

Chapitre.4. Principes fondamentaux de la Protection des réseaux électriques

1. Introduction

Les réseaux d'électricité ont été conçus dans le but de veiller à :

- La fiabilité de la fourniture de l'énergie électrique.
- L'optimisation de la disponibilité de l'énergie électrique aux consommateurs.

Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs. Comme on ne peut pas encore stocker l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité :

Production = Consommation + pertes (C'est le problème de la CONDUITE du réseau).

Dans nos réseaux les pertes (transport et distribution) sont de l'ordre de 4 à 5 % de la consommation. De plus la qualité du service est un souci majeur de l'exploitant : maintien de la tension et de la fréquence dans les plages contractuelles pour cela un DIMENSIONNEMENT et UNE PROTECTION approprié sont indispensables.

2. Perturbations

Elles sont une gêne pour les utilisateurs et les fournisseurs de l'énergie électrique sans qu'il y ait de véritable coupure du réseau électrique.

2.1. Courant de court-circuit

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 circuit.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais électromagnétiques
- Fusibles

Les causes susceptibles de produire un courant de court-circuit sont:

- Rupture de conducteurs
- Coup de foudre

- Contact intempestif (soudaine)
- Claquage d'isolant
- Fausse manœuvre

Les conséquences engendrées par un courant de court-circuit sont :

- Surintensité
- Chute de tension
- Déséquilibre
- Echauffement
- Chute de fréquence
- Perte de synchronisme

2.2. Courant de Surcharge

Le courant de surcharge est une surintensité de nature progressive qui se produit dans un circuit sain suite à une augmentation de la charge.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais thermiques
- Fusibles

Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge sont :

- Appareil utilisé au-delà de sa puissance nominale (volontaire ou accidentelle) par exemple : surcharge mécanique de la machine entraînée (augmentation du couple résistant)
- Mauvais fonctionnement (blocage de rotor ou moteur grippé).

Les conséquences occasionnées par un courant de surcharge sont :

- Surintensité
- Echauffement
- Déséquilibre
- Chute de fréquence

2.3. Perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories:

a- impulsive

b- oscillatoire

a- Impulsive

Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension. Parmi les causes de cette perturbation une décharge électrostatique.

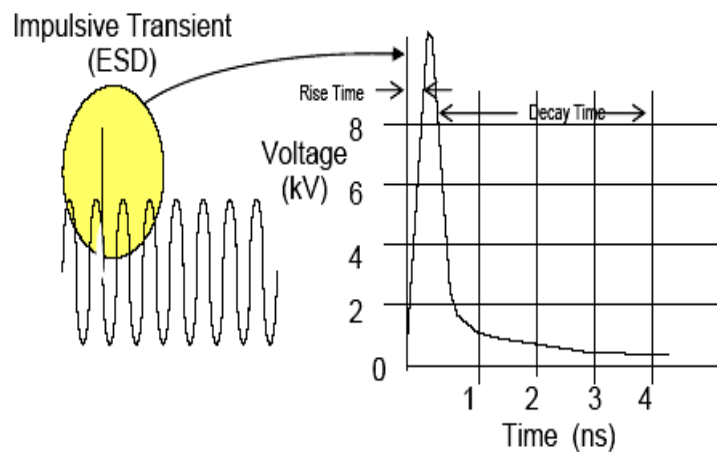


Figure.1 Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique

b- Oscillatoire

Une perturbation oscillatoire est un changement soudain dans la condition d'état stable de la tension ou le courant ou les deux signaux en même temps. La perturbation oscillatoire se produit à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitives car elles résistent au changement (manœuvres).

