

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE.**

**UNIVERSITE MOULOD MAMMERI DE TIZI - OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE**

DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE



MEMOIRE

De Fin d'études

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Professionnel en Electrotechnique Industrielle

THEME

*Etude des protections de
réseau électrique THT à
SONELGAZ*

Proposé par:

**Mr. MAHTEB .R
(SONELGAZ)**

Dirigé par :

**Mr. BESSAI.H
Mr. MAHTEB .R**

Présenté par :

**M^{elle} MADANI NORA
M^{elle} MENAI DAHBIA**

Promotion 2012

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M^r : BESSAI.H pour sa disponibilité lors de nos différentes sollicitations et ses précieux conseils pour l'élaboration de ce projet. C'est un honneur pour nous d'avoir travaillé avec lui.

Nous remercions également notre Co-promoteur M^r : MAHTEB.R, qui travaille à SONELGAZ Gué de Constantine Alger pour sa contribution et son soutien.

Sans oublier Mr. ABASSE et surtout Mr : DAHMANI SAID et ceux qui nous ont aidé de près ou de loin pour mener notre travail.

Nous exprimons, aussi nos vifs remerciements et notre gratitude à l'ensemble des membres de jury qui nous feront l'honneur d'examiner ce travail.

Merci à tous

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- Mes très chers parents : Mohamed, Dahbia.*
- Mes très chers frères : Slimane, Kaci, Mahdi, Farid, Karim.*
- Mes très chères sœurs : Ouardia, Arbiha, Faroudja, Farida.*
- Mes très chères belles sœurs : Chahra, Monika.*
- Mon cher beau frère : Hamid et leur fils Said.*
- Mon futur marie : Rahim*
- Mes cousins et cousines :*
- Mes oncles, tantes sans oublier Abdesselam.*
- Mes copines de chambre : Zahia, Lamia, Miassa, Djamila, Assia, Hayet, Lynda, Thanina, Taous.*
- Mes amis (es) : Lila, Drifa, Fatma, Lynda, Madiha, Djamila, Lyes, Nadia, Larvi, Dahbia, Kahina et toute la section ETH (LMD).*
- Toute la famille : Madani et Kridi, sans oublier la famille Salah (Lila, Fadhila, Nadia, Hassin et sa mère Tassadite)*
- Tous ceux qui me sont chers.*

NORA.

DEDICACES

A ma chère maman *Djedjiga* et mon cher papa *Belaid* que j'adore pour leur soutien et leur dévouement tout au long de mes études.

A ma chère adorable *grand-mère*.

A mes chers frères : *Youcef, Rachid* et *Said*.

Et à ma chère adorable sœur: *Nora*

A mon cher *Rayane*

A tous mes autres proches

Et a tous mes amis, surtout mes meilleurs amis(es)
Hassina, Hanane, Sofiane, Said, Samira, Nora, Kahina, Chabane, Mustapha, Samia.

Et à toute la section Master professionnel.

Dahbia

SOMMAIRE

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur les réseaux électrique

I.2 Structure générale des réseaux électrique	02
I.2.1 Réseaux d'interconnexions	02
I.2.2 Réseaux de transports	03
I.2.3 Réseaux de répartition.....	03
I.2.4 Réseaux de distributions	03
I.2.5 Réseaux Abonnés ou Domestiques	03
I.3 Structure topologique du réseau électrique.....	03
I.3.1 Les critères de choix d'une topologie	03
I.3.2 Différents structures topologiques des réseaux électriques	04
I.3.2.1 Réseau maillé	04
I.3.2.2 Réseau radial	04
I.3.2.3 Réseau bouclé	04
I.3.2.4 Alimentation en antenne ou Piqûre.....	05
I.3.2.5 Alimentation en coupure d'artère	05
I.4 Lignes électrique.....	05
I.4.1 Câbles souterrains	06

I.4.2 Lignes aériennes.....	06
I.4.2.1 Spécification des lignes.....	06
I.4.2.2 Types des lignes	06
I.4.2.3 Propriétés des lignes de transport	07
I.5 Poste électrique (400kV).....	07
I.5.1 Fonction d'un poste.....	07
I.5.2 Différents types de poste électrique	08
I.5.3 Composants électriques dans un poste.....	09
I.5.3.1 Partie extérieure du Poste.....	11
I.5.3.1.a: Les parafoudres	12
I.5.3.1.b Transformateur de puissance	13
I.5.3.1.c Disjoncteurs.....	16
I.5.3.1d : Sectionneur	17
A- Sectionneurs d'aiguillage(ou sectionneurs barre)	17
B-Sectionneurs de ligne	18
C- Sectionneurs de terre	19
I.5.3.1.e : Transformateur de mesure.....	19
A-Transformateur de tension	19
B-Transformateur de courant	19
I.5.3.1.f : Circuits bouchons	20
I.5.3.1.g Condensateurs de couplage.....	20
I.5.3.1.h : Jeux de barres.....	21
A-Couplage de barres.....	22
B-Tronçonnement ou sectionnement de barres	23
C-Contrôle de barres	23
I.5.3.1.i : Départ Ligne Aérienne.....	23
I.5.3.2 Partie intérieure du Poste.....	24

➤ Salle de relayage.....	24
➤ Salle de commande.....	24
➤ Local atelier.....	24
➤ Salle des services auxiliaires	24
A-Services auxiliaires à courant alternatif	25
B-Services auxiliaires à courant continu	25
➤ Salle des batteries	25
➤ Salle de Téléconduite HF	25
I.6 Réseau de terre	26
I.6.1 Définition d'un réseau de terre	26
I.6.2 Rôles des réseaux de terre.....	26
I.7 Conclusion	27

Chapitre II : Calcul des courants de défauts.

II.1 Introduction	28
II.2 Définition d'un défaut	28
II.3 Les origines des défauts.....	28
II.3.1 Origine externe	28
II.3.2 Origine interne	28
II.4 Différents types des défauts.....	29
II.4.1 Surintensité	29
II.4.2 Surtensions.....	29
a-Surtension d'origine externe	30
b-Surtension d'origine interne.....	30
II.5 Caractère des défauts	30
II.6 Conséquences des défauts.....	30
II.7 Utilité du calcul de courant de court-circuit	32
II.7.1 Court-circuit.....	32
II.7.2 Courant de court-circuit.....	32

II.8 Utilisation des composantes symétriques pour le calcul	33
II.8.1 Principe de décomposition d'un système sinusoïdale	33
II.8.2 Principe de l'indépendance des composantes.....	34
II.9 Méthodes de calcul d'Icc	34
II.10 Calcul des défauts	35
II.10.1 Défaut monophasé	35
II.10.2 Défaut biphasé	37
II.10.3 Défaut biphasé-terre	38
II.10.4 Défaut triphasé.....	40
II.11 Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de court-circuit	41
II.11.1 Définition.....	41
II.11.2 Réactance des éléments du réseau	42
II.11.2.1 Impédance ramené à un seul niveau de tension U_x	42
II.11.2.2 Réactance réduites des éléments constituant le réseau	42
A-Composantes	43
II.12 Conclusion	44

Chapitre III : Protections THT

III.1 Introduction	45
III.2 Définition	45
III.3 Rôle d'un système de protection	45
III.3.1 Fonction.....	45
III.3.2 Propriétés.....	45
III.4 Régime de neutre.....	46
III.4.1 Les différents régimes de neutre	47
III.5 Relais de protection	49
III.5.1 Définition	49
III.5.2 Constitution d'un relais	49

III.6 Autotransformateur	51
III.7 Protection des transformateurs	52
III.7.1 Protections internes	52
III.7.1.1 Protection de BUCHHOLZ	52
III.7.1.1.a Définition	52
III.7.1.1.b fonctionnement.....	53
III.7.1.2 Protection par relais thermique.....	54
III.7.1.2.1 Protection thermométrique de cuve	54
III.7.1.3 Niveaux d'huile du conservateur	54
III.7.1.4 Soupape de sécurité.....	54
III.7.2 Protection externe.....	54
III.7.2.1 Protection différentielle.....	54
III.7.2.2 Protection surcharge thermique (image thermique)	55
III.7.2.3 Protection défaillance disjoncteur	55
III.7.2.4 Protection à maximum de courant et homopolaire	55
III.7.3 Protections de transformateur de service auxiliaire	57
III.7.3.1 Protection interne	57
III.7.3.2 Protection externe.....	57
III.7.3.2.a Protection de masse- cuve	57
III.7.3.3.b Protection homopolaire	58
III.8 Protection des lignes aériennes et câbles souterrains	59
III.9 Protection des jeux de barres.....	61
III.10 Couplage.....	61
III.11 Conclusion.....	61
Conclusion générale	62

Introduction générale

Introduction générale

Dans notre quotidien, l'énergie électrique constitue un élément vital pour la production des biens et des services.

La production de cette énergie électrique se fait à l'aide des centrales (à gaz, thermique, hydraulique, nucléaire et éolienne) qui sont interconnectées dans un réseau électrique appelé poste d'interconnexion et de transformation, celui-ci assure le transport et la livraison de l'énergie électrique jusqu'à la distribution de la consommation dans les meilleures conditions de qualité de service et de coût.

Les réseaux électriques en général sont affectés par des perturbations (surtensions, surintensités, foudres....) qui peuvent mettre en cause la pérennité du matériel et la qualité du service rendu.

Pour tout cela et afin d'assurer la continuité de cette énergie, la performance des réseaux électriques à travers un plan de protection est capitale.

La SONELGAZ travaille énergiquement pour ce but, qui est la satisfaction de ses clients à travers l'équipement de ses réseaux par un système fiable.

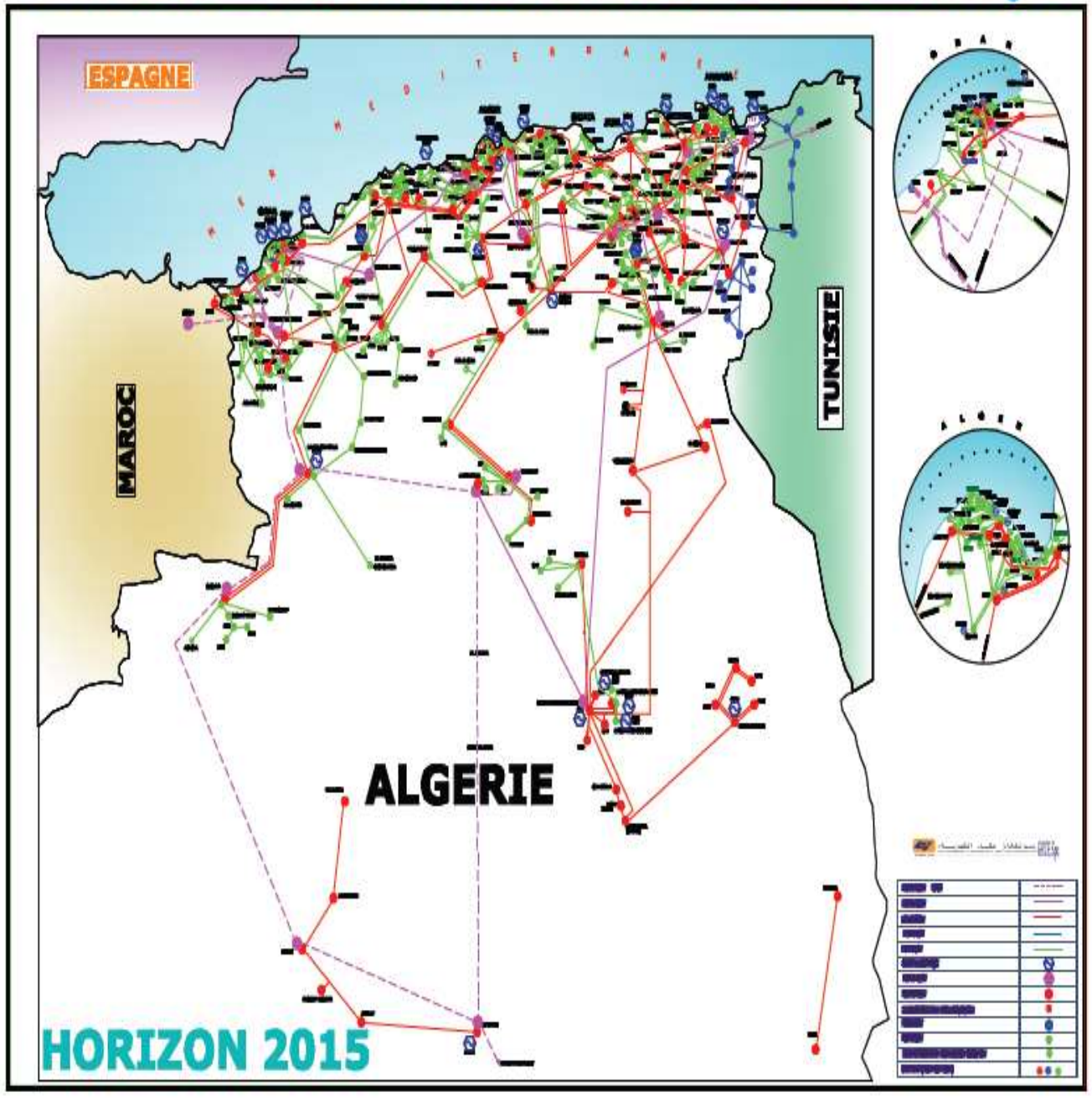
Le projet qui nous a été proposé par la Sonelgaz consiste à l'étude des protections de réseau électrique à très haute tension.

Notre travail est réparti sur trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre traite les généralités sur les réseaux électriques.
- Le deuxième chapitre est réservé à l'étude des différents incidents susceptibles d'affecter un réseau électrique, et l'utilité du calcul des courants de court-circuits.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude des plans de protections.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale.

