

Chapitre V PROTECTION DES SYSTEMES ELECTRIQUES

V-1 Introduction

Les départs THT sont équipés généralement de deux protections de distance (relais de distance) [21], d'une protection directionnelle de terre à puissance résiduelle à temps inverse [32N], une protection à maximum de courant, une protection de surtension [59], une protection défaillance disjoncteur [50BF] et éventuellement une protection de surcharge [49] et un automatisme de reprise de service.

V-2 La protection principale de distance

Un relais de distance comme son nom l'indique, a la capacité de détecter une panne à une distance prédéfinie sur une ligne de transport ou un câble d'alimentation depuis son emplacement. Chaque ligne électrique a une résistance et une réactance par kilomètre en fonction de sa construction ; ainsi son impédance totale sera une fonction de sa longueur ou de sa distance. Un relais de distance observe donc le courant et la tension et compare ces deux quantités en s'appuyant sur la loi d'Ohm.

Donc, l'impédance vue à partir de l'endroit du relais à n'importe quel point de défaut suivant le long de la ligne est proportionnelle à la distance entre le relais et le point de défaut et l'endroit de défaut peut être déterminé.

Bien que les techniques qui sont utilisés pour traiter et calculer les signaux soient différentes d'un fabricant à l'autre, tous les relais de distance fonctionnent de la même manière en calculant l'impédance à partir des tensions et des courants des trois phases de la ligne. Le principe de base de fonctionnement des relais de distance est que si l'impédance mesurée par le relais est moins que l'impédance de référence, alors le relais conclurait qu'il y a un défaut dans la ligne de transport à protéger. Parfois les relais de distance sont aussi appelés comme relais à minimum d'impédance pour cette raison.

Les relais de protection de distance déterminent l'impédance de défaut (Z_F) à partir de la tension (V_{def}) et le courant (I_{def}) de court-circuit mesurée à l'endroit de relais suivant les indications de la figure (V.1). Le relais compare l'impédance de défaut mesurée à une

valeur de référence (Z_{ref}) correspondant à la limite de la zone de fonctionnement dans le diagramme (R, jX) définie par le réglage du relais. Si l'impédance mesurée de défaut est plus petite que la valeur de référence (Z_{ref}), un défaut interne soit déclaré et une commande est envoyée au disjoncteur pour ouvrir le circuit. Selon ce principe de fonctionnement de base, la décision de commande est prise en utilisant seulement les tensions et les courants mesurés à l'endroit de relais.