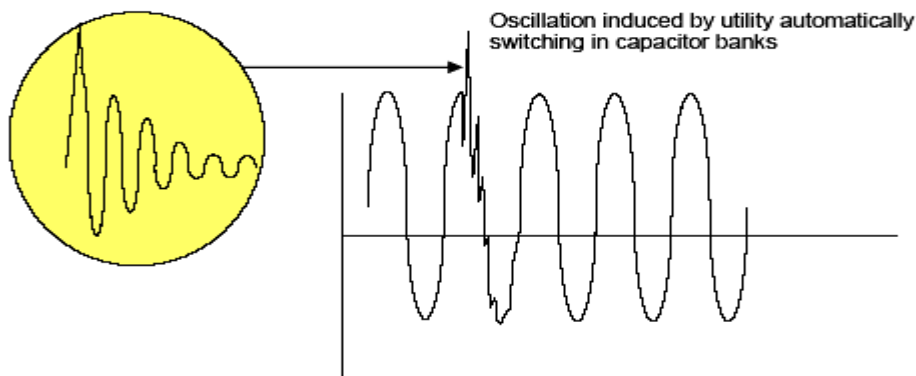


Figure.2. Perturbation oscillatoire

Par exemple :

Fluctuation de tension (flicker), creux de tension, bosse de tension, chute de tension

2.4. Surtension :

La tension de service du réseau n'est pas la seule contrainte pour le matériel utilisé dans les réseaux.

On désigne par surtension toute différence de potentiel anormale, supérieure à la tension nominale, susceptible d'endommager les éléments du réseau (lignes, machines...). Les surtensions peuvent être transversale (entre un conducteur et la terre ou entre deux conducteurs) ou longitudinale (accroissement exagéré de la ddP entre deux points d'un même conducteur). On peut classer les surtensions en quatre catégories :

2.4.1. Surtension permanente : d'une durée de plusieurs heures (l'effet Ferranti peut être une cause de surtension permanente). L'**effet Ferranti** désigne l'apparition d'une surtension lorsqu'une longue ligne électrique est alimentée à une extrémité et sans charge à l'autre extrémité.

2.4.2. Surtension temporaire : d'une durée d'une ou de plusieurs secondes. Un court-circuit d'une des phases d'un réseau triphasé à la terre (défaut d'isolement d'un câble HT par exemple) peut produire une surtension temporaire sur les autres phases.

2.4.3. Surtension de manœuvre : liée à la manœuvre d'un disjoncteur ou d'un sectionneur, d'une durée de quelques dizaines de microsecondes à quelques millisecondes.

2.4.4. Surtension de foudre : due au foudroiement d'une ligne à haute tension

2.4.5. Protection :

Pour éviter les dégâts des appareils dus aux surtensions, on construit ceux-ci de façon à ce qu'ils résistent aux surtensions (chocs normalisés) pendant 1 min. En outre, on installera à l'entrée des postes de couplage des parafoudres qui écoulent les surtensions vers la terre.

3. Equipements d'élimination des défauts

3.1. Disjoncteur :

Un **disjoncteur** est un dispositif électromécanique, voire électronique, de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable (il est prévu pour ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement).

3.1.1. Disjoncteurs à haute tension :

Les disjoncteurs à haute tension sont destinés à établir, supporter ou interrompre sous sa tension assignée dans des conditions normales (connecter ou déconnecter une ligne au réseau) et dans des conditions anormales (court-circuit ou la foudre). Le disjoncteur est le seul appareil à pouvoir couper un courant de court-circuit, il est donc l'élément de protection principale de tout réseau à haute tension. Le principe de fonctionnement d'un disjoncteur est de séparer des contacts dans un gaz (air, SF₆,...) ou un milieu isolant (huile, ou vide) {En règle générale, on utilise des disjoncteurs à gaz pour les tensions de 72,5 kV à 800 kV}. Le courant continue à circuler entre les contacts grâce à un arc électrique. Le pouvoir de coupure des disjoncteurs à haute tension est compris entre 25 kA et 63 kA en général.

