

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعيد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الآلية والالكترونيكا  
Département automatique et électrotechnique



## Mémoire de Master

Mention Électrotechnique  
Spécialité Machines Électriques

Présenté par

KADRI Walid

&

BRAOUI Abderrahim

# Etude des protections électriques d'un turbo- alternateur WY21Z-092RR de la CENTRALE TURBINES A GAZ LARBAA 4X139.9MW, Défauts et Simulation.

Proposé par : NAAS Kherfane.

Année Universitaire 2021-2022.

Tout d'abord, on remercie le bon dieu qui nous a donné le courage, volonté, patience, santé durant nos années d'études.

Nous tenons à remercier également nos parents respectifs pour tous les sacrifices qu'ils ont voulu bien consentir à notre égard tout le long de notre cursus universitaire.

En guise de remerciement, nous adressons et en particulier notre reconnaissance et notre gratitude à notre promoteur Mr KHERFANE pour, son aide, sa patience, sa disponibilité et pour sa supervision éclairée tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Nous remercions les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont faits, en acceptant de nous évaluer sur notre travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de L'Université SAAD DAHLEB BLIDA et particulièrement à ceux du département d'Automatique et Electrotechnique.

On remercie aussi mon collègue Mr LOUKAL qui nous a aidé avec certains des problèmes que nous avons eus pendant la réalisation de notre projet.

On remercie également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

En signe de respect et reconnaissance je dédie ce modeste travail à :

- ❖ A mes très chers parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie, ma mère la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, et mon père source de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents !
- ❖ A ma sœur et mon frère.
- ❖ A toute ma famille sans exception.
- ❖ A mon binôme "**BRAOUI ABDERRAHIM**" pour sa patience et ses efforts.
- ❖ A tous mes amis (es), mes cousins (es).
- ❖ A toute la promotion 2022 de master 2 machines électriques.
- ❖ Pour finir je souhaite aussi remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans mon parcours éducatif et universitaire en particulier, je vous dis merci.

**KADRI Walid.**

### Dédicace

En signe de respect et reconnaissance je dédie ce modeste travail à :

- ❖ A mes très chers parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie, ma mère la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, et mon père source de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents !
- ❖ A mes sœurs et mes frères.
- ❖ A toute ma famille sans exception.
- ❖ A mon binôme "**KADRI WALID**" pour sa patience et ses efforts.
- ❖ A tous mes amis (es), mes cousins (es).
- ❖ A toute la promotion 2022 de master 2 machines électriques.
- ❖ Pour finir je souhaite aussi remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans mon parcours éducatif et universitaire en particulier.

**BRAOUI ABDERRAHIM.**



**ملخص:** في محطة الطاقة، تعتبر العيوب هي الجزء الرئيسي من إنتاج الطاقة الكهربائية، مثل أي عضو يتعرض للنفاد والعيوب المتعددة. من أجل ضمان الحماية الممثلة الأداء السليم، تم وضع نظام لحماية العيوب الوظيفية. تم إجراء عمليات محاكاة للحماية الخارجية "حماية الجهد الزائد 59" و "حماية التردد 81" الداخلية باستخدام برنامج محاكاة / برمجية MATLAB من أجل دراسة حساسية النظام للخطأ المتوقع.

لخدمات هندسة: المولد؛ حماية التردد الزائد؛ حماية التردد المحاكاة بد MATLAB.

---

## Résumé :

Dans une centrale, l'alternateur est la partie principale de la production de l'énergie électrique, comme tout organe il est exposé à des dommages et des défauts destructeurs. Afin d'assurer une protection éventuelle à son bon fonctionnement, tout un système de protections préventives est mis en place. Deux simulations de protection externe « protection à maximum de voltage 59 » et interne « protection de fréquence 81 » ont été accomplies au moyen du logiciel de programmation/Simulation MATLAB dans le but d'étudier leurs sensibilités aux défauts les plus rencontrés.

**Mots clés :** Alternateur ; protection à maximum de voltage ; protection de fréquence ; Simulation par MATLAB.

---

## Abstract :

In a power station, the alternator is the main part of the production of electrical energy, as any organ, it is exposed to damage and destructive defects. In order to ensure a possible protection to its good functioning, a whole system of preventive protections is put in place. Two simulations of external protection "overvoltage protection 59" and internal "over frequency 81" were performed using MATLAB programming / simulation software in order to study their sensitivity to the most frequently encountered faults.

**Keywords:** Generator; overvoltage protection; frequency protection; Simulation by MATLAB.

## Listes des acronymes et des abréviations

**SPE** : Société de Production d'Electricité.

**TG** : Turbine à gaz.

**TV** : Turbine à vapeur.

**ANSI** : American National Standard Institut.

**CEI** : Commission Electrotechnique International.

**DIN** : Dutch Institute for Normaly.

**RTD** : Resistance Temperature Detectors.

**FLP** : Facteur limite de précision.

**FS** : Facteur de sécurité.

**JDB** : Jeux de barres.

**MVA** : Mégawatt, Méga volte ampère.

**HTA** : Haute tension type A.

**HT** : Haute tension.

**MT** : Moyenne tension.

**BT** : Basse tensions.

**TC** : Transformateur de courant.

**TT** : Transformateur de tension.

**ME** : Entrées mesures.

**AE** : Entrées analogiques.

**E** : Force électromotrice induite.

**I<sub>cc</sub>** : Courant de court-circuit.

**I<sub>cc3</sub>** : Courant de court-circuit triphasé.

**I<sub>cc2</sub>** : Courant de court-circuit biphasé.

**I<sub>t</sub>** : Courant de court-circuit monophasé.

**V<sub>n</sub>** : Tension simple nominale.

**U<sub>n</sub>** : Tension nominale.

**I<sub>n</sub>** : Courant nominale.

**S<sub>n</sub>** : Puissance apparente nominale.

**P** : Puissance active.

**Zd** : Impédance directe.

**Zi** : Impédance inverse.

**Zo** : Impédance homopolaire.

**Rn** : Résistance de mise à la terre.

**X''d** : Réactance directe subtransitoire.

**X'd** : Réactance directe transitoire.

**Xd** : réactance directe synchrone.

**Xi** : Réactance inverse.

**Xo** : Réactance homopolaire.

**T''d** : constante de temps subtransitoire.

**T'd** : constante de temps transitoire.

**Ta** : Constante de temps apériodique.

**PU** : Per Unit.

$\square I$  : Courant différentiel.

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Logo de SONELGAZ.....	2
<b>Figure 1.2</b> : Logo SPE Algérie.....	3
<b>Figure 1.3</b> : Puissance installé par constructeur. [1].....	3
<b>Figure 1.4</b> : schémas simplifié principaux organes constituant un groupe de production électrique [7] .....	5
<b>Figure1.5</b> : Turbine a gaz SIEMENS V94.3A .....	6
<b>Figure 1.6</b> : Schémas descriptif du fonctionnement de la turbine à gaz .....	7
<b>Figure 1.7</b> : Alternateur ANSALDO WY21Z-092RR .....	8
<b>Figure1.8</b> : Noyau du stator .....	9
<b>Figure1.9</b> : Les bornes de l'alternateurs WY21Z-092RR. [4].....	11
<b>Figure1.10</b> : La partie mobile de la machine. [4].....	10
<b>Figure 1.11</b> : Corps du rotor de l'alternateur WY21Z-092RR. [2].....	12
<b>Figure1.12</b> : Les paliers de l'alternateur. [2] .....	12
<b>Figure 1.13</b> Bagues collectrices de l'alternateur. [2] .....	13
<b>Figure 1.14</b> : Schéma de principe de la partie puissance du dispositif d'excitation. [3] .....	17
<b>Figure 1.15</b> : Réfrigérants d'aire-eau. [4] .....	18
<b>Figure 1.16</b> : Circulation de l'air dans l'alternateur WY21Z-092. [2] .....	19
<b>Figure 2.1</b> : Eléments d'un système de protection [2].....	24
<b>Figure 2.2</b> : Transformateur de courant .....	27
<b>Figure 2.3</b> : schématisation d'un transformateur de courant. [3] .....	29
<b>Figure 2.4</b> : Exemple de classe de précision pour la protection d'un TC [3].....	30
<b>Figure 2.5</b> : Exemple de classe pour la protection d'un TC de protection. [3] .....	32

<b>Figure 2.6 : Relais électromécaniques. [5]</b> .....	38
<b>Figure 2.7 : le relais de contrôle de fréquence RM35HZ</b> .....	43
<b>Figure 2.8 : Schémas de RM35-HZ</b> .....	44
<b>Figure 2.9 : Contrôle de sur et sous-fréquence</b> .....	45
<b>Figure 2.10 : Protection d’alternateur avec protection différentielle</b> .....	48
<b>Figure 3.1 : Représentation des différents défauts statoriques.[19]</b> .....	53
<b>Figure 3.2 : Forme du courant de court-circuit Icc. [20]</b> .....	55
<b>Figure 3.3: Défaut triphasé. [19]</b> .....	57
<b>Figure 3.4 : Défaut triphasé isolé. [19]</b> .....	58
<b>Figure 3.5 : Défaut monophasé. [19]</b> .....	59
<b>Figure 3.6 : Mise à la terre du stator</b> .....	61
<b>Figure 3.7 : Schéma synoptique des protections de l’alternateur</b> .....	62
<b>Figure 3.8 : Schémas unifilaires de la protection d’alternateur CANAL A [16]</b> .....	65
<b>Figure 3.9 : Schémas unifilaires de la protection d’alternateur CANAL B [17]</b> .....	65
<b>Figure 3.10 : Schémas de circuit de la protection 100% masse stator</b> .....	66
<b>Figure 3.11 : Protection contre les défauts (entre spires) utilisant des TC séparés</b> .....	69

<b>Figure 4.1</b> : Modèle simulé de la protection contre la surtension 59 .....	76
<b>Figure 4.2</b> : Les paramètres de relais de surtension .....	77
<b>Figure 4.3</b> : le sous-système de relais de surtension .....	78
<b>Figure 4.4</b> : Le programme de fonctionnement de relais de surtension .....	78
<b>Figure 4.5</b> : Tension triphasé dans le fonctionnement normal.....	79
<b>Figure 4.6</b> : Tension triphasé avec l'intervention de relais.....	80
<b>Figure 4.7</b> : Modèle simulé de la protection contre la sûr/sous fréquence .....	81
<b>Figure 4.8</b> : Relais de contrôle de fréquence .....	82
<b>Figure 4.9</b> : Paramètres bloc : relais de fréquence .....	83
<b>Figure 4.10</b> : Le sous-système de relais de fréquence.....	84
<b>Figure 4.11</b> : Le programme de fonctionnement de relais de fréquence.....	84
<b>Figure 4.12</b> : La fréquence en fonctionnement normal .....	85
<b>Figure 4.13</b> : Tension triphasé en fonctionnement normal.....	85
<b>Figure 4.14</b> : La fréquence dans le cas de défaut sous fréquence .....	86
<b>Figure 4.15</b> : Tension triphasé en cas de défaut sous fréquence .....	87
<b>Figure 4.16</b> : La fréquence dans le cas de défaut sur fréquence .....	87
<b>Figure 4.17</b> : Tension triphasé en cas de défaut sur fréquence .....	88



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Caractéristique technique de l’alternateur de LARBAA [2] .....	21
<b>Tableau 2.1</b> : Limit d’erreur selon la classe de précision [3].....	21
<b>Tableau 2.2</b> : Transformateurs de courant utilisés dans la centrale .....	22
<b>Tableau 2.3</b> : Limite d’erreur selon la classe de précision. [3] .....	26
<b>Tableau 2.4</b> : Données techniques de transformateur de courant [3].....	27
<b>Tableau 2.5</b> : Précision d’un TT de mesure. [3].....	28
<b>Tableau 2.6</b> : Précision d’un TT de mesure. [3].....	30
<b>Tableau 2.7</b> : Grandeurs de mise sous tension, valeurs nominales et limites .....	30
<b>Tableau 4.1</b> : Le système de simulation et signification.....	30

## Table des matières :

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

---

### Chapitre 1 : Généralités

1.1	Introduction .....	1
1.2	Présentation de la société SONELGAZ et la filiale SPE .....	2
1.3	Présentation de la centrale électrique LARBAA.....	4
1.4	Description de la tranche de production .....	4
1.4.1	Turbine à gaz.....	5
1.4.1.1	Description générale d'une turbine .....	5
1.4.1.2	Turbine à gaz SIEMENS V94.3A .....	5
1.4.1.3	Principe de fonctionnement .....	6
1.4.2	L'alternateur.....	7
1.4.2.1	Définition .....	7
1.4.2.2	Les alternateurs WY21Z-092RR de la centrale électrique LARBAA.....	7
1.4.2.3	Description des alternateurs ANSALDO WY21Z-092RR.....	8
1.4.2.4	Fonctionnement des alternateurs ANSALDO WY21Z-092RR.....	16
1.5	Conclusion.....	20

---

### Chapitre 2 : Dispositifs de mesure et de protection

2.1	Introduction .....	21
2.2	Qualité nécessaire pour un système de protection .....	22
2.2.1	Vitesse .....	22
2.2.2	Fiabilité .....	22
2.2.3	Sensibilité .....	23
2.2.4	Sécurité.....	23
2.3	Éléments d'un système de Protection .....	24
2.3.1	Réducteur de mesure.....	25

2.3.2	Transformateurs de courant .....	26
2.3.3	Transformateur de tension.....	34
2.3.4	Relais de protection.....	31
2.3.4.1	Relais électromécaniques .....	38
2.3.4.2	Relais statiques .....	39
2.3.4.3	Relais numérique .....	40
2.3.5	Principe de fonctionnement des relais de protection .....	40
2.3.5.1	Relais de mesure de courant.....	41
2.3.5.2	Relais de mesure de tension .....	41
2.3.5.3	Relais de mesure d'impédance .....	42
2.3.5.4	Relais de mesure de puissance.....	42
2.3.5.5	Relais directionnel .....	42
2.3.5.6	Relais différentiel.....	43
2.3.5.4	Relais de contrôle de fréquence... ..	43
2.4	Relais de protection de l'alternateur ANSALDO WY21Z-092RR.....	45
2.5	Disjoncteur.....	48
2.5.1	Classification des disjoncteurs .....	49
2.5.2	Caractéristiques des disjoncteurs .....	50
2.6	Conclusion.....	51

### Chapitre 3 : Protections et calculs

3.1	Introduction .....	52
3.2	Défauts de fonctionnement .....	52
3.2.1	Les défauts internes .....	52
3.2.2	Les défauts externes .....	52
3.2.2.1	Surcharges .....	54
3.2.2.2	Déséquilibres .....	54
3.2.2.3	Courts-circuits aux bornes de l'alternateur .....	55

3.2.2.4 Calcul du courant de défaut .....	55
3.3 Exploitation du point neutre de l'alternateur .....	60
3.4 Plan de protection des alternateurs.....	62
3.4.1 Protection contre les défauts masse-stator 100% (64 S).....	66
3.4.2 Protection contre les retours de puissance (32).....	67
3.4.3 Protection différentielle alternateur seul (87G) .....	68
3.4.4 Protection à maximum de tension à retard indépendant (59, 27) .....	69
3.4.5 Protection à maximum de courant phase (50/51) .....	71
3.4.6 Protection de fréquence (81) .....	72

## Chapitre 4 : Simulations et résultats.

4.1 Introduction .....	75
4.2 Les éléments utilisés dans la simulation .....	75
4.3 Protection contre la surtension.....	76
4.3.1 Simulation de la protection contre la surtension .....	77
4.4 Protection contre la sous/sur fréquence.....	81
4.4.1 Simulation de la protection contre la sous/sur fréquence .....	85
4.5 Conclusion.....	89

Conclusion générale.....	90
Bibliographie.....	91

La sécurité de fonctionnement des systèmes est une préoccupation majeure dans le secteur industriel, et les concepteurs recherchent des moyens d'assurer un fonctionnement continu de la délivrance d'énergie électrique aux utilisateurs. Pour cette raison, la mise hors de danger des différents organes du système de production d'énergie électrique est une préoccupation primordiale.

Les principaux éléments dans les centrales électriques sont la turbine et l'alternateur ( appelé turbo-alternateur) , ce dernier a pour rôle de convertir l'énergie mécanique produite par la turbine en mouvement, en énergie électrique. donc il est considéré comme le cœur de la production de l'énergie électrique, Ce qui donne une importance à sa sureté de fonctionnement et la mise hors danger de ces différents éléments.

Selon les études que nous avons étudiées dans la centrale électrique de Larbaa , il existe de nombreux défauts (internes et externes) qui représentent un grand danger pour l'alternateur en particulier et le secteur industriel en général et pour citer ces défauts d'une façon générale : les courts-circuits , défaut d'isolement , surintensité , surtension , déséquilibre de la fréquence ....etc. et d'un autre côté aussi il y a Plusieurs éléments de protection sont programmés pour protéger l'alternateur contre les défauts internes et externes, chaque élément dispose de ses propres réglages et fonctionne selon un principe unique.

Avant de commencer de préparer notre mémoire , on a bien analysé notre thème et on a trouvé que la plupart des études étaient focalisé sur la protection différentielle et sur la Surintensité, pour cette raison notre contribution , vient pour la prise en charge du thème par un autre coté ,protection de l'alternateurs contre les surtensions et la sur/sous fréquence pour compléter la série de mesures prises en ce sens .

On dit qu'il y a surtension électrique lorsque la tension apportée est supérieure à la tension maximale prévue dans le circuit électrique par contre la sur/sous fréquence c'est le cas où la fréquence d'une installation dépasse ses limites acceptables , alors pour protéger l'alternateur contre la surtension et la sur/sous fréquence , on a utilisé des relais de protection pour commander les disjoncteurs , Pour cela nous visons à modéliser ces deux protections et les simuler contre les défauts citer en utilisant MATLAB SIMULINK.

## **1 Généralités :**

### **1.1 Introduction :**

Les alternateurs de production électrique peuvent, comme tous les appareils industriels, être sensibles aux différentes perturbations affectant leurs fonctionnements. Les incidents qui peuvent survenir sur un groupe turboalternateur engendrent son immobilisation sur un intervalle de temps allant de plusieurs heures à plusieurs semaines, occasionnant ainsi des pertes en énergies dans un réseau électrique et un coût de réhabilitation et de remise à point très important.

Ces défauts, ainsi que les conditions anormales de fonctionnement, doivent donc être détectés rapidement et spontanément pour permettre la séparation électrique entre la machine et le réseau auquel elle est raccordée afin d'arrêter la propagation du défaut vers d'autres équipements et ouvrages électriques.

Le rôle des relais de protections électriques est de détecter les différents défauts possibles, et d'élaborer les actions nécessaires de signalisation et d'ouverture des dispositifs de coupure notamment le disjoncteur de groupe reliant la machine au réseau ou/et le disjoncteur d'excitation. Toutefois ces actions doivent être sélectives et dans la plupart des cas temporisées, pour permettre une protection intelligente et plus sûre.

Ce chapitre (1) présente l'alternateur **WY21Z-092RR** qu'on donnera sa constitution, ses données techniques ainsi que son mode de fonctionnement détaillé, et nous verrons aussi comment se fait la conversion d'énergie au niveau de l'unité de production LARBAA.

## 1.2 Présentation de la société SONELGAZ et la filiale SPE : [6]

La société nationale d'électricité et du gaz SONELGAZ détient le monopole de gestion de l'énergie électrique dans notre pays. Elle est née de l'ancienne société publique de l'électricité et du gaz d'Algérie en 1968.

Actuellement, la SONELGAZ assure la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz et des travaux de réalisation de certains projets de ces derniers sur le territoire national tout en visant à répondre de manière régularisée, sûre et permanente aux besoins réclamés par l'immense clientèle.



Figure 1.1 : Logo de SONELGAZ.[6]

La société de production d'électricité est l'acteur principal et historique sur la scène nationale de la production de l'électricité, elle dispose du plus grand parc de production avec

Plus de 20 GW développés à ces jours, ce qui lui confère une position du premier opérateur sur le réseau interconnecté. Elle est présente sur tout le territoire national.

Créé en janvier 2004, Elle a pour mission la production d'électricité à partir des sources thermiques et hydrauliques répondants aux exigences de disponibilité, fiabilité sécurité et protection de l'environnement. Elle est également chargée de commercialiser l'électricité produite.



Figure 1.2 : Logo de SPE Algérie.[6]

La répartition de la puissance installée par filière et par producteur pour l'année 2015 est illustrée dans les graphiques ci-après :

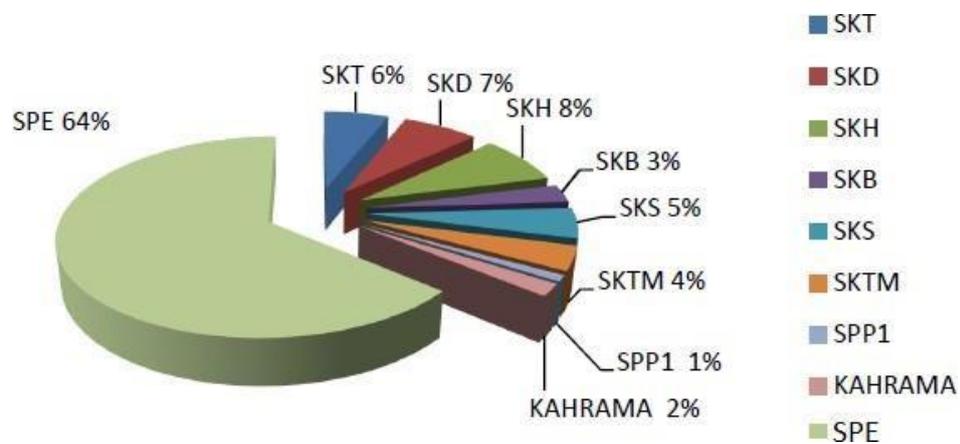


Figure 1.3 : Puissance installé par constructeur. [6]

Le parc de production national est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE) et de Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM), ainsi que des sociétés en partenariat.

### **1.3 Présentation de la centrale électrique LARBAA : [6]**

Elle est située à HAI BELAOUADI commune de LARBAA W BLIDA, Sa mission est d'assurer la production d'électricité et la maintenance des moyens de production.

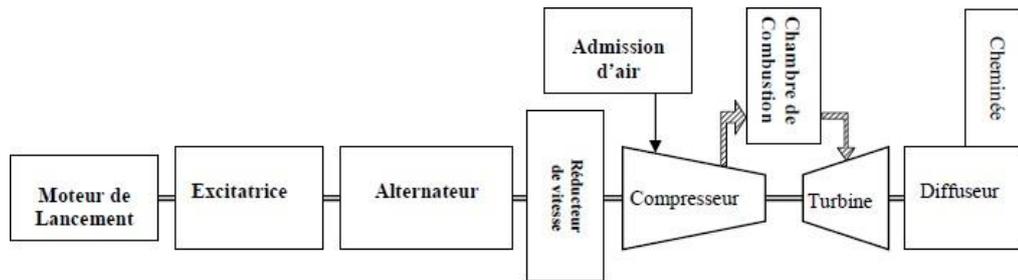
D'une part, elle est destinée à faire face à la demande d'énergie résultante de l'implantation de divers aménagement industriels, tertiaires et domestiques, et d'autre part pour assurer un appoint du réseau général interconnecté. La conception de ces installations est réalisée de sorte à permettre un haut degré d'autonomie de fonctionnement, ou chaque groupe pourra démarrer rapidement à partir de l'état froid. Elle a été mise en service en 2009 par le constructeur italien ANSALDO ENERGIA.

