

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 سعد دحلب البلدية 01

Université SAAD DAHLEB BLIDA 01

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الآلية والكهر وتقنى

Département d'Automatique et Electrotechnique



Mémoire de Master

Filière Electrotechnique

Spécialité Machines électriques

Modélisation des protections dans les centrales Électriques

Présenté par :

KAOUANE MOHAMED

&

BABOUCHE SALAH EDDINE

Proposé par :

Dr.M. BELAZZOUG

Année universitaire 2020-2021

Résumé

Notre travail consiste à énumérer les protections électriques des alternateurs et des transformateurs existantes dans les centrales électriques, et faire l'étude des relais numériques et démontrer les différentes caractéristiques de ces relais : Protection au maximum du courant, protection directionnelle, protection du déséquilibre protection différentielle, selon les normes techniques IEEE. Nous avons utilisé la simulation par Matlab, pour avoir un modèle d'une centrale électrique, et les relais de protection numériques de ces centrales.

ملخص

يتكون عملنا من تعداد الحماية الكهربائيه للمولدات والمحولات الموجودة في محطات الطاقة ودراسة المرحلات الرقمية، وإظهار الخصائص المختلفة لهذه المرحلات: الحماية القصى للتيار، وحماية الاتجاه، وحماية عدم التوازن، والحماية التفاضلية وفقاً لمعايير IEEE الفنية. استخدمنا المحاكاة بواسطة Matlab للحصول على نموذج لمحطة توليد الطاقة ومرحلات الحماية الرقمية لهذه المحطات.

Summary

Our work consists of enumerating the electrical protections of the alternators and transformers existing in the power plants.

And study digital relays and demonstrates the different characteristics of these relays: Maximum current protection, directional protection, imbalance protection, differential protection according to IEEE technical standards. We used the simulation by Matlab to have a model of a power plant, and the digital protection relays of these plants

Remerciements

Nous tenons, d'abord, à remercier Dieu le tout puissant, qui a éclairé le nôtre chemin d'étude, et nous a prodigués la patience et la volonté, afin de réaliser ce modeste travail.

Aussi, nous exprimons nos sincères remerciements à notre promoteur Mr.M.BELAZZOUG docteur à l'université de Blida 1, qui nous a permis, grâce à sa confiance et ses conseils, de terminer ce travail.

Nous tenons également à adresser nos sincères reconnaissances à MR.CHANAN, un grand merci pour son aide louable.

Nous remercions aussi MR.BOUGERA, ingénieur à SONALGAZ, pour ses conseils assez précieux,

Ainsi que Tous les membres de jury, pour bien vouloir évaluer notre travail.

De même, L'ensemble des enseignants du département électrotechnique pour leurs efforts, pendant les années d'étude.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus distingués à tous ceux qui nous ont aidés, de proche ou de loin, à accomplir ce travail.

Dédicaces

Chaleureusement je dédie ce modeste travail avec l'expression de mon profond amour aux personnes les plus chères au monde

A ma mère, aucune dédicace ne saurait être suffisant pour toi afin d'exprimer tout ce que tu as fait .pour moi Qu'Allah t'accorde le bonheur, la santé et une longue heureuse vie

A mon père Qu'Allah t'accorde la santé et Une pleine de bonheur

A mes frères et ma sœur et les femmes de mes frères et leurs enfants que Dieu vous donne le bonheur et la santé

A mon oncle je te souhaite une vie heureuse

A tout la famille babouche et TOUAZI

A mon binôme KAOUANE MOHAMED, et tous mes amis et mes collègues pour leur énorme soutien, à savoir HAROUN, REDOUANE, HAYTHAM, MOHAMED, sans oublier HAYDAR et Madjid Islam Yassine.

Ainsi que ceux et celles-ci, qui ont aidé, de près ou de loin, à accomplir ce modeste travail

SALAH EDDINE

Dédicaces

Cordialement, je dédie ce modeste travail, avec l'expression de ma profonde estime aux personnes les plus chères au monde.

- ❖ A ma très chère mère, Aucune dédicace ne saurait être suffisante pour toi, afin d'exprimer tout ce que tu as fait pour moi. Qu'Allah t'accorde le bonheur, la santé et une longue heureuse vie.
- ❖ A mon cher père, Qu'Allah t'accorde la santé et une vie pleine de bonheur.
- ❖ A mon frère et mes sœurs.
- ❖ A mon grand-père, tu es mon mentor et mon modèle que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.
- ❖ À la mémoire de ma grand-mère, J'aurais souhaité votre présence en ce moment pour partager ma joie. Vous êtes toujours présents dans mon esprit, et dans mon cœur
- ❖ A toute la famille KAOUANE et HAMDOUDE
- ❖ A mon binôme BABOUCHE SALAH EDDINE, et tous mes amis et mes collègues pour leur énorme soutien, à savoir HAROUN, REDOUANE, HAYTHAM, Mohamed, sans oublier YASSINE et MOHAMED RAYAN,

Ainsi que ceux et celles, qui ont aidé, de près ou de loin, à accomplir ce modeste travail.

MOHAMED

Table des matières

Introduction générale.....	1
1Chapitre 1 : Description d'une centrale électrique	3
1.1Introduction :	3
1.2Structure des systèmes électriques	6
1.2.1Différents types de réseaux électriques	6
1.3Aspect générale d'une centrale électrique	6
1.3.1La machine synchrone :	6
1.3.2Transformateurs.....	10
1.4Défauts dans les générateurs	12
1.5Défauts dans les transformateurs.....	13
1.6Défauts dans Le réseau électrique	13
1.6.1Type des défauts dans le réseau électrique	13
1.7Les plus grosses pannes d'électricité de l'histoire.....	15
1.8Les principales causes de ces pannes : [16].....	16
1.9Conséquences des défauts	16
1.10Conclusion.....	17
2Chapitre 2 : (fonction de protection d'une centrale électrique).....	18
2.1Introduction :	18
2.1.1Le court-circuit	18
2.1.2Caractérisation des courts-circuits.....	18
2.2Diagnostic appliqué aux machines électriques.....	20
2.3Fonctions des protections	20
2.4Dispositif de protection des alternateurs :	22
2.4.1Perte de synchronisme(F78PS) :.....	23
2.4.2Perte d'excitation (F40) :.....	24
2.4.3Protection de retour de puissance active (F32) : [25]	24
2.4.4Protection à maximum tension (F59) :	24
2.4.5Protection à minimum de tension (F27) :	24
2.4.6Protection de surcharge thermique (F49 – F26)	25
2.4.7Protection contre les déséquilibres de courant (F46).....	26
2.4.8Protection à maximum de fréquence (F81O).....	26
2.4.9Protection à minimum de fréquence (F81U)	26
2.4.10Protection de retour de puissance active (F32) :.....	27
2.4.11Masse stator :.....	27
2.4.12Protection de masse rotor (F64R).....	28
2.4.13Différentielle alternateur (code ANSI 87 G) :	28
2.4.14Fonction différentielle contre les défauts à la terre (87N)	29
2.5Protection des transformateurs :	29

2.5.1	Protection contre les surcharges thermiques (F49T/f49RMS-26) :	30
2.5.2	Contrôle de flux (F24)	31
2.5.3	Protection par Buchholz (F63) :	31
2.5.4	Protection masse cuve (50N) :	32
2.5.5	La protection par DGPT :	33
2.5.6	Protection à maximum de courant (F50-51-50N-51N).....	33
2.5.7	Protection directionnelle (F67-67N).....	34
2.5.8	Protection à maximum de tension résiduelle (ANSI 59N)	34
2.5.9	Une protection de terre restreinte (ANSI 64REF)	35
2.5.10	Protection différentielle (F87T).....	36
2.5.11	Les harmoniques de rang 2.....	37
2.5.12	Sur-fluxage	37
2.6	Conclusion.....	37
3	Chapitre 3 : architecture d'un système de protection	38
3.1	Introduction	38
3.2	Système de protection.....	38
3.2.1	Définition.....	38
3.2.2	Qualités principales d'un système de protection	39
3.3	Chaine Générale d'un système de Protection	41
3.3.1	Constitution d'un système de protection	41
3.3.2	Relais de Protection	42
3.3.3	Le disjoncteur de haute tension	43
3.3.4	Relation entre l'appareil de protection et le disjoncteur	44
3.3.5	Différents types de relais	44
3.3.6	Transformateur de courant.....	47
4	Chapitre 4 : (simulation de quelque fonction de protection d'une centrale)	50
4.1	Introduction	50
4.2	Simulation d'une centrale électrique :	50
4.2.1	Simulation Sans défaut	51
4.2.2	Défaut triphasé terre après une tempe de 2 s :	52
4.2.3	Défaut biphasé terre après une tempe de 2 s :	52
4.2.4	Défaut monophasé terre après une tempe de 2 s :	53
4.2.5	Interprétation des résultats.....	53
4.3	Protection de générateur	53
4.3.1	Protection de générateur par le relais maximum de courant.....	53
4.3.2	Bloc directionnelle :	57
4.3.3	Protection de maximum de courant directionnel	58
4.3.4	Protection du générateur par un relais de déséquilibre	60
4.4	Protection du transformateur par un relais différentiel.....	63
4.4.1	Résultat et Interprétation	64
4.4.2	Résultat et Interprétation	65

4.5Protection dans une centrale électrique avec des relais max de I et directionnelle et différentielle.....	66
4.5.1Résultat et interprétation.....	67
4.6Conclusion.....	68
Conclusion Générale	69
Bibliographie	70

Liste des figures

Figure 1.1	Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale Nucléaire.	6
Figure 1.2	Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale Hydraulique.....	7
Figure 1.3	Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale Solaire.	7
Figure 1.4	Eolienne à vitesse variable basée sur une machine synchrone. [5]	8
Figure 1.5	Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale thermique. [5].....	8
Figure 1.6	Rotor à pôles lisses.	10
Figure 1.7	Rotor à pôles saillants (4 pôles).....	11
Figure 1.8	Principe de l'excitation par machine à courant continu.....	12
Figure 1.9	Principe de l'excitation par alternateur-exciteur.....	12
Figure 1.10	Principe de l'excitation par alternateur-exciteur.....	13
Figure 1.11	Schéma d'un transformateur	14
Figure 1.12	Différents types de transformateur [9].....	15
Figure 1.13	Feu dans un Transformer – Kangasala, Finlande. [14].....	20
Figure 2.1	Formes des défauts externes [17]	22
Figure 2.2	Configuration d'une unité générateur-transformateur. [23]	25
Figure 2.3	Equation thermique [26]	28
Figure 2.4	Injection tension BF.....	31
Figure 2.5	Protection de masse rotor.....	32
Figure 2.6	Différentes températures au transformateur [28].....	34
Figure 2.7	Protection par Buchholz [29].....	35
Figure 2.8	Protection masse cuve [29].....	36
Figure 2.9	Protection de masse cuve transformateur [29].....	36
Figure 2.10	Protection à maximum de tension résiduelle. [31]	38
Figure 2.11	Les fonctions de protection interne d'un transformateur. [31].....	38
Figure 2.12	Protection à maximum de tension résiduelle.	39
Figure 3.1	Sélectivité ampermétrique. [33].....	43
Figure 3.2	Sélectivité chronométrique.	44
Figure 3.3	Constitution d'un système de protection. [33].....	45
Figure 3.4	Schéma de principaux relais de protection. [19]	46
Figure 3.5	Relation entre l'appareil de protection et le disjoncteur	48
Figure 3.6	Architecture d'un relais numérique.	50
Figure 3.7	Schéma Fonctionnel d'un UR.....	51
Figure 3.8	Transformateur de courant [33]	53
Figure 3.9	Transformateur de courant Type Tore. [33]	53

Figure 3.10 Transformateur de tension avec double secondaire [33]	54
Figure 4.1 Schéma électrique d'une centrale électrique.	61
Figure 4.2 Variation de tension dans la sortie de générateur	62
Figure 4.3 Variation de courant dans la sortie de générateur.....	62
Figure 4.4 Variation de tension dans la sortie de transformateur	62
Figure 4.5 Variation de courant dans la sortie transformateur.....	62
Figure 4.6 Variation de tension après un défaut triphasé terre.	63
Figure 4.7 Variation de courant après un défaut triphasé terre.	63
Figure 4.8 Variation de tension après un défaut biphasé terre.	63
Figure 4.9 Variation de courant après un défaut biphasé terre	63
Figure 4.10 Variation de tension après un défaut monophasé terre.....	64
Figure 4.11 Variation de courant après un défaut monophasé terre.	64
Figure 4.12 Schéma d'un relais maximum de courant.....	65
Figure 4.13 Emplacement de relais de max de courant dans un central électrique	65
Figure 4.14 Fonctionnement du relais maximum de courant sans défaut.....	66
Figure 4.15 Fonctionnement du relais maximum de courant avec défaut.	66
Figure 4.16 Emplacement de relais de max de courant dans un central électrique	67
Figure 4.17 Fonctionnement du relais maximum de courant sans défaut.....	68
Figure 4.18 Fonctionnement du relais maximum de courant avec défaut.	68
Figure 4.19 Schéma du relais directionnel.....	69
Figure 4.20 Emplacement de relais de max de courant directionnel dans un central électrique	69
Figure 4.21 Fonctionnement du relais maximum de courant directionnel sans défaut.....	70
Figure 4.22 Fonctionnement du relais maximum de courant directionnel avec défaut.	71
Figure 4.23 Tenue du générateur au déséquilibre à temps continu ou court.....	71
Figure 4.24 block D'un relais de déséquilibre	72
Figure 4.25 Emplacement de relais de déséquilibré dans un central électrique.....	72
Figure 4.26 Fonctionnement du relais de déséquilibre sans défaut.	73
Figure 4.27 Fonctionnement du relais de déséquilibre avec un défaut biphasé taire.....	73
Figure 4.28 Schéma d'un relais différentiel.....	74
Figure 4.29 Emplacement de relais différentiel dans un central électrique	75
Figure 4.30 Fonctionnement du relais différentiel sans défaut.	76
Figure 4.31 Variation de courant dans la sortie transformateur.....	76
Figure 4.32 Fonctionnement du relais différentiel après un défaut biphasé taire à l'extérieur de la zone de la protection.	77

Figure 4.33 Protection dans une centrale électrique avec des relais maximum de courant et directionnelle et différentielle	77
Figure 4.34 Fonctionnement des 3 relais différentiel, Maximum de Courant, Directionnel.	
<u>Table 1/ Protection des transformateurs</u>	36

Introduction générale

1 Introduction générale

L'énergie électrique est un besoin vital pour l'homme dans sa vie de tous les jours, où les coupures de courant constituent un problème pour la société,

Le réseau électrique comprend trois grandes étapes, la production de l'énergie électrique, le transport et la distribution de l'énergie électrique.

Ce dernier se compose de plusieurs modules à savoir, les générateurs, les transformateurs de puissance, les lignes, le système de protection et le système de contrôle et de commande. Ces éléments fonctionnent en coordination pour assurer la production et la livraison de l'énergie aux consommateurs avec une qualité conforme aux normes techniques et économique.

Les centrale de production sont affectés par des perturbations que pouvant mettre en cause la pérennité du matériel et la qualité du service rendu et donc il faut chercher à minimiser les conséquences .tout défaut doit donc être identifié immédiatement et l'ouvrage affecté doit être séparé du réseau le plus vite possible, c'est l'objet de la protection.

La protection c'est l'ensemble des dispositions destinées à détecter les défauts, et la situation anormale dans les réseaux, afin de commander le déclenchement d'un, ou plusieurs disjoncteurs et (si nécessaire) d'élaborer d'autres ordres de signalisation.

Pour cela, le système de protection doit être équipé d'un ensemble d'appareils de surveillance et de coupure (capteurs, relais, automates et disjoncteurs), assurant la protection du réseau électrique contre les court-circuités et les surtensions. Ils fonctionnent généralement en quelques centaines de millisecondes

Chaque élément dans les centrales électrique nécessite des types de protection particuliers.

Le but de notre étude consiste à énumérer les différentes fonctions de protection dans les centrales électrique ainsi que les défauts, qui peuvent affecter dans chaque élément de ces centrales

C'est dans ce cadre que ce mémoire a été organisé en quatre chapitres :

- la première partie du premier chapitre est consacrée à la présentation générale d'une centrale électrique et de leurs différents composants électriques (machine synchrone, transformateur jeux barre, etc.). Dans la deuxième partie, on présente Les plus grosses pannes d'électricité dans l'histoire, et leurs principales causes, ainsi que les conséquences des défauts.

- Dans le deuxième chapitre, on cite les différents défauts, qui peuvent apparaître dans une centrale électrique, et les différents types de protection de tous les éléments principaux : (alternateur, transformateur) dans ces centrales.
- Dans la troisième partie, on définit les éléments du système de la protection, et l'architecture générale de ce système.
- Dans le dernier chapitre, nous simulons les différents types de protection, et expliquons le choix de ces derniers, selon les défauts subis, à l'aide d'un logiciel (MATLAB Simulink) pour aboutir à une conclusion générale, qui résume les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE 1 :
(DESCRIPTION D'UNE
CENTRALE ELECTRIQUE)

2 Chapitre 1 : Description d'une centrale électrique

2.1 Introduction :

Lorsque nous parlons de la production d'énergie électrique, nous pensons à de grandes centrales (thermiques, nucléaires et à de grandes hydrocentrales) placées dans des points bien déterminés pour optimiser la production.

Une centrale de production est composée de plusieurs générateurs, et de plusieurs Transformateurs de puissance éleveurs, et d'un certain nombre de fonctions auxiliaires (soutirage, excitation, si génératrice synchrone, démarrage etc...)

Dans ce chapitre, nous allons présenter une description générale d'une centrale électrique, et de ses composants de production.

La production de l'électricité est assurée par différents types de centrales :

Centrales nucléaires :

Les centrales nucléaires chauffent l'eau pour produire de la vapeur. La vapeur est utilisée pour faire tourner de grandes turbines, qui produisent de l'électricité. Les centrales nucléaires utilisent la chaleur de la fission nucléaire pour chauffer l'eau [1]

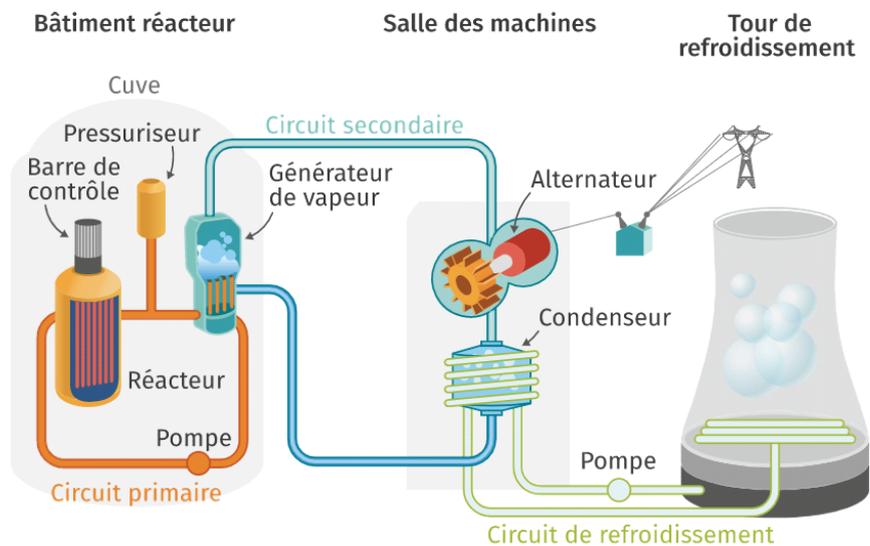


Figure 1.1 Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale Nucléaire.

Centrales hydrauliques

L'énergie que les centrales hydrauliques arrivent à produire, à partir de la force de l'eau est basée sur le principe du barrage, qui, par sa construction, va réussir à capter l'ensemble de la force produite par l'eau [2]

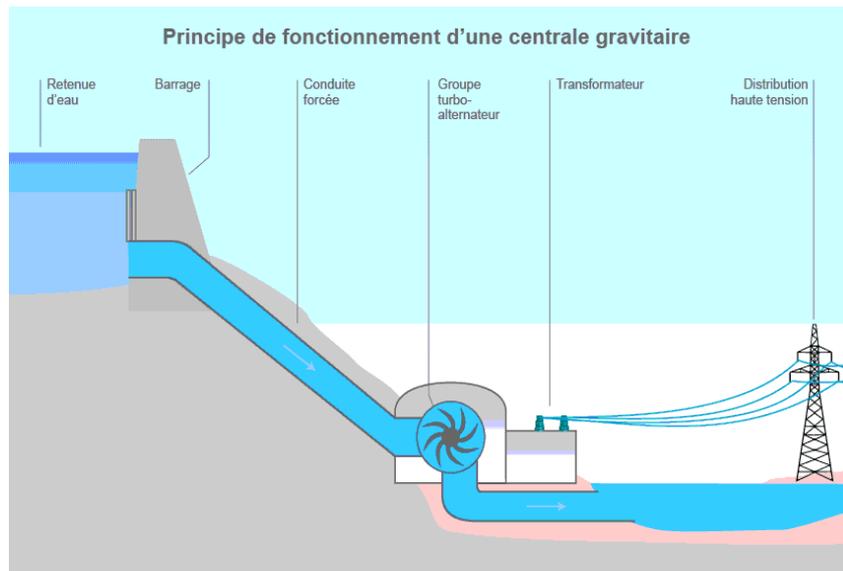


Figure 1.2 Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale Hydraulique

Energie solaire :

Les panneaux photovoltaïques fonctionnent, grâce à l'effet photoélectrique. Leur surface, souvent constituée de silicium, reçoit des photons transportés par la lumière captée. Ces photons transfèrent leur énergie aux électrons présents dans le silicium, qui vont, alors, se mettre en mouvement, et produire de l'électricité. En 2017, le photovoltaïque a produit 9,2 TWh d'énergie électrique. [3]



Figure 1.3 Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale Solaire.

Energie éolienne :

Énergie éolienne est l'énergie cinétique des masses d'air, en mouvement autour du globe.

On utilise l'énergie du vent pour faire tourner des turbines. [4]

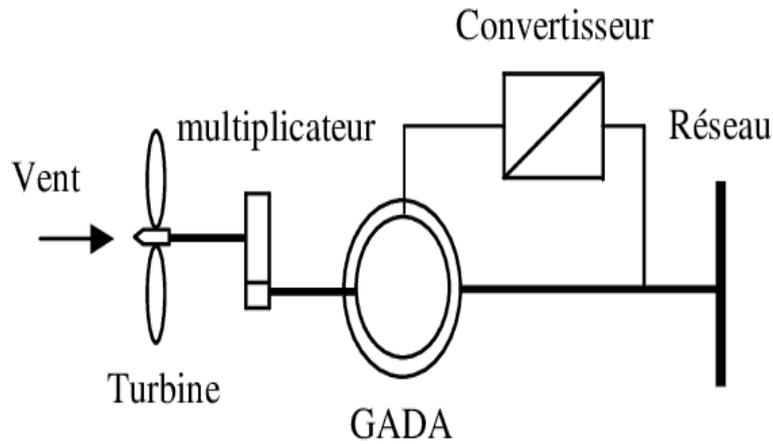


Figure 1.4 Eolienne à vitesse variable basée sur une machine synchrone. [5]

Centrales thermiques :

On chauffe de l'eau avec un combustible (fuel, gaz ou charbon). Cette eau chauffée produit de la vapeur d'eau sous pression, qui est à son tour dirigée vers des turbines.

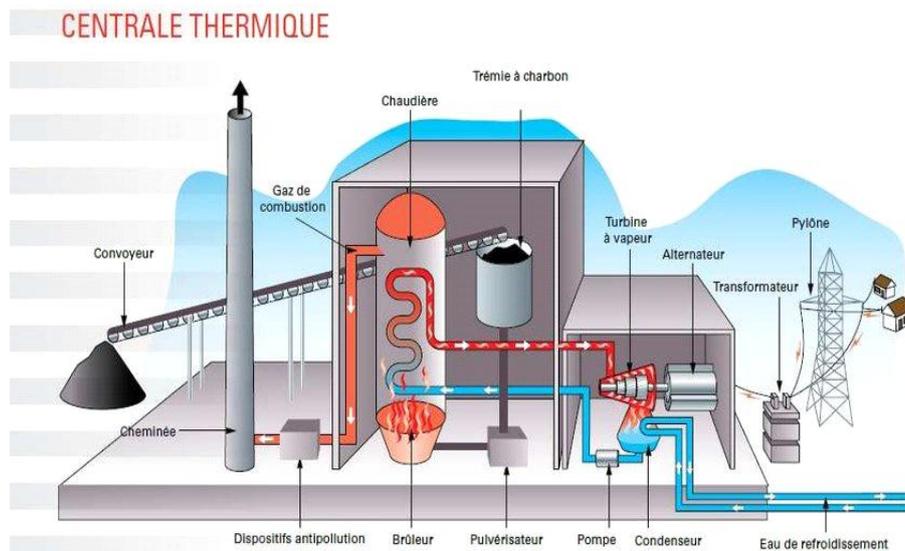


Figure 1.5 Schéma simplifié de fonctionnement d'une centrale thermique. [5]

Aspect générale d'une centrale électrique

La plupart des installations de production d'électricité – centrales nucléaires, hydrauliques ou à combustible fossile et les éoliennes – font exactement le même travail : elles transforment l'énergie cinétique, c'est à dire l'énergie du mouvement, en un flux d'électrons que l'on appelle « électricité ».

Dans une centrale, on fait recours à un énorme alternateur pour produire de l'électricité.

On emploie des roues géantes appelées Turbines pour faire tourner les aimants à l'intérieur de l'alternateur, ce qui nécessite beaucoup d'énergie. La source d'énergie varie selon le type d'installation de production.

Le générateur est la partie susceptible d'avoir plus de défauts que les autres parties de centrale, donc il est très important que le système de protection détecte tous les défauts qui peuvent survenir, sachant que la protection de générateur fournit une protection de backup pour les autres composants. L'électricité générée par l'alternateur sera élevée à de hautes tensions par un transformateur pour être ensuite envoyée sur les lignes de transport.