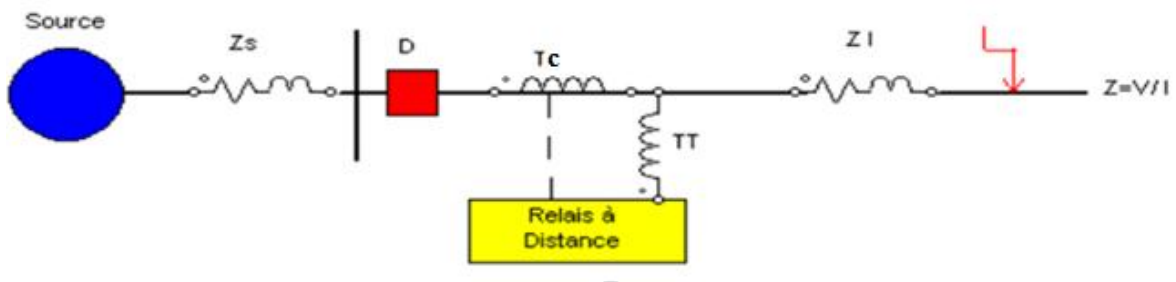
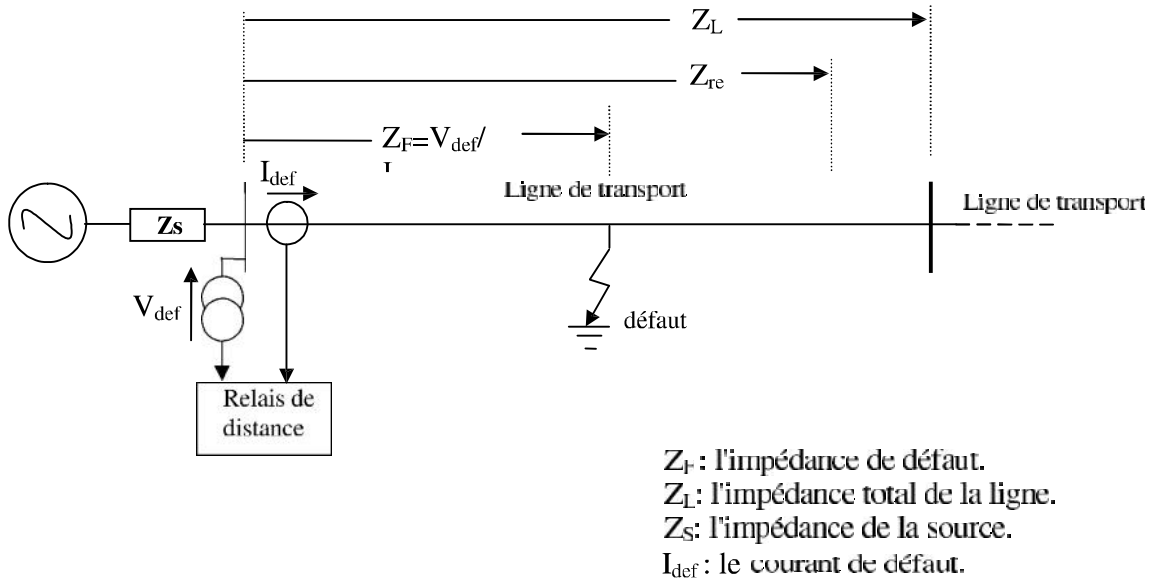


Figure V.1 Principe de la protection de distance

Le principe de la protection de distance est basé sur la loi d'Ohm :

$$U = Z \times I$$

Sachant que $Z_L = R_L + jX_L$

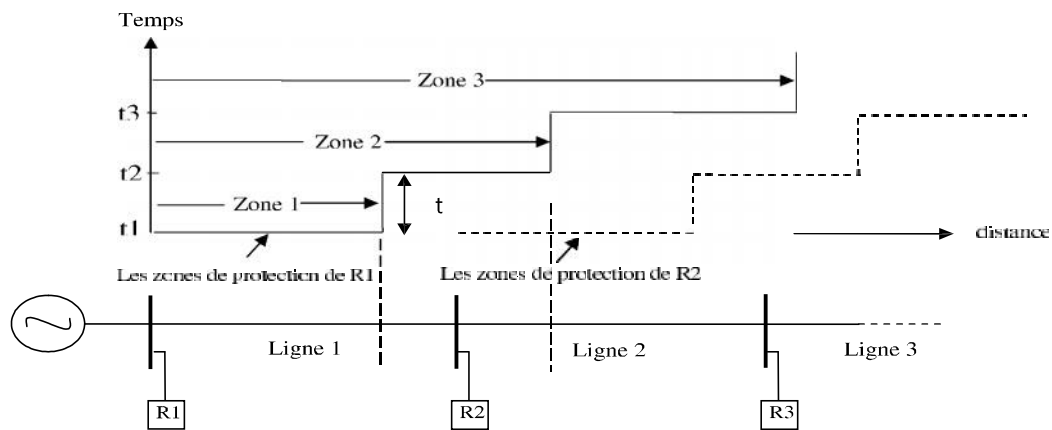
Au cas de défaut ; le courant I augmente, la tension U diminue ce qui fait que l'impédance de la ligne Z_L varie ; On remarque que l'impédance de la ligne Z_L est proportionnelle à la longueur (L), donc pour déterminer la longueur ou se trouve le problème, il suffit de connaître l'impédance c.à.d. L'image de la tension et du courant à partir des transformateurs de mesures TT et TC.

