



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électrotechnique
Réseaux électriques

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Kerbaa Riadh Abdelhak et Guouini Samir

Le : mardi 10 juin 2025

Etude de système de la protection des réseaux électrique de distribution

Jury :

Dr	Necira Abdelouahab	MCB	Mohamed Khider de Biskra	Président
Dr	Laala Widad	MCA	Mohamed Khider de Biskra	Examineur
Dr	Khelili Fatiha	MCB	Mohamed Khider de Biskra	Superviseur



Année universitaire : 2024/2025

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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Entrez votre filière

Entrez votre spécialité

Réf. : Entrez la référence du document

Cliquez ici pour entrer le titre du
mémoire

Le :

Présenté par :
l'encadreur :

Avis favorable de

Signature Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Remerciement

" Je consacre ce travail à toutes les personnes qui ont joué un rôle précieux dans mon parcours scolaire. Leur soutien et leurs encouragements ont nourri mon inspiration. À ma mère adorée, source inépuisable de force et de motivation. Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à ceux qui, par un conseil avisé ou un mot réconfortant, ont contribué à mon avancée. Mille mercis à vous tous."

Résumé

Ce travail consiste en une étude de la protection des réseaux électriques à moyenne tension contre les différentes pannes pouvant affecter la sécurité et la continuité de l'alimentation électrique. L'étude commence par une présentation générale des composants du réseau moyenne tension et des types de défauts courants qui l'affectent, tels que les défauts monophasés, les défauts biphasés et les courts-circuits. Les causes potentielles de ces pannes ainsi que leur impact sur le système électrique sont également mises en lumière. Puis, nous examinons les méthodes de protection employées, notamment les divers dispositifs tels que les disjoncteurs, les relais de protection et les systèmes de mise à la terre. Une analyse des stratégies de coordination entre ces dispositifs est menée afin d'assurer une réponse efficace et rapide en cas de dysfonctionnement, avec l'étude de certains cas pratiques pour illustrer la gestion des pannes sur le terrain. Cette recherche vise à fournir une compréhension approfondie des méthodologies de protection employées et à recommander les meilleures pratiques pour améliorer la fiabilité et la sécurité des réseaux électriques à moyenne tension.

ملخص

يتناول هذا العمل دراسة حول حماية شبكات الكهرباء ذات الجهد المتوسط من الأعطال المختلفة التي يمكن أن تؤثر على السلامة واستمرارية التغذية الكهربائية. تبدأ الدراسة بعرض عام لمكونات شبكة الجهد المتوسط وأنواع الأعطال الشائعة التي تؤثر عليها، مثل الأعطال أحادية الطور، الأعطال ثنائية الطور، والدوائر القصيرة. كما يتم تسليط الضوء على الأسباب المحتملة لهذه الأعطال وتأثيرها على النظام الكهربائي.

بعد ذلك، نتناول تقنيات الحماية المستخدمة، بما في ذلك مختلف أجهزة الحماية مثل قواطع الدوائر، المرحلات الوقائية، وأنظمة التأسيس. يتم إجراء تحليل لاستراتيجيات التنسيق بين هذه الأجهزة لضمان استجابة فعالة وسريعة في حالة حدوث خلل، مع دراسة بعض الحالات العملية لتوضيح إدارة الأعطال على أرض الواقع.

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم فهم عميق لمنهجيات الحماية المستخدمة، وتوصية بأفضل الممارسات لتحسين موثوقية وأمان شبكات الكهرباء ذات الجهد المتوسط.

Les Figures

N°	Les Figures	Page
I-1	le schéma illustré d'un réseau électrique	03
I-2	Schéma d'un alternateur	04
I-3	Lignes aériennes	05
I-4	Lignes souterraines	05
I-5	Réseau HTA radial en simple antenne	07
I-6	Réseau HTA radial en double antenne avec couplage	07
I-7	Réseau HTA radial en double antenne sans couplage	08
I-8	Réseau HTA en boucle fermée	08
I-9	Réseau HTA en boucle fermée	09
I-10	Réseau HTA en double dérivation	09
I-11	Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB	10
I-12	Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB	10
I-13	Le poste HT/MT	11
I-14	Le poste MT/MT	12
I-15	Le poste MT/BT	12
I-16	Le poste de livraison HT ou MT	13

II-1	Chaîne de protection	15
II-2	Les relais électromécaniques	17
II-3	Relais statique	17
II-4	Relais numériques	18
II-5	Protection à temps indépendant	19
II-6	Protection à temps dépendant	19
II-7	Protection différentielle	20
II-8	Plaque signalétique d'un transformateur de courant	22
II-9	transformateur de courant	22
II-10	Transformateurs de tension TP	22
II-11	Les interrupteurs	23
II-12	les Sectionneurs	24
II-13	les Sectionneurs	24
II-14	les parafoudres	25
II-15	Les Disjoncteurs	26

III -1	- Modélisation du court-circuit triphasé selon les composantes symétriques	30
III -2	court-circuit triphasé	30
III -3	Modélisation du court-circuit monophasé selon les composantes symétriques	31
III -4	court- circuit entre phase et terre	31
III -5	: Modélisation du court-circuit biphasé selon les composantes symétriques	32
III -6	Court-circuit biphasé	32
III -7	Modélisation du court-circuit biphasé selon les composantes symétriques	32
III -8	court-circuit biphasé et terre	32
III -9	Système direct	36
III -10	Le système inverse	37
III -11	Le système homopolaire	37

III -12	Système de trois vecteurs	38
III -13	Schéma équivalent d'un réseau sur défaut à la terre	38
III -14	Courant de défaut capacitif sur réseau isolé	39
III -15	Réalisations de mise à la terre pour neutre accessible : résistance entre neutre et terre	40
III -16	Réalisation de mise à la terre pour neutre accessible	41
III -17	Défaut à la terre dans un réseau avec réactance de compensation à la terre	42
III -18	Défaut à la terre dans un réseau à neutre direct à la terre	42

Tableau

N°	Tableau	Page
III -1	Synthèse des caractéristiques des neutres	39

N°	Les Figures	Page
IV-1	Poste source RAHYET	46

N°	Tableau	Page
IV-1	Caractéristique des disjoncteurs obtenus	52
IV-2	Caractéristique des disjoncteurs au niveau du poste	52

Sommaire

Introduction générale.....	2
CHAPITRE I Généralité sur les réseaux Électrique	
I-1-Introduction :.....	3
I-2 STRUCTURE DE RESEAU ELECTRIQUE :.....	3
I-2-1 Production d'énergie électrique :.....	4
I-2-2-Réseau de transport :.....	5
I-2-3-Réseaux d'interconnexion :.....	5
A- lignes aériennes :.....	5
B- Lignes souterraines :	5
I-2-4- Les réseaux de répartition :	6
I-2-5- Les réseaux de distribution :.....	6
I-3-ARCHITECTURE DES RESEAUX HTA :.....	6
I-3-1- les niveaux de tension :	6
I-3-2-Structure des réseaux HTA :	7
I-3-2-1-Radial en simple antenne :.....	7
I-3-2-2-radial en double antenne avec couplage :.....	7
I-3-2-3-radial en double antenne sans couplage :	8
• Les réseaux bouclés	8
• Boucle ouvert :.....	9
• en double dérivation :.....	9
I-4-Architecture des postes de livraison HTB :.....	10
I-4-1-simple antenne :	10
I-4-2-Double antenne :	10
I-5-Les postes sur les réseaux MT :	Erreur ! Signet non défini.
I-6- Conclusion	13
Chapitre II : Protection d'un réseau MT	
II-1 Introduction :.....	15
II-2 Système de protection :.....	15
II-2-1Définition :.....	15
II-2-2Rôle d'un système de protection :	16
II-2-3 Qualité d'un système de protection :	16
II-3 - Les relais de protection :	16
II -3-1) - Définition :.....	16
II-3-2) - Les types des relais :	17
II-4 Les différents types de protections :.....	18

II-5 Les différentes techniques :	21
• La sélectivité ampérométrique :	21
• La sélectivité logique :	21
• La sélectivité chronométrique :	21
• La sélectivité de distance :	21
• La sélectivité différentielle :	21
II-6 Les équipements de mesures :	21
II-6 -1 Les Transformateurs :	21
II-6 -1-1 TC mesure et protection :	21
II-6 -1-2 Transformateurs de tension TP :	22
II-7 Appareillage de protection :	23
II-7-1 Les interrupteurs :	23
II-7-2-Sectionneurs :	24
II-7-3-Les fusibles :	24
II-7-4-Les parafoudres :	25
II-7-5-Les Disjoncteurs :	25
II-7-CONCLUSION :	26

CHAPITRE III Les types des défauts

III-1 Introduction :	28
III -2 Définition d'un défaut :	28
III -3 Différents types de défauts :	28
III -3-1 Surcharges :	28
III -3-2 Les courts-circuits :	28
III -3-2-1Par leur origine :	28
III -3-2-2-Leurs durées :	28
III -3-2-3-Leurs emplacements :	29
III -3-2-4 -Les types des courts-circuits :	29
• Court-circuit triphasé entre conducteurs de phase :	29
• Court-circuit monophasé entre conducteur de phase et terre :	30
▪ Court-circuit biphasé entre conducteurs de phase :	31
▪ Court-circuit biphasé entre conducteurs de phase et terre :	32
III -3-2 -5-Les causes et les conséquences des courts-circuits:	33
A -court-circuit entre phases :	33
B-Défaut phase-terre :	33
II-3-3 La surtension :	34
III -3-4 Le déséquilibre :	34
III -4 Les raisons des défauts :	34

III -5-Utilisation des composantes symétriques pour le calcul de courant de court-circuit :	35
III -5-1-Composantes symétriques :	35
III -5-1-1-Constructions des composantes symétriques :	35
a-Système direct :	35
b- Le système inverse :	35
c- Le système homopolaire :	36
III -7-Les mises à la terre du neutre :	37
III -7-1- Impédance de mise à la terre :	37
III -7-2- Neutre isolé :	38
III -7-3- Mise à la terre par résistance :	39
III -7-4- Mise à la terre par réactance faible :	39
III -7-5- Mise à la terre par réactance de compensation :	40
III -7-6- Neutre direct à la terre :	41
III -8- Conclusion	42

Chapitre IV Application

Introduction :	44
IV-1) Remarques de terrain lors du stage :	44
IV-2) Description du poste simplifié de RAHAYET« 60 kV / 30 kV » :	44
IV-3) Données techniques :	44
IV-4) Méthode de calcul :	45
IV-5) Valeurs des impédances :	45
IV-5-1) Composantes directs :	45
IV-5-1) Composantes homopolaires :	46
IV-6) Valeurs des courants de court-circuit sur le jeu de barre 30kV :	46
IV-6-1) Calcule de courant de court- circuit triphasé :	46
IV-6-2) Calcule de court-circuit monophasé :	47
IV-7) Valeurs des courants de court-circuit sur le jeu de barre 60 kV :	48
IV-7-1) Courant de court-circuit triphasé :	48
IV-8) Interprétation:	49
IV-9) Choix des disjoncteurs:	49
IV-9-1) Disjoncteur au niveau de tension 30 kV :	50
IV-9-2) Disjoncteur au niveau de tension 60 kV :	50
IV- 10) Les caractéristiques des disjoncteurs :	50
IV-10-1) Valeurs obtenues:	51
IV-10-2) Valeur normalisée:	51
IV-11) Analyse des résultats et recommandations techniques :	51
IV-11-1) Interprétation:	51
IV-11-2) Suggestions techniques pour l'amélioration :	52
IV-12) Conclusion	52

Conclusion générale.....	54
---------------------------------	-----------

Introduction générale

Introduction Générale

La production d'énergie électrique repose sur l'utilisation de ressources primaires telles que l'énergie solaire, éolienne et d'autres sources.

Les centrales électriques sont essentielles à la production d'énergie, assurant la génération de l'électricité qui alimente nos foyers, industries et infrastructures. Une fois produite, cette énergie est acheminée à travers des réseaux de distribution sophistiqués, garantissant son accès aux consommateurs finaux de manière efficace et sécurisée. La préservation de ces réseaux est cruciale, car ils assurent l'approvisionnement énergétique des consommateurs, notamment face à une demande croissante dans divers secteurs.

Pour garantir un fonctionnement optimal, il est essentiel de maintenir la stabilité des réseaux, d'atteindre une efficacité économique et de veiller à la continuité du service. Cependant, des erreurs et des incidents imprévus peuvent survenir, entraînant des conséquences graves pour les entreprises et les consommateurs. Il est donc essentiel de détecter rapidement et avec précision les pannes du réseau afin de garantir la continuité des services et d'éviter tout impact négatif.

Cela a conduit au développement de solutions technologiques innovantes, comme les relais numériques basés sur des algorithmes avancés, qui améliorent considérablement la gestion des problèmes techniques dans les réseaux électriques.

Dans le cadre de cette étude, un stage a été effectué à Sonelgaz, entreprise nationale de distribution d'électricité et de gaz située à Biskra. L'objectif était d'explorer les méthodes de protection des réseaux de distribution d'électricité.

Ce travail a été structuré en quatre chapitres comme suite :

- Le premier chapitre sur Généralité sur les réseaux Électrique.
- le deuxième chapitre sur de la Protection d'un réseau MT.
- Dans le troisième chapitre, nous avons abordé les types des défauts.
- Et dans le quatrième et dernier chapitre, qui est la partie pratique, nous avons abordé les courants de court-circuit et le choix des disjoncteurs électriques.

CHAPITRE I

Généralité sur les réseaux

Électrique

I-1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons explorer les principes de base des réseaux électriques et définir les principaux composants qui les constituent afin d'en approfondir la compréhension.

I-2 STRUCTURE DE RESEAU ELECTRIQUE :

Le principal objectif d'un réseau électrique est de satisfaire la demande des consommateurs de manière économique. Pour ce faire, il est essentiel de maintenir en permanence l'équilibre suivant :

$$\text{Production} = \text{Consommation} + \text{Pertes}$$

L'idée principale est de contrôler la tension afin de garantir l'efficacité du transport et de répondre aux besoins des utilisateurs en toute sécurité.