2.2 Structure des systèmes électriques

2.2.1 Différents types de réseaux électriques

La construction et l'échelle du réseau électrique consistent à transporter l'électricité produite par le centre de production jusqu'au centre de consommation le plus éloigné. La construction du réseau de transport, et de distribution consiste à transférer l'énergie de l'usine (générateur) aux équipements d'utilisation. Le système électrique peut être divisé en quatre fonctions principales : [6]

1_ Un réseau d'interconnexion

2_ Réseau de répartition

3_ Réseau de transport

4- Réseau de distribution

2.3 Aspect générale d'une centrale électrique

2.3.1 La machine synchrone :

2.3.1.1 Constitution des alternateurs

L'alternateur est une machine tournante Constitué d'une partie mobile le rotor, et d'une partie fixe le stator se déplaçant, l'une par rapport à l'autre

Stator :

Le stator est habituellement l'induit (siège de la transformation de puissance). Le stator est constitué d'un Bobinage triphasé généralement couplé en étoile, découpé en paire de pôles. Les bobinages sont insérés dans des encoches au sein de culasse en ferrite. [7]

Armature mobile (rotor) :

Tourne à l'intérieur du stator, le rotor porte un enroulement inducteur parcouru par un courant continu. L'enroulement inducteur crée la périphérie du rotor des pôles magnétiques successifs nord, et sud.

Les rotors des alternateurs sont construits pour répondre aux exigences mécaniques imposées par les dispositifs d'entraînement. [7]

- **Rotors à pôles lisses :**
- **Rotors à pôles saillants :**

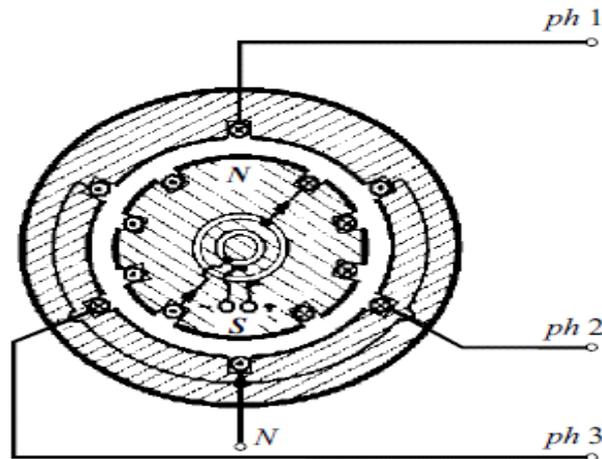


Figure 1.6 Rotor à pôles lisses.

Dans les machines à pôles lisses, l'enroulement inducteur est placé dans des encoches ménagées à la périphérie du rotor, suivant l'axe de la machine.

- **Rotors à pôles saillants**

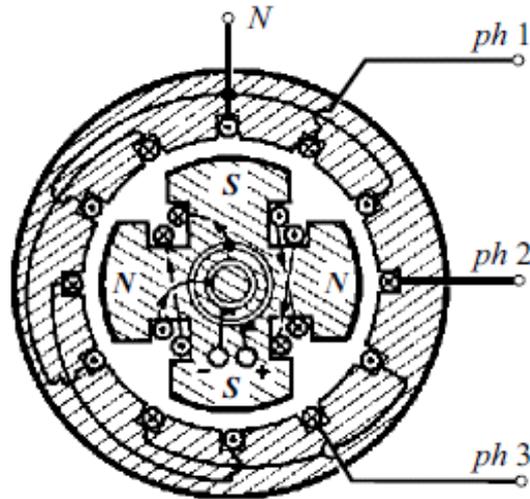


Figure 1.7 Rotor à pôles saillants (4 pôles).

2.3.1.2 Système d'excitation

Les anciens systèmes d'excitation étaient des génératrices à courant continu montées sur le même arbre. Elles alimentaient les enroulements du rotor de l'alternateur par le biais de contacts glissants sur des bagues.

Aujourd'hui on utilise de génératrices courant alternatives équipées de redresseurs tournants et connus sous le nom de système d'excitation «brushless». Le système d'excitation permet de maintenir et de contrôler le transit d'énergie réactive. [7]

2.3.1.3 Différents types d'excitation :

On peut distinguer trois grandes catégories de sources principales d'excitation :

- Excitatrice à courant continu.
- Alternateur-exciteur débitant sur redresseurs.
- Redresseur alimenté directement à partir des bornes de la machine synchrone principale (auto-alimentation).

2.3.1.3.1 Excitatrice à courant continu

L'excitatrice doit nécessairement être munie d'un enroulement d'excitation séparée par lequel seront obtenues les variations de flux permettant la variation de sa tension aux bornes Vf.

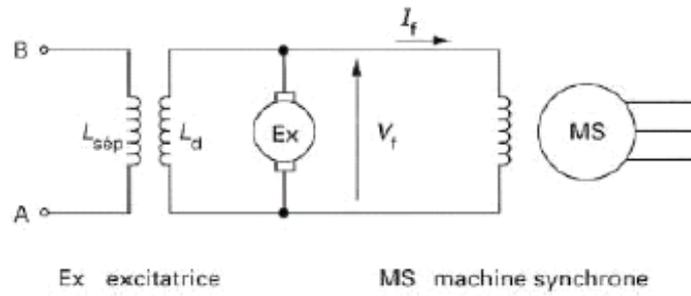


Figure 1.8 Principe de l'excitation par machine à courant continu.

Il faut noter que le courant I_f est nécessairement transféré au rotor de la machine principale par l'intermédiaire de bagues et balais.

2.3.1.3.2 Alternateur-excitateur débitant sur redresseurs

Il existe deux variantes selon que l'alternateur-excitateur est de conception classique,

C'est-à-dire à inducteur **tournant** et induit **fixe**, ou l'inverse.

Ces deux variantes sont représentés schématiquement sur la Figure I.9. L'alternateur excitateur est accouplé sur le même arbre que le rotor de la machine principale, si bien que l'avantage de la solution de la **Figure I.9.b** est de ne nécessiter aucun contact glissant. [7]

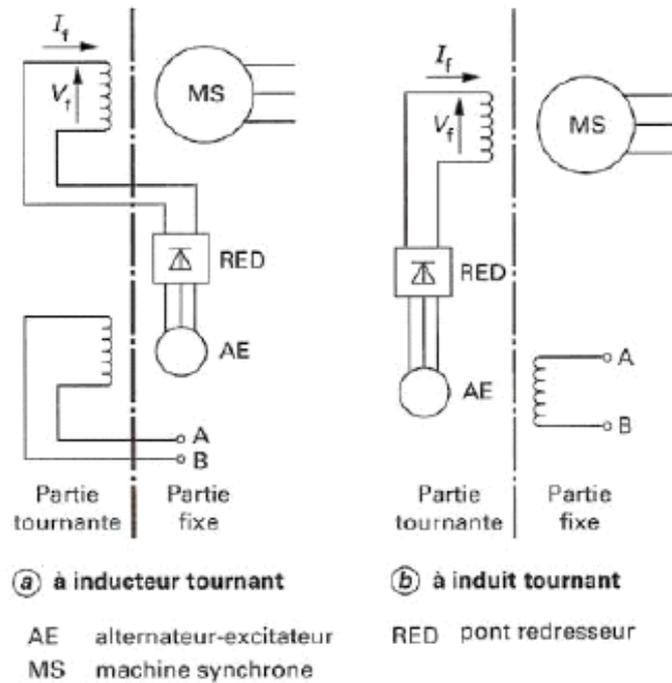


Figure 1.9 Principe de l'excitation par alternateur-excitateur.

2.3.1.3.3 Auto-alimentation

Il existe deux procédés d'auto-alimentation : à dérivation pure et à compoundage.

2.3.1.3.4 Auto-alimentation à dérivation pure (shunt)

Le pont de thyristors alimentant l'enroulement inducteur est lui-même alimenté en courant alternatif par le secondaire d'un transformateur triphasé dont le primaire est connecté aux bornes de la machine synchrone principale (Figure I.10). [7]

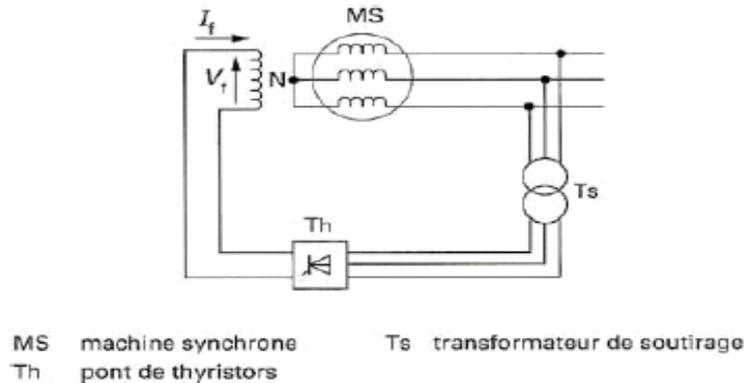


Figure 1.10 Principe de l'excitation par alternateur-exciteur.

2.3.2 Transformateurs

2.3.2.1 Définition

Le transformateur est une machine électrique statique à deux enroulements, ou plus destinée par induction électromagnétique, à transformer un système de tension, et courant alternatif en un autre système de tension, et alternatif d'amplitudes (valeurs) généralement différentes, et de même fréquence, afin de l'adapter aux différents besoins d'utilisation.

Les transformateurs de puissance permettent de minimiser les pertes en ligne, en assurant le transport de l'énergie à longue distance sous tension élevée (60 KV. 230kV et 400kV), puis d'abaisser, ensuite, cette tension, étape par étape, pour alimenter les réseaux de distribution régionaux et locaux, jusqu'à la tension d'alimentation domestique.

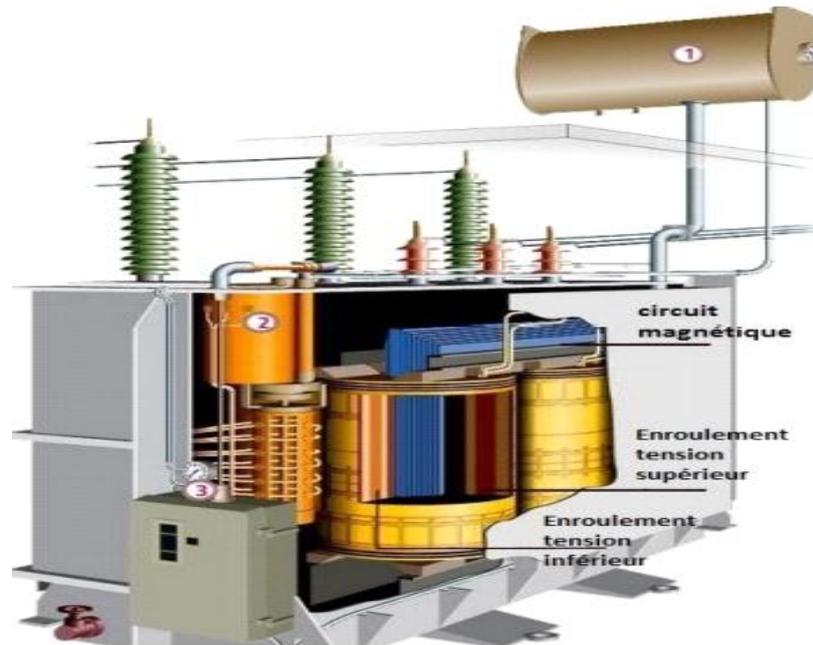


Figure 1.11 Schéma d'un transformateur

2.3.2.2 Principe de fonctionnement d'un transformateur

L'un des deux bobinages joue le rôle de primaire, il est alimenté par une tension variable, et donne naissance à un flux magnétique variable dans le circuit magnétique.

Le circuit magnétique conduit avec le moins de réluctance possible les lignes de champ magnétique créées par le primaire dans les spires de l'enroulement secondaire.

D'après la loi de Faraday, ce flux magnétique variable induit une force électromotrice dans le deuxième bobinage appelé secondaire du transformateur.

De par son principe, le transformateur ne peut pas fonctionner s'il est alimenté par une tension continue. Le flux doit être variable pour induire une force électromotrice (f.é.m.) au secondaire, il faut donc que la tension primaire soit variable.

Le transformateur est réversible, chaque bobinage peut jouer le rôle de primaire, ou de secondaire. Le transformateur peut être abaisseur, ou élévateur de tension [8]

2.3.2.3 Types de transformateurs

Il y a plusieurs types de transformateur utilisés dans le système d'alimentation électrique pour différents objectifs, tels que la production, la distribution, la transmission, et l'utilisation de l'énergie électrique. [9]

Les différents types de transformateurs sont :

- Intensifier et abaisser le transformateur
- Transformateur de puissance

- Transformateur de distribution
- Utilisations du transformateur de distribution
- Transformateur d'instrument
- Transformateur de courant
- Transformateur de potentiel
- Transformateur monophasé
- Transformateur triphasé

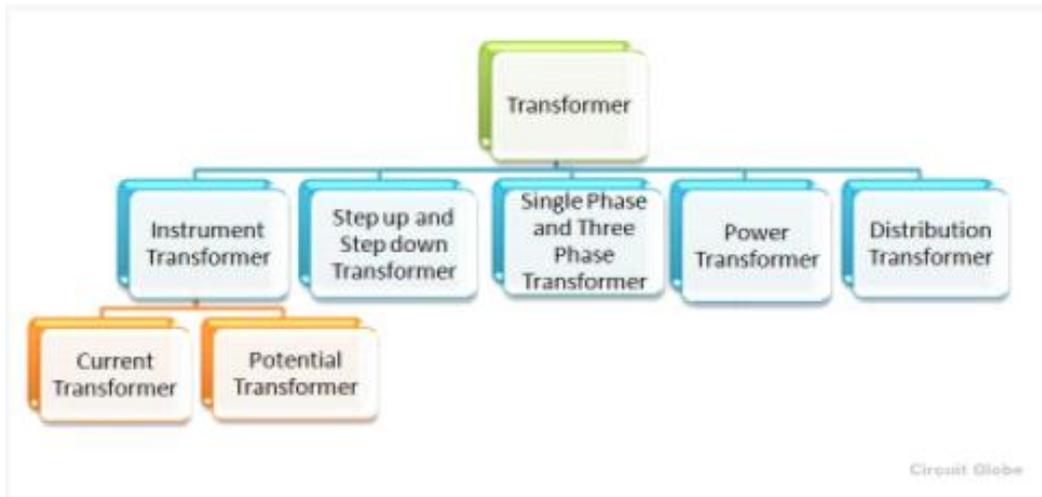


Figure 1.12 Différents types de transformateur [9]

2.4 Défauts dans les générateurs

Le fonctionnement d'un générateur peut être altéré, aussi bien par des défauts propres à la machine, que par des perturbations du réseau, sur lequel il est connecté. Comme : [13]

- Maximum de courant.
- Variations de tension.
- Variations de fréquence.
- Surexcitation.
- Perte de synchronisme.
- Gestion du générateur : peut avoir des perturbations comme :

Fonctionnement en moteur.

Retour de puissance.

- Masse stator.
- Masse rotor.
- Perte excitation.
- Minimum de courant d'excitation.

- Défaut interne entre phase et masse.

2.5 Défauts dans les transformateurs

Le transformateur est un élément particulièrement important d'un réseau. Il est nécessaire de le protéger efficacement contre tous les défauts susceptibles de l'endommager, qu'ils soient d'origine interne ou externe.

Le choix d'une protection dépend souvent de considérations technico-économiques liées à sa puissance. [10]

Les principaux défauts qui peuvent affecter un transformateur sont :

- la surcharge.
- le court-circuit.
 - **Internes.**
 - Comme défaut de masse cuve.
 - Surcharge thermique.
 - Court-circuit entre enroulement et masse.
 - Court-circuit entre phases.
 - **Externe.**
 - surtension de manœuvre ou atmosphérique.

2.6 Défauts dans Le réseau électrique

2.6.1 Type des défauts dans le réseau électrique

Les réseaux électriques sont conçus et construit de façon à réaliser le meilleur Compromis entre le cout et le risque de défaillance, ce risque n'est donc pas nul, et des incidents, ou défaut viennent perturber et affecter le fonctionnement du réseau, tel que : [11]

Défauts d'isolement entre un conducteur et la terre (défaut monophasé), deux conducteurs (défauts biphasés) ;

- surcharges prolongées (caractérisée par un courant supérieur au courant admissible) ;
- surtensions ;
- déséquilibres (généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases).

2.6.1.1 Le court-circuit

Les courts-circuits sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs de tension différente, ou entre un conducteur sous tension, et la terre est rompu.

Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau.

Le courant de court-circuit (triphase) est une donnée essentielle pour le dimensionnement des équipements électrique [12]

2.6.1.2 Les surtensions

On distingue différents types de surtension telle que :

- Les surtensions de manœuvres.
- Les surtensions de foudre.
- Les surtensions lentes.

Conséquences : Claquage et Vieillessement de l'isolation. [12]

2.6.1.3 Les surcharges :

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- Le court-circuit.
- Les pointes de consommation.
- L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes sur le réseau et accélère le vieillissement des équipements de réseau. [12]

2.6.1.4 Les oscillations :

Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques. [12]

2.6.1.5 Les déséquilibres

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases.

Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution, ils donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :

- Des chutes de tension supplémentaires.
- Des pertes de puissance.
- Des échauffements.

Contre toutes les anomalies précédemment citées, il a lieu d'élaborer une Philosophie de protection de tout le système électrique. [12]

2.7 Les plus grosses pannes d'électricité de l'histoire

Notre univers technologique est devenu fortement dépendant d'une disponibilité continue de courant électrique, dont le réseau doit répondre aux besoins élémentaires des applications résidentielle, d'éclairage, de chauffage, etc .., et de transport, ainsi qu'aux besoins des secteurs publics : industriels, financiers, commerciaux, et les conséquences des problèmes d'électricité telles que les coupures, les perturbations etc... Dont une étude récemment publiée montre qu'aux États-Unis, les entreprises industrielles et de commerce perdent chaque année 45.7 milliard dollars, à cause des perturbations de l'alimentation en énergie électriques, et une perte annuelle de tous les secteurs de 104 à 164 milliard dollars, parmi les nombreuses pannes enregistrées dans le monde. On cite : [14] **New York, 1977 (25 heures)**

Un orage détruit un transformateur. 10 millions de personnes touchées. Une étude du Congrès a estimé que les dommages se sont élevés 300 millions de dollars.

États-Unis, 2003 (jusqu'à 24 heures)

Une surcharge du système entraîne la fermeture de 100 stations d'énergie électrique. 50 millions de personnes touchées.

Italie, 2003

Presque tout le pays, soit 57 millions de personnes, est touché par des dommages occasionnés par de fortes tempêtes qui font disjoncter les lignes de transit d'énergie de Suisse et de France.

Indonésie, 2005

100 millions de personnes sont privées d'électricité en raison de la panne d'une ligne de transit à Java.

Colombie, 2007 (quelques heures)

25 millions de personnes sont privées de courant pendant plusieurs heures à cause d'une défaillance dans une sous-station.

Brésil et Paraguay, 2009 (7 heures)

Cette panne touche 87 millions de personnes. Elle est due aux dommages produits par un orage dans la centrale Repesa d'Itaipu.

Chine, 2008 (10 jours)

Quatre millions de personnes subissent les conséquences d'une coupure de courant provoquée par de forts orages.

Inde, 2012 (2 jours)

Le 31 juillet, l'Inde connaît l'un des pires blackouts de l'histoire : 760 millions de personnes sont touchées.

Argentine, 2013-2014 (plusieurs jours)

Une forte vague de chaleur entraîne l'utilisation massive de l'air conditionné, qui entraîne à son tour de longues coupures de courant pendant les fêtes de Noël et du Nouvel An. [15]

2.8 Les principales causes de ces pannes : [16]

- Lignes aériennes (foudre, végétation, tempête, neige, glace... etc.) ;
- Défauts du matériel des lignes, câbles et postes (vieillissements) ;
- Insuffisance de la maintenance et des investissements ;
- Importation d'énergie à longue distance ;
- Perte de production (réseaux isolés) ;
- Mauvais fonctionnements des automatismes protection ;
- Pas d'entraînement suffisant pour les agents de conduite (système expert) ;
- Communication insuffisante ;
- Concept de sûreté (n-1) non respecté ;

2.9 Conséquences des défauts

Les conséquences d'un défaut sont variables et on peut les diviser en deux parties. Une partie provoquée par le déclenchement de défaut et l'autre partie dépend de la durée de défaut. Les conséquences initiales ne peuvent pas être réduites par une détection rapide de défaut, ces conséquences sont généralement : [17]

- Au point de défaut, la présence d'arc de défaut, avec :

- Détérioration des isolants ;
 - Fusion des conducteurs ;
 - Incendie et danger pour les personnes.
-
- Pour le circuit défectueux :
 - Les efforts électrodynamiques avec :
 - Déformation des jeux de barres ;
 - Arrachement des câbles.
 - Sur-échauffement par augmentation des pertes joules, avec risque de détérioration des isolants.
 - Pour les autres circuits électriques du réseau concerné ou des réseaux situés à proximité :
 - Les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes ;
 - La mise hors service d'une partie du réseau plus ou moins grand ;
 - La perte de synchronisme des machines.

Les échauffements et les efforts électrodynamiques affectent plus le terme et la durée de vie du matériel, donc plus le défaut rapidement éliminé moins sont les conséquences.



Figure 1.13 Feu dans un Transformateur– [14]

2.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté brièvement :

- les Différents types des centrales électriques et leurs différents composants électriques (machine synchrone, transformateur jeux barre, etc...).

- Les plus grosses pannes d'électricité de l'histoire et leurs principales causes, et les
Conséquence des défauts

Chapitre 2 :
(Fonction de protection d'une
centrale électrique)

3 Chapitre 2 : (fonction de protection d'une centrale électrique)

3.1 Introduction :

Les machines électriques comprennent :

- Des matériaux magnétiques chargés de conduire et canaliser le flux magnétique ;
- Des matériaux conducteurs chargés de conduire et canaliser les courants électriques ;
- Des isolants "un contenant " carcasse d'un moteur, cuve d'un transformateur et un Système de refroidissement.

Ces machines électriques peuvent (comme tous les appareils industriels) être affectées par des défauts de fonctionnement.

Ces défauts des assurer en général inaptes à leur service peuvent ainsi perturber le Fonctionnement d'autres matériels.

Dans ce cadre, le rôle des relais de protection électrique des alternateurs et des transformateurs est de détecter les défauts (les différents défauts possibles) ceux d'origine électrique.

Parmi les différents défauts détectés, procéder à l'élaboration des actions nécessaires de signalisation et d'ouverture du dispositif de coupure dépendant de l'appareil au réseau.

3.1.1 Le court-circuit

Il représente le test le plus sévère pour valider les modèles des systèmes connectés sur un réseau électrique. Alors, le risque d'apparition d'un incident sur le réseau n'est pas nul car lié à de nombreux paramètres aléatoires. Les courts circuits peuvent avoir diverses origines, et sont caractérisés par : [18] [19]

3.1.2 Caractérisation des courts-circuits

On peut définir les courts-circuits d'après 3 caractéristiques principales : [18] [19]

➤ **leur origine :**

- Elle peut être mécanique : rupture de conducteurs, liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger tel qu'outils ou animaux
- elle peut être électrique : suite à la dégradation de l'isolement entre phases, ou entre phase et masse ou terre, ou suite à des surtensions d'origine interne (manœuvre) ou atmosphérique (coup de foudre),
- elle peut provenir d'une erreur d'exploitation : mise à la terre d'une phase, couplage entre deux sources de tension différentes ou des phases différentes, fermeture par erreur d'un appareil de coupure.

➤ **leur localisation**

- interne à un matériel (câble, moteur, transformateur, tableau), il entraîne généralement des détériorations
 - externe à un matériel (câble, moteur, transformateur, tableau ...). Les conséquences sont limitées à des perturbations pouvant entraîner à plus ou moins longue échéance des détériorations dans le matériel considéré, et conduire ainsi à un défaut interne [18] [19]
- **leur durée**
- auto-extincteurs : le défaut disparaît de lui-même
 - fugitifs : le défaut disparaît sous l'action des protections et ne réapparaît pas lors de la remise en service (le défaut est "brûlé" après le réenclenchement).
 - permanents : ils nécessitent la mise hors tension d'un câble, d'une machine l'intervention du personnel d'exploitation [18] [19]

➤ **Leurs formes :**

Les différents types du court-circuit présenté dans la figure ;

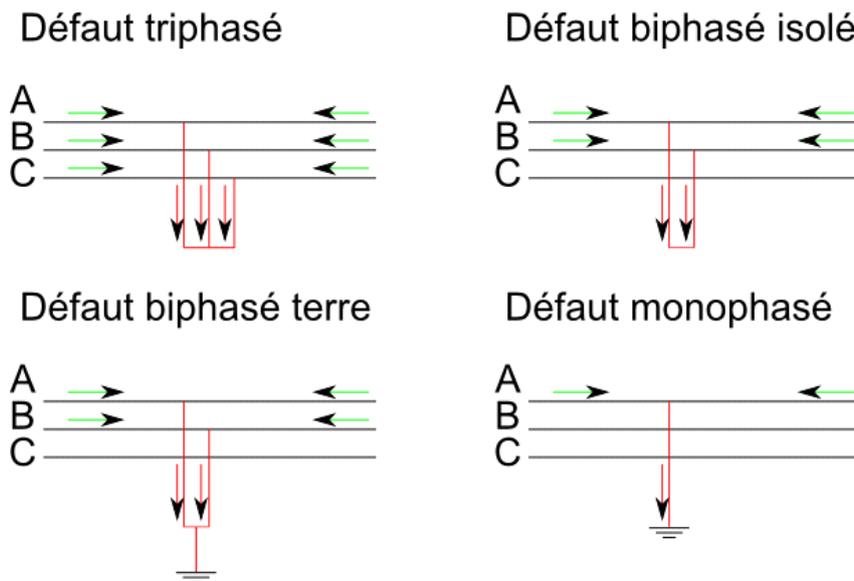


Figure 2.1 Formes des défauts externes [17]

- Monophasé : entre une phase et la terre **PT** ou une masse.
- Biphasé : entre deux phases **PP** raccordées ensemble (biphasé isolé), peut être un court-circuit biphasé mis à la terre **PPT**
- Triphasés **PPP** : entre trois phases de la ligne avec ou sans liaison à la terre

➤ **leur cause**

- la dégradation des isolants due à : la dégradation de la qualité de surface (Pollution) à une température excessive une décharge partielle dans les vacuoles (Micro poches) à l'intérieur des isolants.
- la diminution accidentelle des distances d'isolement (présence d'animaux, branches d'arbres, outils laissés par mégarde sur un jeu de barres la destruction pour cause extérieure (coup de pelle, ..).
- les surtensions entraînant le claquage de l'isolation des matériels (surtension de manœuvre ou coup de foudre). [18] [19]

3.2 Diagnostic appliqué aux machines électriques

Pour la détection d'un dysfonctionnement d'une machine électrique, il est nécessaire de posséder :

- Une bonne connaissance du comportement de la machine, de son état, et de son Fonctionnement.
- Une bonne connaissance des défaillances, et de leurs conséquences sur le fonctionnement de la machine.