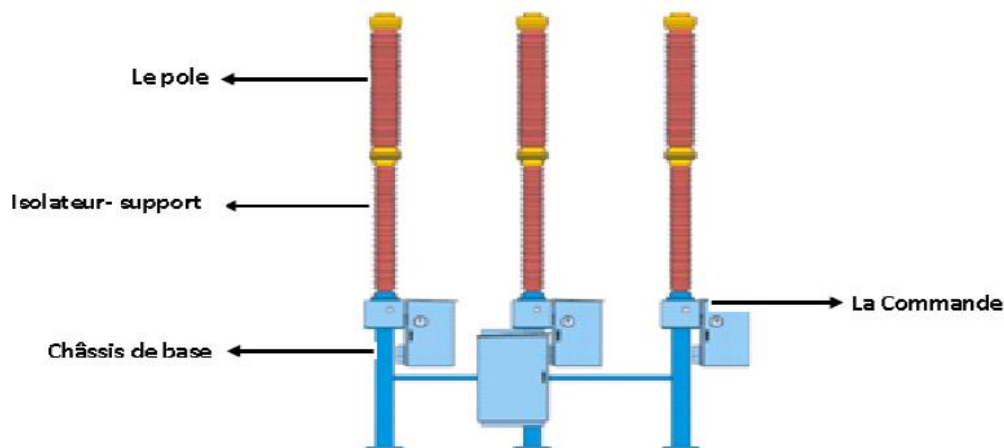


Figure.3. Les composants d'un disjoncteur.

Son pouvoir de coupure **P_c** (en KVA, MKA) qui caractérise la possibilité de couper les courants de court-circuit.

Son pouvoir de fermeture **P_f** est la plus grande intensité que le disjoncteur peut établir sous une tension donnée.

Il existe de différentes techniques pour la coupure d'arc électrique :

1. Disjoncteurs à huile :

Les contacts principaux sont immergés dans l'huile qui assure l'extinction de l'arc et l'isolation. L'huile est de type minéral, avec une rigidité diélectrique élevée. Les disjoncteurs à huile ont été utilisés principalement pour les tensions de 5 à 30 kV.

L'huile minérale présente divers avantages tels que la capacité d'isolation, de refroidissement et d'extinction de l'arc électrique mais elle présente aussi l'inconvénient d'être inflammable à

de hautes températures et de se décomposer lors de l'absorption de l'énergie dégagée par l'arc électrique.

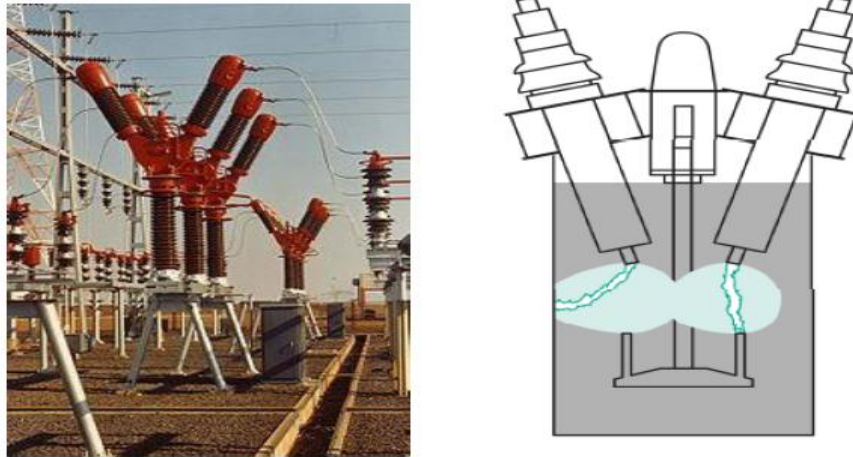


Figure.4. Disjoncteurs à l'huile

2. Disjoncteurs à air comprimé (pneumatiques) :

L'air comprimé contenu dans les disjoncteurs est maintenu sous haute pression à l'aide d'un compresseur. Cette haute pression permet d'assurer la tenue diélectrique et de provoquer le soufflage de l'arc pendant la coupure.

Le soufflage intense exercé dans ces disjoncteurs permet de couper de grands courants de défauts avec une durée d'élimination très courte permettant d'assurer une bonne stabilité du réseau en cas de défaut. Néanmoins le disjoncteur à l'air comprimé présente certains inconvénients : Nécessité d'entretiens fréquents. Contamination du milieu isolant en présence d'humidité et suite aux variations de température.



Figure. 5. Disjoncteurs à air comprimé

3. Disjoncteur à vide

En principe le vide est un milieu diélectrique idéal : il n'y a pas de matière donc pas de conduction électrique. Cependant, le vide n'est jamais parfait et de toute façon a une limite de tenue diélectrique. Malgré tout, le « vide » réel a des performances spectaculaires : à la pression de 10^{-6} Bar, la rigidité diélectrique en champ homogène peut atteindre une tension crête de 200 kV pour une distance inter électrodes de 12 mm.