Il convient de noter que la valeur de l'impédance de référence (Z_{ref}) du relais ne couvre pas la longueur totale de la ligne pour des raisons de sécurité. En pratique, il n'est pas possible de mettre la portée du relais pour couvrir 100% de la longueur de la ligne due à plusieurs facteurs. Parmi ces facteurs les inexactitudes dans la mesure de distance par le relais qui peut résulter dans l'algorithme utilisée par le relais. En conséquence, des zones additionnelles de protection sont nécessaires afin de couvrir la longueur totale de la ligne.

- **Zones de protection dans la protection de distance**

Plusieurs zones sont utilisées pour protéger une ligne de transport suivant les indications de la figure (V.2).

La première zone, désignée comme zone 1, est mise pour se déclencher instantanément. Dans la pratique, la zone 1 est mise pour couvrir approximativement 80-90% (varié selon le type de relais) de la longueur totale de la ligne pour prendre soin des erreurs et pour éviter l'opération inutile pour des défauts au delà de l'autre extrémité. La deuxième zone (zone2) est mise pour couvrir le reste de la ligne plus une marge adéquate (environ 20% de la ligne adjacente). Pour assurer la sélectivité, la zone 2 doit être retardée par un temps (gradué) relative à la protection de la ligne adjacente. Le retard de temps typique de la zone 2 est 300ms à 400ms pour les relais électromécaniques et à 250ms à 300ms pour la protection statique et numérique.



(R1, R2, R3): des relais de distance
 t: temps de retard

Figure V.2 Zone de protection et circuit logique de commande pour relais de distance

V-3 Relais à maximum de courant

Les relais à maximum de courant offrent une plus simple forme de protection pour les lignes de transport. Ces relais mesurent le courant qui circule dans la ligne à protéger et compare ce courant à un courant de réglage appelé le courant de seuil, si ce courant mesuré dépasse la valeur seuil, le relais donne l'ordre au disjoncteur local pour ouvrir le circuit et isole la section en défaut. La protection à maximum de courant dans les lignes de transport peut être divisée en deux catégories : protection à maximum de courant non directionnelle et protection à maximum de courant directionnelle.

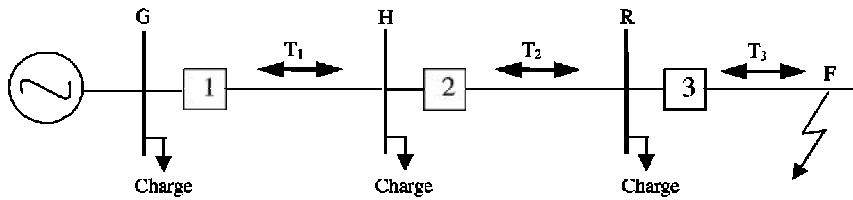
- **Relais à maximum de courant non directionnel**

Les relais à maximum de courant non-directionnels sont normalement utilisés pour protéger les lignes de transport radiales.

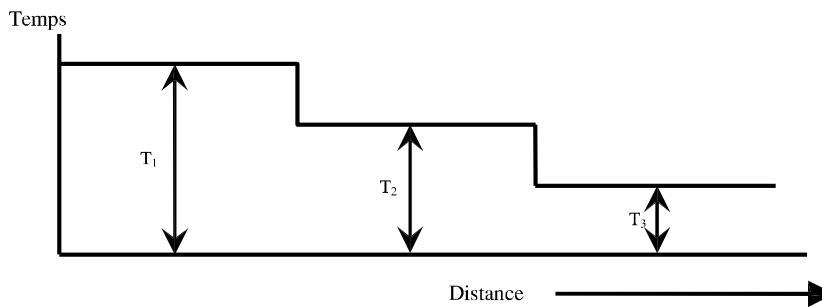
Trois versions du relais généralement utilisés sont : à temps constants, à temps inverse et instantanés. La figure V.3 (a) représente le schéma d'un système radial qui est protégé avec des relais à maximum de courant. Pour un défaut à l'endroit 'F' aucun des relais ne peut déterminer si le défaut est sur sa zone de protection ou sur une autre ligne.