CARTE DU RESEAU DE TRANSPORT DE L'ENERGIE ELECTRIQUE



Chapitre I

Généralités sur les réseaux électriques

I.1 Introduction

Le rôle des réseaux électriques est d'assurer de façon permanente une liaison entre les centrales de productions et les lieux de consommation.

Sachant que l'électricité n'est pas stockable, on doit produire à chaque instant l'énergie nécessaire à la consommation, en revanche, elle présente l'avantage d'être facile à transporter à de grandes distances par de simples fils conducteurs. Il faut cependant noter que ce transport est assez coûteux dû aux installations de nouveaux équipements pour pallier ainsi les pertes d'énergie dans les lignes. Il faudra donc tenir compte de ces frais dans le prix de vente du kilowattheure à la consommation.

Ces réseaux électriques sont constitués de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension connectées entre elles dans des postes électriques, qui seront gérés par quatre directions différents d'électricités : production, gestionnaire du transport, distribution et l'opérateur système mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité et la fiabilité de cet ensemble.

I.2 Structure générale des réseaux électriques [1]

Pour réaliser la liaison entre les centrales de production d'électricité et les centres de consommation, il est nécessaire d'établir des lignes aériennes et des canalisations souterraines. Les lignes sont raccordées à des nœuds appelés Postes. Ces postes, particulièrement importants, comportent habituellement des transformateurs avec dispositif de contrôle, de réglage et de protection.

Les lignes qui relient les nœuds constituent les branches, ces dernières suivant le cas, disposent d'antenne ou de mailles.

Les compagnies d'électricité divisent leurs réseaux en cinq catégories :

1. Réseaux d'interconnexions (400kV)
2. Réseaux de transports (220kV)
3. Réseaux de répartitions (60kV)
4. Réseaux de distributions (30kV/10kV)
5. Réseaux Abonnés ou Domestiques (380V / 220V)

I.2.1 Réseaux d'interconnexions

Les réseaux d'interconnexions assurent la liaison entre les centres de production, et permettent des échanges entre différentes régions et même avec des pays voisins.

Ces réseaux sont organisés de façon que toutes les lignes à très haute tension soient reliées par des postes de transformations assurant la continuité entre les lignes de différents niveaux de tension.

I.2.2 Réseaux de transports [2]

Ces réseaux de transports lient les grands centres de production aux centres de consommation, cette liaison est assurée par des lignes à très haute tension.

I.2.3 Réseaux de répartition [1]

Ces réseaux comportent des lignes à haute tension (60kV) jouent le rôle d'intermédiaire entre les réseaux de transport et les réseaux de distribution. Ils doivent être en mesure de transiter plusieurs dizaines de (MW) sur quelques dizaines de kilomètres.

I.2.4 Réseaux de distributions

Ils comportent les lignes et les postes de transformations servant à alimenter les clients. Ces réseaux sont composés de deux parties :

- Les lignes moyennes tension alimentées par des postes HT/MT, fournissent de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs, soit aux différents postes MT /BT.
- Des lignes à basse tension qui alimentent les usages, soit en monophasé (220V) entre phase et neutre, soit en triphasé à quatre fils (220V/380V).

I.2.5 Réseaux Abonnés ou Domestiques

C'est les réseaux d'utilisation, nécessitant des puissances relativement élevées. Ils peuvent alors utiliser la BT (380 V/220V) et même la MT (30kV/10kV). Ces réseaux sont généralement intérieurs aux usines

Ils doivent pouvoir alimenter directement un grand nombre d'appareils domestiques ou des petits moteurs dont la puissance individuelle va de quelques dizaines de watts à quelque kW. Ils doivent, d'autre part, être faciles à isoler pour assurer une bonne sécurité à l'utilisateur. C'est pourquoi ces réseaux utilisent la BT.

I.3 Structure topologique du réseau électrique

I.3.1 Les critères de choix d'une topologie

Le choix d'une topologie répond à des objectifs :

- Obtenir un niveau de qualité de service fixé.
- Assurer le résultat économique souhaité.

Mais il doit aussi soumettre à des impératifs :

- Etre en adéquation avec la densité d'habitation et \ou de consommation, aussi appelée densité de charge qui joue un rôle de plus prépondérant, cette densité permet d'appréhender les différentes zones géographiques de consommation en terme de concentration de charge .Une des segmentations utilisée par des distributeurs consiste à définir deux types de zones de consommation :

1. Zone à faible densité de charge $< 1 \text{ MVA/Km}^2$.

2. Zone à forte densité de charge $> 5 \text{ MVA/Km}^2$.

-Tenir compte de l'étendu géographique, du relief et de difficulté de construction.

-Satisfaire aux contraintes d'environnement, en particulier climatiques (température minimale et maximale, vent et neige) et respect de milieu.

I.3.2 Différents structures topologiques des réseaux électriques [3]

Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures exposées ci-dessous :

I.3.2.1 Réseau maillé

Le réseau maillé est formé par des liaisons qui réalisent une structure aux mailles d'un filet.

Cette structure apporte une grande sécurité d'alimentation et offre une meilleure continuité de service, et faible chute de tension, en revanche étude très complexe et réalisation coûteuse. Voir figure I.1

I.3.2.2 Réseau radial

Le réseau radial est un réseau dont le schéma unifilaire est arborescent. Chaque artère se séparant des autres à la manière des branches d'un arbre et ne présentant donc qu'un point commun avec une autre liaison, à l'origine se trouve le poste d'alimentation. Ils sont utilisés en distribution pour les réseaux MT / BT. Voir figure I.2

Parmi ses avantages :

- ✓ Seul le circuit en défaut est mis hors service, sa localisation est facile.
- ✓ Il est possible d'effectuer les opérations d'entretien sans coupure générale.

Parmi ses inconvénients :

- ✓ Un défaut au niveau d'un départ principal affecte tous les départs secondaires et la distribution terminale.

I.3.2.3 Réseau bouclé

C'est un réseau maillé simplifié, présentant un certain nombre de boucles fermées, chacune de ces boucles contient un nombre limité de sources. L'énergie donc peut transiter par des chemins différents, ainsi la mise hors tension accidentelle d'un tronçon n'entraîne pas de surcharges inadmissibles pour les autres tronçons.

Les réseaux bouclés sont généralement utilisés pour les réseaux de répartition. Voir figure I.3

I.3.2.4 Alimentation en antenne ou Piqûre

L'alimentation en antenne est un cas particulier et simplifié du réseau radial, son alimentation est assurée par une ligne simple issue d'un poste source, le secours peut être assuré soit par une seconde liaison issue de même poste, ou par une ligne issue d'un autre poste mais non bouclé électriquement avec la première.

Le secours pour l'alimentation en antenne n'existe que pour les lignes à haute et très haute tension.

I.3.2.5 Alimentation en coupure d'artère

L'alimentation en coupure d'artère est aussi un cas particulier du réseau radial, ou il n'existe que le tronçon principal constitué par une ligne aérienne ou un câble souterrain sur le quel chaque poste est raccordé.

L'alimentation en coupure d'artère a l'avantage d'être alimentée d'un coté comme de l'autre à condition que le réseau soit bouclé.

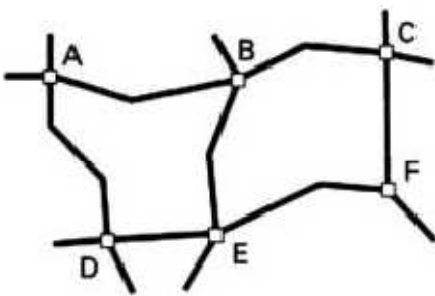


Figure I.1 : Réseau maillé

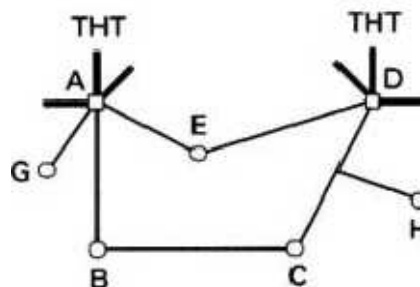


Figure I.3 : Réseau bouclée



Figure I.2 : Réseau radial

I.4 Lignes électriques

On distingue deux types de lignes électriques

I.4.1 Câbles souterrains :

On utilise généralement les réseaux souterrains dans les agglomérations, et cela a fin d'éviter les encombrements et les dangers que présentent les lignes aériennes.

I.4.2 Lignes aériennes [1]

I.4.2.1 Spécification des lignes

La nature et les sections des conducteurs à utiliser sont :

Pour le 60kV = 288mm² alu / acier avec une couche d'acier de 6 brins

220kV = 2*288 ou 411mm² alu / acier avec une couche d'acier de 9 brins et plus

400kV = 2*411 ou 570mm² on utilise un câble almélec alliage alu

I.4.2.2 Types des lignes

➤ **Lignes de distribution BT**

Ce sont des lignes installées à l'intérieur des édifices, usines et maison pour alimenter, les moteurs, les cuisinières etc.

Ces lignes sont habituellement des câbles ou des barres fonctionnant à des tensions inférieures à 400V.

➤ **Lignes de distribution MT**

Ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie de l'électricité. Leur tension est comprise entre (5.5kV – 30kV).

➤ **Lignes de transport HT**

Ce sont des lignes reliant des postes de transformation principaux aux centrales de génération. Les lignes fonctionnent généralement à des tensions inférieures à 230kV.

Dans cette catégorie, on trouve aussi les lignes servant à échanger de l'énergie entre deux grands réseaux et à augmenter la stabilité de l'ensemble.

➤ **Lignes de transport THT**

Ce sont des lignes qui relient les centrales éloignées aux centres de consommation ou d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs allant jusqu'à 1000Km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 750kV.

I.4.2.3 Propriétés des lignes de transport [1]

Le rôle fondamental d'une ligne est de transporter une puissance active. Si elle doit également transporter une puissance réactive, celle-ci doit être faible par rapport à la puissance active.

En plus de ces exigences, une ligne de transport doit posséder les caractéristiques de base suivantes :

- La tension doit demeurer constante sur toute la longueur de la ligne est pour toute les charges entre zéro et la charge nominale.
- Les pertes doivent être faibles afin que la ligne possède un bon rendement.
- Les pertes joule ne doivent pas faire surchauffer les conducteurs.

I.5 Poste électrique (400kV)

Selon la définition de la Commission électrotechnique internationale, un poste électrique est la « partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et, éventuellement, des transformateurs ».

Un poste électrique est donc un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission, puis de la redescendre en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels). Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution. On parle aussi de sous-station, entre autre dans les chemins de fer. Voir figure I.4

I.5.1 Fonction d'un poste [4]

- Contrôle et Commande Numérique du Poste : Signalisation des états et manœuvres de tous les équipements extérieurs, analyses des événements et le traitement des Alarmes sur les PC.
- (Élévation de la tension + Diminution de la tension) = Régulation de la tension et la marche en parallèle des TR + Monitoring (Surveillance sur PC) du transformateur.
- Synchronisation : Tension en Marche (Barres) avec la Tension à Synchroniser (Ligne)
- Dialogues inter-Protections
- Liaisons inter-Organes extérieurs : Disjoncteurs – Sectionneurs – Transformateur – Transformateurs de courant – Transformateurs de tension
- Sécurité (mise à la terre) + condamnation et Verrouillage

- Mesure de courant et tension (réducteurs de mesure) : fréquence – Oscilloperturbographie - Comptage de la Puissance Active et Réactive
- Sources Auxiliaires : Alimentation en Courant Alternatif (Transformateur des Services Auxiliaires TSA + le Groupe Electrogène de Secours) 380/220 Vca et Courant Continu (Batteries) 127Vcc
- Télécommande du Poste : Téléconduite

I.5.2 Différents types de poste électrique [4]

Il existe plusieurs types de postes électriques :

- Postes de sortie de centrale : le but de ces postes est de raccorder une centrale de production de l'énergie au réseau ;
- Postes d'interconnexion : le but est d'interconnecter plusieurs lignes électriques ;
- Postes élévateurs : le but est de monter le niveau de tension, à l'aide d'un transformateur ;
- Postes de distribution : le but est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique aux clients résidentiels ou industriels.

L'aspect des postes électriques varie fortement suivant leurs fonctions. Les postes peuvent être en surface à l'intérieur d'une enceinte, souterrains, dans des bâtiments qu'ils desservent.



Figure I.4 : Poste électrique si Mustapha

I.5.3 Composants électriques dans un poste

On distingue 02 parties essentielles d'un Poste :

- Partie extérieure du Poste avec les équipements haute tension. Voir figure I.5



Figure I.5 : Partie extérieure du Poste

- Partie intérieure avec des équipements basse tension dans le bâtiment de commande. Voir figure I.6



Figure I.6 : Partie intérieure du Poste

I.5.3.1 Partie extérieure du Poste

On peut citer :

- Parafoudres
- Transformateurs de Puissance pour l'étage 220kV
- Autotransformateurs Puissance pour l'étage 400kV
- Transformateur des Services Auxiliaires TSA
- Le Groupe Electrogène de Secours
- Disjoncteur à très haute tension
- Sectionneurs de Liaison ou Tête de Ligne
- Sectionneurs d'Aiguillage Barres
- Sectionneur de mise à la terre
- Transformateur de Courant
- Transformateur de Tension
- Jeu de barre 1 (Phases 0-4-8)

- Jeu de barre 2 (Phases 0-4-8)

I.5.3.1.a: Les parafoudres :

Les parafoudres sont des dispositifs statiques chargés de limiter, en un point donné du réseau, l'amplitude des surtensions qui peuvent se produire. La limitation de surtension est faite en écoulant l'énergie à la terre.

Ces surtensions peuvent être soit d'origine atmosphérique, c'est -à-dire externes, soit consécutives à des manœuvres de l'appareillage ou à des phénomènes de résonance, auquel cas elles sont dites internes.