4. Disjoncteur à gaz SF₆

La mise au point de nouvelles générations de disjoncteur SF₆ (hexafluorure de soufre) très performantes a entraîné dans les années 1970 la suprématie des appareils SF₆ dans la gamme 7,2 kV à 245 kV. Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF₆ peuvent expliquer leur succès

- _ La simplicité de la chambre de coupure qui ne nécessite pas de chambre auxiliaire pour la coupure,
- _ L'autonomie des appareils apportée par la technique auto-pneumatique (sans compresseur de gaz),
- _ La possibilité d'obtenir les performances les plus élevées, jusqu'à 63 kA,
- _ Le nombre de chambres de coupure est réduit (01 chambre en 245 kV, 02 chambres en 420 kV, 03 chambres pour la ligne de 550 kV et 04 en 800 kV),
- _ Une durée d'élimination de court-circuit court, de 2 à 2,5 cycles en réseau THT,
- _ La durée de vie d'au moins de 25 ans,
- _ Faible niveau de bruit,
- _ Zéro maintenance (régénération du gaz SF₆ après coupure),
- _ Eteint l'arc dix fois mieux que l'air.

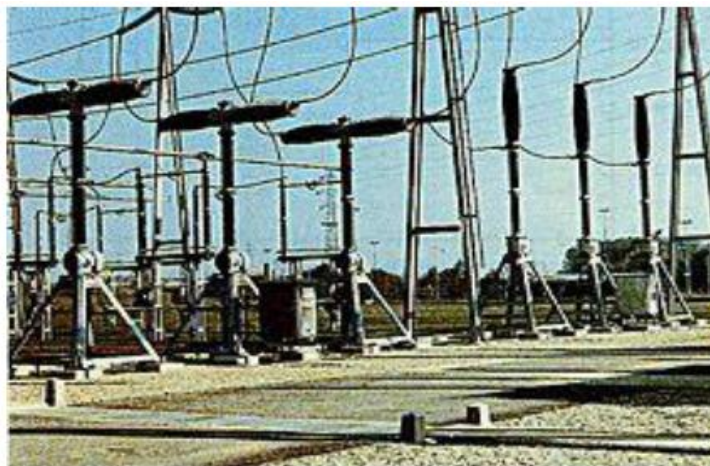


Figure.6. Disjoncteur 220 kV à SF₆

3.1.2. Disjoncteurs à basse tension :

Le disjoncteur est choisi, lorsque nécessaire, pour obtenir une limitation de la charge et une protection contre les surcharges non autorisées tant pour le transformateur que pour la liaison BT et, éventuellement, contre les CC pouvant survenir en aval.

Les caractéristiques à prendre en compte dans le choix d'un disjoncteur BT sont :

- ☐ La tension assigné ou tension d'utilisation.
- ☐ Le courant assigné ou courant d'utilisation dans les conditions normales,
- ☐ Le nombre de pôles
- ☐ Le pouvoir de coupure (P_{dc}) ou courant maximal (I_{ccmax}) que peut couper le disjoncteur

3.2. Sectionneur à haute tension:

La fonction principale d'un sectionneur est de pouvoir isoler un élément du réseau électrique afin qu'un opérateur puisse effectuer une opération de maintenance sans risque de choc électrique. Les sectionneurs doivent posséder une isolation entre leurs bornes garantissant une isolation même en cas de surtension. Ils doivent aussi pouvoir supporter des courants de court-circuit entre 25 kA et 63 kA. La position d'un sectionneur est comme indiquée sur la figure ci-dessous.