### **1.4 Description de la tranche de production :**

La construction de la centrale de Larbaa a été décidée dans le cadre de la réalisation du plan 2000 MW qui compte sept centrales électriques de type turbines à gaz : les centrales de Batna, Relizane, Larbaa, Alger Port, Oran Est, Annaba et M'sila. Pour rappel, près de 2 milliards de dollars US ont été engagés pour réaliser le plan 2000 MW dont la mise en service est prévue au courant de l'année 2009. Pour rappel, près de 2 milliards de dollars US ont été engagés pour réaliser le plan 2000 MW dont la mise en service est prévue au courant de l'année 2009.

La tranche de production est composée des éléments suivants :

- Turbines à gaz.
- Alternateur.
- Transformateur principal.
- Les auxiliaires. (Groupe diesel de secours, système de virage, climatisation ...ect).



**Figure 1.4 :** schémas simplifié principaux organes constituant un groupe de production électrique [7]

### 1.4.1 Turbine à gaz : [3]

#### 1.4.1.1 Généralités sur la turbine :

Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz...). Le turboréacteur est une turbine à gaz particulière qui utilise le principe de la réaction pour propulser certains types d'avions rapides.

#### 1.4.1.2 Turbine à gaz SIEMENS V94.3A :[7]

La turbine à gaz V94.2 de puissance nominale de 139.9MW se base sur une conception à un seul arbre: elle comprend un compresseur axial à seize (16) phases et une turbine axiale à quatre (4) phases avec un rotor un commun.

Le rotor se compose d'une section avec arbre de front, seize (16) disques à lame du compresseur, un arbre creux central, quatre (4) disques à lame de la turbine et un arbre arrière, tout assemblé par un seul boulon central avec un contre-écrou à l'extrémité de la turbine.

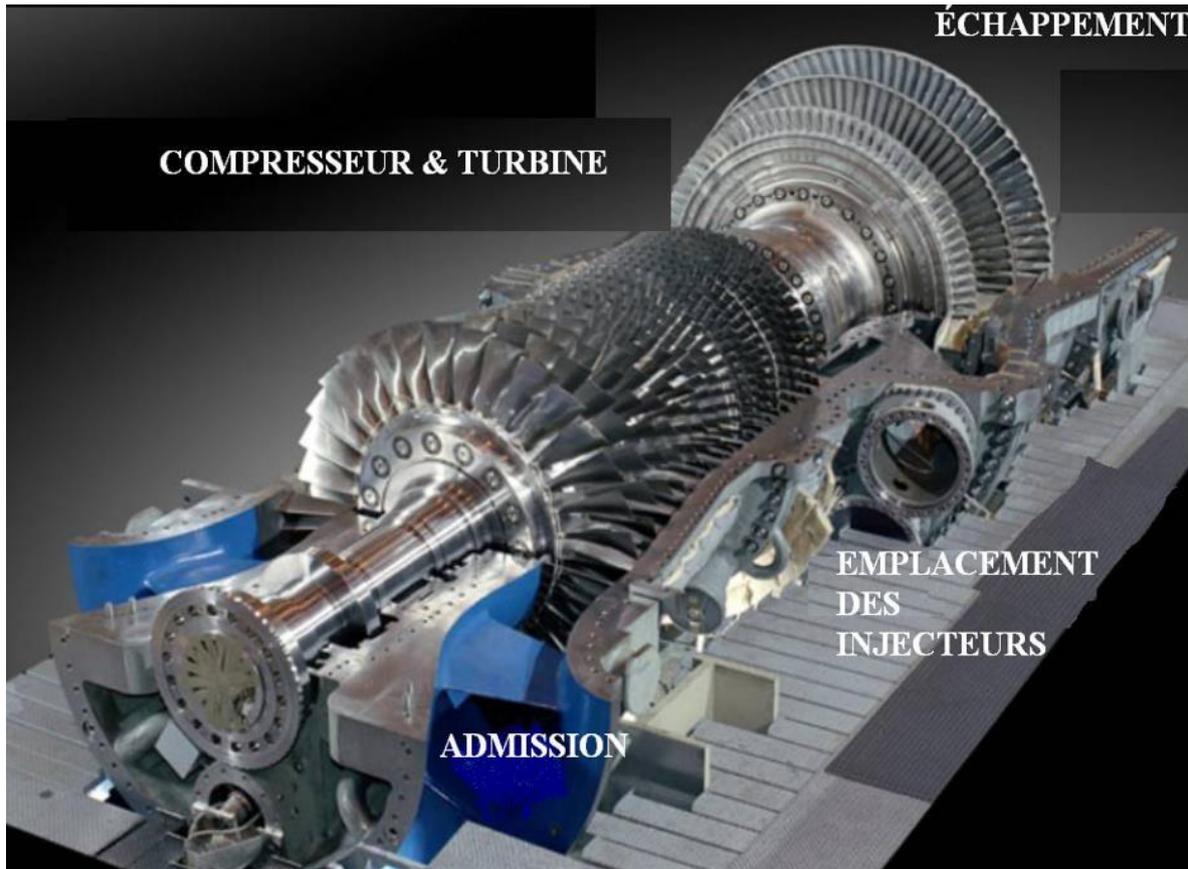


Figure 1.5 : Turbine à gaz SIEMENS V94.3A. [7]

#### 1.4.1.3 Principe de fonctionnement : [7]

Les gaz chauds entrent dans la turbine par bâti spéciale et sont repartis sur toute la périphérie de la première grille d'aubes fixes. Ils se détendent dans la turbine en produisant l'énergie mécanique nécessaire à la mise en rotation de la ligne d'arbre. Les étages d'ailettes exposées aux hautes températures sont refroidis par une partie de l'air provenant du compresseur.

Les gaz d'échappement sont conduits après la turbine axialement dans le diffuseur qui est formé d'un cône double comprenant des trous permettant l'accès au dernier palier du bloc thermique. Des déflecteurs placés dans la partie inférieure de la cheminée dirigent ces gaz vers le haut à travers des silencieux résistant aux hautes températures.

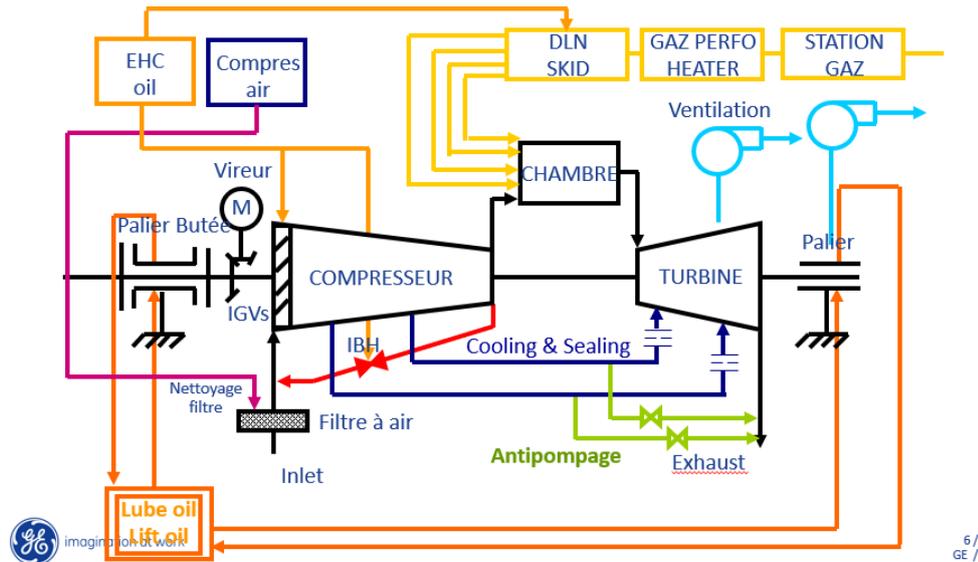


Figure 1.6 : Schéma descriptif du fonctionnement de la turbine à gaz.[7]

**1.4.2 L’alternateur :**

**1.4.2.1 Définition :**

Un alternateur est un générateur électrique qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique sous la forme d'un courant alternatif. C'est une machine synchrone fonctionnant comme toutes les machines synchrones à une vitesse dépendante du champ magnétique tournant et du nombre de pôles entraîné par une turbine à gaz. Les alternateurs dans les centrales électriques alimentées par des turbines à gaz sont appelés turbo- alternateurs. Les alternateurs triphasés de 50 ou 60 Hz dans les centrales électriques génèrent la plus grande partie de l'énergie électrique mondiale avec la puissance allant jusqu'à 1500MW distribuée par des réseaux électriques.

**1.4.2.2 Les alternateurs WY21Z-092RR de la centrale électrique LARBAA : [2]**

Les alternateurs de la centrale LARBAA sont de type ANSALDO WY21Z-092RR d'une puissance apparente de 190 MVA à pôles lisses avec enroulement triphasés au stator, et excitation au rotor. L'alternateur élémentaire comporte essentiellement deux enroulements statoriques dit induit et rotorique dit inducteur.



Figure 1.7 : Alternateur ANSALDO WY21Z-092RR. [4]

#### 1.4.2.3 Description des alternateurs ANSALDO WY21Z-092RR :

##### a. Stator : [5]

Le stator comprend deux sections divisées horizontalement de cadre boulonnée ensemble, le noyau de statorique assemblé et l'enroulement. Fractionnement du cadre en sections accélère la livraison de la génératrice et facilite l'érection de statorique et les opérations de maintenance.

Le noyau est refroidi par passage d'air à travers des conduits radiaux entre les paquets de tôles.

Le noyau de stator autoporteur est assemblé et soudé à la partie inférieure du boîtier de telle manière à permettre une dilatation thermique et des vibrations de base sans une transmission à la fondation. Le stator possède un bar à deux couches transposée bobinage isolés avec du papier mica F classe sur la bande de fibre de verre (système d'isolation riche en résine). Les barres sont calées fermement dans les rainures au moyen de cales d'encoche verre-époxy et d'un ressort d'entraînement pour empêcher le desserrage après un long service.



**Figure 1.8:** Noyau du stator. [4]



**Figure 1.9 :** Les bornes de l'alternateur WY21Z-092RR. [4]

#### **b. Rotor : [5]**

Le corps de rotor est fabriqué dans un alliage d'acier unique de forgeage avec d'excellentes propriétés magnétiques et mécaniques. Pièces forgées sont achetées uniquement auprès de fournisseurs qualifiés et complètement contrôlés par échantillonnage et le contrôle par ultrasons.

Le bobinage du rotor est constitué de conducteurs rectangulaires creux en cuivre écroui allié à l'argent pour augmenter la résistance à la température de fonctionnement. L'enroulement du rotor peut étendre uniformément la longueur pour garantir le bon déroulement et la sensibilité minimale aux variations de charge rapides. Tous les matériaux d'isolation utilisés dans le rotor sont conformes aux spécifications de la classe F.

La surface du rotor est protégée contre les courants provoqués par des charges non équilibrées grâce à des cales de haute conductivité spéciales et les anneaux court-circuit sous joncs circulation.

Les anneaux de retenue détiennent la liquidation en place extrémité rotor.

Le rotor est supporté par deux paliers avec douilles métalliques blancs transportées dans des socles d'appui.



**Figure 1.10** : La partie mobile de la machine. [4]

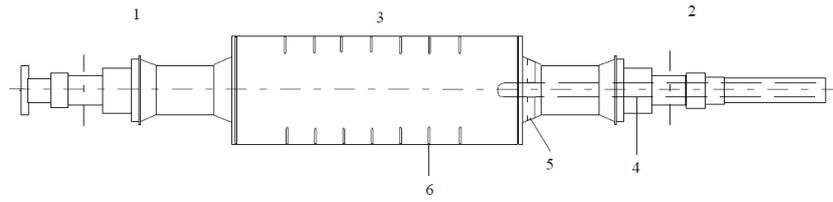


Figure 1.11 : Corps du rotor de l'alternateur WY21Z-092RR. [2]

- 1. Arbre à l'extrême de la turbine
- 2. Arbre a l'extrême du collecteur
- 3. Corps du rotor (partie centrale)
- 4. Trous pour les connexions de l'exciteur bride
- 5. Trous radiaux pour des boulons de connexion
- 6. Gorge transversale dans les surfaces polaires

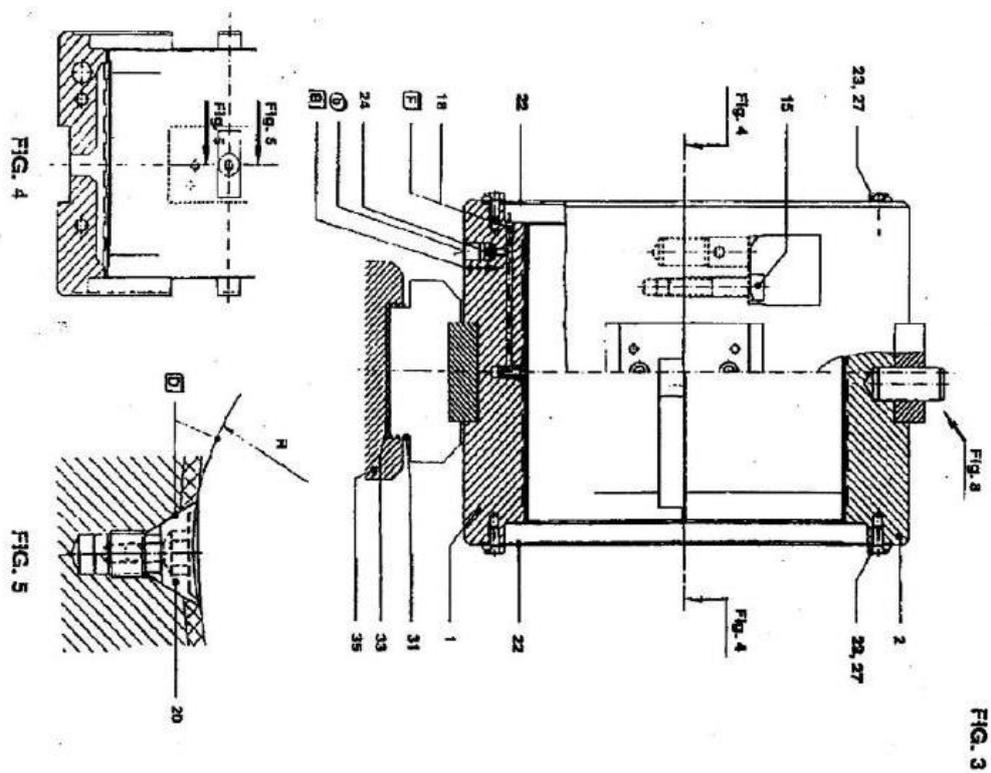


Figure 1.12 : les paliers de l'alternateur. [2]

L'air atmosphérique, prélevé de la turbine ou du milieu extérieur par le vide existant dans le support du palier, est fait circuler avec un mouvement tourbillonnaire et dépressurisé dans le labyrinthe à travers plusieurs étranglements réalisés par des petits trous situés entre les éléments fixes du joint d'étanchéité 7 et l'arbre [J], de manière que seulement une petite quantité d'air sorte de la dernière ouverture à l'intérieur du support du palier. Ce petit trou d'air atmosphérique à travers le joint de l'arbre empêche des fuites et des égouttements d'huile à l'extérieur.

Toute fuite d'huile au-delà de la ligne III des éléments du joint est déposée dans l'espace [K] et reportée sur le côté du palier [B], à l'intérieur du support du palier à travers les trous de retour de fuites d'huile [L].

L'extracteur de vapeurs d'huile, par l'intermédiaire des tuyaux de retour d'huile, maintient le vide du support du palier [système (b)]. La gouttière pour l'huile [E] évite que l'huile lubrifiante déposée à l'intérieur du support du palier [B] dégoutte sur l'arbre et pénètre dans le joint d'arbre.

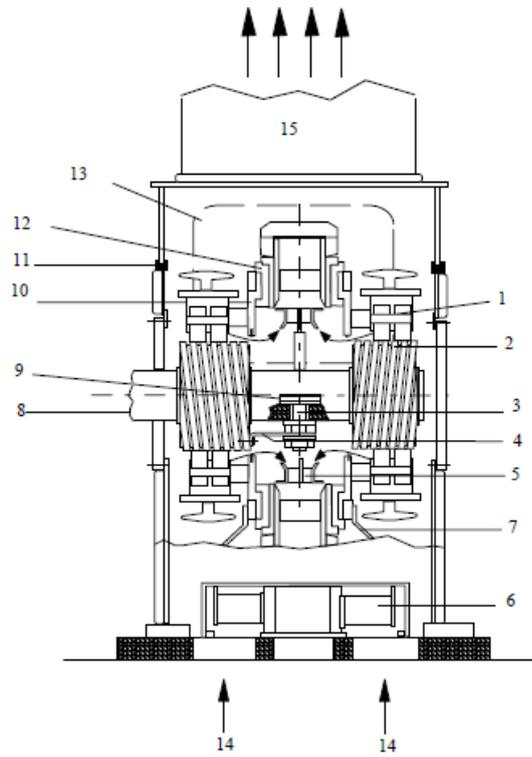


Figure 1.13 : Bagues collectrices de l'alternateur. [2]

1. Balais et porte-balais
2. Bague collectrice
3. Connexion radiale
4. Connexion à la bague collectrice
5. Ventilateur
6. Support isolant pour conducteurs
7. Conducteurs d'alimentation
8. Rallonge de l'arbre du générateur
9. Connexions du courant d'excitation axiale
10. Culbuteurs pour balai en deux parties, partie sous tension
11. Joint en caoutchouc
12. Culbuteurs pour balai en deux parties, partie isolante
13. Fenêtre, ouverture
14. Entrées d'air
15. Sortie d'air

Les bagues collectrices et les porte-balais transmettent le courant d'excitation du système d'excitation statique fixe à l'enroulement du champ tournant. Les bagues collectrices sont cannelées et ont été placées sur une rallonge de l'arbre, sur le côté opposé de l'accouplement. L'arbre est isolé et les bagues collectrices sont donc emboîtées sur celui-ci pour rester bloqués en position. Les porte-balais, avec la chambre d'anneaux, sont montés sur une plaque. Les balais et les bagues collectrices peuvent être observés à travers les fenêtres de la chambre d'anneaux.

## c. Caractéristiques techniques des alternateurs WY21Z-092RR : [2]

Caractéristique technique de l'alternateur de LARBAA	
Constructeur	ANSALDO ENERGIA
Type	WY21Z-092
Sens de rotation (coté turbine)	Horaire
Puissance nominale	190 MVA
Tension nominale (sortie alternateur)	15.50 KV
Facteur de puissance nominale	0.9
Fréquence nominale	50 Hz
Courant nominale	7077 A
Vitesse nominale/sur vitesse (essais pendant 2 minutes)	3600 Tr/min
Nombre et couplage des phases	3/Y
Type du système d'excitation	Statorique
Courant d'excitation à puissance nominale	1267 A
Tension d'excitation a puissance nominale(105C)	249 V
Type de refroidissement des enroulements du stator	Indirect
Type de refroidissement des enroulements du rotor	Direct
Température de l'hydrogène de refroidissement	35 C
Température d'enroulements statiques (par RTD)	121 C
Température d'enroulements rétorques (par résistances)	105 C
Moment d'inertie (WR2)	5091 Kgm2
Degré de protection (code IP)	IP 54
Rendement conventionnel puissnace nominale	98.75 %
Refroidissement	Air

**Tableau 1.1** : Caractéristique technique de l'alternateur de LARBAA [2]

#### 1.4.2.4 Fonctionnement des alternateurs ANSALDO WY21Z-092RR :

##### a. démarrage et excitation :

Le transformateur d'excitation, opportunément projeté pour l'alimentation d'un convertisseur, est de type 3phase à sec, avec des enroulements MT englobé et BT imprégnés en résine. Il est refroidi avec air naturel; les températures des enroulements et du noyau sont tenues sous contrôle par des capteurs du type Pt100. E' prévu un blindage entre enroulement primaire et secondaire. Quand le transformateur n'est pas positionné dans une chambre dédiée, il est contenu dans une armoire spéciale de protection avec grilles.

La configuration proposée prévoit la redondance du canal de régulation (AVR, comprenant le régulateur, le déphaseur et son alimentateur) et aussi du convertisseur à thyristors. La désexcitation rapide est obtenue par le désexcitateur statique (crow-bar).

- **Convertisseur à thyristors :**

Le convertisseur de puissance utilise 2 ponts 3phases unidirectionnels total-contrôlés. Le choix des thyristors, des circuits d'atténuation et des 'snubber', pour la protection du convertisseur contre les surtensions, est faite pour garantir son fonctionnement avec marges opportunes sur la tension secondaire à vide du transformateur d'excitation. La sécurité générale est sauvegardée en appliquant ultérieurement, dans le choix des thyristors, des coefficients de majoration par rapport au courant de taille calculé.

- **Redondance du convertisseur :**

Le convertisseur de puissance est prévu avec redondance pour augmenter le degré de fiabilité' du système: l'utilisation de deux ponts identiques en parallèle, un de réserve à l'autre (un pont travaille et l'autre est prêt à intervenir), garantit la continuité de fonctionnement du système. Chaque pont est piloté par le régulateur à travers le déphaseur et le stade final d'amplification des impulsions. Une éventuelle panne au pont en marche provoque la commutation automatique sur l'autre pont de réserve.

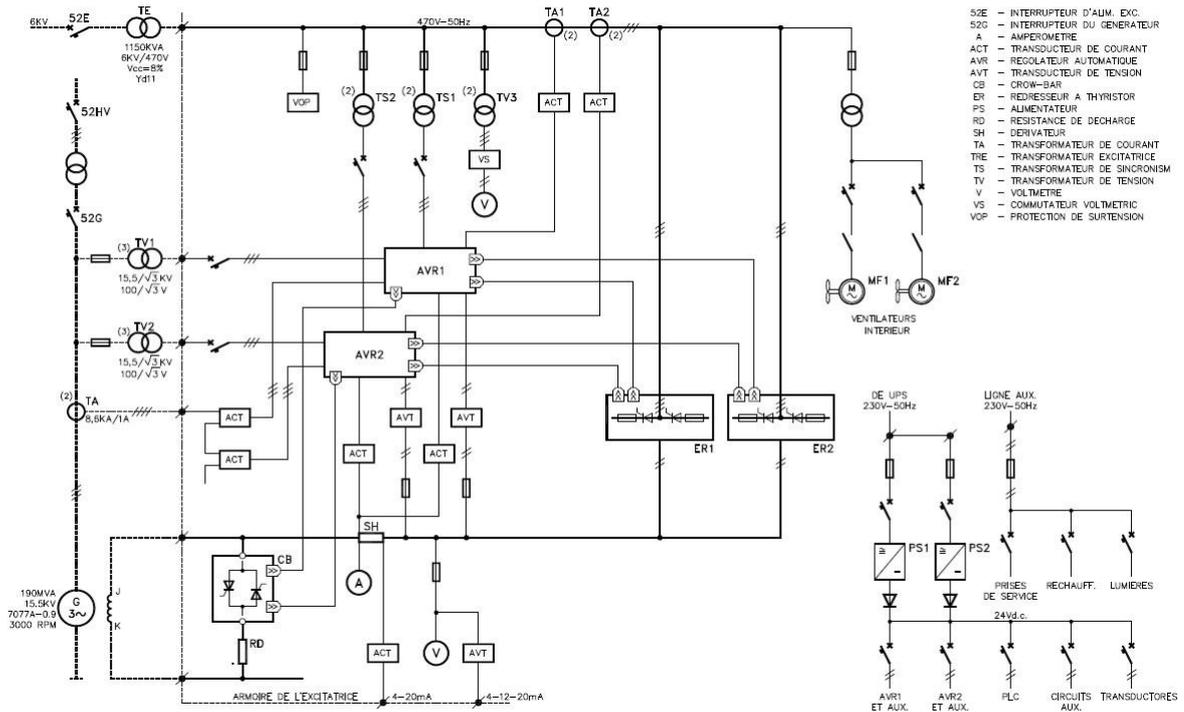


Figure 1.14 : Schéma de principe de la partie puissance du dispositif d'excitation. [3]

Les données principales du transformateur d'excitation :

- Tension primaire [V] 6000
- Tension secondaire à vide [V] 470
- Puissance nominale [kVA] 1150
- Fréquence nominale [Hz] 50
- Réactance de court circuit [%] 8
- Groupe vectoriel Yd11
- N° des prises du primaire/ $\Delta V$  (commutateur à vide)  $5 \pm 2 \times 2.5 \%$
- Classes de température primaire et secondaire F/F

**b. synchronisation de l'alternateur :**

Durant le couplage de l'alternateur avec le réseau, il existe des conditions à respecter qui sont :

- la valeur de la fréquence de l'alternateur doit la même avec du réseau.
- la valeur de la tension de l'alternateur doit la même avec du réseau.
- la concordance des phases est la même.