Cette opération repose sur la gestion des niveaux de tension pour réduire les pertes d'énergie pendant le transport et garantir une fourniture d'électricité sûre et efficace, des centrales de production aux utilisateurs finaux. [17]

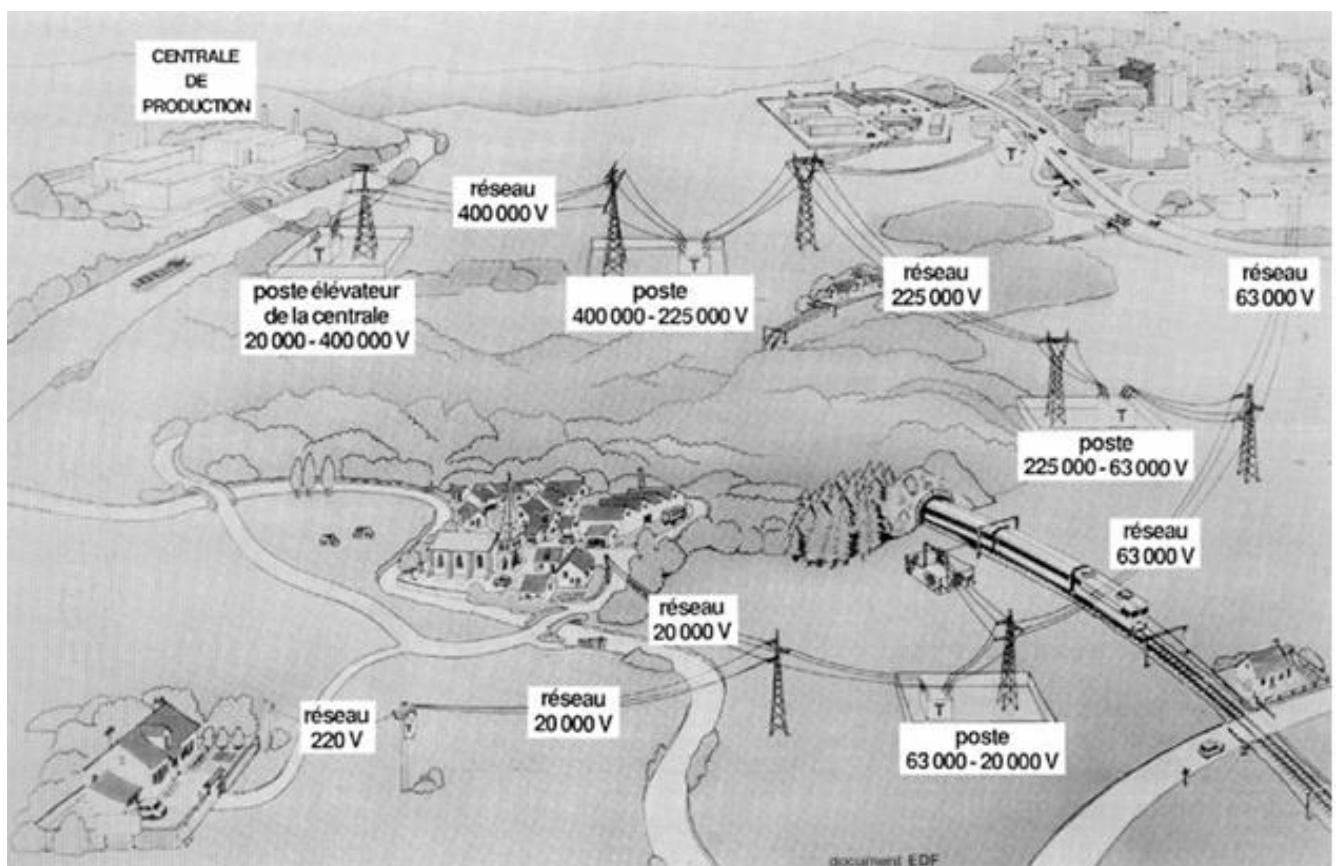


Fig. I-1 [17] : le schéma illustré d'un réseau électrique

I-2-1 Production d'énergie électrique :

Les centrales électriques, qu'elles soient nucléaires, hydrauliques, thermiques ou éoliennes, ont pour mission de convertir l'énergie cinétique en électricité. Ce processus repose sur un alternateur composé d'un rotor puissant, qui joue le rôle d'un aimant, tournant à l'intérieur d'un stator contenant des fils de cuivre. Ce mouvement génère un champ électromagnétique qui libère des électrons, créant ainsi un courant électrique.

Le courant produit est ensuite acheminé via des lignes de transport vers les régions où l'électricité est nécessaire. Pour mettre en action le rotor de l'alternateur, une turbine de grande taille est activée grâce à une source d'énergie adaptée. Selon le type de centrale, cette énergie peut être issue du flux d'eau (centrale hydraulique), de la vapeur sous pression (centrale thermique ou nucléaire) ou du vent. [21]

DYNAMO .

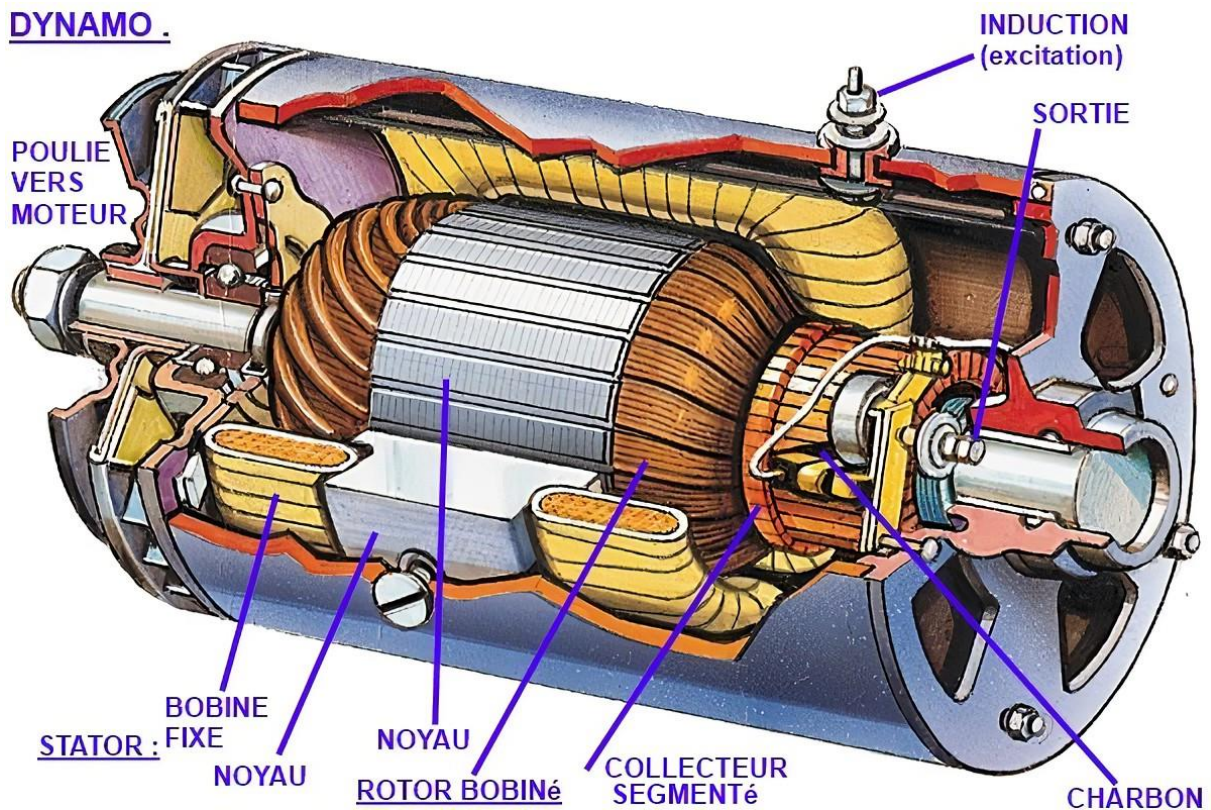


Figure I-2 [21] : Schéma d'un alternateur

I-2-2-Réseau de transport :

La mission de ces réseaux consiste à recueillir l'énergie générée par les grandes centrales et à la transporter vers les régions où elle est consommée.

Les réseaux de transport d'électricité se composent principalement de lignes à très haute tension et haute tension.

I-2-3-Réseaux d'interconnexion :

Les réseaux jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement en électricité des différentes régions en permettant l'échange d'énergie entre elles, et même avec les pays voisins, grâce aux réseaux d'interconnexion qui assurent la liaison entre les centres de production.

Le transport de l'énergie électrique se fait au moyen de :

A- lignes aériennes :

Une ligne aérienne est composée de pylônes, de câbles conducteurs, de câbles de garde et d'isolateurs.



Figure I-3 Lignes aériennes

B- Lignes souterraines :

Les lignes électriques souterraines sont constituées de câbles protégés par un conduit enterré dans le sol. L'enfouissement des lignes à très haute tension, de 400 000 volts, représente un défi technique et financier considérable. Ce processus entraîne une perte d'énergie pendant le transport, nécessitant l'installation de stations de compensation tous les 15 à 20 kilomètres, chacune occupant une superficie importante de plusieurs hectares. [18]



Figure I-4 Lignes souterraines

I-2-4- Les réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition à haute tension servent d'intermédiaires essentiels entre les réseaux de transport et ceux de distribution. L'énergie y est principalement injectée par le réseau de transport, grâce à des transformateurs, mais aussi par des centrales électriques fonctionnant à moyenne tension. [20]

I-2-5- Les réseaux de distribution :

Les réseaux de distribution électrique sont alimentés par des tensions inférieures à 63 kV et intègrent des postes de transformation haute tension/basse tension. Ces infrastructures permettent de répondre aux besoins de nombreux consommateurs en acheminant l'électricité via des lignes à moyenne tension adaptées à la demande.

▪ Réseaux de distribution à moyenne tension :

- HTA (30 et 10 kV le plus répandu),
- Neutre à la terre par une résistance,
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

▪ Réseaux de distribution à basse tension :

- BTA (230 / 400 V),
- Neutre directement à la terre,
- Réseaux de ces : type radial, maillés et bouclés. [3]

I-3-ARCHITECTURE DES RESEAUX HTA :

La conception d'un réseau de distribution électrique industriel varie en complexité selon le niveau de tension, la puissance requise et le degré de fiabilité nécessaire de l'approvisionnement. Nous allons identifier les différents postes de livraison HTB et HTA, ainsi que la structure des réseaux HTA et BT

I-3-1- les niveaux de tension :

- HTB pour une tension composée supérieure à 50 kV
- HTA une tension composée comprise entre : 1 kV et 50 kV
- BTB pour une tension composée comprise entre : 500 V et 1 kV
- BTA pour une tension composée comprise entre : 50 V et 500 V
- TBT pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V
- HT pour une tension composée comprise entre : 100 V et 1000 V
- MT pour une tension composée comprise entre : 1000 V et 35 kV
- BT pour une tension composée comprise entre : 100 V et 1000 V

I-3-2-Structure des réseaux HTA [7] :

Les structures des réseaux haute tension (HTA) sont soumises à des normes techniques et économiques qui permettent d'alimenter les panneaux secondaires et les transformateurs de type BT/HTA. Plus ces réseaux sont complexes, plus les coûts d'investissement et de l'énergie électrique augmentent.

I-3-2-1-Radial en simple antenne :

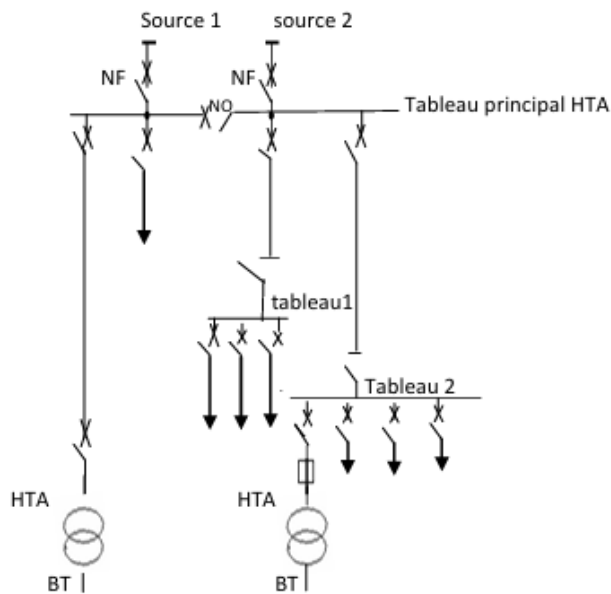


Figure I-5 : Réseau HTA radial en simple antenne

- les postes sont alimentés par une seule source, parce que il n'y pas solution de dépannage.
- cette structure est préconisée lorsque les exigences de disponibilité sont faibles.

I-3-2-2-radial en double antenne avec couplage :

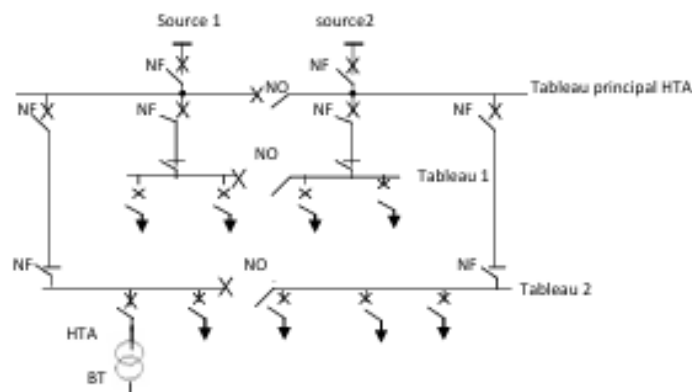


Figure I-6 : Réseau HTA radial en double antenne avec couplage

- Le poste est alimenté par 2 sources avec couplage. En fonction normal, Les disjoncteurs de couplage sont ouverts.
- Chaque ½ de barres peut être dépanné et être alimenté par l'une ou l'autre des sources.

I-3-2-3-radial en double antenne sans couplage :

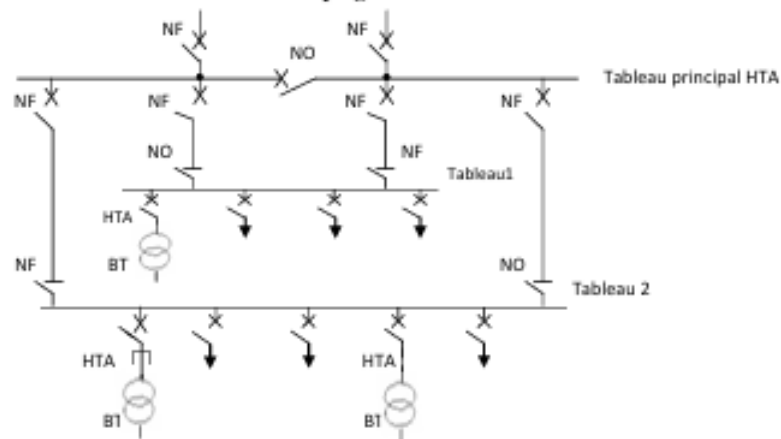


Figure I-7 : Réseau HTA radial en double antenne sans couplage

- le poste est alimenté par 2 sources sans couplage, l'une en secours de l'autre
- la disponibilité est bonne.
- **Les réseaux bouclés**

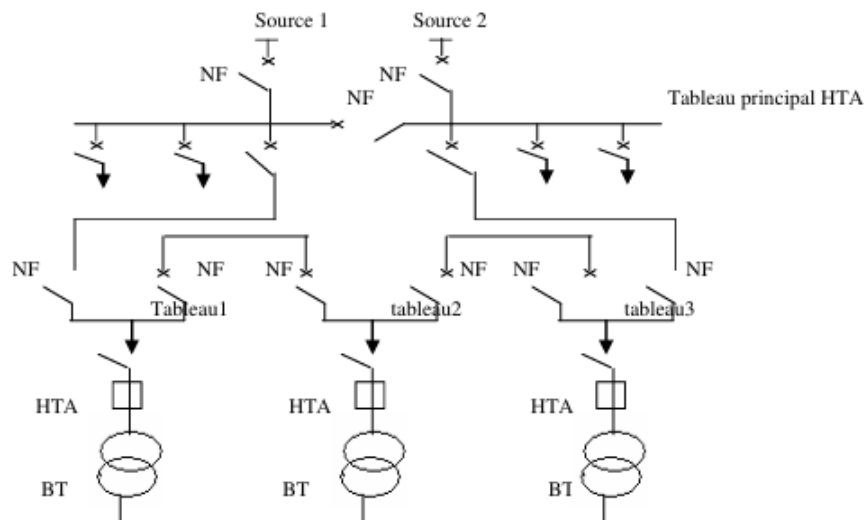


Figure I-8 : Réseau HTA en boucle fermée

- tous les appareils de coupure de la boucle sont des disjoncteurs.
- les jeux de barre peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources.
- Le système de protection permet d'éviter les coupures d'alimentation en cas de défaut, ce qui le rend plus performant que le cas de la boucle ouverte puisqu'il assure la continuité de la fourniture électrique. Cependant, cette solution est très coûteuse, car elle requiert des disjoncteurs dans chaque tableau ainsi qu'un système de protection plus sophistiqué.