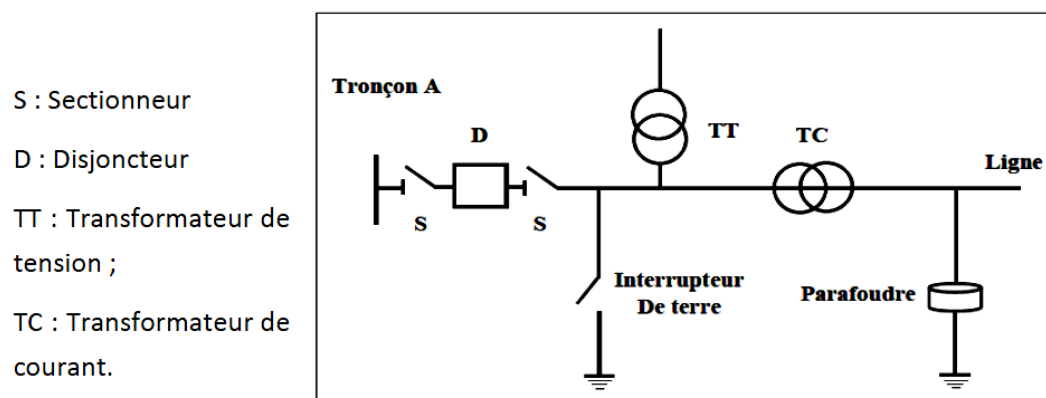


Figure.7. Position des sectionneurs.

Pour la HT et la THT, il existe plusieurs types de sectionneurs :

A) Sectionneur à ouverture horizontale

Il s'agit d'un sectionneur rotatif, à ouverture horizontale pour l'extérieur. $U_n=130$ kV à 245 kV ; $I_n=630$ A à 1250A.

B) Sectionneur à ouverture verticale :

Il s'agit d'un sectionneur rotatif, à ouverture verticale, pour l'extérieur. $U_n=72 \text{ kV}$ à 245 kV ; $I_n=500 \text{ A}$ à 1250 A .

C) Sectionneur pantographe :

Il s'agit d'un sectionneur à fermeture verticale (vers le haut) et à ouverture verticale (vers le bas), dit pantographe, pour l'extérieur. $U_n=72 \text{ kV}$ à 245 kV ; $I_n=500 \text{ A}$ à 1250 A .

3.3. Les Relais

Généralement, le fonctionnement du relais est basé sur la comparaison de la grandeur mesurée et la caractéristique de fonctionnement. Quand les seuils de la caractéristique sont dépassés, le relais suppose que ceci soit dû à des défauts affectant la grandeur mesurée, il délivre alors une commande pour faire fonctionner le disjoncteur associé. Cette opération est souvent dite déclenchement du relais signifiant l'ouverture du disjoncteur.

❖ Relais thermique

Le relais thermique est un appareil qui protège le récepteur placé en aval contre les surcharges et les coupures des phases. Pour cela, il surveille le courant en permanence dans le récepteur. En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact de relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur et le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

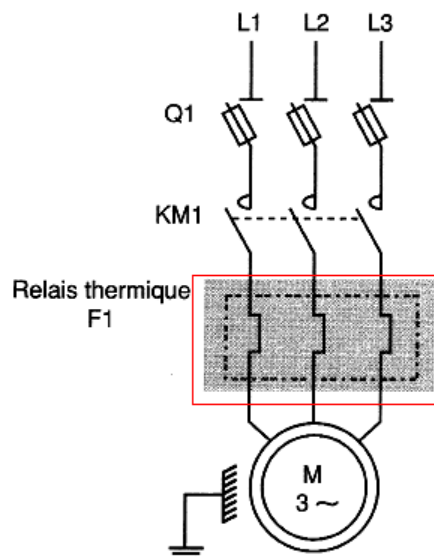


Figure.8. Relais thermique protège un moteur

3.4. Fusibles

Les fusibles offrent une protection des dispositifs contre des effets dynamiques et thermiques causés par les courts-circuits plus élevés que le courant minimal de coupure du

fusible. Son nom vient du fait qu'il fonctionne par fusion d'un filament conducteur, sous l'effet de l'élévation de température provoquée par la surintensité.

3.5. Parafoudre

Le parafoudre est un dispositif qui permet de protéger les appareils électriques ou électroniques de surtensions électriques transitoires engendrées par la foudre ou par certains équipements industriels. Pour protéger les équipements du poste de la décharge de la foudre. Le parafoudre offre une faible résistance durant une surtension transitoire élevée afin d'évacuer vers la terre. Après cette évacuation, il bloque le passage du courant de la ligne vers la terre en offrant une grande résistance.



Figure.9. Parafoudre

3.6. Paratonnerre :

Le paratonnerre est un conducteur relié à la terre qui présente au sommet une forme pointue. Il est placé sur ou près de l'installation à protéger.