**c. Refroidissement :**

Même si le rendement des alternateurs est excellent les puissances dissipées sous forme de pertes joules sont énormes et ceci dans un volume limité. Il est donc nécessaire de mettre en place des systèmes d'évacuation des calories basés sur l'utilisation de fluides caloporteurs circulants dans le stator, dans le rotor ainsi que dans les conducteurs statoriques. Le schéma de refroidissement d'un alternateur est donné ci-dessous :



**Figure 1.15 :** Réfrigérants d'air et eaux.[4]

Les ventilateurs axiaux fournissent l'air de refroidissement au générateur autoventilé. Il dispose de deux circuits d'air de refroidissement parallèles, chacun d'entre eux alimenté par un ventilateur axial propre. Ces circuits de refroidissement sont symétriques sur le plan moyen du générateur, tel qu'il est illustré sur la fig. 1.16.

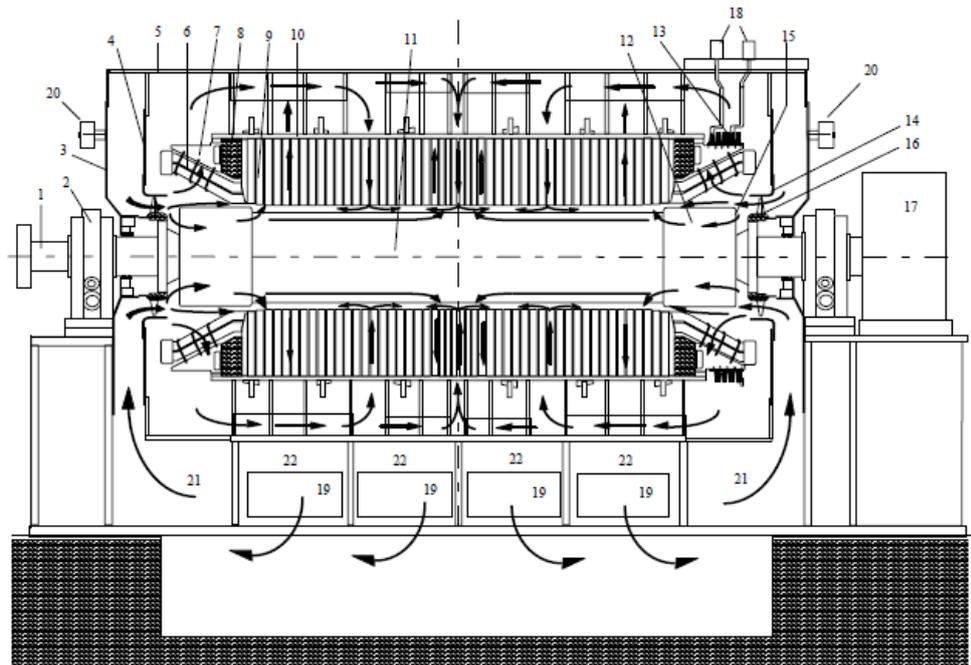


Figure 1.16 : Circulation de l'air dans l'alternateur WY21Z-092 [2]

- |   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
| 1. Côté accouplement                    | 2. Module de support          | 3. Couverture frontale                   |
| 4. Couverture frontale int. du stator   | 5. Carcasse du stator         | 6. Extrême d'enroulement                 |
| 7. Bride de support                     | 8. Plaque de compression      | 9. Paquet de tôles avec conduits radiaux |
| 10. Barres de compression               | 11. Rotor                     | 12. Circlips                             |
| 13. Bagues de connexion de phase        | 14. Volet de guidage de l'air | 15. Bague de centrage                    |
| 16. Ventilateur                         | 17. Excitatrice tournante     | 18. Terminal                             |
| 19. Réfrigérateurs                      | 20. Filtre remplaçable        | 21. Air froid                            |
| 22. Air chaud direct aux réfrigérateurs |                               |  |

### 1.5 Conclusion :

Après l'introduction de l'alternateur ANSALDO **WY21Z-092** pour la centrale LARBAA, sa description, son principe de fonctionnement et ses conditions de mise en service, l'alternateur est considéré comme l'un des organes importants de génération d'énergie électrique. Des équipements sont utilisés pour assurer sa protection.

Le choix de ces équipements forme une grande partie de cette protection (transformateurs de courant et de tension, capteurs de température et relais), ils permettent de surveiller, détecter et éliminer toutes conditions anormales affectant l'alternateur, ces équipements seront décrits dans le chapitre suivant.

L'alternateur est une partie importante de la centrale électrique. De ce fait, dans notre travail, nous nous intéressons au plan de protection de SONELGAZ contre d'éventuelles défaillances internes et externes de cette dernière.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté la partie production d'énergie électrique de la centrale LARBAA, qui comprend l'alternateur, et nous avons décrit et détaillé son fonctionnement.

**2.1 Introduction :**

Les alternateurs, comme toutes les machines électriques tournantes peuvent être affectées de défauts de fonctionnement. Ces défauts les rendent en général inaptes à plus ou moins long terme, 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 l'alternateur et le réseau auquel il est raccordé.

Le rôle des relais de protections électriques des alternateurs est de détecter, parmi les différents défauts possibles, ceux d'origine électrique, et d'élaborer les actions nécessaires de signalisation et d'ouverture du dispositif de coupure reliant l'appareil au réseau.

Les transformateurs de tension et de courant sont conçus pour réduire la tension et le courant à des valeurs maniables et proportionnelles aux primaires d'origine. Ils séparent du circuit haute tension les instruments de mesure, capteurs, relais, etc.

Ce chapitre est consacré a la présentation du système et dispositif de protection de l'alternateur ANSALDO WY21Z-092RR ainsi que les qualités requise pour sa mise en marche.

**2.2 Qualité nécessaire pour un système de protection :[1]**

Dans la centrale électrique de LARBAA, l'alternateur ANSALDO WY21Z-092RR est sujet à des défauts. Un défaut est généralement causé par une rupture d'isolation entre un conducteur et la terre ou entre des conducteurs pour diverses raisons. Le résultat est un flux de courant excessif à travers une résistance relativement faible, entraînant des dommages importants à moins d'être éliminé rapidement. Voyons les quatre principaux blocs de construction utilisés pour répondre aux exigences fondamentales de la protection électrique :

**2.2.1 Vitesse :**

En cas de défaillance électrique ou de court-circuit, les dommages produits dépendent en grande partie du temps pendant lequel la faute persiste. Par conséquent, il est souhaitable que les défauts électriques soient interrompus le plus rapidement possible.

Depuis 1965, de grands progrès ont été accomplis dans ce domaine. Relais de détection de défauts à grande vitesse peut maintenant fonctionner en aussi peu que 10 millisecondes et la sortie en 2 millisecondes. L'utilisation de zones de protection minimise les besoins en relais temporisé.

**2.2.2 Fiabilité :**

Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un défaut sur le réseau en tout point conforme à ce qui attendu. A l'inverse, le fonctionnement incorrect comporte deux aspects qui sont le défaut de fonctionnement et le fonctionnement intempestif. Le défaut de fonctionnement ou non fonctionnement lorsqu'une protection qui aurait de fonctionner n'a pas fonctionné. Le fonctionnement intempestif est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour laquelle la protection n'aurait pas à fonctionner.

En effet, la fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect c-à-d évité les déclenchements intempestifs, est une combinaison entre sûreté et sécurité. La sûreté est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement. Tandis que la sécurité est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif [8]. D'avoir un équipement de protection-relais fiable est une exigence de base, Quand relais de protection ne fonctionne pas correctement, les caractéristiques d'atténuation alliées sont en grande partie inefficace. Par conséquent, il est essentiel que

l'équipement de relais de protection soit intrinsèquement fiable, et que son application, son installation et sa maintenance soient de nature à assurer que ses capacités maximales seront réalisées. La bonne application de l'équipement de protection-relais implique le bon choix non seulement de l'équipement de relais, mais aussi des appareils associés. Par exemple, le manque de sources de courant et de tension appropriées pour alimenter les relais peut compromettre, possible d'endommagé, la protection. Contrasté avec la plupart des autres éléments d'un système électrique, les relais de protection reste inactif la plupart du temps. Certains types d'équipement de relais peuvent devoir fonctionner seulement une fois dans plusieurs années.

### **2.2.3 Sensibilité :**

La protection doit pouvoir faire la distinction entre des conditions saines et des défaillances, c'est-à-dire détecter, actionner et déclencher le déclenchement avant qu'un défaut ne devienne dangereux.

D'autre part, la protection ne doit pas être trop sensible et fonctionner inutilement.

Certaines charges prennent des courants de démarrage importants, qui doivent être adaptés pour éviter les déclenchements inutiles lors du déclenchement en cas de défaillance. La capacité du relais à satisfaire à l'exigence de sensibilité est améliorée grâce à l'utilisation de zones de protection.

### **2.2.4 Sécurité :**

Les protections ne doivent isoler que l'équipement défectueux, sans dépassement de l'équipement non affecté. Ceci est accompli par l'utilisation de zones de protection superposées.

### 2.3 Eléments d'un système de Protection [2] :

Le principe de système de protection est accompli sa fonction avec la coopération entre les éléments qui le composent, ces éléments assurent la protection en passant par des étapes à savoir la réduction des grandeurs caractérisant le réseau pour pouvoir les mesurer et donc prendre une décision basée sur une combinaison entre les mesures effectuées. L'ordre de l'exécution est envoyé à l'élément approprié, un élément de coupure pour mettre l'élément en jeu hors service ou un élément d'alarme dans le cas où le défaut ne nécessiterait pas une coupure.

Les grandeurs essentielles caractérisant le réseau électrique sont le courant, la tension. Ce sont des valeurs très importantes. Pour pouvoir exploiter ces deux grandeurs dans le cas de la protection, une réduction est à faire en se servant des transformateurs de mesures (réducteurs de mesures), les grandeurs de sorties de ces transformateurs sont exploitées par les éléments de mesure appelés relais de protection qui décident l'opération qui vient (envoi d'un signal audisjoncteur pour ouvrir le circuit) par exemple. Donc, dans un système de protection on trouve les trois éléments essentiels suivants : transformateurs de mesure, relais de protection, éléments de coupures (disjoncteurs). Ces éléments sont alimentés avec des sources auxiliaires d'énergie généralement, et bien sur interconnectés.

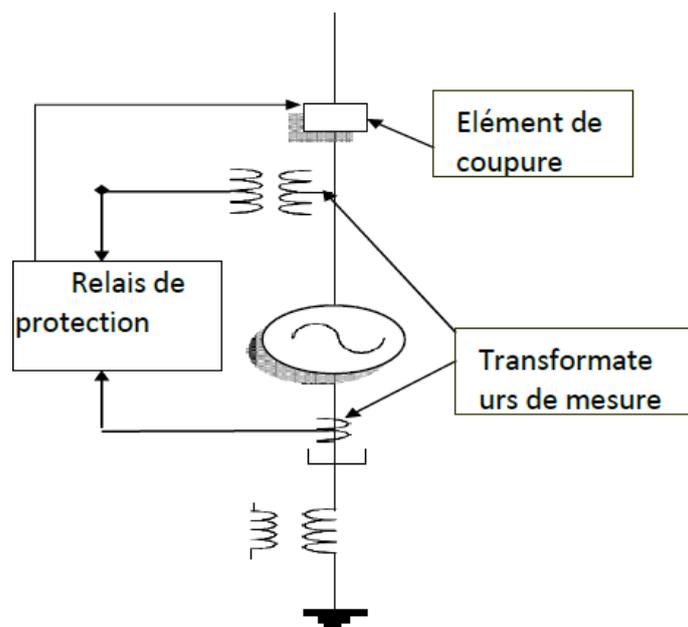


Figure 2.1 : Eléments d'un système de protection [2]

### 2.3.1 Réducteur de mesure :

Les réducteurs de mesure sont les yeux et les oreilles du système de protection de l'alternateur. Cette protection exige une connaissance permanente des deux grandeurs électriques fondamentales que sont le courant et la tension, et pour des raisons techniques, économiques et de sécurité, ces grandeurs ne peuvent être obtenues directement en haute tension ; il est nécessaire d'utiliser des dispositifs intermédiaires dénommés réducteurs de mesure , pour les deux raisons suivantes :

- réduction des valeurs des courants et des tensions à des valeurs compatibles avec les appareils de mesure et de protection
- découplage de ces appareils vis-à-vis des hautes tensions, permanentes ou transitoires, des réseaux.

#### Types de Constructions :

La variété de construction des transformateurs de mesure est liée au niveau de tension auquel ils sont soumis et, dans le cas de la haute tension, à la technologie de réalisation des postes dans lesquels ils s'intègrent :

- Postes ouverts (appelés encore conventionnels), dans lesquels l'isolement externe à l'appareillage est assuré par de longues distances dans l'air ambiant ;
- Postes blindés, dans lesquels l'appareillage est placé sous enveloppe métallique et l'isolement assuré par de l'hexafluorure de soufre (SF6) sous pression.

Quel que soit le niveau de tension, on peut distinguer trois parties essentielles dans les transformateurs de mesure :

-La partie active, comprenant les enroulements et les circuits magnétiques ainsi que, le caséchéant, l'isolation ;

-L'enveloppe (souvent un isolateur), destinée à contenir et protéger la partie active, à assurer sa tenue mécanique et à permettre la fixation et les raccordements ;

-L'isolant de remplissage, assurant l'isolement entre les divers éléments internes à l'enveloppe.

Les transformateurs de mesure sont des appareils très denses où voisinent des tensions élevées, des efforts électromagnétiques considérables, etc. Ils sont, par nature, fragiles, d'où l'importance d'une conception et d'une réalisation technologique très soignée.

### 2.3.2 Transformateur de courant : [4]

Selon la définition de la commission électrotechnique internationale (C.E.I.), "un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle approximativement nul pour un sens approprié des connexions".

La notion de transformateur de courant est un abus de langage, mais elle a été popularisée dans l'industrie. L'expression « transformateur d'intensité » est sans doute plus exacte. On utilise fréquemment les abréviations TC ou TI.

Les transformateurs de courant ont deux fonctions essentielles :

- Adapter la valeur du courant HT du primaire aux caractéristiques des appareils de mesure ou de protection en fournissant un courant secondaire d'intensité proportionnelle réduite,
- Isoler les circuits de puissance du circuit de mesure et/ou de protection.

La fonction d'un transformateur de courante phase est de fournir à son secondaire ( $I_s$ ) un courant proportionnel au courant primaire ( $I_p$ ) mesuré. L'utilisation concerne autant la mesure (comptage) que la protection.

Le comportement du circuit magnétique des transformateurs de courant (TC) joue un rôle essentiel. Ce circuit est soumis au flux magnétique créée par le courant primaire et en particulier par la composante apériodique du régime transitoire du court-circuit. Selon les amplitudes et les polarités respectives de ces flux le risque de saturation du circuit magnétique est plus ou moins grand. Lorsque la saturation se produit le courant secondaire est déformé et n'est plus l'image du courant primaire, en d'autres termes une information incorrecte est présentée à l'entrée des différentes fonctions des protections peuvent en être affectées : fonction directionnelle, mesure de distance, fonction différentielle.....etc. Ces phénomènes sont à prendre en compte non seulement à l'établissement du court-circuit mais également lors d'un ré-enclenchement automatique sur défaut.



**Figure 2.2** : Transformateur de courant [4]

Ces phénomènes sont beaucoup plus difficiles à amortir dans le cas des transformateurs condensateurs de tension et plus gênant surtout avec les protections de distance, ils entraînent souvent une erreur de mesure de distance importante. Sur les lignes courtes la précision nécessaire pour un fonctionnement en zone réduite risque de ne plus être assurée, il faut alors choisir un schéma de protection du type à zone étendue et à verrouillage. L'accroissement brutal de la tension appliquée se rencontre sur les phases saines d'un réseau dont une phase est affectée d'un défaut à la terre. Les conséquences sont de même nature que celles consécutives à la mise sous tension. Il faut souligner que les transformateurs de tension sont en générale plus coûteux que les transformateurs condensateurs de tension.[4]

### Rappels théoriques [3] :

Les transformateurs de courant sont constitués d'un circuit magnétique en forme de tore. Le primaire est constitué de  $n_1$  spires ou peut se réduire à un simple conducteur traversant le tore ( $n_1 = 1$ ). Le secondaire est bobiné en  $n_2$  spires de façon régulière autour de ce tore. Le théorème d'Ampère énonce que la somme des ampères tours est égale à la circulation du vecteur champ magnétique.  $n_1 \cdot i_1 + n_2 \cdot i_2 = \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$

$H$  = champ magnétique

$n$  = vecteur unitaire tangent

Un transformateur est dit parfait lorsque :  $\int \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0$

Dans le transformateur réel ce terme exprime l'erreur introduite par le circuit magnétique et définit l'intensité d'excitation  $i_e$  née au secondaire par :

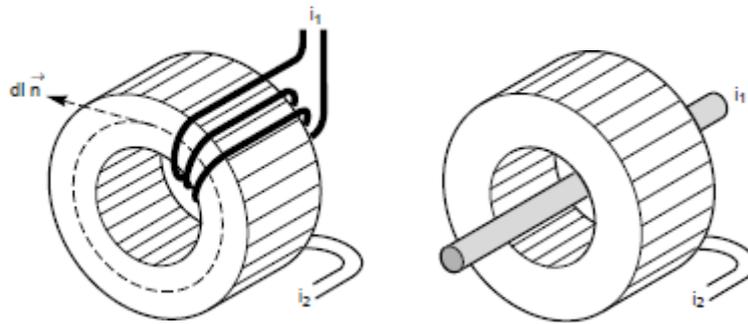
$$n_1 \cdot i_1 + n_2 \cdot i_2 = n_2 \cdot i_e$$

Si  $n = n_2/n_1$  est le rapport du nombre de spires, la relation s'écrit :

$$(i_1/n) + i_2 = i_e$$

Le transformateur peut alors être représenté comme comportant deux éléments en parallèle :

- Un transformateur parfait de rapport  $n$  débitant au secondaire un courant  $i_1/n$ .
- Une impédance qui consomme un courant  $i_e$ .



De plus chaque enroulement, primaire et secondaire, crée une légère chute de tension due à la résistance du bobinage ( $R_1$  et  $R_2$ ) et aux inductances de fuite ( $l_1$  et  $l_2$ ). Dans le cas du TC le bobinage secondaire étant serré et régulier il est possible de négliger  $l_2$ .

Si  $j$  est le flux commun aux deux bobinages, il est possible d'écrire entre les fem  $e_1, e_2$  et les ddp  $v_1, v_2$  les relations suivantes :

$$v_1 = e_1 + R_1 \cdot i_1 + l_1 \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$e_2 = v_2 + R_2 \cdot i_2 + l_2 \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$e_1 = n_1 \cdot \frac{dj}{dt} \text{ et } e_2 = -n_2 \cdot \frac{dj}{dt}$$

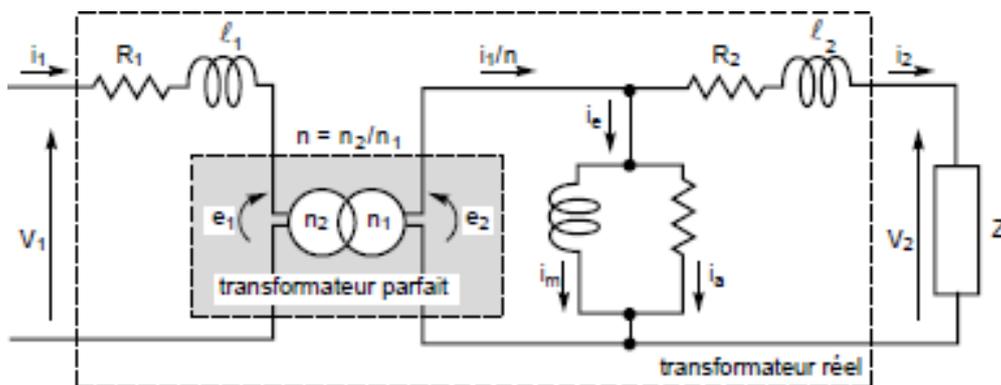


Figure 2.3 : schématisation d'un TC [3]

L'intensité d'excitation  $I_e$  est décomposée sur les axes FLUX , E en :

$$I_e = I_a + I_m$$

- $I_a$  : représente la part de ce courant perdue dans le circuit magnétique (pertes fer provenant de l'hysteresis et des courants de Foucault).
- $I_m$  : est le courant magnétisant qui assure le processus de transfert de puissance d'un enroulement à l'autre par création d'une force magnéto-motrice qui induit le flux .

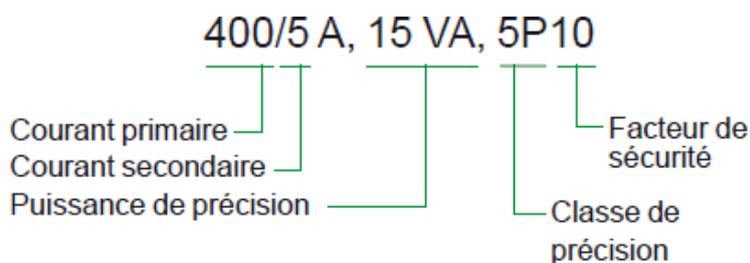
**Catégories des transformateurs de courant [9]:**

Il existe deux catégories de transformateur de courant, on a les TC de protection, et les TC de mesure :

**a. Transformateur de courant pour la protection :[3]**

Un TC de protection est conçu pour transmettre une image aussi fidèle que possible du courant de défaut (surcharge ou court-circuit). La précision et la puissance sont adaptées à ces courants et distinctes de celles pour la mesure.

Les TC pour la protection doivent avoir une précision adaptée aux courants de défauts. Ils sont caractérisés par leur classe de précision (5P en général) et le facteur limite de précision FLP comme le montre l'exemple sur la figure suivante.



**Figure 2.4 :** Exemple de classe de précision pour la protection d'un TC [3]

La norme CEI 60044-1 détermine pour chaque classe de précision l'erreur maximale en phase et en module selon la plage de fonctionnement indiquée. Cette norme définit le facteur limite de précision FLP.

