redressé (continu) et représentera le courant d'excitation de la roue polaire de l'alternateur.

En réglant le courant d'excitation de la génératrice, on règle le courant dans le stator de l'alternateur.

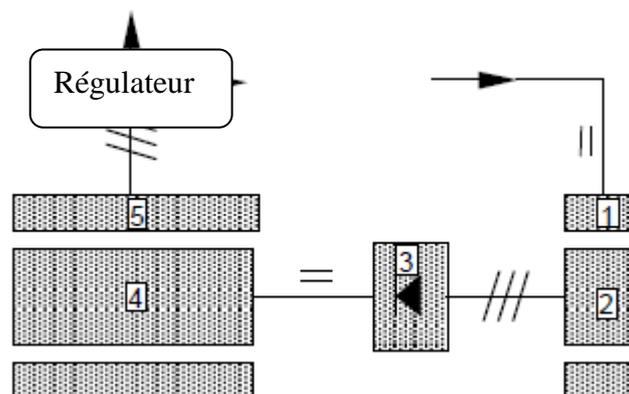


Figure 9: Système d'excitation à excitatrice mobile [10]

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

- 1- Inducteur d'excitatrice
- 2- Induit d'excitatrice
- 3- Pont à diodes tournantes
- 4- Roue polaire
- 5- Stator alternateur

II.3.1. Définition du système d'excitation

Le courant d'excitation des alternateurs est obtenu à partir de plusieurs éléments, tous formant le système d'excitation. Il comporte :

- ✓ Une source de puissance fournissant donc la puissance d'excitation,
- ✓ Un régulateur de tension qui commande la puissance de sortie de l'alternateur en régulant la tension d'excitation en fonction de la consigne.

II.3.2. Mode de fonctionnement du système d'excitation

La valeur de la tension induite dans un enroulement dépend de trois facteurs à savoir:

- ✓ La vitesse de rotation,
- ✓ L'intensité du champ magnétique,
- ✓ La longueur du conducteur placé dans le champ magnétique.

$$\mathbf{E=B*V*L} \tag{1}$$

Avec

E = force électromotrice (V)

B= champ magnétique (T)

V= vitesse de rotation (tr/min)

L= longueur du conducteur (m)

La longueur du conducteur étant fixe et la vitesse devant demeurer constante, alors, le facteur déterminant est l'intensité du champ magnétique.

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

L'intensité du champ magnétique dépend du courant d'excitation c'est-à-dire, qu'en faisant varier le courant d'excitation on peut faire varier la tension aux bornes de l'alternateur.

Pour l'alternateur LEROY SOMER, le système d'excitation est mobile et l'excitatrice à diodes tournantes [13]

III. MODE D'ENTRETIEN DES ALTERNATEURS LEROY SOMER

A partir du manuel fourni par le constructeur, des entretiens périodiques de 7500h des alternateurs LEROY SOMER sont effectués. Le schéma d'entretien se présente comme suit :

Tableau I: Valeurs de température en °C pour l'entretien de 30 000h de l'alternateur du groupe 3 [1]

Désignation	Fonction	Valeur de consigne	Valeur injectée	Valeur mesurée	Observation
Température palier côté accouplement	alarme	80	80,5	80,2	RAS
Température palier côté accouplement	Arrêt	85	85,5	85	RAS
Température palier côté libre	alarme	80	80,5	80,2	RAS
Température palier côté libre	Arrêt	85	85,5	85,3	RAS
Enroulement stator U	Alarme	130	130,5	130,1	RAS
	Arrêt	140	140,5	140,1	
Enroulement stator V	Alarme	130	130,5	130,1	RAS
	Arrêt	140	140,5	140,1	
Enroulement stator W	Alarme	130	130,5	130,1	RAS
	Arrêt	140	140,5	140,1	

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Tableau II: Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du stator (l'induit) de l'alternateur pour l'entretien de 30 000h [1]

	Résistance d'isolement à $t = 1 \text{ mn}$ ($G\Omega$)	Résistance d'isolement à $t = 10 \text{ mn}$ ($G\Omega$)	Index de polarisation	Valeur de référence de l'index de polarisation	Valeur de référence de la résistance d'isolement ($M\Omega$)
Enroulement U/Masse	5,22	27,32	5,23	>4	
Enroulement V/Masse	9,19	41,10	4,39		
Enroulement W/Masse	5,52	33,87	6,27		
Enroulement U/V	8,8				10
Enroulement U/W	8,91				
Enroulement V/W	9,34				

Tableau III: Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du rotor (l'inducteur) de l'alternateur pour l'entretien de 30 000h [1]

	Résistance d'isolement à $t = 1 \text{ mn}$ ($G\Omega$)	Résistance d'isolement à $t = 10 \text{ mn}$ ($G\Omega$)	Index de polarisation	Valeur de référence de l'index de polarisation
Enroulement1 /Masse	2,87	14,44	5,05	>4
Enroulement2 /Masse	3,07	15,05	4,88	

IV. LE MODE DE COUPLAGE D'UN ALTERNATEUR

En courant alternatif, les tensions et f.é.m. sont périodiques. La courbe de la f.é.m. $e(t)$ de l'alternateur à coupler doit se superposer à la courbe de la tension $u(t)$ entre les barres

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

desquelles sont déjà connectées les autres alternateurs. Or, pour que deux courbes sinusoïdales se superposent, il faut qu'elles aient:

- Un même ordre de succession des phases ;
- La même valeur maximale;
- La même fréquence;
- La même phase (un déphasage nul entre elles).

Les limites admissibles des écarts de tension, de fréquence, de synchronisme sont :

- tensions : + ou - 5%,
- fréquences : 0,1 à 0,5 Hz, et avant le couplage on choisit **$f_{alt} > f_{réseau}$** ,
- synchronisme ou phase : 5° max [3]

Si les conditions citées plus haut ne sont pas respectées, et, dans la limite des erreurs permises, des conséquences désastreuses s'en suivent.

V. CONSEQUENCES DUES AU NON-RESPECT DES CONSIGNES DE COUPLAGE

Le non-respect des consignes de couplage, peut entraîner des conséquences désastreuses.

V.1 CONSEQUENCES DUES A L'INEGALITE DES TENSIONS

Lorsque les vecteurs U (tension entre les barres) et E sont en phase mais inégaux, le courant dans l'alternateur (le courant représenté par la différence de ces deux vecteurs) sera entièrement réactif. Il ne produira aucun couple sur l'alternateur au moment du couplage, mais s'il est excessif, il pourra déterminer dans les enroulements de dangereuses forces électrodynamiques.[3]

V.2 CONSEQUENCES DUES A LA DIFFERENCE DE PHASES (ENTRE LA F.E.M. E DE L'ALTERNATEUR ET LA TENSION U ENTRE BARRES)

Elle donne lieu entre l'alternateur et les barres à un courant qui est surtout actif et qui correspond à un couple moteur ou résistant suivant que E est déphasé en arrière ou en avant de U . Si ce couple, qui se produit brusquement à la fermeture de l'interrupteur de couplage, est important (grand déphasage entre E et U), il peut déterminer une détérioration de l'accouplement entre le moteur et l'alternateur ou, plus grave, une rupture d'arbre.[3]

V.3 CONSEQUENCES DUES A LA DIFFERENCE DES FREQUENCES

Dans ce cas, la roue polaire parcourt un certain angle jusqu'à ce que sa vitesse soit exactement égale à la vitesse de synchronisme. Si l'alternateur tourne trop vite avant le couplage, il prendra rapidement de la charge, ce qui pourra provoquer, par décalage en arrière des roues polaires des autres alternateurs, la marche en moteur de certains d'entre eux et par conséquent, le fonctionnement intempestif de relais à retour d'énergie. Par ailleurs, si la roue polaire s'avance d'un angle excessif, l'alternateur risque de se décrocher.[3]

VI. DEFAUT POUVANT SURVENIR SUR L'ALTERNATEUR ET CONSEQUENCES

VI.1. LES DEFAUTS ELECTRIQUES

- Faux couplage (souvent le plus contraignant, mais en principe sécurisé par le système de conduite),
- Défaut d'isolement du stator,
- Défaut d'isolement du rotor (destructrice au deuxième défaut),
- Marche asynchrone (en cas de perte totale de l'excitation),
- Pertes de synchronisme (perte de stabilité suite à un défaut),

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

–Retour de puissance (marche en moteur synchrone),

–Déséquilibre des courants de phase. [8]

Tableau IV: Historique des pannes survenues sur les alternateurs de la centrale thermique de Komsilga

Groupes	Désignations de la panne	Opérations effectuées	Observations
groupe 2	Explosion d'une partie du stator	Stator remplacé	Groupe en bon état
groupe 4	Défaut d'isolement du stator par rapport à la masse	Partie défaillante du stator coupée	Le groupe fourni aujourd'hui une puissance de 7,5 MW
Groupe 5	Défaut d'isolement du stator par rapport à la masse	Aucune action effectuée	Groupe à l'arrêt
Groupe 7	Défaut d'isolement du rotor par rapport à la masse	Rotor remplacé	Groupe en bon état