Grâce au pouvoir de pointe, une décharge crée au sommet du paratonnerre progresse à la rencontre et la capture du tronc de la foudre pour dévier le courant vers la terre

3.7. Les éclateurs

L'éclateur est généralement placé en parallèle avec l'isolateur, il est formé de deux électrodes-pointues, dont d'une est reliée à la terre et l'autre à l'installation à protéger. Quand l'onde de tension frappe l'installation, la grande surtension qui apparaît aux bornes de l'éclateur produit un arc électrique qui dévie le courant vers la terre, car le courant choisit le chemin le moins résistant.

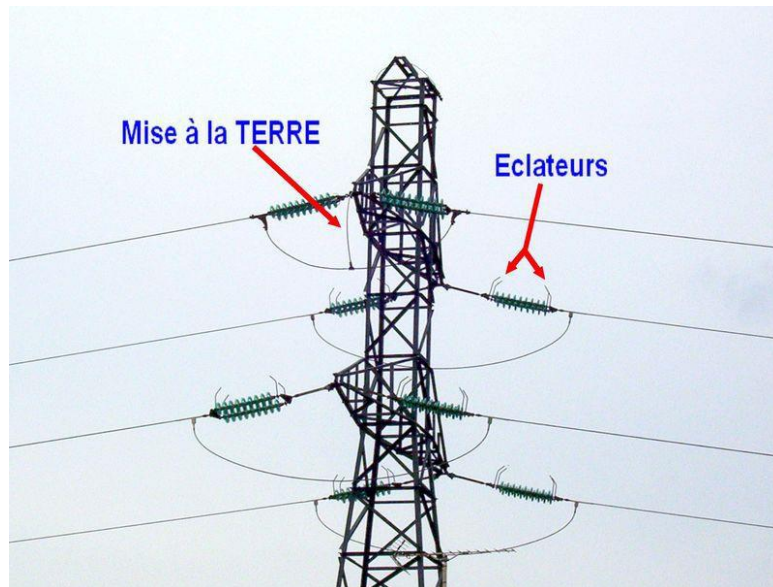


Figure.10. Eclateur

4. Propriétés de la protection

4.1. Définition

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

4.2. Fonction

En règle générale pour protéger une installation il faut :

- Surveiller le fonctionnement
- Détecter un état de dysfonctionnement

5. Qualités principales d'un système de protection

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

- **Fiabilité** : Déclenchement suite à un défaut réel (décision sûre)
- **Disponibilité** : C'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état de marche.
- **Rapidité d'action** : Pour limiter les effets néfastes du défaut.
- **Sensibilité** : Détecter la moindre variation de grandeur à surveiller
- **Consommation** : Elle doit être réduite
- **Sélectivité** : Déclenchement seulement des appareils encadrant le défaut, de manière à maintenir sous tension les parties saines

Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants:

- ❖ Sélectivité ampérométrique par les courants,
- ❖ Sélectivité chronométrique par le temps,
- ❖ Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique.

5.1. Mode de sélectivité

Une protection est dite sélective si un défaut survenu en un point quelconque du circuit est éliminé par l'appareil de protection situé immédiatement en amont du défaut et lui seul.

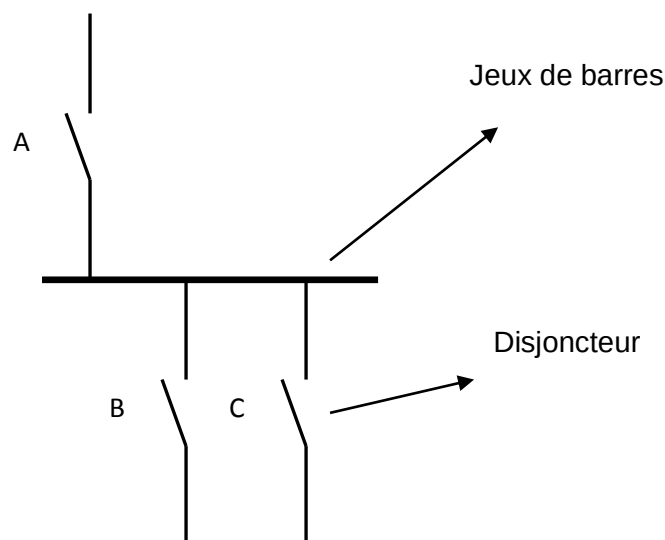


Figure.11. Sélectivité totale

Si le déclenchement du disjoncteur aval (B) n'entraîne jamais le déclenchement du disjoncteur amont (A), quelle que soit la valeur du courant de défaut : LA SELECTIVITE EST DITE TOTALE

