

Techniques de Protection des réseaux électriques

Mellouki H

1.0

28-05-2024



Table des matières

Objectifs	4
Introduction	5
I - Carte mental	6
1. 1	6
II - Exigence des pré-requis	7
1. Exercice :	7
III - Chapitre 1	8
1. Objectifs spéciaux	8
IV - Chapitre 1 :Généralité sur les défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique	9
1. Chapitre 1 :Généralité sur les défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique	
2. Réseaux électriques et systèmes de protection	9
2.1. Architecture des réseaux électriques	10
2.2. Plan de protection	12
2.3. Organisation d'un système de protection.	13
3. Défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique	14
4. Caractéristiques d'un système de protection	17
5. Exercice	17
V - Chapitre 2	18
1. Objectifs spéciaux	18
VI - Chapitre 2 : Composants d'un système de protection	19
1. Schéma synoptique (unifilaire) d'un système de protection	19
2. Capteurs (TC) , (TT)	19
2.1. Capteurs de courant (TC)	20
2.2. Transformateurs de tension (TT)	21

3. Les relais	23
4. Exercice :	25

Conclusion	26
-------------------	-----------

Objectifs

L'objectif du cours est :

- Étudier l'organisation de la protection des réseaux électriques
- Savoir les différents procédés et techniques de protection des réseaux électriques
- Définir la protection des éléments du réseau électrique et comment coordonner la protection

Introduction

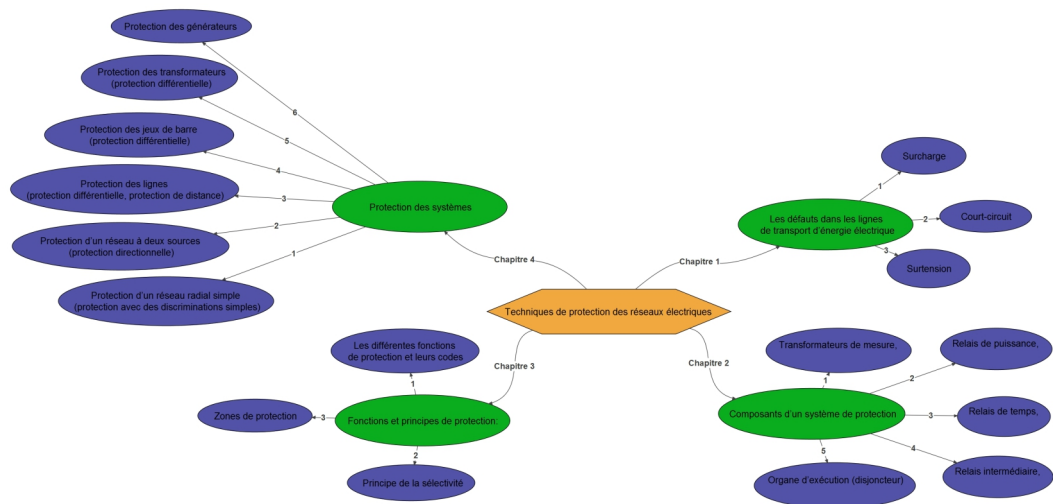
Les réseaux électriques sont considérés comme des infrastructures hautement critiques pour notre société. Ces réseaux sont conçus traditionnellement d'une manière verticale où les transferts de l'énergie suivent dit « du haut en bas » : Production -Transport- Distribution. Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles: stabilité, économie et surtout continuité du service.

Les lignes et les câbles de transport d'énergie électrique haute tension HTB constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs HTA et BT. Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes sont souvent exposées à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs.

Depuis l'entrée sur le marché des relais numériques programmables ces dernières années, pour la protection électrique, plusieurs algorithmes ont été développés afin de rendre ces relais plus performants aussi bien sur leur rapidité de fonctionnement que sur leur précision. Ce travail sera consacré au déploiement des éléments indispensables pour la constitution du système globale de protection. On va présenter des concepts fondamentaux sur la philosophie des systèmes de protection des réseaux de transport de l'énergie électrique, les différents appareils de protection (relais de protection), les disjoncteurs et les transformateurs courant et tension (TC et TP).

I Carte mental

1.1



II Exigence des pré-requis

1. Exercice :

1. Quelle est la structure du réseaux électrique ?
2. Tous les réseaux sont soumis à de multiples perturbations, quelles sont les principales ?