Le réseau électrique est assurément protégé lorsque les parties défectueuses sont mises hors tension le plus rapidement possible par les dispositifs de coupure en charge (disjoncteur, contacteur, fusible,...)

Ce travail peut-être aussi effectué directement à partir des éléments incorporés au dispositif de coupure (relais magnéto thermique soit indirectement, à partir d'ensembles extérieurs au dispositif de coupure composé d'éléments suivants : réducteur de mesure, et transformateur de courant, ou de tension, nécessaire à l'alimentation des dispositifs de mesure, et de comptage.

Leur but est d'isoler le réseau des dispositifs précités, qui sont d'un niveau d'isolement inférieur, et de délivrer à ce faible niveau d'isolement du courant de (5 à 1 Ampère) ou tension de (100) par transformation des grandeurs primaires appartenant au réseau. [20]

3.3 Fonctions des protections

Les fonctions de protection sont réalisées par des relais ou des appareils multifonctions.

A l'origine, Les relais de protection étaient de type analogique et effectuaient généralement une seule fonction. Actuellement, la technologie numérique est la plus employée. Elle permet de concevoir des fonctions de plus en plus évoluées et un même appareil produisent généralement plusieurs fonctions. C'est pourquoi, on parle plutôt d'appareils multifonctions [21]

Les types de protections adaptés pour les différents défauts sont : [22]

- Ampérométrique ;
- Volumétrique ;
- Directionnel ;
- Différentiel.

Pour les différents types de défaut pouvant faire l'objet de protection, il existe multiple type de relais de protection conçu, par exemple :

- Protection à maximum de courant ;
- Protection à maximum ou à minimum de tension ;
- Protection de directionnelle.
- Protection à distance ;
- Protection différentielle ;
- Protection de surcharge thermique ;

La combinaison des fonctions de protection peut être comme celle illustre dans la **figure II.2.**

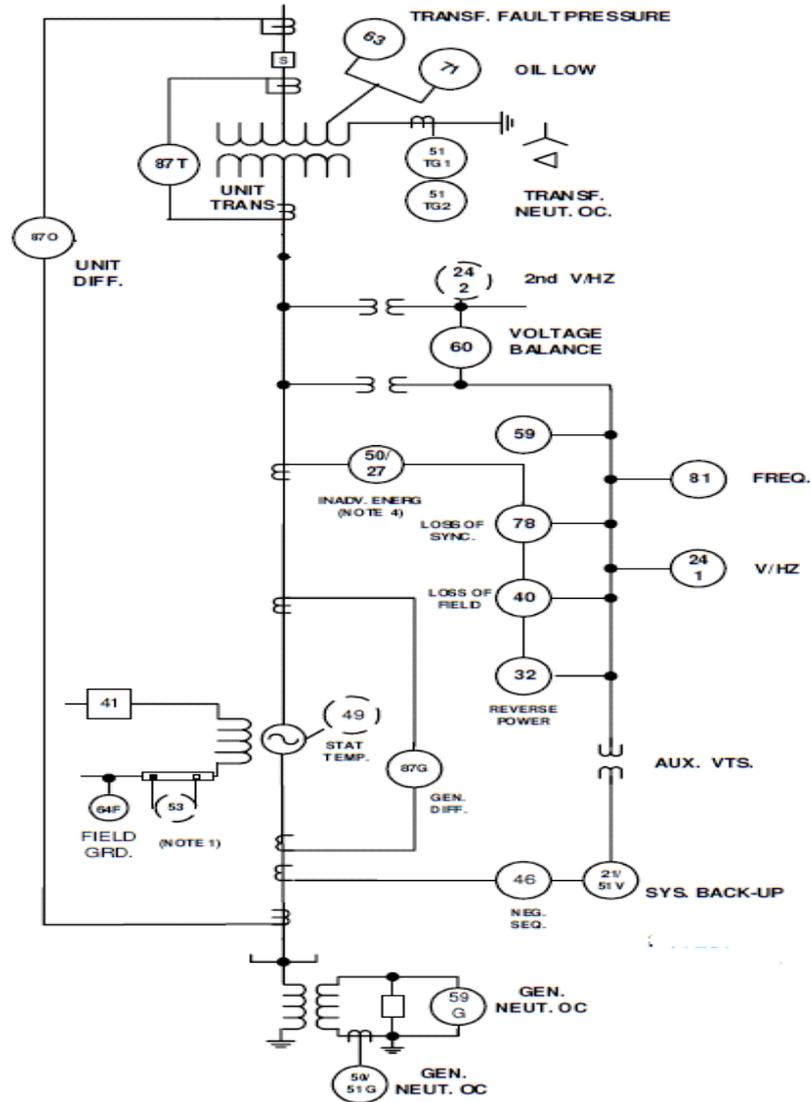


Figure 2.2 Configuration d'une unité générateur-transformateur. [23]

3.4 Diapositif de protection des alternateurs :

Les alternateurs sont des éléments qui ont une importance capitale dans une centrale électrique car ils sont à la base du courant électrique qui est produit à partir de la puissance donnée à l'arbre de la turbine [24]

Les types de défaut pouvant faire l'objet de protection sont les :

- Surcharges ;
- surintensités sur défaut externe ;
- défauts d'isolement entre enroulement stator et masse ;
- défauts d'isolement entre phases et spire d'une même phase ;
- Marches en moteur ;
- défauts d'isolement entre enroulement rotor et masse.

- **Surcharge**

Les dispositifs de protection de surcharge du générateur sont :

- ✓ Maximum de courant à temps dépendant (ANSI 51),
- ✓ Image thermique (ANSI 49RMS),
- ✓ Sondes de température (ANSI 49T).

- **Défauts Extérieurs (Réseau)**

- ✓ Surcharge (F49G-260).
- ✓ Déséquilibre (F46).
- ✓ Maximum de courant (F50-F51-F50/27-F51V-F21).
- ✓ Variations de tension (F27-F59).
- ✓ Variations de fréquence (F81M-F81U).
- ✓ Surexcitation (F24).

- **Défauts Intérieurs**

- ✓ Masse stator (F64S).
- ✓ Masse rotor (F64R).
- ✓ Perte excitation (F40).
- ✓ Minimum de courant d'excitation (F37E).
- ✓ Retour de puissance (F32).
- ✓ Défauts internes (F87-87N).
- ✓ Défaut diodes tournantes (F58).
- ✓ Défauts machines en parallèles sans transformateurs groupe (F67/67N).

3.4.1 Perte de synchronisme(F78PS) :

La perte de synchronisation du générateur se produit lorsque le fonctionnement en régime permanent équilibré est perturbé par de fortes perturbations : par exemple, lors d'un court-circuit dans l'alimentation système provoque une baisse de la puissance électrique fournie par le générateur et le générateur accélère, toujours entraîné par le mouvement principal.

Moyen de protection :

On use des systèmes de protection plus simples, comme la protection maximale de puissance réactive ou la protection minimale de courant d'excitation. On use également une protection a maximum de vitesse comme protection de secours. [25]

3.4.2 Perte d'excitation (F40) :

La perte d'excitation d'un alternateur couplé au réseau provoque la désynchronisation de ce réseau. Il fonctionne alors en asynchrone, en légère survitesse et absorbe de la puissance réactive. Les conséquences sont un échauffement du stator car le courant réactif peut être élevé, et un échauffement du rotor car il n'est pas dimensionné pour les courants induits. [25]

Moyen de protection :

On utilise une protection à maximum de puissance réactive temporisée pour les réseaux de forte puissance, ou encore par une surveillance directe du courant d'excitation dans le circuit d'excitation s'il est accessible

3.4.3 Protection à maximum tension (F59) :

Cette protection détecte les anomalies liées [25]

- Régulateur de tension de la machine.
- Fonctionnement du réseau à tension élevée.

Fonctionnement en survitesse à courant d'excitation If constant se traduit par une surtension.

3.4.4 Protection à minimum de tension (F27) :

Cette protection détecte les canoniales liées : [26]

- au régulateur de tension de la machine.
- Aux défauts du réseau non éliminés.

3.4.5 Protection de surcharge thermique (F49 – F26)

➤ Equation thermique :

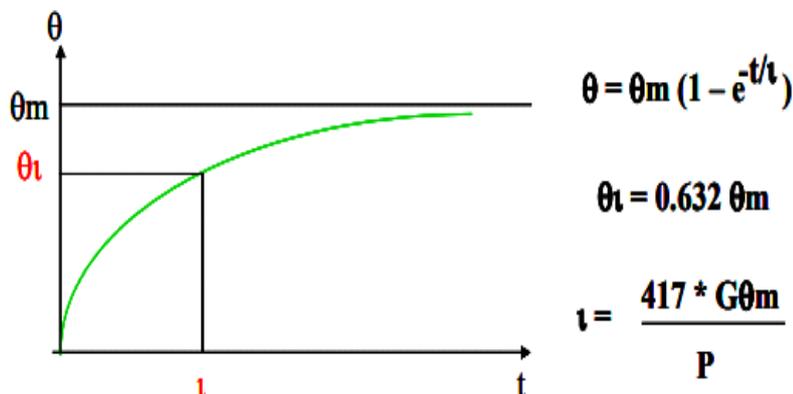


Figure 2.3 Equation thermique [26]

θ_m = température maximum après stabilisation des échanges thermiques (en °)

τ = constante de temps de la machine

G = poids de la pièce (en kg)

P = puissance dépensée (en W)

➤ Définition de la constante de temps : [26]

Lorsqu'une machine quelconque reçoit un nombre de w donné pendant une durée

Indéterminée, elle atteint 63.2 % de sa température d'équilibre au bout d'une durée de

Chauffage égale à sa constante de temps (résolution de l'équation thermique en faisant $\tau = t$).

Une protection thermique (F49) est un élément permettant de reproduire les conditions thermiques de la machine par un système d'analogie (I^2t) avec mémoire des états précédents.

Cette protection se précise en «constante de temps thermique moyenne», (système thermique complexe à plusieurs éléments : cuivre + fer + refroidissement).

Un seuil de pré-alarme (à 90-95% de θ_m) doit être prévu pour action.

Cette protection ne tient pas compte de la température ambiante, sa valeur maximum sera prise en compte (en général 40°C), de manière à ce que les isolants ne puissent jamais atteindre la température limite.

De même une solution simplifiée par une mesure ampérométrique à 2 seuils associés à 2 temporisations ne tient compte ni de l'état thermique précédent ni de la température ambiante.

3.4.6 Protection contre les déséquilibres de courant (F46)

Une charge déséquilibrée (coupure d'un conducteur, discordance de pôles de disjoncteur, présence d'un réseau déséquilibré par charges monophasées, défaut dissymétrique monophasé ou biphasé) provoque un courant inverse. [27]

Ce courant inverse produit un champ statorique tournant dans le sens contraire du rotor et à la même vitesse angulaire.

Il induit dans le rotor des courants à fréquence double.

Le chemin préférentiel de ce courant induit est l'amortisseur.

Il y a risque d'échauffement pour les amortisseurs et le rotor.

L'équation d'échauffement est de la forme :

$$\left(\frac{I_2}{I_N}\right)^2 \times T$$

Elle définit 2 valeurs :

* «Valeur maximale $\left(\frac{I_2}{I_N}\right)$ pour un fonctionnement permanent».

* «Valeur maximale $\left(\frac{I_2}{I_N}\right)^2 \times T$ (en secondes) pour un fonctionnement en régime de défaut».

3.4.7 Protection à maximum de fréquence (F81O)

La sur-fréquence est habituellement le résultat d'une réduction soudaine de charge ou au fonctionnement sans charge du générateur qui peut mener à la survitesse du générateur.

Généralement une sur-fréquence ne pose aucun problème grave et des mesures de commande peuvent être prises pour ramener la vitesse et la fréquence du générateur à la normale sans faire déclencher le générateur. Des générateurs sont munis avec des détecteurs de survitesse, aussi un relais de sur-fréquence peut être utilisé pour compléter cet équipement de survitesse.

Les relais multifonctionnels fournissent un relais sur-fréquence avec deux seuils (dispositif **81O**) qui peut être placé pour alarmer ou se déclencher sur une valeur prédéterminée de fréquence. [19]

3.4.8 Protection à minimum de fréquence (F81U)

Le fonctionnement prolongé du générateur aux fréquences réduites, peut poser des problèmes particuliers pour les turbos-générateur de gaz ou de vapeur, qui sont susceptibles d'être endommagés.

Si la vitesse de générateur est proche de la fréquence normale de l'une des lames de turbine, il y aura une augmentation de vibration. Les dommages cumulatifs aux lames dues à cette vibration peuvent mener à la fissuration de la structure de lame.

Tandis que le délestage est la principale protection contre la surcharge du générateur, un relais de sous-fréquence (dispositif **81U**) devrait être employé pour assurer la protection additionnelle. [19]

3.4.9 Protection de retour de puissance active (F32) :

Dans ce cas de fonctionnement on aura une inversion de sens de la puissance active.

Lorsqu'il y a perte de l'élément fournisseur de couple mécanique au rotor (absence de fourniture de vapeur ou d'eau à la turbine ou manque de carburant pour un groupe diesel), le rotor n'est plus entraîné.

Pour continuer sa rotation il empruntera au réseau la puissance active nécessaire pour compenser les pertes mécaniques et électriques. D'où la puissance circule de réseau vers l'alternateur, dont la machine fonctionnera en moteur. En effet cette situation peut correspondre à un mauvais fonctionnement de la turbine qui peut être endommagé et peut provoquer de l'usure et des dégâts à la machine d'entraînement. D'ailleurs la mesure de l'énergie, quel que soit son sens, permet d'informer l'équipement ayant en charge le démarrage et l'arrêt du générateur. Les seuils seront de l'ordre de 2% pour les générateurs entraînés par des turbines (gaz ou vapeur) et de 20% pour ceux entraînés par des moteurs diesels (à-coups). Ces fonctions doivent être temporisées afin d'éviter des déclenchements intempestifs lors de couplages (échange de puissances) ou de perte de charge dans le réseau.

La protection est assurée par un relais (**ANSI 32P**) qui détecte le retour de puissance active absorbée par le générateur, donc il mesure le sens de transit de l'énergie active.

3.4.10 Masse stator :

- Injection tension BF : [26]

La fréquence d'injection est de 4 à 20 Hz. Mesure du courant de circulation I_{BF} , compensé de I_c (courant capacitif).

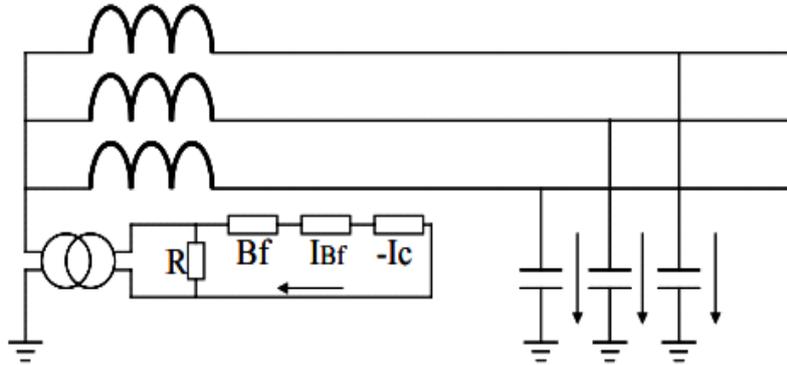


Figure 2.4 Injection tension BF

- Avantage :
 - Permet un contrôle machine à l'arrêt
- Inconvénients :
 - Système onéreux.
 - Nécessite la connaissance parfaite de I_c .
 - Précautions à prendre machine à l'arrêt.

3.4.11 Protection de masse rotor (F64R)

Cette protection nécessite l'accès au rotor (par bagues).

Les circuits d'excitation et rotor sont normalement isolés, un premier défaut n'a donc pas de Conséquence fâcheuse pour la machine (fixation du potentiel d'excitation à la terre).

Par contre un deuxième défaut (sur la seconde polarité) correspond à un court-circuit franc, d'autant que la probabilité d'avoir un second défaut est plus grande lorsqu'il s'est déjà produit un premier défaut.

Il est nécessaire de surveiller l'isolement pour détecter le premier défaut : [26]

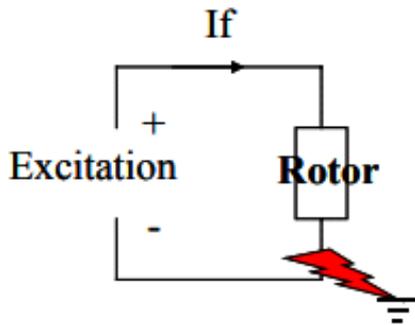
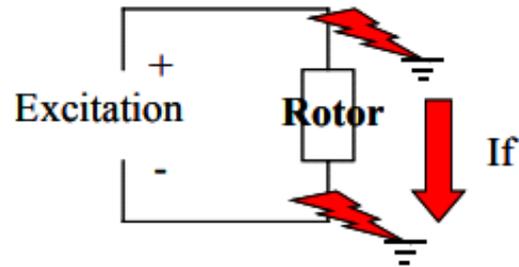
1er défaut**2e défaut**

Figure 2.5 Protection de masse rotor

➤ Conséquences :

- Augmentation I_f .
- $I_{\text{rotor}} = 0$ d'où perte d'excitation avec risque de perte de synchronisme.

3.4.12 Différentielle alternateur (code ANSI 87 G) :

La protection différentielle alternateur est utilisable dans la mesure où les deux bornes de chaque enroulement statorique sont accessibles.

Le courant maximal pour lequel la protection doit rester stable est le courant de court - circuit de l'alternateur

Le temps de fonctionnement de la protection est presque instantanée (elle n'est pas temporisée), le courant de court - circuit à prendre en compte est donc le courant pendant la période subtransitoire qui est de l'ordre de 5 à 10 I. [19]

3.4.13 Fonction différentielle contre les défauts à la terre (87N)

La fonction peut être utilisée pour tous les enroulements mis directement à la terre ou mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance de faible valeur. La fonction différentielle contre les défauts à la terre peut fournir une meilleure sensibilité (jusqu'à 5%) et assurer un déclenchement rapide étant donné qu'elle effectue les mesures individuellement sur chaque enroulement et ne nécessite par conséquent aucune stabilisation basée sur les harmoniques.

La fonction à basse impédance est une fonction avec retenue en pourcentage. Elle dispose en plus d'un critère supplémentaire de comparaison directionnelle basée sur le courant homopolaire. Ceci fournit une excellente sensibilité et stabilité pour les défauts traversant. La fonction permet d'avoir des rapports de TC différents, des caractéristiques magnétiques sur les noyaux TC de

phase et de neutre différents et d'ajouter d'autres fonctions et IED de protection sur les mêmes noyaux.
[19]

3.5 Protection des transformateurs :

Les types de défaut pouvant faire l'objet de protection et les dispositifs des protections adaptés sont Expliquez brièvement dans le tableau suivant :

Table 1/ Protection des transformateurs

Défaut	Dispositif de protection adapté	Code
Surcharge	Surveillance température diélectrique (transformateur à isolation liquide)	26
	Surveillance température des enroulements (transformateur sec)	49T
	Image thermique	49RMS
Court-circuit	Fusible	
	Maximum de courante phase instantanée	50
	Maximum de courant à temps indépendant	51
	Maximum de courant à temps dépendant	51
	Différentielle à pourcentage	87T
	Buchholz ou détection gaz et pression	63
Défaut terre	Maximum de courant masse cuve	51G
	Maximum de courant terre	51N /51G
	Différentielle de terre restreinte	64REF
	Maximum de courant terre point neutre	51G
	Maximum de tension résiduelle	59N
Surfluxage	Contrôle de flux	24

3.5.1 Protection contre les surcharges thermiques (F49T/f49RMS-26) :

Les transformateurs de puissance peuvent être affectés par des surcharges de faibles amplitudes mais prolongées. Elles provoquent l'échauffement de bobinages, de l'isolant

(huile) et des circuits magnétiques (fer). Ces surcharges sont détectées par la fonction de surcharge thermique (F49T) dont la constante de temps est ajustable, et un élément permettant de reproduire les conditions thermique par un système d'analogie ($I \times t$) avec mémoire des états précédents. On surveille la température du diélectrique (ANSI 26) pour les transformateurs à isolation liquide, ou la température des enroulements (ANSI 49T) pour les transformateurs secs. On utilise une protection à image thermique (ANSI 49 RMS) pour surveiller avec une meilleure sensibilité l'élévation de température : l'échauffement est déterminé par simulation du dégagement de chaleur fonction du courant et de l'inertie thermique du transformateur. Protection contre les surcharges thermiques, deux constantes de temps (49) Si la température d'un transformateur de puissance atteint des valeurs trop élevées, l'équipement peut être endommagé. L'isolement du transformateur aura vieilli. En conséquence, le risque de défauts phase-phase ou phase-terre internes augmente. Une température élevée dégradera la qualité de l'huile du transformateur.

La protection contre la surcharge thermique évalue continuellement la capacité thermique du transformateur avec deux constantes de temps, basée sur la mesure des courants. Des seuils d'avertissement sont disponibles. Ceci permet d'agir au niveau du réseau avant que ces flux et températures dangereuses ne soient atteints. Si la température continue à augmenter jusqu'à atteindre la valeur de déclenchement, la protection lance le déclenchement du transformateur. [7]

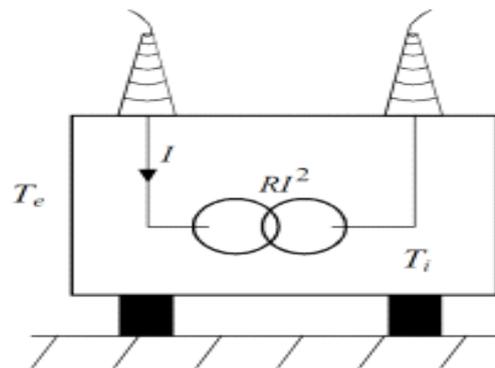


Figure 2.6 Différentes températures au transformateur [28]

3.5.2 Contrôle de flux (F24)

L'augmentation de l'induction de fonctionnement du transformateur provoquée par une surtension (exemple une Surexcitation, ou réseau capacitif...) et/ou une baisse de fréquence entraîne une augmentation du courant magnétisant qui peut entraîner des échauffements préjudiciables. Lorsque le noyau feuilleté d'un transformateur de puissance alternatif est soumis à une densité de flux magnétiques supérieure à ses limites assignées, les flux parasites circuleront dans les composants non feuilletés qui ne sont pas conçus pour transporter ces flux et ils généreront des courants de Foucault. Ces courants de Foucault peuvent provoquer un échauffement excessif et endommager l'isolement.

3.5.3 Protection par Buchholz (F63) :

Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve d'un transformateur décomposent certaine quantité d'huile et provoquent un dégagement gazeux. Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve de transformateur et de là vers le conservateur à travers un relais mécanique appelé relais BUCHHOLZ. [29]

Les gaz restent enfermés à la partie supérieure du relais, d'où ils peuvent être prélevés, et leur examen permet dans une certaine mesure de faire des hypothèses sur la nature de défauts et aussi obtenir des indications sur l'emplacement du défaut :

- Si les gaz ne sont pas inflammables on peut dire que c'est l'air qui provient soit d'une poche d'air ou de fuite d'huile.
- Si les gaz s'enflamment, il y a eu destruction des matières isolantes donc le transformateur doit être mis hors service.

Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile. Ainsi sera à deux niveaux pour le transformateur :

Le premier donnera un signal **d'alarme**, le second un signal de **déclenchement**

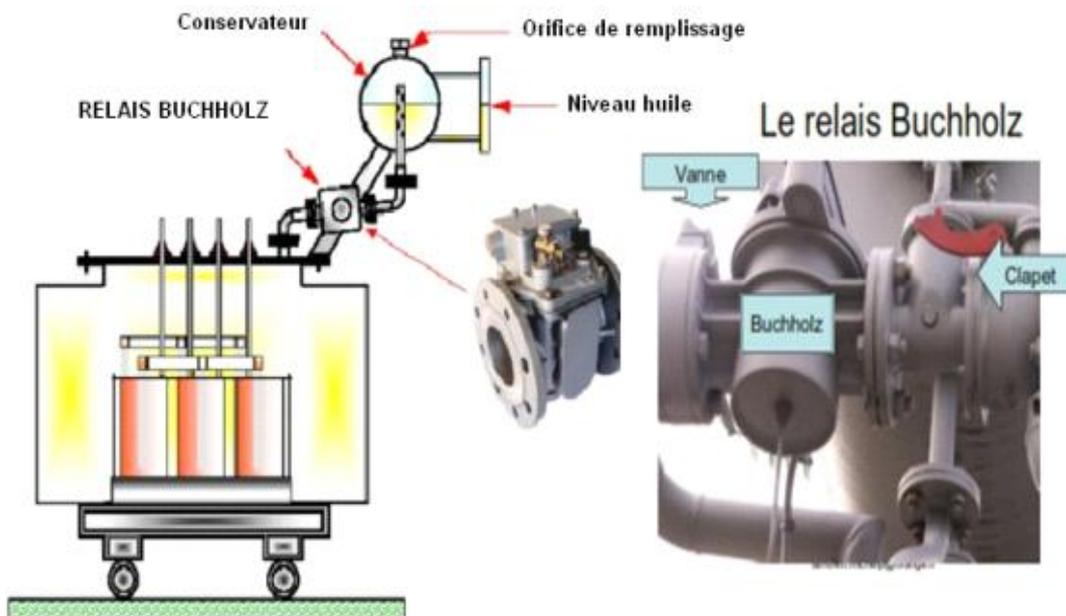


Figure 2.7 Protection par Buchholz [29]

➤ Il existe deux types de relais buchholz qui sont présentés ci-après :

1. buchholz cuve
2. Buchholz régleur2

3.5.4 Protection masse cuve (50N) :

Le Rôle de la protection masse cuve est de protéger le personnel et le transformateur contre les défauts d'isolement entre les enroulements, le noyau et la cuve. [29]

➤ Constitution de la protection masse cuve

Le dispositif de détection ne comporte qu'un relais à maximum d'intensité alimenté par le secondaire d'un transformateur d'intensité. Afin de maintenir une jonction visible et continue de la cuve Nu transformateur à la masse, le T.C. utilisé est du type Tore extérieur noyé dans un isolant.