$FLP = I_{pl}/I_{pn}$  (valeurs normalisées : 5 – 10 – 15 – 20 - 30)

Avec :  $I_{pl}$  courant primaire assigné limite

Classe de précision	Erreur composée au courant limite de précision	Erreur de courant entre $I_{pn}$ et $2 I_{pn}$	Erreur de déphasage pour courant assigné
5P	5%	$\pm 1\%$	$\pm 60$ mn
10P	10%	$\pm 3\%$	Pas de limite

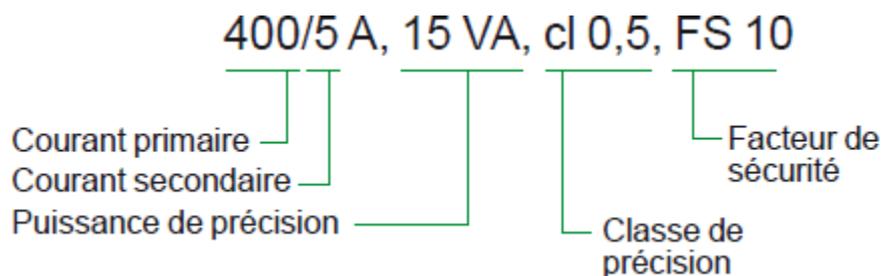
**Tableau 2.1** : Limite d'erreur selon la classe de précision [3]

Transformateur de courant pour la protection	
Classe	Emplacement
14000/1A 30VA 5P20	Alternateur
1000/1A 30VA 5P20	Transformateur principale
14000/1A 30VA 5P20	Transformateur de soutirage
800/1A 10VA 10P10	
800/1A 10VA 5P20	
400/1A 30VA 5P20	

**Tableau 2.2** : Transformateurs de courant utilisés dans la centrale.[3]

### b. Transformateur de courant pour la mesure :

Les TC pour la mesure doivent avoir une précision adaptée au courant nominal. Ils sont caractérisés par leur classe de précision (0,5 ou 1 en général) et un facteur de sécurité Fs comme le montre la figure suivante.



**Figure 2.5 :** Exemple de classe de précision d'un TC de mesure. [3]

Le facteur de sécurité Fs a pour rôle de protéger l'appareillage de mesure raccordé au TC du courant élevé cotés HT.

La classe 1 est la plus généralement utilisée. Lorsqu'on souhaite une précision importante on peut aussi utiliser la classe de précision 0.5S ou 0.2S

Un TC pour la mesure est défini par une intensité nominale. On choisit généralement une intensité nominale aussi faible que possible mais supérieur au courant maximal mesuré.

Plus on utilise le transformateur de courant avec une intensité faible par rapport à son intensité nominale, plus la précision est faible. (Par exemple la mesure ne sera pas très précise si on mesure 10 A avec un transformateur de courant de 100 A)

La norme CEI 60044-1 détermine pour chaque classe de précision l'erreur maximale en phase et en module selon la plage de fonctionnement indiquée "limites d'erreur" ci-contre.

Classe de précision	% courant primaire assigné	Erreur de courant ± %		Erreur De déphasage ± min	
0.2/0.2S	1 (0.2S seul)	Pour S 0.75		Pour S 30	
	5	0.75	0.35	30	15
	20	0.35	0.2	15	10
	100	0.2	0.2	10	10
	120	0.2	0.2	10	10
0.5/0.5S	1	1.5		90	
	5	1.5	0.75	90	45
	20	0.75	0.5	45	30
	100	0.5	0.5	30	30
	120	0.5	0.5	30	30
1	5	3		180	
	20	1.5		90	
	100	0.5		60	
	120	0.5		60	

**Tableau 2.3** : Limites d’erreurs selon la classe de précision. [3]

Le transformateur de courant pour la mesure utilisé pour l’alternateur de la centrale de Larbaa est de classe : 14000/1A 0.2 Fs 10.

**Les données techniques de transformateur de courant de la centrale de Larbaa :**

TRANSFORMATEURS DE COURANT	
COTE LIGNE	
<b>Transformateurs de protection</b>	
Nombre	<b>3</b>
Rapport de courant	8600/1 A
Prestation	60 VA
Précision	5P30

<b>Transformateurs de mesure</b>	
Nombre	6
Rapport de courant	8600/1 A
Prestation	40 (20) VA
Précision	cl 0.5 (cl. 0.2)
Facteur de sécurité assigné	FS5
COTE NEUTRE	
<b>Transformateurs de protection</b>	
Nombre	6
Rapport de courant	8600/1 A
Prestation	60 VA
Précision	5P30
<b>Transformateurs de mesure</b>	
Nombre	3
Rapport de courant	8600/1 A
Prestation	40 (20) VA
Précision	cl 0.5 (cl. 0.2)
Facteur de sécurité assigné	FS5

**Tableau 2.4 :** Données techniques de transformateur de courant [3]

### 2.3.3 Transformateur de tension :

La fonction d'un transformateur de tension est de fournir à son secondaire une tension image de celle qui lui est appliquée au primaire. L'utilisation concerne autant la mesure que la protection. Les transformateurs de tension (TT ou TP) sont constitués de deux enroulements, primaire et secondaire, couplés par un circuit magnétique.

Selon la définition donnée par la commission électrotechnique internationale (C.E.I), un transformateur de tension ou potentiel est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ». On utilise aussi le terme transformateur de potentiel (TP).

Il s'agit donc d'un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts.

La caractéristique la plus importante d'un transformateur de tension est donc son rapport de transformation, par exemple 400 000 V/100 V.

Les régimes transitoires qui affectent le plus le fonctionnement des transformateurs de tension est l'apparition de court-circuit sur le réseau. La mise hors tension et l'accroissement brutal de la fréquence varie de quelques centaines d'hertz à quelques kilohertz. Dans le cas des transformateurs de tension ses oscillations s'amortissent rapidement : l'erreur qui en résulte est négligeable après 10 à 20 ms. [4]

### **Caractéristiques [9] :**

Les transformateurs de tension sont définis par la norme CEI 60044-2.

#### **Isolement**

Caractérisé par les tensions assignées :

- D'isolement, qui sera celle de l'installation (ex. : 24 kV)
- De tenue à fréquence industrielle 1 mn (ex. : 50 kV)
- De tenue à l'onde de choc (ex. : 125 kV).

#### **Fréquence assignée**

50 ou 60 Hz.

#### **Tension primaire assigné (U<sub>pn</sub>)**

Suivant leur conception, les transformateurs de tension sont raccordés :

- Soit entre phase et terre et dans ce cas  $U_{pn} = U/3$  (ex. : 20/3)
- Soit entre phases et dans ce cas  $U_{pn} = U$ .

### **Tension secondaire assigné ( $U_{sn}$ )**

Elle est égale à 100 ou 110 V pour les transformateurs de tension phase/phase. Pour les transformateurs monophasés phase/terre, la tension secondaire doit être divisée par 3 (ex. : 100/3).

### **Puissance de précision $P_n$**

Puissance apparente (VA) que peut fournir le TT au secondaire pour la tension secondaire assignée pour lequel la précision est garantie (charge de précision). Valeur normalisées 30, 50, 100 VA (CEI).

### **Classe de précision**

Définit les limites d'erreurs garanties sur le rapport de transformation et sur le déphasage dans des conditions spécifiées de puissance et de tension.

### **Erreur de tension $\varepsilon$ (%)**

Erreur que le transformateur introduit dans la mesure de tension lorsque le rapport de transformation est différent de la valeur assignée.

### **Déphasage ou erreur de phase ( $\psi$ en minute)**

Différence de phase entre tensions primaire et secondaire, en minutes d'angle.

### **Facteur de tension assigné $K_T$**

C'est le facteur, multiple de la tension primaire assignée, qui détermine la tension maximale pour laquelle le transformateur doit répondre aux prescriptions d'échauffement et de précision spécifiée. La tension maximale de fonctionnement dépend du régime de neutre du réseau et des conditions de mise à la terre de l'enroulement primaire.

### **Catégorie des transformateurs de tension [9] :**

Il existe deux catégories de transformateur de tension, on a les TT de protection, et les TT de mesure :

#### **a. Transformateurs de tension pour la mesure :**

Ces appareils sont destinés à transmettre une image aussi précise que possible de la tension primaire assignée entre 80 et 120 % de celle-ci. La classe de précision détermine l'erreur admissible en phase et en module dans cette plage pour la charge de précision.

Pour une classe de précision donnée, les erreurs de tension et de déphasage ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau ci-contre.

Classe de précision	Erreur de tension $\pm$ %	Erreur de déphasage $\pm$ min
0.2	0.2	10
0.5	0.5	20
1	1.0	40

**Tableau 2.5 :** Précision d'un TT de mesure. [3]

**b. Transformateurs de tension pour la protection :**

Ces appareils doivent avoir une précision et une puissance adaptées aux tensions de défaut et donc distinctes de celles des transformateurs de mesure. En pratique la classe de précision 3P est utilisée pour toutes les applications et les limites d'erreur de tension et phase données par le tableau ci-dessous.

Classe de précision	Erreur de tension $\pm$ %	Erreur de déphasage $\pm$ min
3P	3	120
6P	6	240

**Tableau 2.6 :** Précision d'un TT de protection. [3]

### 2.3.4 Relais de protection :

Un relais de protection est un appareil qui reçoit un ou plusieurs messages (signal) a des propriétés analogiques (courant, tension, puissance, fréquence, température, etc.) et lors de son transfert vers la séquence binaire (fermeture ou ouverture du circuit de commande) ces informations reçues atteignent une valeur supérieure ou inférieure à certaines limites est fixée à l'avance.

Le rôle du relais de protection est donc de détecter tout phénomène les anomalies pouvant survenir sur le réseau, telles que les courts-circuits, les changements les relais de tension et autres relais de protection détectent la présence de conditions anormales surveillance continue pour déterminer quels disjoncteurs ouvrir et mettre sous tension le circuit gâchette.

#### 2.3.4.1 Relais électromécaniques :[5]

Basé sur le principe d'un disque à induction entraîné par des bobines alimentées par des transformateurs de courant et de tension. Un ressort de rappel réglable détermine la limite d'action du disque sur la gâchette. Un appareil électromécanique est un ensemble de fonctions : détection de seuil et temporisation. Ils sont robustes, fonctionnent sans alimentation auxiliaire et sont insensibles aux interférences électromagnétiques. Ces relais sont connus pour leur robustesse et leur grande fiabilité, ils nécessitent donc peu d'entretien. Ils sont reconnus pour leur fiabilité dans les environnements de travail les plus délicats.

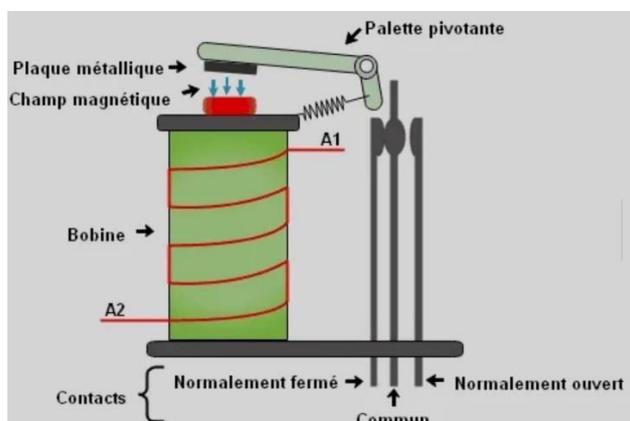


Figure 2.6 : Relais électromécaniques [5]

### 2.3.4.2 Relais statiques [5]:

Un relais statique est un dispositif de puissance permettant de commuter des récepteurs monophasés ou triphasés tel que des résistances électriques, des moteurs, des compresseurs frigorifiques. Il est utilisé pour les mêmes applications qu'un relais ou contacteur électromécanique.

Par contre un relais statique comme son nom l'indique n'a pas de pièces en mouvements pour établir une commutation, c'est un assemblage de composants électroniques (triac, thyristor) qui ont ce rôle.

Les avantages de cette technologie :

- Durée de vie importante, pas de pièces mécaniques en mouvement.
- Pas d'arc électrique ou d'amorçage.
- Pas de parasite ou de perturbation électromagnétique.
- Commande directe via sortie automate (ex : 0 à 10V).
- Rapidité et fréquence de commutation.
- Silencieux, résistants aux chocs et aux vibrations.
- Fabrication antidéflagrante.

Les inconvénients :

- Pertes par effet Joule lors du passage du courant.
- Courant résiduel présent en position "off"
- Génère de la chaleur, dissipateur thermique obligatoire.
- Utilisable jusqu'à 100 A maximum.

Plusieurs types de relais statiques existent :

- Tout ou rien (TOR), pour moteurs ou résistances.
- Triac, pour varier le courant des récepteurs.
- Démarreur.

**2.3.4.3 Relais numérique :**

La technologie numérique est apparue au début des années 1980 et, avec le développement des microprocesseurs et de la mémoire, des puces numériques ont été intégrées aux équipements de protection. La protection numérique repose sur le principe de la conversion des grandeurs réseau fournies par les transformateurs de mesure en signaux numériques basse tension. Ces appareils nécessitent une source auxiliaire d'une excellente précision et d'une grande sensibilité. Ils offrent de nouvelles possibilités telles que l'intégration de plusieurs fonctions pour des fonctions complètes de protection dans une même unité, le traitement et le stockage des données et l'enregistrement des perturbations du réseau (enregistreurs de perturbations). Cette génération intègre la possibilité d'autotest et d'autocontrôle, ce qui augmente leur continuité de fonctionnement tout en réduisant la durée et la fréquence des opérations de maintenance.

**2.3.5 Principe de fonctionnement des relais de protection :**

Tous les paramètres du réseau sont disponibles pour sa surveillance et la détection des défauts. Le problème le plus courant est la mesure du courant et de la tension du réseau. Généralement, lorsqu'un défaut de court-circuit se produit, le courant augmente et la tension diminue. En changeant ces deux grandeurs, d'autres paramètres changent également, et on obtient des mesures de paramètres plus complexes :

- déphasage de comparaison de phase ;
- la puissance apparente en multipliant le courant par la tension ;
- puissance active et réactive à partir de la puissance apparente et déphasage ;
- l'impédance obtenue en divisant la tension par le courant ;
- Composants homopolaires des composants sommateurs et inverseurs à travers le circuit de déphasage

**2.3.5.1 Relais de mesure de courant : [22]**

Un dispositif de protection se compose généralement de plusieurs fonctions de mesure de base, souvent appelées relais de mesure. Ces relais doivent effectuer des mesures correctes avec une précision suffisante malgré les perturbations transitoires sur le courant et la tension qui se produisent lors des courts-circuits.

Les relais de courant mesurent le courant ou une combinaison de courants (CC, inverse, unipolaire). Il existe de nombreuses variétés, qui diffèrent dans la façon dont les quantités mesurées sont définies et chronométrées :

- valeur instantanée, valeur crête, valeur moyenne ou valeur efficace ;
- Valeurs mesurées sur une alternance, deux alternances consécutives, la moyenne de plusieurs alternances, en pourcentage, etc.
- Valeur instantanée ou temporisée.

**2.3.5.2 Relais de mesure de tension :**

Les relais de tension peuvent être à maximum de tension ou à minimum de tension. Les mesures sont faites sur des valeurs instantanées ou des pics, éventuellement sur des moyennes. Ce type de relais est généralement temporisé. Mesurez les tensions entre phases, entre phases, positives, inverses ou unipolaires.

Dans certains cas, afin de rendre ces relais insensibles au niveau général de tension du réseau, des mesures sont réalisées en comparant la valeur de la tension entre phase et neutre et la valeur de la tension composée. Par exemple, comparer la tension de phase V avec la tension de phase U, identifier les phases avec A, B, C et le neutre avec N).

**2.3.5.3 Relais de mesure d'impédance :**

Les relais d'impédance tiennent compte en permanence du nombre de phases en cours pour évaluer l'impédance du réseau sur cette phase. L'impédance est évaluée par typiquement sur trois phases, ou entre phase et neutre, ou entre phases. Elle peut également être effectuée sur des grandeurs appariées : tension et courant continu, inverses ou unipolaires. Pour étudier ce type de relais, il est intéressant d'utiliser un diagramme d'impédance ( $R, X$ ), qui peut représenter directement les grandeurs mesurées par le relais.

**2.3.5.4 Relais de mesure de puissance :**

La mesure de la puissance dans un réseau triphasé peut être effectuée par différentes manières :

- Par des relais de puissance active ou réactive, monophasée ou triphasée ;
- Par des relais de puissance dits à angle dont l'angle  $\vartheta$  affectant la mesure est obtenu par un raccordement particulier des grandeurs  $V$  et  $I$  (alimentation par exemple du relais par le courant de la phase A et la tension entre les deux phases A et B). [6]

**2.3.5.5 Relais directionnel :**

Ce type de relais apparaît aujourd'hui comme une excellente opportunité pour améliorer la puissance de transmission du réseau et la qualité de service. Le concept directionnel est très important dans de nombreuses applications de relais de protection. Ce type de protection fonctionne selon le sens du courant, de la tension et du flux d'énergie. Il fonctionne lorsque le courant ou la puissance dépasse un seuil en même temps et que l'énergie se propage dans une direction prédéterminée. La protection directionnelle est utile sur tout élément de réseau où le sens du flux d'énergie peut changer, en particulier lors de courts-circuits entre phases et/ou de défauts à la terre (défauts monophasés). La protection directionnelle est complémentaire de la protection contre les surintensités et assure une bonne isolation des parties défaillantes du réseau.

### 2.3.5.6 Relais différentiel :

La protection différentielle est un principe commun de protection pour les transformateurs, moteurs, et générateurs. Elle mesure la différence de courant entre deux TC branchés l'un en aval, l'autre en amont d'une partie du réseau à surveiller (un moteur, un transformateur, un jeu de barres) pour détecter et isoler rapidement tout défaut interne à cette partie. Elle est basée sur la comparaison du courant d'entrée et de sortie d'un élément, si la comparaison indique la présence d'une différence cela veut dire la présence d'un défaut et le relais doit agir. La différence mesurée doit être significative pour qu'elle soit attribuée à un défaut. [6]

### 2.3.5.7 Relais de contrôle de fréquence « Zelio RM35-HZ » : [22]

Le relais de contrôle de fréquence RM35HZ contrôle les variations de fréquence sur les réseaux alternatifs 50 ou 60 Hz :



Figure 2.7 : le relais de contrôle de fréquence RM35HZ [22]

#### a. Fonctions :

Ces relais de contrôle offrent les fonctions suivantes :

- Sur et sous-fréquence avec deux sorties relais indépendantes,
- Fonction mémoire sélectionnable,
- Surveillance de leur propre tension d'alimentation mesurée en valeur efficace vraie,
- Encliquetage sur profilé 5.

Ils intègrent les éléments suivants :

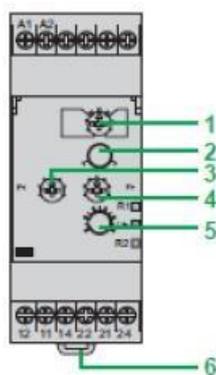
- Un capot plombable pour protéger les réglages,
- Une DEL pour visualiser l'état de contrôle.

### b. Domaines d'application :

Surveillance de sources d'énergie électrique :

- Les centrales électrique, groupes électrogène, éoliennes...

### c. Description :



**Figure 2.8 :** Schémas de RM35-HZ [22]

- 1 :** Configuration : choix de la gamme de fréquence 50/60 Hz et du mode de Fonctionnement (avec ou sans mémoire) Memory - No Memory.
- 2 :** Potentiomètre de réglage de la multiplication des tolérances de fréquence x1-x2.
- 3 :** Commutateur de réglage du seuil de fréquence basse  $F <$ .
- 4 :** Commutateur de réglage du seuil de fréquence haute  $F >$ .
- 5 :** Potentiomètre de réglage de la temporisation.
- 6 :** Ressort de clipsage sur profilé 5 de 35 mm/1.38 in.

### d. Principe de fonctionnement : [21]

Les valeurs de seuil de sous et sur fréquence se règlent par deux potentiomètres gradués en valeur d'écart de la fréquence à surveiller, Un commutateur x1/x2 permet de doubler l'échelle de contrôle. L'hystérésis est fixe à 0,3 Hz.

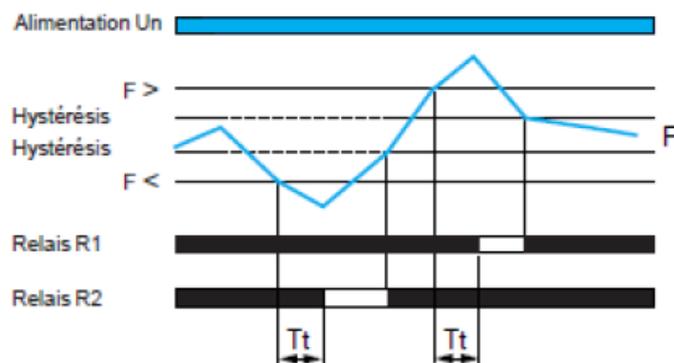


Figure 2.9 : Contrôle de sur et sous-fréquence. [21]

- Si la fréquence de la tension contrôlée dépasse le seuil de surfréquence réglé pendant un temps supérieur à celui réglé en façade (de 0,1...10 s), le relais de sortie correspondant s'ouvre et sa DEL s'éteint. Pendant la temporisation, cette DEL clignote.
- Dès que la fréquence revient sous le seuil moins l'hystérésis, le relais se ferme instantanément.
- Si la fréquence de la tension contrôlée tombe en dessous du seuil de sous fréquence réglé pendant un temps supérieur à celui réglé en façade (de 0,1...10 s), le relais de sortie correspondant s'ouvre et sa DEL s'éteint. Pendant la temporisation, cette DEL clignote.
- Dès que la fréquence repasse au-dessus du seuil défini plus l'hystérésis, le relais se ferme instantanément.
- À la mise sous tension de l'appareil avec un défaut mesuré, le relais reste ouvert.

#### 2.4 Relais de protection de l'alternateur ANSALDO WY21Z-092RR [8] :

##### REG670 :

L'IED REG 670 est utilisé pour la protection, le contrôle et la surveillance des alternateurs et des blocs transformateur-alternateur des unités relativement petites aux plus grandes tranches. L'IED dispose d'une bibliothèque de fonction complète, couvrant les exigences pour la plupart des applications d'alternateur. Le grand nombre d'entrées analogiques

disponibles permet, grâce à la grande bibliothèque fonctionnelle, d'intégrer de nombreuses fonctions dans un IED. Dans les applications typiques, deux unités peuvent fournir une fonctionnalité totale tout en assurant un haut degré de redondance. REG 670 peut également être utilisé pour la protection et le contrôle des réactances shunt. La bibliothèque de fonctions de protection comprend une protection différentielle pour l'alternateur, pour le transformateur principal, pour le transformateur auxiliaire et pour le bloc alternateur entier. La protection contre les défauts à la terre du stator traditionnelle à 95% ainsi que celle à 100% basée sur l'harmonique de rang 3 sont incluses. La protection à 100% utilise une approche de tension différentielle garantissant une grande sensibilité et un haut degré de sécurité. Des algorithmes éprouvés pour les protections contre les glissements de pôle, la sous excitation, les défauts à la terre du rotor et la protection de secours générale, etc. sont compris dans l'IED. La protection différentielle de l'alternateur dans l'IED REG 670 adapte pour fonctionner correctement avec les applications d'alternateur pour lesquelles les facteurs tels que les constantes de temps aperiodiques élevées et les exigences de temps de déclenchement court ont été pris en considération.

Etant donné que de nombreuses fonctions de protection peuvent être utilisées en tant qu'instance multiple, il est possible de protéger plusieurs objets dans le même IED. Des protections pour un transformateur de puissance auxiliaire intègre dans le même IED disposant des principales protections pour l'alternateur sont disponibles. Le concept permet par conséquent des solutions hautement rentables.