III Chapitre 1

1. Objectifs spéciaux

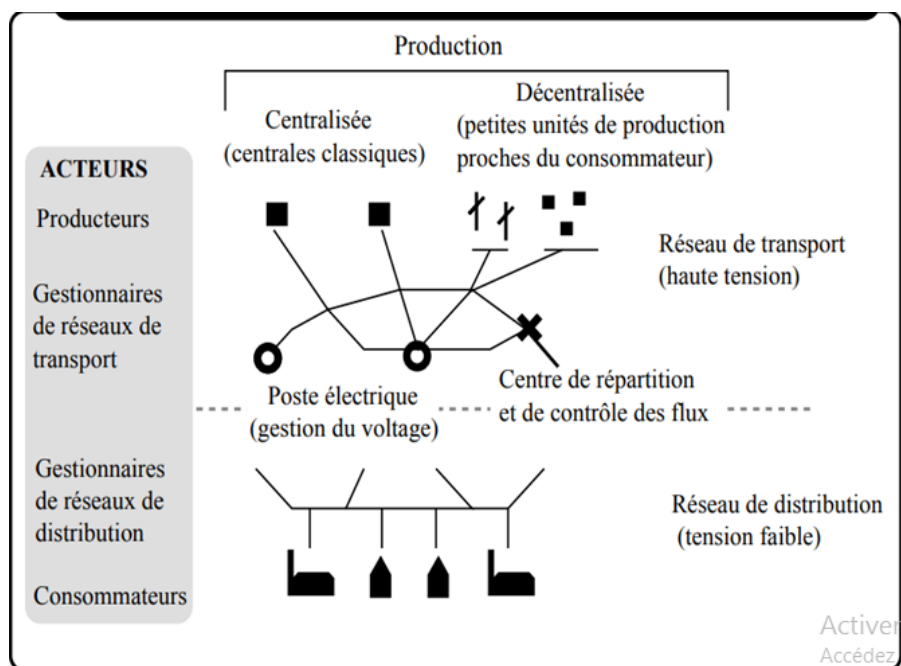
Le chapitre 1 vise à :

- Définir le réseau électrique
- Identifier la constitution d'un réseaux électriques
- Évaluer les connaissance des apprenants sur les réseaux électriques

IV Chapitre 1 :Généralité sur les défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique

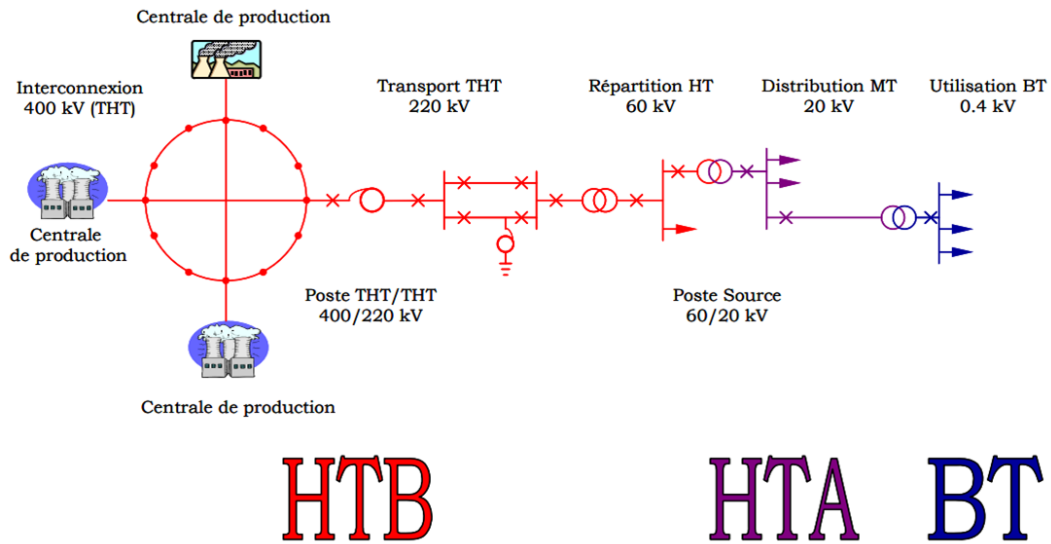
1. Réseaux électriques et systèmes de protection

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



Points techniques particuliers du fonctionnement d'un réseau

Les réseaux de transport d'énergie sont constitués d'ouvrages triphasés, à savoir: des **lignes aériennes**, des **transformateurs** de puissance, des **canalisations souterraines** et des **jeux de barre**, organisés suivant le schéma ci-dessous



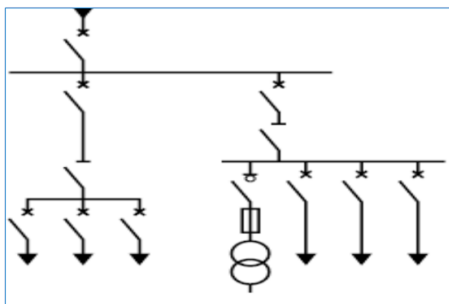
1.1. Architecture des réseaux électriques

Structures.

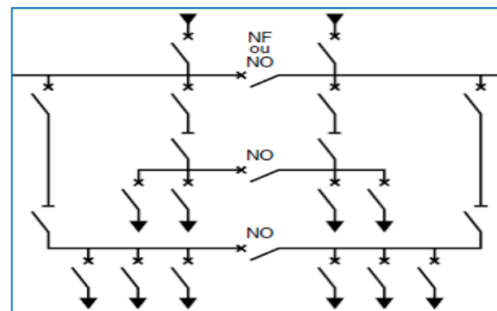
Différentes structures utilisées pour la conception des réseaux électriques, dont la complexité détermine la disponibilité de l'énergie électrique et le coût d'investissement. On distingue essentiellement les types suivants :

- les réseaux à architecture radiale
- en simple antenne,
- en double antenne
- en double dérivation,
- en double alimentation avec double jeu de barres.