- **Boucle ouvert :**

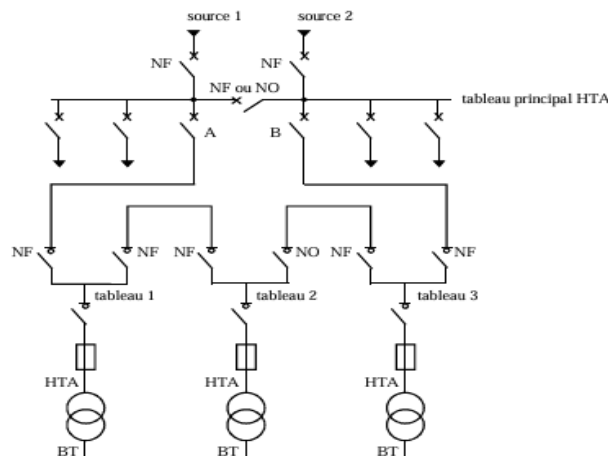


Figure I-9 : Réseau HTA en boucle fermée

- Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteurs.
- Les appareils de coupure des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est ouverte (sur la figure, elle est ouverte au niveau du tableau 2).
- Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources.
- Un défaut sur un câble ou la perte d'une source est compensé par une reconfiguration de la boucle (voir § 10.1.7.1 du Guide des protections).
- Cette reconfiguration entraîne une coupure d'alimentation de quelques secondes si un automatisme de reconfiguration de boucle est installé. La coupure dure plusieurs minutes, voire des dizaines de minutes, si la reconfiguration est effectuée manuellement par le personnel d'exploitation.
- **en double dérivation :**

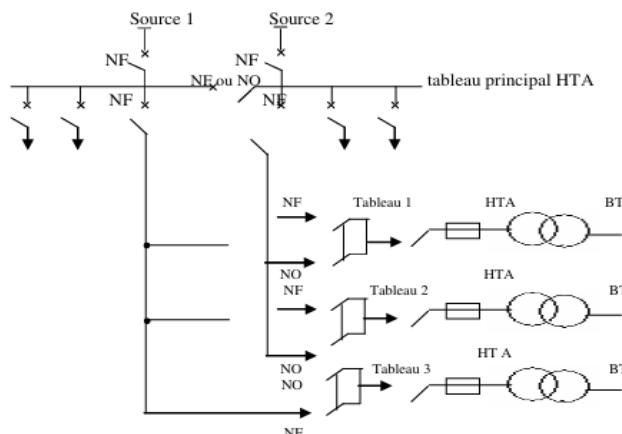


Figure I-10 : Réseau HTA en double dérivation

- les postes 1 et 2 et 3 peuvent être dépannés être par l'une ou l'autre des sources indépendamment.
- une très bonne disponibilité.

I-4-Architecture des postes de livraison HTB :

Ils concernent généralement la puissance supérieure à 10 MVA, les schémas comme suite :

I-4-1-simple antenne :

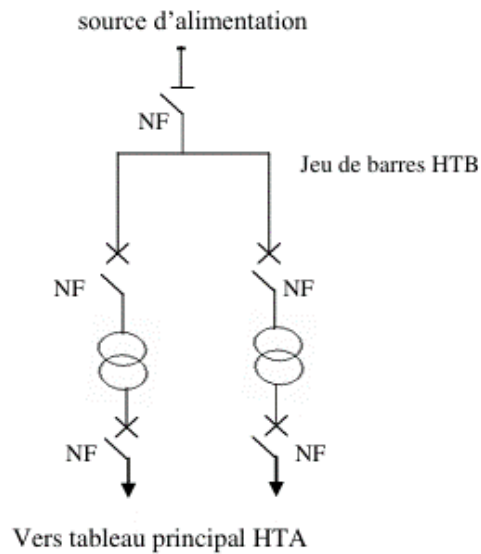


Figure I-11 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB

- **Avantage** : Coût minimal, simplicité
- **Inconvénient** : Disponibilité faible, Moins de sécurité

I-4-2-Double antenne :

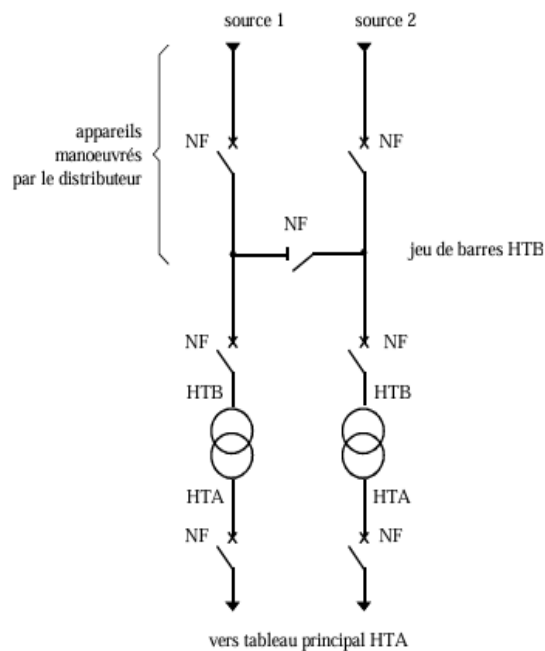


Figure I-12 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB

Mode d'exploitation :

Situation normale : Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage. Les transformateurs sont donc alimentés simultanément par les deux sources.

Situation perturbée : En cas de perte d'une source, l'autre prend en charge l'intégralité de l'alimentation électrique.

Avantage :

- Bonne disponibilité, chaque source pouvant alimenter l'ensemble du réseau.
- Possibilité de maintenance du jeu de barres tout en conservant un fonctionnement partiel.

Inconvénients :

- Solution plus onéreuse que l'alimentation par une seule antenne.
- En cas de maintenance du jeu de barres, seul un fonctionnement partiel est possible.

I-5 - Les postes dans les réseaux MT

Un poste ou ouvrage est une unité physique définie par sa position et son rôle dans les réseaux électriques. Sa fonction principale est d'assurer la transition entre deux niveaux de tension et/ou de fournir l'alimentation à l'utilisateur final.

I-5-1 - Le poste HT/MT dans la distribution publique :

Ce type d'ouvrage est présent dans toutes les infrastructures électriques d'un pays. Il se situe entre le réseau de répartition et le réseau de distribution MT. Son rôle est d'assurer la transformation de la HT (≈ 100 kV) en MT (≈ 10 kV). Son schéma standard comprend deux arrivées HT, deux transformateurs et entre 10 et 20 départs MT, qui alimentent des lignes aériennes ou des câbles souterrains.

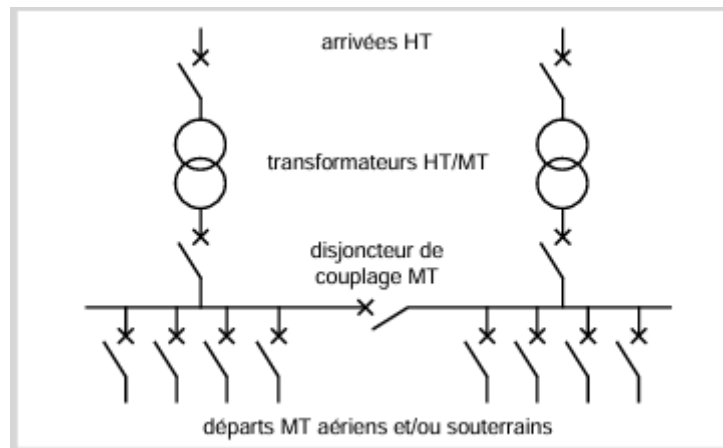


Figure I-13 : Le poste HT/MT

I-5-2- Le poste MT/MT en distribution publique :

Dans Ce type de poste vise à assurer la distribution des départs en moyenne tension (MT) en aval des postes haute tension/moyenne tension (HT/MT). Il ne comporte aucun transformateur et se compose de deux arrivées MT ainsi que 8 à 12 départs MT. Ce type d'installation est utilisé dans certains pays comme l'Espagne, la Belgique et l'Afrique du Sud.

Quant aux postes MT/MT, ils permettent la transition entre deux niveaux de moyenne tension et intègrent des transformateurs. Ces postes sont nécessaires dans certains pays qui utilisent deux niveaux successifs de tension moyenne, comme la Grande-Bretagne, où le réseau MT est divisé en 11 kV et 33 kV. Leur schéma type ressemble à celui des postes HT/MT.

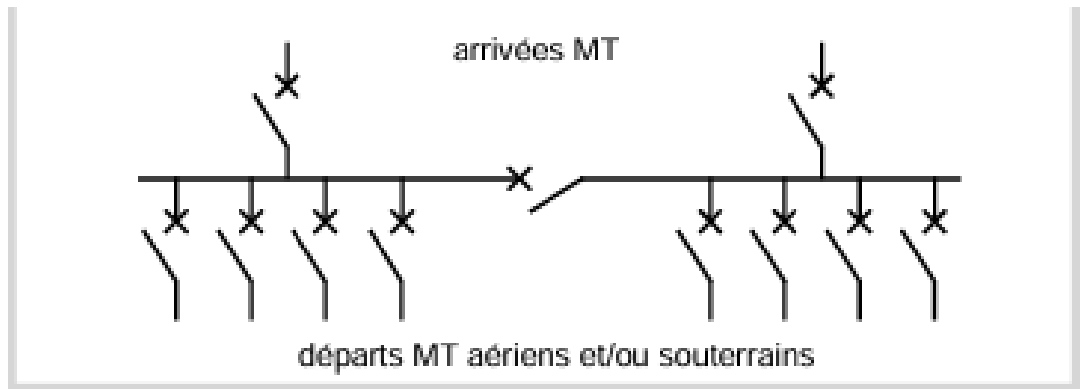


Figure I-14 : Le poste MT/MT

I-5-3- Le poste MT/BT en distribution publique :

Dans les systèmes moyens tension (MT), l'utilisation de l'interrupteur a remplacé le disjoncteur comme appareil principal. Ces postes sont constitués de quatre éléments essentiels :

- L'équipement de connexion MT, permettant le raccordement au réseau amont.
- Le transformateur MT/BT, assurant la conversion de la moyenne tension en basse tension (BT).
- Le tableau de distribution BT, servant de point de raccordement pour le réseau aval.
- Une enveloppe extérieure préfabriquée, souvent métallique ou en béton, qui regroupe et protège l'ensemble des équipements.

Ces évolutions visent à améliorer la fiabilité et la performance du réseau électrique.

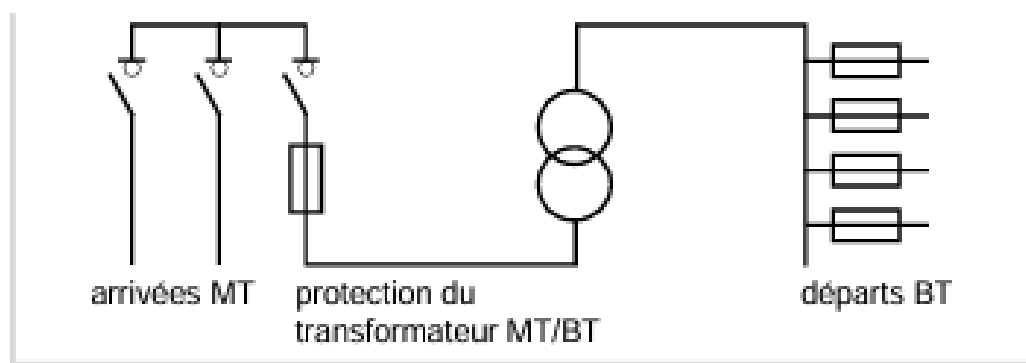


Figure I-15 : Le poste MT/BT

I-5-4- Le poste de livraison à un abonné HT ou MT :

Ces ouvrages assurent le passage de la distribution publique à la distribution privée. Ils permettent le raccordement

- au réseau de répartition HT d'un abonné à grande consommation ($\approx$ MVA) via un poste HT/MT.
- au réseau de distribution MT d'un abonné à moyenne consommation ($\approx$ 100 KVA) via un poste MT/BT.

Le choix de la tension de raccordement au réseau de distribution publique pour un abonné dépend essentiellement de :

- la qualité du réseau BT, en particulier de sa limite en puissance (tenues électriques).
- la politique du distributeur, en particulier de la tarification qu'il propose, car pour l'abonné elle définit l'intérêt économique de l'énergie électrique, en concurrence avec les autres sources d'énergie. [8][20]

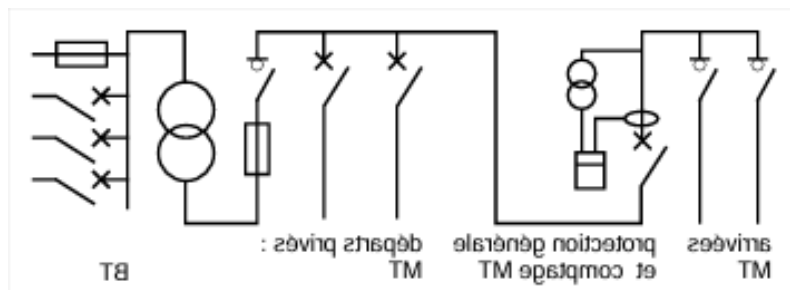


Figure I-16 : Le poste de livraison HT ou MT

I-6- Conclusion

Nous avons abordé dans ce chapitre les concepts généraux du réseau électrique ainsi que les structures principales du réseau de distribution HTA/HTB, en mettant en évidence leurs avantages et inconvénients. Par conséquent, il est essentiel de mettre en place des moyens de protection adaptés et de les surveiller en permanence afin d'assurer l'efficacité et la stabilité du réseau électrique.

Chapitre II

Protection d'un réseau MT

II-1 Introduction :

Les réseaux électriques font face à des défis techniques et économiques qui les exposent aux pannes, en plus des effets des facteurs naturels. Lorsqu'une anomalie survient, les dispositifs de protection analysent le réseau pour détecter les zones affectées et isoler rapidement la partie endommagée, tout en garantissant la continuité du service dans les parties intactes.

Ces mécanismes jouent un rôle essentiel dans la préservation des équipements et le maintien de la qualité de distribution pour les consommateurs.

II-2 Système de protection [1] :

II-2-1 Définition :

Un système de protection repose sur une sélection cohérente des éléments de sécurisation et une conception adaptée aux spécificités du réseau.

Les composant de ce système est :

Capteurs de mesure : le Capteurs collectent les données nécessaires à la détection des anomalies.

Relais de protection : Ils surveillent en permanence l'état électrique du réseau et déclenchent les commandes d'isolement des parties défectueuses via le circuit de coupure.

Organes de coupure : En cas de défauts, les interrupteurs, les disjoncteurs et les fusibles sont utilisés pour y remédier.

Cette organisation assurée la sécurité et le bon fonctionnement dans le réseau électrique.

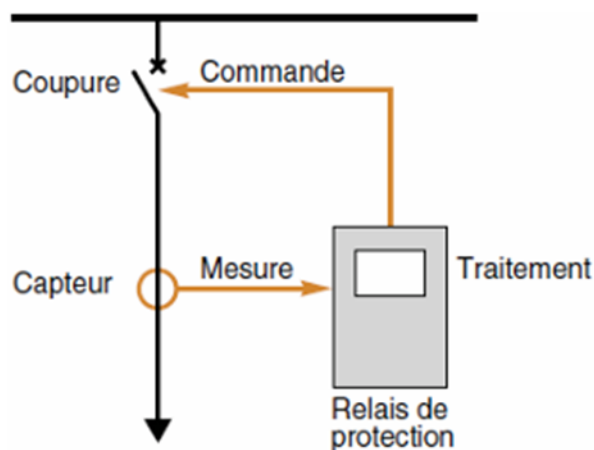


Fig. II-1 : Chaîne de protection

II-2-2 Rôle d'un système de protection :

Un système de protection joue un rôle essentiel dans la surveillance des éléments du réseau et des installations. Lorsqu'un défaut électrique survient, il intervient en mettant hors tension la partie concernée, tout en préservant le reste du réseau en fonctionnement. Cette action permet de limiter les dommages causés par un fonctionnement prolongé en présence d'un défaut, garantissant ainsi une meilleure qualité et une continuité de service.

Ce système remplit trois fonctions principales :

- Protéger tout le système pour maintenir la continuité des fournitures ;
- Réduire les dommages et les coûts de réparation en détectant rapidement les défaillances.
- Assurer la sécurité des personnes face aux risques électriques.

II-2-3 Qualité d'un système de protection :

Pour garantir l'efficacité d'un système de protection, celui-ci doit posséder plusieurs caractéristiques essentielles sont :

- **Rapidité** : une élimination rapide des défauts grâce à un temps de réponse optimisé des protections et à l'ouverture rapide des disjoncteurs modernes.
- **Sélectivité** : une capacité à différencier les situations nécessitant une intervention en fonction du courant, du temps ou d'une logique spécifique.
- **Sensibilité** : une détection précise des courants de court-circuit, qu'ils soient proches du seuil maximal fixé ou difficiles à estimer au niveau minimal.
- **Fiabilité** : un fonctionnement rigoureux face aux défauts, évitant à la fois les erreurs de non-déclenchement et les déclenchements intempestifs.
- **Composition du système de protection** : il intègre des organes de mesure (TC/TP), des dispositifs de comparaison (relais) et des mécanismes d'exécution des manœuvres.