5.1.1. Sélectivité ampéremétrique :

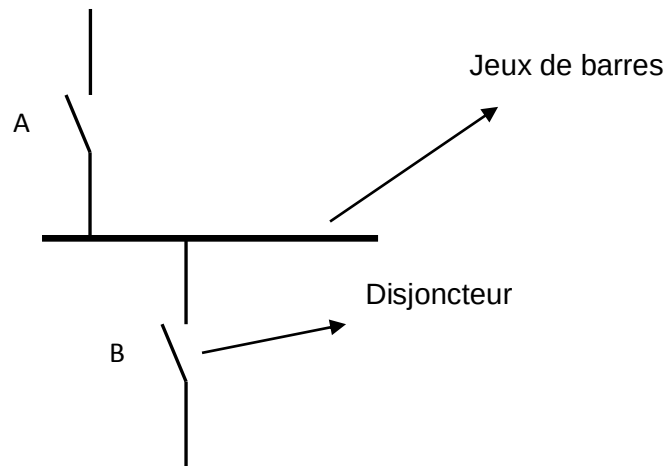


Figure.12. Sélectivité ampéremétrique

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

- Si le courant $I_{RA} > I_{ccB}$ la sélectivité est dite totale
- Si le courant $I_{RA} < I_{ccB}$ la sélectivité est dite partielle

5.1.2. Sélectivité chronométrique :

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans *le temps*. La protection la plus proche de la source à la temporisation la plus longue.

5.1.3. Sélectivité logique :

Ce système a été développé pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique. Ce principe est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir un temps court d'élimination de défaut.

5.1.4. Sélectivité différentielle

Ces protections comparent les courants aux deux extrémités du tronçon de réseau surveillé. Cette protection adoptée surtout lorsqu'il y a un défaut avec la terre.

6. Zone de Protection

6.1. Protection des jeux de barres

6.1.1. Défauts entre phases et entre phase et terre

1. Protection à maximum de courant

Une protection à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le réseau à une valeur limite. Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge, selon les cas, a lieu. Elle commande alors l'ouverture du réseau électrique, on parle de « déclenchement ».

2. Protection différentielle

La protection différentielle par disjoncteur différentiel 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. Cette protection est sensible, rapide et sélective.

3. Fonction de délestage

La fonction de délestage est utilisée lorsque le déficit de puissance disponible par rapport à la puissance demandée par les charges provoque une baisse anormale de la tension et de la fréquence : on ouvre alors certains départs consommateurs selon un scénario préétabli appelé plan de délestage, pour retrouver l'équilibre des puissances souhaité

6.2. Protection des liaisons (lignes et câbles)

1. Défaut de Surcharge thermique et protection

La protection vis-à-vis de l'échauffement anormal des conducteurs en régime permanent à cause de courants de surcharge est assurée par une image thermique, qui calcule une estimation de l'échauffement à partir de la mesure du courant.

La protection à maximum de courant est adoptée dans le cas d'un défaut de court-circuit entre phase ou phase terre. Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge. Cette protection permet d'éliminer le court-circuit.

6.3. Protection des transformateurs HTB/HTA

6.3.1. Types de défauts

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

Les principaux défauts qui peuvent affecter un transformateur sont :

- la surcharge,
- le court-circuit,
- le défaut à la masse.

6.3.2. Protection externe

1. Protection à maximum de courant phase :

Le transformateur HTB/HTA sera en général protégé par deux protections à maximum de courant, Protection coté haute tension (HTB) et Protection coté moyenne tension (HTA).

A) - Protection à maximum de courant coté HTB :

C'est une protection contre les surcharges du transformateur et constitue, dans les limites de son réglage, une réserve aux protections maximum de courant coté HTA, un seuil d'intervention à temps constant, et devra être réglée comme suit:

$$I_{\text{réglage}} = 2 I_{n1} \qquad \text{Temps} = 2,5 \text{ sec}$$

Où I_{n1} : est le courant nominal du transformateur côté HT

B) - Protection à maximum de courant coté HTA :

C'est une protection contre les surcharges du transformateur et constitue, dans les limites de son réglage, une réserve aux protections de ligne MT.