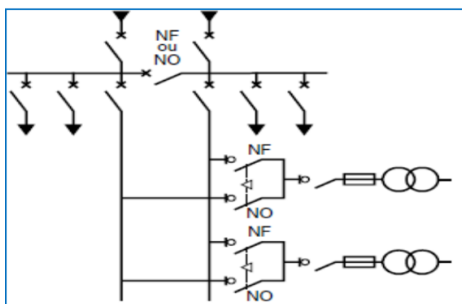
a. Simple antenne



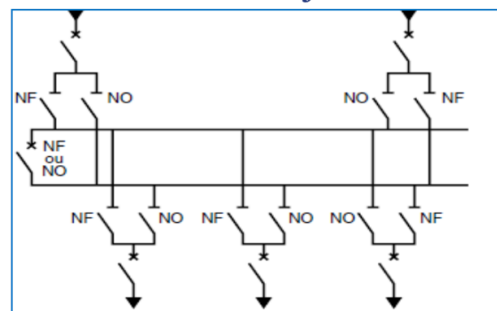
b. Double antenne



c. Double dérivation.



d. Double jeu de barres



les réseaux bouclés

- en boucle ouverte
- en boucle fermée

les réseaux incluant une production interne d'énergie

- avec groupes de production locale.
- avec groupes de remplacement.

NF : normalement fermé

NO : normalement ouvert

Différents types d'alimentation

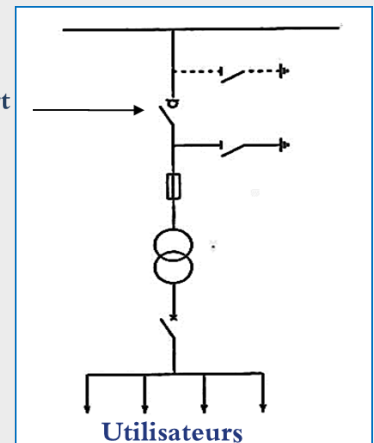
Alimentation en simple dérivation

Dans ce cas chaque poste de transformation est alimenté en « simple dérivation » sur une artère principale ou secondaire.

Ce type d'alimentation est surtout utilisée distribution rurale, et en aérien.

La seule protection étant le disjoncteur de départ du poste source, tout défaut sur le réseau provoque la coupure de tous les abonnés concernés par le départ du poste source.

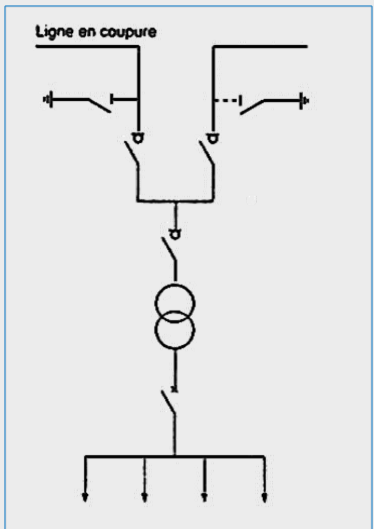
Disj. Depart
/ BT



Alimentation en coupure d'artère

Tous les postes HTA/BT sont branchés en dérivation sur une boucle ouverte en un point (dit point de coupure) proche de son milieu. Tous les appareils de coupure de l'artère, sauf un, sont donc fermés.

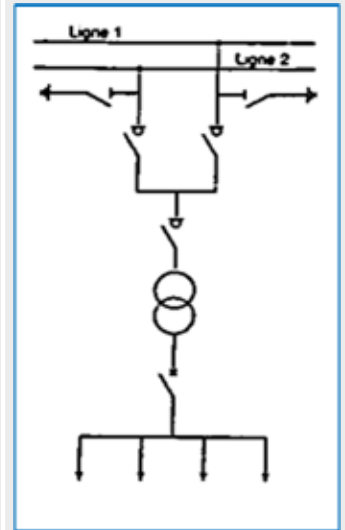
En cas de défaut sur une partie de la boucle, on peut toujours alimenter tous les postes en ouvrant la boucle à l'endroit du défaut.



Alimentation en double dérivation

Dans ce cas chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées.

Cette disposition 'Les dispositions en coupure d'artère et en double Dérivation' sont employées pour les réseaux souterrains qui ont une continuité bien meilleure que les réseaux aériens



1.2. Plan de protection

Le choix d'un plan de protection est directement lié au choix de la structure et du mode d'exploitation du réseau, ainsi que du régime de neutre qui lui est appliqué. Sur des matériels bien conçus, bien fabriqués, bien installés, bien entretenus et bien exploités elles n'ont à fonctionner qu'exceptionnellement, et leur défaillance peut passer inaperçue. De plus, si une protection est défaillante lors d'un incident, les dommages causés à l'alternateur ou au transformateur peuvent avoir des conséquences financières importantes.

Définition

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique.

Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et pour assurer une alimentation électrique ininterrompue. Elle doit également garantir la stabilité des réseaux électriques.