II-3 - Les relais de protection :

II -3-1) - Définition :

Les relais de protection sont des dispositifs conçus pour recevoir un ou plusieurs signaux d'information, à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température, ...etc.), et le transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance, Donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc.

Un relais de protection détecte l'existence de conditions anormales par la surveillance continue, détermine quels disjoncteurs ouvrir et alimente les circuits de déclenchement.

II-3-2) - Les types des relais :

Un relais de protection électrique, elle partagé en trois types :

A) - Les relais électromécaniques :

Ce relais est basé sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par des variables électriques du réseau via des transformateurs de courant et de tension. Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur (points de réglage)

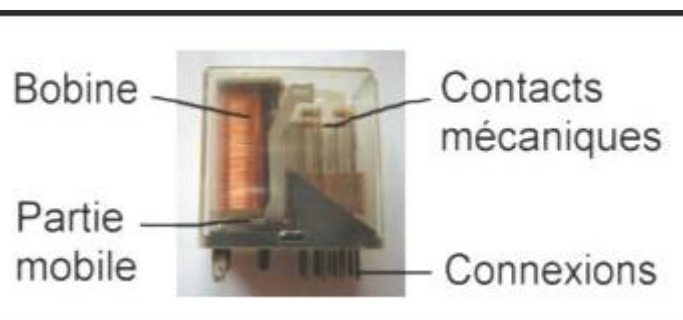


Fig. II-2 : Les relais électromécaniques

B) - Les Relais statique :

Le développement de l'électronique a poussé les protections vers l'utilisation des composants électroniques discrets et les relais statiques. Ces protections, apparues sur le marché dans les années 1970, reposent sur la conversion des variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de courant et de tension, en signaux électriques de faible tension. Ces signaux sont ensuite comparés à des valeurs de référence (points de réglage) afin d'assurer une protection optimale.



Fig. II-3 : Relais statique

C - Les Relais numériques :

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 reposent sur le principe de conversion des variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible tension. L'application de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer ce dernier en vecteurs, facilitant ainsi le traitement des données par des algorithmes de protection adaptés au type de protection souhaité. En outre, ils sont équipés d'un écran d'affichage à cristaux liquides sur la face avant pour le fonctionnement local. [3]



Fig. II-4 : Relais numériques

II-4 Les différents types de protections [9] :**II-4 -1 La protection ampérométrique :**

Les protections ampérométriques mesurent la valeur de courant de phase ou de terre. C'est pourquoi il existe des protections à maximum de courant phase et des protections à maximum de courant terre. Ces deux types de protections ampérométriques peuvent aussi être munis d'une fonction de directionnalité.

II-4 -1-1 Les protections à maximum de courant phase (code ANSI 50 ou 51) :

Ce dispositif de protection sert à détecter les surintensités pouvant affecter un, deux ou trois phases. Il mesure l'intensité du courant et s'active lorsque celui-ci dépasse le seuil prédéfini sur une ou plusieurs phases, entraînant ainsi le déclenchement du système de protection.

La protection peut être utilisée avec une temporisation qui bloque la commande de déclenchement pendant un temps égal à la temporisation sélectionnée (de fonctionnement). Suivant le calcul de la temporisation en fonction du courant mesuré, il existe des protections à temps indépendant (ou constant) et à temps dépendant (ou inverse).

• Les protections à temps indépendant :

Possèdent une temporisation fixe, qui ne varie pas en fonction de l'intensité du courant. Leur courbe de déclenchement est simple et délimite une zone de fonctionnement, définie à gauche par le seuil de courant (I_S) et en bas par le temps de temporisation (T).

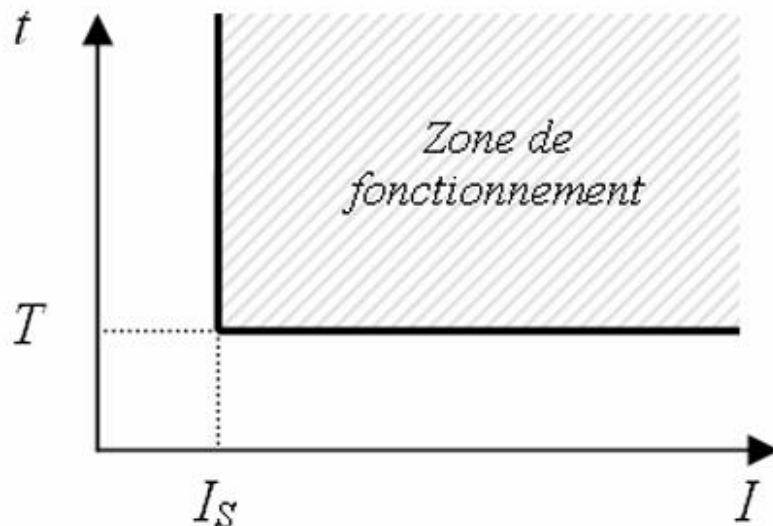


Fig. II-5 : Protection à temps indépendant

La temporisation dans les protections à temps dépendant varie en fonction du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement, ce qui permet une coordination efficace avec les autres systèmes de protection électrique. On l'appelle inverse parce que le retard diminue avec l'augmentation du courant mesuré, à l'image de la fusion d'un fusible en fonction de la surintensité qui le parcourt.

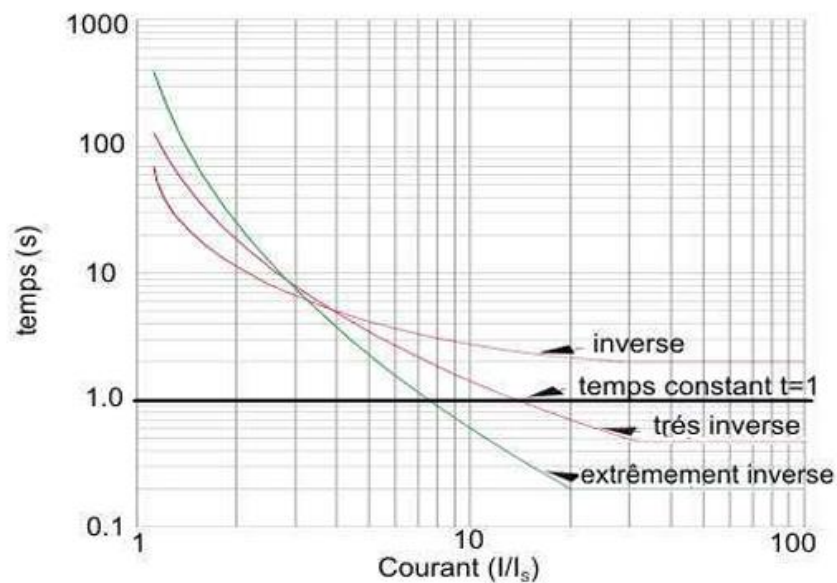


Fig. II-6 : Protection à temps dépendant

II-4 -1-2 Les protections à maximum de courant terre (code 67 N, 67 NC, 50N ou 51N, 50G ou 51G) :

Les protections ampérométriques de terre sont utilisées pour détecter les défauts à la terre. Elles sont activées lorsqu'il y a un courant résiduel qui circule dans la terre. En régime de fonctionnement normal, le courant résiduel $I_{rsd} = I_1 + I_2 + I_3$ est quasi nul. Lors d'un défaut, il donne une image du courant de défaut qui passe par la terre (dans les cas des réseaux sans neutre distribué). Comme la protection de phase, le principe de protection de terre est simple ; si la valeur mesurée de courant dépasse le seuil pendant une durée égale à la temporisation choisie, la protection est activée. Le courant résiduel peut être mesuré par :

- Un transformateur de courant torique entoure les trois conducteurs et mesure le flux magnétique généré. Il est utilisé principalement pour détecter les courants de défaut à la terre en analysant le courant résiduel résultant. $\varphi_{rsd} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$. Ce flux est proportionnel au I_{rsd} parce que chaque flux magnétique composant est proportionnel au courant correspondant.
- trois transformateurs de courant, qui mesurent chaque courant de phase, connectés en parallèle afin d'obtenir la somme vectorielle. Ces protections peuvent être à temps dépendantes ou indépendantes comme les protections à maximum de courant de phase.

II-4 -2 Protection différentielle :

La protection différentielle (ANSI 87B) fait la somme vectorielle par phase des courants entrant et sortant du jeu de barres ; lorsque le jeu de barres est sain, cette somme est nulle ; lorsque le jeu de barres est en défaut, cette somme n'est pas nulle, et on déclenche les disjoncteurs des alimentations du jeu de barres. La protection différentielle est différentielle très sensible et rapide, sélective.

La protection différentielle basse impédance à pourcentage consiste à élaborer la différence directement dans le relais ; le seuil de réglage est proportionnel au courant traversant,

La protection différentielle haute impédance consiste à élaborer la différence au niveau du câblage, une résistance de stabilisation étant insérée dans le circuit différentiel ; le dimensionnement des TC se fait en tenant compte de la saturation, suivant une règle donnée par le constructeur des relais de protection, le seuil de réglage est fixé à environ $0,5 I_n TC$; il est nécessaire d'utiliser des TC de calibres identiques.

[8]

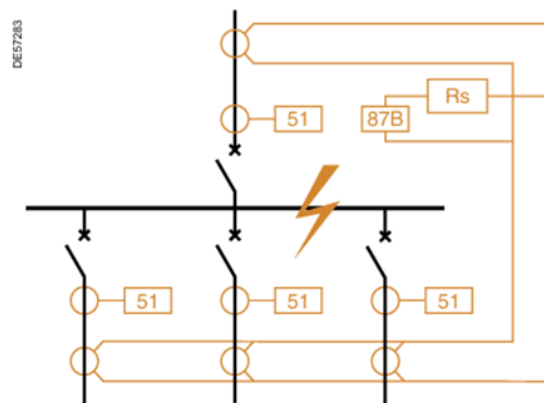


Fig. II-7 : Protection différentielle

II-4 –3 La protection de distance :

On utilise un relais capable de mesurer l'impédance d'une ligne instantanément. En effet, l'impédance d'une ligne électrique est proportionnelle à sa longueur. Le principe de base de la protection de distance implique la division de la tension au point de mesure par le courant mesuré. Par exemple l'impédance apparente ainsi calculée est comparée avec l'impédance de la ligne ZL. Si l'impédance mesurée est inférieure à ZL (soit de 0 à 100 %), on suppose qu'il y a un défaut sur la ligne entre le relais et l'extrémité de la ligne ainsi protégée. Dans le cas des réseaux maillés, on peut utiliser des protections de distance qui protègent chaque ouvrage. [9]

II-5 Les différentes techniques [2] :

Pour assurer cette sélectivité dans un plan de protection MT cinq principes techniques peuvent être utilisés :

- **La sélectivité ampérométrique :**

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

- **La sélectivité logique :**

Cette sélectivité est assurée par un ordre «d'attente logique» d'une durée limitée, émis par la première unité de protection située juste en amont du défaut et devant couper le circuit, vers les autres unités de protection situées plus en amont. Elle permet d'augmenter le nombre d'étages de sélectivité sans allonger les temps de déclenchement en amont. Des fils pilotes sont nécessaires entre les unités de protection.

- **La sélectivité chronométrique :**

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

- **La sélectivité de distance :**

Elle est assurée par un découpage du réseau en zones, et les unités de protection par calcul de l'impédance "aval", peuvent localiser dans quelle zone est situé le défaut.

- **La sélectivité différentielle :**

Elle est assurée par un découpage du réseau en zones indépendantes, et la détection dans chacune de ces zones d'une différence entre la somme des courants entrant et la somme des courants sortant. Cette technique nécessite une filerie entre les unités de protection situées aux différentes extrémités de la zone surveillée. [2]

II-6 Les équipements de mesures :**II-6 -1 Les Transformateurs :****II-6 -1-1 TC mesure et protection :**

TC mesure et protection Les transformateurs de courant sont utilisés pour fournir l'information aux « relais » de protection et/ou de mesure du courant, de la puissance, de l'énergie. Pour cela ils doivent délivrer un courant secondaire proportionnel au courant primaire qui les traverse. Ils doivent donc être adaptés aux caractéristiques du réseau : tension, fréquence et courant. Ils sont définis par leur rapport de

transformation, leur puissance et leur classe de précision. Leur classe de précision (précision en fonction de la charge du TC, et de la surintensité) est choisie en fonction de l'utilisation.

Un TC de protection doit saturer suffisamment haut pour permettre une mesure assez précise du courant de défaut par la protection dont le seuil de fonctionnement peut être très élevé. On demande donc aux capteurs de courant un Facteur Limite de Précision (FLP), en général assez important. A noter que le « relais » associé doit être capable de supporter des surintensités importantes.

Caractéristiques tension du réseau
Tension assignée : 17,5 kV
Tenue à fréquence industrielle : 38 kV 1 mn 50Hz
Tenue à l'onde de choc : 95 kV crête

N° de série du TC avec année de fabrication

Caractéristique courant du réseau
 I_n : 25 kA/1 s
 I_{dyn} : 62,5 kA crête

Rapport de transformation

Type de TC

Norme qui définit le TC

Facteur de sécurité (FS)

Facteur limite de précision (FLP)

Classe de précision

Puissance de précision

MERLIN GERIN		Transformateur de courant - current transformer	
n°	9191671	type	RCF 2 / B1
U	17,5/38/95	kv	50 Hz
U _{imp}	25	kv	1 s
U _{10/5}	151 - 152	kv	0,5
U _{10/5}	251 - 252	kv	0,5
I _n	25	ka	1 s
I _{dyn}	62,5	ka	1 s
I _{10/5}	151 - 152	ka	0,5
I _{10/5}	251 - 252	ka	0,5
S	150	VA	0,5
S	250	VA	0,5
S	400	VA	0,5
S	630	VA	0,5
S	1000	VA	0,5
S	1600	VA	0,5
S	2500	VA	0,5
S	4000	VA	0,5
S	6300	VA	0,5
S	10000	VA	0,5
S	16000	VA	0,5
S	25000	VA	0,5
S	40000	VA	0,5
S	63000	VA	0,5
S	100000	VA	0,5
S	160000	VA	0,5
S	250000	VA	0,5
S	400000	VA	0,5
S	630000	VA	0,5
S	1000000	VA	0,5
S	1600000	VA	0,5
S	2500000	VA	0,5
S	4000000	VA	0,5
S	6300000	VA	0,5
S	10000000	VA	0,5
S	16000000	VA	0,5
S	25000000	VA	0,5
S	40000000	VA	0,5
S	63000000	VA	0,5
S	100000000	VA	0,5
S	160000000	VA	0,5
S	250000000	VA	0,5
S	400000000	VA	0,5
S	630000000	VA	0,5
S	1000000000	VA	0,5
S	1600000000	VA	0,5
S	2500000000	VA	0,5
S	4000000000	VA	0,5
S	6300000000	VA	0,5
S	10000000000	VA	0,5
S	16000000000	VA	0,5
S	25000000000	VA	0,5
S	40000000000	VA	0,5
S	63000000000	VA	0,5
S	100000000000	VA	0,5
S	160000000000	VA	0,5
S	250000000000	VA	0,5
S	400000000000	VA	0,5
S	630000000000	VA	0,5
S	1000000000000	VA	0,5
S	1600000000000	VA	0,5
S	2500000000000	VA	0,5
S	4000000000000	VA	0,5
S	6300000000000	VA	0,5
S	10000000000000	VA	0,5
S	16000000000000	VA	0,5
S	25000000000000	VA	0,5
S	40000000000000	VA	0,5
S	63000000000000	VA	0,5
S	100000000000000	VA	0,5
S	160000000000000	VA	0,5
S	250000000000000	VA	0,5
S	400000000000000	VA	0,5
S	630000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	10000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	16000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	40000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	63000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	100000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	160000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	250000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	400000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	630000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1000000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1600000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	2500000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	4000000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	6300000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	100	VA	0,5
S	16000000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	25000000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	400	VA	0,5
S	63000000000000000000000000000000000000000	VA	0,5
S	1000	VA	0,5
S	1600	VA	0,5
S	2500	VA	0,5
S	4000	VA	0,5
S	6300	VA	0,5
S	100	VA	0,5
S	16000	VA	0,5
S	25000	VA	0,5
S	400	VA	0,5
S	63000	VA	0,5
S	1000	VA	0,5
S	1600	VA	0,5
S	2500	VA	0,5
S	4000	VA	0,5
S	6300	VA	0,5
S	100	VA	0,5
S	16000	VA	0,5
S	25000	VA	0,5
S	400	VA	0,5
S	63000	VA	0,5
S	1000	VA	0,5
S	1600	VA	0,5
S	2500	VA	0,5
S	4000	VA	0,5
S	6300	VA	0,5
S	100	VA	0,5
S	16000	VA	0,5
S	25000	VA	0,5
S			



Fig. II-10- Transformateurs de tension TP

II-7 Appareillage de protection :

Les équipements électriques jouent un rôle important dans le contrôle du courant circulant dans les circuits électriques. Ces derniers varient en fonction des défauts rencontrés, parmi lesquels :

II-7-1 Les interrupteurs :

C'est un appareil qui interrompt automatiquement le circuit en cas de problème, mais il ne peut pas gérer le court-circuit. Sa mission est d'assurer l'isolation électrique et de résister aux surcharges.