Figure 2.8 Protection masse cuve [29]

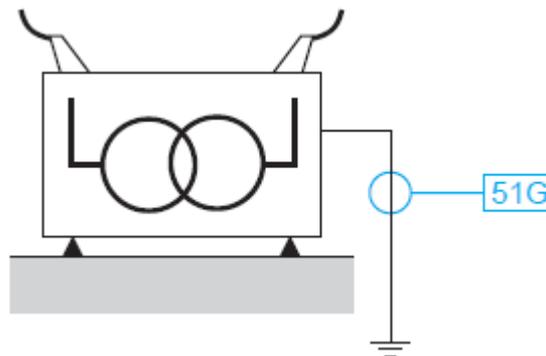


Figure 2.9 Protection de masse cuve transformateur [29]

3.5.5 La protection par DGPT :

Le DGPT (Détecteur Gaz, Pression et Température) est un dispositif de protection utilisé pour

Le transformateur isolement liquide. Ce dispositif détecte les anomalies au sein du diélectrique Liquide telles que émission de gaz, élévation de pression ou de température, et provoque la mise hors tension du transformateur. Il est principalement destiné à la protection des transformateurs immergés

étanches à remplissage total. Pour un défaut grave, le dégagement gazeux est recueilli en un point haut au relais, une accumulation trop importante provoque une alarme [30].

3.5.6 Protection à maximum de courant (F50-51-50N-51N)

3.5.6.1 Protection contre les défauts entre phase et terre (F50N/F51N) [19]

C'est le cas des unités homopolaires [50N] [51N] Le relais de protection doit alors remplir l'une des deux conditions suivantes :

- Soit être Temporisé légèrement pour éviter les déclenchements intempestifs provoqués Par la circulation d'un courant homopolaire artificiel consécutif à une saturation Passagère des réducteurs de mesure (courant de magnétisation ou de défaut en aval). Un seuil d'environ 6% minimum peut être envisagé dans ce cas.
- Soit être instantané, mais le seuil ne devra pas être inférieur à 15 ou 20 % In TC. Souvent cette contrainte conduit à une valeur de réglage trop importante vis-à-vis du courant de défaut maximal, d'où un manque de sensibilité.

Il doit être réglé de façon sélective avec les relais homopolaires situés en aval. Dans le cas où la mise à la terre n'est pas réalisable, un générateur homopolaire sera connecté au jeu de barres côté secondaire, et une protection (F51N) sera installée sur les câbles (3TC ou tore) reliant le secondaire du transformateur au jeu de barres. Il faudra garantir la sélectivité avec la protection du générateur homopolaire.

Lorsque les enroulements du transformateur côté secondaire sont connectés en étoile et que le point neutre est accessible et mis à la terre, un relais à maximum de courant homopolaire (F51N) est raccordé à un TC, ou à un tore installé dans cette liaison (point neutre). Il doit être réglé de façon sélective avec les protections homopolaires du réseau en aval. L'influence des harmoniques de rang 3 est éliminée dans la composante homopolaire, Car seul le courant fondamental est mesuré.

3.5.6.2 Protection contre les défauts entre phases (F50/51) [19]

Afin de protéger efficacement le transformateur et ses câbles de liaison, il est recommandé d'installer un relais à maximum de courant.

Cette fonction détectera le court-circuit entre phases «Amont» (au primaire du transformateur). Donc, c'est une protection à maximum de courante phase à une action rapide, et si instantanée.

(F50) associée au disjoncteur situé au primaire du transformateur assure la protection contre le court-circuit violents au primaire.

Le seuil du courant est réglé à une valeur supérieure au courant dû à un court-circuit au secondaire : la sélectivité ampérométriques ainsi assurée.

La fonction (**F51**) peut être à plusieurs seuils. Elle est temporisée, doit détecter les surcharges et garantir la sélectivité avec les relais situés en aval. Le choix des courbes de déclenchement (temps indépendant ou dépendant) est fait en fonction des impératifs du réseau

3.5.7 Protection directionnelle (F67-67N)

- **Protection directionnelle phases(F67), directionnelle phase - terre(F67N) :**

Dans le cas où le transformateur considéré n'est pas équipé de protection différentielle et que dans un schéma d'exploitation, il peut être couplé à une autre source (phase ou homopolaire), il faut installer des relais directionnels phase (F67) et homopolaire (F67N). Le relais assure ces deux fonctions ainsi que celles liées à la détection des courants et de la tension. [31]

3.5.8 Protection à maximum de tension résiduelle (ANSI 59N)

Une protection différentielle de terre restreinte, aussi dénommée REF (**R**estricted **E**arth **F**ault) est utilisée si le neutre du réseau en aval est isolé de la terre, et souvent même lorsque le neutre est direct à la terre. [31]

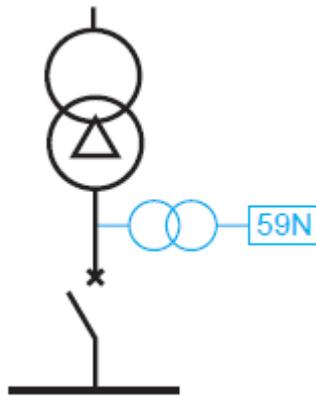


Figure 2.10 Protection à maximum de tension résiduelle. [31]

- **Protection interne**

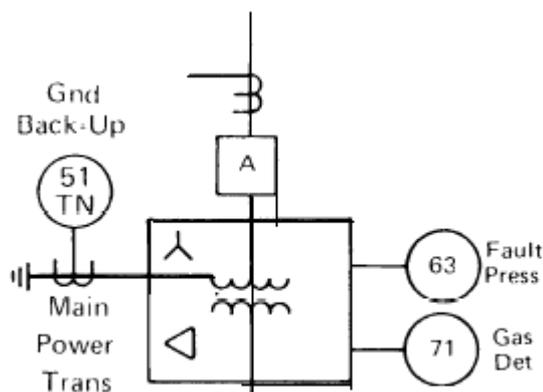


Figure 2.11 Les fonctions de protection interne d'un transformateur. [31]

Plusieurs protections peuvent être mises en œuvre.

- Pour les transformateurs dans l'huile, des dispositifs sensibles au dégagement de gaz et au déplacement d'huile (**ANSI 63**) provoqués par un court-circuit entre spires d'une même phase ou un court-circuit entre phases :
- Relais Buchholz pour les transformateurs HT/HT de type respirant,

Détecteurs de gaz et pression(DGPT) pour les transformateurs HT/BT de type étanche [31]

3.5.9 Une protection de terre restreinte (**ANSI 64REF**)

Il s'agit d'une protection différentielle qui détecte la différence des courants résiduels mesurés sur la mise à la terre du neutre d'une part et sur la sortie triphasée du transformateur d'autre part, si le neutre du réseau en aval est isolé de la terre.

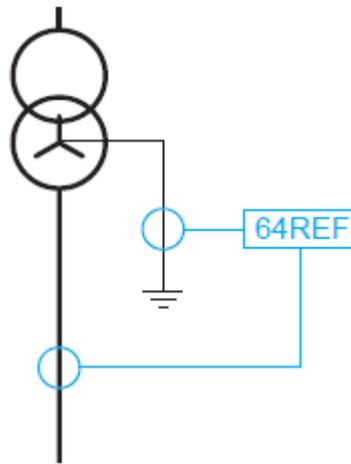


Figure 2.12 Protection à maximum de tension résiduelle.

- **Protection différentielle homopolaire (F87REF) :**

Dans une installation électrique, les transformateurs de forte puissance sont situés près de la source et par conséquent, le temps d'élimination des défauts internes peut être parfois long et incompatible avec leurs caractéristiques de tenue.

Pour une élimination rapide de ces défauts, il est donc conseillé d'utiliser, en complément des relais de protection entrant dans la sélectivité du réseau, des relais différentiels (phase et homopolaire si nécessaire)

Les TC sur les phases sont en montage sommation :

$$I_A + I_B + I_C = I_{R1} = 3 I_o$$

Que l'on compare à $I_{r \text{ Neutre}} = 3 I_o$.

- **Lorsque le défaut est extérieur :**

$$I_{R1} + I_{r \text{ Neutre}} = 0 \text{ (compte tenu du raccordement différentiel entre TC phases et TC}$$

Neutre).

➤ **Lorsque le défaut est intérieur :**

$I_{R1} + I_{r\text{ NEUTRE}} \neq 0$ (compte tenu du raccordement différentiel entre TC phases et TC

- neutre). [19]

3.5.10 Protection différentielle (F87T)

La protection différentielle de transformateur (ANSI 87T) qui assure une protection rapide contre les défauts entre phases. Elle est sensible et elle s'utilise pour les transformateurs vitaux de forte puissance. Pour éviter le déclenchement intempestif, on procède à la mesure de l'harmonique **2** du courant différentiel qui détecte l'enclenchement de l'appareil, ainsi qu'à la mesure de l'harmonique **5** qui détecte le sur fluxage (retenue H5). [19]

3.5.11 Les harmoniques de rang 2

La mise sous tension d'un transformateur provoque une pointe de courant transitoire d'enclenchement pouvant atteindre jusqu'à 20 fois le courant nominal avec des constantes de temps de 0.1 à 0.7 seconde, ce phénomène est dû à la saturation du circuit magnétique qui provoque l'apparition d'un courant magnétisant important, la valeur crête du courant est maximale lors d'un enclenchement effectué au passage à zéro de la tension et avec une induction rémanente maximale sur la même phase, la forme d'onde du courant est riche en harmonique de rang 2.

Ce phénomène correspond à une manœuvre normale d'exploitation du réseau, il doit donc ne pas être vu comme un défaut par les protections qui devront laisser passer la pointe d'enclenchement. [19]

3.5.12 Sur-fluxage

Une exploitation de transformateur à tension trop élevée ou à fréquence trop basse provoque un courant magnétisant excessif et entraîne une déformation de courant riche en harmonique de **rang 5**. Pour cela, ils possèdent des filtres de retenue aux harmoniques de rang **2** et **5** caractérisant les enclenchements de transformateur [19]

3.6 Conclusion

La protection des éléments des centrales électriques est d'une importance primordiale.

Dans ces centrale il existe plusieurs types de défauts, Plusieurs fonctions de protections sont ainsi nécessaires pour la détection de ces défauts, Ces fonctions sont basées sur les différentes techniques de la protection

Dans ce chapitre sur une cité, les défauts déférents qui peuvent apparaître dans une centrale électrique et les différents types de protection de tous les éléments principaux (alternateur, transformateur) dans les centrales électrique

Chapitre 3 :
Architecture d'un système de
protection

4 Chapitre 3 : architecture d'un système de protection

4.1 Introduction

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau, et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur),

Les buts visés par les dispositifs de protection sont multiples :

- ✓ Participer à la protection des personnes contre les dangers électriques,
- ✓ Éviter les détériorations de matériel (un court-circuit triphasé sur un jeu de barres moyenne tension peut faire fondre jusqu'à 50 kg de cuivre en 1 seconde ; la température de l'arc peut dépasser en son centre 10000 °C),
- ✓ Limiter les contraintes thermiques, électriques et mécaniques auxquelles sont soumis ces matériels,
- ✓ Préserver la stabilité et la continuité de service du réseau,
- ✓ Protéger les installations voisines (par exemple, réduire les tensions induites dans les Circuits proches).

Pour atteindre ces objectifs, un système de protection doit avoir des qualités de rapidité, sélectivité et fiabilité. Cependant, il faut être conscient des limites de la protection : les défauts doivent tout d'abord se produire pour qu'elle agisse.

La protection ne peut, donc, pas empêcher les perturbations ; elle ne peut que limiter leurs effets, et leur durée. De plus, le choix d'une protection est souvent un compromis technico-économique entre la sécurité, et la disponibilité de l'alimentation en énergie électrique. [32]

4.2 Système de protection

4.2.1 Définition

C'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble,

De façon cohérente et adaptée au réseau.

Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants :

- capteurs de mesure – courant et tension – fournissant les informations de mesure

Nécessaires à la détection des défauts,

- relais de protection, chargés de la surveillance permanente de l'état électrique

Du réseau, jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses,

Et leur commande par le circuit de déclenchement,

- organes de coupure dans leur fonction d'élimination de défaut : disjoncteurs, interrupteurs-fusibles, contacteurs-fusibles.

4.2.2 Qualités principales d'un système de protection

Les qualités recherchées sont : [33]

- la rapidité
- la sensibilité
- la fiabilité.
- Sélectivité

4.2.2.1 Rapidité

Les courts circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires.

Le temps d'élimination des courts circuits comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes. [34]

4.2.2.2 Sensibilité

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de court-circuit entre :

- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu,
- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner. [34]

4.2.2.3 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. [34]

4.2.2.4 Sélectivité

La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner. Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants :

- Sélectivité ampèremétrique (par les courants).
- Sélectivité chronométrique (par le temps).
- Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique.
- Sélectivité par utilisation de relais directionnels ou/et différentielle

Sélectivité Ampérométrique

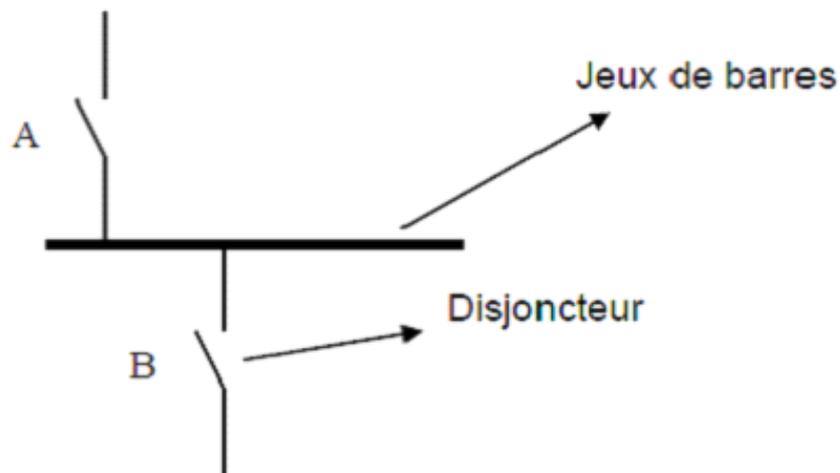


Figure 3.1 Sélectivité ampérométrique. [33]

Le courant de court-circuit en aval du disjoncteur B est I_{ccB} , la valeur de déclenchement du disjoncteur A est I_{RA} dans ce cas :

- Si le courant la sélectivité est dite total.
- Si le courant la sélectivité est dite partiel.

Sélectivité Chronométrique

Elle consiste à donner des temporisations différentes aux relais ampérométrique échelonnés le long du réseau. Ces temporisations sont d'autant plus longues que le relais est proche de la source.

Après la disparition de courants de défauts, les relais qui ne sont plus sollicités, reviennent à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement t entre deux protection successives est intervalle de sélectivité, il doit tenir compte de :

- Le temps de coupure du circuit T_c
- Les tolérances sur la temporisation t
- Le temps de retour au repos de la protection t_r

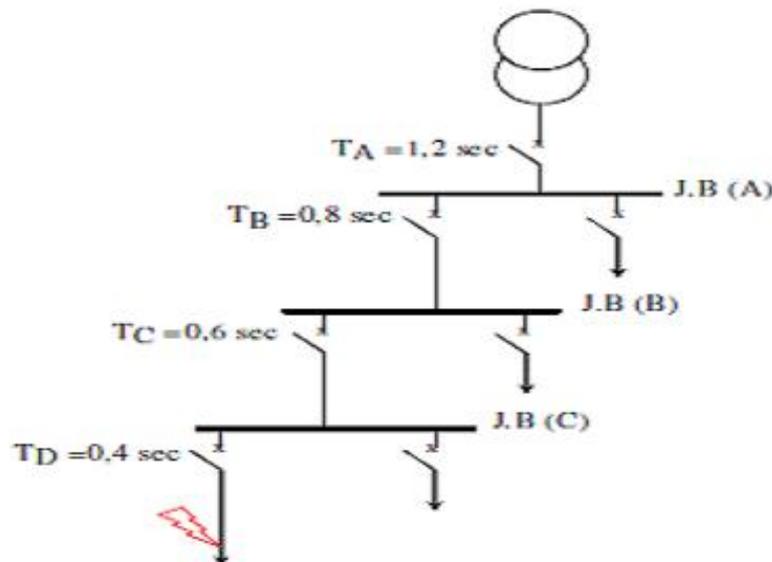


Figure 3.2 Sélectivité chronométrique.

Le temps t vérifie de ce fait la relation $t = T_c + t_r + 2t$. Etant donné les performances actuelles des dispositifs de coupure et des relais, la valeur qui est utilisée pour t se situe entre 200 et 300 ms pour deux disjoncteurs consécutifs.

Ce système de sélectivité a deux avantages :

- il assume son propre secours (un défaut est vu en plusieurs points).
- Il est simple.

4.3 Chaîne Générale d'un système de Protection

4.3.1 Constitution d'un système de protection

Lorsqu'un défaut ou une perturbation se produit sur un réseau électrique, il est indispensable de mettre hors tension la partie en défaut à l'aide d'un système de protection. Ce dernier aura pour rôle de limiter les dégâts qui peuvent être causés par le défaut .quel que soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties fondamentales :

- Des réducteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent la valeur surveillée a des valeurs utilisables par les relais de protection.
- Un système de relais de protection.
- Un appareillage de coupure (des disjoncteurs). [33]

Un exemple d'un système de protection pour une ligne HT est donné par la figure

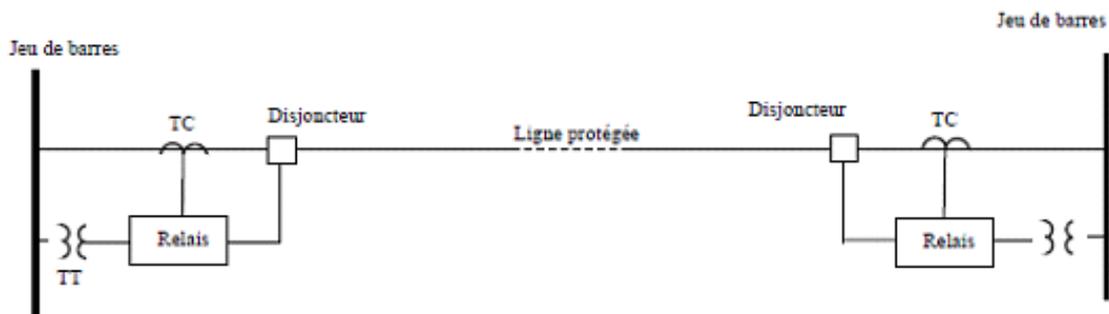


Figure 3.3 Constitution d'un système de protection. [33]

Dans le cas d'un défaut, les deux relais ont besoin de fonctionner, donne les deux disjoncteurs s'ouvrent et la ligne est mise hors service.

4.3.2 Relais de Protection

Définition

Le relais est un dispositif à action mécanique ou électrique provoquant le fonctionnement des

Systèmes qui isolent une certaine zone du réseau en défaut ou actionnant un signal en cas de défaut ou de conditions anormales de marche (alarme, signalisation,.....)

Il existe essentiellement trois classes de relais selon l'organigramme suivant : [35]

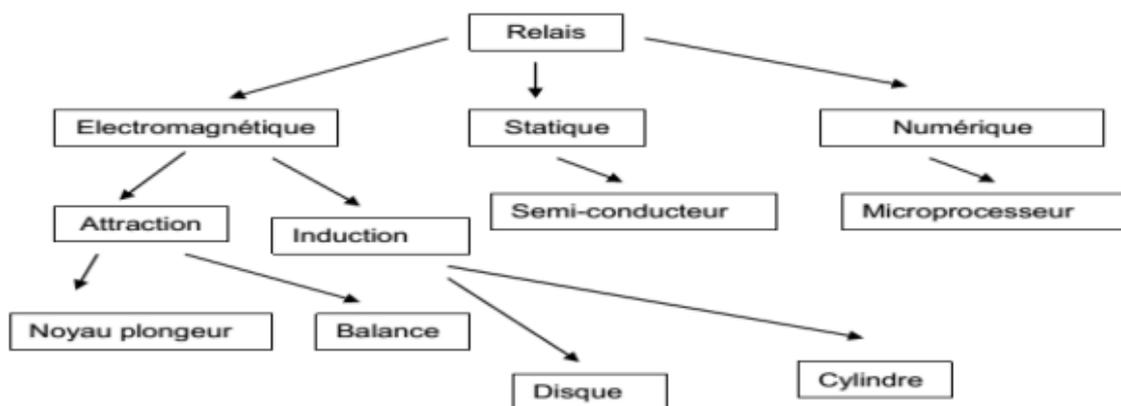


Figure 3.4 Schéma de principaux relais de protection. [19]

Critères de Choix d'un Relais de Protection

Le choix d'un relais est guidé par plusieurs critères :

- **fonction du relais de protection :**

Mesure du courant, de tension, de fréquence, de puissance.

➤ **la plage de réglage :**

L'intervalle compris entre le plus petit et le plus grand courant nominal.

➤ **l'alimentation :**

Le type, la fréquence la tension des grandeurs de mesure et les auxiliaires.

➤ **condition de l'ambiance :**

Comportement aux conditions particulières, de température, atmosphère explosive, parasites électromagnétiques, surtensions de manœuvre, vibrations, chocs, séisme.

4.3.3 Le disjoncteur de haute tension

Quand un défaut se produit dans une zone, les disjoncteurs ouvrent le départ et l'extrémité de la ligne de cette zone à base du signal de l'appareil de protection (relais), pour arrêter le passage du courant de défaut.

Le plus dangereux phénomène face aux disjoncteurs est l'arc électrique qui est créé entre leurs pôles, et ça permet la continuité d'un courant électrique entre les pôles (les disjoncteurs ne fonctionnent pas). C'est pourquoi les constructeurs ont développé de nombreux types de disjoncteurs ont le même Objectif, mais se diffèrent dans le mode de fonctionnement [36].

4.3.3.1 Disjoncteur en utilisant L'air

Le gaz contenu dans les disjoncteurs à air comprimé est maintenu sous haute pression (20 à 35 bars) à l'aide d'un compresseur. Cette haute pression permet d'assurer la tenue diélectrique et de provoquer le soufflage de l'arc pour la coupure.

Le soufflage intense exercé dans ces disjoncteurs a permis d'obtenir de très hautes performances (Courant coupé jusqu'à 100 kA sous haute tension) et avec une durée d'élimination du défaut très Courte permettant d'assurer une bonne stabilité des réseaux en cas de défaut [37].

4.3.3.2 Disjoncteurs avec ampoules à vide

Dans un disjoncteur à vide, l'arc est alimenté par les particules issues des contacts. La haute tenue diélectrique obtenue dans un vide poussé permet de tenir la tension transitoire de rétablissement entre contacts après interruption du courant. Le passage du courant dans des contacts de forme appropriée génère un champ magnétique qui entraîne la rotation de l'arc et évite que ce dernier reste attaché sur la même surface de contact. Il est ainsi possible d'éviter la fusion des contacts d'arc et une production excessive de particules métalliques qui aurait limité la tenue de la tension après l'interruption du courant [38].

4.3.3.3 Disjoncteur gaz sf6

La mise au point de nouvelles générations de disjoncteur SF6 (hexafluorure de soufre) très

Performantes a entrainé dans les années 1970 la suprématie des appareils SF6 dans la gamme 7,2 kV à 245 kV. Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF6 peuvent expliquer leur succès [39]

4.3.4 Relation entre l'appareil de protection et le disjoncteur

L'objectif principal dans le système de protection est la vitesse de séparation des défauts par le relais, le processus commence par l'entrée du signal de défaut (signal de Relais) dans le Relais de protection par le transformateur du courant(TC) et transformateur de tension(TT), le relai étudie ce signal et envoie un signal de déclenchement vers la bobine de déclenchement du disjoncteur. Cette relation est montrée sur la (Figure III.4.)

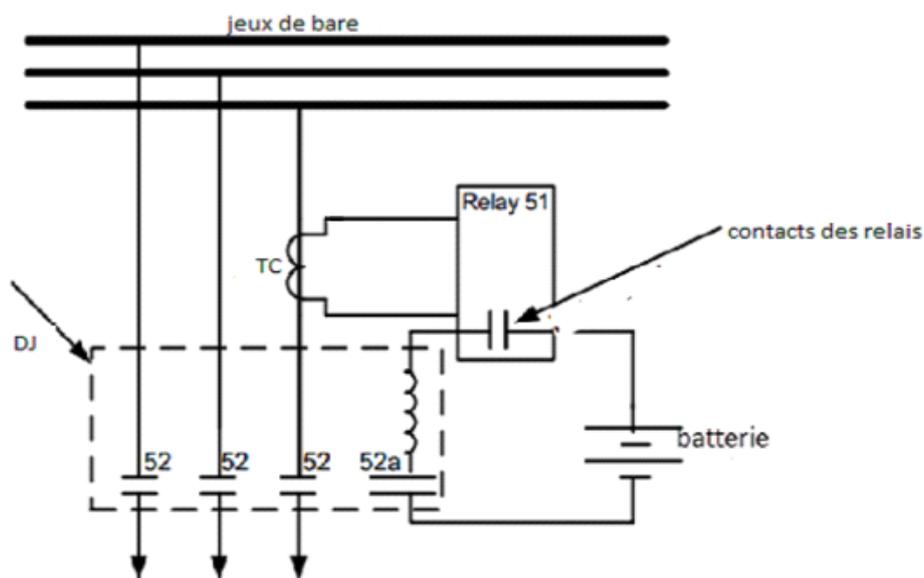


Figure 3.5 Relation entre l'appareil de protection et le disjoncteur

À partir de la figure, quand un défaut se produit :

- le relais ferme son contact, le courant de batterie passe vers la bobine de déclenchement du disjoncteur qui ouvre ses pôles.