La sélectivité est réalisée par un temps de retard entre les relais (relais à maximum de courant à temps constant) , permettant au relais et au disjoncteur les plus proches de défaut la première possibilité d'élimination de défaut. La caractéristique d'un tel système est présentée dans la Figure V.3 (b). Cette figure montre que le délai (T1) d'élimination

d'un défaut près du générateur peut être très dangereux. C'est évidemment indésirable parce que des tels défauts près du générateur impliquent de grands courants et sont très destructives si le système de protection ne réagit pas rapidement.



(a)



(b)

Figure V.3 : Graduation du temps dans les systèmes radiaux.

Les relais à maximum de courant à temps inverse surmontent partiellement le problème des grands courants rencontré dans les relais à maximum de courant à temps constant. Ces relais fonctionnent plus rapidement pour les défauts près de la source d'alimentation, le temps de déclenchement dépend de la valeur du courant de défaut, plus le courant de défaut est grand plus le temps de déclenchement est petit. Ces relais sont parfois complétés avec des unités instantanées (relais à maximum de courant instantanés). Pour que les relais à maximum de courant instantanés soient sélectifs, il faut que chaque relais soit réglé à une valeur de temps plus élevée. La figure V.4 montre les caractéristiques réalisées en utilisant des relais de surintensité à temps inverse et instantanés. Cette figure prouve que le délai de fonctionnement pour un défaut rapproché est encore réduit quand les relais à maximum de courant instantanés sont utilisés au lieu des relais à maximum de courant à temps inverse .

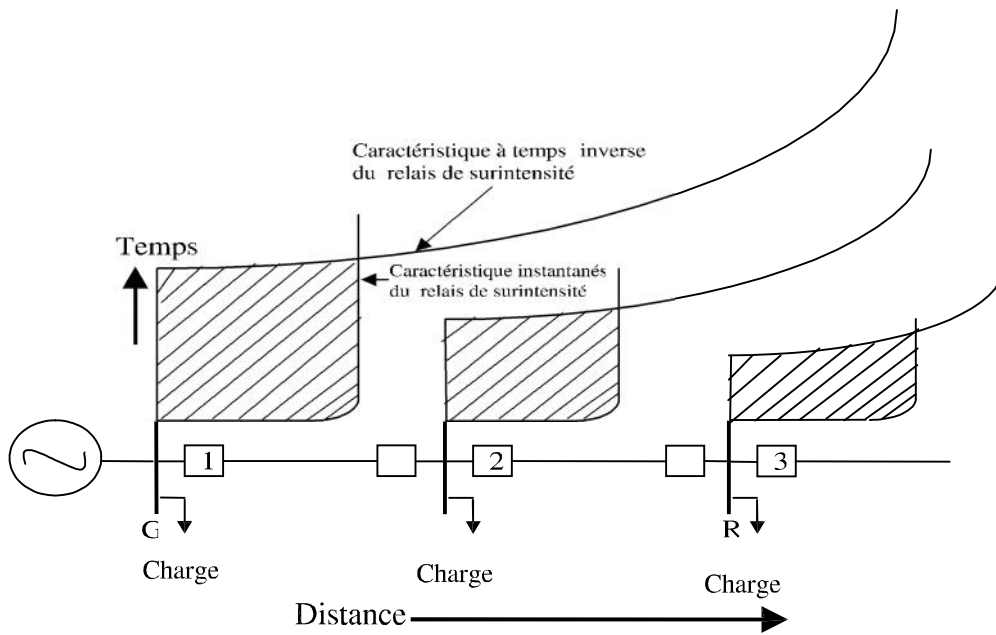


Figure V.4: Protection à maximum de courant à temps inverse et instantané.

- **Relais à maximum de courant directionnel**

Dans un réseau bouclé ou radial avec des sources multiples et de courant de défaut identique, l'écoulement du courant de défaut par rapport à l'emplacement du relais peut être soit sur la ligne ou au jeu de barres à côté du relais. Dans ces circonstances, il est impossible de réaliser la sélectivité en utilisant des relais de surintensité seulement. La sélectivité peut être réalisée en utilisant les relais à maximum de courant directionnels.