But de la protection

Les buts visés par les dispositifs de protection sont multiples :

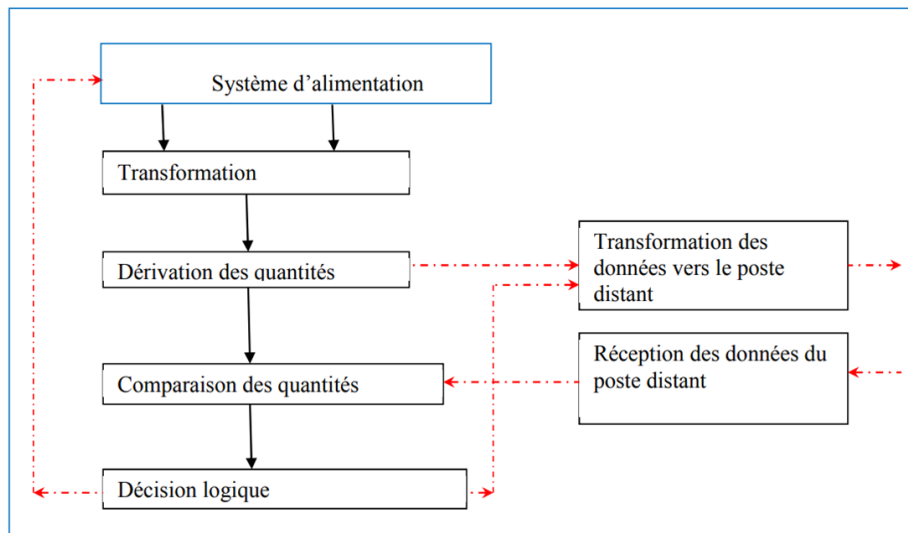
- Assurer la protection des personnes contre les dangers électriques.
- Éviter les détériorations de matériel.
- Limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécaniques auxquelles sont soumis ces matériels.
- Préserver la stabilité et la continuité de service du réseau.
- Protéger les installations voisines (par exemple, réduire les tensions induites dans les circuits proches).

● Conseil : Étude des protections d'un réseau.

L'étude des protections d'un réseau se décompose en 2 étapes distinctes :

- La définition du système de protection, encore appelée plan de protection
- La détermination des réglages de chaque unité de protection, encore appelée coordination des protections ou sélectivité.

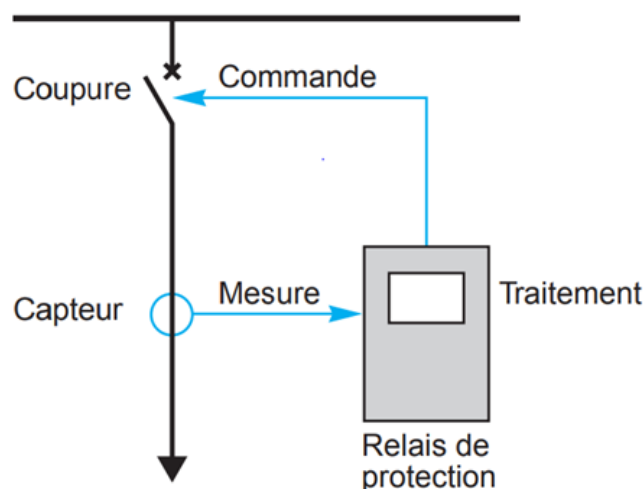
1.3. Organisation d'un système de protection.



Organisation d'un système de protection.

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

capteurs de mesure (courant et tension) fournissant les informations de mesure nécessaires à la détection des défauts, relais de protection, chargés de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau, jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses, et leur commande par le circuit de déclenchement, organes de coupure dans leur fonction d'élimination de défaut; disjoncteurs, interrupteurs-fusibles, contacteurs-fusibles.



chaîne de protection

2. Défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique

Origine des défauts

- Coups de foudre (origine atmosphérique):
- Origine mécanique : c'est le cas de la rupture d'un support,
- Le vent (origine atmosphérique)
- La pollution
- Défauts d'origine interne qui prennent naissance dans les réseaux eux-mêmes, par exemple, le cas des surtensions dues à des phénomènes de résonance.

Les surtensions

Il existe deux classes des surtensions :

- Surtensions par décharges électriques atmosphériques :
- Surtensions de commutation : Ces surtensions sont générées dans les lignes électriques, principalement en raison des commutations de machines de grande puissance.

Les moteurs électriques sont des charges très inductives

Les surcharges

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

- Les courts-circuits.
- Les reports de charge.
- Les pointes de consommation.
- L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes dans le réseau et accélère le vieillissement des équipements.

⊕ *Complément : Caractères des défauts*

Défaut fugitif

Ce défaut nécessite une **coupure très brève** du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde.

Défaut permanent

Ce défaut provoque un **déclenchement définitif** de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation.

Défaut auto- extincteur

C'est le défaut qui disparaît spontanément en des **temps très courts** sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection.

Défauts semi- permanentent

Ce défaut exige une ou plusieurs coupures **relativement longues** de l'ordre de quelques dizaines de secondes. Il ne nécessite plus l'intervention du personnel d'exploitation.

Au niveau des réseaux aériens de transport de SONEGAS, les défauts sont:

- De 70 à 90 % fugitifs.
- De 5 à 15 % semi permanents.
- De 5 à 15 % permanents.