Note :

- Le relai qui apparaît dans la (Figure III.4.) est Relais Max de Courant.
- Le temps nécessaire d'envoyer le signal de déclenchement est au moins 20 ms, bien que le temps nécessaire pour l'ouverture du circuit sera entre 50 à 100 ms, la somme des deux temps est un temps réel pour éliminer le défaut. [40]

4.3.5 Différents types de relais

Il existe essentiellement trois classes de relais selon l'organigramme suivant

4.3.5.1 Relais électromécanique :

Un relais électromécanique se compose de deux parties : l'une est fixe et l'autre est mobile, entre lesquelles s'exerce une force (ou un couple) d'origine mécanique ou thermique ou électromagnétique.

La partie mobile est solidaire d'un contact qui se déplace par rapport au circuit d'utilisation (exemple : le circuit de disjoncteur).

Le mouvement de cette partie mobile sert à fermer ou ouvrir le circuit d'utilisation. Cette protection est relativement abandonnée parce qu'elle est caractérisée par un temps de fonctionnement très élevé, une grande consommation d'énergie et un grand prix de revient [41]

4.3.5.2 Relais électronique (ou statique) :

Les relais statiques dont les circuits de mesure et de commutation sont généralement à base de composants semi-conducteurs : transistors, diodes, thyristors,....etc.

Le parcours du signal d'état depuis les capteurs des grandeurs (physiques ou électriques) jusqu'à la prise de décision (le fonctionnement de la protection ou pas) s'effectue dans des modules entièrement électroniques propres à chaque fonction. Cette protection est caractérisée par une construction simple, un temps de déclenchement très court et une grande précision. [42]

Les circuits de comparaison fournissent des signaux temporisations qui actionnent des relais de sortie à déclencheurs. Ces dispositifs nécessitent en général une source d'alimentation auxiliaire continue :

- Ils procurent une bonne précision et permettent la détection des faibles courants de court-circuit.
- Chaque unité opère comme une fonction unitaire et plusieurs fonctions sont

Nécessaires pour réaliser une fonction de protection complète.

Les inconvénients de ces dispositifs demeurent :

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de tests,
- La grande puissance consommée en veille,
- La faible sécurité de fonctionnement (pas de fonction d'autocontrôle). [43]

4.3.5.3 Relais Numérique

La technologie numérique a fait son apparition au début des années 1980. Avec le développement des microprocesseurs et des mémoires, les puces numériques ont été intégrées aux équipements de protection.

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible voltage.

L'utilisation de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs, ce qui autorise un traitement de données via des algorithmes de protection en fonction de la protection désirée. En outre, ils sont équipés d'un écran d'affichage à cristaux liquides sur la face avant pour le fonctionnement local.

Ces dispositifs nécessitant une source auxiliaire, offrent un excellent niveau de précision et un haut niveau de sensibilité. Ils procurent de nouvelles possibilités, comme :

- ✓ Intégration de plusieurs fonctions pour réaliser une fonction de protection complète dans une même unité,
- ✓ Le traitement et le stockage de données,
- ✓ L'enregistrement des perturbations du réseau (perturbographe),
- ✓ Le diagnostic des dispositifs connectés (disjoncteurs,etc.).[44]

4.3.5.4 Architecture d'un relais numérique

Les éléments les plus importants dans les relais numériques sont : [45] [46]

- Les entrées analogiques, les TC et les TP.
- L'échantillonneur : échantillonnent les signaux analogiques à une fréquence définie.
- Le convertisseur ADC : converti les signaux échantillonnés en des valeurs binaires.
- Le processeur, sur la base des valeurs binaire et d'un algorithme de protection, il décide d'ouvrir ou non la protection.

4.3.5.5 Entrées analogiques

Les entrées de mesure EM transforment les courants et tensions issus des réducteurs de courant et tension associés et les convertissent en fonction des niveaux d'amplitude appropriés pour le traitement interne de l'appareil. Les appareils sont disposés des entrées de courants et des entrées de tension. Trois entrées de courant sont prévues pour l'acquisition des courants de phase, une quatrième (I4) peut être configurée pour le courant de terre (point neutre du réducteur de courant), ou pour la mesure du courant traversant le point neutre d'une transformatrice source (pour détermination de direction des défauts terre).

4.3.5.6 Système à microprocesseur

Le microprocesseur assure, outre le contrôle de l'acquisition des mesures, les fonctions de protection et de contrôle-commande proprement dites. Il s'agit en particulier des tâches

Suivantes :

- Filtrage et préparation des grandeurs mesurées.
- Supervision continue des grandeurs mesurées.
- Supervision des conditions de mise en route pour les différentes fonctions de protection.
- Interrogation de seuils et de temporisations.

- Contrôle des signaux pour les fonctions logiques,
- Décisions relatives aux commandes de déclenchement et d'enclenchement.
- Enregistrement des signalisations, messages de défauts et enregistrements pétrographiques pour l'analyse des défauts.
- Gestion du système d'exploitation et des fonctions associées, comme par ex : l'enregistrement de données, l'horloge en temps réel, la communication, les interfaces, etc.

Les informations sont mises à disposition via les amplificateurs de sortie AS.

4.3.5.7 Réducteur de mesure

Pour des raisons de dimensionnement et de coût les relais de protection sont prévus pour des courants et des tensions de valeurs réduites, de plus pour assurer la sécurité des opérateurs, On utilise pour cela des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TP). La caractéristique essentielle pour un réducteur de mesure est sa précision.

4.3.6 Transformateur de courant

4.3.6.1 Définition

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. [47]

Les transformateurs de courant ont deux fonctions essentielles :

- Adapter la valeur du courant MT du primaire aux caractéristiques des appareils de mesure ou de protection en fournissant un courant secondaire d'intensité proportionnelle réduite.

*Protéger et Isoler les circuits de puissance du circuit de mesure

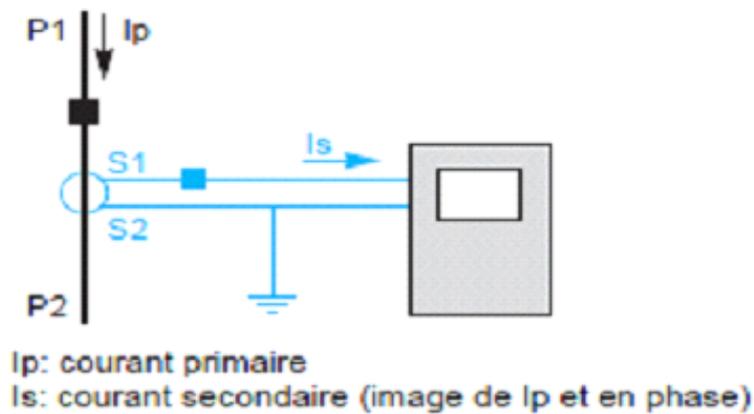


Figure 3.8 Transformateur de courant [33]

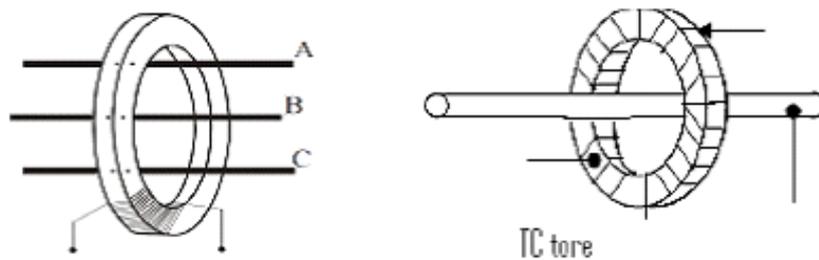


Figure 3.9 Transformateur de courant Type Tore. [33]

- **Transformateurs de tension**
- **Définition**

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) [47].

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.

Avec m : rapport de transformation de TT.

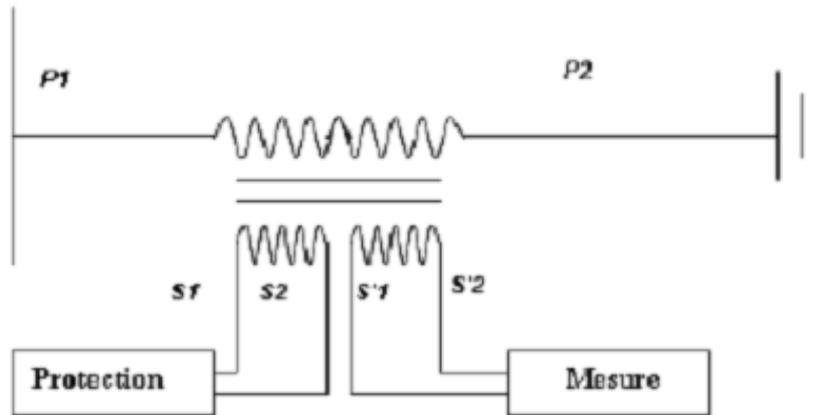


Figure 3.10 Transformateur de tension avec double secondaire [33]

Conclusion :

Dans ce chapitre, il nous a paru nécessaire de donner assez d'informations sur les différents éléments, qui composent un système de protection.

Ces éléments sont très importants, très sensibles et doivent être bien choisis et bien réglés, afin d'assurer une protection efficace contre les différents types de défauts, qui peuvent survenir sur le réseau électrique.

Chapitre 4 :
(Simulation de quelque
fonction de protection d'une
centrale)

5 Chapitre 4 : (simulation de quelque fonction de protection d'une centrale)

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous simulerons une centrale électrique avec des relais numérique qui fait l'objet de protection de cette centrale, et les déférant défaut électrique à l'aide de Simulink power système, qui se trouve au niveau de MATHLAB, et tout ça pour connaitre le mode de fonctionnement de la protection associer dans une centrale électrique.

5.2 Simulation d'une centrale électrique :

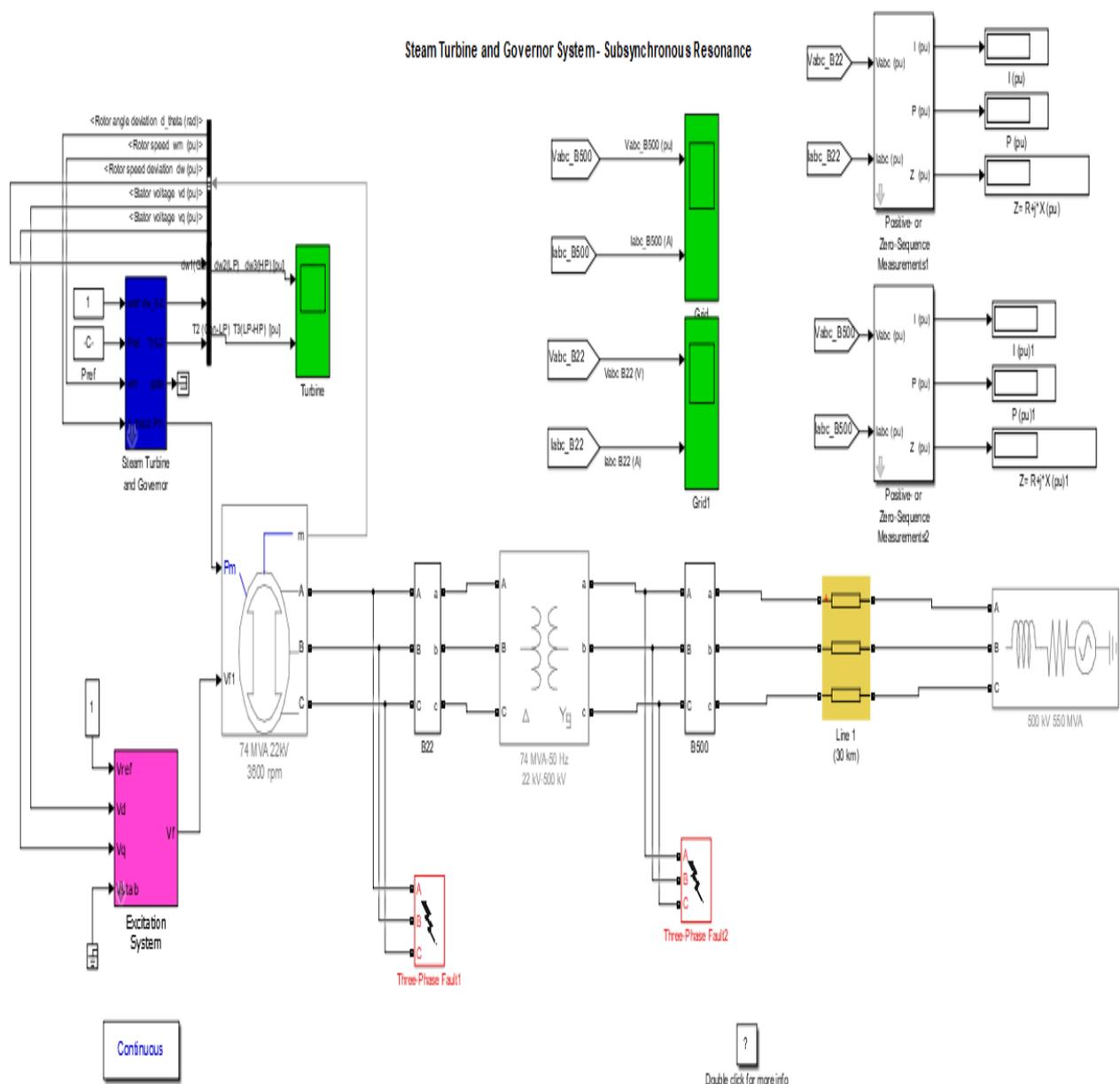


Figure 4.1 Schéma d'une centrale électrique.

Dans notre centrale électrique, nous avons une machine synchrone à pole lisse (turbo-alternateur) de puissance 74MVA et de tension 22KV, la machine est excitée par un système d'excitation et le débit est commandé par une turbine.

Un transformateur élévateur triangle étoile (Δ/Y) couple avec la machine et le réseau pour augmenter la tension et diminué le courant et caractérise : 22Kv\500Kv et sa puissance 74MVA et $X_{tr} = 50\Omega$. et une ligne de 30Km et nous avons supposé que le réseau équivalent et représenté par une ligne de 30km et une charge

5.2.1 Simulation Sans défaut

Mode de fonctionnement normal :

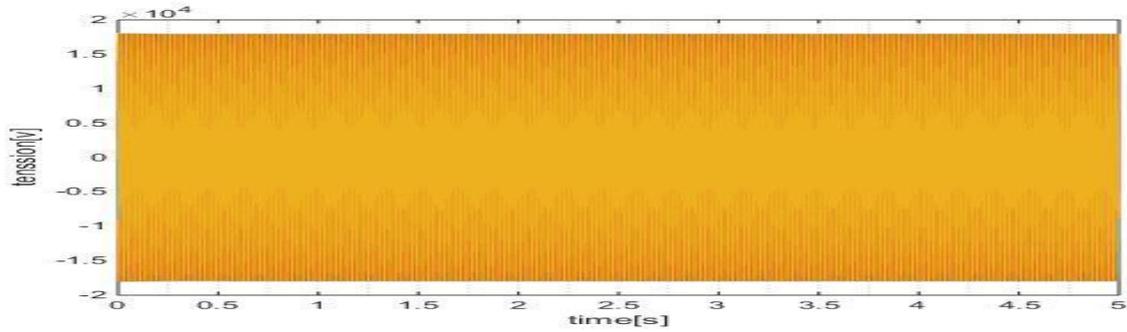


Figure 4.2 Variation de tension dans la sortie de générateur

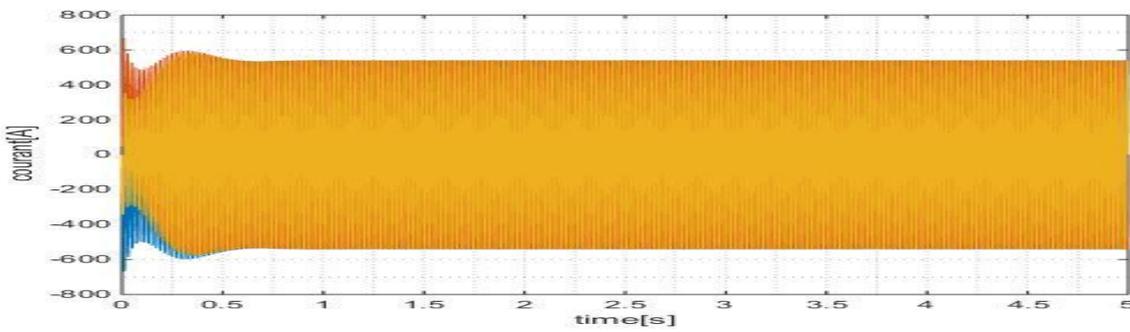


Figure 4.3 Variation de courant dans la sortie de générateur

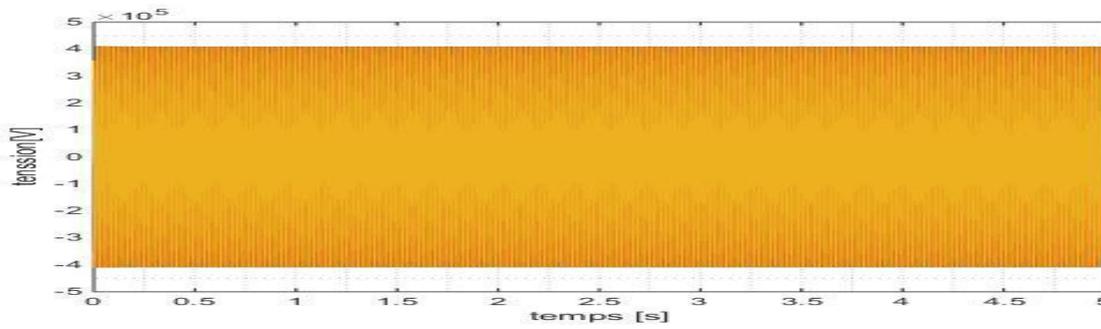


Figure 4.4 Variation de tension dans la sortie de transformateur

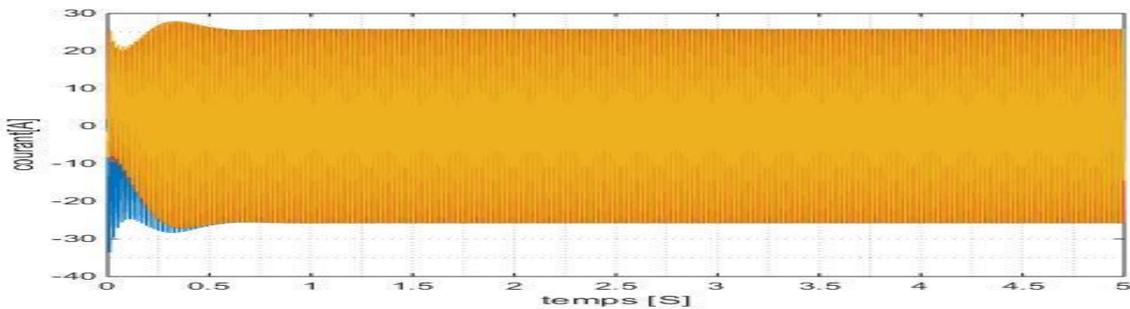


Figure 4.5 Variation de courant dans la sortie transformateur

- Les figures 4.2/ 4.4 représentent les tensions de phase (V_a , V_b et V_c). Il est bien clair que les amplitudes sont égales avec un déphasage de $2\pi/3$ entre chacune.
- La figure 4.3/4.5 qui représente les courants de phase (I_a , I_b et I_c) nous constatons qu'ils ont les mêmes amplitudes avec un déphasage de $2\pi/3$ accompagné d'une présence des oscillations au début, du au courant de démarrage de la machine avant de se rétablir

5.2.2 Défaut triphasé terre après une tempe de 2 s :

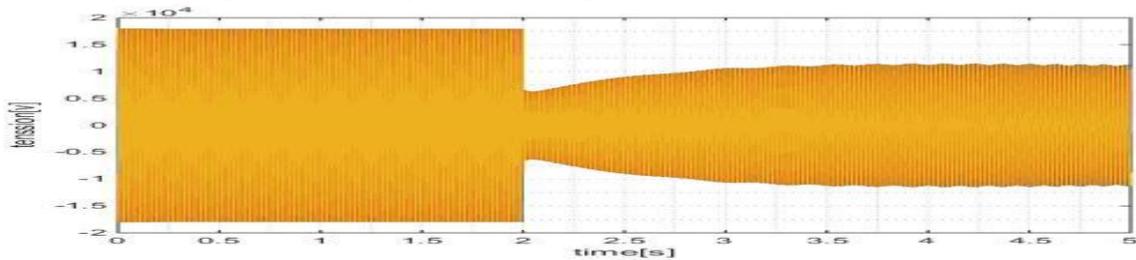


Figure 4.6 Variation de tension après un défaut triphasé terre.

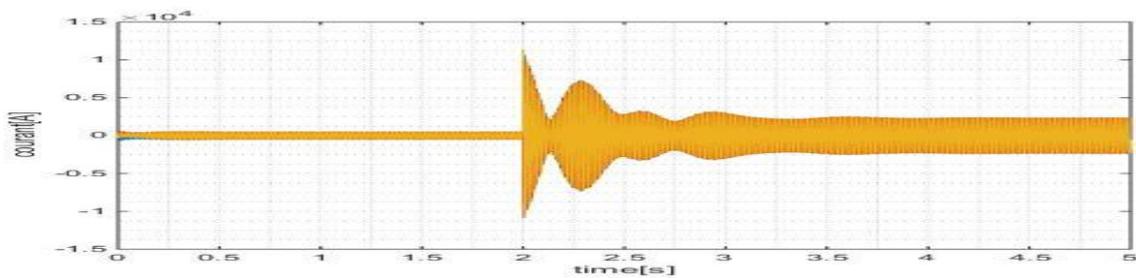


Figure 4.7 Variation de courant après un défaut triphasé terre.

5.2.3 Défaut biphasé terre après une tempe de 2 s :

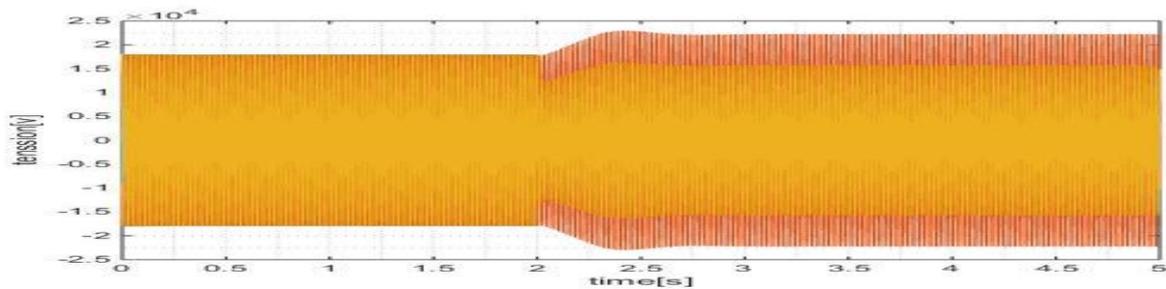


Figure 4.8 Variation de tension après un défaut biphasé terre.

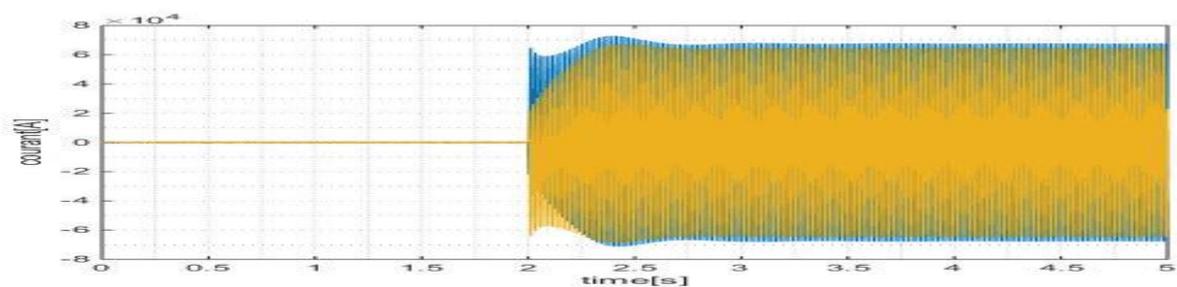


Figure 4.9 Variation de courant après un défaut biphasé terre

5.2.4 Défaut monophasé terre après une durée de 2 s :

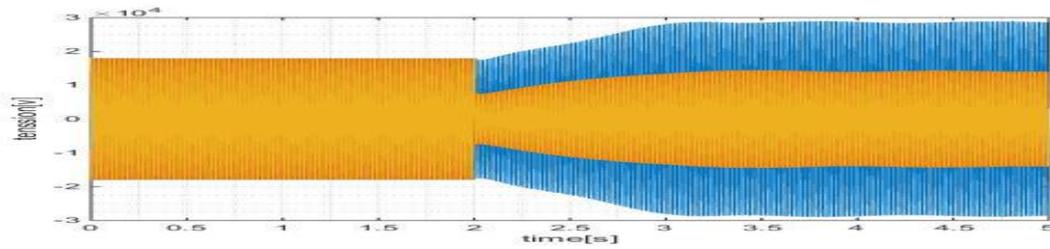


Figure 4.10 Variation de tension après un défaut monophasé terre

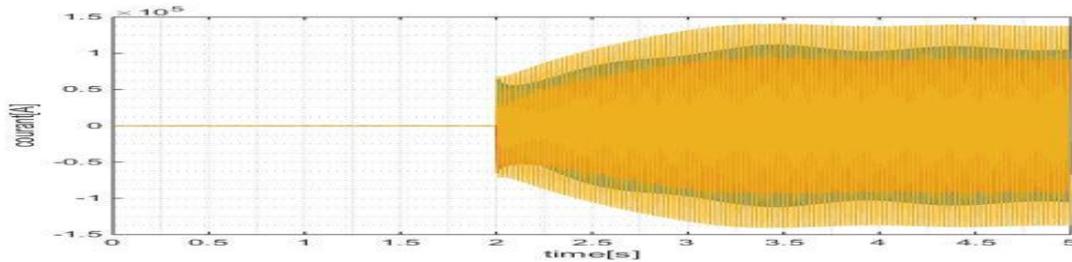


Figure 4.11 Variation de courant après un défaut monophasé terre.