La figure V.5 représente un réseau bouclé qui est protégé avec des relais à maximum de courant directionnel. Les flèches asymétriques se dirigent dans la direction de l'écoulement du courant de défaut pour laquelle les relais devraient fonctionner. Seulement à l'endroit 1 et 10 le courant de défaut peut circuler vers la ligne dans la direction pour laquelle le déclenchement est désiré ou dans le sens inverse. Les relais à ces endroits pourraient, donc, être non-directionnels comme est indiqué par les flèches à la tête double.

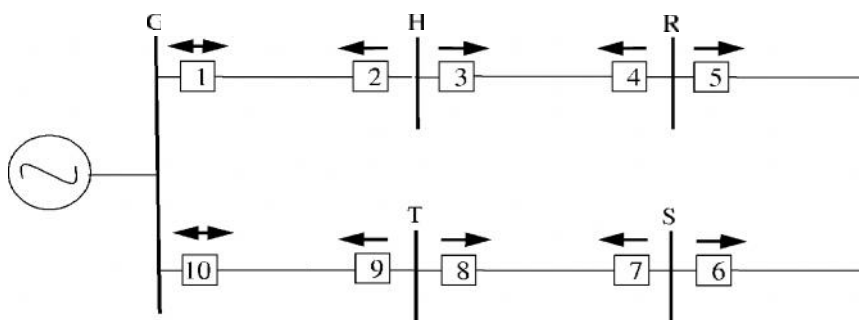


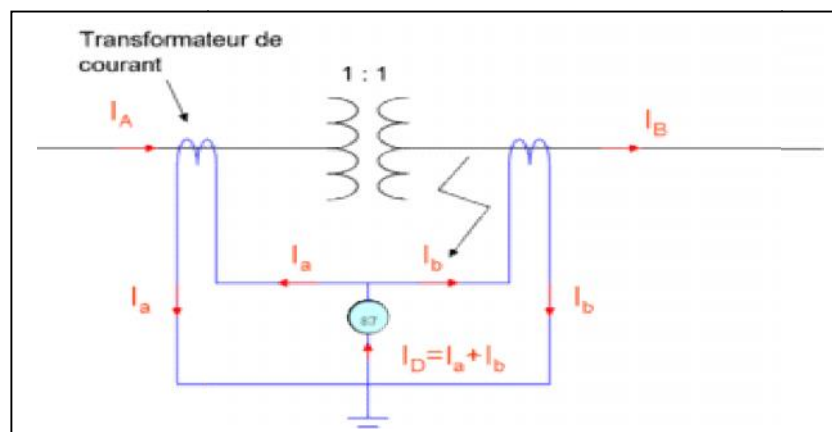
Figure V.5: Protection à maximum de courant directionnel d'un réseau bouclé.

V-4 Protection différentielle

La protection différentielle compare les courants qui entrent avec les courants qui quittent la zone de protection. Si la somme des courants qui entrent et les courants qui quittent la zone de protection est égale à zéro, on conclut qu'il n'y a aucun défaut. Cependant, si cette somme n'est pas égale à zéro, la protection différentielle conclut qu'un défaut existe dans la zone et prend des mesures pour isoler la zone en défaut du reste du système.

La Figure V.6 représente une phase d'un système de protection différentiel triphasé. Dans les conditions normales, le courant à l'entrée de l'unité protégée serait égal au courant sortant à chaque instant.

En cas d'un défaut dans la zone de protection, le courant d'entrée n'est plus égal au courant de sortie. Le courant d'opération du relais différentiel actionne le relais pour isoler la zone en défaut.



V.6 Protection différentiels pendant un défaut interne

La protection différentielle sert à protéger en particulier :

- Les jeux de barres :
- Les générateurs
- Les transformateurs.
- Les lignes.
- Les canalisations souterraines

✓ **Avantage de la protection différentielle:**

La protection différentielle est avantageuse parce qu'elle peut détecter des courants de court-circuit inférieurs au courant nominal, elles présentent aussi l'avantage d'être rapides et indépendantes des autres protections en terme de sélectivité.

• **Protection différentielle longitudinale**

Ce type de protection est utilisé dans des sections de petite longueur (jusqu'à 5km dans les réseaux 35kV et jusqu'à 10km dans les réseaux 110kV) dans le cas où la protection de distance ne répond pas aux exigences de la vitesse, la sélectivité et de la sensibilité.