Fig. II-11- Les interrupteurs

II-7-2-Sectionneurs :

C'est un appareil qui permet de séparer un circuit électrique de sa source.

Il peut constituer un danger pour les personnes et les équipements car il ne dispose pas de la fonctionnalité d'extinction de l'arc électrique.

Il est également capable de retirer toute partie du réseau qui rencontre un dysfonctionnement afin de garantir la protection grâce à un arrêt complet lors de la maintenance. [4]

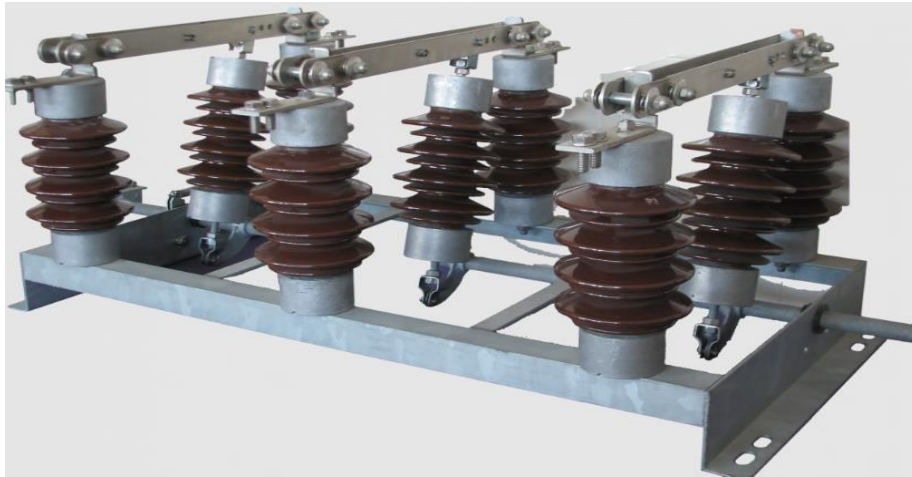


Fig. II-12- les Sectionneurs

II-7-3-Les fusibles :

Les fusibles sont des dispositifs de protection couramment utilisés en raison de leur faible coût par rapport aux autres équipements. Ils servent à protéger contre les surcharges et les courts-circuits.

Ils sont faciles à utiliser, car leur installation ne nécessite pas beaucoup d'effort. Leur principe de fonctionnement repose sur la fusion d'un élément interne calibré, ce qui entraîne une coupure automatique du courant dès que celui-ci dépasse la limite autorisée.



Fig. II-13- les Sectionneurs

II-7-4-Les parafoudres :

Le parafoudre est un semi-conducteur à résistance non linéaire (de plusieurs $M\Omega$ à quelques Ω), en général à l'oxyde de zinc (ZnO), dont les caractéristiques sont bien maîtrisées.

L'utilisation d'un parafoudre ou d'un éclateur n'est efficace que sous certaines conditions d'implantation, et en particulier selon les distances qui le séparent du matériel à protéger et de sa terre; d'où l'importance de la notion. [5]

A- Les parafoudres à résistances variables et éclateurs :

Ce type de parafoudre associe en série des éclateurs et des résistances non linéaires capables de limiter le courant après le passage de l'onde de choc. Après l'écoulement de l'onde de courant de décharge, le parafoudre n'est plus soumis qu'à la tension du réseau. Celle-ci maintient un arc sur l'éclateur, mais le courant correspondant, dit «courant de suite», traverse la résistance dont la valeur est maintenant élevée. Il est donc assez faible, pour ne pas endommager l'éclateur, et être interrompu lors du premier passage à zéro du courant. [6]

B- Parafoudre à oxyde de zinc (Zno) :

Ils sont constitués uniquement de varistances et remplacent de plus en plus les parafoudres à résistances variables et éclateurs. L'absence d'éclateur fait que le parafoudre à ZnO est continuellement conducteur mais, sous la tension nominale du réseau protégé, avec un courant de fuite à la terre très faible (inférieur à 10 mA). [6]



Fig. II-14- les parafoudres

II-7-5-Les Disjoncteurs :

Le disjoncteur est un appareil de protection électrique dont le rôle est d'établir ou d'interrompre des courants normaux ou anormaux.

Le disjoncteur est destiné à la protection des réseaux de distribution et des postes de transformation. Il est doté d'un pouvoir de coupure important, il peut interrompre des courants de court-circuit de 4 à 5

fois le courant nominal sous une tension élevée, en quelques millièmes de secondes. Il est composé de deux éléments principaux :

- Un système de détection.
- Un système de coupure.

Suivant le moyen utilisé pour éteindre l'arc électrique lors de l'ouverture ou de la fermeture du circuit, les disjoncteurs MT et HT peuvent être :

- Disjoncteur à l'huile.
- Disjoncteur à air comprimé.
- Disjoncteur sous vide.
- Disjoncteur à soufflage magnétique. [7]



Fig. II-15-[21 Les Disjoncteurs

II-7-CONCLSION

Dans ce chapitre, nous avons abordé le système de protection et les moyens de protection contre les pannes et les divers défauts qui affectent le fonctionnement et la stabilité du réseau électrique. Nous les avons étudiés en détail, en analysant les types de protection adaptés à chaque cas, les équipements nécessaires, leur principe de fonctionnement, leurs formes ainsi que le choix de l'appareil approprié pour chaque type de défaut.

CHAPITRE III

Les types des défauts

III-1 Introduction :

Les pannes et incidents affectant le fonctionnement des réseaux de distribution électrique varient malgré la diversité des dispositifs de protection. Il est essentiel de connaître les différents types de défaillances, notamment le court-circuit et la surtension. À chaque point du réseau, le calcul des courants de court-circuit est indispensable.

III -2 Définition d'un défaut :

Le défaut est un dysfonctionnement affectant le réseau, pouvant entraver son fonctionnement normal et avoir un impact négatif sur les appareils environnants.

III -3 Différents types de défauts :

III -3-1 Surcharges :

Elles peuvent se produire de deux façons :

- Surcharges normales : Elles produisent en particulier lors de la mise sous tension des transformateurs et appareils électriques divers.
- Surcharges anormales : Elles se produisent lorsque les appareils installés sont trop puissants pour la ligne d'alimentation ou le travail demandé aux machines est exagéré d'où l'échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration des installations. [12]

III -3-2 Les courts-circuits :

Un court-circuit est une liaison accidentelle entre conducteurs, précisée par :

- Son type, qui définit les éléments incriminés : monophasé (entre une phase et la terre ou le neutre), triphasé (entre trois phases), biphasé isolé (entre deux phases), biphasé terre (entre deux phases et la terre).
- Son régime d'établissement : évolution de la forme de son courant dans le temps.
- Son intensité : valeurs maximales et minimales
- Sa durée, variable, car le défaut peut être fugitif ou permanent.
- Son origine, interne au niveau d'un équipement ou externe entre liaisons. [11]

III -3-2-1 Par leur origine [15] :

Dégradation de l'isolement : Conséquence de la chaleur, de l'humidité, du vieillissement des matériaux ou d'une atmosphère corrosive.

Surtension électrique : D'origine interne (due à une manœuvre) ou externe (provoquée par la foudre)

Mécaniques : Rupture de conducteurs ou liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs causée par un câblage défectueux, un outil oublié, la présence d'une branche ou d'un animal.

III -3-2-2 Leurs durées :

- Il existe plusieurs types de défauts, classés en fonction de la durée de mise hors tension de la partie défectueuse. Cette durée dépend de la valeur atteinte par la tension et l'intensité du courant. On distingue :

- **Défauts permanents** : Ils entraînent un déclenchement définitif, nécessitant l'intervention du personnel d'exploitation pour la remise en service. Ces défauts sont souvent dus à des ruptures de conducteurs, des claquages d'isolateurs, etc.
- **Défauts semi-permanents** : Ils disparaissent après une ou plusieurs coupures prolongées du réseau d'alimentation (environ quelques dizaines de secondes), sans nécessiter l'intervention du personnel d'exploitation.
- **Défauts fugitifs** : Ils se résolvent après une brève interruption du réseau d'alimentation (quelques dixièmes de seconde).
- **Défauts auto-extincteurs** : Ils disparaissent spontanément en très peu de temps sans provoquer de déclenchement du réseau. Ce type de défaut est fréquemment observé sur le réseau MT en cas de défaut monophasé.
- **Défauts intermittents** : Ils se répètent à intervalles rapprochés et s'éliminent d'eux-mêmes, comme dans le cas du balancement d'un conducteur sous l'effet d'un vent violent.

III -3-2-3-Leurs emplacements :

- Les défauts qui concernent la partie MT des postes HT/MT, situés en amont de ces disjoncteurs.
- Les anomalies qui surviennent en aval des disjoncteurs protégeant les départs MT concernent directement les réseaux eux-mêmes. Cela inclut les lignes aériennes et les câbles isolés, qui forment les antennes principales et les dérives, ainsi que la section MT des postes MT/BT.

III -3-2-4 -Les types des courts-circuits [16] :

- **Court-circuit triphasé entre conducteurs de phase :**

La valeur du courant de court-circuit triphasé en un point F du réseau est :

$$I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}}$$

Où U désigne la tension entre phases au point F avant l'apparition du défaut et Z_{cc} l'impédance équivalente du réseau amont vue du point de défaut.

Ce calcul est donc simple en principe ; sa complexité pratique résulte de la difficulté à calculer Z_{cc} , impédance équivalente à toutes les impédances unitaires en série et en parallèle des composants du réseau situés en amont du défaut. Ces impédances sont elles-mêmes la somme quadratique de réactances et résistances :

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Une simplification importante consiste en particulier à connaître la puissance de court-circuit S_{cc} au point de raccordement du réseau du distributeur ; on en déduit l'impédance Z_a équivalente en amont de ce point :

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}} \quad I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_a}$$

De même, la source de tension n'est pas unique ; il peut y avoir plusieurs sources en parallèle, en particulier les moteurs synchrones et asynchrones qui se comportent sur court-circuit comme des générateurs.

Le courant de court-circuit triphasé est généralement le courant le plus élevé qui peut circuler dans le réseau.

$$I_d = \frac{E}{Z_d}$$

$$I_i = I_0 = 0$$

$$V_d = V_i = V_0 = 0$$

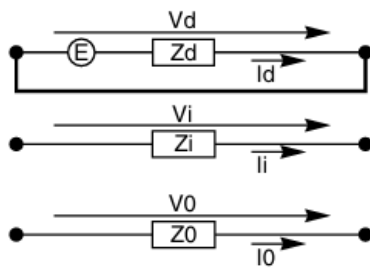


Fig. III -1- Modélisation du court-circuit triphasé selon les composantes symétriques

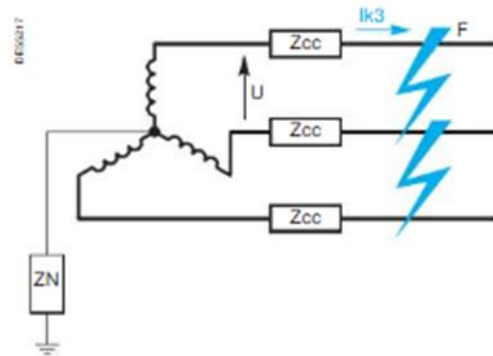


Fig. III -2 :court-circuit triphasé

- **Court-circuit monophasé entre conducteur de phase et terre :**

La valeur de ce courant dépend de l'impédance Z_N située entre le neutre et la terre ; cette impédance peut être quasiment nulle si le neutre est directement mis à la terre (en série avec la résistance de mise à la terre) ou au contraire quasiment infinie si le neutre est isolé (en parallèle avec la capacité phase-terre du réseau).

La valeur du courant de défaut phase-terre est :

- $$IK1 = \frac{\sqrt{3} \times U}{(Z_d + Z_i + Z_0 + 3Z_N)}$$

Ce calcul est nécessaire dans les réseaux où le neutre est relié à la terre par une impédance Z_N , pour déterminer le réglage des protections "de terre" qui doivent intervenir pour couper le courant de défaut à la terre.

Lorsque Z_d , Z_i et Z_0 sont négligeables par rapport à Z_N , alors :

- $$IK1 = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_N}$$

C'est par exemple le cas d'une limitation d' I_{k1} à 20 ampères dans un réseau MT alimenté par un transformateur d'alimentation de forte puissance (10 MVA).

On a:

$$I_d = I_i = I_0 = \frac{E}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3Z}$$

$$V_d = \frac{E(Z_i + Z_0 + 3Z)}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3Z}$$

$$V_i = \frac{-Z_i \times E}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3Z}$$

$$V_0 = \frac{-Z_0 \times E}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3Z}$$

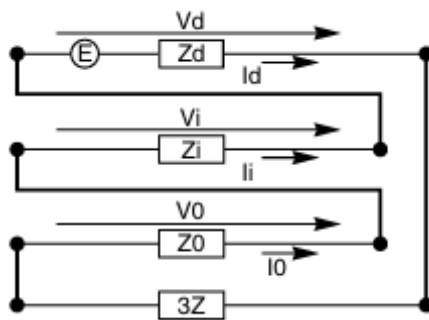


Fig. III -3 : Modélisation du court-circuit monophasé selon les composantes symétriques

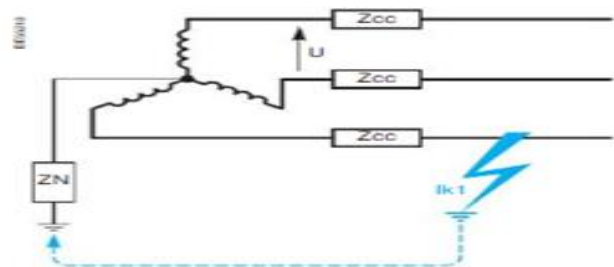


Fig. III -4 : court-circuit entre phase et terre

▪ Court-circuit biphasé entre conducteurs de phase :

La valeur du courant de court-circuit biphasé en un point du réseau est :

$$\bullet \quad I_{K2} = \frac{U}{Z_d + Z_i}$$

Dans le cas d'un réseau alimenté par un transformateur (défaut éloigné des sources), la valeur du courant de court-circuit biphasé en un point du réseau est :

$$\bullet \quad I_{K2} = \frac{U}{2 \times Z_{cc}}$$

Le courant de court-circuit biphasé est alors plus faible que pour le triphasé, dans le rapport de $\sqrt{3}/2$, soit environ 87 %.