VI.2. CONSEQUENCES DU FONCTIONNEMENT DE L'ALTERNATEUR SUR DEFAUT

–Surintensité, (3 X In),

–Efforts torsionnels sur la ligne d'arbre,

–Réaction des régulateurs de tension (surexcitation) et de puissance turbine,

–Chute de tension sur la charge et sur les auxiliaires,

–Pertes de stabilité, décrochage. [8]

VII. PROTECTIONS DES ALTERNATEURS

Tous les défauts de l'alternateur sont détectés par un ensemble de relais de protection reliés à des transformateurs de mesure de courant ou de potentiel. Ces fonctions de protection sont identifiées et normalisées par l'ANSI.[11]

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Tableau V: Inventaires des dispositifs de protections des alternateurs de la deuxième tranche (SONABEL Komsilga) [11]

PROTECTIONS	DISPOSITIFS DE PROTECTION	Correspondance au CODES ANSI DU SEPAM
Protection court-circuit	SEG (MRI)	50
Protection surintensité	SEG (MRI)	50
Protection défaut terre	SEG (MRI)	51G
Protection différentielle générateur	SEG (MRD)	87G
Verrouillage démarrage sur défaut	SEG (MRL)	A programmer
Perte d'excitation	SEG (MRQ)	40
Protection minimum de fréquence	MPU	81L
Protection maximum de fréquence	MPU	81H
Protection surtension	MPU	59
Protection mini tension	MPU	27
Protection retour de puissance active	MPU	32P
Déséquilibre courant	MPU	46

Conclusion

L'alternateur est principalement composé de trois parties : l'induit (stator), l'inducteur (rotor) et le système d'excitation. Sa tension de sortie est fonction du courant d'excitation, qui est réglé en fonction de la consigne donnée par les agents de l'exploitation. Pour des raisons d'optimisation de production, des entretiens périodiques de 7500h de fonctionnement sont effectués afin d'évaluer l'état des équipements constituant l'alternateur.

Pour procéder au couplage de l'alternateur sur le réseau, les conditions suivantes doivent être remplies: ordre de succession de phase, phase, fréquence et tension de

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

l'alternateur identiques à ceux du réseau. Si l'une de ces conditions fait défaut lors de la tentative de couplage ou après le couplage, il s'en suit : réaction intempestif des relais à retour d'énergie, rupture de l'arbre, décrochage de l'alternateur.

CHAPITRE III : ANALYSE DE LA PANNE DU GROUPE 3 ET DETECTION DES CAUSES DE LA DEFAILLANCE DU GROUPE

Tableau VI: Caractéristiques de l'alternateur du groupe 3

Type	SA 62 B100 125
N° de série	604063-1
Synchrone	Triphasé
Protection machine	IP 23
Entrefer machine	12 mm
Entrefer exciteur	2 mm
Puissance active	12,5 kW
Puissance nominale	15,659 kVA
Tension	11 000 V
Courant nominal	821,9 A
Facteur de puissance	0,8
Polarité	12
Vitesse	500 tr/min
Fréquence	50 Hz
Température ambiante	47 °C
Type de régulateur	DECS 200
Tension max d'excitation	107 V
Intensité max d'excitation	13,7 A
Masse rotor	22 857 kg
Masse total	52 700 kg
Excitation	Sans balai
Type de régulateur	Shunt + booster

I. ANALYSE DE LA PANNE

Le groupe 3 de la centrale de Komsilga a une puissance nominale de 12.5 MW. Durant ces dernières années il a été exploité à 10.5 MW pour des raisons d'optimisation de maintenance et de contraintes d'exploitation. Le 31 janvier 2019 en plein fonctionnement, il s'est brusquement arrêté suite à un « déclenchement ». Dans la suite de notre travail, nous analyserons la panne de l'alternateur. Puis, nous en ferons ressortir les causes qui ont pu engendrer cette panne avant de proposer des solutions afin de prévenir des pannes similaires.

Analysons les données enregistrées à la date du 31 janvier 2019

Tableau VII: Données enregistrées au niveau du superviseur le 31/01/2019

Heures	Evènements
20h20	Perturbation du réseau
	Déclenchement du G3 par défaut de protection mesure tension alternateur
20h24	Démarrage du G3
20h25	Déclenchement du G3 par défaut de protection mesure tension alternateur
20h31	Démarrage du G3
20h32	Déclenchement du G3 par défaut de protection mesure tension alternateur

Après avoir procédé trois fois de suite au démarrage du groupe, nous constatons :

- ✓ Déclenchement du groupe par *défaut de protection mesure tension alternateur* à tous les essais de démarrage.
- ✓ *Défaut d'excitation signalé au niveau de l'armoire du groupe 3.*

Analysons la Courbe représentative de la tension-intensité-fréquence enregistrée lors du déclenchement

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

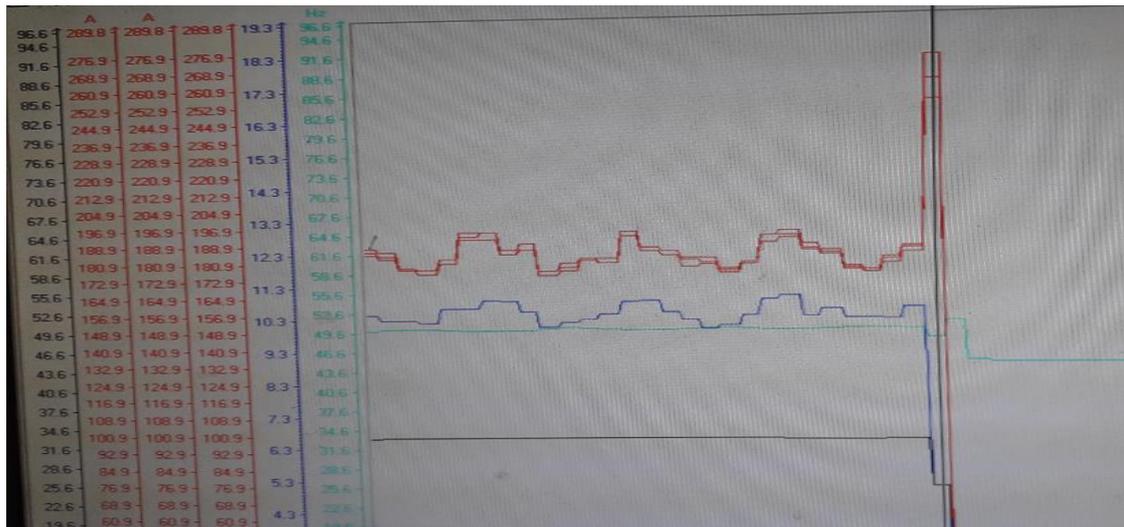


Figure 10: Courbe représentative de la tension-intensité-fréquence enregistrée lors du déclenchement

Tableau VIII: Valeurs enregistrées à la sortie du transformateur 11KV/33KV le 31/01/2019

Courbes	Valeurs
Tension (kV)	26.299
I.L1 (A)	253.000
I.L2(A)	262.000
I.L3(A)	273.000
Charge	5.260
Fréquence (Hz)	48.639

La tension du groupe 3 n'évolue pas au démarrage. Nous constatons en effet, sur la courbe représentative de la tension-intensité-fréquence, que la tension, initialement à environ 33 kV, est passée brusquement à 26,29kV lors du déclenchement, avant de s'annuler totalement au bout de quelques seconds.

Nous savons cependant que le système permettant l'évolution de la tension est le système d'excitation, et que la source principale du courant d'excitation est représentée par les enroulements auxiliaires.

Nous nous pencherons donc, dans la suite de notre étude, sur l'évaluation de l'état de ces enroulements en effectuant quelques mesures à savoir :

- La mesure des résistances d'isolement de chaque borne des enroulements auxiliaires par rapport à la masse

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

- La mesure des résistances ohmiques des enroulements auxiliaires

a) La résistance d'isolement

La mesure de la résistance d'isolement est non-destructive dans les conditions normales de test. Réalisée en appliquant une tension continue d'amplitude inférieure à celle de l'essai diélectrique, elle fournit un résultat exprimé en $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$ voir $T\Omega$. Cette résistance exprime la qualité de l'isolement entre deux éléments conducteurs. Son caractère non destructif (car l'énergie est limitée) la rend particulièrement intéressante pour le suivi du vieillissement et de la pollution des isolants durant la période d'exploitation d'un équipement ou d'une installation électrique. Cette mesure est réalisée au moyen d'un contrôleur d'isolement appelé **mégohmmètre**. [2]

Celui utilisé à la centrale de Komsilga a une plage de tension d'injection de [500-5000] V DC.



Figure 11: Mégohmmètre CHAVIN ARNOUX C.A 6545

b) Index de polarisation (PI)

Dans cette application des mesures basées sur l'influence du temps d'application de la tension d'essai, deux relevés sont effectués à respectivement 1 minute et 10 minutes. Le ratio sans dimension de la résistance d'isolement à 10 minutes sur celle à 1 minute est appelé Index de Polarisation (PI) qui permet de définir la qualité de l'isolement.