5.2.5 Interprétation des résultats

On a remarqué qu'avant le court-circuit, les valeurs du courant ainsi que celles de tension étaient dans leurs valeurs nominales, ensuite l'apparition du défaut (2s) nous a permis d'apercevoir une augmentation importante du courant car le court-circuit, contrairement à la tension qui a diminué, ce qui produit un dommage dans notre centrale (endommagement des matériels).

Donc on a conclu qu'il faut mettre les outils de protection pour détecter et éliminer le défaut.

5.3 Protection de générateur

5.3.1 Protection de générateur par le relais maximum de courant

5.3.1.1 Bloc Maximum de courant

La présence d'un court-circuit dans le réseau engendre une augmentation importante du courant et une diminution de la tension, ce qui nécessite une protection qui déclenche à un certain seuil d'intensité du courant, en conséquence nous avons choisi la protection de surintensité adéquate à ce défaut.

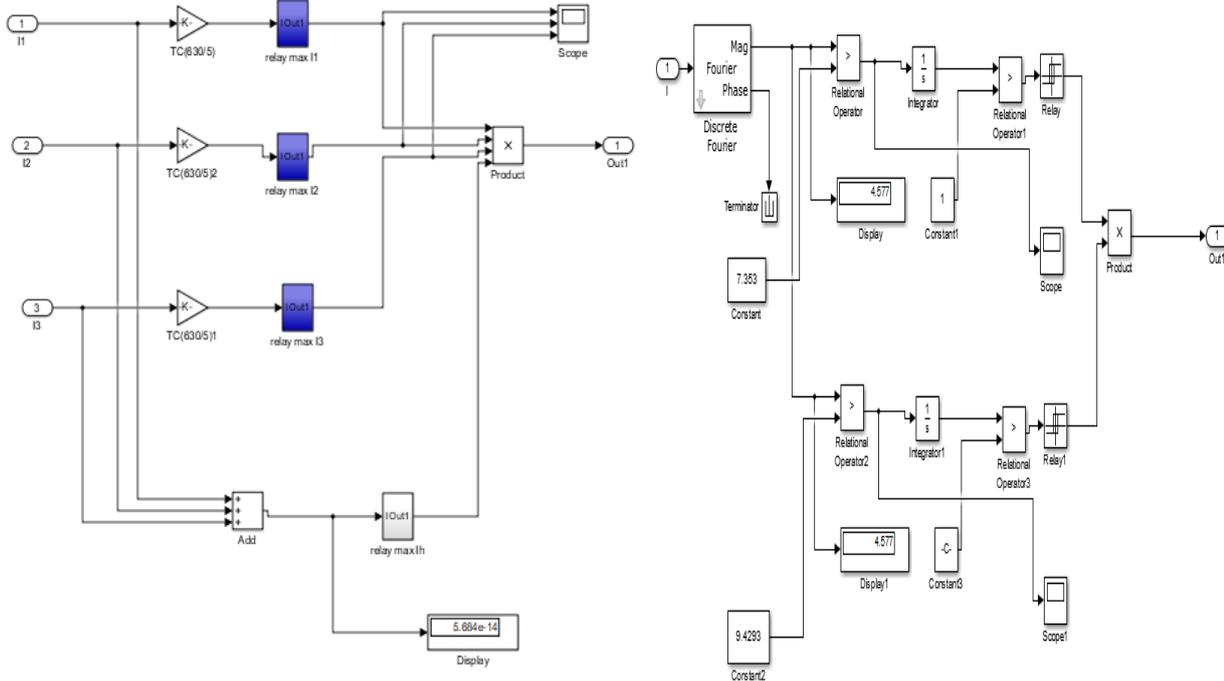


Figure 4.12 Schéma d'un relais maximum de courant.

Le maximum de courant est basé sur la mesure de courant des trois phases et le compare par rapport au courant de réglage.

- Le premier Seuil et de **170%** de courant nominale avec une temporisation de **7s**.
- Le deuxième Seuil et de **218%** de courant nominal avec une temporisation **0s (instantané)**.

Les courants de réglage

I_s = le courant entrant dans le relais (après le TC (le rapport de transformation et $r = (5/630)$)

$$I_s = \frac{In1 * 5}{630} = 4.3254 A \quad I_{s1} = 4.3254 A$$

- 1^{er} seuil c'est à 170% I_n avec un retard de temps 7s $I_{s1} = 4.3254 * 1.75 = 7.5731 A$
- 2^{eme} seuil c'est à 218% I_n avec un retard de temps 0s $I_{s2} = 4.3254 * 2.18 = 9.4293 A$

1^{er} essai :

⚡ Nous avons fait un défaut Triphasé Terre dans la sortie de l'alternateur après une tempe de 2 s

Steam Turbine and Governor System - Subynchronous Resonance

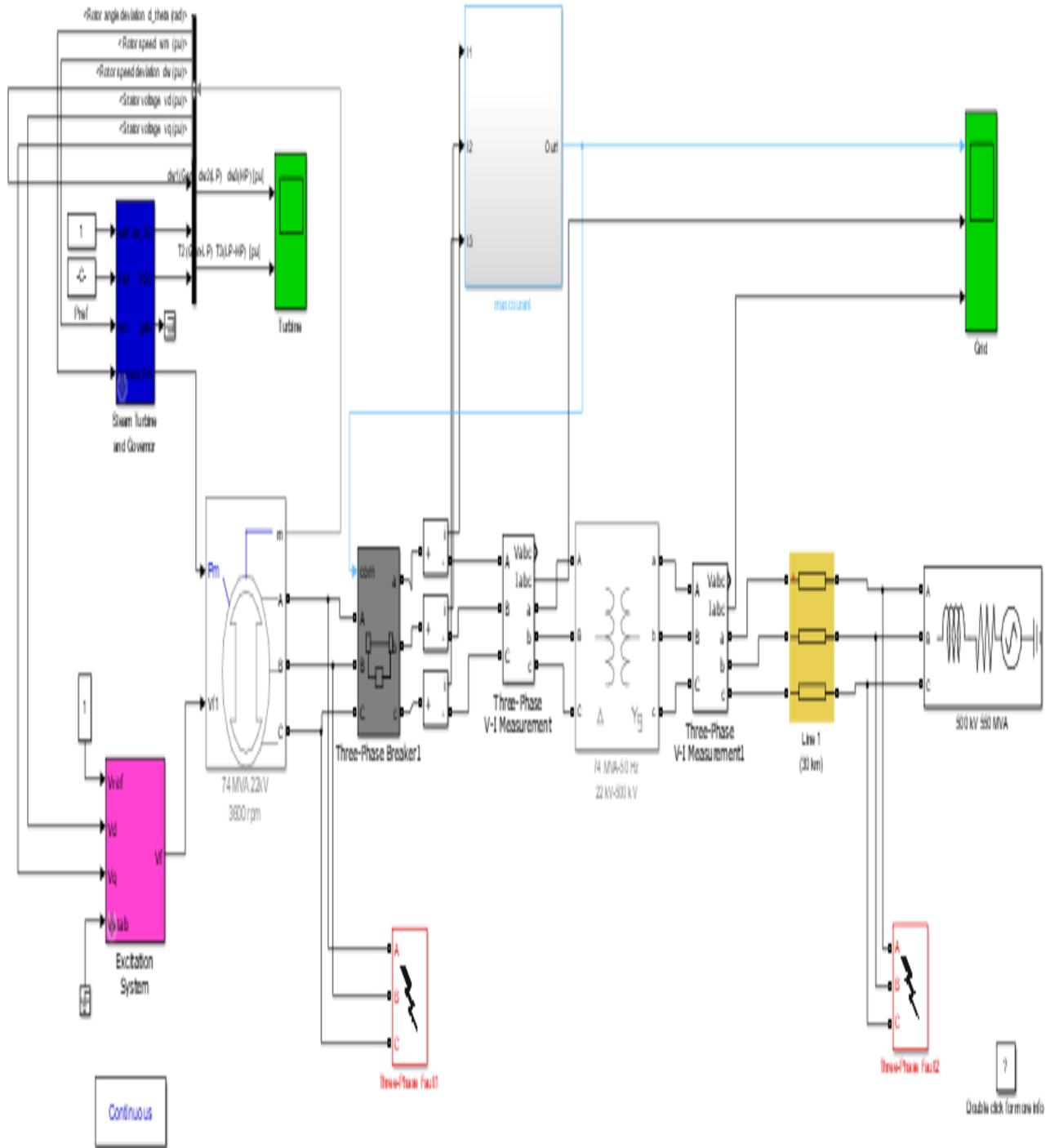


Figure 4.13 Emplacement de relais de max de courant dans un central électrique

Pour cette phase de simulation du comportement de relais maximum de courant, en présence d'un court-circuit Triphasé Terre, sera examiné.

Sans défaut.

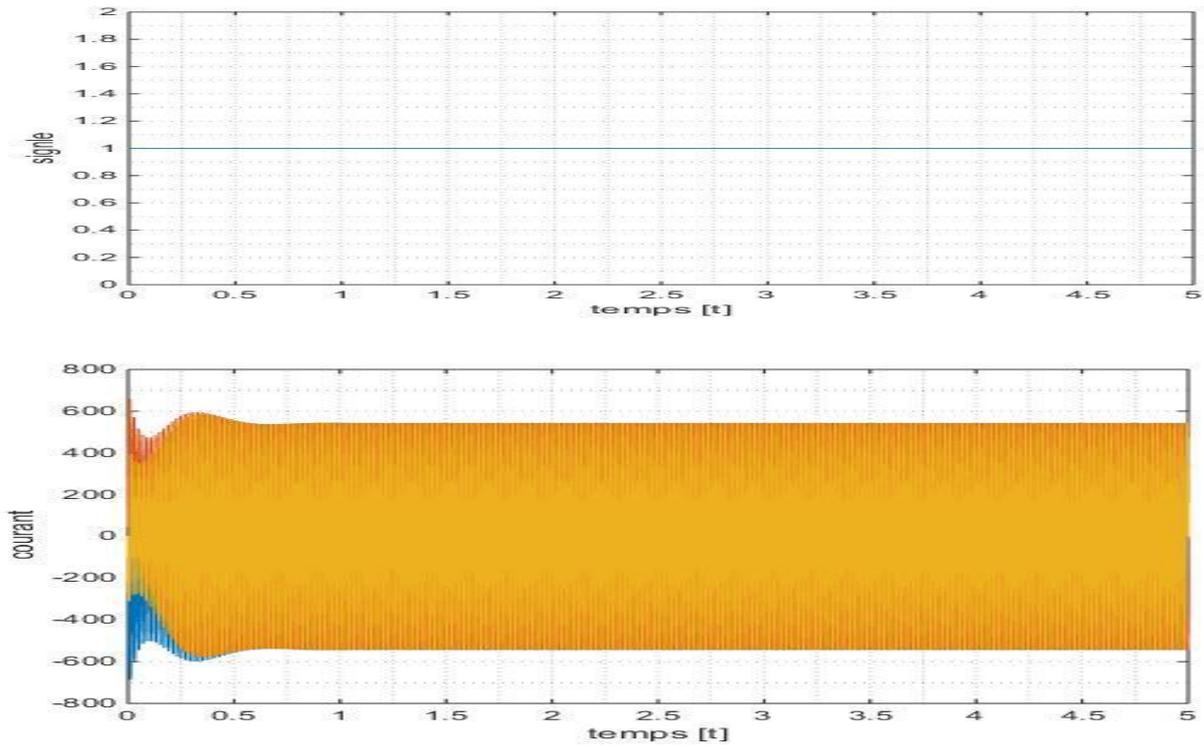


Figure 4.14 Fonctionnement du relais maximum de courant sans défaut.

Avec défaut triphasé après 2s

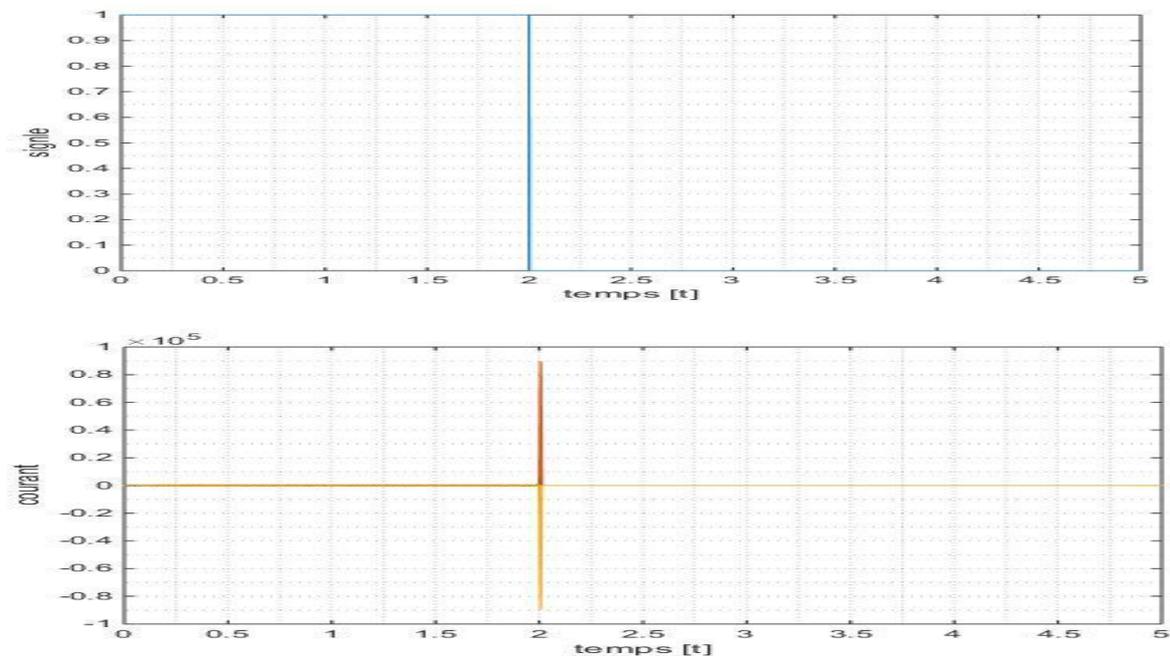


Figure 4.15 Fonctionnement du relais maximum de courant avec défaut.

Les résultats :

Nous constatons un déclenchement de la protection maximum de courant (F51) quand la valeur moyenne du courant de défaut est supérieur au courant de réglage.

2eme essai

Steam Turbine and Governor System - Subsynchronous Resonance

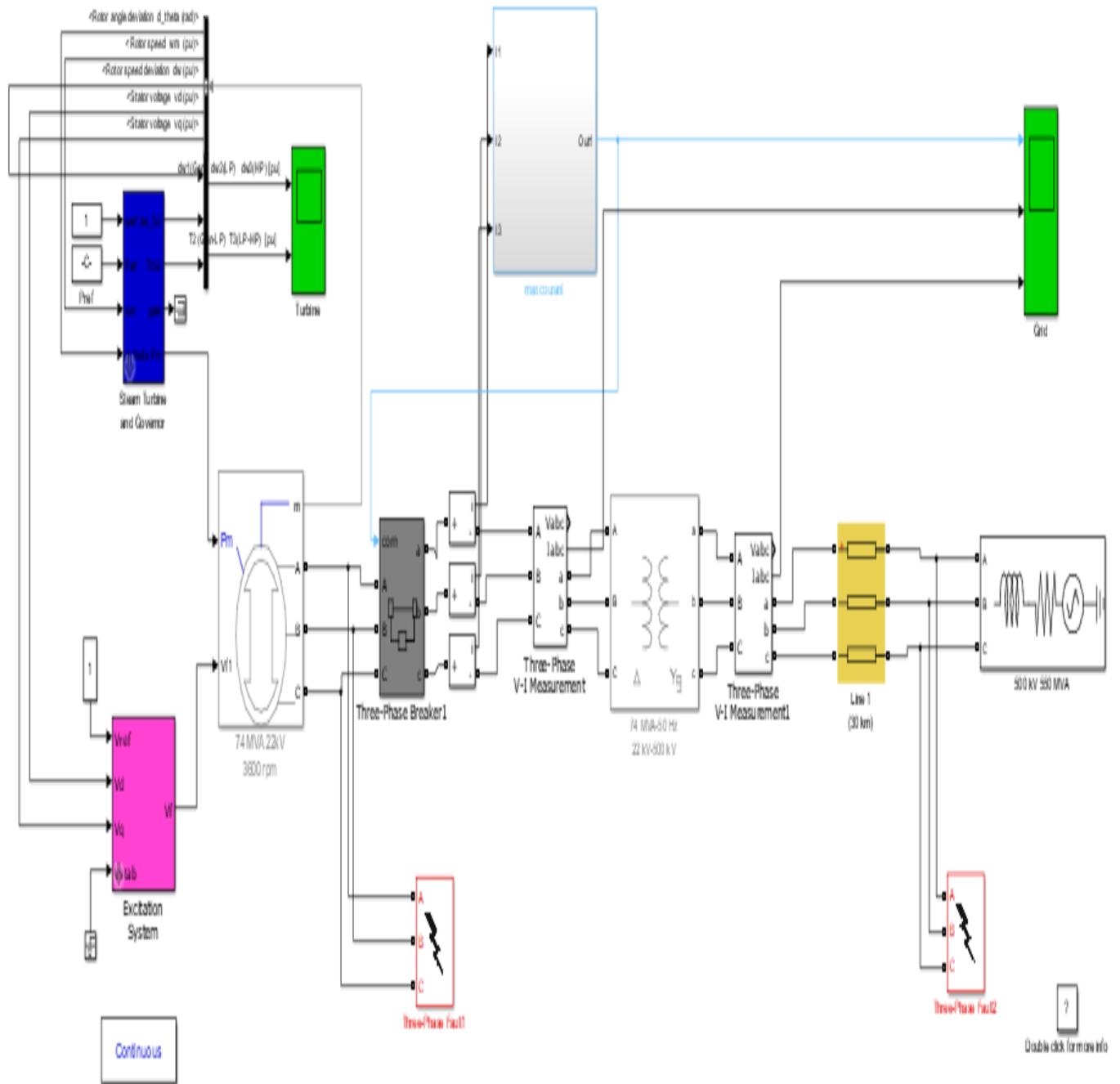


Figure 4.16 Emplacement de relais de max de courant dans un central électrique

✚ Nous avons fait un Défaut triphasé terre dans le linge de transport (après la ligne de 30 km)

A) Sans défaut.

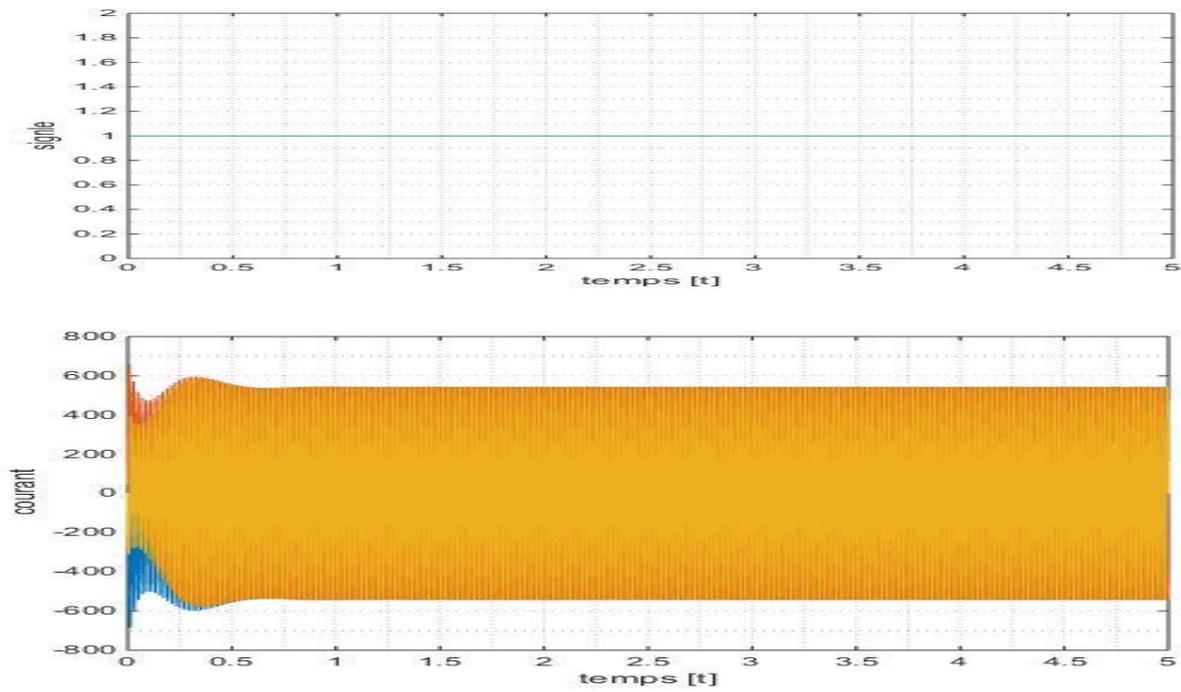


Figure 4.17 Fonctionnement du relais maximum de courant sans défaut

B) Avec défaut.

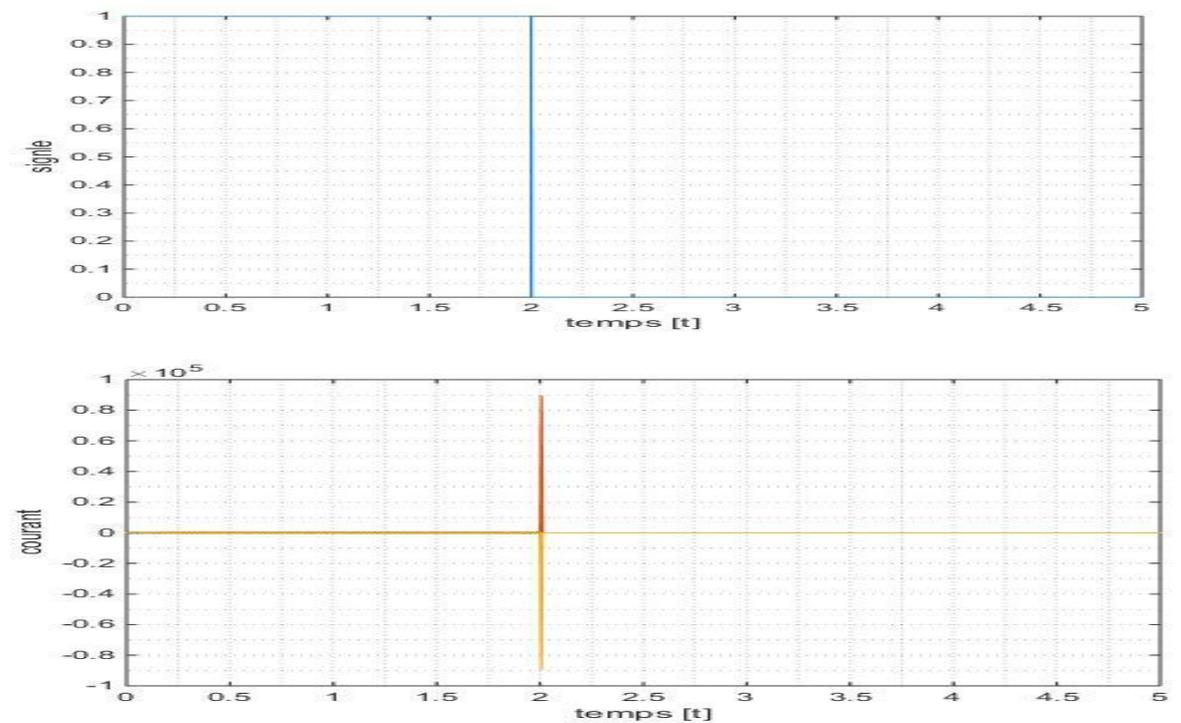


Figure 4.18 Fonctionnement du relais maximum de courant avec défaut.

On a remarqué que le relais maximum de courant est fonctionné hors la zone de notre protection.

Donc on n'aura pas une sélectivité dans ce cas.

La solution est de ajouté un relais directionnel pour assurer l'existence de la sélectivité et fait la protection de notre centrale

Donc La protection directionnelle est un moyen complémentaire aux protections à maximum de courant

5.3.2 Bloc directionnelle :

Ce relais directionnel répond au courant de défaut circulant dans une direction particulière

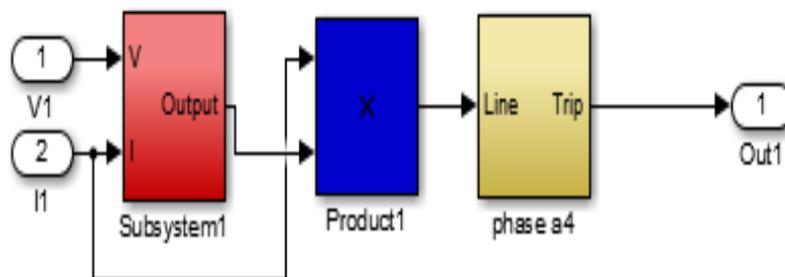


Figure 4.19 Schéma du relais directionnel.

Si on mesure le phasor V_p bus et qu'on calcul l'angle de phase du relais par rapport à la tension du bus, alors nous pouvons utiliser la logique suivante pour obtenir une sélectivité.

Si le défaut est détecté par le relais $V_{pR} = V$, le relais déclenche, si le défaut est détecté et le que le courant conduit $V_{pR} = -V$, le relais ne déclenche pas (principe de discrimination) ce principe est fondée sur la comparaison l'angle des phases entre un ensemble des phasor.

Alor on appelle ces relais des relais directionnels.