L'IED REG 670 met également de précieuses possibilités de surveillance à disposition étant donné que la plupart des mesures en provenance de l'installation primaire peuvent être transférées à un IHM opérateur. Du fait de sa grande flexibilité, ce produit constitue un excellent choix pour des installations neuves ou pour la rénovation dans des centrales électriques existantes.

La communication série est réalisée au moyen de liaisons optiques pour assurer l'immunité aux perturbations. Du fait de sa grande flexibilité, ce produit constitue un excellent choix pour des installations neuves ou pour la remise à neuf d'installations existantes.

Caractéristiques techniques

Quantité	Valeur nominale	Plage nominale
Courant	$I_r = 1$ ou $5$ A	$(0,2-40) \times I_r$
Plage de fonctionnement	$(0-100) \times I_r$	
Surcharge admise	$4 \times I_r$ cont. $100 \times I_r$ pour $1$ s *)	
Charge	$< 150$ mVA a $I_r = 5$ A $< 20$ mVA a $I_r = 1$ A	
Tension c. a.	$U_r = 110$ V	0,5–288 V
Plage de fonctionnement	$(0-340)$ V	
Surcharge admise	$420$ V cont. $450$ V $10$ s	
Charge	$< 20$ mVA a $110$ V	
Frequence	$f_r = 50/60$ Hz	5%

Tableau 2.7 : Grandeurs de mise sous tension, valeurs nominales et limites[8]

Fonctions :

- Protection différentielle
- Protection d'impédance
- Protection de courant
- Protection de tension
- Protection de fréquence
- Protection multi-objets
- Surveillance du système secondaire
- Contrôle

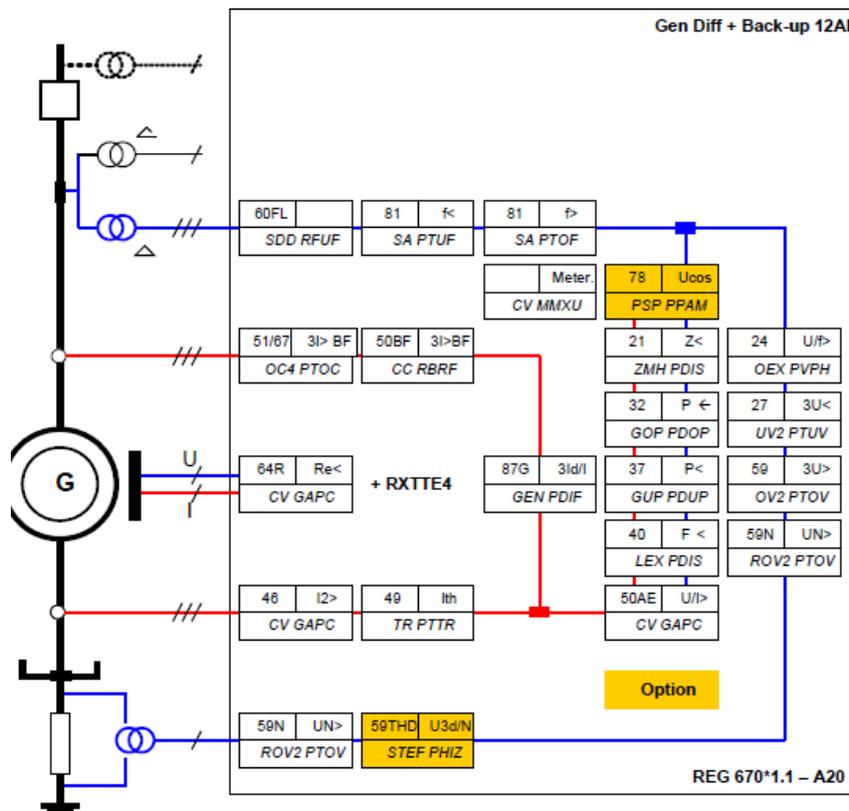


Figure 2.10 : Protection d’alternateur avec protection différentielle d’alternateur comme protection principale.[8]

**2.5 Disjoncteur :**

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée. dans des conditions de réseau normales et anormales. Il est généralement associé à un système de protection (relais) qui détecte les défauts et envoie des commandes aux disjoncteurs pour éliminer automatiquement le défaut ou remettre le circuit en service une fois le défaut éliminé. Sa fonction principale est d'interrompre le courant détecté lors du

défaut. Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le courant passant par une valeur nulle et d'interrompre le flux de courant à ce point.

Les disjoncteurs échouent souvent à interrompre le courant du premier coup, nécessitant plusieurs cycles de la fréquence fondamentale du courant pour interrompre complètement le courant, ce qui affecte la vitesse du disjoncteur. Un disjoncteur rapide utilisé en haute tension est d'un cycle, tandis qu'un disjoncteur rapide utilisé en basse tension nécessite 20 à 50 cycles pour s'ouvrir. De plus, pour distinguer les défauts permanents des défauts temporaires, le concept de fermeture automatique est utilisé. Lorsque le disjoncteur se déclenche, il reste ouvert pendant un certain temps puis se ferme automatiquement. Cette action permet au relais de vérifier si le défaut persiste et de déclencher à nouveau dans ce cas. Si le défaut a disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne continuera à fonctionner

### 2.5.1 Classification des disjoncteurs [7]:

Les disjoncteurs sont classés suivant le mode d'extinction de l'arc électrique qui s'établit lors de leurs fonctionnements.

- **Les disjoncteurs à l'huile :**

Dans ces disjoncteurs, le contact mobile et le contact fixe sont séparés par un milieu diélectrique qui est l'huile. Au cours d'un défaut, le disjoncteur se déclenche et un arc électrique s'établit entre les deux contacts, l'huile sous l'effet de la température se décompose créant des gaz qui montent en pression et augmentent la résistance.

- **Les disjoncteurs à air comprimé :**

Dans ce type de disjoncteur, l'extinction de l'arc s'effectue par un très puissant jet d'air comprimé. L'écoulement de ce dernier provoque le refroidissement de l'arc ainsi que son extinction.

- **Les disjoncteurs utilisant le gaz SF<sub>6</sub> :**

Ces disjoncteurs ont le même principe que les disjoncteurs à air comprimé à la seule différence que pour ces disjoncteurs, on utilise l'héxafluorure de soufre pour l'extinction de l'arc.

### 2.5.2 Caractéristiques des disjoncteurs [7] :

Les disjoncteurs sont caractérisés par différents paramètres résumés comme suit :

- Courant assigné ( $I_n$ ) : c'est le courant maximal permanent que peut supporter le disjoncteur en service normal. Il est déterminé en fonction de l'intensité du courant admissible passant dans la section du conducteur à protéger.
- Tension assignée ( $U_n$ ) : C'est la tension nominale d'utilisation et c'est également la tension à laquelle se rapporte le pouvoir de coupure et de fermeture du disjoncteur. Un disjoncteur peut avoir plusieurs tensions nominales et chacune d'elles correspond à un pouvoir de coupure différent.
- Courant de réglage ( $I_r$ ) : c'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement.
- Pouvoir de coupure : c'est la plus grande intensité de courant de court-circuit qu'un disjoncteur peut interrompre sans se détériorer et sans mettre en danger l'entourage.
- Pouvoir de limitation : C'est la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de court-circuit présumé.

### **2.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons étudié le système de protection de l'alternateur et aussi la possibilité d'étudier et de déterminer les modes de fonctionnement et les domaines d'utilisation des équipements de mesure et de protection, ainsi que la manière d'effectuer les réglages adaptés aux sites industriels.

### 3.1 Introduction :

La naissance des défauts dans un alternateur et un pourcentage indéniable, ces défauts rendent le système unifiable et interrompent la continuité de son fonctionnement et même perturbent d'autres éléments du système, les éléments décrits précédemment dans le chapitre II servent à détecter, signaler et faire les actions nécessaires pour l'élimination de ces anomalies.

Dans ce qui suit, une présentation des défauts majeurs qui se produisent dans un alternateur ANSALDO **WY21Z-092RR** selon son origine dans la machine, ces perturbations sur la machine et le système de puissance.

Ensuite on fait rappeler les protections associées à chaque défaut, de manière à connaître les relais et la technique d'actionnement de ce dernier.

### 3.2 défauts de fonctionnement :

Nous distinguerons 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.

**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.

#### 3.2.1 Les défauts internes :

##### a. Défauts statoriques :

La majeure partie des défauts au stator des machines asynchrones est due à des défauts d'isolement.

Un défaut de court-circuit se schématise par la connexion franche entre deux points du bobinage. Un court-circuit intervient généralement dans des bobines de phases différentes et dans les têtes de bobines puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de différentes phases se croisent.

- **Un court-circuit entre phases :**

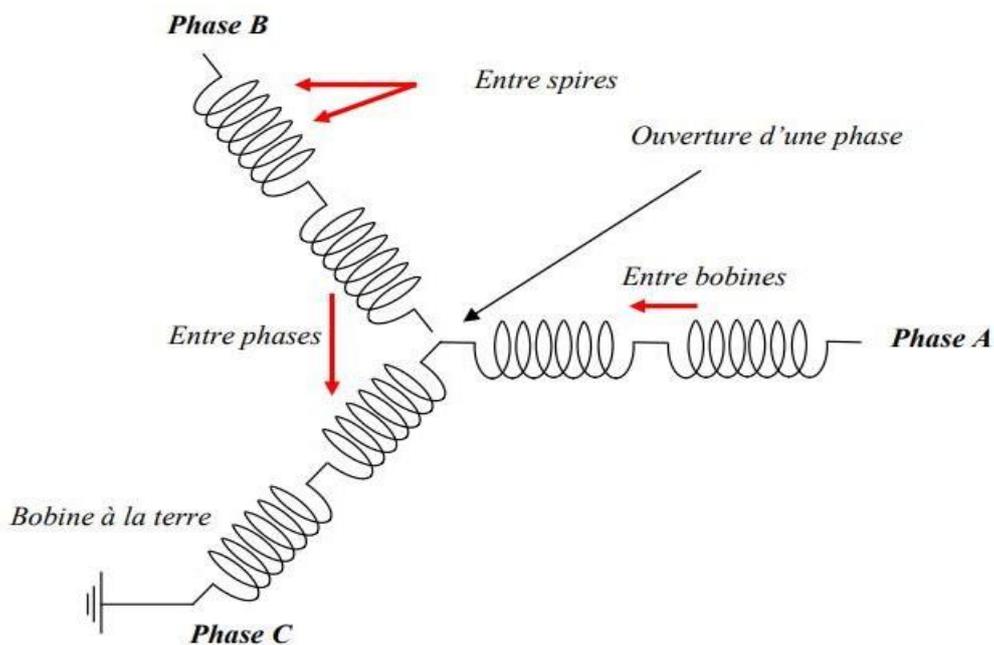
Le chauffage excessif provoqué par le court-circuit entre spires est la raison pour laquelle les moteurs tombent en panne presque toujours en quelques minutes,

- **Un court-circuit entre spires de la même phase :**

Ce défaut peut arriver en tout point du bobinage, mais les plus fréquents apparaissent dans les têtes de bobines, puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases différentes se côtoient.

- **Défaut d'isolement entre enroulement et la carcasse ou la terre :**

Les défauts à la terre sont le cas le plus fréquent, la valeur du courant dépend de la valeur d'impédance de terre et de la distance du défaut de point neutre.



**Figure 3.1:** Représentation des différents défauts statoriques.[19]

**b. Défaits rotoriques :**

La majorité des défauts au rotor ont trait à la cage. La seconde source de défauts provient d'une déformation de l'axe du rotor.

Ces deux défauts ont pour origine des contraintes de fonctionnement trop fortes sur la cage qui provoquent sa déformation. Ces défauts s'expliquent par les méthodes employées auparavant pour la construction de la cage ; la part de celle-ci dans les défauts rotor et les défauts rotor eux-mêmes ont diminué.

- Coupure d'une phase rotorique
- Coupure de deux phases rotoriques
- Ouverture de la phase

**3.2.2 Les défauts externes :****3.2.2.1 Surcharges :**

Une surcharge peut faire chauffer l'alternateur, généralement en raison d'une augmentation du nombre de charges alimentées en même temps, ce qui entraîne une surintensité prolongée. Elle entraîne une dégradation des propriétés isolantes et donc un vieillissement prématuré.

**3.2.2.2 Déséquilibres :**

On parle de déséquilibre dans un système triphasé lorsque les trois tensions de ce dernier ne sont pas égales en amplitudes et/ou ne sont pas déphasés les unes par rapport aux autres de  $120^\circ$ .

Le déséquilibre est causé par :

- Le court-circuit.
- La rupture de phase.
- Le mauvais fonctionnement du disjoncteur

Les conséquences du déséquilibre sont :

- Echauffement des conducteurs.
- Vibration des machines tournantes.

### 3.2.2.3 Courts-circuits aux bornes de l'alternateur : [20]

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

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

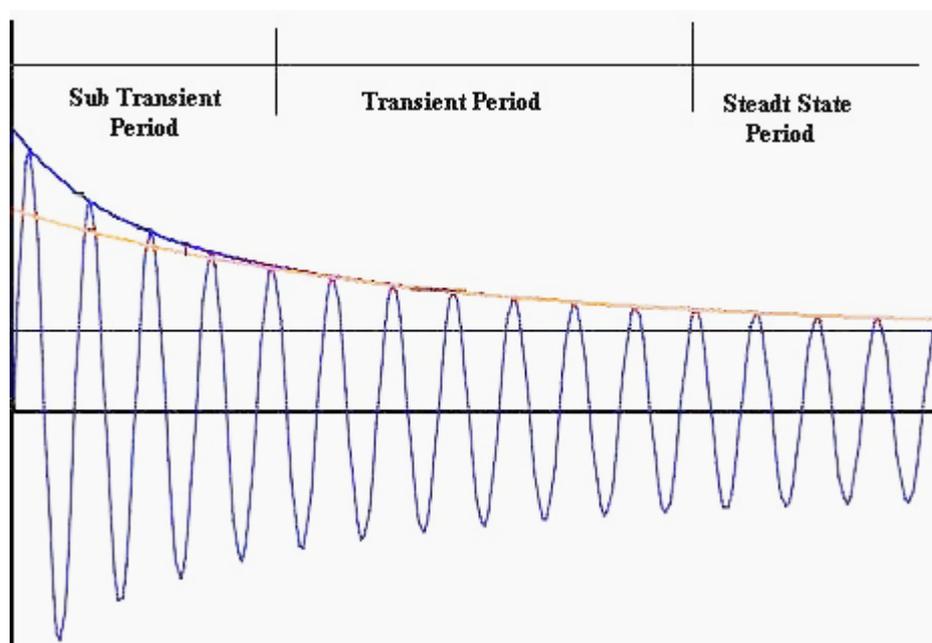


Figure 3.2 : Forme du courant de court-circuit  $I_{cc}$ . [20]

### 3.2.2.4 Calcul du courant de défaut : [9]

Le calcul du courant de court-circuit est le plus souvent utilisé pour sélectionner un équipement électrique du point de vue de la résistance thermique ou de la résistance dynamique. Ces valeurs de courant sont également calculées pour sélectionner les consignes des dispositifs de protection installés dans les sous-stations et les centrales électriques pour protéger les équipements.

**a. Calcul des impédances symétriques : [2]**

La tension nominale :  $U_n = 15.50 \text{ kV}$

Courant nominal :  $I_n = 7077 \text{ A}$

La puissance nominale :  $S_n = 190 \text{ MVA}$

La réactance directe subtransitoire :  $X''_d (\%) = 17.7\%$

La réactance directe transitoire :  $X'_d (\%) = 23.4\%$

La réactance directe synchrone :  $X_d (\%) = 2.38\%$

La réactance inverse :  $X_i (\%) = 13.9\%$

La réactance homopolaire :  $X_o (\%) = 6.1\%$

La constante de temps subtransitoire :  $T''_d = 0.017 \text{ s}$

La constante de temps transitoire :  $T'_d = 1.06 \text{ s}$

La constante de temps apériodique :  $T_a = 0.581 \text{ s}$

La valeur de la résistance de l'alternateur est très petite par rapport à la réactance donc elle est négligeable et on fait les calculs par la valeur de la réactance comme une impédance.

La valeur non saturée de réactance transitoire directe est  $X'_d$  en Ohm :

- $X'_d (\Omega) = X'_d (\%) \times (U_n^2 / S_n)$
- $X'_d (\Omega) = 0.234 \times (15500^2 / 190 \times 10^6)$
- $X'_d (\Omega) = 0.29 \Omega$

L'impédance directe peut être assimilée à la réactance directe transitoire :

- $Z_d = X'_d (\Omega) \quad Z_d = 0.29 \Omega$

La valeur de la réactance inverse  $X_i$  en Ohm :

- $X_i (\Omega) = X_i (\%) \times (U_n^2 / S_n)$

$$X_i = 0.139 \times (15500^2 / 190 \times 10^6) = 0.17 \Omega$$

L'impédance inverse peut être assimilée à la réactance inverse :

$$Z_i = X_i (\Omega) \quad Z_i = 0.17 \Omega$$

La valeur de la réactance homopolaire  $X_o$  en Ohm :

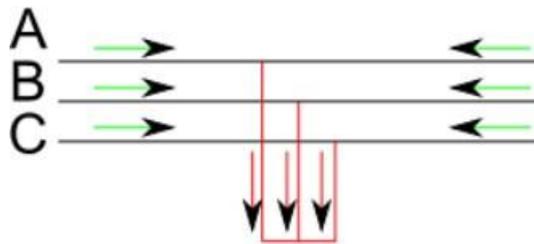
- $X_o (\Omega) = X_o (\%) \times (U_n^2 / S_n)$

$$X_o = 0.06 \times (15500^2 / 190 \times 10^6) = 0.07 \Omega$$

L'impédance homopolaire peut être assimilée à la réactance homopolaire :

$$Z_o = X_o (\Omega) \quad Z_o = 0.07 \Omega$$

**b. défaut triphasé :**



**Figure 3.3:** Défaut triphasé. [19]

Dans cette partie on fait les calculs de défaut :

- **La formule simplifiée pour la valeur efficace :**

$$I_{cc3} = V_n / X'd$$

**Équation 3.1 [15]**

$V_n$  : la tension nominale simple.

$$X'd=0.29 \Omega$$

$$I_{cc3} = (15500 / \sqrt{3}) / 0.29 = 30.89 \text{ kA}$$

**c. Défaut biphasé (isolé) :**

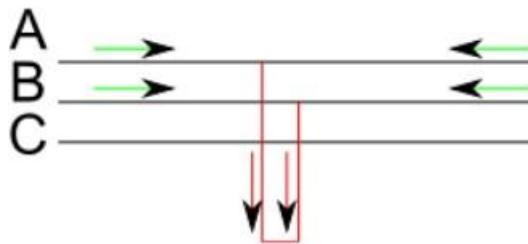


Figure 3.4 : Défaut biphasé isolé. [19]

- Formule complète pour la valeur efficace :

$$I_{cc2} = U_n / (Z_d + Z_i)$$

Équation 3.2 [15]

$$Z_d = 0.29 \Omega$$

$$Z_i = 0.17 \Omega$$

$$I_{cc2} = 15.50 / (0.29 + 0.17) = 33.69 \text{ kA}$$

Le courant de défaut biphasé peut être du même ordre de grandeur que le défaut triphasé.

La formule  $I_{cc2} = 0.866 I_{cc3}$  ne s'applique pas pour les défauts aux bornes des machines.

d. Défaut terre (monophasé) :

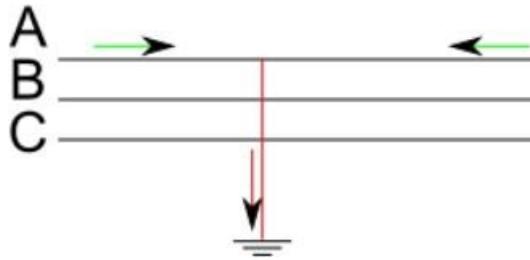


Figure 3.5 : Défaut monophasé. [19]

- Formule complète pour la valeur efficace :

$$I_t = 3 V_n / (Z_d + Z_i + Z_o) \quad \text{Équation 3.3 [15]}$$

$$Z_d = 0.29 \Omega, Z_i = 0.17 \Omega, Z_o = 0.07 \Omega.$$

Par contre, la mise à la terre ne peut être assimilée à une réactance que si elle est du type bobine selfique. Dans l'exemple, elle est du type résistance pure et ne peut pas être assimilée à une réactance.

- Formule simplifiée pour la valeur efficace :

$$I_t = V_n / R_n \quad \text{Équation 3.4 [15]}$$

$V_n$  : tension nominale simple (phase-terre)

$R_n$  : Valeur de la résistance (ou impédance) de mise à la terre du stator (en  $\Omega$ )

$$I_t = (15500 / \sqrt{3}) / 909.32 = 9.84 \text{ A}$$

On conclut que la méthode simplifiée  $I_t = V_n/R_n$  et plus généralement  $I_t = V_n/Z_n$  est acceptable compte tenu de l'importance de la valeur de l'impédance de mise à la terre.

Finalement on trouve que :

- Défaut triphasé :  $I_{cc3} = V_n / X'd$

- Défaut biphasé :  $I_{cc2} = U_n / (X'd + X_i)$
- Défaut monophasé :  $I_t = V_n / Z_n$

### 3.3 Exploitation du point neutre de l'alternateur :

Après avoir calculé le courant de court-circuit monophasé, nous avons constaté que ce courant de défaut est très important, donc si le point neutre du stator est directement mis à la terre, cela provoquera un courant de défaut  $I_d$  important, qui ne provoquera aucune surtension, mais il sera très difficile voire impossible de réparer le stator. Eventuellement, l'isolement du point neutre du stator de la terre entraînerait un faible courant de défaut  $I_d$  (courant capacitif de la machine, transformateur de puissance), mais entraînerait une surtension importante dans la phase saine et l'utilisateur ne serait pas protégé. La réparation du stator ne causera aucun problème car il n'y a pas de dommages thermiques.

Pour limiter les surtensions très élevées, le calcul de cette valeur se fait avec la relation suivante :

$$R(\text{neutre}) = V_n / I_t = (U_n / \sqrt{3}) / I_t$$

- **Mise à la terre de l'enroulement statorique : [9]**

Deux méthodes principales sont généralement utilisées pour la mise à la terre de l'enroulement statorique. Elles sont celle à travers une petite impédance et celle à travers une grande impédance.

Mise à la terre à travers une petite impédance : la figure ci-après montre un alternateur mis à la terre à travers une résistance ou une réactance. La résistance ou la réactance est sélectionnée pour limiter la contribution d'un défaut à la terre à un courant allant de 200A à 150% du courant nominal de l'alternateur. Ce type de mise à la terre est généralement pratiqué quand le raccordement du turboalternateur au système de puissance est direct.

Mise à la terre à travers une grande impédance : la figure ci-après montre un alternateur mis à la terre en utilisant un transformateur de distribution avec une résistance au secondaire. Cette méthode de mise à la terre permet de réduire le courant de défaut à la terre à un niveau bas. Elle est utilisée pour les turboalternateurs raccordés au système de puissance à travers un transformateur élévateur.