Dans le cas de défaut proche d'un générateur ($Z_i \approx Z_d$), le courant peut être supérieur au cas du défaut triphasé.

$$I_d = \frac{E}{Z_d + Z_i + Z}$$

$$I_i = \frac{-E}{Z_d + Z_i + Z}$$

$$I_0 = 0$$

$$V_d = \frac{E(Z_i + Z)}{Z_d + Z_i + Z}$$

$$V_i = \frac{E \times Z_2}{Z_d + Z_i + Z}$$

$$V_0 = 0$$

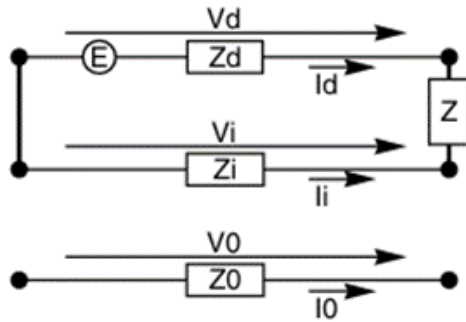


Fig. III -5 : Modélisation du court-circuit biphasé selon les composantes symétriques

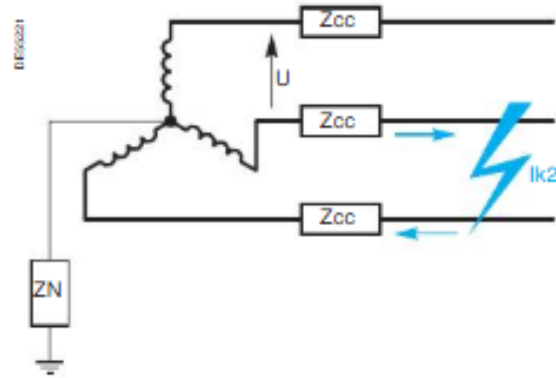


Fig. III -6 : Court-circuit biphasé

▪ Court-circuit biphasé entre conducteurs de phase et terre :

En cas de défaut franc éloigné des sources, la valeur du courant de court-circuit biphasé à la terre est :

$$\bullet \quad I_{KE2E} = \frac{\sqrt{3} \times U}{(Z_d + 2Z_0)}$$

$$I_d = \frac{E(Z_i + Z_0 + 3Z)}{Z_d \times Z_i + (3Z + Z_0) \times (Z_d + Z_i)}$$

$$I_i = \frac{-E(Z_0 + 3Z)}{Z_d \times Z_i + (3Z + Z_0) \times (Z_d + Z_i)}$$

$$I_0 = \frac{-E \times Z_i}{Z_d \times Z_i + (3Z + Z_0) \times (Z_d + Z_i)}$$

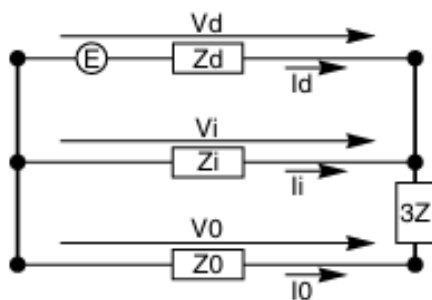


Fig. III -7 : Modélisation du court-circuit biphasé terre selon les composantes symétriques

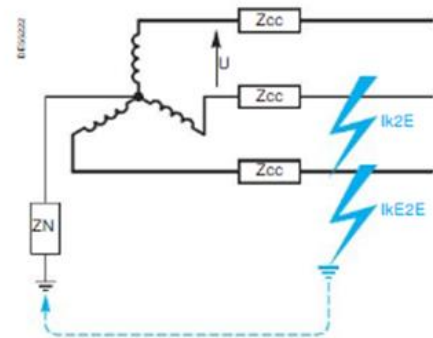


Fig. III -8 : court-circuit biphasé et terre

III -3-2 –5-Les causes et les conséquences des courts-circuits [14] :**A -court-circuit entre phases :****▪ Cause :**

- la dégradation des isolants :
 - Dégradation de la qualité de surface (pollution)
 - Dégradation thermique (température excessive)
 - Décharge partielle dans les vacuoles à l'intérieur des isolants
- la diminution accidentelle des distances d'isolement (présence d'animaux, outils laissés par mégarde sur jeu de barre, contacts entre conducteurs aériens)
- la destruction pour cause extérieure (coup de pelle,etc,,,,,,)
- les surtensions

▪ Conséquences :

- outre les efforts électrodynamiques, des efforts thermiques se développent :
 - Incendie au niveau de l'arc de défaut, échauffement sur le trajet du courant de court-circuit La coupure rapide limite les effets thermiques
 - le défaut modifie les grandeurs électriques du réseau : naissance de creux de tension, le déséquilibre d'échanges d'énergie réactive ect...
 - Les grandeurs électrique ainsi accidentellement modifiées perturbent le fonctionnement des machines du réseau (instabilité) en constituent un danger (surtension)
 - les courants de défaut créent des phénomènes d'induction électromagnétique dans les circuits auxiliaires.

B-Défaut phase-terre :**▪ Cause :**

Ce sont les mêmes que celles développant des courts-circuits phase-phase. Les contacts accidentels ont lieu entre phase et terre ou entre phase et masse.

Les défauts permanents conduisent à une mise hors tension, exception faite sous certaines condition, en régime neutre isolé (ou fortement impédant).

▪ Conséquence :

Les courants de défaut phase-terre sont limités et ne dépassent généralement pas de 1/10 du courant de court-circuit entre phase Les conséquences se résument généralement à :

- élévation en potentiel des masses mettant en jeu la sécurité des personnes, excéder 50v en permanence
- cuisson des prises de terre, points chauds dans les masses, brulures.
- échauffement des circuits magnétiques .le courant de défaut phase-terre sera une machine limité à une vingtaine d'ampères, ce qui évitera des dommages au circuit magnétique.
- échauffement des écrans des câbles
- surtensions développées dans le réseau

II-3-3 La surtension :

La surtension désigne une augmentation anormale de la tension électrique au sein d'un réseau, pouvant provoquer des perturbations et des dommages aux équipements. Elle peut résulter de diverses causes, comme des variations de charge, des défauts de réseau ou des phénomènes externes tels que la foudre.

La notion de surtension dans un réseau est quantifiée par l'amplitude et la forme de l'onde ainsi que par la durée de la perturbation :

- coefficient de surtension, rapport de l'amplitude crête de la tension atteinte à la valeur efficace de la tension de service.
- Surtension permanente, qui se caractérise par une élévation stable de la tension au-dessus de sa valeur nominale sur une longue durée (plus d'une heure).
- surtension transitoire de forme oscillatoire ou non et généralement vite amortie, de courte durée (inférieure à la période industrielle) ; cette catégorie regroupe les surtensions à front lent (type choc de manœuvre), à front rapide (type choc de foudre), à front très rapide. [11]

III -3-4 Le déséquilibre :

Le déséquilibre dans un système triphasé se produit lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude ou lorsqu'elles ne sont pas décalées de 120° les unes par rapport aux autres.

→ Les causes des déséquilibres :

Le déséquilibre résulte de plusieurs facteurs :

- Le courant de court-circuit.
- La rupture de phase.

Le mauvais fonctionnement de disjoncteur.

Conséquences :

-Les conséquences de déséquilibre :

- Echauffement des conducteurs.
- Vibration des moteurs. [8]

III-4 Les raisons des défauts [12] :

Ils existent de nombreux incidents qui affectent le fonctionnement d'un réseau électrique et peuvent avoir pour origine :

III.4.1 Défauts d'origine externe :

- mécaniques, comme la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne, ou encore l'amorçage dû au contact de branches, brindilles ou même d'oiseaux avec les conducteurs.

- atmosphériques, notamment la foudre frappant une ligne aérienne ou un poste. On peut aussi inclure les amorçages résultant de dépôts conducteurs accumulés sur les isolateurs, ainsi que les travaux de terrassement qui provoquent systématiquement des défauts permanents sur les câbles souterrains.

III.4.2 Défauts d'origine interne :

Ce sont des phénomènes propres au réseau, car ils se manifestent à l'intérieur même du système sans être attribués à une cause extérieure. Parmi ces phénomènes, on peut citer les surtensions résultant de résonances, les surintensités pouvant être générées par un courant de surcharge, un court-circuit ou un défaut d'isolement, ainsi que l'ouverture d'un circuit électrique en charge.

III-5 Utilisation des composantes symétriques pour le calcul de courant de court-circuit [13] :

III-5-1 Composantes symétriques :

Soit un ensemble de trois vecteurs triphasés sinusoïdaux tournant à la même vitesse.

Ils sont donc fixes les uns par rapport aux autres. Il existe trois dispositions particulières présentant une symétrie des vecteurs entre eux et pour cela qualifiées de «composantes symétriques»

III-5-1-1 Constructions des composantes symétriques :

a-Système direct :

Le «système direct» encore appelé par les anglo-saxons «séquence positive», dans lequel $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$

- ont même amplitude
- sont décalés de 120°
- sont disposés de telle façon qu'un observateur, au repos voit défiler les vecteurs dans l'ordre $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$.

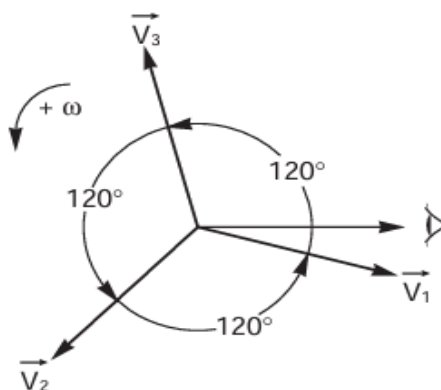


Fig. III -9 Système direct

b- Le système inverse :

Le «système inverse» encore appelé par l'anglo-saxonne «séquence négative», dans lequel $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$

- Ont même amplitude.

- v sont décalés de 120° .

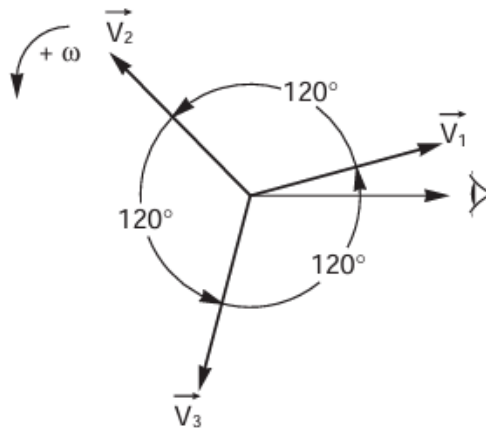


Fig. III -10 : Le système inverse

c- Le système homopolaire :

Le «système homopolaire» encore appelé par les anglo-saxons «séquence nulle», dans lequel $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$:

- ont même amplitude,
- sont en phase et donc colinéaires, ainsi un observateur au repos peut les voir passer en même temps.

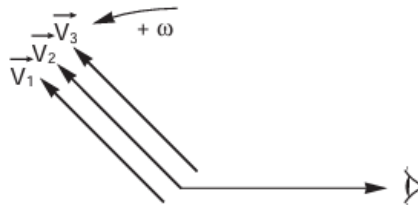


Fig. III-11 Le système homopolaire

III-6 Définition de l'opérateur « a » :

Est un opérateur vectoriel qui consiste à faire tourner de $+2\pi/3$ le vecteur auquel l'opération est appliquée On voit alors que :

- a^2 fait tourner un vecteur de :

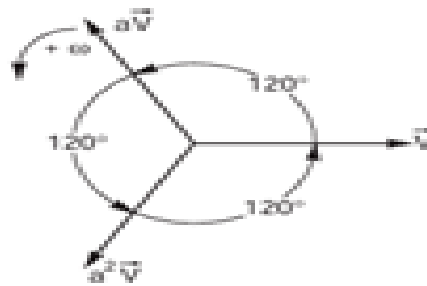
$$2 \frac{2\pi}{3} = \frac{4\pi}{3}$$

- a^3 fait tourner un vecteur de :

$$3 \frac{2\pi}{3} = 2\pi$$

$$a = -0,5 + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -0,5 - j$$



D'où :

Fig. III -12 Système de trois vecteurs équilibrés

$$a^0 = a^3 = a^6 \dots = 1$$

$$a = a^4 = a^7 \dots a^2 = a^{-2} = a^{-5} \dots$$

$$a - a^2 = j\sqrt{3}$$

$$\text{Et } 1 + a + a^2 = 0$$

III-7 Les mises à la terre du neutre [16] :

La sélection du mode de mise à la terre du neutre dans les réseaux moyenne et haute tension a longtemps été un sujet de débats animés, en raison de l'absence de solution universelle adaptée à tous les types de réseaux. Grâce à l'expérience accumulée, il est désormais possible de faire un choix éclairé en fonction des contraintes spécifiques à chaque réseau. Cette analyse portera sur les différentes méthodes de liaison à la terre du neutre, qui varie selon la façon dont le point neutre est raccordé et la stratégie d'exploitation adoptée.

III-7-1 Impédance de mise à la terre :

Le potentiel du neutre peut être fixé par rapport à la terre par cinq méthodes différenciées par la nature (capacité, résistance, inductance), et la valeur (zéro à l'infini) de l'impédance Z_N de liaison que l'on connectera entre neutre et terre.

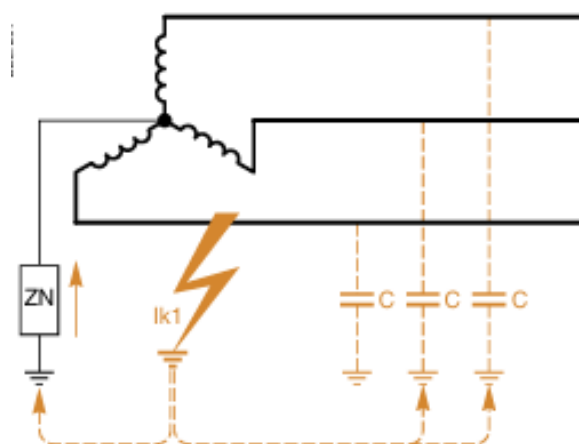


Fig. III-13 Schéma équivalent d'un réseau sur défaut à la terre

Ce schéma électrique présent un réseau avec un défaut à la terre, montrant le transformateur électrique et son point neutre, ainsi que le chemin du courant de défaut et les condensateurs connectés à la terre. Ce modèle aide à analyser l'impact des défauts à la terre sur les réseaux électriques afin d'assurer la protection et le bon fonctionnement.

Synthèse des caractéristiques des régimes de neutre					
Caractéristiques	Régimes de neutre				
	isolé	compensé	résistance	réactance	direct
Amortissement des surtensions transitoires	-	+-	+	+-	++
Limitation des surtensions 50 Hz	-	-	+	+	+
Limitation des courants de défaut	+	++	+	+	--
Continuité de service (autorisation du non déclenchement au premier défaut)	+	+	-	-	-
Protection sélective simple	-	--	+	+	+
Dispense d'un personnel qualifié	-	-	+	+	+

Légende : + bon
- médiocre

Tableau III-1 Synthèse des caractéristiques des neutres

III-7-2 Neutre isolé :

Sauf lorsqu'il s'agit d'appareils de mesure ou de dispositifs de protection, Il n'y a aucune connexion électrique volontaire entre le point neutre et la terre.

Le schéma montre le courant de défaut capacitif dans un réseau isolé. Dans ce système, le côté secondaire du transformateur est connecté à trois condensateurs en parallèle, représentant la capacité parasite du réseau. Lorsqu'un défaut à la terre se produit, le courant de défaut I_{k1} circule vers la terre et revient à travers la capacité parasite C , formant ainsi un courant capacitif I_c .