De façon générale, un index PI supérieur à 4 est le signe d'un excellent isolement et un index inférieur à 2 indique un problème potentiel.

$$PI = \text{Risolement à 10 minutes} / \text{Risolement à 1 minute} \quad [2]$$

c) Principe de mesure de la résistance d'isolement

Les résistances d'isolement des enroulements auxiliaires sont, dans les normes, mesurées par injection d'une tension continue de 500V, valeur qui permettra d'évaluer la qualité de l'isolement entre deux éléments. En effet, pour assurer le bon fonctionnement et la parfaite sécurité des appareils et installations électriques, tous les conducteurs sont isolés : gaines pour les câbles, vernis pour les bobinages. La mesure de la résistance d'isolement se fait selon le schéma électrique ci-dessous [2]:

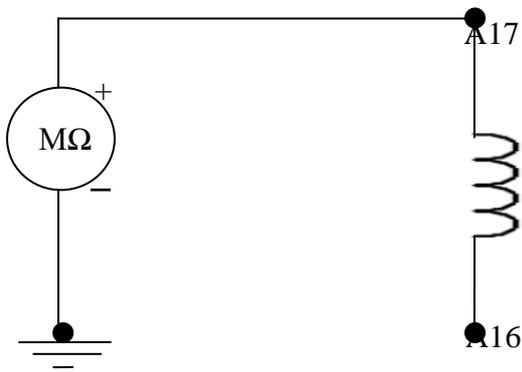


Figure 12: Figure illustrative du mode opératoire de la prise de mesure des résistances d'isolement de la borne 17 par rapport à la masse

d) Analyse des mesures des résistances d'isolement des enroulements auxiliaires

La résistance d'isolement est mesurée, entre les bornes des enroulements auxiliaires deux à deux. En effet, les alternateurs de marque LEROY SOMER disposent de deux enroulements auxiliaires : l'enroulement [X1A-X2A] représenté par les bornes A17-A16 et l'enroulement [X1B-X2B] représenté par les bornes A16'-15.

Tableau IX: Inventaire des mesures des résistances d'isolement après la panne [1]

Bornes	Résistance d'isolement mesurée en 1mn sous 500V	Valeur de référence
A17/masse	90,7 MΩ	5 MΩ
A16/masse	<10 KΩ	
A16'/masse	56,4 GΩ	
A15/masse	58,3 GΩ	

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

Nous constatons au travers des mesures des résistances d'isolement, que l'isolement de la borne A16 par rapport à la masse, s'est détérioré (résistances d'isolement $< 10 \text{ k}\Omega \ll 5 \text{ M}\Omega$). Ce qui signifie qu'il y a un défaut d'isolement de la borne A16 par rapport à la masse.

Interprétation

Au vu des mesures des résistances d'isollements, un défaut d'isolement s'est créé entre la borne A16 et la masse.

e) Analyse des mesures des résistances ohmiques des enroulements auxiliaires

Tableau X: Inventaire des mesures des résistances ohmiques [1]

Bornes	Résistance à l'ohmmètre
X1A/X2A	Infini
X1B/X2B	Infini

Les mesures des résistances ne présentent aucune valeur réelle.

Interprétation

L'appareil de mesure présente l'infini lors des mesures ce qui signifie que les enroulements auxiliaires sont coupés.

Conclusion

Au travers des mesures effectuées, nous pouvons dire que les éléments défailants du système d'excitation sont « **les enroulements auxiliaires** ». En effet, un défaut d'isolement a été détecté entre la borne A16 et la masse. En plus, la mesure des résistances ohmiques nous montre que les enroulements sont coupés.

II. ANALYSE DES CAUSES DE LA PANNE

Tableau XI: Tableau représentatif des causes susceptibles de la défaillance

Causes externes	Causes humaines	
	Qualité du réseau	
	Défaut de protection	
	Surcharge du réseau	
Causes internes	Causes électriques	Surtension
		Défaut d'isolement
	Causes mécaniques	Vibration des enroulements
		Mauvaise imprégnation du verni
		Les contaminations de l'environnement

II.1 ANALYSE DES CAUSES EXTERNES

II.1.1. Les causes humaines

II.1.1.1. Hypothèse 1

Une mauvaise exploitation des groupes pourrait entraîner une défaillance des enroulements auxiliaires.

 Analyse des conditions de démarrage du groupe:

II.1.1.2. Méthode utilisée pour la vérification

Le démarrage d'un groupe peut se faire si et seulement si les conditions suivantes sont réunies:

- ✓ Pression du fioul > 2 bar
- ✓ Virage effectué si le groupe est à l'arrêt plus de 12h
- ✓ Crémaillère débloquée
- ✓ Pression d'air de sécurité 7 bars,
- ✓ Levier vireur non engagé
- ✓ Pression d'huile de pré-graissage > 0.2 bar
- ✓ Capteurs de sécurité non actifs

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

Après réunion de toutes ces conditions, le groupe se met en marche et celui-ci peut être couplé au réseau.

En effet le couplage au réseau se fait de manière automatique grâce au synchro-coupleur. Il vérifie la valeur de la tension, de la fréquence et l'ordre des phases du réseau et établie une comparaison avec ceux de la génératrice. Le coupleur reçoit l'information du synchronoscope et donne, ensuite, l'ordre de fermeture du disjoncteur.

Lorsque ces conditions ne sont pas vérifiées le démarrage du groupe est impossible.

Dans notre cas, la consultation du registre de suivi des groupes nous indique que le démarrage et le couplage au réseau du groupe G3 se sont effectués dans de bonnes conditions. La conduite du groupe a été effectuée le 31 janvier 2019 comme suit:

13h47mn: Démarrage du groupe G3,

13h50mn: Couplage au réseau du groupe G3,

20h20mn: Arrêt du groupe G3 par déclenchement

Interprétation

Le registre nous montre que toutes les conditions ont été respectées puisque le groupe a été démarré, puis couplé avant la panne. Les conditions de démarrage ne sont donc pas à l'origine de la défaillance.

Analyse des entretiens effectués

II.1.1.3. Méthode utilisée pour la vérification

Le manuel d'exploitation fourni par le constructeur stipule que l'entretien général du groupe doit être effectué de façon périodique de 7 500h de fonctionnement.

Dans notre cas, le registre général d'entretien des groupes nous montre que les heures d'entretiens sont respectées.

Interprétation

Au vu de l'analyse faite, nous déduisons que les périodes d'entretiens généraux sont respectées et bien établies. Un mauvais entretien n'est donc pas à l'origine de la défaillance du groupe 3.

II.1.2. La qualité du réseau

II.1.2.1. Hypothèse 2

Une perturbation de réseau (perte d'interconnexion, surcharge, ...), peut avoir une influence non négligeable sur le fonctionnement des alternateurs.

II.1.2.2. Méthode utilisée pour la vérification

Le rapport sur le réseau national interconnecté permet de répertorier les différents évènements ayant eu lieu à la date du 31/01/2019.

Tableau XII: Rapport d'exploitation du réseau national

	Evènements	Lieu
20h16	KOMSILGA 033_AL TRF1 TAPCON TENSION BAS	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AMONT F21 ALRM FIN ALARME	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE3 ALRM FIN ALARME	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DECLT ZONE1 F21 ALRM FIN ALARME	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE7 ALRM FIN ALARME	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME	KOM
	PA 090_AL YAR_1 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME	PA
	PA 090_AL YAR_1 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME	PA
	PA 090_AL YAR_1 CYC REEN.EN COURS ALRM FIN ALARME	PA
	PA 090_AL TRF3 DFT AEROREFRIG ALRM FIN ALARME	PA
	PA 090_AL TRF2 DFT AEROREFRIG ALRM FIN ALARME	PA
	PA 090_AL HND_1 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME	PA
	PA 090_AL HND_1 CYC REEN.EN COURS ALRM FIN ALARME	PA
	PA 225_AL ZAG DEMMARA P DIST F21 ALRM FIN ALARME	PA
	PA 225_AL ZAG DFT EN AMONT F21 ALRM FIN ALARME	PA
	ZAGTOULI 090_AL KOM_1 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME	ZAG
	OUAGA 2000 033_AL KBIS DFT SYNC_CHECK ALRM DEBUT ALARME	OUA_2
	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB2_33KV KV 32.8	KOM
	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV 33.1	KOM
	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV 33.5	KOM
	KOMSILGA 033_AL TRF2 BLOCAGE REGUL ALRM DEBUT ALARME	KOM
	KOMSILGA 033_AL TRF1 TAPCON TENSION BAS	KOM
	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME	KOM

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

La panne ayant eu lieu autour de 20h20, répertorions les évènements ayant eu lieu autour de cette heure

Tableau XIII: Liste des évènements ayant eu lieu autour de 20h20 sur le réseau national à la date du 31/01/2019

Heure	Evènements
20h16min48.5s	Tension basse
20h16min50.5s	Déclenchement du groupe 3

Nous notons que le déclenchement a eu lieu quelques secondes (1.5s) après la baisse de tension.

En effet, en cas de baisse de tension du réseau, les groupes couplés au réseau ont tendance à essayer de produire plus, tant qu'ils le peuvent. Cependant, cette tentative implique un effort plus soutenu du système d'excitation (quitte à dépasser les normes) afin d'augmenter le courant d'excitation : ce qui pourrait endommager les enroulements auxiliaires.

Interprétation

La baisse de tension ayant eu lieu quelques secondes avant le déclenchement du groupe, nous pouvons déduire que cela pourrait être un facteur déterminant de la défaillance des enroulements auxiliaires.

II.1.3. Défauts de protection

II.1.3.1. Hypothèse 3

En cas de mauvais réglage des protections, cela pourrait entraîner des conséquences désastreuses sur l'alternateur.