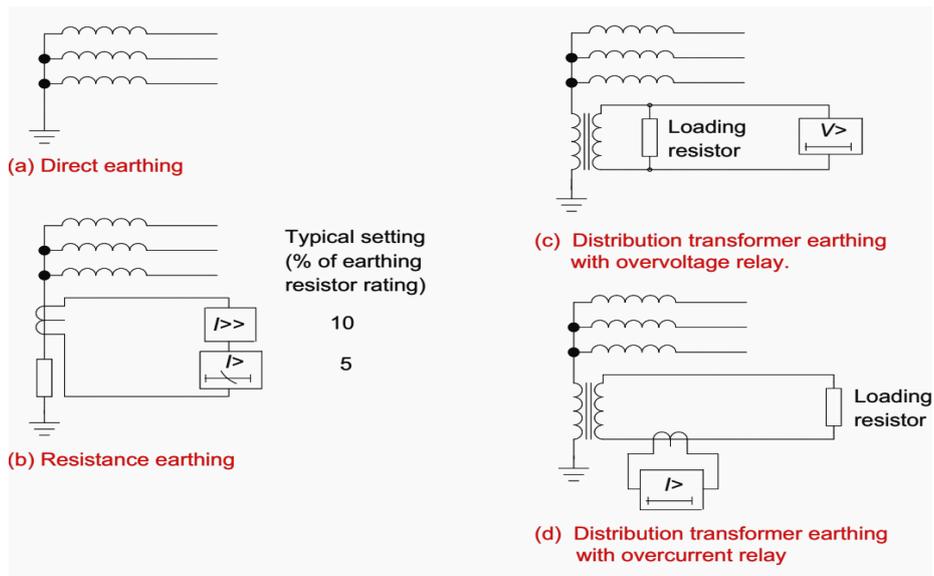
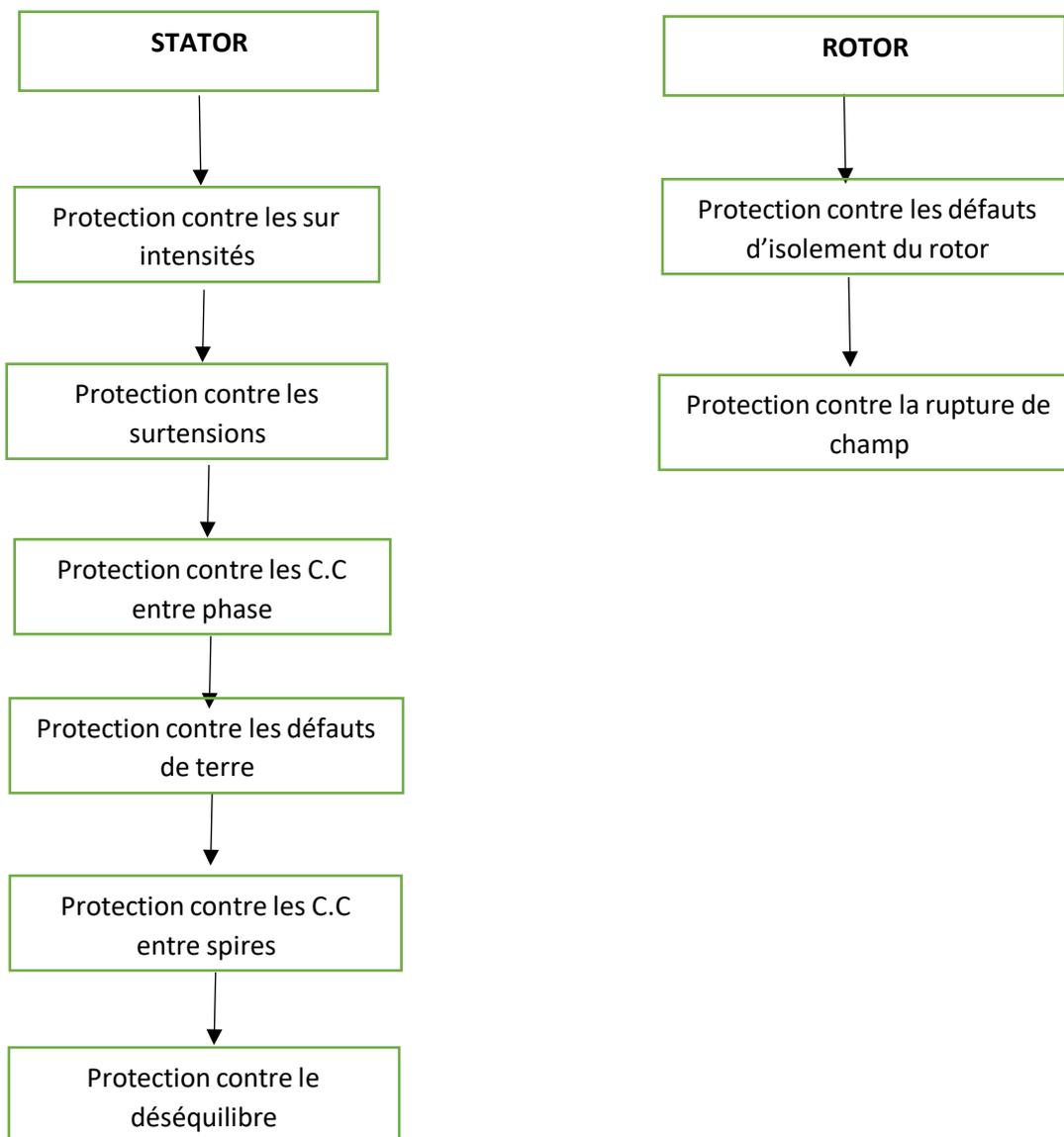


Figure 3.6 : Mise à la terre du stator.[9]

## 3.4 Plan de protection des alternateurs :



**Figure 3.7 :** Schéma synoptique des protections de l'alternateur.

Le dispositif de protection englobe l'ensemble des protections ou fonctions de protections d'un alternateur comme le montre le synoptique de la figure suivante.

Il existe deux canaux de protection de l'alternateur : [15]

Fonction de protection	Fonction	Canal
Protection différentielle alternateur seul	87G	B
Protection contre les déséquilibres de charge	46	A/B
Protection contre la perte d'excitation (2 étape)	40	A/B
Protection contre les retours de puissance	32	A/B
Protection contre les défauts entre rotor et masse (2 étape)	64R	A
Protection volts/hertz	59/81	A/B
Protection contre les défauts entre stator et masse	64S1	A
Protection contre le défauts à la masse (on open delta VT)	59N	A
Protection minimale - impédance back-up relais	21	A
Protection balance de tensions (entre A & B)	60	
Protection de fréquence (sous/sur la fréquence)	81	A/B
VProtection contre les surtensions	59	A/B
Protection contre les sous-tensions	27	A/B
Protection de phase (perte de synchronisme)	78	B
Protection contre les défauts entre démarreur statique et masse	64DC	A
Protection contre les surintensités (durant démarrage GT)	51LF	A/B
Protection contre les surtensions (durant démarrage GT)	59LF	A
Protection différentielle totale	87T	A
Transform. Principal défaut à la terre côté H.T	51N	B

Transform. Principal différentiel défaut à la terre H.T	87REF	A
Transform. de soutirage différentiel	87 UT	B
Transform. Principal côté H.T surintensité	50/49	A
Panne du disjoncteur	50 BF	B
Protection sous-puissance (Low forward relay)	37	A/B
Relais de blocage	86G-86TR	A/B
Décl. circuit de surveillance disjoncteur (GCB)	74 COIL 1-2	
Surveillance relais de blocage (TOTALE 4)	74	A/B
Surveillance relais c.c (totale 4)	80	A/B
IRF (internal relay supervision)	irf	A/B
Logiques fonctionnelles adéquates		A/B

**Tableau 3.1** : les fonctions de protections et les canaux. [18]

On a pris comme exemple les plans d'une tranche de production des canaux A et B, voir les schémas suivants :

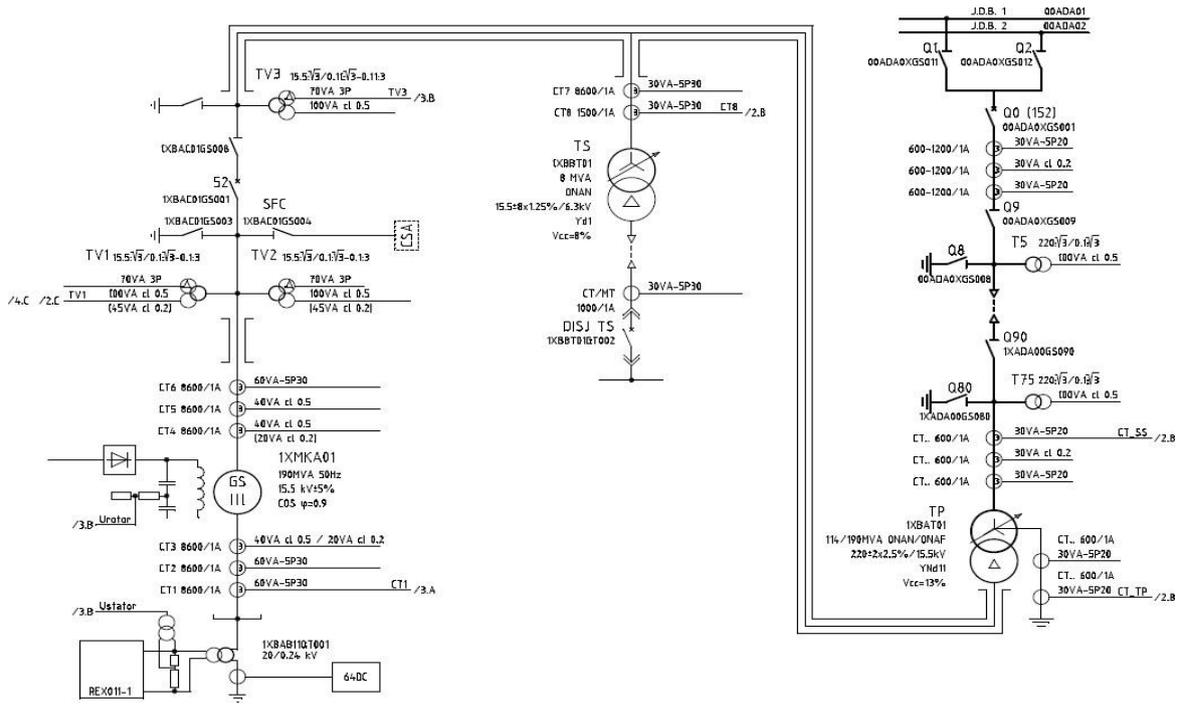


Figure 3.8 : schémas unifilaires de la protection d'alternateur CANAL A. [16]

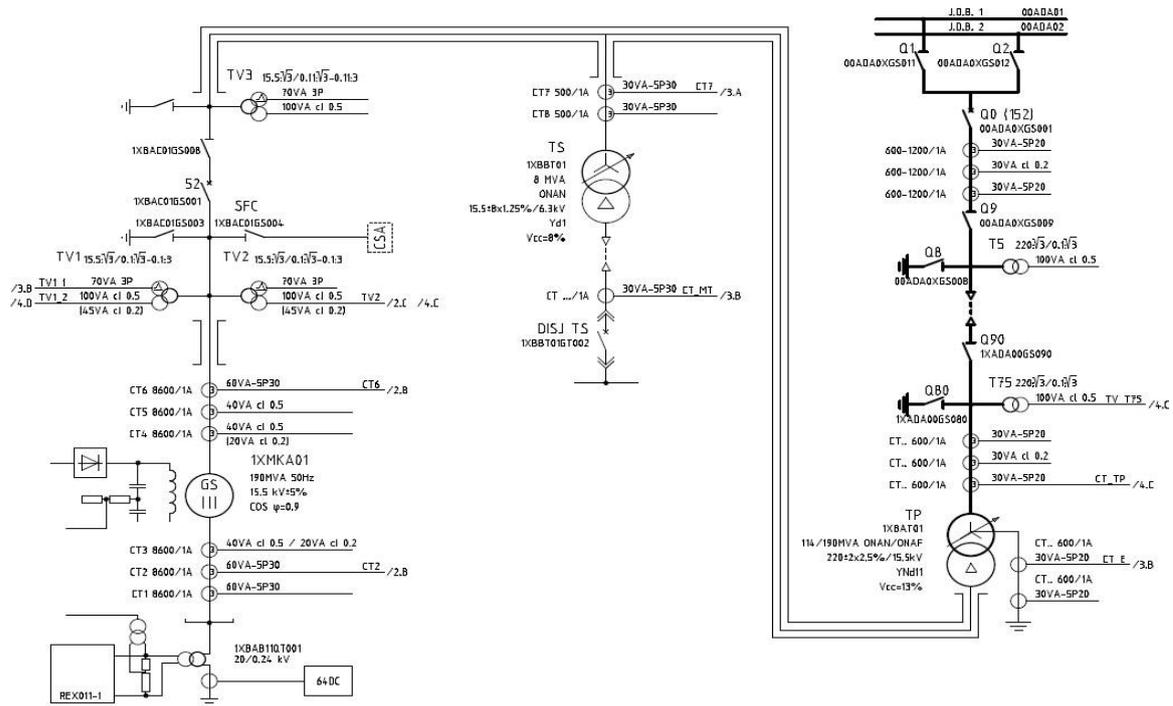
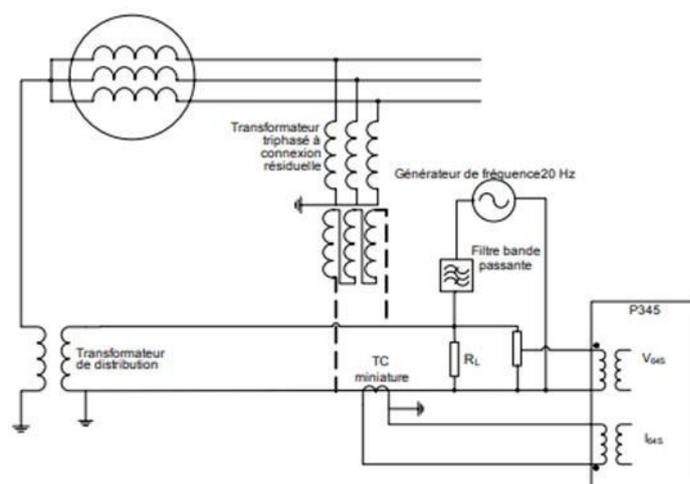


Figure 3.9 : schémas unifilaires de la protection d'alternateur CANAL B. [17]

### 3.4.1 protection contre les défauts masse-stator 100% (64 S) : [18]

La protection 100% masse stator faisant appel à une technique d'injection basse fréquence détecte les défauts présents dans tout l'enroulement, y compris le point neutre de l'alternateur. Si la présence d'un défaut terre au point neutre de l'alternateur ou à proximité de ce point n'est pas détectée, l'alternateur fonctionne en réalité avec une faible impédance de mise à la terre shuntant la mise à la terre par une impédance élevée généralement utilisée pour les grosses machines. Dans ces conditions, un second défaut à la terre risque de provoquer la circulation d'un très fort courant, qui peut provoquer de graves dégâts sur la machine. C'est pourquoi la protection 100% masse stator est une exigence courante sur les grosses machines.



**Figure 3.10** : Schéma de circuit de la protection 100% masse stator avec transformateur de mise à la terre (triangle ouvert) ou transformateur de neutre

#### a. Caractéristiques :

- Protection de la totalité de l'enroulement statorique, y compris du point neutre, quelles que soient les conditions de service (machine à l'arrêt par exemple).
- Fonction convenant également dans le cas d'une double mise à la terre dans la zone protégée
- Surveillance permanente du niveau d'isolement
- Fonction basée sur le principe de la tension de déplacement du point neutre et sur le calcul de la résistance de défaut
- Seuils d'alarme et de déclenchement introduits, mesurés et affichés en k

**b. calcule de la résistance de défaut :**

Avec cette configuration, la tension injectée est appliquée par le secondaire du transformateur de mise à la terre, qui peut être un transformateur de distribution situé au neutre de l'alternateur, ou un transformateur de tension triphasé à cinq colonnes avec les enroulements secondaires connectés en triangle ouvert. Le courant est également mesuré sur le circuit du transformateur secondaire. L'équipement mesure donc la résistance de défaut secondaire reflété par le transformateur de mise à la terre. La résistance de défaut primaire est liée à la résistance secondaire selon la formule suivante :

$$(R_{\text{primaire}}/R_{\text{secondaire}}) = V_{\text{primaire}}^2 / V_{\text{secondaire}}^2$$

Il faut aussi prendre en compte le diviseur de potentiel et le rapport de TC. La résistance primaire est donc calculée à partir de la résistance secondaire, comme suit :

$$R_{\text{primaire}} = (V_{\text{pri}}/V_{\text{sec}})^2 * (V \text{ coef.de division} / \text{TC rapport}) * R_{\text{sec}}$$

$$(R_{\text{pri}}/R_{\text{sec}}) = R_{\text{facteur}} = ((V_n/\sqrt{3})/500)^2 * (5/2) * (5/200)$$

**3.4.2 Protection contre les retours de puissance (32) : [15]**

Pour la logique d'inter-verrouillage de la protection "entre spires", un élément de maximum de puissance apparente inverse à un seuil  $S_i > 1$  est disponible.

**a. Caractéristiques :**

- Utilisée pour :
  - Protection par critère de puissance active
  - Protection par critère de retour de puissance
  - Protection par critère de puissance réactive
- Fonction à minimum ou à maximum de puissance
- Mesure monophasée, biphasée ou triphasée
- Compensation d'angle ajustable pour compenser les erreurs dues aux transformateurs d'entrée

**b. Consignes de réglage du maximum de puissance inverse :**

Le seuil de détection de la puissance doit être réglé à une valeur supérieure à la puissance apparente inverse due au déséquilibre maximum à charge nominale sur le réseau. Ce réglage peut être établi en pratique pendant la phase de mise en service, en utilisant le menu MESURES de l'équipement pour afficher la valeur de la puissance apparente inverse en régime permanent et en augmentant cette valeur d'environ 20%.

Temps de déclenchement maximal sans retard : 70 ms

Cet élément est essentiellement appliqué pour fournir un signal d'inter-verrouillage à la protection "entre spires". Il est donc associé à une temporisation de courte durée, inférieure au temps de fonctionnement de la protection "déplacement de tension du neutre".

**3.4.3 Protection différentielle alternateur seul (87G) : [15]**

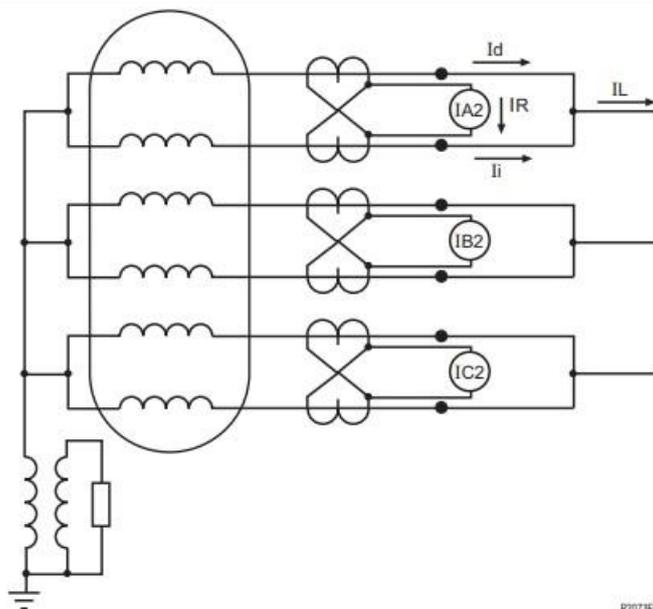
La défaillance des enroulements du stator ou de l'isolement des raccordements peut se traduire par de graves détériorations dans les enroulements et le circuit magnétique du stator. L'étendue de l'avarie sera fonction du niveau du courant de défaut et de la durée du défaut. La protection doit être appliquée afin de limiter l'importance de l'avarie afin de réduire les coûts de réparation. Dans le cas d'une centrale de production, l'isolation rapide de celle-ci par rapport au réseau peut s'avérer également nécessaire pour préserver la stabilité du réseau.

**a. Caractéristiques :**

- Protection pour transformateur à deux ou à trois enroulements
- Fonction triphasée
- Caractéristique dépendante du courant
- Stabilité élevée en présence de défauts externes et de saturation des T.I.
- Adaptation au mode de couplage et au rapport des T.I. incorporée et donc, transformateurs intermédiaires superflus
- Stabilisation à l'enclenchement par critère basé sur la présence du deuxième harmonique

### b. Protection différentielle contre les défauts "entre spires" :

Pour les alternateurs dont le circuit statorique possède des multiples enroulements, le risque des défauts entre spires est possible. A moins que ce défaut évolue en un défaut terre stator, il serait difficile de le détecter par les fonctions de protection conventionnelles. Les alternateurs de centrales hydrauliques ont généralement des circuits statoriques avec des enroulements multiples et des enroulements en parallèle.



**Figure 3.11** : Protection contre les défauts "entre spires" utilisant des TC séparés [18]

### 3.4.4 Protection à maximum de tension à retard indépendant (59, 27) : [15]

#### a. Protection à maximum de tension (59) :

Une surtension aux bornes de l'alternateur peut se produire quand il tourne sans être raccordé à un réseau électrique ou quand il alimente un réseau électrique îloté. Cette surtension peut se produire en cas de défaut sur le régulateur automatique de tension ou si un opérateur commet une erreur sur le régulateur de tension configuré en mode manuel. La protection à maximum de tension doit être configurée pour empêcher d'éventuelles avaries de l'isolation de l'alternateur, un flux excessif prolongé de la centrale ou des dommages aux charges du réseau électrique.

Quand un alternateur est synchronisé sur un réseau électrique avec d'autres sources, une surtension peut se produire si l'alternateur est légèrement chargé alors qu'il débite un de

courant capacitif élevé sur le réseau. Une surtension est également susceptible de se produire suite à la séparation d'une partie du réseau, entraînant pour l'alternateur la perte brutale de sa charge, tout en demeurant raccordé à une partie du réseau électrique d'origine. Le régulateur automatique de tension et le régulateur de vitesse de la machine doivent réagir rapidement afin de corriger les causes de la surtension. Toutefois, la protection à maximum de tension est recommandée afin d'assurer la protection contre une éventuelle défaillance du régulateur de tension ou si le régulateur a été configuré en mode manuel. Dans le cas des centrales hydrauliques, le temps de réponse du régulateur de vitesse peut être si long que des survitesses transitoires atteignant 200% de la vitesse nominale peuvent se produire. Même si le régulateur de tension réagit, une telle survitesse peut engendrer une surtension transitoire de l'ordre de 150%. Une haute tension de ce niveau peut rapidement provoquer une détérioration de l'isolation.

**Caractéristiques :**

- Fonction à maximum ou à minimum de tension
- Mesure triphasée ou monophasée
- Evaluation de la plus grande (resp. de la plus petite) des valeurs de phase dans le cas d'une fonction triphasée

**b. Fonction de protection à minimum de tension (27) :**

La protection à minimum de tension n'est pas souvent spécifiée pour la protection des alternateurs. Toutefois, les éléments à minimum de tension sont parfois utilisés comme éléments de verrouillage pour d'autres fonctions de protection, telles que la perte d'excitation. Sur la P34x, ce type de verrouillage peut être mis en œuvre via la logique de configuration d'équipement. La protection à minimum de tension est également utilisable en protection de secours quand il peut s'avérer difficile d'assurer une sensibilité adéquate avec des éléments à maximum de courant dépendant de la tension / minimum d'impédance / maximum de courant inverse.

Dans le cas d'un alternateur isolé ou d'un groupe d'alternateurs isolés, une baisse de tension prolongée peut se produire pour un certain nombre de raisons. L'une d'elle pourrait être la défaillance de l'équipement de régulation automatique de tension (AVR). Quand on utilise un transformateur auxiliaire pour alimenter les auxiliaires de l'alternateur, tels que pompes de

remplissage de chaudière, ventilateurs, pompes de lubrification, etc., une baisse de tension prolongée pourrait affecter défavorablement les performances de la machine. Si une telle situation est susceptible de se produire, l'application d'une protection à minimum de tension temporisée pourrait être étudiée.