Elle sera à un seuil d'intervention à temps constant, et devra être réglée comme suit:

$$I_{\text{réglage}} = 1,3 - 1,4 I_{n2} \qquad \text{Temps} = 2,0 \text{ sec}$$

Où, I_{n2} est le courant nominal du transformateur côté MT.

NB : Cette protection s'est effectuée par un disjoncteur et le courant de réglage est le pouvoir de coupure de ce disjoncteur.

6.3.3. Protection interne :

A) Protection par Buchholz :

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

travers un relais mécanique appelé relais BUCHHOLZ. Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile.

- ❖ Si ce mouvement est faible, il ferme un contact de signalisation (alarme BUCHHOLZ).
- ❖ Par ailleurs, un ordre de déclenchement est émis au moyen d'un autre contact qui se ferme en cas de mouvement important.

La nature de la couleur du gaz située dans l'accumulateur qui se trouve à la partie supérieure du relais BUCHHOLZ peut nous renseigner sur l'origine du défaut.

- Gaz blancs proviennent de la destruction du papier
- Gaz jaunes proviennent de la destruction des pièces en bois
- Gaz noir ou gris proviennent de la détérioration de l'huile

6.3.4. Protection des transformateurs HTA/BT:

Ce type des transformateur est protégé par des fusibles HTA, et le choix de calibre des ces fusible suite au tableau.1 suivant :

Tableau.1. Choix de calibre de fusible HTA pour protection de transformateur HTA/BT

Tension de service (kV)	Tension assignée (kV)	Puissance des transformateurs HTA/BT (kVA)											
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
5,5	7,2	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	80	100	125
10	12	6,3	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80
30	36	-	-	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5

6.4. Protection des générateurs

6.4.1. Types de défauts

Les défauts sont multiples :

1. Court-circuit externe entre phases
2. Défaut interne entre phase et masse
3. Perte de synchronisme

La désynchronisation du générateur survient lors d'une forte perturbation qui rompt l'équilibre du régime permanent : par exemple, un court-circuit dans le réseau a pour conséquence une chute de la puissance électrique fournie par le générateur, et l'accélération de ce dernier qui reste toujours entraîné par la machine d'entraînement.

4. Les dispositifs de protection

Les dispositifs de protection contre les défauts du générateur sont les mêmes:

1. Maximum de courant à temps dépendant,
2. La protection différentielle lorsqu'il s'agit d'un défaut de terre.
3. La protection par la surveillance de courant du circuit d'excitation pour le défaut de perte d'excitation.

7. Conclusion

À la maison comme sur le réseau de transport d'électricité, pour éviter qu'un court-circuit n'entraîne un incident grave, les installations électriques doivent être protégées. Si dans le poste ou sur les parties du réseau supervisées par le poste intervient un défaut, les protections doivent agir automatiquement et rapidement selon des critères de sûreté

- ✓ Sécurité (pas d'ordre intempestif)
- ✓ Disponibilité (être opérationnelle à tout instant)
- ✓ Sélectivité (provoquer le déclenchement de la zone affectée et pas une autre)
- ✓ Stabilité (ne pas déclencher sur des défauts qui ne concernent pas la protection)

Références Bibliographiques

- [1] Jarom Cros, " document d'appareillage électrique, équipement de protection pour la basse tension", GEL-22230 Appareillage électrique, Université Laval.
- [2] LABED Djamel, "*PRODUCTION DECENTRALISEE ET COUPLAGE AU RESEAU* ", thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [3] DAAOU Yassine, "*CLASSIFICATION ET LOCALISATION DES DÉFAUTS DANS LES LIGNES DE TRANSPORT À THT EN TEMPS RÉEL* ", mémoire de magistère, Université des Sciences et de Technologie d'Oran, 2011.

- [4] Zellagui Mohamed, "ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV) ", mémoire de magistère université Mentouri Constantine, juillet 2010.
- [5] Merlin Gerin, "guide de la protection ", *la maîtrise de l'énergie électrique, GROUPE SCHNEIDER*.