Conséquences des défauts sur le réseau électrique

Contraintes thermiques :

- Contraintes mécaniques :
- Destructures provoquées par les arcs:
- Explosion de disjoncteurs
- Chute de tension
- Perturbations dans les lignes de télécommunications

Les courts-circuits

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

Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau. Plusieurs types de court-circuit peuvent se produire dans un réseau électrique.

Le courant de court-circuit, de nature instantanée est une surintensité produite par un défaut d'impédance, dont la valeur devient négligeable entre deux points du même réseau (circuit), ce défaut peut être détecté par :

- Relais électromagnétique
- Fusible

Conséquences engendrées par c-c : Généralement sont regroupés dans

- Déséquilibre
- Chute de tension
- Chute de fréquence
- Échauffement
- Perte de synchronisme

Au point de défaut

- la présence d'arcs de défaut
- avec détérioration des isolants
- fusion des conducteurs
- incendie et danger pour personnes

Pour le circuit défectueux :

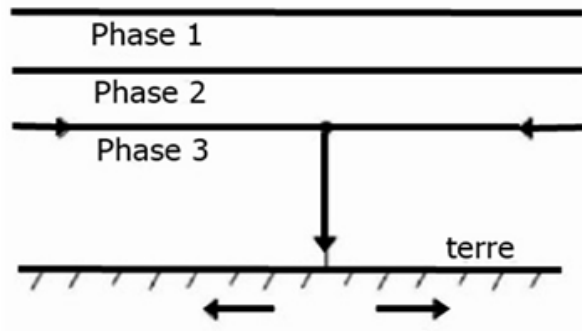
- les efforts électrodynamiques, avec :

- déformation des JdB (jeux de barres),
- arrachement des câbles

Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection. Les courts-circuits peuvent être:

- Monophasés : 80 % des cas,
- Biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés,
- Triphasés : 5 % seulement dès l'origine
- Court-circuit monophasé terre : Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent.

$$I_{cc0} = \frac{U}{Z_l + Z_{pE}}$$



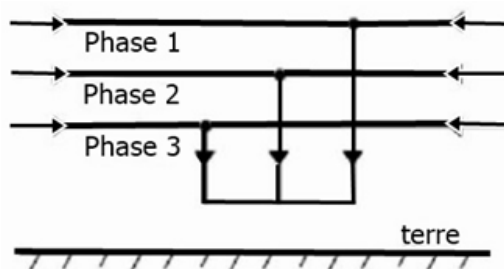
- Court-circuit biphasé isolé : Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur.

$$I_{cc2} = \frac{U}{2 * Z_l}$$



- Court-circuit triphasé : Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de CC le plus élevé.

$$I_{cc3} = \frac{U}{\sqrt{3} * Z_l}$$



Avec ; V1, V2 et V3 représentent les tensions simples du réseau côté BT.

- Z_l; représente l'impédance par phase en amont du défaut.
- Z_n; représente l'impédance du neutre.
- Z_{pE} ; représente l'impédance du conducteur de protection équipotentielle.

à partir des formules ci-dessus, on remarque que le courant de court circuit, le plus néfaste pour l'installation, a lieu lors d'un court-circuit entre les 3 phases.

3. Caractéristiques d'un système de protection

Pendant la conception d'un système de protection, les objectifs de Fiabilité, Sécurité, Disponibilité et maintenabilité doivent être pris en compte.

Disponibilité : est la probabilité pour une protection d'être en état d'accomplir sa fonction, dans des conditions données, à un instant donné.

Sécurité : est la probabilité pour une protection de ne pas avoir de fonctionnement intempestif, dans des conditions données, pour un intervalle de temps donné.

Fiabilité : est la probabilité pour que la protection puisse accomplir sa fonction dans des conditions données pour un intervalle de temps donné c'est-à-dire principalement l'aptitude à déclencher quand il le faut et l'aptitude à ne pas déclencher intempestivement.

Maintenabilité : est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être.

Sensibilité : capacité de la protection de pouvoir réagir pendant le régime minimal de charge de réseau, c a d quand la valeur réelle de la grandeur à l'action de laquelle doit réagir la protection est minimale.

Pour la protection ampère métrique cette caractéristique peut être définie par le coefficient de sensibilité (retour).

Sélectivité : propriété de la protection de déterminer l'élément en défaut et de le débrancher ou de le signaler lui-même.

4. Exercice

Un courant de court circuit dépasse celui nominal de 32 fois, de combien les pertes en court circuit dépasse celle nominales ?

- ☐ 1204 fois
- ☐ 1424 fois
- ☐ 1024 fois
- ☐ 1040 fois

V Chapitre 2

1. Objectifs spéciaux

Le chapitre 2 vise à :

- Spécifier les équipements de protection des réseaux électriques
- Reconnaître les composant d'un système de protections
- Déterminer les principes de fonctionnement des composants de protection