Les appareils les plus simples sont les éclateurs qui présentent cependant l'inconvénient de rester conducteurs après amorçage et nécessitent donc l'intervention d'un disjoncteur pour l'élimination du courant de défaut qui résulte de leur fonctionnement. Voir figure I.7

Il existe deux types des parafoudres :

- Les parafoudres qui protègent la ligne ;
- Les parafoudres qui protègent le transformateur ;



Figure I.7 : Parafoudres

I.5.3.1.b Transformateur de puissance

Les transformateurs dont la tension d'au moins une phase dépasse 1 000 Volt sont considérés comme des transformateurs de puissance. Leur rôle est essentiel dans le réseau électrique pour permettre de transporter l'électricité sur de longues distances. De par leur haut niveau de tension, ils répondent à des contraintes spécifiques notamment au niveau de l'isolation. Leur fiabilité et leur durée de vie doivent être particulièrement élevées. Dans notre cas on utilise des auto-transformateurs.(Figure I.8) ,(Figure I.9).



Figure I.8 : Transformateur de puissance pour l'étage 220kV



Figure I.9 : Autotransformateur de puissance pour l'étage 400kV



Figure I.10 : Transformateur des services auxiliaires TSA

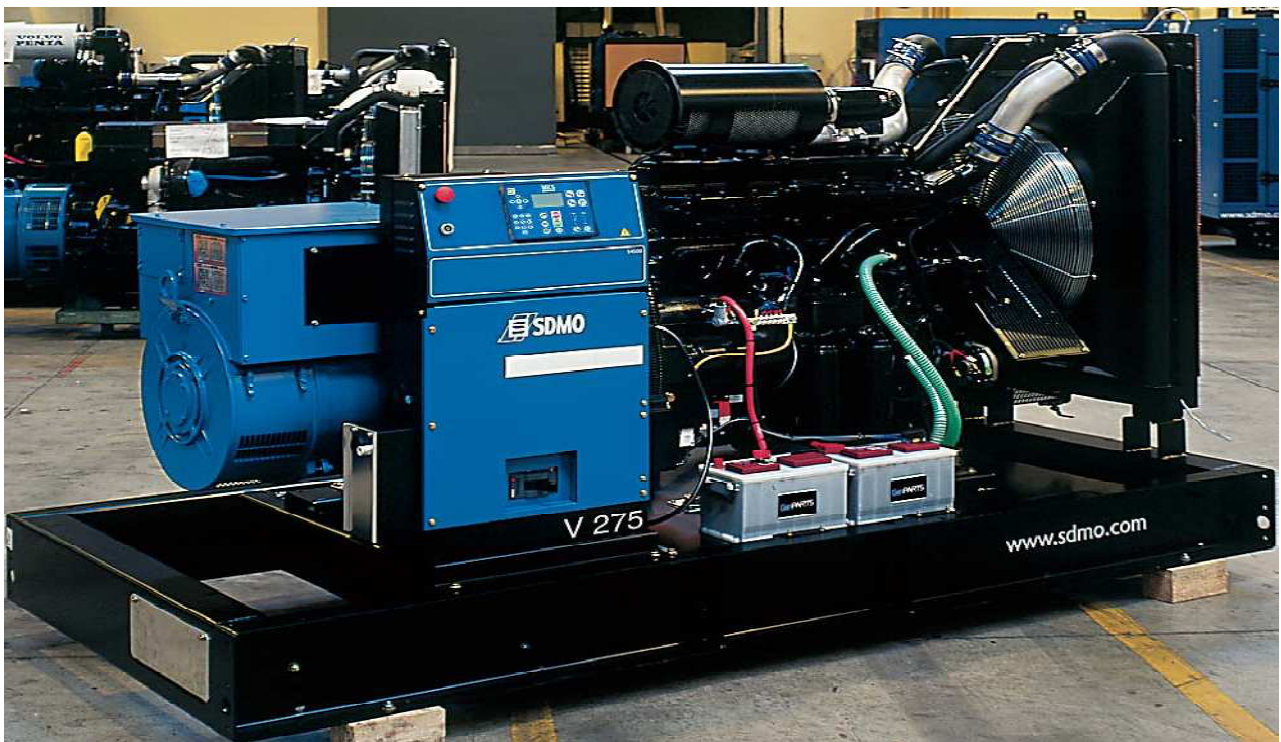


Figure I.11 : Le Groupe Electrogène de Secours

I.5.3.1.c Disjoncteurs [5]

Les disjoncteurs sont des appareils ayant un grand pouvoir de coupure, ils permettent l'ouverture ou la fermeture d'un circuit en charge. Voir figure I.12

Ils sont choisis selon les caractéristiques suivantes :

- ✓ La tension nominale.
- ✓ Le courant nominal.
- ✓ Type d'installation : intérieur ou extérieur.
- ✓ Pouvoir de coupure.
- ✓ Pouvoir de fermeture



Figure I.12 : Disjoncteur à très haute tension

Chez la Sonelgaz le disjoncteur le plus utilisé c'est le disjoncteur SF₆

Disjoncteur au SF₆

Les nouveaux appareils de HT utilisent le SF₆ comme diélectrique grâce à :

-Sa rigidité diélectrique qui vaut 2.5 fois celle de l'air.

- Son coefficient de transmission par convection qui vaut 2.5 fois celui de l'air.

Les propriétés de ce gaz ont conduit à la réalisation de poste HT blindés isolés au SF₆.

Le fonctionnement d'un disjoncteur au SF₆ est semblable à celui à air comprimé.

Les avantages de ce type de disjoncteurs sont :

- ✓ Peut être installé en position verticale ou horizontale selon la structure du poste.
- ✓ Il permet une grande économie d'espace.
- ✓ Il est silencieux.

I.5.3.1d : Sectionneur

Parmi les constituants classiques d'appareillage, seuls les sectionneurs échappent à la contrainte d'avoir à dominer un arc de coupure ou de fermeture. Ils sont en effet prévus pour ouvrir ou fermer les circuits lorsque ces derniers ne sont parcourus par aucun courant.

Ce sont, avant tout, des organes de sécurité chargés d'isoler, par Rapport au reste du réseau, un ensemble de circuits, un appareil, une machine, une section de ligne ou de câble, afin de permettre au personnel d'exploitation d'y accéder sans danger.

On distingue principalement trois familles de sectionneurs :

A- Sectionneurs d'aiguillage(ou sectionneurs barre) : Voir figure I.13

Parmi ces sectionneurs on a :

- Sectionneurs à ouverture dans un plan vertical : Le déplacement du couteau se fait dans un plan vertical.
- Sectionneurs à ouverture dans un plan horizontal (à deux colonnes) : parmi les plus simples et les plus abondants sur le réseau ; appareils à commande rotative (90°), ils ont l'inconvénient d'avoir un encombrement important, les bras engageant la distance entre phases en position d'ouverture.
- Sectionneurs pantographes : De faible encombrement, permettant de raccorder directement des conducteurs situés à des niveaux différents.



Figure I.13 : Sectionneur de barre

B- Sectionneurs de ligne :

Parmi ces sectionneurs on a :

- Sectionneurs de ligne et de mise à la terre de la ligne : Auxquels, on associe, un « sectionneur de mise à la terre », ils sont destinés à isoler et à mettre à la terre la ligne concernée. Ce sectionneur d'isolement n'existe pas dans les cellules « Transformateurs ». Parmi ces sectionneurs de mise à la terre on distingue :
 - Les couteaux de mise à la terre : Qui associé aux sectionneurs à deux colonnes, sont destinés à la mise à la terre des lignes lors des consignations d'ouvrage et pour lesquels on n'exige aucune performance électrique.
 - Les sectionneurs « MALT » : Qui diffèrent des précédents par leur aptitude à supporter les courants de court-circuit très élevés susceptibles d'apparaître dans l'ouvrage.
 - Sectionneurs à rupture brusque : De moins en moins utilisés, sectionneurs auxquels on a adjoint un dispositif permettant la coupure de courant de faible intensité ; une des formes les plus répandues de ces appareils est élaborée à partir d'un sectionneur à ouverture verticale.

C- Sectionneurs de terre

Ce sont des interrupteurs de sécurité, grâce à la mise à la terre, ils empêchent l'apparition de toute tension durant les réparations.

I.5.3.1.e : Transformateur de mesure

Le transformateur de mesure est un transformateur destiné à alimenter des appareils de mesure, des compteurs, des relais et autres appareils analogues. Ils sont utilisés pour permettre la mesure de la tension ou du courant quand ceux-ci sont trop élevés pour être mesurés directement. Ils doivent transformer la tension ou le courant de manière proportionnelle et sans déphasage. Voir figure I.14

A- Transformateur de tension

Ce sont des transformateurs de haute précision, ayant une tension secondaire en phase avec celle du primaire, ils sont utilisés dans les lignes HT pour alimenter :

- Les appareils de mesure tel que le voltmètre, et le wattmètre.
- Les organes de protection.

B- Transformateur de courant

Cet appareil comporte deux circuits, un primaire et un secondaire, et un circuit magnétique. Il délivre un signal secondaire de même nature que la grandeur primaire à mesurer ; c'est une source de courant. Bien qu'il ne soit pas linéaire et que sa plage d'utilisation soit limitée par les phénomènes de saturation magnétique, c'est aujourd'hui le type d'appareil le plus employé en THT.

Un TC peut comporter plusieurs secondaires, chacun d'eux étant dédié à une fonction précise, mesure ou protection.

-secondaire mesure : Sa plage de précision est étroite. Elle est généralement limitée à des courants inférieurs au courant primaire assigné.

-Secondaire protection : Dans ce cas la plage de précision est très large. Elle atteint très souvent une à vingt fois le courant primaire assigné.

I.5.3.1.f : Circuits bouchons

C'est des circuits à haute fréquence ayant pour rôle de recevoir ou émettre une information (télécommunications).

Ils sont montés en trois positions :

-verticalement

-suspendus

-posés

Ils sont plus souvent montés sur la partie supérieure des condensateurs de couplage ou des transformateurs de tension.

I.5.3.1.g Condensateurs de couplage

Ils sont employés pour les liaisons à haute fréquence, utilisant les lignes de transport comme support.

Lorsque l'isolation ne comporte pas de transformateurs condensateurs de tension, ils sont montés sur des charpentes métalliques fixés sur des massifs.



Figure I.14 : Transformateur de courant, de tension et circuits de bouchons

I.5.3.1.h : Jeux de barres : [6]

Les jeux de barres triphasés sont de longs tubes implantés sur toute la longueur du poste conçus en cuivre (Cu) ou en AGS (Aluminium, Magnésium, Silicium), ils assurent la matérialité du nœud en raccordant tous les transformateurs et les lignes ou départs du poste à un même échelon de tension. (Voir figure I.15)



Figure I.15 : Jeux de barres

A- Couplage de barres

Il s'effectue entre deux barres de même tension. Le circuit de couplage comprend un disjoncteur et les sectionneurs d'aiguillage sur les différents jeux de barres. (Voir figure I.16)

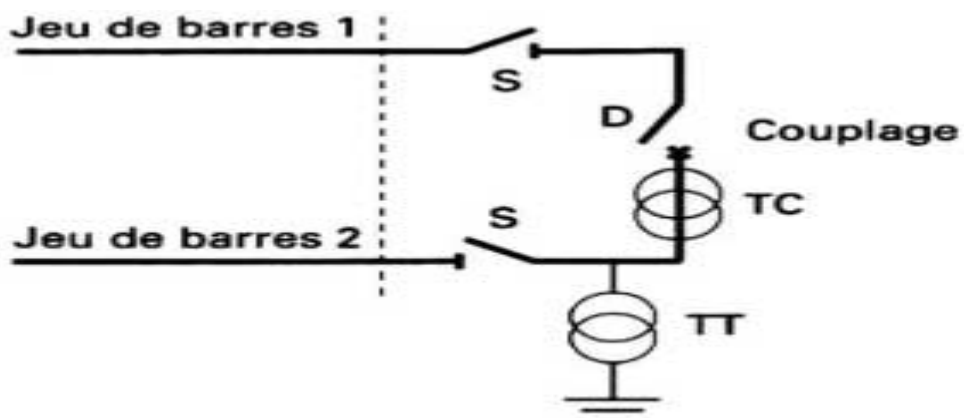


Figure I.16 : Couplage du Jeu de Barres

S : Sectionneur d'Aiguillage Barres D : Disjoncteur TT : Transformateur de tension
 TC : Transformateur de courant

B- Tronçonnement ou sectionnement de barres

Les éléments de tronçonnement sont :

- Les disjoncteurs le plus souvent commandés d'une protection de bouclage de jeux de barres.
- Le sectionnement comporte uniquement les sectionneurs, son rôle est de pouvoir isoler, à vide d'une manière visible un tronçon de jeux de barres en période de travaux. (Figure I.17)

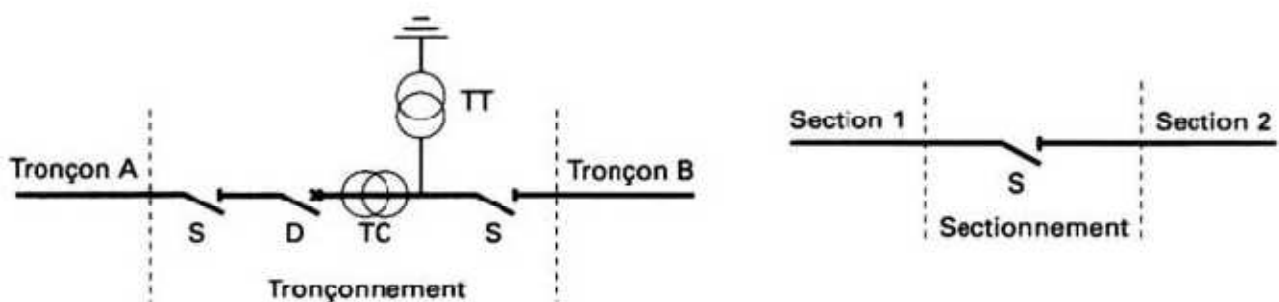


Figure I.17 : Tronçonnement et sectionnement de barres

C- Contrôle de barres

Il comporte des réducteurs de tension, qui sont utilisés pour l'alimentation des circuits de mesure de tension et l'équipement de protection. Ils sont installés sur la Phase Médiane 4 de chaque Barres.