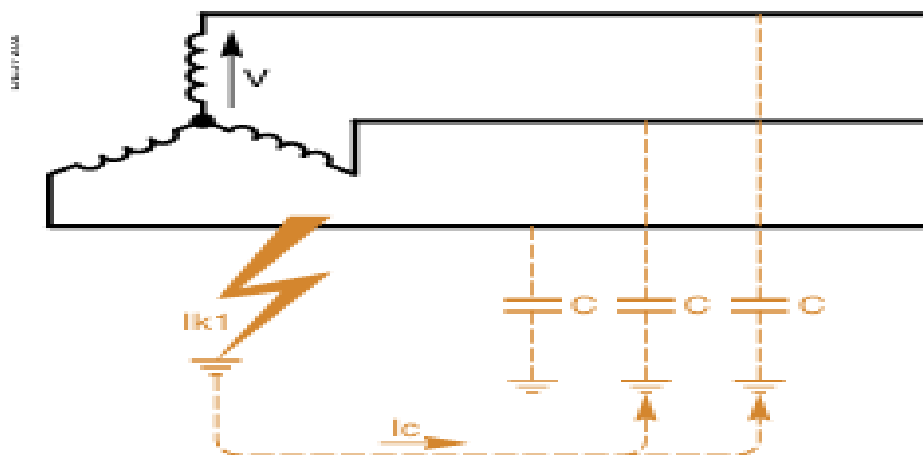


Fig. III -14- Courant de défaut capacitif sur réseau isolé

Avantage :

- la continuité de service
- le courant de défaut très faible

Inconvénients :

- La mise en œuvre de protections sélectives en cas de premier défaut est complexe.
- Un service de maintenance équipé d'un matériel adapté est nécessaire pour détecter rapidement les défauts d'isolation.

III-7-3 Mise à la terre par résistance :

Dans ce type de schéma, l'impédance résistive limite le courant de défaut à la terre I_{k1} , tout en permettant un bon écoulement des surtensions.

Dans les réseaux de distribution, on adopte des valeurs plus élevées (100 A à 300 A) plus faciles à détecter et permettant l'écoulement des impulsions de foudre.

Avantage :

- bon compromis entre un courant de défaut faible et des surtensions bien écoulées.
- Les protections sont simples, sélectives et le courant est limité.

Inconvénients :

- La continuité de service du départ en défaut est dégradée
- Le coût de la résistance de mise à la terre croît avec la tension et le courant limité.

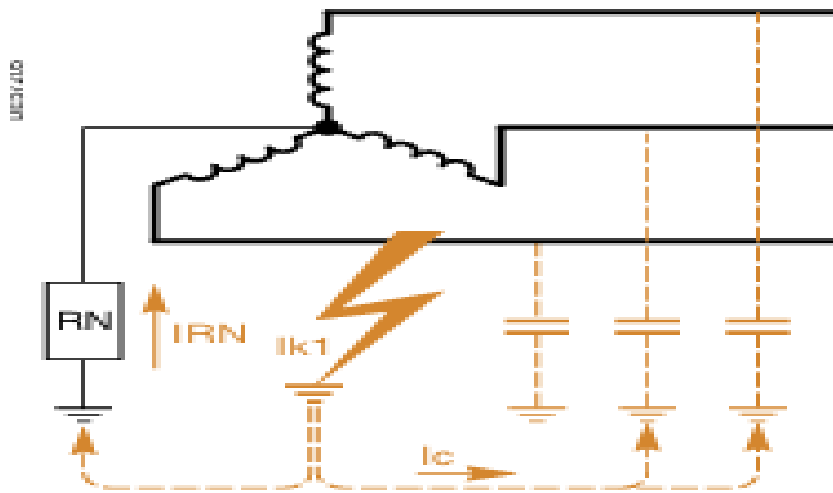


Fig. III -15 Réalisations de mise à la terre pour neutre accessible : résistance entre neutre et terre

III-7-4 Mise à la terre par réactance faible :

Dans ce type de schéma, l'impédance salique limite le courant de défaut à la terre I_{k1} , tout en permettant un bon écoulement des surtensions.

Une réactance est intercalée entre le point neutre et la terre. Pour les réseaux dont la tension dépasse 40 kV, on privilégie l'utilisation d'une réactance plutôt qu'une résistance, principalement en raison des défis liés à la dissipation thermique en cas de défaut.

Avantage :

- Ce schéma permet de limiter l'amplitude des courants de défaut.
- La bobine, de faible résistance, n'a pas à dissiper une puissance thermique élevée, ce qui réduit son dimensionnement.

Inconvénients :

- La continuité de service du départ en défaut est dégradée
- Des surtensions peuvent survenir lors de l'élimination des défauts à la terre

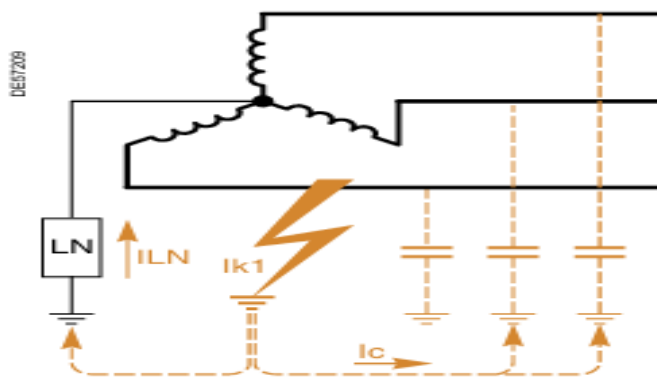


Fig. III-16 Réalisation de mise à la terre pour neutre accessible

III-7-5 Mise à la terre par réactance de compensation :

Ce système permet de compenser le courant capacitif du réseau.

Une réactance accordée sur la capacité phase-terre totale du réseau est intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre.

Avantage :

- A l'endroit du défaut, les tensions de contact sont limitées.
- Le maintien en service de l'installation est assuré malgré un défaut permanent.

Inconvénients :

- Les risques de surtension transitoire sur le réseau sont importants.
- Le coût de la réactance de mise à la terre peut être élevé.

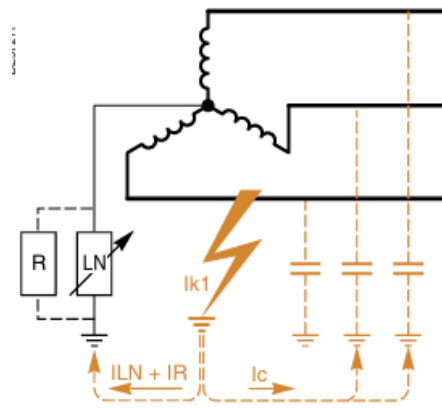


Fig. III -17 Défaut à la terre dans un réseau avec réactance de compensation à la terre

III-7-6 Neutre direct à la terre :

Une liaison électrique d'impédance nulle est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre. Le neutre étant mis à la terre sans impédance de limitation, le courant de défaut I_{k1} entre phase et terre est pratiquement un court-circuit phase neutre, donc de valeur élevée. La coupure se fait au premier défaut d'isolement.

Avantage :

- Ce schéma est idéal pour l'écoulement des surtensions.
- Il autorise l'utilisation d'équipements dont le niveau d'isolement est conçu pour supporter la tension simple.

Inconvénients :

- Il n'y a pas de continuité de service du départ en défaut.
- Ce schéma entraîne tous les inconvénients et dangers d'un fort courant de défaut terre.

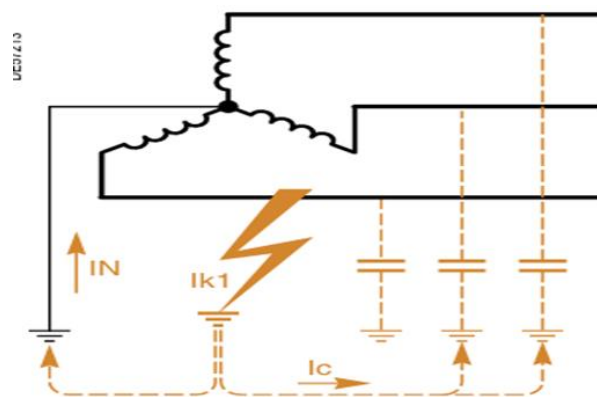


Fig. III -18 Défaut à la terre dans un réseau à neutre direct à la terre

III-8 Conclusion

Nous concluons que les pannes sont nombreuses et variées, entraînant des problèmes techniques dans le réseau, tels que l'interruption de l'alimentation des clients ainsi que les courts-circuits . Cependant, elles surviennent sur une courte durée grâce aux dispositifs de protection qui permettent de les éliminer et ainsi éviter les dommages.

Par conséquent, il est essentiel de mettre en place des moyens de protection adaptés, basés sur les études mathématiques des courants de court-circuit.

Chapitre IV

Application

Introduction :

Dans ce chapitre, nous parlerons du courant de court-circuit, de son mode de calcul et de son rôle dans le choix des dispositifs de protection (disjoncteur) dans le PS, qui protège à son tour le réseau électrique contre tout danger. Nous avons mené une étude appliquée à Sonelgaz Tolga, précisément dans le PS RAHYET, afin de mieux comprendre le courant de court-circuit et de choisir le disjoncteur approprié. Nous avons également reçu des données techniques et plus d'informations à ce sujet.

IV-1 Remarques de terrain lors du stage :

Pour effectuer ce stage dans cette station, j'ai pris note de quelques observations importantes, parmi lesquelles :

- La maintenance périodique des disjoncteurs électriques que nous allons étudier ainsi que des dispositifs de protection est effectuée afin de garantir leur efficacité.
- Il existe une différence entre les équipements des anciennes et des nouvelles lignes en termes de performance et d'efficacité.
- L'un des défis techniques de certains anciens disjoncteurs est que la fourniture des pièces de rechange est souvent retardée.

IV-2 Description du poste simplifié de RAHAYET « 60 kV / 30 kV » :

Le poste de RAHYET est alimenté par le poste d'interconnexion tolga 220/60/30Kv à une distance de 30 km par deux ligne 60 KV. Ce poste, se trouve à d'El Ghrous, wilaya de Biskra, contient Deux arrivé 60 kV, et 11 départ à peu près comme départ el ghrous ville....

IV-3 Données techniques :

- Niveau de tension primaire $U = 60\text{kV}$ avec une puissance de court-circuit $S_{cc} = 2500\text{MVA}$.
- Niveau de tension secondaire $U = 30\text{kV}$ avec une puissance de court-circuit $S_{cc} = 500\text{MVA}$.
- La longueur de la ligne $L = 20\text{ km}$.
- Puissance nominale du transformateur $S_n = 40\text{MVA}$.
- La réactance linéique de la ligne $X_0 = 0.42\text{ /km}$.
- Tension de court-circuit du transformateur $U_{cc} = 12\%$.



Fig. IV-1 Poste source RAHYET

IV-4 Méthode de calcul :

Nous avons une station de transformation électrique à Laghrou, Biskra, qui est alimentée par la station de Tolga. Nous allons calculer les courants de court-circuit monophasé et triphasé franc à la terre et afin de déterminer l'appareil de protection approprié. Dans ce cas, nous effectuerons le calcul à partir d'une station existante pour créer une nouvelle station et déterminer le courant de court-circuit ainsi que le disjoncteur adéquat capable de supporter ces courants, afin d'assurer la coupure du circuit et la protection du système.

IV-5 Valeurs des impédances :

Nous avons les valeurs nominales :

$$S_b = 100 \text{ MVA}$$

$$U_b = 60 \text{ Kv}$$

$$Z_b^{60} = 36$$

$$Z_b^{30} = 9$$

IV-5-1 Composantes directs :

- Impédance de Transformateurs :

$$Z_{\text{dtr}} = \frac{U_{\text{CC}}}{100} \times \frac{S_b}{S_n}$$

$$Z_{\text{dtr}} = \frac{12}{100} \times \frac{100}{40}$$

$$Z_{\text{dtr}} = 0,3$$

- Impédance de ligne :

$$Z_{\text{dl}} = X_0 \times L \times \frac{S_b}{U^2 n}$$

$$Z_{dl} = 0,4 \times 20 \times \frac{100}{60^2}$$

$$Z_{dl} = 0,22$$

Avec :

X_0 : réactance de la ligne

L : longueur de la ligne

S_b : puissance de base

U_b : et tension de base.

- **Impédance de Réseau amont :**

$$Z_{da} = \frac{S_b}{S_{cc}}$$

$$Z_{da} = \frac{100}{2500}$$

$$Z_{da} = 0,04$$

Avec :

S_{cc} : puissance de court-circuit.

S_b : puissance de base.

IV-5-1) Composantes homopolaires :

- **Impédance de Transformateurs :**

$$Z_{htr} = Z_{dtr}$$

$$Z_{htr} = Z_{dtr} = 0,3$$

- **Impédance de ligne :**

$$Z_{hl} = 3Z_{dl}$$

$$Z_{hl} = 3 \times 0,22$$

$$Z_{hl} = 0,66$$

- **Impédance de Réseau amont :**

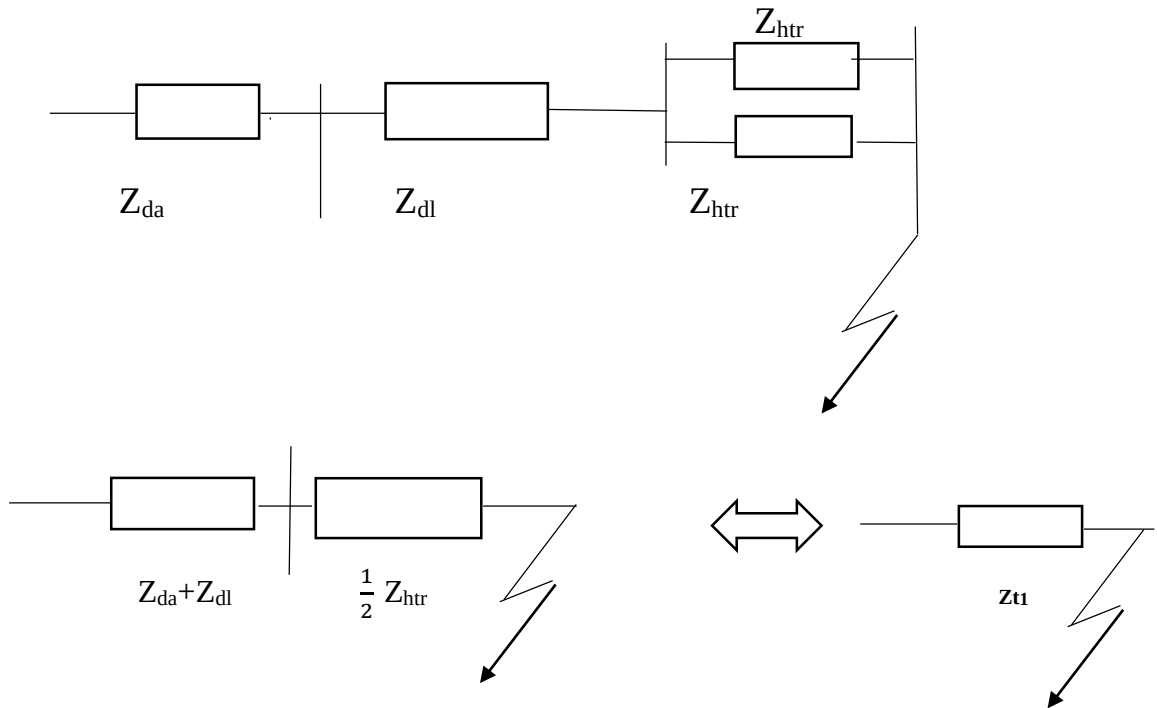
$$Z_{ha} = 3 \times \frac{S_b}{S_{cc}} - 2 \times Z_{da}$$

$$Z_{ha} = 0,04$$

IV-6 Valeurs des courants de court-circuit sur le jeu de barre 30kV :

IV-6-1 Calcule de courant de court- circuit triphasé :

Nous avons le schéma suivant que nous avons simplifié pour le calcul :



$$Z_{t1}^* = (Z_{da}^* + Z_{dl}^*) + \frac{1}{2} Z_{htr}^* = (0,04 + \frac{0,22}{2}) + \frac{0,3}{2} = 0,3$$

$$Z_{t1}^* = 0,3$$

Donc :

$$Z_{t1} = Z_{t1}^* \times Z_b = 0,3 \times 9 = 2,7\Omega$$

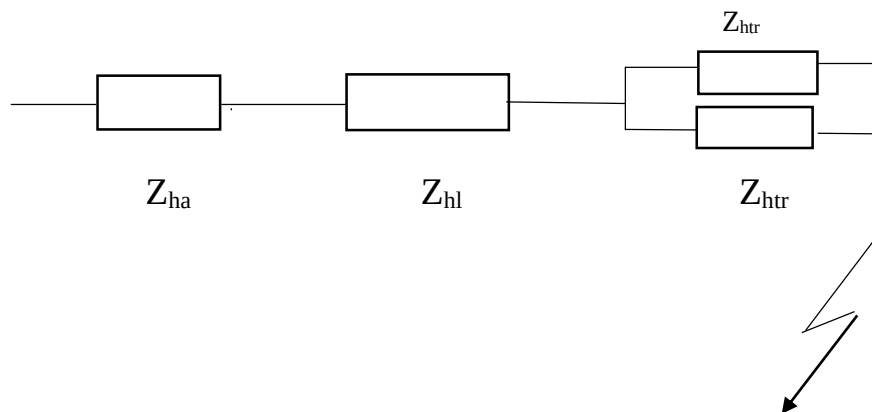
Le courant de court-circuit triphasé :