5.3.3 Protection de maximum de courant directionnel

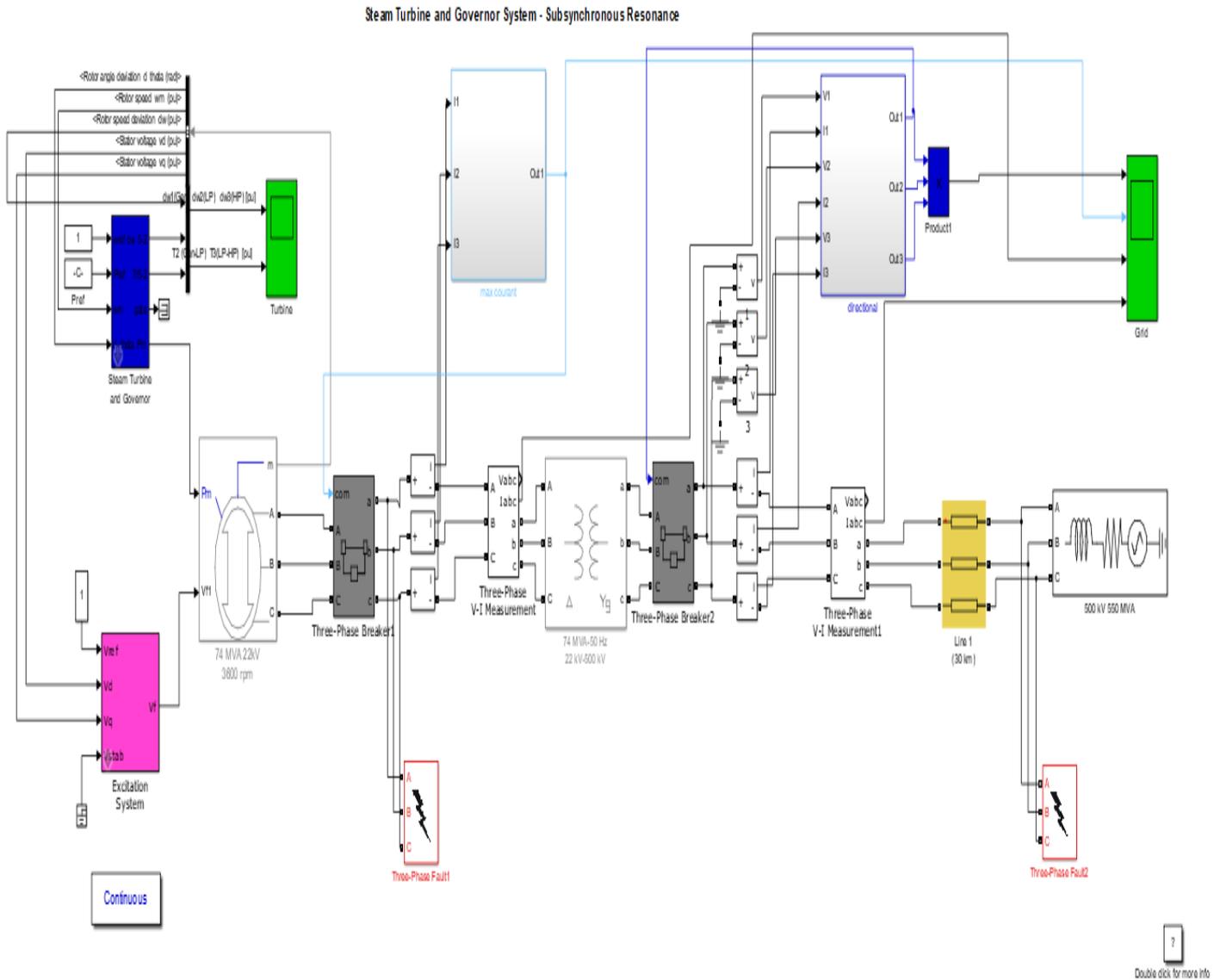
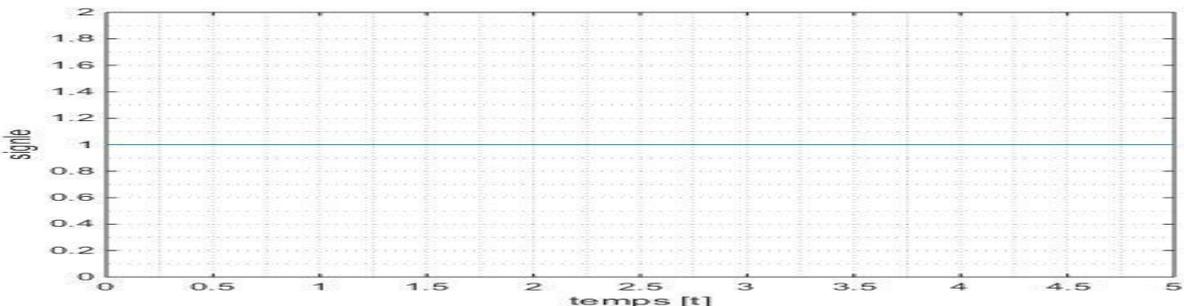


Figure 4.20 Emplacement de relais de max de courant directionnel dans un central électrique

✚ Nous avons fait un défaut triphasé terre après le générateur à l'instant $t=2s$

a) Sans défaut.



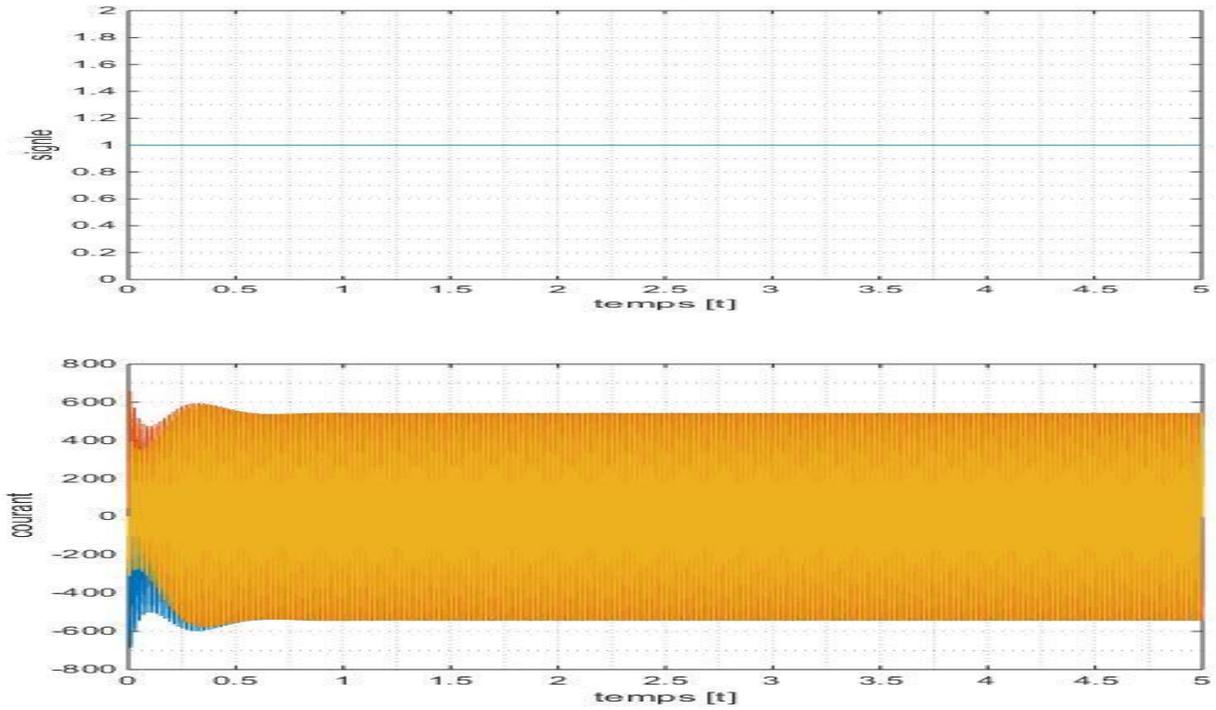
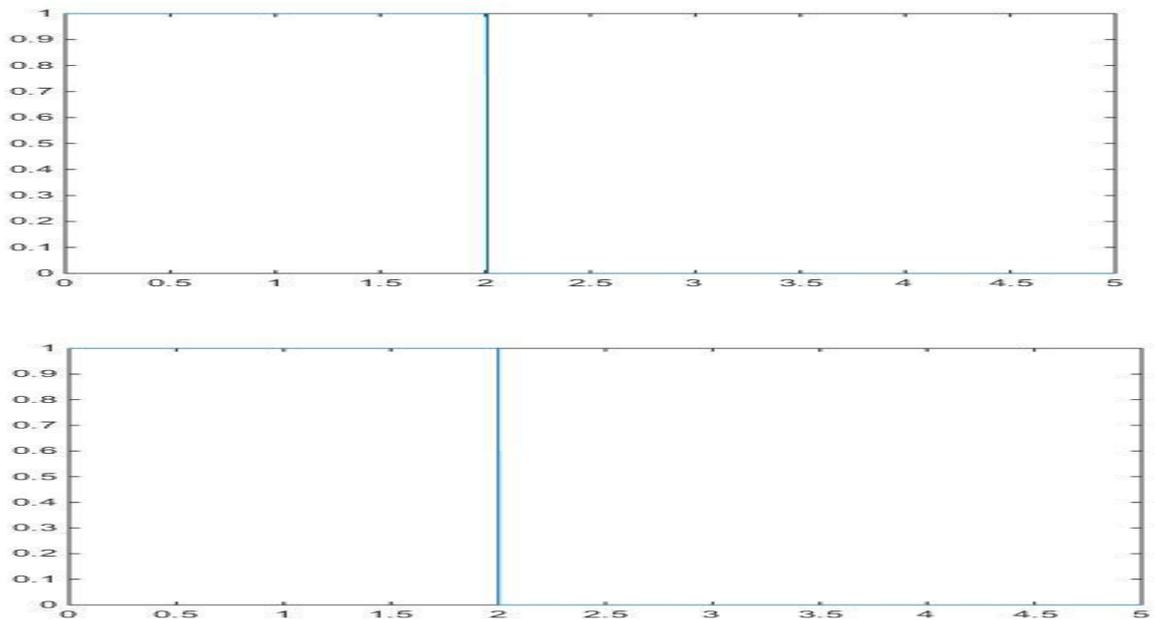


Figure 4.21 Fonctionnement du relais maximum de courant directionnel sans défaut.

b) Avec défaut.



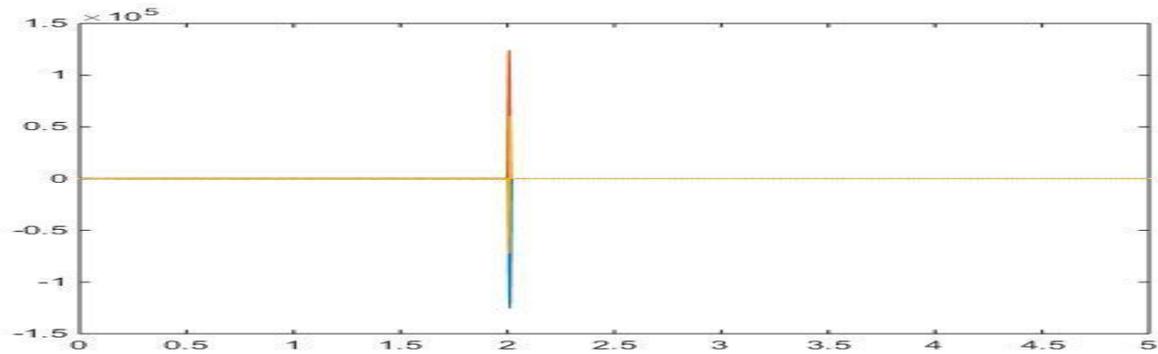


Figure 4.22 Fonctionnement du relais maximum de courant directionnel avec défaut.

5.3.3.1 Interprétation des résultats

La protection de maximum de courant directionnel est activée si les deux conditions suivantes sont réalisées :

- Le courant est supérieur au seuil du réglage avec une temporisation **7s** pour le **premier** seuil et **0s** pour le **deuxième** seuil.
- La phase du courant par rapport à la tension de polarisation est dans une fourchette, appelée « Zone de déclenchement ».

5.3.4 Protection du générateur par un relais de déséquilibre

Une charge déséquilibrée (coupure d'un conducteur, discordance de pôles de disjoncteur d'un réseau déséquilibré par charges monophasées, défaut dissymétrique monophasé ou biphasé) provoque un courant inverse.

Ce courant inverse produit un champ statorique tournant dans le sens contraire du rotor à sa même vitesse angulaire. Il induit aussi dans le rotor un courant à double fréquence dont son chemin préférentiel est l'amortisseur. Cependant, il y a un risque d'échauffement pour les amortisseurs et même pour le rotor. L'équation d'échauffement est de la forme :

$$I_2^2 * t = K$$

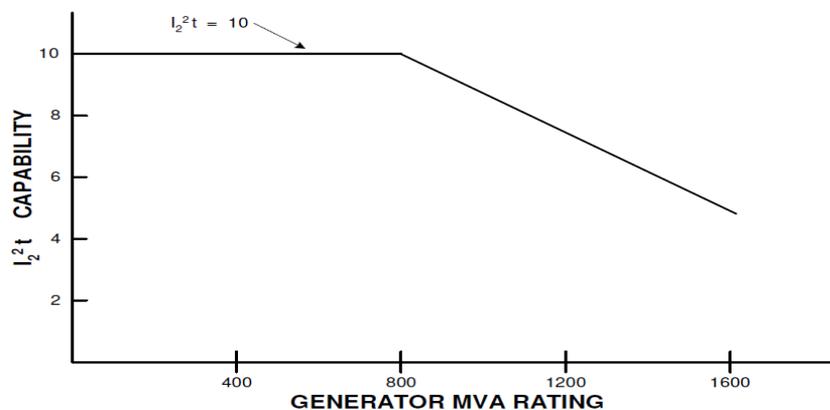


Figure 4.23 Tenue du générateur au déséquilibre à temps continu ou court.

La protection comporte un relais qui répond au courant inverse (en régime équilibré : $I_0 = I_a + I_b + I_c = 0$ courant inverse est nul).

Le générateur doit être capable de supporter, sans dégât, les effets du courant continu du déséquilibre correspondant à une séquence négative I_2 , d'où le courant maximal ne doit pas dépasser **105%** sa valeur nominale avec une temporisation **1s**.

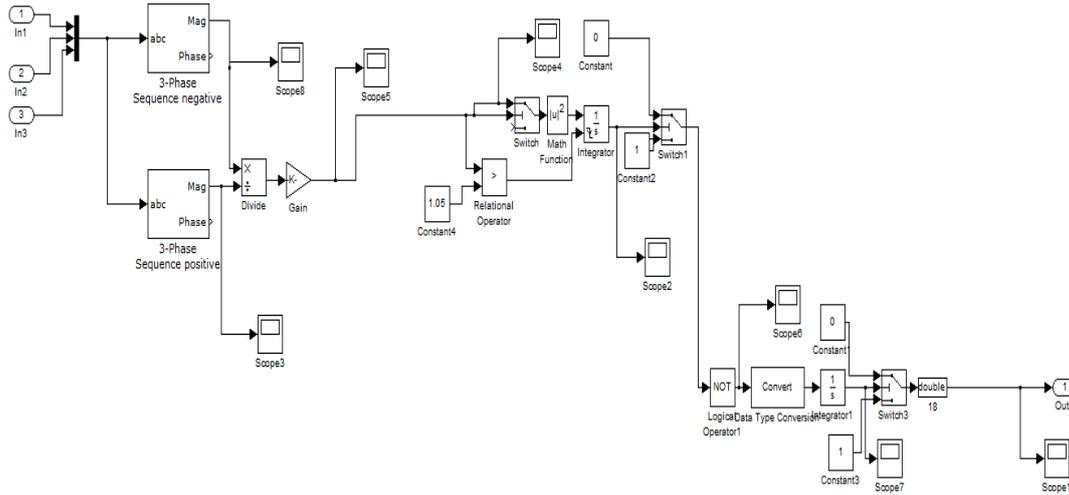


Figure 4.24 block D'un relais de déséquilibre

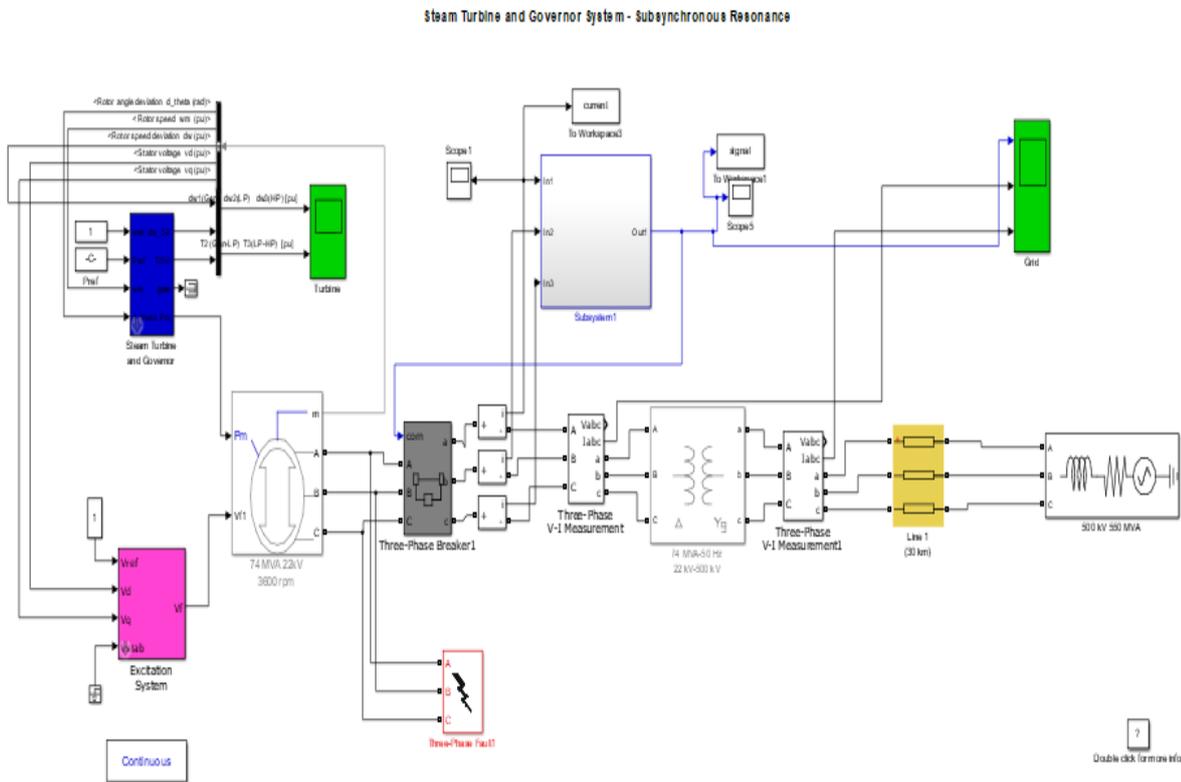
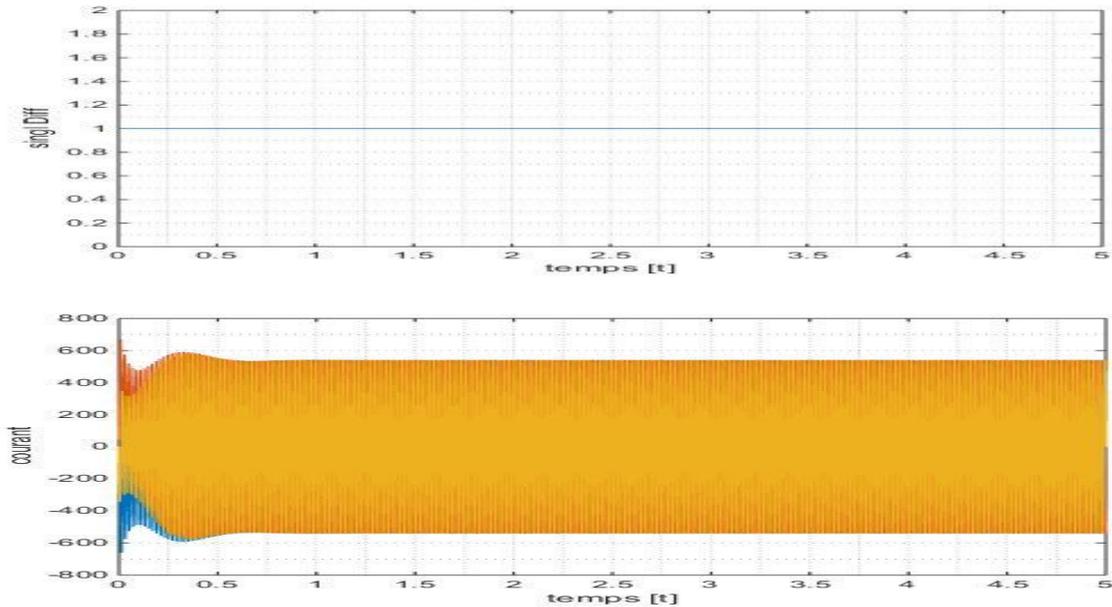


Figure 4.25 Emplacement de relais de déséquilibre dans un central électrique

✚ Nous avons fait un défaut biphasé terre après le générateur à l'instant $t=2s$

5.3.4.1 Résultats et Interprétation



Figure

Figure 4.26 Fonctionnement du relais de déséquilibre sans défaut.

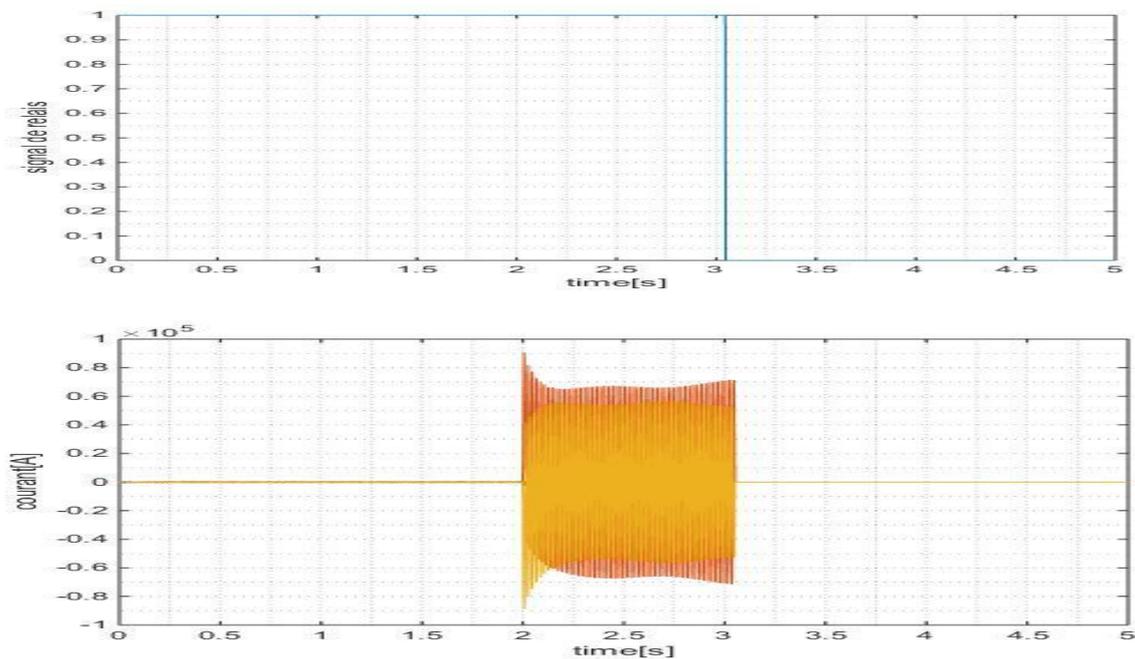


Figure 4.27 Fonctionnement du relais de déséquilibre avec un défaut biphasé terre.

5.3.4.2 Interprétation des résultats

A partir de ces courbes nous avons remarqué qu'il y a une temporisation de **1s** avant que le disjoncteur ouvre.

5.4 Protection du transformateur par un relais différentiel

On a utilisé la protection différentielle de transformateur, Car la sensibilité élevée et le fonctionnement rapide sont parfaitement adaptés pour minimiser les dommages.

La mesure dans le relais différentielle est basée sur les lois de Kirchhoff qui stipulent que la somme géométrique (vecteur) des courants entrant ou sortant d'un nœud doit être égal à 0 à tout moment

Principe de fonctionnement est de comparé les courants entrants et sortants du transformateur Cette protection doit tenir compte des phénomènes liés à son utilisation :

La protection différentielle de transformateur protège contre les courts circuits entre enroulement (sur charge, court-circuit monophasé, biphasé ou triphasé).

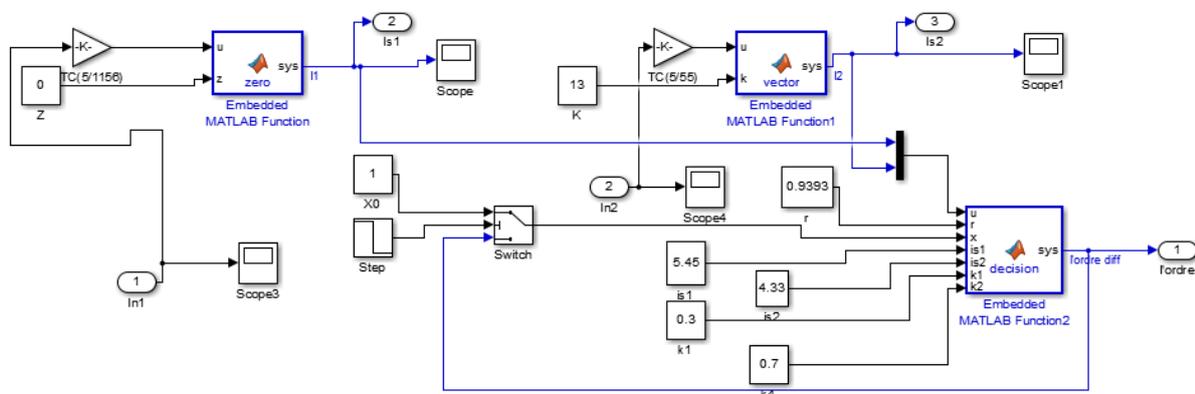


Figure 4.28 Schéma d'un relais différentiel

IV.5.1. Explication le schéma du bloc

Le bloc de la protection différentiel Figure 4.28 est constitué de :

- **Bloc 'ZERO'** : ce bloc est fait pour éliminer la composante homopolaire s'il y'a une prise de terre sur l'enroulement primaire du transformateur.
- **Bloc 'VECTOR'** : ce bloc est fait pour compenser ou éliminer le déphasage du transformateur pour que le lecteur soit exact et prisé.
- **Bloc 'DECISION'** : ce bloc est le responsable pour les calculs la différence entre les Courants entrant et sortant du transformateur et donne l'ordre aux disjoncteurs pour déclencher (cotte primaire et secondaire).