II.1.3.2. Méthode utilisée pour la vérification

Le réglage des appareils de protection doit être fait conformément au code ANSI. A la centrale thermique de Komsilga, les réglages des groupes Caterpillar ont été faits par l'entreprise WOODWARD.

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

Le réglage des appareils de protections a été choisi sur la base des expérimentations au laboratoire conformément aux normes de protections établies.

Interprétation

Le respect des normes de protections étant vérifié, les défauts de protections ne sont pas à l'origine de la défaillance des enroulements auxiliaires.

II.1.4. Surcharge du réseau

II.1.4.1. Hypothèse 4

Une surcharge des enroulements peut entraîner une surchauffe de ces derniers, d'où leur détérioration.

II.1.4.2 Méthode utilisée pour vérification

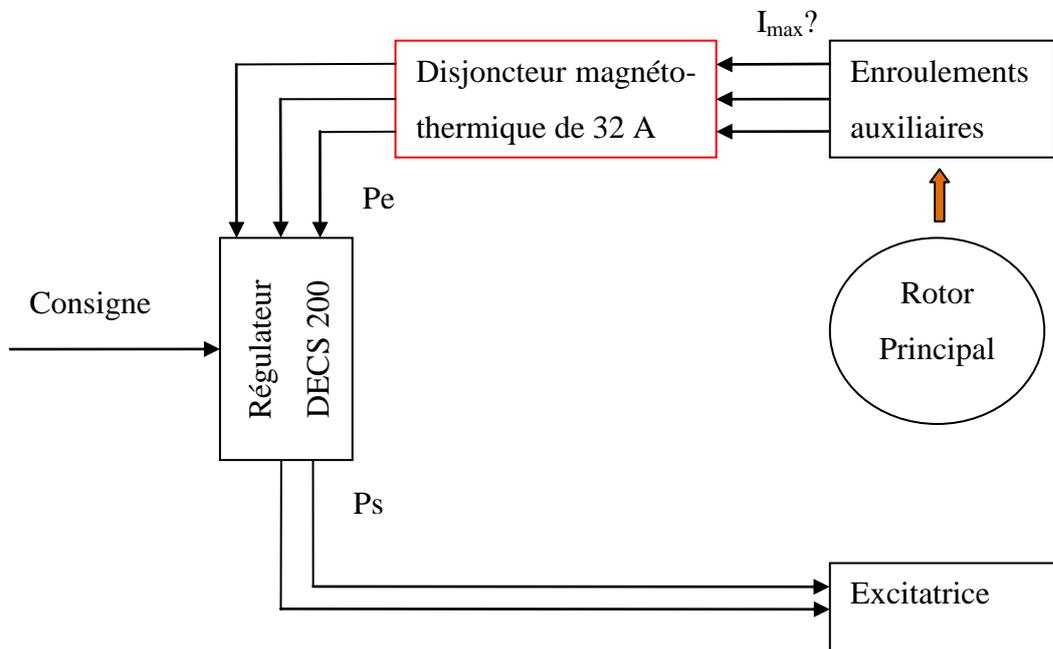


Figure 13: Schéma de principe de l'excitation des alternateurs LEROY SOMER

Les enroulements auxiliaires sont protégés par un disjoncteur magnéto-thermique, placé entre les enroulements et le régulateur de tension (DECS 200). Le calibrage de cette protection est de 32 A. Ce qui signifie que les enroulements peuvent supporter au

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

maximum un courant de 32 A. En cas de surcharge, les enroulements fourniront un courant d'excitation maximal au DECS 200. Le DECS 200 n'ayant subi aucun défaut lors du déclenchement, le courant fourni par les enroulements auxiliaires a été dans la limite de ce qu'il peut supporter.

Déterminons le courant I_{max} pouvant être délivré par les enroulements auxiliaires et supporté par le DECS 200.

Les caractéristiques du DECS 200 montrent :

	32 Vdc 15 Adc ou
Power output	63 Vdc 15 Adc ou
	125 Vdc 15 Adc

La tension et l'intensité max que peut fournir le DECS sont 125 V et 15A

La puissance de sortie maximal du DECS est de :

$$P_s = U_{max} * I_{max} \tag{2}$$

$$P_s = 125V * 15A = 1875W$$

En considérant un rendement du DECS égal à 1, la puissance à l'entrée du DECS est égale à la puissance à la sortie du DECS.

Le courant maximal I_{max} que peut délivrer les enroulements auxiliaires est de:

$$P_e = \sqrt{3} * U * I_{axe} * \cos \ell \tag{3}$$

$$I_{axe} = \frac{P_s = P_e}{U * \cos \ell * \sqrt{3}} \tag{4}$$

$$I_{axe} = \frac{1875}{182.6 * 0.9 * \sqrt{3}} = 6.58A$$

$I_{axe} = 6.58A \ll 32A$

Interprétation

Nous constatons que le courant maximal que doit délivrer les enroulements sans détériorer le régulateur est de 6.58A. Ce qui est très petit devant 32A. La surcharge n'est donc pas à l'origine de la défaillance des enroulements auxiliaires.

II.2 ANALYSES DES CAUSES INTERNES

II.2.1. Causes électriques

II.2.1.1 Surtension

II.2.1.1.1 Hypothèse 5

Une surtension ayant affectée les enroulements auxiliaires pourrait être à l'origine de leur défaillance.

II.2.1.1.2 Méthodes utilisées pour vérification

Pour la protection du groupe contre les surtensions, un parafoudre a été installé au niveau du bornier de l'alternateur. Un parafoudre fonctionne comme un interrupteur : au-delà d'un certain seuil de tension, il laisse s'échapper le courant électrique vers la terre et évite de cette façon qu'il ne réussisse à se frayer un chemin au cœur des différents appareils électriques, raccordés au réseau.

Nous avons constaté après l'arrêt du groupe, suite au défaut, que le parafoudre n'a pas déclenché ce qui signifie qu'il n'y a pas eu de surtension.

Interprétation

Le parafoudre, n'ayant pas réagi lors du déclenchement du groupe, la défaillance des enroulements n'est pas due à une surtension.

II.2.1.2 Défaut d'isolement entre enroulements auxiliaires et enroulements statoriques

II.2.1.2.1 Hypothèse 6

En cas de défaut d'isolement entre les enroulements auxiliaires et les enroulements statoriques, les enroulements auxiliaires pourraient s'endommager.

II.2.1.2.2 Méthodes utilisées pour vérification

- ✚ Analysons les mesures des résistances d'isollements des enroulements auxiliaires par rapport aux enroulements statoriques :

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Tableau XIV: Mesures des résistances d'isolement des enroulements auxiliaires par rapport aux enroulements statoriques

Bornes	Résistance d'isolement en 1 min sous 500v	Valeur de référence minimale
17/U	1,484GΩ	5 MΩ
17/V	1,337GΩ	
17/W	1,265GΩ	
16/U	16,42GΩ	
16/V	7,99GΩ	
16/W	8,9GΩ	
16'/U	70,7GΩ	
16'/V	88,9GΩ	
16'/W	108,4GΩ	
15/U	107,3GΩ	
15/V	110,9GΩ	
15/W	114,9GΩ	

Toutes les résistances d'isolement sont supérieures à 5MΩ. Elles ne présentent donc, aucune défaillance.

Interprétation

La mesure des résistances d'isolement nous montre qu'il n'y a aucun contact entre les enroulements statoriques et les enroulements auxiliaires. Un défaut d'isolement n'est donc pas à l'origine de la défaillance des enroulements auxiliaires.

II.2.2. Causes mécaniques

II.2.2.1 Vibration des enroulements

II.2.2.1.1 Hypothèse

Le dépassement des niveaux vibratoires autorisés par la norme iso 8528-9 peut conduire à des détériorations graves.

II.2.2.1.2 Méthode utilisée pour vérification

Les enroulements auxiliaires suivent le même circuit que les enroulements statoriques, dans le circuit magnétique. Il est de la responsabilité du metteur en groupe de s'assurer de la viabilité vibratoire du groupe de puissance. Cependant, l'image ci-dessous montre que le calage des enroulements statoriques est défaillant. En effet, après la panne, nous avons constaté un espace d'environ 1mm entre certaines barres et la bobine.



Figure 14: Schéma illustratif du calage défaillant

Interprétation

Le calage étant défaillant, le bobinage sera en mouvement permanent lors du fonctionnement. Les frottements qui se créent entre le bobinage statorique, les enroulements auxiliaires et le circuit magnétique endommagent les enroulements.

II.2.2.2 Mauvaise imprégnation de verni

II.2.2.2.1 Hypothèse

Un mauvais revêtement des enroulements peut être à l'origine de la défaillance des enroulements auxiliaires.

II.2.2.2.2 Méthode utilisée pour vérification

Lors de la fabrication du stator, le circuit magnétique ainsi que les enroulements auxiliaires doivent être imprégnés de vernis conducteur afin d'éviter tout défaut électrique.

Si un défaut important n'est pas détecté précocement lors des opérations de maintenance, il risque de gagner en importance jusqu'à la fusion et, une dégradation de l'isolant des conducteurs au voisinage du défaut. Un contact électrique pourrait alors être

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

établi entre le circuit magnétique et les conducteurs, conduisant à un court-circuit avec la masse.