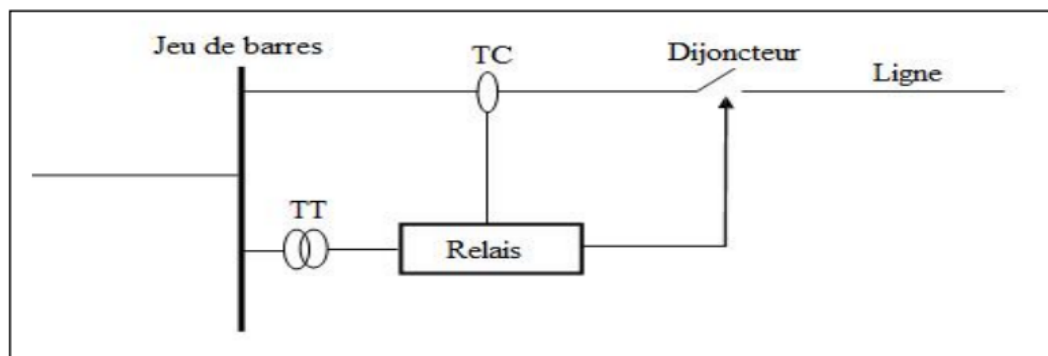
VI Chapitre 2 : Composants d'un système de protection

1. Schéma synoptique (unifilaire) d'un système de protection

Les dispositifs de protection ou de mesure nécessitent de recevoir des informations sur les grandeurs électriques des matériels à protéger. Pour des raisons techniques, économiques et de sécurité, ces informations ne peuvent pas être obtenues directement sur l'alimentation haute tension des matériels.

Quelque soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties fondamentales :

- Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller (courant, tension...) à des niveaux utilisables par les protections ;
- Des relais de protection ;
- Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs)



Éléments constitutifs d'un système de protection

2. Capteurs (TC) , (TT)

Il est nécessaire d'utiliser des dispositifs intermédiaires dénommés réducteurs de mesure ou capteurs :

- capteurs de courant phase,
- capteurs tore pour la mesure des courants terre,
- transformateurs de tension (TT).

Ces dispositifs remplissent les fonctions suivantes :

- réduction de la grandeur à mesurer (ex : 1500/5 A),
- découplage galvanique,
- fourniture de l'énergie nécessaire au traitement de l'information, voire au fonctionnement de la protection

2.1. Capteurs de courant (TC)

Définition



Transformateurs de courant

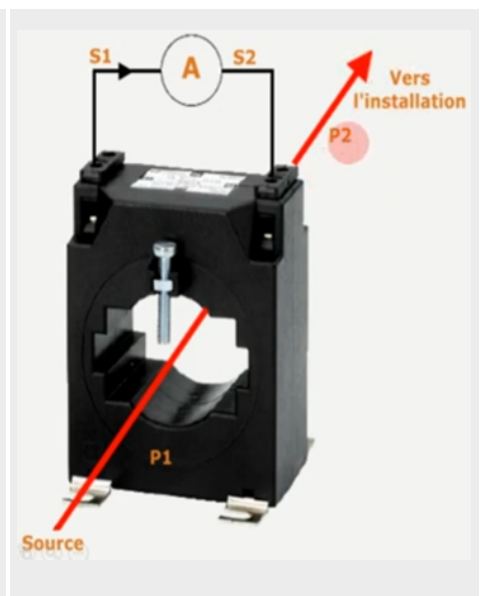
Les transformateurs de courant (CT) sont des dispositifs qui sont utilisés pour transformer le courant d'un courant élevé à un courant plus faible, de sorte que la puissance puisse ensuite être mesurée et contrôlée.

Explication

Les transformateurs sont constitués d'un noyau, d'un bobinage primaire et un autre secondaire.

Lorsqu'un courant alternatif s'écoule dans le bobinage, ce courant alternatif est proportionnel au courant dans son bobinage primaire.

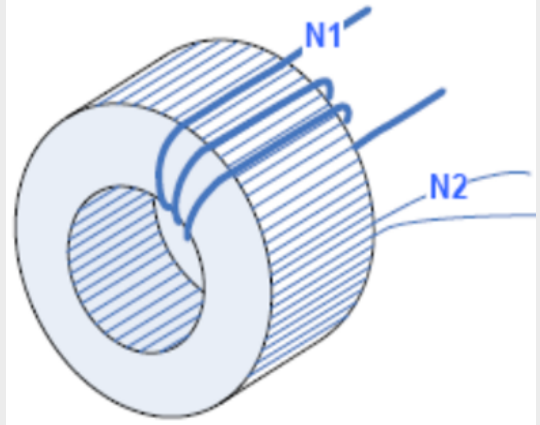
Une fois que le courant a été réduit, il peut être surveillé en toute sécurité et mesuré à l'aide d'un ampèremètre.



On utilise les transformateurs de courant (TC) en B.T et en H.T lorsque l'on veut mesurer avec précision des courants de très forte valeur.

Un TC possède 2 circuits :

- Un primaire : N1
- Un secondaire : N2
- Un circuit magnétique cylindrique (torique)



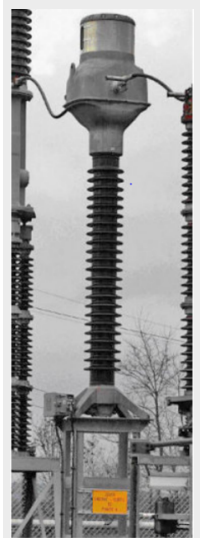
Raccordement

Les TC (TI) étant employés seulement à des fins de mesure et de protection, leur puissance sera faible, de l'ordre de 15 à 200 VA.