Le calcul des courants Is1, Is2 pour le fonctionnement nominal du transformateur de puissance. Et donner le rapport.

Les courants nominaux :

$$In1 = 545 A$$

$$In2 = 26 A$$

Les courants de relais :

$$I_{s1} = \frac{In1 * 5}{630} = 4.3254 A$$

$$I_{s1} = 4.3254 A$$

$$I_{s2} = \frac{In2 * 5}{32} = 4.0625 A$$

$$I_{s2} = 4.0625 A$$

$$r = \frac{I_{s2}}{I_{s1}} = \frac{4.0625}{4.3254} = 0.9392$$

$$r = 0.9392$$

$K1 = 30\% * I_e$: C'est le 1^{er} seuil de courant, protection contre les surcharges.

$K2 = 70\% * I_e$: C'est le 2^{ème} seuil de courant, protection contre les courants circuits front.

1^{er} essai :

- **Défaut A l'Intérieur de la zone de la protection différentielle :**

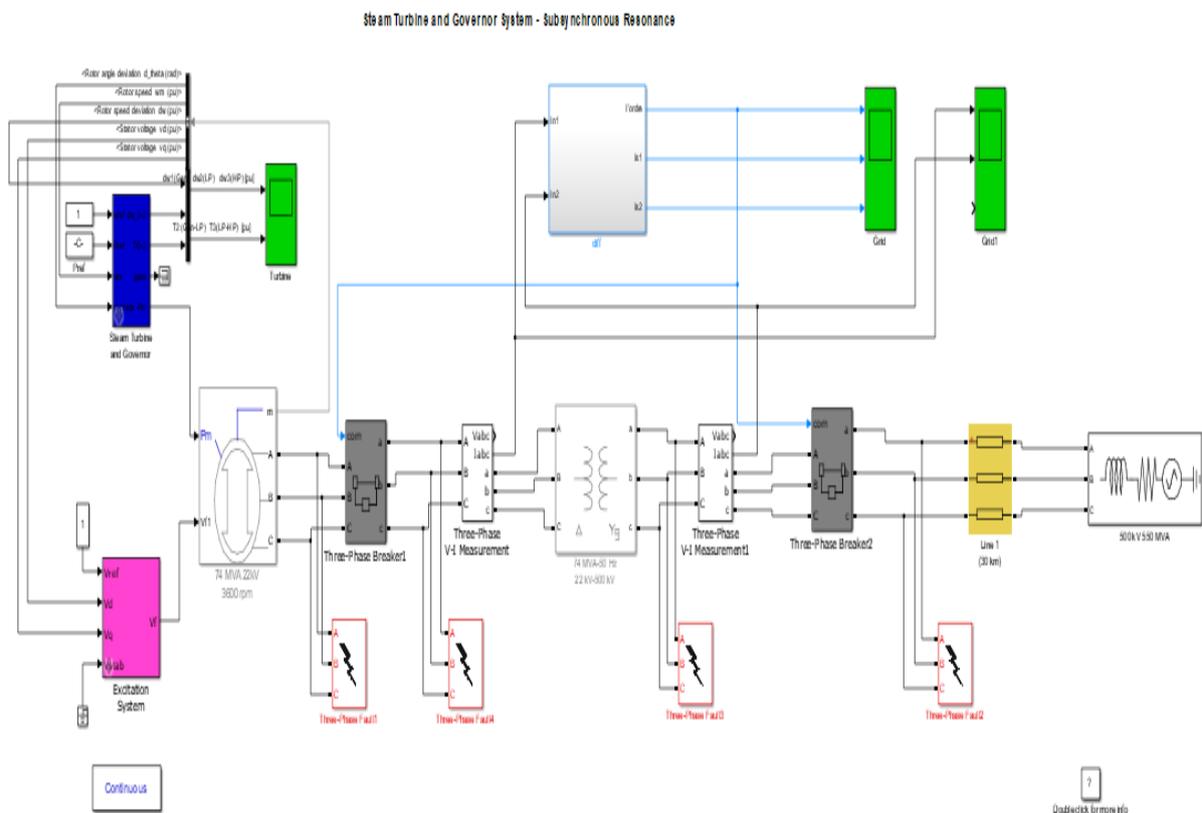


Figure 4.29 Emplacement de relais différentiel dans un central électrique

✚ Nous avons fait un défaut biphasé terre à l'intérieur de la zone de la protection différentielle.

À $t=2s$

5.4.1 Résultat et Interprétation

A) Sans le défaut.

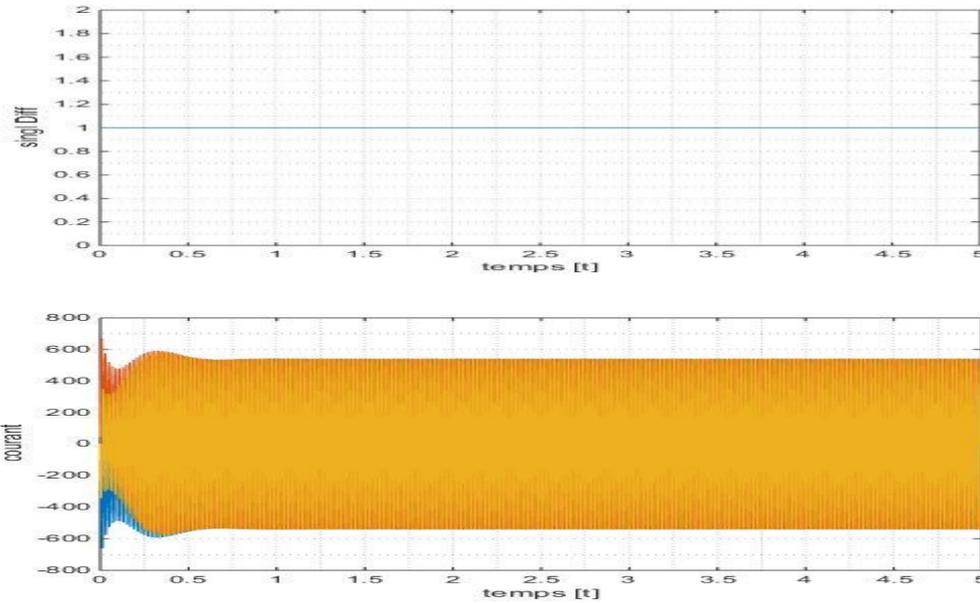


Figure 4.30 Fonctionnement du relais différentiel sans défaut.

Avec le défaut.

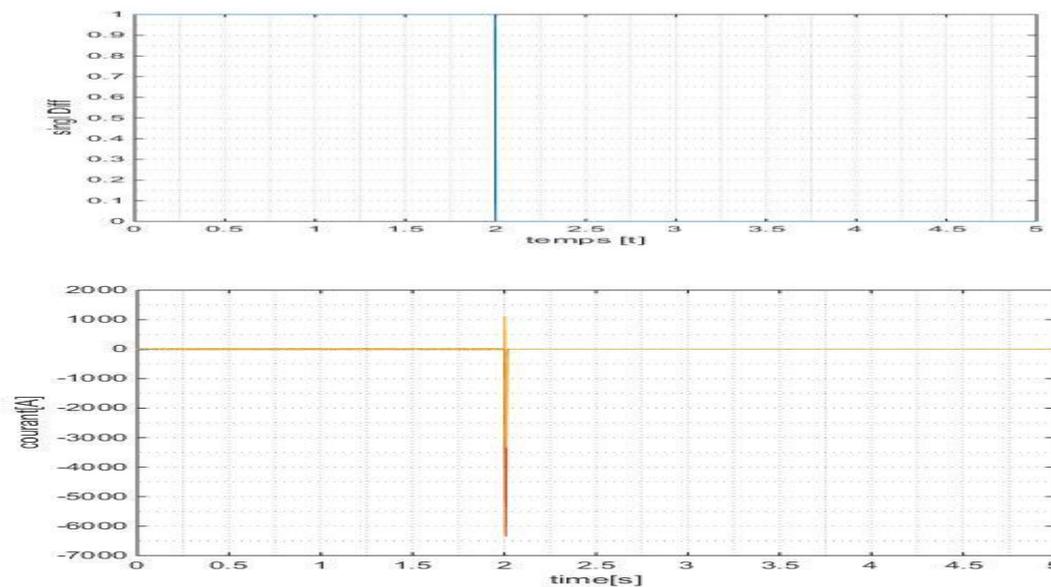


Figure 4.31 Variation de courant dans la sortie transformateur

À partir de ces courbes, nous avons remarquées que le disjoncteur est déclenché (les courants primaire est secondaire du transformateur son nulle) avec une temporisation nulle (Instantané).

- ✚ Nous avons fait un défaut biphasé terre à l'extérieur de la zone de la protection différentielle
À $t=2s$:

5.4.2 Résultat et Interprétation

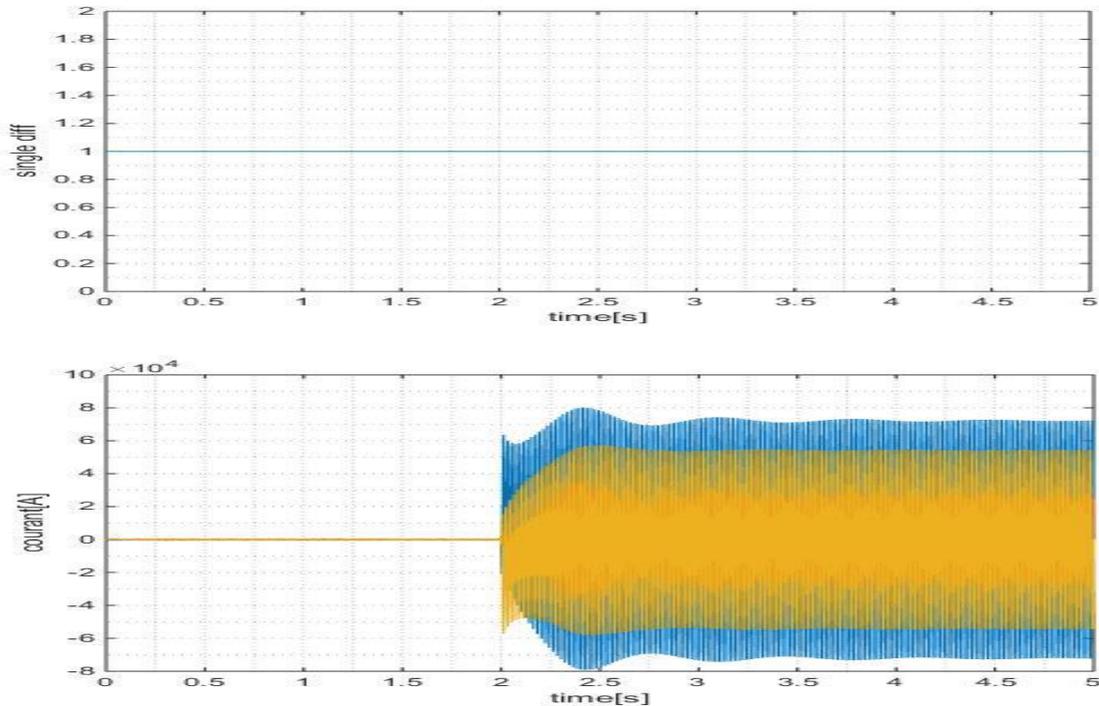


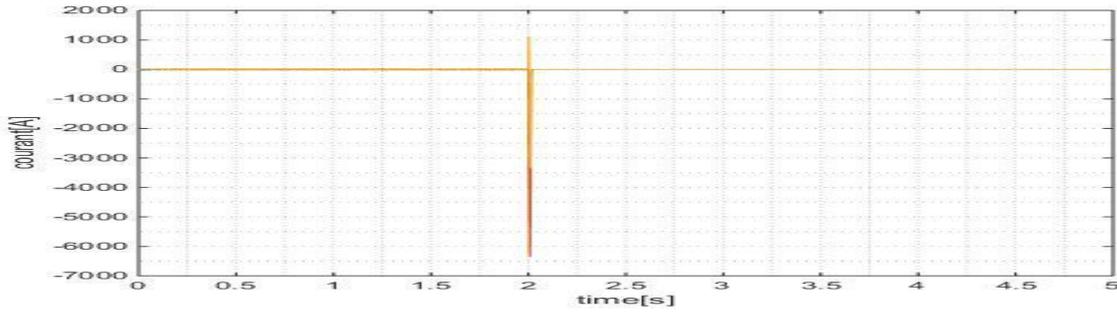
Figure 4.32 Fonctionnement du relais différentiel après un défaut biphasé terre à l'extérieur de la zone de la protection.

Il y'a une augmentation du courant, et le relais n'a pas donné l'ordre du déclenchement au disjoncteur.

5.5 Protection dans une centrale électrique avec des relais maximum de courant et directionnelle et différentielle

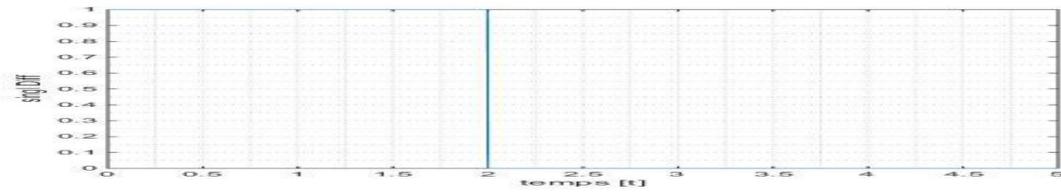
Le relais différentielle est fonctionné instantanément quand il y'a une différence du courant, dans une zone précisé (zone de transformateurs), On peut dire que La protection différentielle est sensible dans une zone précise.

Pour compléter la protection dans notre centrale, on place un relais maximum de courant directionnel pour éliminer le défaut situé à l'extérieur de la zone protégée du transformateur.

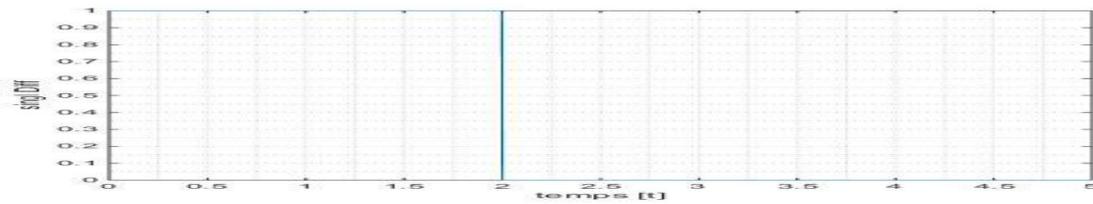


Variation de courant

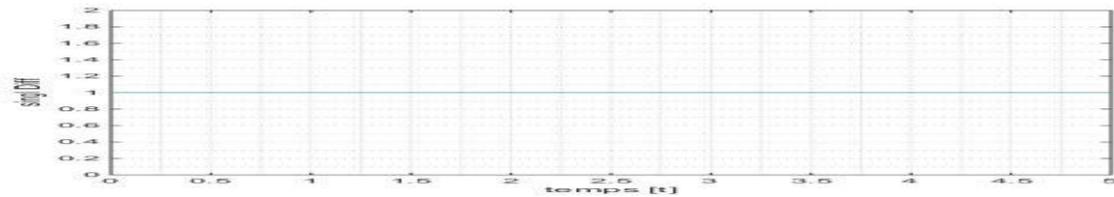
✚ Nous avons fait un défaut triphasé terre à l'extérieur de la zone du différentiel À $t=2s$:



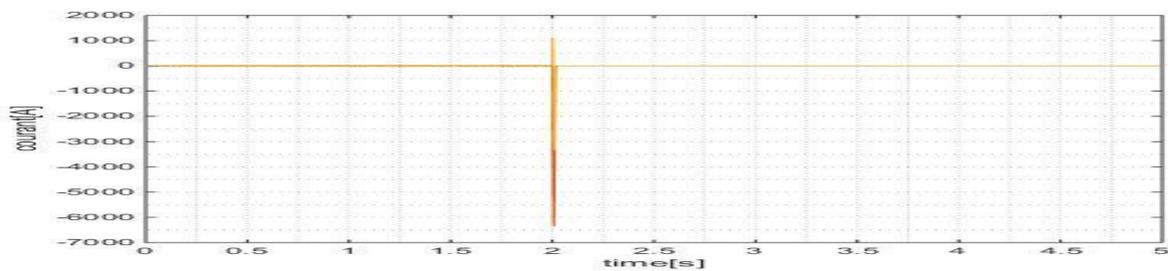
Relais maximum de courant



Relais directionnel.



Relais différentielle



Variation de courant

Figure 4.34 Fonctionnement des 3 relais différentiel, Maximum de Courant, Directionnel.

Interprétation des résultats

A partir de ces graphes ont conclu que la protection différentielle et sensible sur la zone protégée et pour complète cette protection on a besoin de places un maximum de courant directionnel avec deux seuils **170%** et **218%** avec un retard de temps 0.5s

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une modélisation à l'aide de programme Matlab Simulink d'une centrale électrique et des simulations de quelque défaut dans cette centrale.

Avec une simulation de plusieurs relais électriques, maximum de courant directionnel à deux seuils et relais déséquilibre pour le générateur, et un relais différentiel pour le transformateur.

Les simulations réalisées nous ont permis de vérifier le déclenchement correcte des protections dans le seuil indiqué. Ces simulations peuvent être utilisées pour le dimensionnement et le choix des protections en faisant des tests virtuels avant de choisir les protections adéquates

Conclusion Générale

6 Conclusion Générale

Les différents centrale électrique de réseau et leurs composants nécessaires (comme générateur et transformateur) est très sensible ce qui nécessite une protection contre les défauts type de défaut. Cette protection est très importante dans les centrales électrique et considérée comme une tâche indispensable afin d'assurer une bonne stabilité et une continuité de service adéquate.

Le but de notre travail était d'étudier les systèmes de protection des centrales électriques afin de répondre aux différents défauts pouvant toucher ces dernières

Il nous a paru nécessaire de donner assez d'informations sur les différents éléments qui composent un système de protection. Ces éléments sont très importants, très sensibles et doivent être bien choisis et bien réglé, ces réglages doivent s'intégrer dans un plan de réglage des réseaux en respectant la propriété de la protection sélectivité (chronométrique et ampérométrique) la sensibilité, fiabilité et la fidélité des protections afin d'assurer une sécurité des personnes contre électrisation et des biens contre les effets des tractif des courants forant sue les générateurs et les transformateurs.

Le système de protection est composé par des relais numérique qui surveillent les composants nécessaires à protéger dans les centrales électriques.

Le relais numérique est un outil moderne à plusieurs fonctions, son rôle est de détecter le signal de défaut et étudie ce signal et envoie un signal de déclenchement vers la bobine de déclenchement du disjoncteur

Notre travail est consisté à simulation on utilisant programme MATLAB pour faire des essais de protection active aux relais électrique : maximum de courant directionnel, déséquilibre pour le Générateur et un relais différentiel au transformateur

7 Bibliographie

- [1] U.S. Energy Information Administration, International Energy Statistics, as of March 24, 2021
- [2] site internet www.totalenergies.fr
- [3] site internet : www.lolivrescolaire.fr/page/
- [4] Global Wind Report 2019, GWEC, mars 2020.
- [5] www.researchgate.net
- [6] THEODORE WILDI, Gilbert Sybille. Electrotechnique. 4eme édition. De Boock : 2005
- [7] BELKESSAM REDHA Mémoire de projet de fin d'étude en Réseau Électrique« Mise en conformité du système de communication et de protection de la centrale d'el HAMMA», 2016/2017
- [8] Laboratoire e-learning « PROTECTIONS ÉLECTRIQUES DES TRANSFORMATEURS HT » 29 Juin 2015 Version 1.
- [9] Site internet <https://illustrationprize.com/fr>
- [10] Jean Sanchez. " Aide au diagnostic de défauts des transformateurs de puissance » Université de Grenoble, 2011.
- [11] A. TOLBA, « Coordination orientée objet de a protection des réseaux électriques », Thèse de Doctorat, Département électrotechnique, Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 2010
- [12] W.D Stevenson, "Elements of Power System Analysis", 4th éd., McGraw-Hill Book.
- [13] A M.LEGRAND, L. AZNI, «La protection des centrales électriques », MicroEner, Février 2005
- [14] J. SEYMOUR, T. HORSELY, « Les Sept types de problèmes d'alimentation », Livre Blanc 18 révision 1, by Schneider Electric, 2010.
- [15] By Ex-BGDA- [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)
- [16] M. Aguet, «Sûreté des grandes réseaux électriques », Forum ECITE, GENEVE, 2005.
- [17] https://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_de_court-circuit
- [18] cahiers techniques Merlin Gerin.
- [19] Guide des protections des réseaux industriels CHRISTOPHE PREVE SCHNEIDER Electric 1996
- [20] C. A.T. GUEYE, « Etude de la sélectivité des protections au niveau de la centrale Thermique EE des biches (SENELEC) », Thèse d'ingénieur, Ecole polytechnique, Thiès, Sénégal 1991.
- [21] C. RUSSELL MASON, « The Art and Science of Protective Relay >>, 1956 - New York
- [22] C. A.T. GUEYE, « Etude de la sélectivité des protections au niveau de a centrale thermique CEE des biches (SENELEC) », Thèse d'ingénieur, Ecole polytechnique, Thèse, Sénégal 1991.
- [23] Protection des réseaux électriques 2003 Guide de Schneider.
- [24] : Thèse d'ingénieur, école polytechnique, <<Etude de la sélectivité des protections au niveau de la centrale thermique >>. Présenté par C. A. T. GUEYE. Thiès, Sénégal, 1991.
- [25] : KHEMISSA OUSSAMA " Étude protections des alternateurs de la Centrale thermique de Bâb" Ezzouar Réalisé et présenté par : KHEMISSA OUSSAMA BENSEMMANE ABDERRAHMEN 2020
- [26] Les Cahiers Techniques de MICROENER : Cahier Technique N°10 Protection des générateurs électriques
- [27] La norme CEI 34-1 (1966) précise les «Conditions de fonctionnement déséquilibrées pour les machines synchrones».

- [28] M. ZELLAGUI, « Étude Des Protections Des Réseaux Electriques MT (30 & 10 kV) ». Mémoire de magister à Département d'Électrotechnique, Université MENTOURI Constantine, Algérie, 2010
- [29] : M REKKAB ABDEL KADER et MME AMRANE HOUMAINA « protection électrique des transformateur HT Formateur Concepteur Copyrights O IFEG/ ETB/DPF »/Laboratoire Courant Faible Développement : Laboratoire e-learning 29 Juin 2015 Version 1
- [30] BENDENIDINA ATTIA « Modélisation et simulation d'un relais numérique à plusieurs fonctions sous MATLAB-SIMULINK pour la protection des lignes de transport contre les défauts de court-circuit » Université des Sciences et de Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF 2015
- [31] : « Electric al Network Protection, Protection Guide »SHNIDER ELECRIQUE, FRANCE 2008
- [32] Protection des réseaux électriques 2003 Guide de Schneider
- [33] T. Davies c Eng, FIEE « Protection of Industrial Power System » Second edition 1996
- [34] Programme Pédagogique offre de formation LM.D. Licence 6me semestre Domaine Sciences et Technologies Filière Electrotechnique Spécialité Electrotechnique. Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.
- [35] M. Aguet, «Sûreté des grandes réseaux électriques », Forum Ecrit Genève, 2005.
- [36] S. THEOLEYRE, « Les Techniques de Coupure en MT », Cahier technique N°193, Schneider Electric.
- [37] M. LAMI, « Protection et Surveillance des Réseaux de Transport d'Énergie Électrique », Volume 2, Electricité de France (EDF), février 2003.
- [38] G.F. MOORE, «Évolution des disjoncteurs des réseaux de transport» Revue Générale de L'Électricité, septembre 1971
- [39] S.Y. LEUNG, A. SNIDER & S. M. WONG, « SF6 Generator Circuit Breaker Modeling » International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on 19-23 juin 2005.
- [40] « Protection et surveillance des réseaux de transport d'énergie électrique » - Volume 1
- [41] Dr.Mohamed Boudour Karim Guenifi « détection, classification et localisation des défauts dans les réseaux par les techniques intelligentes » Mémoire D'Ingénieur2006
- [42] Cahier Technique Merlin Gerin n° 127
- [43] Mr. ELAKERMI HADJ AHMED « localisation des defauts dans les lignes de transport en utilisant les valeurs instantanées des signaux » mémoire magister Université des Mohamed Boudiaf année 2008
- [44] Fan Wang, "Power Quality Disturbances and Protective Relays" (PhD). Chalmers University of Technology, Sweden. March 2001.
- [45] «Système numérique de protection d'alternateur DGP », GE, Canada, 2011.
- [46] « Le Système Numérique de Protection d'Alternateurs Manuel d'utilisation », GE MUKILIN, Canada, 1999.
- [47] LA NORME DE CEI 60044 « transformateurs de courant Commission électrotechnique internationale » 2003

Annexe

Alternateurs

Tension nominale $U_n = 22 \text{ kV}$

Puissance nominale $S_n = 74 \text{ MVA}$

Valeur non saturée de réactance subtransitoire directe $X''_d = 20\%$

Valeur non saturée de réactance transitoire directe $X'_d = 25\%$

Valeur non saturée de réactance synchrone directe $X_d = 165\%$

Valeur de résistance statorique $R_s = 0.0045 \text{ pu}$

Valeur de constante de temps subtransitoire directe $T''_d = 0.04 \text{ s}$

Valeur de constante de temps transitoire directe $T'_d = 4.5 \text{ s}$

Transformateurs

Couplage Triangle (MT) / Etoile à la terre (HT)

Tension nominale HT $U_n = 500 \text{ kV}$

Tension nominale MT $U_n = 22 \text{ kV}$

Puissance nominale $S_n = 74 \text{ MVA}$

Réactance $X_{tr} = 50\Omega$

Protection à maximum de courant F50/51 :

$$I_{s1} = \frac{I_{n1} * 5}{630} = 4.3254 \text{ A} \qquad I_{s1} = 4.3254 \text{ A} \qquad 4.0625 \text{ A}$$

1^{er} seuil c'est à 170% I_n avec un retard de temps 7s $I_1 = 4.3254 * 1.75 = 7.573$

2^{eme} seuil c'est à 218% I_n avec un retard de temps 0s $I_2 = 4.3254 * 2.18 = 9.4293$