Dans notre cas nous avons constaté des décharges électriques au niveau des enroulements statoriques:

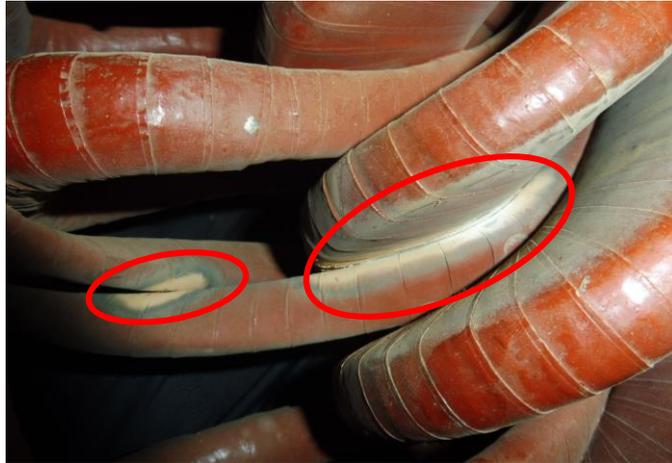


Figure 15: Décharges électrique constaté au niveau des enroulements statoriques

Les enroulements auxiliaires suivant le même circuit que les enroulements statoriques, nous déduisons qu'ils ont subi les mêmes décharges.

Ces décharges sont dues à la différence de potentiel existant entre les enroulements qui, eux, ont été engendrées par un mauvais revêtement des isolants des différents conducteurs. Ces différences de potentiels engendrent des variations localisées suffisantes pour générer des étincelages et conceptions localisées. Ces derniers altèrent la surface des isolants.

Dans notre cas, les mesures d'isolement des enroulements auxiliaires présentent une usure de l'isolement.

Interprétation

Les décharges électriques montrent qu'il y a un défaut d'isolement. Un mauvais isolement pourrait donc être à l'origine de la défaillance des enroulements auxiliaires.

II.2.2.3 Les contaminations de l'environnement

II.2.2.3.1 Hypothèse

La présence de particules poussiéreuses peut être à l'origine de la dégradation des isolants.

II.2.2.3.2 Méthode utilisée pour vérification

Le développement de moisissures et le dépôt de particules dans des environnements humides et chauds participent également à la détérioration des caractéristiques d'isolement des installations.[2]

En effet, nous constatons la forte présence de poussière dans l'alternateur comme le montre la figure suivante :



Figure 16: figure montrant l'état de salissure des enroulements

Interprétation

Nous avons remarqué une masse importante de poussière malgré les entretiens qui sont effectués. Cependant, cette quantité de poussière ne peut pas, à elle seule, créer le court-circuit. Nous en déduisons que la poussière est un facteur aggravant de la défaillance des enroulements auxiliaires.

III. PROPOSITION DE SOLUTIONS

III.1 Solution curative

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Mode opératoire

Le rôle des enroulements auxiliaires est d'alimenter le DECS 200 en tension (56V-277V) et en courant (variable) afin de fournir à l'excitatrice le courant nécessaire pour la production de la puissance demandée. Les enroulements auxiliaires étant défectueux, le but est de les remplacer par des enroulements auxiliaires en bon état ou de les remplacer par une autre source de tension.

a) Remplacer les enroulements auxiliaires par des enroulements en bon état

Cette première approche consiste à dépiécer l'alternateur, enlever les enroulements défectueux et reprendre le bobinage avec des enroulements auxiliaires en bon état.

Pour se faire, la SONABEL n'étant pas équipé pour ce type d'opération, devra faire appel à une entreprise externe pour la fabrication des enroulements et pour l'exécution de la tâche proprement dite : le rebobinage.

Tableau XV: Estimation budgétaire de la réparation avec enroulements auxiliaires selon Eliteam

Equipements	Prix unitaire (FCFA)	Quantité (u)	Prix total (FCFA)
Enroulements	6 560 000	2	13 120 000
Transport	300 000	5	1 500 000
Repas, logement, transport	4 000 000	5	20 000 000
Main d'œuvre Bobinage	35 000 000	1	35 000 000
Total			69 620 000

NB : Ces chiffres sont indiqués à titre estimatif en se basant sur des informations recueillies auprès de monsieur Jean Paul CREUX, expert en alternateur chez Eliteam.

b) Modifier le système d'excitation en utilisant des transformateurs de potentiel à la place des enroulements

Nous procéderons à l'excitation par sous-tirage en utilisant des transformateurs selon le schéma suivant :

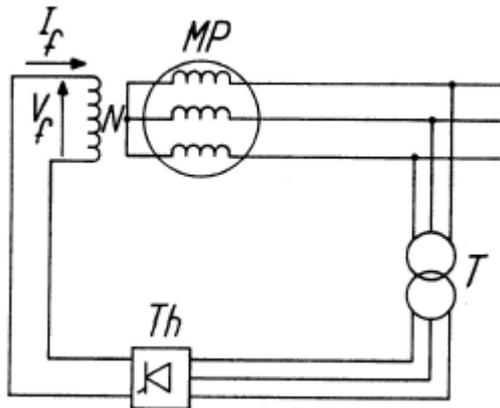


Figure 17: Schéma de principe de l'excitation par sous-tirage

Un transformateur électrique est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un bon rendement.

Un transformateur de potentiel permet principalement de transformer une tension initiale en une autre voulue. Cependant, la puissance apparente devant rester constante ($S=UI$), lorsque la tension voulue est obtenue, la valeur du courant change pour stabiliser la puissance ($I=S/U$).

Choix du transformateur à installer :

La puissance d'excitation maximale (en se référant aux valeurs fournies sur la plaque signalétique) est de :

$$P_{ex} = U_{max} * I_{max}$$

$$P_{ex} = 107 * 13.7 = 1465.9W$$

$$S = \frac{P_{ex}}{\cos \ell} \tag{5}$$

$$S = \frac{1465.9}{0.8} = 1832.375VA$$

$S = 1\ 832.375\ VA$

Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3

Les caractéristiques du régulateur DECS 200 montrent que la plage de tension admissible à l'entrée du DECS 200 est de: 56V-277V.

Les transformateurs à installer doivent donc fournir une puissance minimale de 1832.375 VA et une plage de tension comprise entre 56V et 277V.

Nous placerons un transformateur de potentiel triphasé du fabricant Radiospare, de caractéristiques suivantes :

2000VA/230-400V primaire_115-230 secondaire



Le primaire du transformateur sera connecté à la sortie de l'alternateur et le secondaire au régulateur DECS 200.

Cette opération étant réalisable par les agents de la SONABEL, la seule dépense à effectuer est l'achat du transformateur.

Tableau XVI: Estimation budgétaire de la réparation avec transformateur

Equipements	Quantité (u)	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Transformateur 2000 VA	1	255 840	255 840
Total			255 840

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Tableau XVII: Avantages et inconvénients de l'utilisation du système d'excitation avec transformateur et ceux avec enroulement auxiliaires

	Système avec enroulements auxiliaires	Système avec transformateur
Avantages		Facilement remplaçable
	Plus grande production à partir du même champ magnétique	Moins cher et Plus grande durée de vie
Inconvénients	Difficile à réparer en cas de panne	
	Plus cher et faible durée de vie	

Au vu des avantages et inconvénients de chacune des solutions curatives, nous recommandons le système de sous-tirage en remplacement de celui avec des enroulements auxiliaires.

III.2 Solutions préventives

- ✓ Protéger l'alternateur contre les particules poussiéreuses en incorporant un système de filtration d'air sur les parties latérales de l'alternateur.



- ✓ Etablir un programme de suivi périodique du bobinage auxiliaire en faisant des mesures d'isolement périodiques

✓ Renforcer l'isolation des bobinages statoriques et auxiliaires dans les règles de l'art : recouvrir les enroulements auxiliaires de deux couches d'isolant: l'isolation principale et la peinture conductrice.

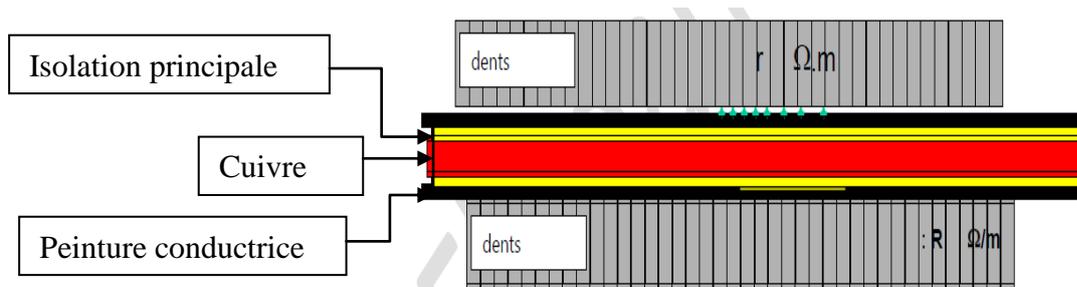


Figure 19: Schéma illustratif de l'isolement d'une bobine [5]

✓ Renforcer les calages endommagés et faire un suivi périodique (environ 5 ans) de l'état de calage de l'ensemble des enroulements.