L'emploi des transformateurs de courant sur les lignes à haute tension est indispensable pour des raisons de sécurité.

Une ligne à 200 kV peut n'être parcourue que par une intensité de 40 A parfaitement mesurable par un ampèremètre de 0-50A ; mais personne ne pourrait approcher l'instrument sans subir une électrisation fatale.

Il est essentiel que l'instrument soit isolé de la haute tension au moyen d'un transformateur.



2.2. Transformateurs de tension (TT)

Définition

Le TT utilisé pour la transformation de la tension d'une valeur supérieure à une valeur inférieure.

Ce transformateur abaisse la tension jusqu'à une valeur limite sûre qui peut être facilement mesurée par un instrument ordinaire à basse tension.

La tension obtenue sur son secondaire est généralement de 100 V ou 110 V.

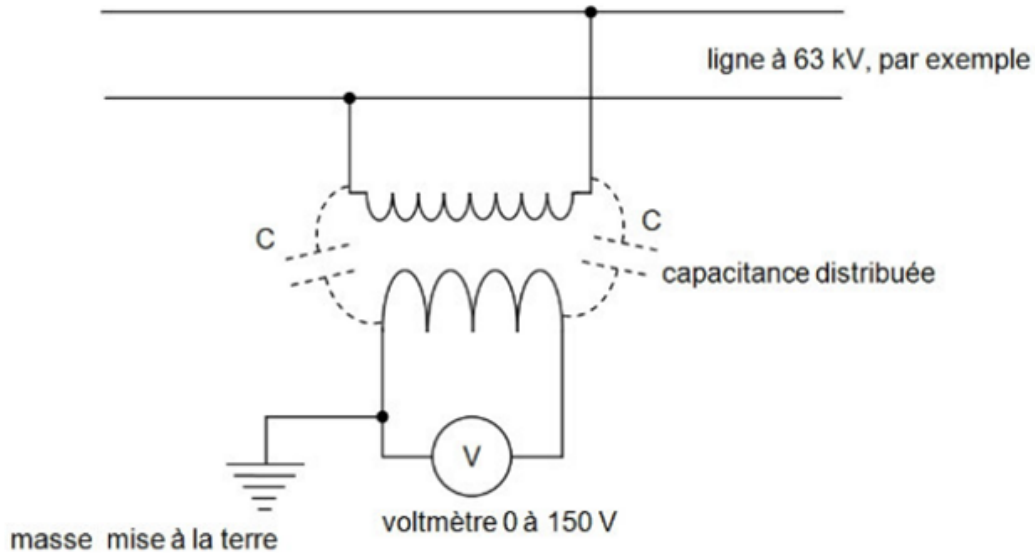
L'utilisation concerne autant la mesure que la protection.



Le TT est constitué de deux enroulements, primaire et secondaire, couplés par un circuit magnétique ; les raccordements peuvent se faire entre phases ou entre phase et terre.

Le primaire des transformateurs de tension est branché en parallèle avec le circuit dont on veut connaître la tension.

Leur construction diffère très peu de celle des transformateurs conventionnels. Cependant, leur puissance nominale est généralement faible (inférieure à 500 VA).



Rapport du TT (TP)

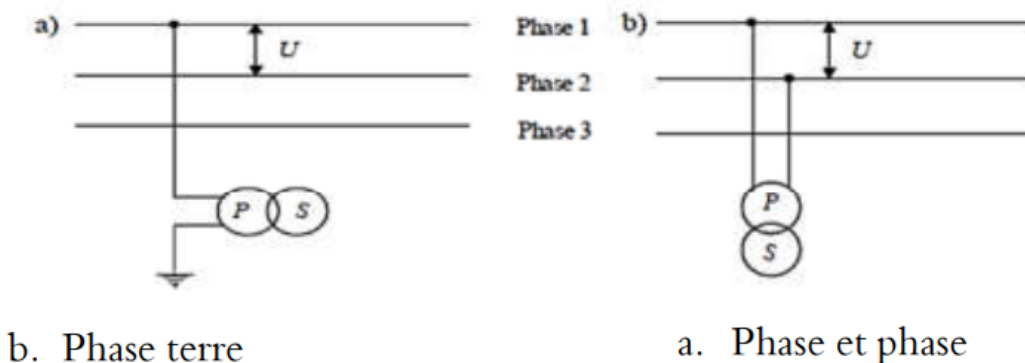
C'est fraction entre la tension primaire et la tension secondaire du transformateur de potentiel,

$$K_{TP} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_P}{U_S}$$

Ou : U_1 ; la tension primaire et U_2 ; la tension secondaire du TP

Connexions du TP

Il existe deux connexions selon leur branchement, entre phase et phase (a) ou entre phase et neutre (b).



Exemple

Caractéristiques générales

Niveau d'isolement :	3,6/16/45 kV à 24/50/125 kV
Tension primaire U_{pn} :	Jusqu'à $24000/\sqrt{3}$ V
Tension secondaire U_{sn} :	$100/\sqrt{3}$ V – $110/\sqrt{3}$ V
Fréquence :	50 ou 60 Hz
Puissance de précision :	Jusqu'à 100 VA cl 0,5 - 125 VA cl1 - 200 VA cl3
Classe de précision :	0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3 - 3P - 6P



Transformateurs de tension (TT)

3. Les relais

Définition

Les relais de protection qui surveillent en permanence les grandeurs électriques du réseau, comportent des associations de fonctions élémentaires, dont la combinaison est adaptée aux éléments de réseau surveillés.