I.5.3.1.i : Départ Ligne Aérienne

Elle se décompose en

- Tête de cellule : regroupe les équipements de contrôle, de protection et d'isolement (transformateurs de courant, de tension, disjoncteurs et sectionneurs).
- Partie aiguillage : qui permet de raccorder la tête de cellule à l'un des jeux de barres du poste, à l'aide des sectionneurs.

1.5.3.2 Partie intérieure du Poste :(Le bâtiment de commande) [4]

Le bâtiment de commande est constitué de : salle de commande, salle de réunion, salle de relayage, salle des services auxiliaires, salle de télécommande, salle des batteries.

➤ **Salle de relayage (SR)**

Est utilisée dans le cas d'une installation en bâtiments de relayage extérieurs. Situés à proximité de l'appareillage à haute tension, ils abritent l'ensemble du matériel et des circuits à basse tension servant au contrôle et à la conduite d'une partie du poste.

Armoires de commande (+S1) et armoires de protections (+R1).

➤ **Salle de commande (SC)**

A partir de la salle de commande on peut visualiser tout le Poste Extérieur.

Equipements de CCN :

- 02 PC opérateurs et Ecrans pour le :
 - ✓ paramétrage des protections et la commande des disjoncteurs et sectionneurs.
 - ✓ traitement et enregistrements de manœuvres et de signalisations des alarmes et des événements.
 - ✓ la position et la téléposition des sectionneurs et disjoncteurs.
 - ✓ Le comptage d'énergie (Puissance Active et Réactive) et le télécomptage.
 - ✓ L'Oscilloperturbographie.

➤ **Local atelier**

Maintenance des équipements BT.

➤ **Salle des services auxiliaires**

Les services auxiliaires d'un poste sont constitués par les sources et circuits de distribution des différentes formes d'énergie. Ils assurent le bon fonctionnement et la meilleure qualité de services.

(Figure I.18)

En général ils se décomposent en :

A- Services auxiliaires à courant alternatif

- Armoires Alternatif principal : services auxiliaires alternatifs 380/220 V à courant alternatif. La source à partir des TSA pour alimenter les circuits chauffage – climatisation et Prises de courants ; Des compresseurs pour le traitement d’huile des autotransformateurs et les ventilateurs.
- Armoires Alternatif secouru : services auxiliaires alternatifs 380/220 Vca Source à partir du Groupe Electrogène de Secours pour alimenter les Redresseurs (Chargeurs de Batteries) et les équipements du CCN et le circuit d’éclairage.

B- Services auxiliaires à courant continu

Les services auxiliaires à courant continu proviennent des Batteries d’accumulateurs.

➤ Salle des batteries

On distingue 02 types de Batteries d’Accumulateurs :

- ✓ **02 Batteries 127Vcc** pour alimenter les circuits de commandes et de signalisations ainsi que les protections principales 1et 2.
- ✓ **01 Batterie 48Vcc** est réservée à l’alimentation des équipements de télécommunication.

➤ Salle de Téléconduite HF

On peut transférer toutes les commandes du Poste vers l’opérateur système .La télécommande est l’opération qui consiste à conduire le poste électriques à distance. Ceci est réalisé pour télésurveiller et télécommander les organes électriques des ouvrages à partir du Centre National de Conduite d’ALGER.

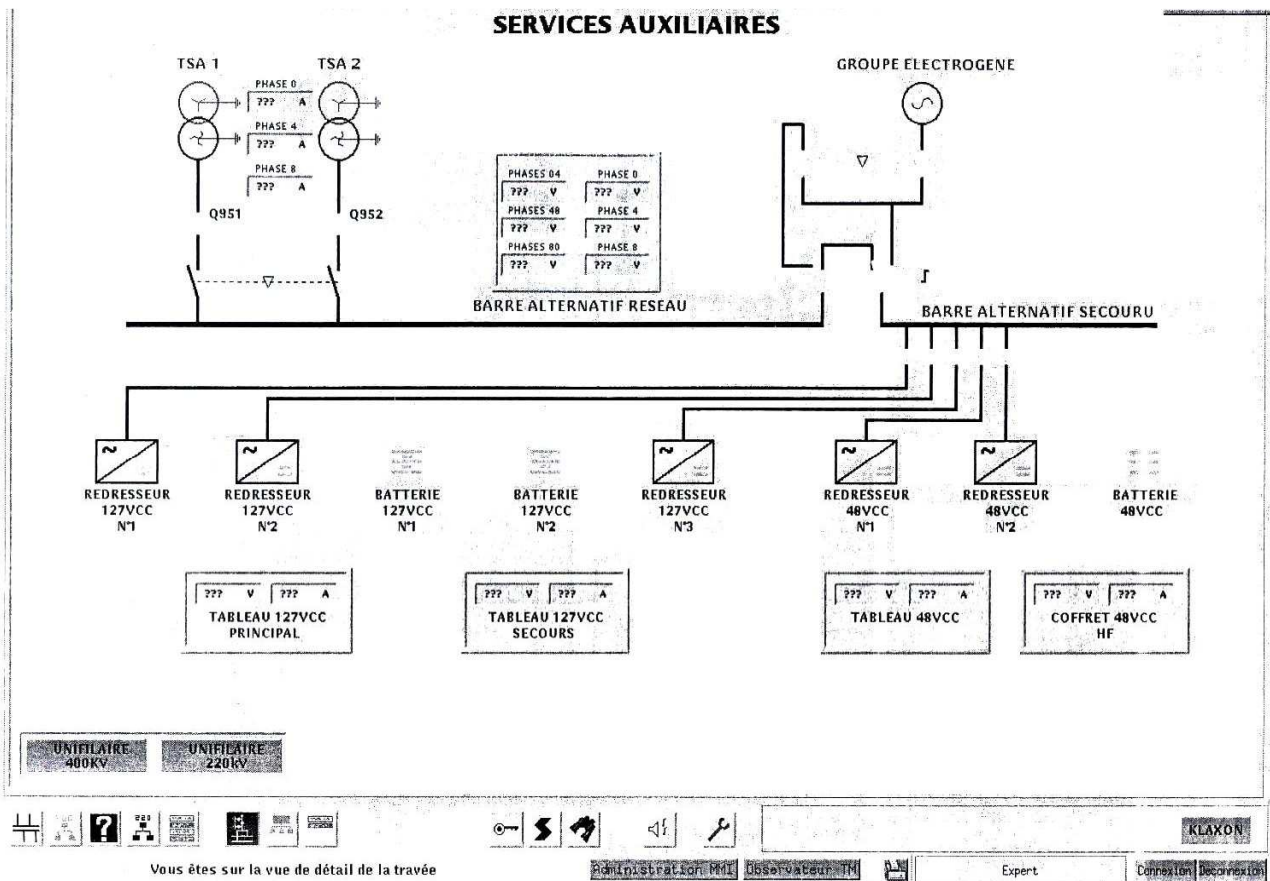


Figure I.18 : Salle des services auxiliaires

I.6 Réseau de terre

I.6.1 Définition d'un réseau de terre

Le réseau de terre est constitué d'un ensemble de conducteur nus maillés, enfouis à une distance appropriée qui relie toutes les pièces métalliques susceptible de résister à un défaut de court-circuit, la section minimale de conducteur du circuit de terre égal à 25mm^2 et la valeur de la résistance du circuit général de terre est, au plus, égale à un Ohm.

I.6.2 Rôles des réseaux de terre

Le rôle du réseau de terre est de permettre l'écoulement à l'intérieur du sol des courants de défauts de toute origine, pour cela les conducteurs doivent être enfouis à une profondeur aussi grande que possible, à fin de minimiser leurs résistances.

Le réseau de terre doit permettre d'assurer :

- La sécurité des personnes

Lors de l'écoulement des courants intenses dans le sol, la sécurité des personnes doit être assurée à l'intérieur du poste par une limitation de la tension de pas et la tension de contact, grâce à la connaissance et au contrôle de la répartition du potentiel à la surface du sol.

- Protection des installations de puissance

Le réseau de terre des postes et la prise de terre des supports de lignes doivent limiter la création et la propagation des surintensités provoquées par les défauts et les manœuvres d'appareillages.

- Potentiel de référence

Le réseau de terre des postes doit créer une zone équipotentielle au voisinage de laquelle peut s'écouler des intensités importantes comme la foudre ou certains courants de défaut.

I.7 Conclusion

Ce premier chapitre est consacré à l'étude des généralités sur les réseaux électriques ou nous avons fait des rappels sur les différentes structures topologiques et les différents éléments constitutifs des réseaux électriques (lignes aériennes, câbles souterrains, transformateur, postes électriques,.....).

Chapitre II

Calcul des courants de défauts

II.1 Introduction

Les réseaux de transport ou de distribution d'énergie électrique peuvent être le siège d'un certain nombre d'incidents qui sont dus, en générale à l'apparition de « défauts ». Ces défauts donnent lieu à l'établissement des courants des court-circuits.

Toute liaison ou contact, peut être l'objet de ce dernier (défauts) qui nécessite son isolement immédiat. La détection de ce courant de court-circuit lié à l'apparition d'un défaut ainsi que la nécessité de contrôler les transits et les tensions existantes à chaque instant sur les différents circuits du réseau.

II.2 Définition d'un défaut [5]

Un défaut est caractérisé par un phénomène non conforme au fonctionnement normal du réseau et pouvant dans certain cas, conduire à un effondrement électrique de celui-ci et la mise en danger de son environnement.

II.3 Les origines des défauts

Les cause des défauts dans les réseaux sont nombreuses et peuvent avoir pour origines :

II.3.1 Origine externe

➤ Origines mécaniques

C'est le cas de la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne, amorçage dus aux contacts de branche, de brindilles ou même d'oiseaux avec les conducteurs.

➤ Origines atmosphériques

C'est le cas de la foudre qui s'abat sur les conducteurs d'une ligne ou d'un poste. On peut aussi inclure les amorçages qui résultent des dépôts conducteurs accumulés sur les isolateurs et les travaux de terrassement de terrains qui entraînent systématiquement des défauts permanents sur les câbles souterrains.

II.3.2 Origine interne

Ce sont les défauts qui prennent naissance dans les réseaux eux-mêmes sans être justifiés par aucune cause extérieure, c'est par exemple, le cas des surtensions dues à des phénomènes de résonance, les surintensités qui peuvent être produites par un courant de surcharge, un court-circuit ou un défaut d'isolement et l'ouverture de circuits électriques en charge.

II.4 Différents types des défauts [4]

Les différents de types de défauts qu'on rencontre sont les surintensités, les surtensions, les oscillations et les déséquilibres.

II.4.1 Surintensité

L'origine des surintensités est : les surcharges et les court-circuits.

a -Surcharge : elles peuvent se produire de deux façons

- ✓ Surcharges normales : elles se produisent en particulier lors de la mise sous tension des transformateurs et appareils électrique divers
- ✓ Surcharges anormales : elles se produisent lorsque les appareils installés sont trop puissants pour la ligne d'alimentation ou quand le travail demandé aux machines est exagéré d'où échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration des installations.

b -Court- circuit :

Ils sont dus à un contact accidentel entre phases ou entre une phase et la terre, soit à un défaut d'isolement soit à une fausse manœuvre. L'augmentation de l'intensité maximale peut être très élevée d'où risque d'accident.

II.4.2 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 rotations (ou fréquence) des machines de production de l'électricité.

II.4.3 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.

II.4.4 Surtensions

On qualifie de surtension toutes tensions fonction du temps entre un conducteur de phase et la terre ou entre deux conducteurs de phase, dont la ou les valeurs de crête dépassent la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel. Les surtensions sont d'origine externe ou interne.

a-Surtension d'origine externe :

Elles sont produites par l'électricité atmosphérique, dues à des coups de foudres directes sur une ligne, sur un pylône ou bien à des coups de foudre indirect (électromagnétique, électrostatique)

b-Surtension d'origine interne :

Toute perturbation dans un circuit provoquée par induction d'une variation rapide et momentanée de la tension. Par exemple ouverture et fermeture d'un circuit, claquage d'un isolant, commutation de l'électronique de puissance.

II.5 Caractère des défauts [3],[4]

Les défauts qui se produisent sur les réseaux électriques peuvent être momentanés ou permanents.

II.5.1 Défauts momentanés :

Ce sont ceux qui disparaissent d'eux même au bout d'un temps variable mais relativement restreint. Si leur disparition se produit sans mise hors tension du réseau, ils sont dits « auto-extincteurs », c'est le cas des amorçages. Si leur disparition nécessite la mise hors tension du réseau, ils sont dits fugitifs ou « semi-permanent », c'est dans le cas des contacts de branches, d'oiseaux avec les conducteurs.

II.5.2 Défauts permanents :

Ce sont ceux qui nécessitent pour disparaître, l'intervention du personnel d'exploitation car, ils exigent une réparation du réseau, c'est le cas de la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne ou bien la détérioration d'un câble souterrain.

II.5.3 Défauts fugitifs :

Les court-circuits fugitifs nécessitent une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de seconde).

II.6 Conséquences des défauts [7]

Les courts circuits ont des effets néfastes sur le :

II.6.1 Fonctionnement des réseaux :

Les effets néfastes des courts circuits sont surtout à redouter sur les réseaux THT sur lesquels débitent des générateurs de forte puissance.

Les courts circuits, surtout lorsqu'ils sont polyphasés et proches des centrales, entraînent une diminution du couple des machines et donc une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur ; s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de la stabilité des groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme préjudiciables aux matériels.