- **Vérification de l'état du calage**

Pour vérifier l'état du calage, tapoter chaque cale avec une clé 10 plate. En fonction du bruit émis, on en déduit la qualité du calage : il est soit tendu, demi-tendu, ou détendu.

Après avoir repéré tous les calages défailants, on passe à la réhabilitation de chacune d'elle.

- **Réhabilitation**

Calage latéral : utiliser un misage stratifié conducteur sur le côté latéral de chaque encoche.

Calage radial : placer une première couche de misage isolatrice, puis une couche de ressort ondulé, avant de poser la cale proprement dite.

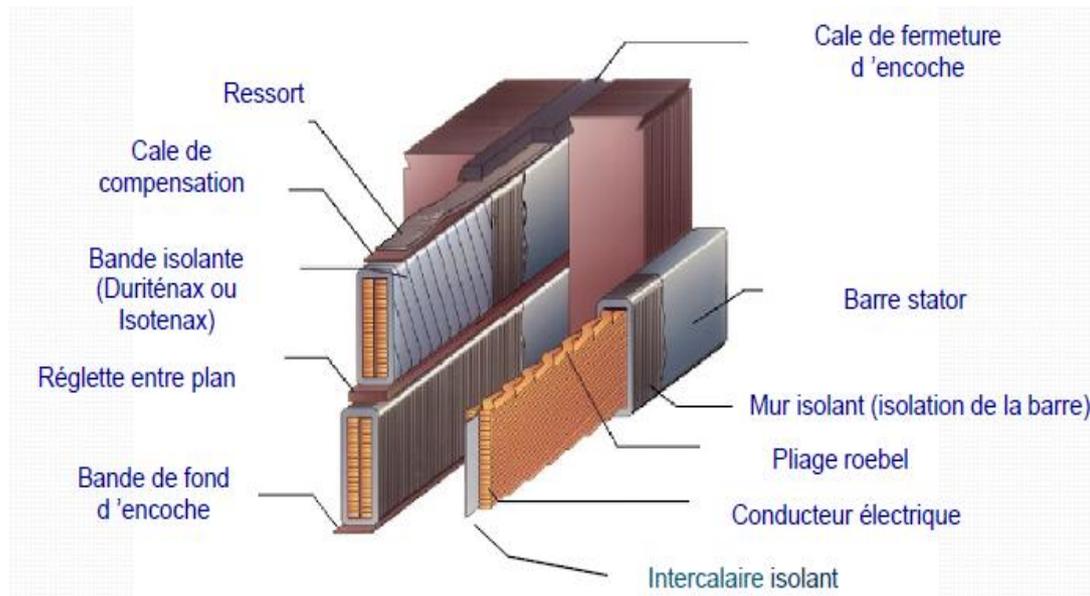


Figure 20: Schéma représentatif du mode calage [7]

Conclusion

Les mesures des résistances d'isolement et des résistances ohmiques des enroulements auxiliaires ont permis de détecter la défaillance du groupe : Défaut d'isolement de l'une des bornes des enroulements auxiliaires par rapport à la masse, et coupure des enroulements auxiliaires. Les différentes causes probables de cette défaillance, après traitement des hypothèses émises sont : vibration anormales du bloc statorique et mauvaise isolation des enroulements. Afin d'y remédier, deux solutions sont envisageables : remplacer les enroulements auxiliaires défaillants par d'autres en bon état ou les remplacer par un transformateur de potentiel. Après avoir étudié, les avantages et inconvénients de chaque solution, nous retiendrons le système de sous-tirage avec transformateur. De plus, nous recommandons une intégration du suivi d'état des enroulements auxiliaires lors des entretiens périodiques.

CONCLUSION GENERALE

Après étude du sujet nous aboutissons à la conclusion que le groupe 3 est défaillant suite à une détérioration des enroulements auxiliaires : défaut d'isolement entre la borne A16 et la masse et coupure des enroulements. Le but de notre travail étant de déterminer les causes de cette défaillance, nous avons procédé de la manière suivante : collecte et analyse des données, émission d'hypothèses et interprétation des résultats. Les causes les plus probables qui en ressortent sont la vibration intense du bloc stator et la mauvaise imprégnation de verni.

Comme solution curative, nous recommandons la mise en place d'un système de sous-tirage par utilisation de transformateur.

Afin de prévenir ce type de panne, nous proposons: d'installer des protections contre les particules poussiéreuses soit un système de filtre à air, et de faire l'entretien périodique du bobinage et des cales.

IV. BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- [1]. CENTRALE DE KOMSILGA, Rapport de maintenance du groupe 3, 21 Aout 2017
- [2]. CHAUVIN ARNOUX GROUP, Guide de la mesure d'isolement, 2010, 28p
- [3]. CHEVASSU Claude, MACHINES SYNCHRONES Cours et Problèmes, 05 février 2014, 100p
- [4]. CONGO Faycal, Avarie du stator de l'alternateur du groupe G2 de la centrale de production de Komsilga: Recherche des causes et proposition de solutions. Ouagadougou : 2iE, 2015/2016.96p
- [5]. ELITEAM ingéniosité, Note technique Notion de décharges d'encoche, 28 Août 2017, 92p
- [6]. ELITEAM ingéniosité, production d'électricité, 47p
- [7]. ELITEAM ingéniosité, production d'énergie électrique; notions électrotechniques, 33p
- [8]. ELITEAM ingéniosité, sensibilisation à la conception électrique des alternateurs, 101p
- [9]. ELITEAM ingéniosité, Technologie alternateur, 07 avril 2013, 92p
- [10]. LEROY SOMER, ALTERNATEURS Installation et Maintenance, Novembre 2011, 7p
- [11]. MERLIN GERIN, code_ansi_fr, 26p
- [12]. P.Kundur. Power system stability and control. New york : s.n., 1994
- [13]. SANDWIDI, La mise en place de procédure de maintenance 8000 heures de l'alternateur 15MVA leroy somer. Ouagadougou : ISGE, 2017/2018

V. ANNEXES

Sommaire des annexes

ABSTRACT	iv
Annexe I : Rapport d'exploitation du réseau national du Burkina Faso.....	53
Annexe II : Dispositifs de protection des alternateurs.....	57
Annexe III : Branchement de la boîte à borne du groupe 3	59
Annexe IV : Rapport de maintenance du groupe 3.....	60

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

**Annexe I : Rapport d'exploitation du réseau national du Burkina
Faso**

HEURES	EVENEMENTS
23:17,4	KOMSILGA 033_AL GROUP3_DECLENCT ALRM FIN ALARME
23:17,4	KOMSILGA 033_AL GROUP2_DECLENCT ALRM FIN ALARME
22:47,0	KOMSILGA 033_AL GROUP3_DECLENCT ALRM DEBUT ALARME
22:47,3	KOMSILGA TG TG TR1 DFT DEFA FIN DEFAUT
22:33,5	KOMSILGA 033_CO DPTSA KOMSILGA 33 KV HZ URG. SEUIL 51.1 50
22:29,6	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 DFI URG. SEUIL 0.0 0.
22:29,6	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 DFI AVERT SEUI 0.0 0.
22:29,6	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_PATTDOIE_2 KV1 TENSION HA 11.2
22:29,6	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_PATTDOIE_2 KV TENSION HA 12.0
22:20,5	KOMSILGA TG TG ZAGL DFT DEFA DEBUT DEFAUT
22:19,5	KOMSILGA TG TG TR2 DFT DEFA DEBUT DEFAUT
22:19,6	KOMSILGA TG TG TR1 DFT DEFA DEBUT DEFAUT
22:19,4	KOMSILGA TG TG PDO DFT DEFA DEBUT DEFAUT
22:19,4	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV TENSION HA 31.9
22:14,3	KOMSILGA TG TG DFT TERRE 48 DEFA DEBUT DEFAUT
22:10,6	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV 32.8 NBKV VALEUR LIMITE 32.4
22:09,8	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA DEBUT DEFAUT
22:09,8	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA FIN DEFAUT
22:09,8	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA DEBUT DEFAUT
22:08,8	KOMSILGA TG TG DFT CHARG 48 V DEFA DEBUT DEFAUT
22:09,2	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV 32.7 VALEUR LIMITE 32.4
21:59,8	KOMSILGA 033_DF TRF2 DEFAUT AUXI TFO DEFA FIN DEFAUT
21:59,8	KOMSILGA 033_DF TRF1 DEFAUT AUXI TFO DEFA FIN DEFAUT
22:00,7	KOMSILGA 033_AL TRF2 BLOCAGE REGUL ALRM FIN ALARME
21:59,7	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
21:59,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AMONT F21 ALRM FIN ALARME
21:59,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME
21:59,6	KOMSILGA 033_DF TRF2 DEFAUT AUXI TFO DEFA DEBUT DEFAUT
21:59,6	KOMSILGA 033_DF TRF1 DEFAUT AUXI TFO DEFA DEBUT DEFAUT
22:00,1	KOMSILGA 033_AL TRF2 BLOCAGE REGUL ALRM DEBUT ALARME
21:59,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
21:59,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AMONT F21 ALRM DEBUT ALARME
21:59,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM DEBUT ALARME
22:04,0	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV 32.7 VALEUR LIMITE 32.4
22:04,0	KOMSILGA 033_LI DP901 KOMSILGA 33 KV KV 32.7 VALEUR LIMITE 32.4
22:03,3	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB1_33KV KV 32.9 VALEUR LIMITE 32.4
22:03,3	KOMSILGA 033_CO 5KOMSILGA_PATTDOIE_1 KV 32.7 VALEUR LIMITE 32.4
22:03,2	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 32.0
22:01,6	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 30.7
22:01,5	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB1_33KV KV TENSION HA 30.8
22:01,2	KOMSILGA 033_CO 5KOMSILGA_PATTDOIE_1 KV TENSION HA 30.8