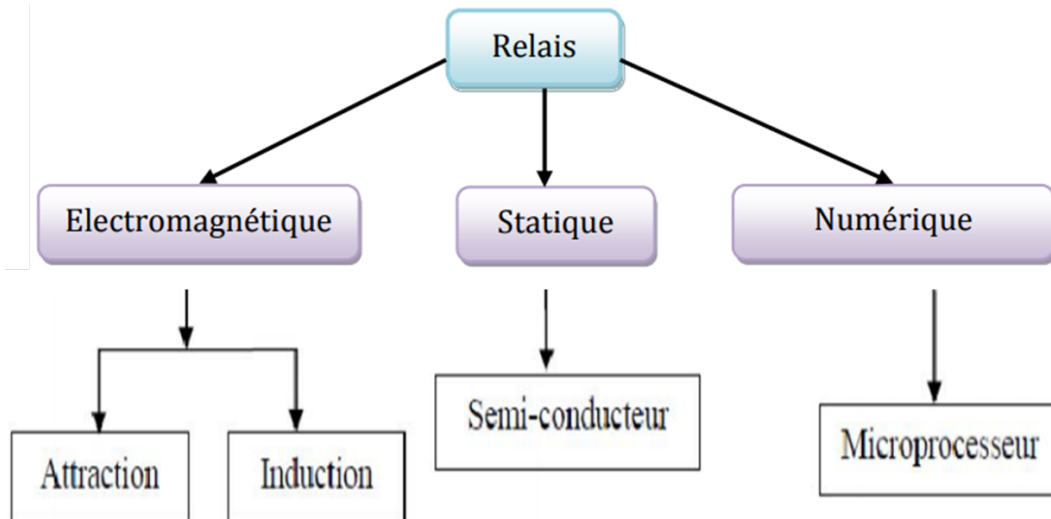


Un relais est désigné selon la grandeur surveillée (tension, courant, puissance, fréquence, impédance,...)

- Relais à maximum de courant RMA ou TA
- Relais à maximum de tension RMV ou TV
- Relais à minimum d'impédance RMZ ou TZ
- Relais directionnel de puissance RDW ou TLW
- Relais à minimum de réactance RMX

Différents types de relais

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

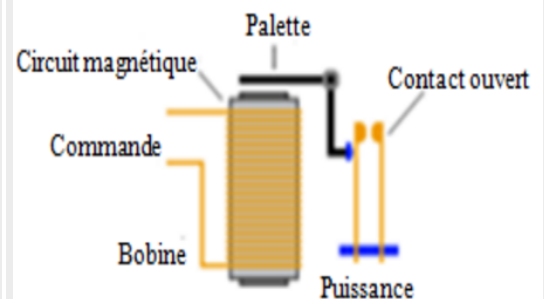


Relais électromécaniques :

Sont basés sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par les transformateurs de courant et de tension.

Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur. Les équipements électromécaniques sont des assemblages de fonctions : détection de seuils et temporisation.

Ils avaient l'avantage d'être robustes, de fonctionner sans source d'énergie auxiliaire et d'être peu sensibles aux perturbations électromagnétiques



Relais statiques :

La technologie statique analogique, apparue vers 1970, qui utilise des circuits intégrés analogiques et logiques a fait apparaître les relais analogiques qui sont composés grossièrement de trois blocs:

- Un bloc d'adaptation et de filtrage
- Un bloc de traitement et de détection
- Un bloc de sortie, comprenant un temporisateur



Les relais statiques (SSR) sont utilisés pour piloter toutes sortes de charges dans de nombreuses applications :

Chauffage industriel : plasturgie, fours, distributeurs alimentaires, air conditionné, textile, chauffage infrarouge, séchage, thermoformage, ...

Régulation de température

Démarrage moteur : pompes, compresseurs, convoyage, palsturgie, ventilateurs, ...

Eclairage

Automatismes : interfaces d'automates, pilotage d'éléments chauffants, electrovannes, ...

Démarrage de transformateurs, correction de cos phi, alimentation sans coupure, ...

Tous les jours de nouvelles applications qui demandent fiabilité, silence et importante durée de vie utilisent nos relais statiques en perpétuelle innovation afin d'apporter encore et toujours, des « plus » par rapport aux produits concurrents.

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



4. Exercice :

Quelle sont les principaux organes constitués un système de protection

Conclusion

Les systèmes de protection des lignes électriques jouent un rôle crucial pour garantir la fiabilité du réseau et la sécurité des utilisateurs. Leur mise en œuvre rigoureuse est une priorité majeure pour les gestionnaires de réseau.

Les progrès constants dans les domaines de l'électronique, de l'informatique et des communications permettent d'améliorer sans cesse la performance et l'intelligence des systèmes de protection du futur.

Grâce à des technologies de pointe et une expertise approfondie, les systèmes de protection électrique continueront d'évoluer pour assurer la sécurité et la fiabilité du réseau électrique de demain.