**Caractéristiques :**

- Traitement des valeurs instantanées et donc extrêmement rapide et indépendante de la fréquence dans un large domaine
- Mise en mémoire de la plus grande des valeurs instantanées après mise au travail
- Pas de filtrage des composantes apériodiques
- Pas de filtrage des harmoniques
- Mesure monophasée ou triphasée
- Prise en compte de la plus grande des valeurs en cas de fonction triphasée
- Réglage de la fréquence limite minimale  $F_{min}$

**3.4.5 Protection à maximum de courant phase (50/51) : [15]**

Un élément directionnel/non directionnel à maximum de courant à quatre seuils est disponible dans les équipements P34x. Cet élément peut être utilisé pour apporter au réseau une protection de secours temporisée et une protection à seuil élevé assurant un fonctionnement rapide en présence de défauts de machine.

Les deux premiers seuils présentent une caractéristique temporisée qui est configurable soit en temps inverse (IDMT) soit en temps constant (DT). Le troisième et le quatrième seuil comportent une temporisation à temps constant que l'on peut régler à zéro pour obtenir un fonctionnement instantané. Chaque seuil peut être activé ou désactivé de manière sélective.

Cet élément utilise les entrées d'équipement  $I_a$ ,  $I_b$  et  $I_c$  et peut être alimenté par les TC côté bornes de sortie ou côté neutre de l'alternateur, selon l'application.

**Caractéristiques :**

- Mémorisation de la valeur du courant maximum lors de la mise au travail
- Rappel de la fonction après retour de la tension ou après déclenchement
- Mesure de courant monophasée ou triphasée
- Prise en compte de la composante directe de la tension

### 3.4.6 Protection de fréquence (81) :[15]

#### a. Protection à minimum de fréquence (PTUF, 81) :

La diminution de la fréquence est le résultat d'un manque de production dans le réseau.

La fonction peut être utilisée pour les systèmes de délestage, les schémas de mesures correctives, le démarrage des turbines à gaz, etc.

La fonction dispose d'un blocage à minimum de tension. Le fonctionnement peut se baser sur une mesure de tension monophasée, sur une mesure entre phases ou sur une mesure de tension directe.

#### b. Protection à maximum de fréquence (PTOF, 81) :

Une surfréquence se produit en cas de perte soudaine de charge ou de défaut de shunt dans le réseau électrique. Une surfréquence peut également être provoquée dans certains cas par des problèmes de régulation des éléments de production.

La fonction peut être utilisée pour le délestage de production, les schémas de mesures correctives, etc. Elle peut également être utilisée comme un étage à fréquence subnominale pour la reprise de charge.

La fonction dispose d'un blocage à minimum de tension. Le fonctionnement peut se baser sur une mesure de tension monophasée, sur une mesure entre phases ou sur une mesure de tension directe.

#### Caractéristiques :

- Fonction à maximum ou à minimum de fréquence
- Blocage à minimum de tension
- Possibilité d'une mise au travail combinée à un critère de fréquence

### Réglages :

- Fréquence : 40...65 Hz par pas de 0,01 Hz
- Retard : 0,1...60 s par pas de 0,01 s
- Tension nominale : 0,2...0,8 Un par pas de 0,1 Un
- Précision du seuil de mise au travail :  $\pm 30$  mhz (sous Un et Fn)
- Rapport de retour : <106%
- Temps de mise au travail : <135 ms

### **3.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a vu les différentes protections associées aux défauts d'origine internes et externes de l'alternateur ANSALDO **WY21Z-092RR**, qui sert en premier lieu à détecter et éliminer la propagation nuisible de ces derniers.

**4.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, on va proposer deux défauts très fréquents au niveau de la centrale électrique de Larbaa qui sont : la surtension et la sous/sur fréquence, et on va protéger l'alternateur contre ces défauts avec les dispositifs nécessaires en utilisant l'environnement MATLAB, Ce dernier permet de réaliser des circuits et schémas électriques pour exécuter des simulations, d'analyser des résultats et de gérer des données d'une façon qui nous correspondent.

**4.2 Les éléments utilisés dans la simulation :**

Nous avons étudié les différents types de défauts et leur effet sur l'alternateur grâce à l'environnement Matlab qui nous a permis de réaliser le circuit nécessaire du réseau de la centrale et l'affichage des graphiques dans les différents cas pour analyser les données et étudié les différents phénomènes. **Le système de simulation comprend :**

Simulink bloc	Signification
Three-phase voltage source	L'alternateur ANSALDO (15.5kV, 190 MVA).
BUS A / BUS B	Mesures de tension et de courant triphasées
Three-Phase Breaker	Un disjoncteur triphasé commandé.
Overvoltage Relay / Frequency Relay	Les relais de protection contre la surtension et la sous/sur fréquence
BUS A load / BUS B load	Implémente une charge RLC série triphasée

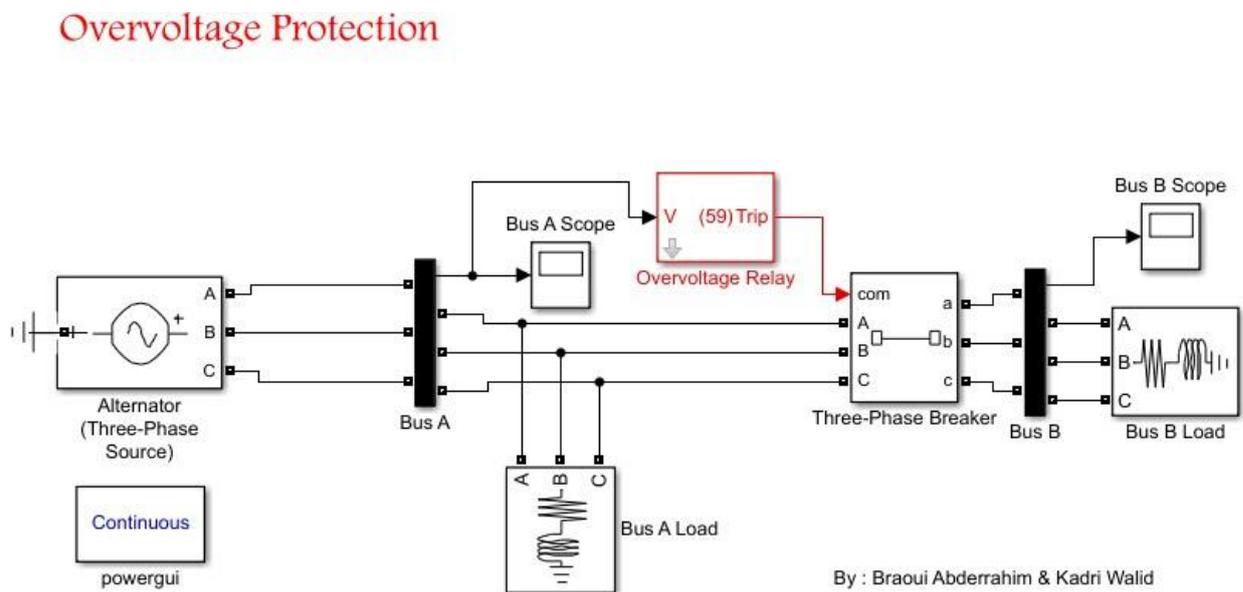
**Tableau 4.1 :** le système de simulation et la signification

Simulink est un outil Matlab pour modéliser, simuler et analyser des systèmes dynamiques. Le logiciel peut étudier le comportement d'un grand nombre de systèmes dynamiques, y compris les systèmes électriques, mécaniques et thermodynamiques.

**4.3 Protection contre la surtension :**

La tension électrique est une grandeur physique correspondant à la circulation d'un champ électrique le long d'un circuit électrique. En d'autres termes, elle correspond à la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit électrique (dipôle). Elle s'exprime en Volts (V), est notée U, et se mesure à l'aide d'un voltmètre. On dit qu'il y a surtension électrique lorsque la tension apportée est supérieure à la tension maximale prévue dans le circuit électrique. [1]

Le modèle simulé de la protection contre la surtension est représenté dans la figure ci-dessous.



**Figure 4.1 :** Modèle simulé de la protection contre la surtension (59)

Le relais de protection contre la surtension n'est pas disponible dans la bibliothèque de Simulink, donc on a utilisé le bloc « Overvoltage Relay » qui est développé par le professeur Rodney Tan, ce bloc fonctionne absolument comme le relais de surtension, tandis que , il fonctionne lorsque la tension dépasse la valeur prédéterminée.

Le réglage de surtension est généralement de 110 % à 130 % de la normale tension de fonctionnement en fonction des exigences du système, à notre cas, on a réglé la surtension à 10%

Donc si la tension apportée est supérieure à 10% à la valeur nominale de la tension, le relais va envoyer un signal pour le disjoncteur pour déclencher.

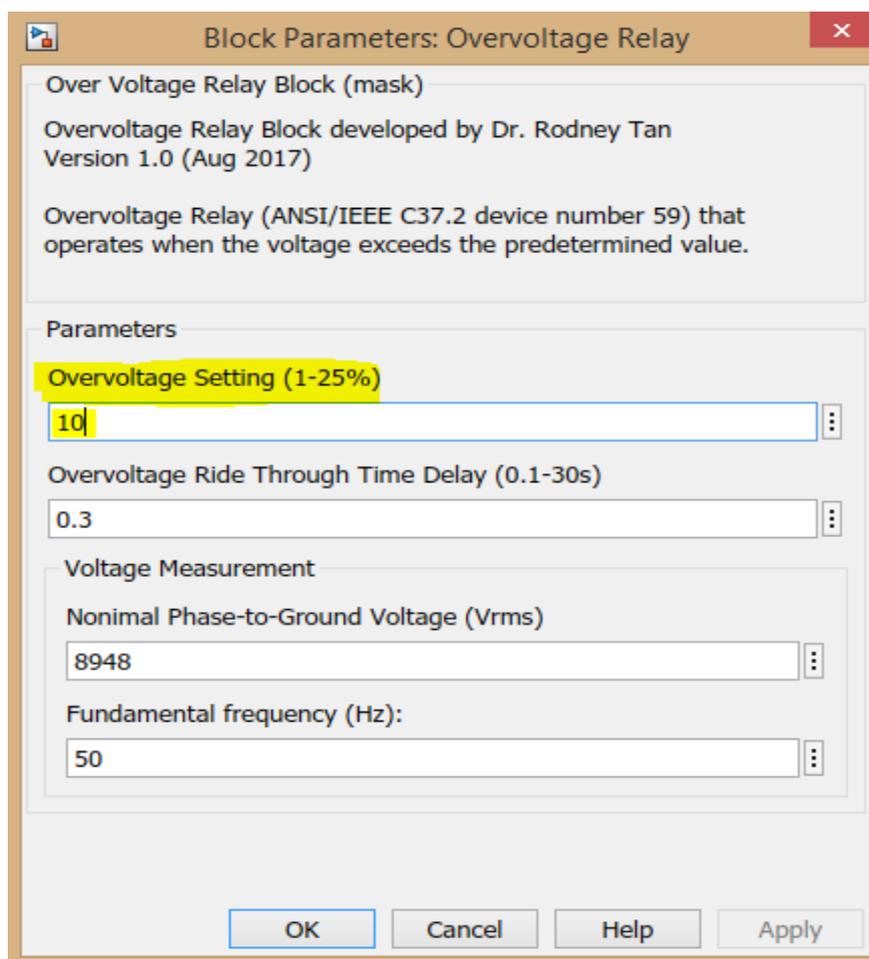


Figure 4.2 : Les paramètres de relais de surtension

Le bloc « Overvoltage Relay » est constitué par un sous-système et un programme de fonctionnement qui sont représentés par les figures ci-dessous :

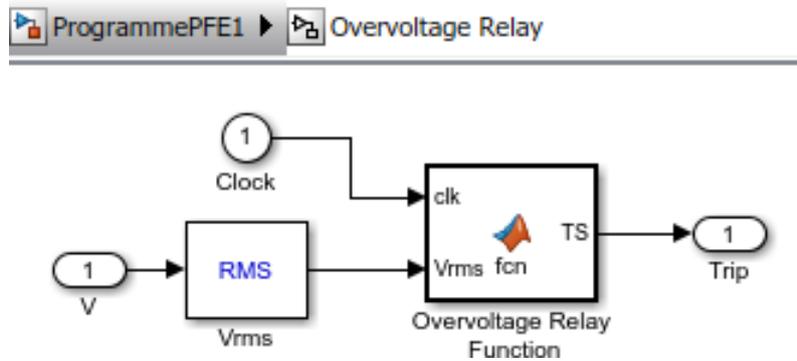


Figure 4.3 : Le sous-système de relais de surtension

```

Editor - Block: ProgrammePFE1sansdefaut/Overvoltage Relay/Overvoltage Relay Function
Overvoltage Relay/Overvoltage Relay Function x +
1  function TS = fcn(clk,Vrms,Vn,OVset,delay)
2
3  persistent RelayState TripTime CaptureClk StopClk
4
5  if isempty(RelayState)
6      RelayState = 0;    % Reset Relay
7      TripTime = inf;
8      CaptureClk = 0;
9      StopClk = 0;
10 end
11
12 if max(Vrms) >= (Vn + (Vn * (OVset / 100)))
13     if (CaptureClk == 0)
14         StopClk = clk + delay; % Capture current clock plus delay time
15         CaptureClk = 1;
16     end
17     if (RelayState == 0) && (clk - StopClk >= 0)
18         TripTime = clk + 0.02; % Added 20ms delay due to mechanical relay contact movement
19         RelayState = 1;
20     end
21 else
22     CaptureClk = 0;
23 end
24
25 TS = (clk <= TripTime);
    
```

Figure 4.4 : le programme de fonctionnement de relais de surtension

Le modèle de cette protection est exécuté pour les deux cas suivants :

- **Fonctionnement normal :**

Les paramètres de relais de surtension sont réglé à 10% (la valeur de surtension), donc, dans le fonctionnement normal la tension apportée sera inférieure à 10% de la tension nominale.

- **En cas de défaut :**

Dans ce cas, la tension apportée sera supérieure à 10%.

### **4.3.1 Simulation de la protection contre la surtension :**

#### **Les paramètres nécessaires de l'alternateur :**

La tension nominale : 15.5 KV

La fréquence nominale : 50 HZ

La puissance nominale : 190 MVA

#### **A. Fonctionnement normal :**

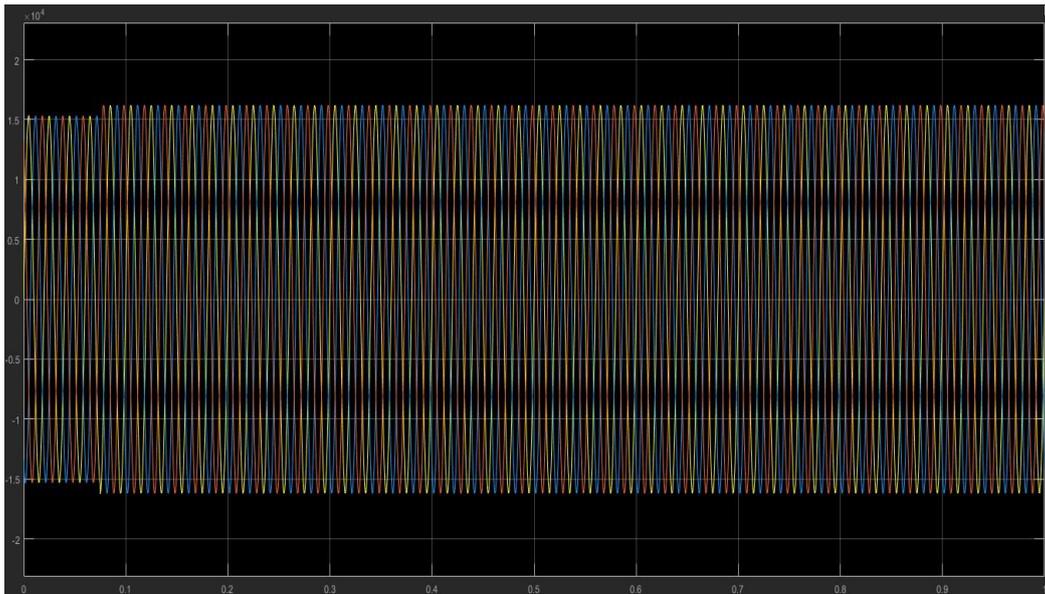


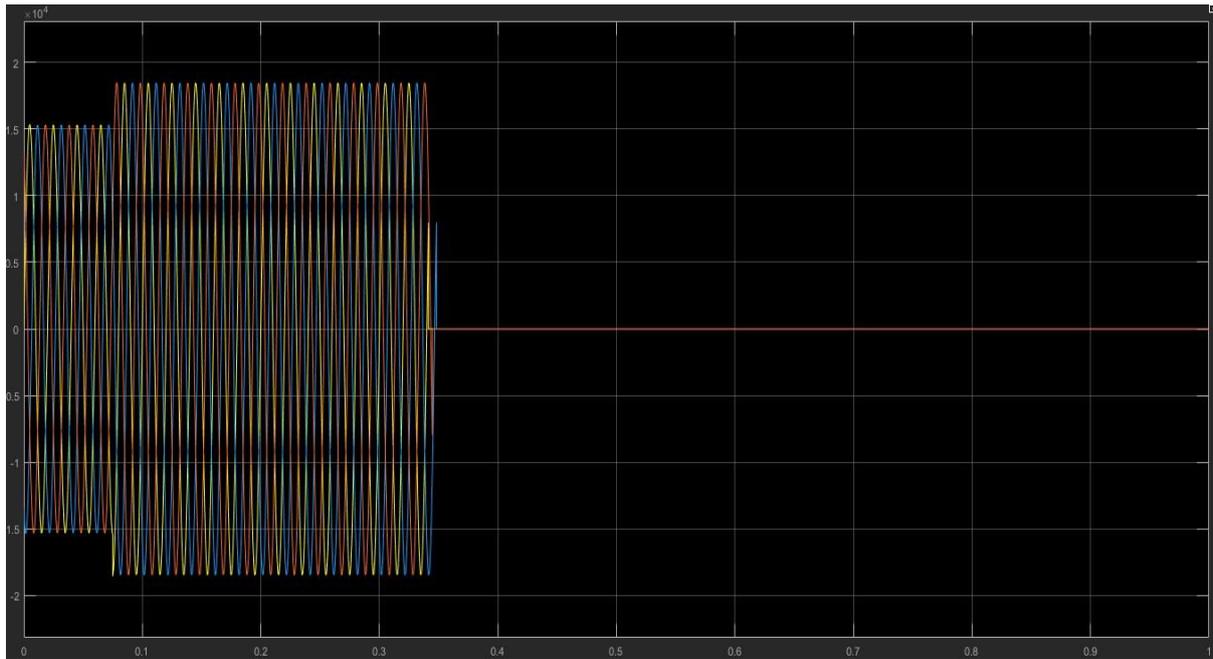
Figure 4.5 : Tension triphasé dans le fonctionnement normal

**Commentaire :**

**A l'intervalle [0 ; 0.75] :** La tension apportée égale à la tension nominale (15500 V)

**A l'intervalle [0.075 ; 1] :** la tension apportée égale à 16400 V, donc elle est égale à 05% de la tension nominale , mais elle est considéré comme un fonctionnement normal car les paramètres de relais de surtension sont réglé à 10% ( la valeur de surtension) , Alor , aucun défaut n'a affecté l'alternateur et le disjoncteur est fermé.

**B. Cas de défaut :**



**Figure 4.6 :** tension triphasée avec l'intervention de relais

⇒ On a appliqué un défaut a 0.075

Commentaire :

Dès que la tension mesurée est supérieure à 110% de la tension nominale, le relais de surtension intervient pour protéger l'alternateur, tandis que, il à temporiser 0.4 seconde et il a envoyé un signal pour le disjoncteur pour le déclanchement.

#### 4.4 Protection contre la sous/sur fréquence :

La fréquence dans les réseaux électriques doit être maintenue dans les niveaux de fonctionnement acceptés pour minimiser les risques et pour assurer le bon fonctionnement et les performances de l'alternateur.

La protection contre les sous/sur fréquences surveille en permanence la fréquence. Si la fréquence d'une installation dépasse ses limites acceptables, l'information délivrée par la

protection sous/sur fréquence peut être utilisée pour déclencher les actions appropriées afin de rétablir les bonnes conditions de fonctionnement de l'installation.[2]

Donc, on a utilisé un relais de contrôle de fréquence qui est le responsable principal pour surveiller la fréquence et qui délivre l'information au disjoncteur pour le déclenchement en cas de fréquence dépasse ses limites.

UnderFrequency Protection

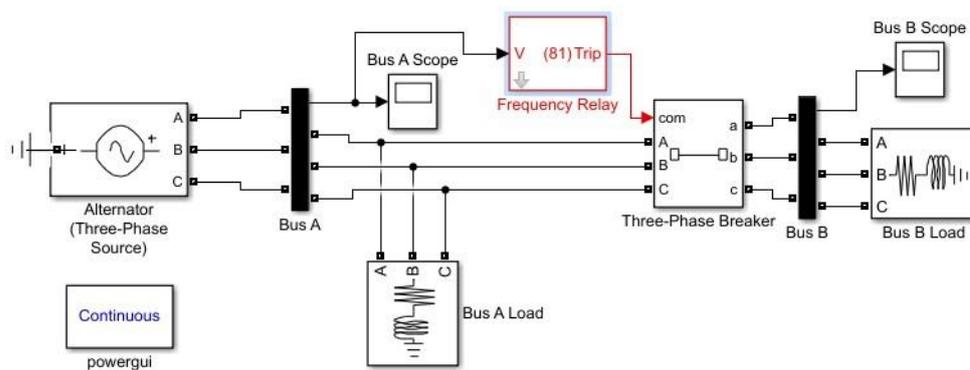


Figure 4.7 Modèle simulé de la protection contre la sùr/sous fréquence

Le relais de contrôle de fréquence :

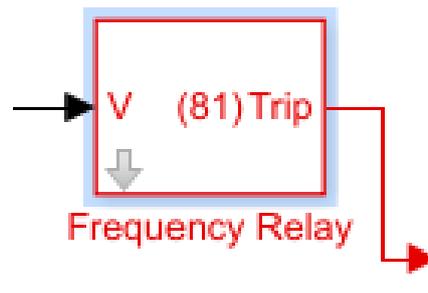


Figure 4.8 : Relais de contrôle de fréquence

C'est un relais qui fonctionne lorsque la fréquence de système est inférieure ou supérieure à la valeur prédéterminée

- ⇒ Le numéro 81U ou 81L est connu sous le nom de Relais de sous fréquence.
- ⇒ Le numéro 81O ou 81H est connu sous le nom de Relais de sur fréquence.

- **Relais de sous fréquence :**

Un relais de fréquence qui est actionné par une chute de fréquence électrique est connu sous le nom de relais de sous-fréquence. il est utilisé pour protéger le transformateur et l'alternateur lorsque la fréquence tombe en dessous de la fréquence de fonctionnement.

La sous-fréquence se produit en raison du bas niveau de la turbine fluctuation de la vitesse ou de la fréquence du réseau.

- **Relais de sur fréquence :**

Un relais de fréquence qui est actionné par une montée de fréquence électrique est connu sous le nom de relais de sur fréquence. Il sert à protéger le groupe électrogène des survitesses du rotor de l'alternateur.