Ce type de protection nécessite des TC (transformateurs de courant) identiques aux deux extrémités, un relais à faible impédance branché dans le circuit différentiel et deux fils pilotes.

La protection ne doit notamment pas déclencher:

- à cause du courant capacitif de ligne
- en cas de saturation des transformateurs de courant

V-5 Protection de surtension

La protection de surtension sert à protéger le réseau THT contre les surtensions à fréquence industrielle. Elle est temporisée pour éviter son fonctionnement suite aux surtensions transitoires et aux défauts fugitifs. Les unités de tension sont réglées généralement à 125 % de la tension nominale leur action est temporisée à 30 s.

V-6 Fonction protection de tension homopolaire

Cette fonction est utilisée pour détecter une surtension au niveau du neutre du transformateur de tension causée par un défaut à la terre ou par la perte d'une ou de deux phases. L'unité de tension est réglée généralement à 10 V. Pour cette fonction on préconise une alarme après une temporisation de 2 s sans déclenchement.

V-7 Fonction protection à manque de tension

Elle assure la sauvegarde des installations électriques en cas de défaillance des réseaux, c'est à dire en cas de manque de tension générale, elle assure l'ouverture de tous les disjoncteurs des départs.

V-8 Protection directionnelle de terre

C'est une protection complémentaire à la protection de distance, son rôle est d'assurer le déclenchement de la ligne en cas de non-fonctionnement de la protection de distance suite à un défaut résistant. Pour éviter de devancer les protections principales et de réserve et en raison de son action triphasée sur le disjoncteur, cette protection est temporisée et agit dans tous les cas après les deuxièmes stades des protections de distance.

V-9 Réenclencheur

Pratiquement la plupart des défauts affectant les réseaux THT sont fugitifs, c'est à dire qu'ils ne produisent pas une détérioration durable de l'isolant à l'endroit du court-circuit. La durée minimale de mise hors tension est de l'ordre de 0.2 à 0.3 s. A près ce délai, il est possible de remettre sous tension l'ouvrage atteint. Cette opération peut être automatisée ; elle s'appelle alors le réenclenchement automatique et les automates qui la commandent sont des réenclencheurs.

V-10 Protection des transformateurs THT/HT/MT

La protection des transformateurs adoptée sur le réseau national est basée sur le compromis entre un critère économique et la possibilité de protéger le transformateur contre les différents défauts qui peuvent l'endommager. Le transformateur est l'équipement le plus important dans un poste de transformation. Son coût est extrêmement élevé et son immobilisation en cas d'incident est toujours très longue.

Un transformateur de puissance peut être soumis à deux types de défauts:

- **Les défauts internes** : court-circuit entre spires ou enroulement et la cuve du transformateur, défaut sur le circuit magnétique ou mauvais fonctionnement du système de refroidissement ou défaut sur le régulateur en charge.

- **Les défauts externes** : court-circuit sur le réseau qu'alimente le transformateur, surcharge, surtension due à la foudre ou défaut du système régulation.

La détection, l'élimination de ces défauts et la continuité du service nécessitent l'usage de plusieurs types de relais de protection.

a) Protections contre les défauts internes

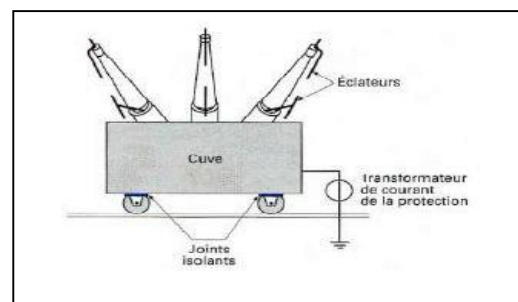
Protections Masse cuve [64]:

La protection masse cuve est prévue pour protéger le transformateur contre les amorçages entre les parties actives et la cuve, cette protection est basée sur l'isolement de la cuve par rapport à la terre. Cette protection du type ampèremétrique à une action instantanée.