II.6.2 Tenu du matériel : [1]

Les courts- circuits provoquent des surintensités violentes qui, amènent deux types de contraintes, des contraintes thermiques dues au dégagement de chaleur par effet joule dans les conducteurs, et des contraintes mécaniques, dues aux efforts électrodynamiques. De plus, l'arc électrique consécutif à un court- circuit met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer des dégâts importants au matériel et même être dangereux pour le personnel travaillant à proximité.

II.6.3 Les chutes de tension :

Les courants de court-circuit provoquent de brusques variations de tension, non seulement sur la ligne mauvaise, mais aussi sur les lignes adjacentes.

II.6.4 Les risques sur les disjoncteurs :

Suite à un défaut permanent les ordres de déclenchement donné par les protections arrive au disjoncteur mais celui-ci ne veut pas s'ouvrir, ce défaut peut causer des dégâts par exemple explosion de disjoncteur, l'autotransformateur et aussi il peut déclencher tout le poste THT (400kV), peut provoquer un déclenchement par cascade du réseau électrique nationale (Black out).

II.6.5 Les circuits de télécommunications :

La présence d'un court-circuit dissymétrique entre une ou deux phases d'une ligne d'énergie et la terre entraîne la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par les points neutre de réseau. Une tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant, apparaît sur les lignes de télécommunications qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie. Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunication.

II.6.6 La sécurité des personnes :

La mise sous tension accidentelle des masses, les élévations de potentiel liées à l'écoulement des courants de défaut à la terre, les conducteurs tombés au sol, etc.... Sont autant de situations pouvant présenter des risques pour la sécurité des personnes ; le mode de la mise à la terre des points neutre joue de ce fait un rôle essentiel.

II.7 Calcul de courant de court-circuit

II.7.1 Court-circuit [5]

Un court-circuit est la disparition intempestive de l'isolement relatif de deux conducteurs de tension différentes, reliés à la même source, sans interposition d'une impédance convenable. Il peut être réalisé, soit par un contact direct, soit par détérioration ou claquage de l'isolement.

Un courant de court-circuit peut être :

- Monophasé entre une phase et la terre ou une masse ;
- Biphasé entre deux phases avec ou sans mise à la terre ;
- Triphasé entre les trois phases ;

Les différentes statistiques donnent les probabilités suivantes pour chaque type de défaut :

5 % pour le triphasé

15% pour le biphasé

80% pour le monophasé

II.7.2 Courant de court-circuit [2]

L'intensité du courant de court-circuit est une caractéristique importante, elle détermine la sévérité de la contrainte appliquée au réseau et au matériel en défaut. Elle dépend de la forme du court-circuit et, pour ceux impliquant la terre, du mode de la mise à la terre des points neutres, ainsi que la nature des éléments qui constituent le réseau, transformateurs, lignes, etc....

L'intensité d'un courant de court-circuit dans un réseau monophasé, se définit par l'application de la loi d'Ohm :

$$I_{cc} = \frac{V_n}{Z_{cc}}$$

V_n : étant la tension de la source.

Z_{cc} : représente l'impédance totale du circuit, compris celle de défaut.

L'intensité J d'un courant de court-circuit dans un réseau triphasé équilibré se définit toujours par phase à partir de la tension simple du réseau et de l'impédance correspondante par phase.

II.8 Utilisation des composantes symétriques pour le calcul [3]

Hormis le défaut triphasé symétrique qui n'introduit aucun déséquilibre entre phases du réseau, les autres types de défaut nécessite le recours aux composantes symétriques pour le calcul de I_{cc} .

II.8.1 Principe de décomposition d'un système sinusoïdal :

Soit un système de trois grandeurs sinusoïdales de même pulsation mais d'amplitude et de phase quelconques, caractérisé par les nombre complexes $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$.

On peut remplacer un système déséquilibré par la superposition de trois systèmes équilibrés direct, inverse et homopolaire.

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0$$

$$\bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0$$

$$\bar{V}_3 = a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0$$

Avec a : un opérateur qui est égale à $e^{j2\pi/3}$ ($a = e^{j2\pi/3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$)

Les trois valeurs $\bar{V}_d, \bar{V}_i, \bar{V}_0$ sont appelées composantes ou coordonnées symétriques du système réel.

Ces composantes symétriques de système sont définies par la transformation de FORTESCUE. (Matrice T)

$$\bar{V}_d = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 + a^2\bar{V}_3]$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + a^2\bar{V}_2 + a\bar{V}_3]$$

$$\bar{V}_0 = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3]$$

II.8.2 Principe de l'indépendance des composantes

La transformation de Fortescue rend indépendant les systèmes direct, inverse et homopolaire. Chacun des systèmes s'écrit :

$$\bar{V}_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d$$

$$\bar{V}_i = \bar{E}_i - \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \quad (I)$$

$$\bar{V}_0 = \bar{E}_0 - \bar{Z}_0 \cdot \bar{J}_0$$

En fonctionnement normal, le système est réduit à la composante directe.

En fonctionnement perturbé on simplifiera les écritures. Par application de principe de superposition des états, c'est-à-dire $J=0$ avant le fonctionnement en régime perturbé.

En admettant que, par construction, les générateurs sont équilibrés c'est-à-dire

$$\bar{E}_d = E; \bar{E}_i = \bar{E}_0 = 0$$

$$\bar{V}_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d$$

$$\bar{V}_i = - \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \quad (II)$$

$$\bar{V}_0 = - \bar{Z}_0 \cdot \bar{J}_0$$

II.9 Méthodes de calcul de I_{cc} : [2], [5]

Chacun des défauts triphasés (avec ou sans mise à la terre) ou monophasés est caractérisé par deux types d'équations, le premier met en jeu les tensions existantes entre chaque phase et le sol, le deuxième fait intervenir les courants de chaque phase.

$$\bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0$$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0$$

$$\bar{J}_2 = a^2 \bar{J}_d + a \bar{J}_i + \bar{J}_0 \quad (III)$$

$$\bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \quad (IV)$$

$$\bar{J}_3 = a \bar{J}_d + a^2 \bar{J}_i + \bar{J}_0$$

$$\bar{V}_3 = a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0$$

Pour étudier l'un de ces cas des défauts, il faut :

- Ecrire les équations caractérisant le défaut.
- Ecrire les équations traduisant le principe de superposition.

- Résoudre le système des équations ainsi obtenu par rapport à $\bar{J}_d, \bar{J}_i, \bar{J}_0, \bar{V}_d, \bar{V}_i$ et \bar{V}_0 en tenant compte des relations qui relient les courants de défaut et les tensions en leurs composantes symétriques.
- Calculer les valeurs des courants de défaut $\bar{J}_1, \bar{J}_2, \bar{J}_3$ et des tensions $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$.

II.10 Calcul des défauts

II.10.1 Défaut monophasé : (phase –terre)

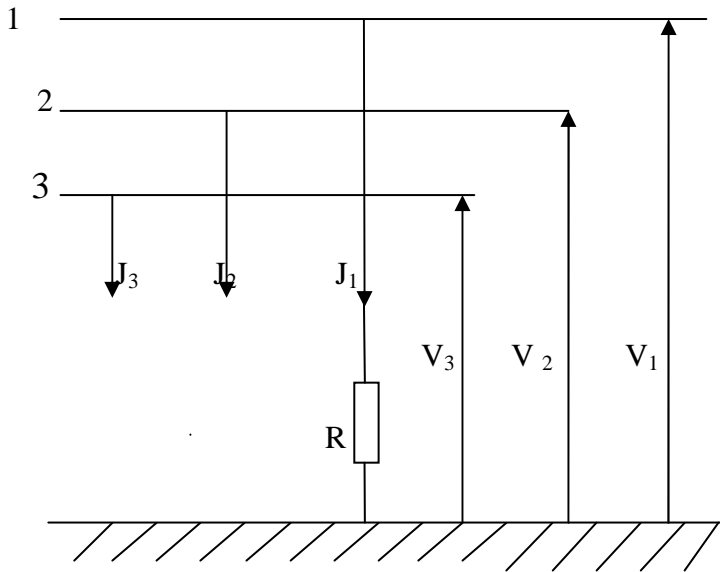


Fig II.1: Court-circuit monophasé

Equation de courant de défaut:

$$\bar{V}_1 = R \cdot \bar{J}_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{J}_2 = \bar{J}_3 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2) \Rightarrow \bar{J}_0 = \bar{J}_i = \bar{J}_d = \frac{1}{3} \bar{J}_1 \dots\dots\dots (3)$$

Donc :

$$\bar{J}_1 = 3\bar{J}_d = 3\bar{J}_i = 3\bar{J}_0 \dots\dots\dots (4)$$

on a :

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots\dots\dots (5)$$

En remplaçant les composantes symétriques de l'équation (5) par leurs expressions données dans l'équation (II)

$$\bar{V}_1 = \bar{E}_d - (\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0) \bar{J}_0 \dots\dots\dots (6)$$

En égalisant (6) avec (1) on trouve

$$\bar{V}_1 = \bar{E}_d - (\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0) \bar{J}_0 = 3 R \bar{J}_0 \Leftrightarrow \bar{V}_1 = \bar{E}_d - (\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R) \dots\dots\dots (7)$$

D'où :

$$\bar{J}_0 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_{d+} + \bar{Z}_{i+} + \bar{Z}_{0+} + 3R} \dots\dots\dots (8)$$

Finalement :

Le courant de court-circuit monophasé vaut :

$$\bar{J}_1 = 3 \bar{J}_0 \dots\dots\dots (9)$$

L'expression du courant de court-circuit monophasé est :

$$\bar{I}_{cc\ ph} = \bar{J}_1 = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_{d+} + \bar{Z}_{i+} + \bar{Z}_{0+} + 3R} \dots\dots\dots (10)$$

II.10.2 Défaut biphasé :(entre phase)

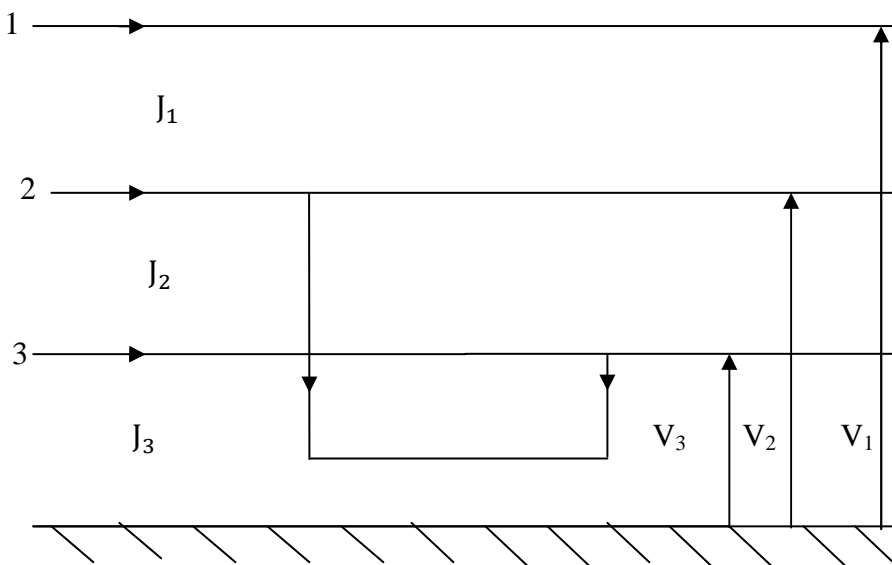


Figure II.2: Court-circuit biphasé

$$\bar{J}_1 = 0 \dots \dots \dots (11)$$

$$\bar{J}_2 = -\bar{J}_3 \dots \dots \dots (12)$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 \dots \dots \dots (13)$$

Des équations (11) et (12), on tire:

$$\bar{J}_0 = 0 \text{ et } \bar{J}_d = -\bar{J}_i$$

De l'équation (13), on aura

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i \dots \dots \dots (14)$$

L'équation (1) nous donne les composantes direct et inverse du courant

$$\bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \dots \dots \dots (15)$$

$$\bar{J}_i = -\frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \dots \dots \dots (16)$$

Donc on peut écrire:

$$\bar{V}_n = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d = \bar{Z}_i \bar{J}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d = \bar{J}_d (\bar{Z}_d + \bar{Z}_i)$$

$$\text{D'où } \bar{I}_{cc2\phi} = \bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n(a^2 - a)}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \dots \dots \dots (17)$$

Avec

$$(a^2 - a) = \sqrt{3}$$

$$\bar{I}_{cc2\phi} = \frac{\bar{V}_n \sqrt{3}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \dots \dots \dots (18)$$

II.10.3 Défaut biphasé-terre :

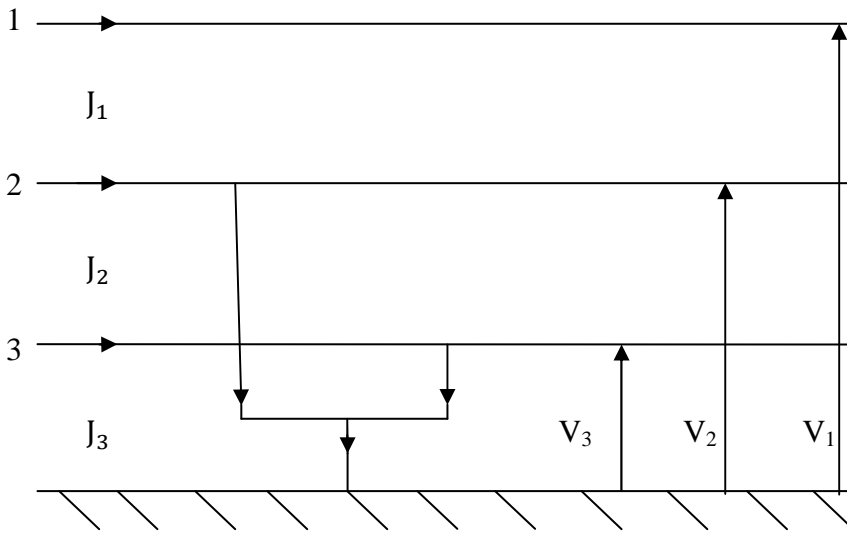


Figure II.3 : Court-circuit biphasé-terre

Equations du défaut

$$\bar{J}_1 = 0 \dots \dots \dots (19)$$

$$\bar{J}_2 = -\bar{J}_3 \dots \dots \dots (20)$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 \dots \dots \dots (21)$$