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

22:02,2	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV0 90.5 95
22:02,2	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV 91.0 95
21:51,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1_REARM_DISJ ALRM DEBUT ALARME
21:47,3	KOMSILGA 090_AL KOMS_1_REARM_DISJ ALRM FIN ALARME
21:47,3	KOMSILGA 090_DJ KOMS_1_DISJONCTEUR ETAT FERME PAR DGANOU
20:53,4	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV TENSION HA 32.2
20:48,7	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV1 92.9 95
20:44,0	KOMSILGA 090_AL KOMS_1BLOC ENCL PAR SY ALRM FIN ALARME
20:43,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_1BLOC ENCL PAR SY ALRM DEBUT ALARME
20:13,0	KOMSILGA 033_AL GROUP3_DECLENCT ALRM FIN ALARME
19:55,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_1BLOC ENCL PAR SY ALRM FIN ALARME
19:55,8	KOMSILGA 090_AL KOMS_1BLOC ENCL PAR SY ALRM DEBUT ALARME
19:37,5	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV1 TENS. TRES 96.3 95
19:37,5	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV0 TENS. TRES 97.1 95
19:24,5	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV 32.8 VALEUR LIMITE 32.4
19:23,7	KOMSILGA 033_DJ GROUP6 DISJONCTEUR ETAT FERME
19:22,5	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV 32.8 VALEUR LIMITE 32.4
19:21,7	KOMSILGA 033_CO 5KOMSILGA_PATTOIE_1 KV 32.8 VALEUR LIMITE 32.4
18:49,9	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV TENS. TRES 95.4 95
18:32,0	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV 32.9 VALEUR LIMITE 32.4
18:29,6	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV TENSION HA 32.3
18:27,2	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV 34.0VALEUR LIMITE 32.4
17:42,5	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV 92.3 95
17:19,3	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV TENSION HA 32.3
17:16,8	KOMSILGA 033_CO DPTSA KOMSILGA 33 KV KV1 TENSION HA 32.1
17:16,8	KOMSILGA 033_CO DPTSA KOMSILGA 33 KV KV0 TENSION HA 32.0
17:16,8	KOMSILGA 033_CO DPTSA KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 32.2
17:15,6	KOMSILGA 033_LI DP331 KOMSILGA 33 KV A7 URG. SEUIL 0.0 0.
17:15,6	KOMSILGA 033_LI DP331 KOMSILGA 33 KV A7 AVERT SEUI 0.0 0.
17:12,9	KOMSILGA 033_TF TRF1S 90/33 KV A7 0.5 10
17:12,9	KOMSILGA 033_TF TRF1S 90/33 KV A7 0.5 15
17:12,9	KOMSILGA 033_TF TRF1S 90/33 KV A3 0.5 19
17:12,9	KOMSILGA 033_TF TRF1S 90/33 KV A3 0.5 20
17:12,9	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 DFI 96.0 0.
17:12,9	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 DFI 96.0 0.
17:12,9	KOMSILGA 090_LI 7KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV TENS. TRES 95.2 95
17:07,3	KOMSILGA 033_LI 5KOMSILGA_ZAGTOULI_1 KV 32.9 VALEUR LIMITE 32.4
17:06,7	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB1_33KV KV 32.8 VALEUR LIMITE 32.4
16:56,8	KOMSILGA 033_DF TRF2 DEFAUT AUXI TFO DEFA FIN DEFAUT
16:55,4	KOMSILGA 033_DF TRF1 DEFAUT AUXI TFO DEFA FIN DEFAUT
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PHASE3 ALRM FIN ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PHASE11 ALRM FIN ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DECLT ZONE1 F21 ALRM FIN ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PR DIST F21 ALRM FIN ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PHASE7 ALRM FIN ALARME
16:46,7	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PHASE3 ALRM DEBUT ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PHASE11 ALRM DEBUT ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DECLT ZONE1 F21 ALRM DEBUT ALARME

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PR DIST F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DCLT PHASE7 ALRM DEBUT ALARME
16:46,7	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AVAL F21 ALRM DEBUT ALARME
16:58,1	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB2_33KV KV 32.7 VALEUR LIMITE 32.4
16:55,1	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 31.5
16:46,7	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
16:53,2	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB1_33KV KV TENSION HA 30.1
16:52,9	KOMSILGA 033_CO 5KOMSILGA_PATTOIE_1 KV TENSION HA 29.8
16:46,5	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
16:51,1	KOMSILGA TG TG DFT CHARG 48 V DEFA FIN DEFAULT
16:51,1	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA FIN DEFAULT
16:46,5	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,5	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE11 ALRM FIN ALARME
16:46,5	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PR DIST F21 ALRM FIN ALARME
16:52,5	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB2_33KV KV TENSION HA 30.0
16:52,2	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 31.8
16:50,7	KOMSILGA TG TG DFT CHARG 48 V DEFA DEBUT DEFAULT
16:50,7	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA DEBUT DEFAULT
16:50,7	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA FIN DEFAULT
16:50,7	KOMSILGA TG TG FCT SUR BATTERIE DEFA DEBUT DEFAULT
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
16:46,5	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AVAL F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE11 ALRM DEBUT ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PR DIST F21 ALRM DEBUT ALARME
16:52,5	KOMSILGA 033_DJ GROUP6 DISJONCTEUR ETAT OUVERT
16:48,5	KOMSILGA 033_DF TRF1 DEFT INTERN TAPCO DEFA FIN DEFAULT
16:47,8	KOMSILGA 033_AL TRF2 BLOCAGE REGUL ALRM FIN ALARME
16:48,5	KOMSILGA 033_AL TRF1 TAPCON TENSION BAS ALRM FIN ALARME
16:46,2	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,3	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AMONT F21 ALRM FIN ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE3 ALRM FIN ALARME
16:46,2	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT ZONE1 F21 ALRM FIN ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE7 ALRM FIN ALARME
16:46,2	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME
16:50,4	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB2_33KV KV 32.8 VALEUR LIMITE 32.4
16:50,5	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV 33.1 VALEUR LIMITE 32.4
16:50,4	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV 33.5 VALEUR LIMITE 32.4
16:47,2	KOMSILGA 033_AL TRF2 BLOCAGE REGUL ALRM DEBUT ALARME
16:47,2	KOMSILGA 033_AL TRF1 TAPCON TENSION BAS ALRM DEBUT ALARME
16:45,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
16:46,3	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AMONT F21 ALRM DEBUT ALARME
16:45,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AMONT F21 ALRM FIN ALARME
16:45,9	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DFT EN AMONT F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE3 ALRM DEBUT ALARME
16:46,1	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM FIN ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT ZONE1 F21 ALRM DEBUT ALARME
16:46,4	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DCLT PHASE7 ALRM DEBUT ALARME

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

16:46,2	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM DEBUT ALARME
16:45,7	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM FIN ALARME
16:45,7	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DFT EN AVAL F21 ALRM DEBUT ALARME
16:50,5	KOMSILGA 033_AL GROUP3_DECLENCT ALRM DEBUT ALARME
16:51,0	KOMSILGA 033_DJ GROUP3 DISJONCTEUR ETAT OUVERT
16:49,1	KOMSILGA 033_CO 5KOMSILGA_PATTOIE_1 KV 33.0 VALEUR LIMITE 32.4
16:48,5	KOMSILGA 033_GR GROUPE 3 MVAR URG. SEUIL 0.0 0.
16:48,5	KOMSILGA 033_GR GROUPE 3 MVAR AVERT SEUI 0.0 0.
16:46,9	KOMSILGA 090_DJ KOMS_2_DISJONCTEUR ETAT OUVERT
16:46,5	KOMSILGA 090_DJ KOMS_1_DISJONCTEUR ETAT OUVERT
16:45,4	KOMSILGA 033_DF TRF2 DEFAUT AUXI TFO DEFA DEBUT DEFAUT
16:45,7	KOMSILGA 033_DF TRF1 DEFAUT AUXI TFO DEFA DEBUT DEFAUT
16:45,8	KOMSILGA 090_AL KOMS_2 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
16:45,6	KOMSILGA 090_AL KOMS_1 DEMARRAGE F21 ALRM DEBUT ALARME
16:48,0	KOMSILGA 033_BR JEUX DE BARRE JB2_33KV KV TENSION HA 24.3
16:47,5	KOMSILGA 033_LI DP903 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 25.0
16:47,0	KOMSILGA 033_CO 5KOMSILGA_PATTOIE_1 KV TENSION HA 28.6
16:47,4	KOMSILGA 033_LI DP902 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 26.7
16:46,5	KOMSILGA 033_LI DP901 KOMSILGA 33 KV KV TENSION HA 31.4