**Les paramètres de relais de contrôle de fréquence :**

La fréquence du système : 50 Hz

Réglage de sous fréquence (en %) : 5 %

Réglage de sur fréquence (en %) : 5 %

Temporisation : 0.2 s

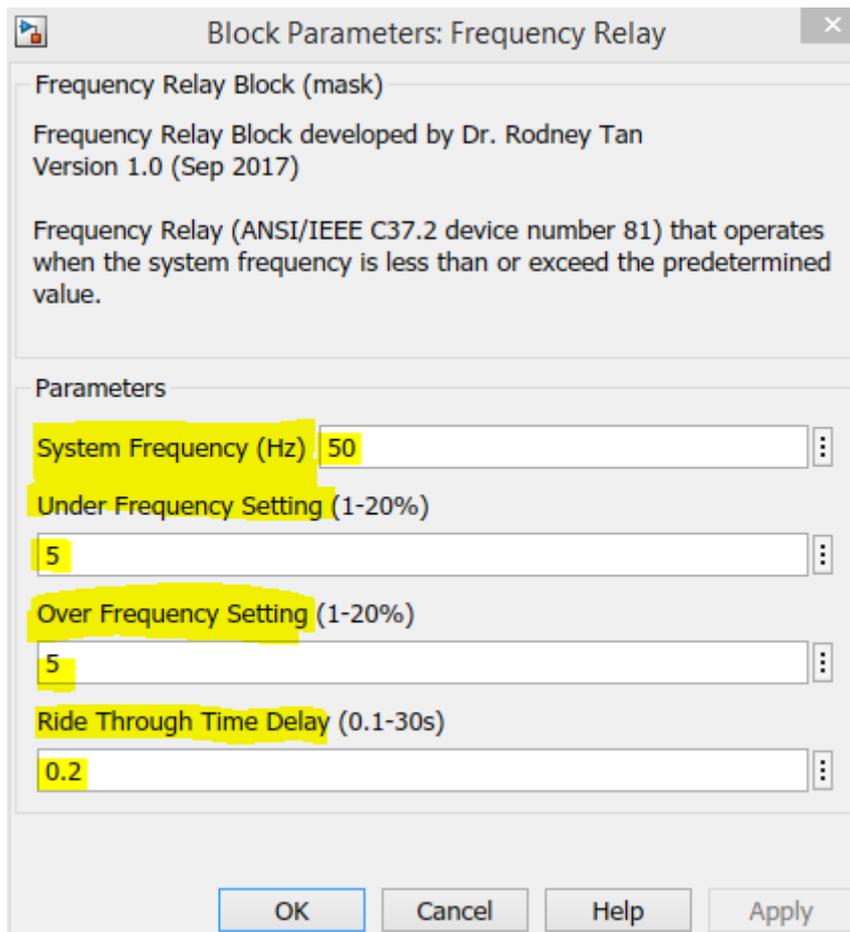


Figure 4.9 : Paramètres bloc : relais de fréquence

Le bloc « Frequency Relay » est constitué par un sous-système et un programme de fonctionnement qui sont représenté par les figures ci-dessous :

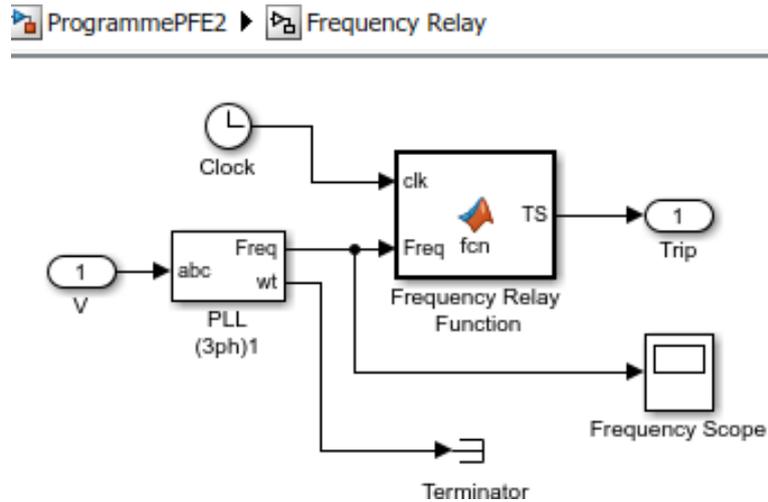


Figure 4.10 : Le sous-système de relais de fréquence

```

Frequency Relay/Frequency Relay Function x +
1  function TS = fcn (clk, Freq, SysFreq, UFset, delay, OFset)
2
3  persistent RelayState TripTime CaptureClk StopClk
4
5  if isempty(RelayState)
6      RelayState = 0;    % Reset Relay
7      TripTime = inf;
8      CaptureClk = 0;
9      StopClk = 0;
10 end
11
12 if Freq<=(SysFreq-(SysFreq*(UFset/100))) || Freq>=(SysFreq+(SysFreq*(OFset/100)))
13     if (CaptureClk == 0)
14         StopClk = clk + delay; % Capture current clock plus delay time
15         CaptureClk = 1;
16     end
17     if (RelayState == 0) && (clk-StopClk >= 0)
18         TripTime = clk + 0.02; % Added 20ms delay due to mechanical relay contact movement
19         RelayState = 1;
20     end
21 else
22     CaptureClk = 0;
23 end
24
25 TS = (clk <= TripTime);
    
```

Figure 4.11 : le programme de fonctionnement de relais de fréquence

Le modèle de cette protection est exécuté pour les deux cas suivants :

- **Fonctionnement normal** : la valeur de la fréquence égale à 50 Hz
- **En cas de défaut** : la valeur de la fréquence est supérieure ou bien inférieure (Fréquence nominale + 5%)

4.4.1 Simulation de la protection contre la sous/sur fréquence :

A. Fonctionnement normal :



Figure 4.12 : la fréquence en fonctionnement normal

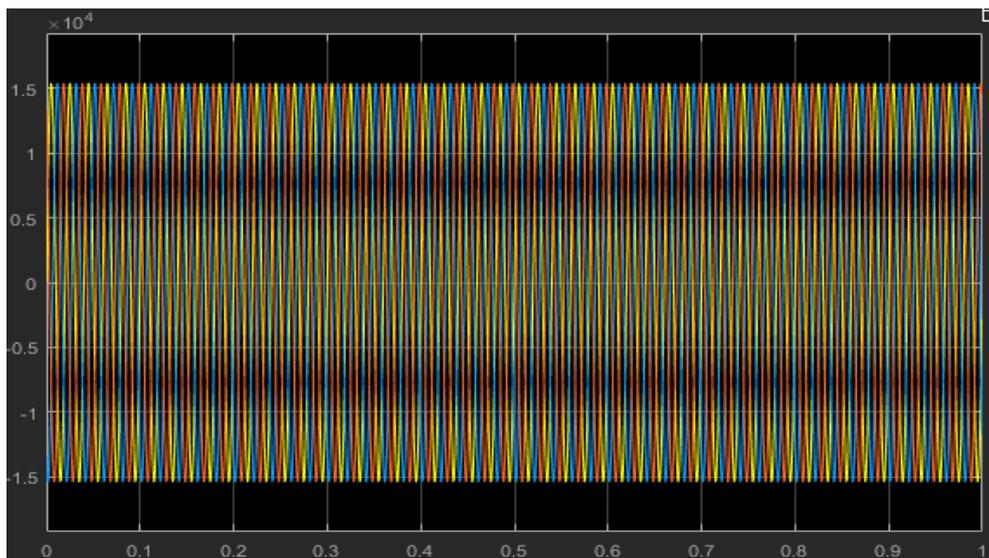
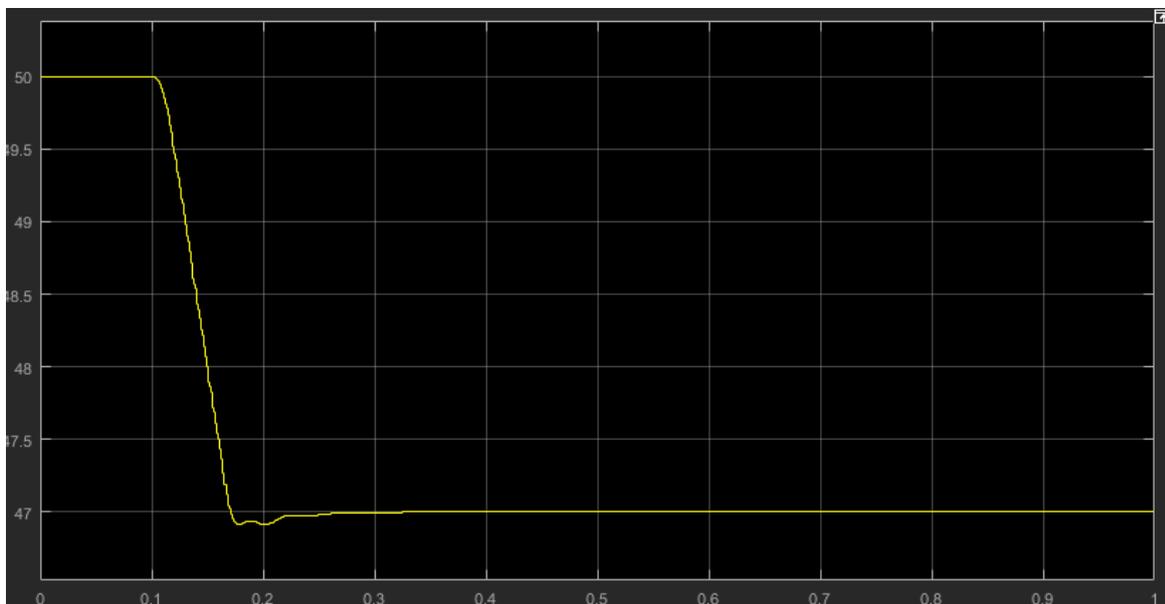


Figure 4.13 : Tension triphasé en fonctionnement normal

**Commentaire :**

En fonctionnement normal, la fréquence et les tensions sont en valeurs nominales, aucun défaut n'a affecté l'alternateur et le disjoncteur est fermé.

**b. En cas de défaut :****b.1 Sous fréquence :**

**Figure 4.14 :** la fréquence dans le cas de défaut sous fréquence

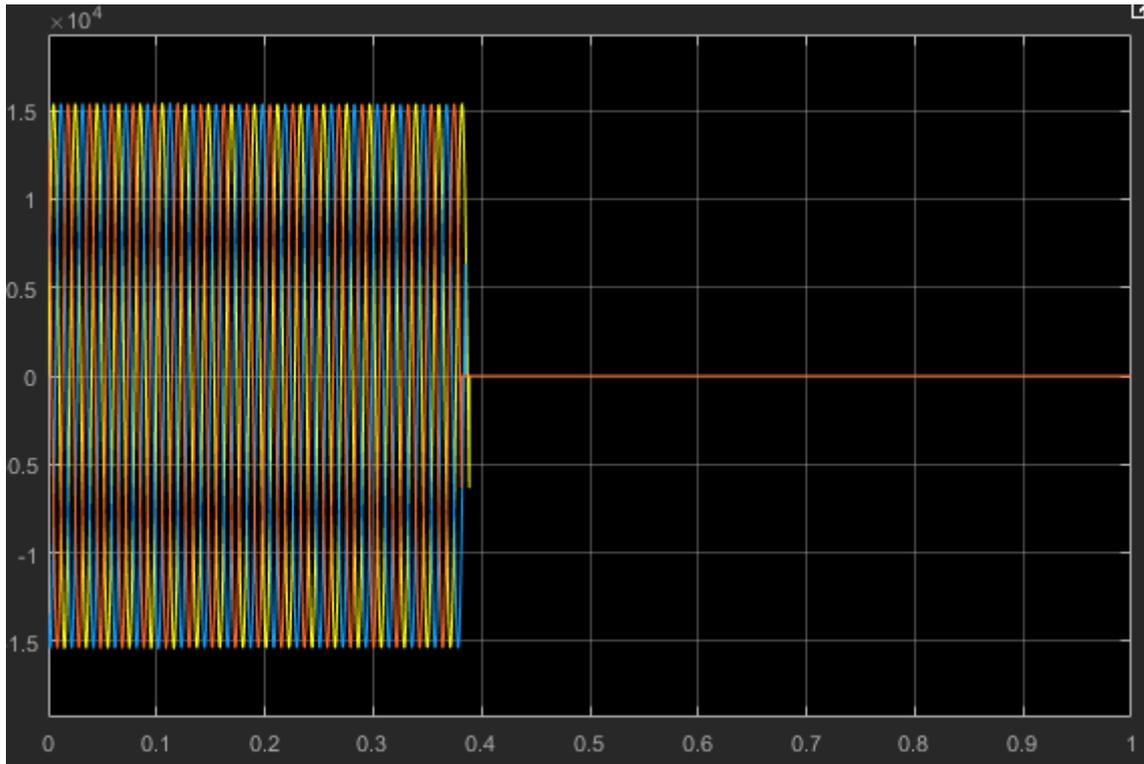


Figure 4.15 : Tension triphasé en cas de défaut sous fréquence

b.2 sur fréquence :

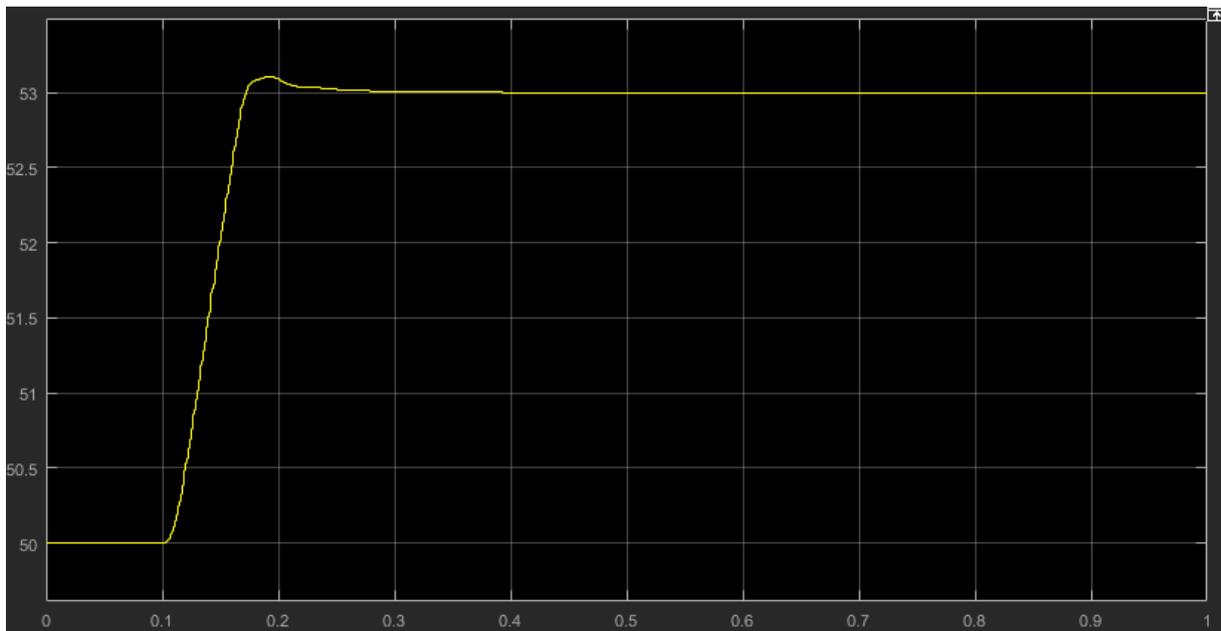
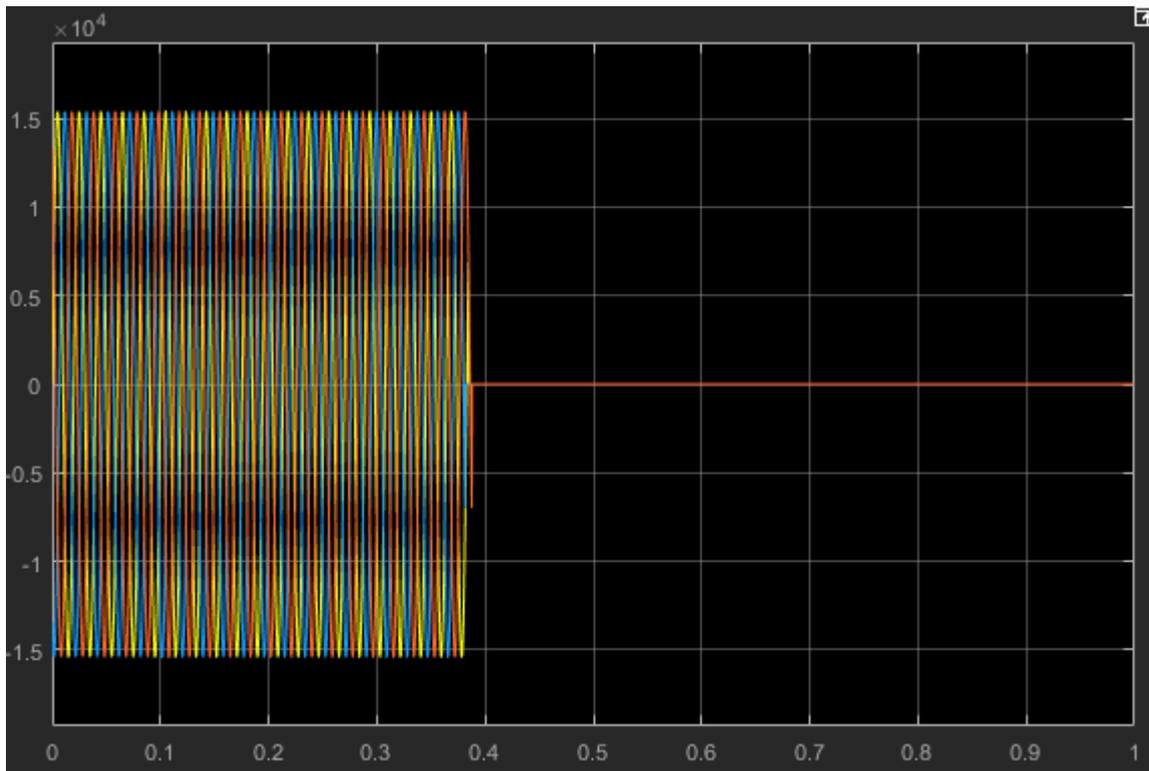


Figure 4.16 : la fréquence dans le cas de défaut sur fréquence



**Figure 4.17 :** Tension triphasé en cas de défaut sur fréquence

Commentaire :

Dès que la fréquence mesurée est supérieure ou inférieure à 5% de la fréquence nominale, le relais de contrôle de fréquence intervient pour protéger l'alternateur, tel que, il à temporiser 0.2 seconde et il a envoyé un signal pour le disjoncteur pour le déclanchement.

### 4.5 Conclusion :

La simulation nous montre l'importance des relais de protection et elle permet de mieux comprendre leur fonctionnement sous divers défauts. En effet, lors de la présence d'un défaut, le relais de protection prend une décision basée sur une combinaison entre les mesures effectuées et il transmettra un signal pour le disjoncteur pour le déclenchement.

l'alternateur est le cœur de la production de l'énergie électrique , donc dans ce travail nous avons abordé la protection contre les défauts dans le turbo-alternateur , suivant le plan de protection de SONELGAZ de Larbaa , Ces défauts rendre le système défaillant et interrompions sa continuité de service, cette étude comprend l'association d'équipements nécessaires à l'élimination des défauts, formant éventuellement un système de protection qui garantit une alimentation électrique ininterrompue aux utilisateurs.

Le premier chapitre nous avons présenté la centrale de Larbaa ainsi que sa tranche de production qui contient un alternateur et une turbine, et nous avons donné la description, le type et le principe de fonctionnement de chaque élément .

Dans le deuxième chapitre et après une présentation des différents éléments de la centrale électrique, nous avons présenté les outils de mesure et de protection de l'alternateur tel que les catégories et les caractéristiques des appareils de mesure et de protection ( TT , TC ) , ensuite on a étudié les différents types de relais de protection et leur principe de fonctionnement et enfin nous avons cité les classifications des disjoncteurs et leurs caractéristiques.

Après une présentation des différents éléments d'un système de protection. Le troisième chapitre comprend les types des défauts (internes et externes) et aussi l'étude des différents types de protections avec les calculs nécessaires.

Dans Le quatrième chapitre de notre travail nous avons présenté la simulation de deux protections sous environnement Matlab- Simulink protection contre la surtension et la protection contre la sùr/sous fréquence, en utilisant des relais de protection nécessaire dans chaque défaut , Nous avons simulé des relais de protection numériques et nous avons montré que ces éléments sont d'utilisation incontournable pour la détection des défauts ,et leurs efficacité d'intervention en agissent instantanément pour donner l'ordre au appareil de coupure dans le temps approprié .

- [1] Documentation interne de la centrale de LARBAA.
- [2] Manuel d'utilisation et de maintenance ANSALDO ENERGIA s.p.a PROJET LARBAA TURBINE A GAZ(4x139.9MW), 'TURBOALTERNATEUR WY21Z-092RR',
- [3] Manuel de formation ANSALDO ENERGIA s.p.a PROJET LARBAA TURBINE A GAZ (4x139.9MW), 'JANVIER 2009. "Section III : Générateur électrique'
- [4] Photo de l'ingénieur,2022, chargé de la maintenance électrique à la centrale de LARBAA,
- [5] [www.ansaldoenergia.com](http://www.ansaldoenergia.com)
- [6] [www.spe.dz](http://www.spe.dz)
- [7] Manuel de formation de fonctionnement de la turbine a gaz GENERAL ELECTRIC GE
- [8] [Html.crushtymks.com](http://Html.crushtymks.com)
- [9] Karakache Mohamed,2008, « contribution à l'analyse de la sureté de fonctionnement du système de protection d'un turbo-alternateur », Magister en Génie Electrique.
- [10] SALEM Abdenour/MECHENTEL Meroua,2008, « Étude de la protection de l'alternateur 50THR-L45 de la centrale de HAMMA II », Master Mention Électrotechnique Spécialité Machines Électriques.
- [11] Bendenidina attia ,2016 « modélisation et simulation d'un relais numérique a plusieurs fonctions sous Matlab-simulink pour la protection des ligne de transport contre les court-circuit » , Magister en électrotechnique
- [12] [www.abcclim.net](http://www.abcclim.net) « relais-electromecanique » .
- [13] Ahsene Mehidi ,2018 « Système de protection du turbo-alternateur » Electrotechniqueindustriel,
- [14] Sadek BELKEBIR /Mokrane AIT OUARAB ,2017 « Etude des protections électriques d'un alternateur de la centrale de Bab Ezzouar, défauts et amélioration » Réseaux électriques,
- [15] Manuel d'application, ABB « Protection d'alternateur REG670 2.0 CEI »

- [16]** ARMOIRE PROTECTION GENERATEUR CHANNEL A GROUPE 1 - PLAN  
D'ENCOMBREMENT ET CABL.
- [17]** ARMOIRE PROTECTION GENERATEUR CHANNEL B GROUPE 1 - PLAN  
D'ENCOMBREMENT ET CABLAG
- [18]** Manuel technique Areva « Protection d'alternateur MICOM 342, 343, 344, 345 »
- [19]** Haraizi mabrouka ,2015, » Défaut de court-circuit dans les machines électriques »,
- [20]** Cahier Technique MicroEner - André Marcel LEGRAND & Liège AZNI, « Protection des centrales électrique MicroEner », Revu 5.
- [21]** Le transformateur de courant pour la protection en HT « Michel Orlhac »
- [22]** Transformateurs de mesure d'intérieur – Schneider électrique – cahier technique