De l'équation (21), on déduit

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_o = \frac{1}{3} \bar{V}_n \dots \dots \dots (22)$$

D'autre part on a

$$\bar{V}_o = -\bar{J}_o \bar{Z}_o \Rightarrow \bar{J}_o = \frac{-\bar{V}_o}{\bar{Z}_o} \dots \dots \dots (23)$$

$$\bar{V}_i = -\bar{J}_i \bar{Z}_i \Rightarrow \bar{J}_i = \frac{-\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} \dots \dots \dots (24)$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_n - \bar{J}_d \bar{Z}_d \Rightarrow \bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n - \bar{V}_d}{\bar{Z}_d} \dots \dots \dots (25)$$

De l'équation (19), on peut écrire

$$\bar{J}_I = 0 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_o \dots \dots \dots (26)$$

En remplaçant \bar{J}_o ; \bar{J}_d et \bar{J}_i par leur expression dans l'équation (26), on aura :

$$\frac{\bar{V}_n - \bar{V}_d}{\bar{Z}_d} - \frac{\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} - \frac{\bar{V}_o}{\bar{Z}_o} \dots \dots \dots (27)$$

Comme : $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_o = \frac{1}{3} \bar{V}_n$, alors on aura :

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_o = \frac{3(\bar{Z}_0 \bar{Z}_i \bar{V}_n)}{\bar{Z}_0 \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_d \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \dots \dots \dots (28)$$

En remplaçant l'équation (28), dans les équations (23), (24) et (25), on obtiendra les expressions composantes symétriques des courants :

$$\bar{J}_o = \frac{-\bar{Z}_i \bar{V}_n}{\bar{Z}_0 \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_d \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \dots \dots \dots (29)$$

$$\bar{J}_i = \frac{-\bar{Z}_0 \bar{V}_n}{\bar{Z}_0 \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_d \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \dots \dots \dots (30)$$

$$\bar{J}_d = \frac{-(\bar{Z}_0 + \bar{Z}_i) \bar{V}_n}{\bar{Z}_0 \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_d \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \dots \dots \dots (31)$$

Alors :

$$\bar{J}_2 = \frac{Z_i(a^2 - 1) + Z_0(a^2 + a)}{Z_0 Z_{i+} Z_d Z_{i+} Z_0 Z_d} V_n \dots \dots \dots (32)$$

$$\bar{J}_3 = \frac{Z_i(a - 1) + Z_0(a - a^2)}{Z_0 Z_{i+} Z_d Z_{i+} Z_0 Z_d} V_n \dots \dots \dots (33)$$

L'expression du courant de court-circuit biphasé-terre, sera donner par :

$$\bar{I}_{cc2PhT} = \frac{-3\bar{Z}_i}{\bar{Z}_0 \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_d \bar{Z}_{i+} \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} V_n \dots \dots \dots (34)$$

II.10.4 Défaut triphasé

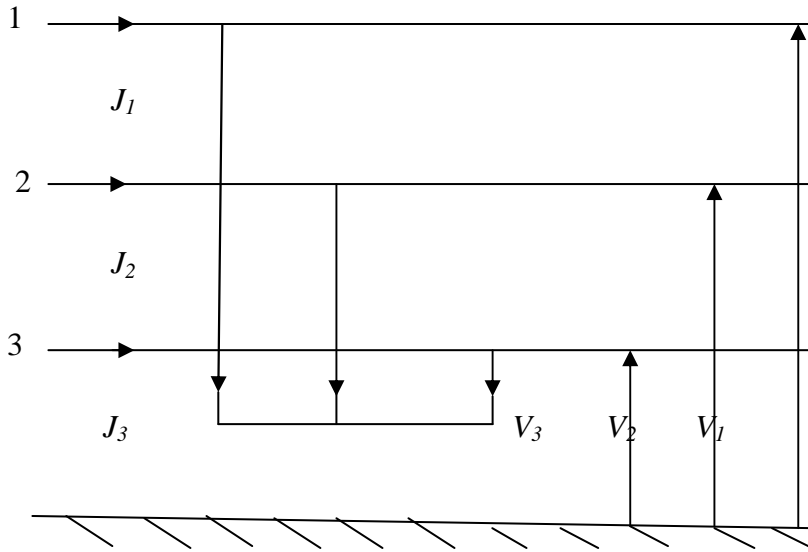


Figure II.4: Court-circuit triphasé

Equations du défaut :

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 \dots \dots \dots (35)$$

$$\bar{J}_1 + \bar{J}_2 + \bar{J}_3 = 0 \dots \dots \dots (36)$$

D'autre part, on a :

$$\bar{V}_d = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 + a^2\bar{V}_3] \Rightarrow \frac{1}{3}(1 + a + a^2) \bar{V}_1 = 0$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + a^2 \bar{V}_2 + a\bar{V}_3] \Rightarrow \frac{1}{3}(1 + a^2 + a) \bar{V}_1 = 0$$

$$\bar{V}_0 = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3] \Rightarrow \frac{1}{3}(1 + 1 + 1) \bar{V}_1 = \bar{V}_1$$

$$\bar{V}_i = \bar{V}_d$$

On a aussi:

$$\bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0$$

$$\bar{J}_2 = a^2 \bar{J}_d + a \bar{J}_i + \bar{J}_0$$

$$\bar{J}_3 = a \bar{J}_d + a^2 \bar{J}_i + \bar{J}_0$$

D'où l'équation (36) devient:

$$\begin{aligned}\bar{J}_1 + \bar{J}_2 + \bar{J}_3 = 0 &\Rightarrow (1 + a^2 + a)\bar{J}_d + (1 + a + a^2)\bar{J}_i + 3\bar{J}_0 = 0 \\ &\Rightarrow 3\bar{J}_0 = 0 \Rightarrow \bar{J}_0 = 0\end{aligned}$$

D'autre part on a :

$$\bar{V}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{J}_0 \Rightarrow \bar{V}_0 = 0$$

$$\bar{V}_0 = \bar{V}_d = \bar{V}_i = 0 \Rightarrow \bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_n - \bar{Z}_d \bar{J}_d \Rightarrow \bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d}$$

Donc on aura :

$$\bar{I}_{cc3Ph} = \frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d}$$

II.11 Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de court-circuit

II.11.1 Définition

La grandeur réduite d'une grandeur physique donné est le rapport de cette dernière par une autre grandeur physique de même nature, qui à été choisie arbitrairement comme référence est appelée « grandeur de base ».

On choisie généralement comme grandeur de base S_b et U_b et on déduit alors :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \quad \text{Et} \quad Z_b = X_b = \frac{U_b^2}{S_b} \quad (R_b = 0)$$

Les grandeurs réduites des différents éléments du réseau sont alors :

$$S_{pu} = \frac{S}{S_b}, \quad U_{pu} = \frac{U}{U_b}, \quad I_{pu} = \frac{I}{I_b}, \quad X_{pu} = \frac{X}{X_b}$$

II.11 .2 Réactance des éléments du réseau

II.11.2.1 Impédance ramené à un seul niveau de tension U_x

Pour calculer le courant de court-circuit à un endroit bien déterminé du réseau, il est indispensable de ramener toutes les impédances à une certaine tension de référence U_x pour pouvoir utiliser les notions d'impédances série et parallèle.

$$\text{Pour cela on utilise : } \bar{U} = U \left(\frac{U_x}{U} \right) \quad ; \quad \bar{Z} = Z \left(\frac{U_x}{U} \right) \quad ; \quad \bar{I} = I \left(\frac{U_x}{U} \right)$$

\bar{U} , \bar{Z} , \bar{I} Valeurs ramenées à U_x

II.11.2.2 Réactances réduites des éléments constituant le réseau

A- Composantes :

a- Ligne :

$$X_{pu} = X_l \cdot \frac{S_b}{U_b^2} ;$$

Avec : X_l : Réactance de la ligne

S_b , U_b : Puissance et tension de base.

b- Alternateur :

$$X_{pu} = X^{\prime\prime}_d \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_n^2}{U_b^2}$$

Avec $X^{\prime\prime}_d$: Réactance subtransitoire

c- Transformateur à deux enroulements :

$$X_{Tpu} = U_{12\ cc} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_n^2}{U_b^2}$$

Avec : U_{cc} Tension de court-circuit du transformateur

S_n , U_n : Puissance et tension nominales

d- Transformateur à trois enroulements :

Le calcul se fait en deux étapes :

-Première étape :

$$\bar{X}_{12} = U_{12 \text{ cc}} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

$$\bar{X}_{23} = U_{23 \text{ cc}} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

$$\bar{X}_{31} = U_{31 \text{ cc}} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

-Deuxième étape :

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{2} (\bar{X}_{12} + \bar{X}_{31} - \bar{X}_{23})$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{2} (\bar{X}_{12} + \bar{X}_{32} - \bar{X}_{31})$$

$$\bar{X}_3 = \frac{1}{2} (\bar{X}_{31} + \bar{X}_{23} - \bar{X}_{12})$$

Remarque : toutes les réactances sont ramenées au primaire.

e- Réseaux amont :

$$\bar{X}_a = \frac{U^2}{P_{cc}} \cdot \frac{1}{X_b}$$

Avec : P_{cc} Puissance de court-circuit

U Tension entre phase

Méthode de calcul :

- On établit le schéma équivalent au réseau en utilisant les réactances des différents éléments.
- On ramène toutes les réactances à la tension au point de défaut.
- On simplifie le schéma :
 - a) En appliquant les transformateurs $\Delta - Y$ et $Y - \Delta$
 - b) En associant les réactances série parallèle.

Le courant de court-circuit correspondant est évidemment égal à :

$$\bar{I}_{cc} = \frac{\bar{U}}{\sqrt{3} \bar{X}_0}$$

II.12 Conclusion

D'après ce chapitre, nous concluons que l'étude mathématique des courants de court-circuit est très importante car elle nous renseigne sur l'ordre de grandeurs des différents types de court-circuit, ce qui permet de bien dimensionner les équipements et d'installer les relais de protections.

En effet, les courants de court-circuit sont des incidents qu'il faut éliminer dans un laps de temps pour limiter les conséquences et les effets néfastes sur le bon fonctionnement du réseau électrique, la tenue de matériel et surtout la sécurité des personnes.

L'élimination des défauts ne peut être obtenue que par les appareils de protection qui ont un rôle de surveillance du réseau électrique. Ces appareils de protection doivent être réglés de façon fiable, et qui feront l'objet du prochain chapitre.

Chapitre III

Protections THT

III.1 Introduction

Les différentes parties des installations électriques peuvent être le siège d'un nombre d'incidents qui sont dus en général à l'apparition de défauts.

Lorsqu'un défaut (défaut d'isolement, Court-circuit, Surtension, baisse de fréquence...) se produit sur un élément du réseau électrique (ligne, transformateur, alternateur, câble...), il est indispensable de mettre hors tension l'élément ou la partie du réseau en défaut, afin de limiter les dégâts que l'arc électrique peut causer et d'éviter la répercussion du défaut sur le fonctionnement général du réseau électrique et des centrales de production.

III.2 Définition

La protection est un ensemble d'organes destinés à protéger les équipements et le personnel.

III.3 Rôle d'un système de protection

Le système de protection électrique a pour but de déceler l'existence des défauts et de mettre automatiquement hors tension l'élément ou la portion du réseau défectueux.

III.3.1 Fonction

En règle générale pour protéger une installation il faut :

- Surveiller le fonctionnement ;
- Détecter un état de dysfonctionnement ;
- Elimination des défauts ;

III.3.2 Propriétés

Pour qu'un système de protection accomplisse convenablement sa mission, il doit présenter les qualités suivantes :

- **Fiabilité** : Déclenchement suite à un défaut réel (décision sûre).
- **Disponibilité** : C'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état de marche.

- Rapidité d'action : Pour limiter les effets néfastes du défaut.
- Sensibilité : Détecter la moindre variation de la grandeur à surveiller.
- Consommation : Elle doit être réduite.
- 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
- Sélectivité chronométrique
- Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique

1- La sélectivité ampèremétrique

Elle est assurée par les réglages en valeur de courant des seuils de déclenchement.

2- La sélectivité chronométrique

Elle est assurée par les réglages en valeur de temps des seuils de déclenchement.

3- La sélectivité logique

Elle permet d'obtenir une sélectivité au déclenchement parfait, et par ailleurs, de réduire considérablement le retard au déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source.

III.4 Régime de neutre

La façon dont le point neutre d'un réseau est mis à la terre est importante dans l'étude des systèmes de protection. La majorité des défauts débutent dans une configuration phase- terre.

Le régime du point neutre a donc un effet direct sur le niveau du défaut entre une phase et la terre et par conséquent sur les méthodes pour le détecter.

Le point neutre est mis à la terre, ce qui permet d'alimenter des charges monophasées et rend plus simple la détection de défaut à la terre.

III.4.1 Les différents régimes de neutre

Les différents modes de raccordement du point neutre à la terre sont :

➤ **Le neutre directement mis à la terre :**

Une liaison électrique est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre.