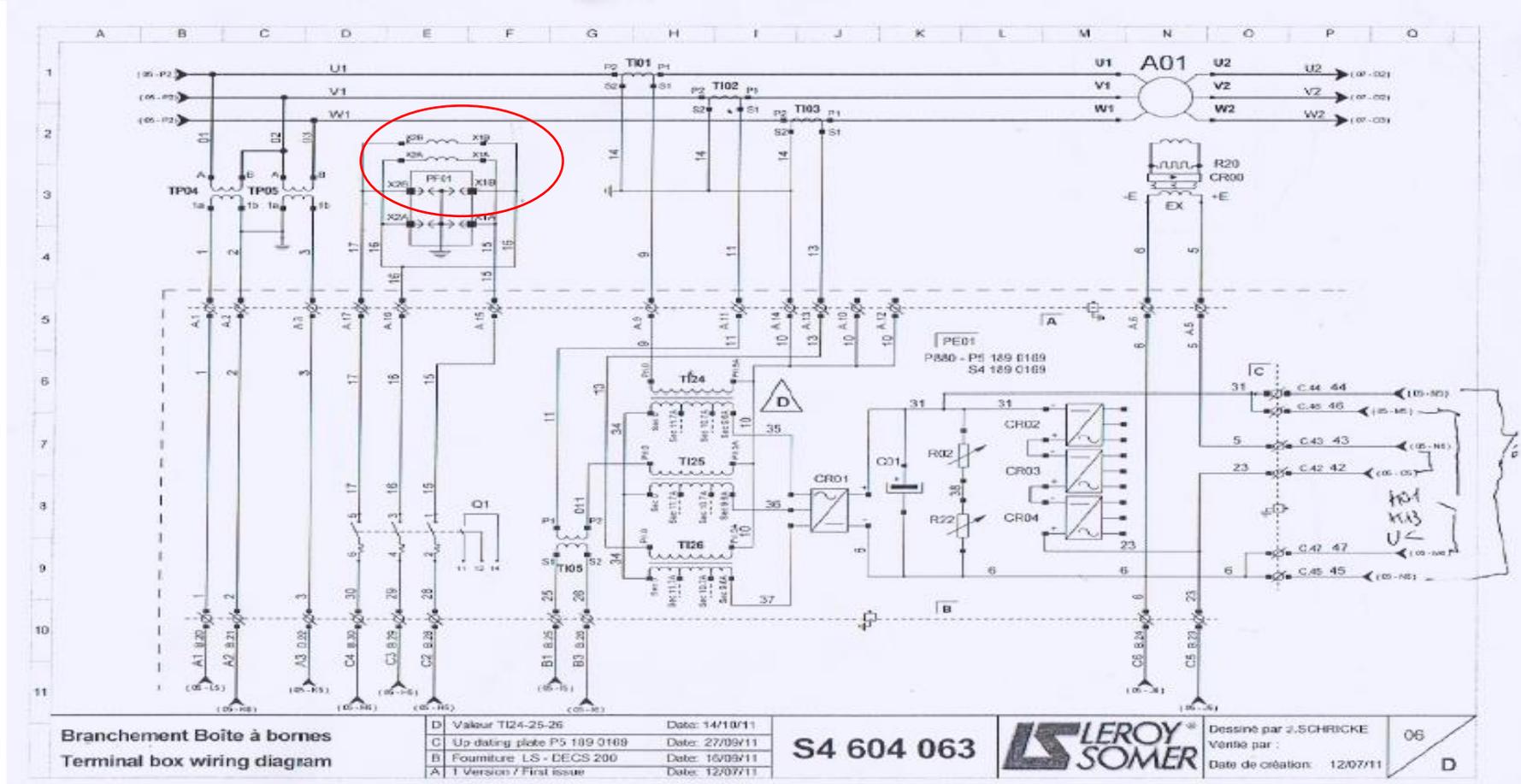
Annexe II : Dispositifs de protection des alternateurs

CONFIGURE		MONITORING	YES
			G3
Rev/red.Power	Monitoring		On
		Resp.value	-5%
		Delay	10s
Inc.Overload	Monitoring		On
	Mop	Resp.value	120%
		Delay	20s
	IOP	Resp.value	105%
		Delay	3s
Reactive Power	Monitoring		On
	Ind	Limit	10%
		Delay	10s
	Cap	Limit	10%
		Delay	10s
Inc.Overcurrent	Monitoring		On
	1	Resp.value	110%
		Delay	1s
	2	Resp.value	300%
		Delay	0,04s
Inv.time.ov.curr.(temp s inverse surintensité)	Monitoring		On
		Inv.time char Normal	Inv
		Tp	1.16s
		Ip	1.1*In
		Istart	1.15*In
		V-restr	On
		Knee curve U>	20%
Load unbalance (déséquilibre)	Monitoring		On
		Max	8%
		Delay	10s
Earth Fault (défaut terrer)	Monitoring		On
		Response V.	15%
		delay	1s
Inc.Overfreq (maximum fréquence) de	Monitoring		On
		f>	51.50Hz
	1	Delay	10s
	2	f>	52Hz

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

		Delay	6s
Inc.underfreq	Monitoring		On
	1	f<	48.5Hz
		Delay	10s
	2	f<	48Hz
delay		4s	
Inc.over voltage	Monitoring		On
	1	U>	112V
		Delay	10s
	2	U>	114V
Delay		5s	
Inc.under voltage	Monitoring		On
	1	U<	92V
		delay	10s
	2	U<	87V
delay		1s	
Meas.overfreq	Monitoring		On
		f>	50.2Hz
		delay	0.06s
Mes.underfreq		f<	49.8Hz
		delay	0.06s
Meas.Volt.monit			Phase/Phase
Meas.voltage	Monitoring		On
	Overvolt	U ph.Ph>	110V
		U ph.N>	64V
		delay	0.06s
	Undervolt	U ph.Ph<	90V
		U ph.N<	52V
delay		0.06s	
Batt.undervolt (minimum tension batterie)		U<	23.5V
		Delay	5s

Annexe III : Branchement de la boîte a borne du groupe 3



Annexe IV : Rapport de maintenance du groupe 3

Equipement : G3
Date : 04/12/2013
Nature de l'entretien : 7500 H

Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du stator de l'alternateur

	Résistance d'isolement t = 1 mn (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn	Index de polarisation
Enroulement 1	4,87	21,4	4,394250513
Enroulement 2	5,02	31,71	6,316733068
Enroulement 1	5,23	36,47	6,973231358

Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements de l'inducteur de l'alternateur

	Résistance d'isolement t = 1 mn) (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn (GΩ)	Index de polarisation
Enroulement 1	2,037	13,81	6,779577811
Enroulement 2	2,25	14,41	6,404444444

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Equipement : G3
Date : 23/01/2015
Nature de l'entretien : 15000 H

Mesures des résistances d'isolement et calculs des index de polarisation des enroulements du stator de l'alternateur

	Résistance d'isolement t = 1 mn (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn (GΩ)	Index de polarisation Valeur de référence : = > 4
Enroulement 1	5,63	37,12	6,593250444
Enroulement 2	5,37	31,91	5,942271881
Enroulement 3	5,32	36,07	6,780075188

Mesures des résistances d'isolement et calculs des index de polarisation des enroulements de l'inducteur de l'alternateur

	Résistance d'isolement t = 1 mn) (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn (GΩ)	Index de polarisation Valeur de référence : = > 4
Enroulement 1	2,52	16,32	6,476190476
Enroulement 2	2,6	16,28	6,261538462

conclusion : la valeur de l'index de polarisation satisfaisant

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Equipement : G3

Date :19/07/2016

Nature de l'entretien :22500H

Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du stator de alternateur

	Résistance d'isolement t = 1 mn (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn (GΩ)	index de polarisation
Enroulement U/Masse	6,36	37,5	5,90
Enroulement V/Masse	6,11	35,85	5,87
Enroulement W/Masse	6,32	40	6,33
Enroulement U/V	17,87		
Enroulement U/W	22,47		
Enroulement V/W	17,10		

Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements de l'inducteur de alternateur

	Résistance d'isolement t = 1 mn) (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn (GΩ)	Index de polarisation
Enroulement 1/Masse	2,72	11,67	4,29
Enroulement 2/Masse	3,61	14,53	4,02

**Analyse et amélioration du fonctionnement des alternateurs 12.5 MW LEROY
SOMER de la centrale thermique de Komsilga: Cas du groupe 3**

Groupe : G3

Date de l'entretien: 08/08/2017

Nature de l'entretien: 30000H

Index horaire : 30768 h

Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements du stator de alternateur

	Résistance d'isolement t t = 1 mn (GΩ)	Résistance d'isolement t = 10 mn (GΩ)	Index de polarisatio n (GΩ)
Enroulement U/Masse	5,22	27,32	5,23
Enroulement V/Masse	9,19	41,10	4,39
Enroulement W/Masse	5,52	33,87	6,27
Enroulement U/V	8,8		
Enroulement U/W	8,91		
Enroulement V/W	9,34		

Mesures des résistances et index de polarisation des enroulements de l'inducteur de alternateur

	Résistance d'isolement t = 1mn (GΩ)	Résistance d'isolemen t t = 10 mn (GΩ)	index de polarisatio n
Enroulement1 /Masse	2,87	14,44	5,05
Enroulement2 /Masse	3,07	15,05	4,88