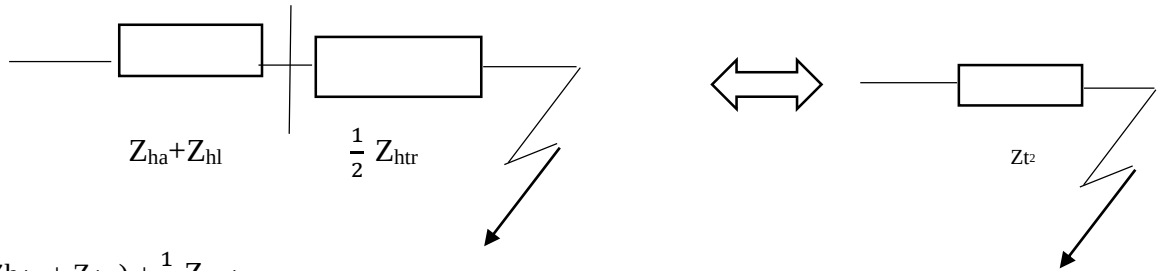
$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{t1}} = \frac{30}{\sqrt{3} \times 2,7} = 6,415 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = 6,415 \text{ KA}$$

IV-6-2 Calcul de court-circuit monophasé :

Nous avons le schéma suivant que nous avons simplifié pour le calcul :





$$Z_{t2}^* = (Z_{h^*a} + Z_{hl}^*) + \frac{1}{2} Z_{htr}^*$$

$$Z_{t2}^* = (0,04 + 0,33) + 0,15 = 0,52$$

Donc :

$$Z_{t2} = Z_{t2}^* \times Z_b = 0,52 \times 9 = 4,68 \Omega$$

Le courant de court-circuit monophasé :

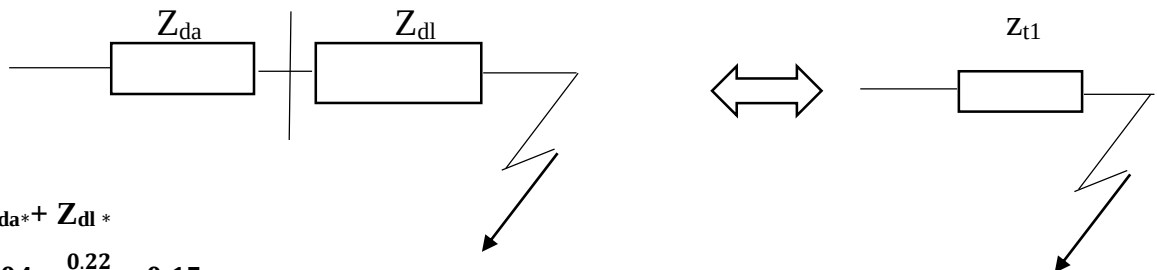
$$I_{CC} = \frac{\sqrt{3}U}{2 \times Z_{t1} + Z_{t2}} = \frac{\sqrt{3} \times 30}{2 \times 2,7 + 4,68} = 5,154 \text{ kA} \quad I_{CC} = 5,154 \text{ kA}$$

$$I_{CC} = 5,154 \text{ kA}$$

IV-7 Valeurs des courants de court-circuit sur le jeu de barre 60 kV :

IV-7-1 Courant de court-circuit triphasé :

Nous avons le schéma suivant :



$$Z_{t1}^* = Z_{da}^* + Z_{dl}^*$$

$$Z_{t1}^* = 0,04 + \frac{0,22}{2} = 0,15$$

$$Z_{t1}^* = 0,15$$

Donc :

$$Z_{t1} = Z_{t1}^* \times Z_b$$

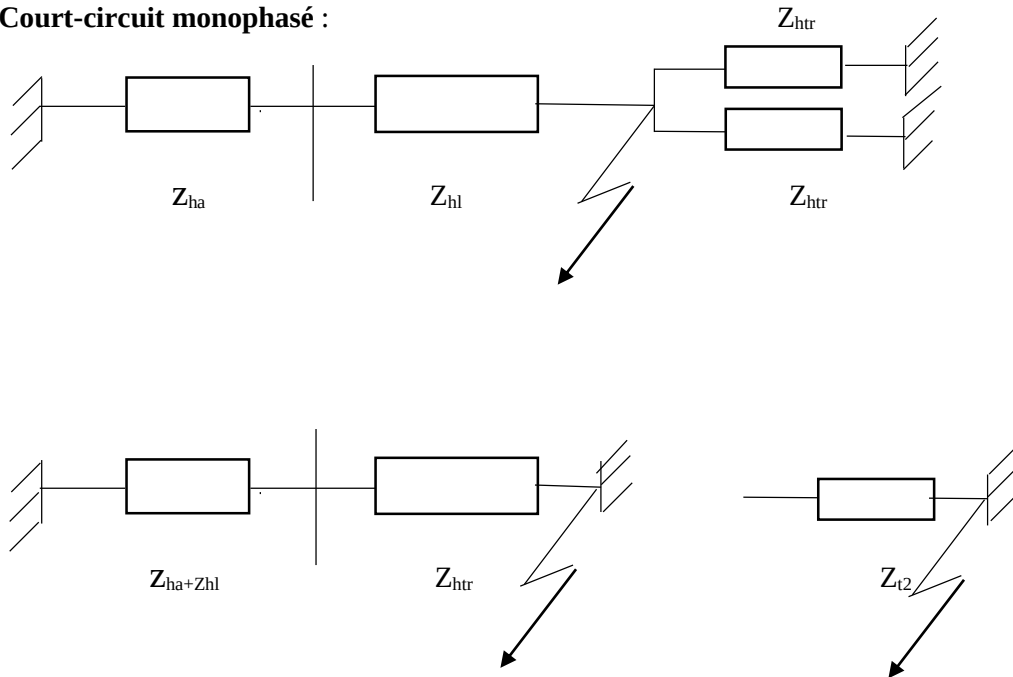
$$Z_{t1} = 0,15 \times 36 = 5,4$$

$$Z_{t1} = 5,4 \Omega$$

Le courant de court-circuit triphasé :

$$I_{CC} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{t1}} = \frac{60}{\sqrt{3} \times 5,4} = 6,415 \text{ kA}$$

$$I_{CC} = 6,415 \text{ kA}$$

IV-7-2 Court-circuit monophasé :

$$Z_{t2}^* = \frac{(Z_{ha} + Z_{hl}) \times Z_{htr}}{Z_{ha} + Z_{hl} + Z_{htr}} = \frac{(0,04 + 0,33) \times 0,15}{0,04 + 0,33 + 0,15} = 0,106$$

Donc :

$$Z_{t2} = Z_{t2}^* \times Z_b = 0,106 \times 36 = 3,84$$

Le courant de court-circuit monophasé :

$$I_{cc} = \frac{\sqrt{3} \times U}{2Z_{t1} + Z_{t2}} = \frac{\sqrt{3} \times 60}{2 \times 5,4 + 3,84} = 7,098 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = 7,098 \text{ KA}$$

IV-8 Interprétation :

On remarque que le courant de court-circuit dans les réseaux de 60 kV est plus élevé que celui des réseaux de 30 kV. Dans notre application pratique, la capacité des transformateurs est souvent plus grande, ce qui entraîne une impédance plus faible et donc des courants de court-circuit plus importants. Par conséquent, il est nécessaire de prévoir des disjoncteurs de plus grande capacité dans les réseaux de 60 kV en raison des courants de court-circuit élevés.

IV-9 Choix des disjoncteurs :

Pour le choix de disjoncteur il faut prendre les critères suivants :

- Le courant nominal : doit être supérieur au courant de la charge
- Le temps de coupure : pour la protection des équipements il faut le temps de coupure du disjoncteur doit être rapide.

- La tension nominale : doit être réfère à l'emplacement du disjoncteur

IV-9-1 Disjoncteur au niveau de tension 30 kV :

- **Calcule de courant de court-circuit :**

$$I_{coup} = I_{cc} = 6,415 \text{ KA}$$

- **La puissance de coupure :**

$$S_{coup} = \sqrt{3} \times U_n \times I_{coup}$$

$$S_{coup} = \sqrt{3} \times 30 \times 1000 \times 6415 = 333 \text{ MVA}$$

$$S_{coup} = 333 \text{ MVA}$$

- **Calcul du courant nominal :**

$$S_n = \sqrt{3} \times U_n \times I_n$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 30 \times 10^3} = 769 \text{ A}$$

$$I_n = 769 \text{ A}$$

IV-9-2 Disjoncteur au niveau de tension 60 kV :

- **Calcule de courant de court-circuit :**

$$I_{coup} = I_{cc} = 7,098 \text{ KA}$$

$$I_{coup} = 7,098 \text{ KA}$$

- **La puissance de coupure :**

$$S_{coup} = \sqrt{3} \times 60 \times 1000 \times 7098 = 368 \text{ MVA}$$

$$S_{coup} = 368 \text{ MVA}$$

- **Calcul du courant nominal :**

$$S_n = \sqrt{3} \times U_n \times I_n$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 60 \times 10^3} = 385 \text{ A}$$

$$I_n = 385 \text{ A}$$

IV- 10 Les caractéristiques des disjoncteurs :

Le tableau correspondant représente les trois caractéristiques les plus importantes à prendre en compte lors du choix du disjoncteur :

IV-10-1 Valeurs obtenues :

Ce sont les valeurs adoptées pour le choix du disjoncteur qui ont été déduites :

Valeurs obtenues	Disjoncteur sur le jeu de barre 60kV	Disjoncteur sur le jeu de barre 30kV
Tension de service Un (kV)	60	30
Courant nominal In (A)	385	769
Pouvoir de coupure Scoup (MVA)	368	333

Tableau IV-1 Caractéristique des disjoncteurs obtenus

IV-10-2) Valeur normalisée :

Ce sont les valeurs adoptées pour le choix du disjoncteur au niveau de poste :

Valeur normalisée	Disjoncteur sur le jeu de barre 60kV	Disjoncteur sur le jeu de barre 30kV
Tension de service Un (kV)	72	36
Courant nominal In (A)	2000	800
Pouvoir de coupure Scoup (MVA)	3140	750

Tableau IV-2 Caractéristique des disjoncteurs au niveau du poste

IV-11 Analyse des résultats et recommandations techniques :**IV-11-1 Interprétation :**

Après avoir effectué les calculs des courants résultant des différentes pannes comme le court-circuit dans le réseau de la station de Rahyat, Nous observons que les valeurs calculées sont largement compatibles avec les valeurs sur le terrain utilisées par l'entreprise Sonelgaz, ce qui démontre la précision des calculs théoriques employés.

Le choix des disjoncteurs a été dont la capacité dépasse les valeurs des courants calculés ont été choisis, ce qui garantit un haut niveau de sécurité et constitue un investissement rentable et une solution préventive à long terme.

De plus, cela permet d'anticiper l'expansion future de la station.

IV-11-2 Suggestions techniques pour l'amélioration :

C'est vrai Le système de protection électrique est effectivement efficace, mais il nécessite une surveillance périodique des disjoncteurs du réseau à l'aide d'appareils intelligents (IED). Ces appareils sont utilisés pour surveiller et inspecter les disjoncteurs électriques et les transformateurs, ainsi que pour les contrôler en cas de défaillance. Lorsqu'un problème est détecté, ils peuvent ajuster les paramètres des transformateurs ou couper les disjoncteurs électriques.

Pour réduire les coupures d'électricité causées par des pannes imprévues, comme le vent ou les branches d'arbres touchant les lignes aériennes, il est essentiel d'intégrer un système de ré enclenchement automatique.

IV-12 Conclusion

Dans notre étude appliquée, nous avons abordé les points essentiels adoptés dans le post (e critère de pouvoir de coupure, le courant nominal, tension de service.....), afin de choisir le disjoncteur adéquat. Ce choix est fondamental pour assurer la protection de la station contre les risques ainsi que la sécurité des personnes.

Il est donc indispensable d'adopter ces études et de respecter les conditions nécessaires afin de garantir une protection optimale avant la mise en place d'une nouvelle poste source.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'approvisionnement en énergie électrique et la garantie de sa stabilité et de sa continuité nécessitent un système de protection pour atteindre cet objectif et éviter les pannes qui pourraient affecter le réseau. Dans ce travail, nous avons abordé plusieurs chapitres, en commençant par l'architecture des réseaux électriques, la manière dont l'énergie électrique est produite et distribuée aux consommateurs, ainsi que les points essentiels et les définitions générales concernant ce sujet. Nous avons également étudié les types de pannes qui influencent le fonctionnement du réseau, ainsi que les principaux systèmes et dispositifs de protection destinés à assurer sa sécurité.

Afin de renforcer nos connaissances théoriques et celles acquises dans notre mémoire, nous avons réalisé une étude appliquée à la station El Ghrous RAhyat dans la wilaya de Biskra, où nous avons analysé les courants de court-circuit, leur calcul et le choix des disjoncteurs nécessaires pour garantir la protection du réseau. Avec le développement technologique et l'évolution des dispositifs de protection, il est impératif de suivre ces avancées pour obtenir des solutions rapides, plus précises et assurer une maintenance continue.

Enfin, nous concluons ce travail et notre parcours académique en espérant qu'il sera bénéfique aux futurs étudiants ou à toute personne en quête de savoir.

Bibliographie

Bibliographie

[1] N. TARARBIT et D. TIORTIT «protection numérique par sepam série 80 d'un départ HTA», emmo septembre.

[2] Christian puret Les réseaux de distribution publique MT dans le monde n°155.

[3] Zellagui med Magister étude des protections réseaux MT 2010 université de Constantine.

[4] O.AIT GUENISSAID et O.OUKHOUIA« Protection numérique par SEPAM série 80 d un départ électrique HTA», mémoire de master, ummto, année2012.

[5] B. de Metz-Noblat cahier technique « la foudre et des installations électriques HT» édition 1993.

[6] D. FULCHIRON « surtension et coordination de l'isolement » N° 151 édition 1992.

[7] H.BELMAHDI «Etudes d'un réseau de distribution moyenne tension», 2013.

[8] Guide de conception des réseaux électriques industriels Schneider Electric.

[9] Jecu cristian Système de protections 2011.

[10] cahier technique 194 Schneider Electric transformateur de courant.

[11] B. de Metz-Noblat cahier technique N° 213 « les calculs sur les réseaux électriques BT et HT édition décembre 2004.

[12] S.ABBASSEN et N.KACED « Etude des protection des départs MT application poste 60/30 kV FREHA », mémoire d'ingénieur, ummto, année 2008.

[13] B. de Metz-Noblat Cahier technique n°18 Analyse des réseaux triphasés en régime perturbé à l'aide des composantes symétriques, édition juin 2005.

[14] pierre roccia Merlin Gerin 113.

[15] WIKIPEDIA «Court-circuit, Sectionneurs, Surtension, Eclateurs, Transformateur électrique, Protection des réseaux électrique, Les relais, Appareillages électrique ».

[16] guide technique MG protection des réseaux électrique 2003.

[17] RPUTAL ABDELKADER «contribution d'un facts à la stabilisation d'une station de transfert d'énergie» année 2021.

[18] J.L.LILIEN Cours donné à l'Institut d'Electricité Montefiore Université de Liège 2006.

[19] Ontario power génération inc.2010.

[20] Abderahmani Abdesslam cours «réseau électriques industriels ,2018 université TAHRI MOUHAMED Béchar.

[21] Saad Allah Hocine «Protection des réseaux HTA de la Sonelgaz», 2015 université Mohamed khider Biskra.