(Figure III.1)

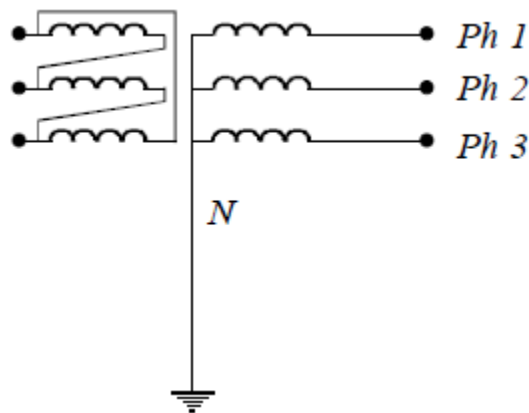


Figure III.1 : Le neutre directement mis à la terre

➤ **le neutre isolé, ou fortement impédant :**

Il n'existe aucune liaison électrique entre le point neutre et la terre, à l'exception des appareils de mesure ou de protection.

Une impédance de valeur élevée est intercalée entre le point neutre et la terre.

(Figure III.2)

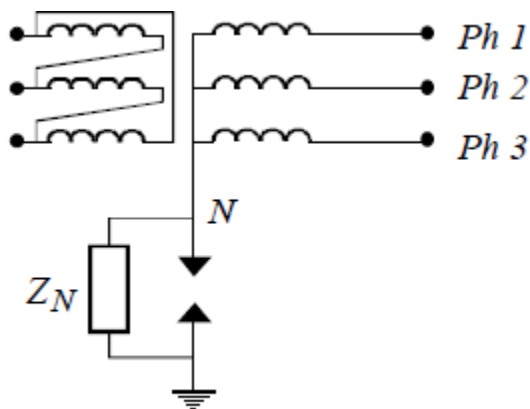


Figure III.2 : Le neutre isolé, ou fortement impédant

➤ **le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance :**

Une résistance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre.

(Figure III.3)

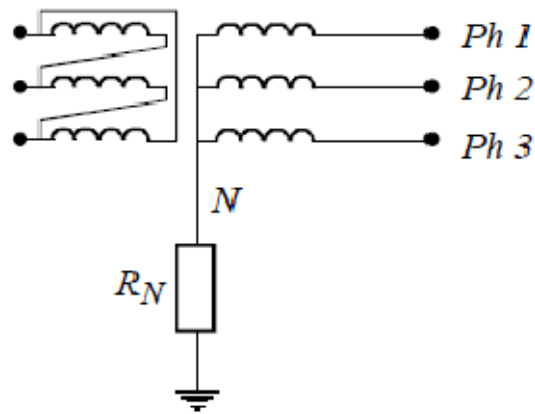


Figure III.3 : Le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance

➤ **le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance :**

Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre. Voir la figure III.4

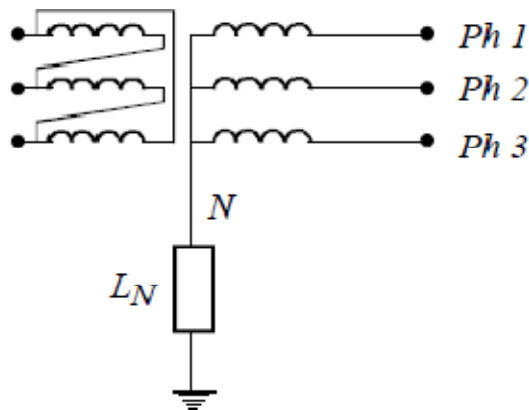


Figure III.4 : Le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance

➤ **le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance accordée (bobine de Petersen) :**

Une réactance accordée sur les capacités du réseau est volontairement intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est nul. Voir la figure III.5

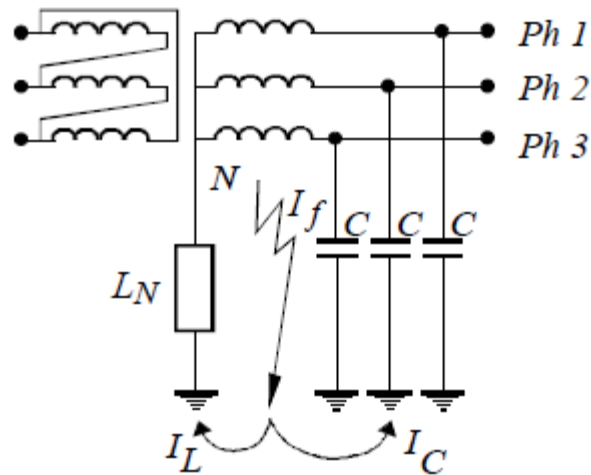


Figure III.5 : Le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance accordée

$$\vec{I}_f = \vec{I}_L + \vec{I}_C = \vec{0}$$

I_f : courant de défaut

I_L : courant dans la réactance de mise à la terre du neutre

I_C : courant dans les capacités phase-terre

III.5 Relais de protection

III.5.1 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 en actionnant un signal en cas de défaut ou de conditions anormales de marche (alarme, signalisation...)

III.5.2 Constitution d'un relais

➤ Relais électromagnétiques :

Un relais électromagnétique comporte une armature ou un équipage mobile sur lequel agissent les bobines ou des aimants ou des conducteurs. Ils dépendent de la conception du circuit magnétique. (Figure III.6)

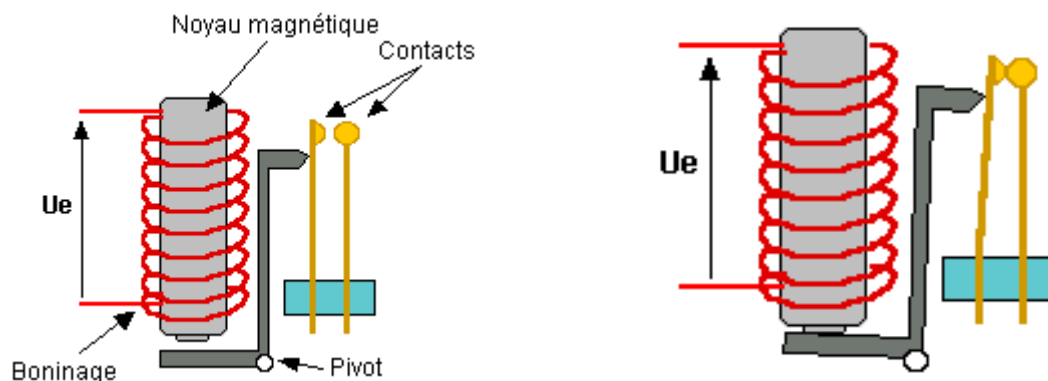


Figure III.6 : Relais électromagnétique

La bobine parcourue par un courant, provoque l'aimantation du circuit magnétique dont la partie mobile se déplace.

La force d'attraction sur la partie mobile sera d'autant plus grande que l'intensité du courant sera plus élevée et l'entre fer plus faible.

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

➤ **Relais statique :**

Les relais statiques remplacent de plus en plus les relais électromagnétiques pour les avantages suivant :

Plus précis, plus sensible, plus rapide, rapidité de dépannage, durée de vie plus longue, faible consommation et moins encombrant.

➤ **Relais thermique :**

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

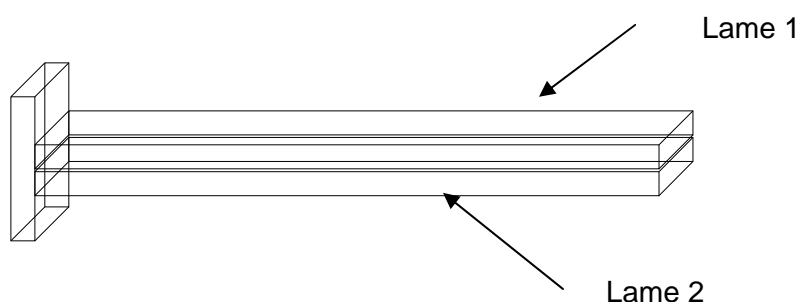


Figure III.7 : Principe du relais thermique

➤ **Relais Numérique :**

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, avant, pendant et après le défaut (perturbographe)
- Le diagnostic des dispositifs connectés (disjoncteurs,etc.).

III.6 Autotransformateur :

L'Autotransformateur triphasé c'est un transformateur en plus utilisés dans le réseau de transport et de répartition de l'énergie où ils servent de lien entre le réseau 400 kV et le réseau 225 kV. Ils sont toujours couplés en étoile, et l'étude est la même que pour les transformateurs triphasés.

III.7 Protection des transformateurs :

Les transformateurs sont les équipements les plus importants dans un réseau électrique. Ils peuvent être affectés par plusieurs défauts : surchargés ou affectés par des court-circuits. Il faut donc, les protéger à l'aide de différentes protections.

III.7.1 Protections internes : [4]

III.7.1.1 Protection de BUCHHOLZ :

III.7.1.1.a Définition :

Les relais Buchholz sont montés essentiellement sur les gros transformateurs à bain d'huile sur la tubulure reliant le réservoir d'expansion et la cuve du transformateur.

C'est un relais de protection contre les incidents internes au transformateur. Il détecte les dégagements gazeux dus aux Claquages internes HT/Masse ou entre enroulements.

(Figure III.8)

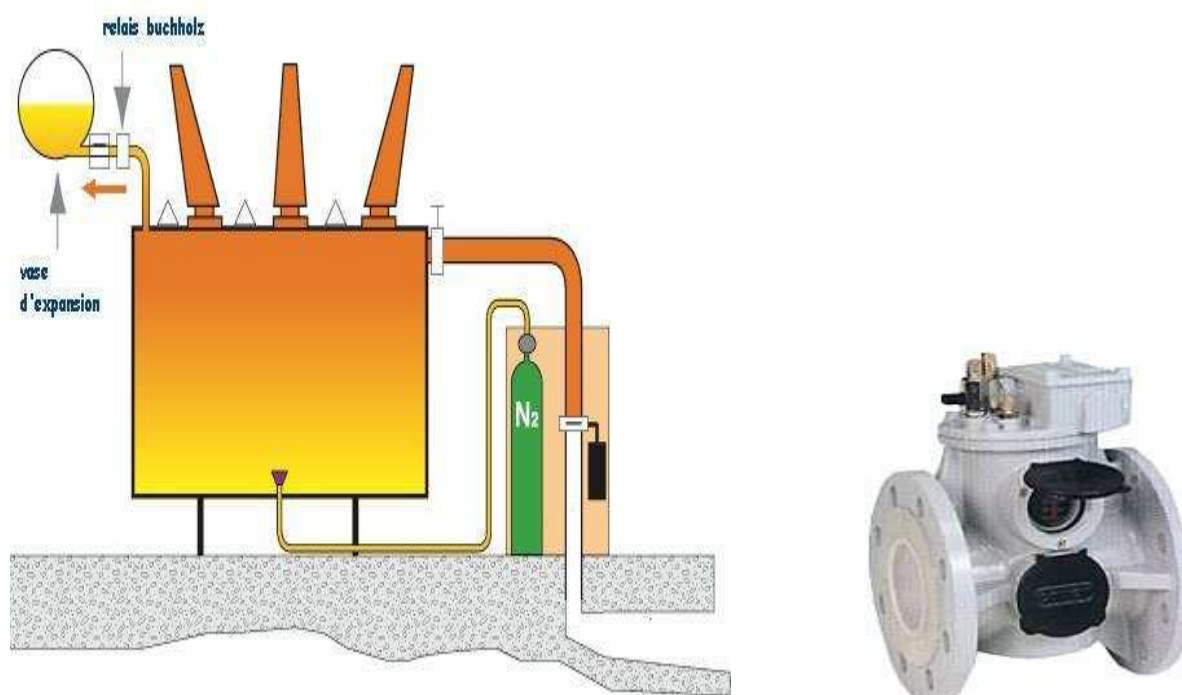


Figure III.8 : L'emplacement de relais Buchholz

III.7.1.1.b fonctionnement :

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. Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile. Si ce mouvement est faible, il ferme un contact de signalisation (alarme BUCHHOLZ). Par ailleurs, un ordre de déclenchement est émis au moyen d'un autre contact qui se ferme en cas de mouvement important.

Cette protection sera à deux seuils pour le transformateur: le premier donnera un signal **d'alarme**, le second un signal de **déclenchement**.

Le gaz qui s'accumule dans le conservateur ou dans l'accumulateur nous renseigne par sa couleur sur l'origine du défaut :

- ✓ Gaz blanc provient de la destruction du papier.
- ✓ Gaz jaune provient de la destruction des pièces en bois.
- ✓ Gaz noir provient de la détérioration de l'huile. (Figure III.9)

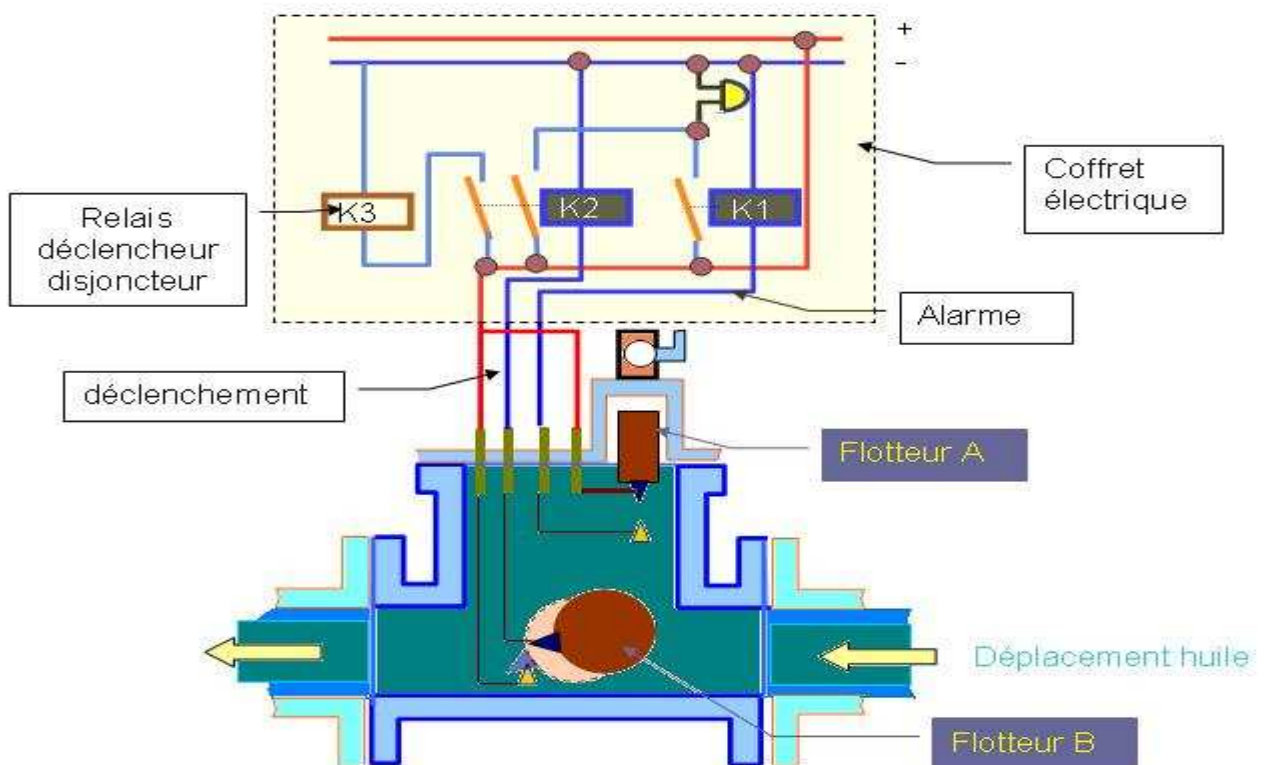


Figure III.9 : Principe de fonctionnement de relais de BUCHHOLZ

III.7.1.2 Protection par relais thermique :

Dès que la température dans la cuve du transformateur dépasse une valeur prédéterminée, le bilame composant le relais se déforme sous l'effet de la chaleur provoquant ainsi le déclenchement de la protection. Ce relais est placé sur chaque phase du transformateur.

III.7.1.2.1 Protection thermométrique de cuve :

III.7.1.2.1.a Thermomètre de l'huile :

Une sonde contrôle la température de l'huile dans la cuve pour le :

1^{er} seuil : donne une alarme et fait démarrer les ventilateurs.

2^{ème} seuil : Dès qu'elle atteint la température limite, elle donne l'ordre de déclenchement.

III.7.1.2.1.b Thermomètre des enroulements :

Il contrôle la température dans les enroulements pour le :

1^{er} seuil : donne une alarme et fait démarrer les ventilateurs.

2^{ème} seuil : Dès qu'elle atteint la température limite, elle donne l'ordre de déclenchement.

III.7.1.3 Niveaux d'huile du conservateur : (transformateur et régleur)

Ils sont montés sur les cotés du réservoir. Ils indiquent le niveau d'huile dans le réservoir et donnent des alarmes comme indication minimum ou maximum de l'huile.

III.7.1.4 Soupape de sécurité :

Il est monté sur le couvercle du transformateur il détecte l'augmentation soudaine de la pression qui peut se produire à cause d'un arc dans l'huile du transformateur et donne le signal d'arrêter le transformateur.



Figure III.10 : Soupape de sécurité

III.7.2 Protection externe

III.7.2.1 Protection différentielle : (protection principale)

La protection différentielle est obtenue par la comparaison de la somme des courants primaires à la somme des courants secondaires. L'écart de ces courants ne doit pas dépasser une valeur i_0 pendant un temps supérieur à t_0 , au-delà il y a déclenchement.

La protection différentielle est une protection principale aussi importante que les protections internes du transformateur. Cette protection à une sélectivité absolue, il lui est demandé, en plus, d'être très stable vis-à-vis des défauts extérieurs mono-biphasés .

Le principe de fonctionnement de la protection est basé sur la comparaison des courants entrants et des courants sortants du transformateur et toute inégalité indique un défaut. Cette protection s'utilise:

- Pour détecter des courants de défaut supérieurs au courant nominal,
- Pour déclencher instantanément puisque la sélectivité est basée sur la détection et non sur la temporisation.

III.7.2.2 Protection surcharge thermique (image thermique) :

Permet la relève et le contrôle de la température des enroulements du transformateur par la mesure du point le plus chaud de ces enroulements.

Elle est constituée d'une sonde à résistance. La sonde mesure la température de la résistance qui est parcourue par le courant traversant les enroulements du transformateur à protéger. Dès que la température dépasse la valeur spécifique, la protection signale et déclenchera le transformateur.

III.7.2.3 Protection défaillance disjoncteur :

Cet équipement, associé à chaque disjoncteur de départ (ligne, transformateur, couplage), a pour rôle de vérifier que le disjoncteur, lorsqu'il a reçu un ordre de déclenchement, s'ouvre normalement et coupe le courant de défaut dans un délai convenable.

Cet automatisme est initialisé par l'ordre de déclenchement issu d'une des protections de la tranche (PP1 et PP2) et, après un certain délai (100 à 150 ms) correspondant au temps maximal de coupure du courant de défaut, il vérifie que le disjoncteur est bien ouvert (critère de position du disjoncteur) ou que le courant de défaut traversant le disjoncteur a bien été interrompu (critère de courant). Si le défaut persiste il donne l'ordre au disjoncteur de s'ouvrir et au même temps il va initialiser toute les protections défaillance disjoncteur et donne l'ordre de déclenchement aux autres départs qui sont aiguillés sur la barre de défaut ainsi que le couplage.

III.7.2.4 Protection à maximum de courant et homopolaire :

Ces protections à maximum de courant à temps constant équipent chaque enroulement du transformateur.

➤ **Protection côté THT:**

C'est une protection qui réalise le secours des protections internes et de la protection différentielle. Dans certains cas, cette protection comporte deux seuils de fonctionnement en courant:

- 1^{er} seuil de courant violent, réglé pour protéger le transformateur contre les défauts internes, avec une action instantanée:

$$I_R = 1.3 \times I_{CCMAX.} \quad T = 0 \text{ Sec}$$

Avec :

I_{CCMAX} : le courant de court-circuit maximal aux bornes HT du transformateur correspondant au régime maximal de fonctionnement du réseau.

-2^{eme} seuil de surcharge protégeant le transformateur contre les surcharges inadmissibles. Il est réglé à :

$$I_R = 1.3 \times I_{N.TR} \quad T = T_{HT} + \Delta t \leq 3 \text{ Sec}$$

Avec :

$I_{N.TR}$: Le courant nominal du transformateur coté THT.

T_{HT} : Temporisation de la protection de courant coté HT.

Δt : Echelon de temps sélectif.

➤ **Protection côté HT:**

La protection à maximum de courant coté HT protège le transformateur contre les surcharges inadmissibles. Elle réalise aussi la protection de secours des barres et des départs H.T. Elle est réglée de la même façon que le seuil de surcharge de la protection à maximum de courant installée sur l'enroulement primaire du transformateur.

$$I_R = 1.3 \times I_{N.TR} \quad T_{HT} = T_{DEP} + \Delta t$$

Avec :

- $I_{N.TR}$: Le courant nominal du transformateur coté HT
- $T_{DEP>}$: Le temps le plus haut réglé sur les départs.
- Δt : Echelon de temps sélectif

III.7.3 Protections de transformateur de service auxiliaire :

III.7.3.1 Protection interne :

- Protection du relais BUCHHOLZ (voir le paragraphe III.7.1.1)
- Niveau d'huile.

III.7.3.2 Protection externe :

III.7.3.2.a Protection de masse- cuve :

Une protection rapide, est constituée par le relais de détection de défaut à la masse de cuve. Pour se faire, la cuve du transformateur, ses accessoires, ainsi que ses circuits auxiliaires doivent être isolés du sol par des joints isolants. La mise à la terre de la cuve principale du transformateur est réalisée par une seule connexion courte qui passe à l'intérieur d'un TC tore qui permet d'effectuer la mesure du courant s'écoulant à la terre.

Tout défaut entre la partie active et la cuve du transformateur est ainsi détecté par un relais de courant alimenté par ce TC. Ce relais envoie un ordre de déclenchement instantané au disjoncteur du transformateur.

La cuve du transformateur doit être isolée de la terre. Voir figure III.11



Figure III111 : Protection masse-cuve

III.7.3.3.b Protection homopolaire :

(Voir le paragraphe III.7.2.4).

III.8 Protection des lignes aériennes et câbles souterrains

III.8.1 Lignes aériennes :

Les lignes sont protégées par des protections de distance ou par des protections différentielles.

III.8.1.a Lignes courtes :

➤ Protection différentielle :

Le principe général de fonctionnement de la protection différentielle consiste à calculer la différence entre les courants entrant et sortant de la zone à protéger. La protection entre en action dès que cette différence varie.

Les courants différentiels peuvent également être générés, en cas de défaut externe, par une saturation TC. Pour assurer la stabilité lors des défauts externes, l'équipement utilise une technique de retenue. Cette méthode augmente la valeur de réglage du seuil différentiel proportionnellement à la valeur du courant de défaut traversant pour éviter le déclenchement intempestif de la protection.

Cette protection différentielle assure la rapidité et la sélectivité contre tous les défauts. Elle est prévue avec les fonctions suivantes :

- Fonction minimum d'impédance
- Protection à maximum de courant
- Logique de déclenchement
- Fonction de téléaction
- Mesure de I, U, P, Q, F
- Réenclenchement mono-tri
- Contrôle du synchronisme
- Localisation de défaut
- Perturbographie
- Surcharge thermique
- Consignateur d'état

III.8.1.b Lignes longues :**➤ Protection de distance :**

La protection de distance P437 assure une protection sélective contre les courts-circuits, une protection contre des défauts à la terre et une protection de surcharge pour les réseaux très haute tension.

Elle prévient avec les fonctions suivantes :

- Mise en route à minimum d'impédance avec caractéristique polygonale
- Cinq zone de mesure à caractéristique polygonale
- Protection à maximum de courant(en cas de fusion fusible)
- Surveillance des circuits de tension
- Fonction anti-pompage
- Logique de déclenchement
- Fonction de téléaction
- Mesure de I, U, P, Q, F
- Réenclenchement mono-tri
- Contrôle du synchronisme
- Localisation de défaut
- Perturbographie
- Surcharge thermique
- Consignateur d'état
- Protection complémentaire (directionnelle de puissance résiduelle de terre)
- Protection maximum de tension

III.8.2 Câbles souterrains :

Les câbles souterrains sont pour leur part soumis aux risques de dommages mécaniques tels que les perturbations diverses lors de travaux de construction ou d'affaissement de terrain. Les défauts des câbles peuvent être aussi causés par infiltration d'humidité dans les matériaux d'isolation. Une grande rapidité d'élimination est nécessaire pour limiter l'extension des dommages ainsi que pour éviter les risques d'incendie.

➤ Protection différentielle câbles :

Le principe de fonctionnement de cette protection est le même principe que la protection de la ligne courte sauf que la fonction réenclenchement mono-tri n'existe pas (déclenchement en triphasé).

III.9 Protection des jeux de barres :

Les jeux de barres sont rarement le siège de défauts du fait de leurs petites longueurs et petites diamètres, mais, il est nécessaire de prévoir leurs éliminations le plus rapidement possibles car ils peuvent engendrer des dégâts importants, comme ils peuvent déstabiliser une partie ou tout le réseau.

La protection des jeux de barres c'est une protection différentielle sélective centralisée de type numérique.

III.9.1 Protection différentielle barres :

Son principe repose sur la comparaison entre le courant arrivant de la source et la somme des courants sortant par les départs .Si la différence est nulle le jeu de barres est sain, dans le cas contraire, il existe un défaut et l'appareil de coupure déclenchera tout le Poste.

III.10 Couplage**III.10.1 Protection défaillance disjoncteur :**

Voir le paragraphe III.7.2.3

III.11 Conclusion

Le système de protection à pour but d'éliminer les éléments en défaut en laissant dans toute la mesure du possible, les éléments sains en service. Associé à des dispositifs de reprise automatique de service, il a pour rôle de maintenir au niveau convenable la continuité de service.

Le choix du système de protection dépend du dimensionnement des éléments consécutifs du réseau du fait de la rapidité, de la sélectivité et de la sensibilité de ses relais.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons effectué nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les postes de transformation THT/HT. Nous avons traité successivement les différents défauts et les court-circuits qui peuvent se manifester dans un réseau et les principes de protection.

La protection optimale d'un réseau électrique est une condition pour l'amélioration de la continuité et de la qualité de service en particulier dans l'environnement socioéconomique actuel.

Ce travail nous a permis d'enrichir les connaissances acquises pendant notre formation universitaire.

BIBLIOGRAPHIE

[1] : K.IFIRES, N.KACED, R.SELILA « Dimensionnement et protection d'un départ MT, application au départ Issers issus de TIZI-MEDDEN ».

Projet de fin d'études. Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou année 2007.

[2] : S.ABBASSEN, N.KACED, « Etude des protections des départs MT application au poste 60KV /30KV FREHA ».

Projet de fin d'études. Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou année 2007.

[3] : IRZIL DJAMAL EDDINE, BOUALI AMAR, AISSIOUANE HAKIM « Etude d'un poste de transformation et de distribution HT /MT 60/30kV »

Projet de fin d'études. Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou année 2001.

[4] : Documentation de Sonelgaz. [- Cahier des charges pour la construction des sous-stations électriques THT-HT-MT, Cuide technique MiCOM P44x].

[5] : H.BOUDISSA, R. HASNAOUI « Etude et dimensionnement d'un poste d'interconnexion 400kV application : poste RAMDANE DJAMEL »

Projet de fin d'études. Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou année 2004.

[6] : GERARD BENISTAN, « Poste à haute tension et très haute tension : structure général ».

Technique de l'ingénieur, édition 1992.

[7] : BENALI AHMED « Etude de protection des départ MT application : Poste FREHA 60/30kV.

Projet de fin d'études. Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou année 2002.