- La cuve du transformateur est isolé de la terre
- Un seul point de liaison directe à la terre est réalisée par un conducteur sur lequel est placé un TC .

- Le TC alimente un relais ampèremétrique

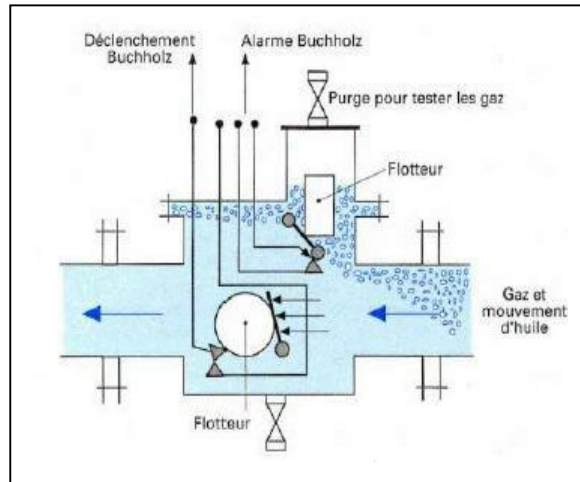
Réglage fixé généralement à **60%** du courant nominal du TC



Protection Buchholz

Installée au niveau de la canalisation reliant la cuve du transformateur au ballon d'expansion d'huile, elle est sensible à tous les défauts internes qui provoquent un arc électrique. Le principe de cette protection est basé sur la détection du dégagement gazeux provoqué par la décomposition de l'huile suite à la survenue de défauts à l'intérieur du transformateur ou par l'augmentation de la vitesse de circulation d'huile entre le conservateur et la cuve. Constituée de deux flotteurs pouvant pivoter autour d'un axe ; chaque flotteur porte une ampoule de mercure capable de fermer un circuit de commande. L'un des flotteurs réalise la signalisation et l'autre le déclenchement instantané des deux disjoncteurs du transformateur. Le contact alarme du relais Buchholz est actionné par la baisse du niveau d'huile et le contact « déclenchement » est actionné lorsque la vitesse de l'huile dans la canalisation reliant la cuve du transformateur au conservateur atteint une certaine valeur.

- Le dégagement gazeux est signe de décomposition d'huile donc de défaut interne.
- Le relais buchholz décèle le dégagement gazeux sur la partie supérieur du transformateur à l'entrée du réservoir d'expansion de l'huile.
- Relais à deux seuils : Alarme et déclenchement



Protection de température

Une élévation de la température d'un transformateur de puissance peut être due à :

- * Des défauts d'isolement à l'intérieur du transformateur non détectés par les protections ou à une surcharge progressive.
- * Une défaillance du système de refroidissement.

Le contrôle de la température est réalisé par des sondes thermostatiques immergées dans l'huile du transformateurs.

Les seuils utilisés pour les transformateurs sont :

Alarme à :

- 80° pour les transformateurs HT/MT
- 90° pour les transformateurs THT/HT/MT

Déclenchement :

- 90° pour les transformateurs HT/MT
- 100° pour les transformateurs THT/HT/MT

b) Protections contre les défauts externes

Afin d'améliorer la sûreté d'élimination des défauts dont le transformateur peut être le siège. Il a été retenu, en plus des protections internes d'adopter les protections suivantes :

Protection de surcharge:

La durée de tenue d'un transformateur à la surcharge est largement supérieure à la tenue aux courts circuits

- La protection de surcharge permet :

- Ne pas déclencher le transformateur en un temps court pour la surcharge.
- Éviter les éventuels déclenchement par des courants transitoires
- Faire des actions de délestage en fonction de la charge ce qui permet de maintenir le transformateur en service.

La protection de surcharge de ligne et de transformateur contrôle uniquement le courant transitant l'élément du réseau à protéger ,en le comparant aux deux seuils de réglages prédéfinis par rapport au courant nominal « I_n »

Le premier seuil réglé entre « $1,15 I_n < I < 1,5 I_n$ »

si le courant « I » traversant l'équipement est compris entre « $1,15 I_n$ » et « $1,5 I_n$ » la protection doit élaborer :

- une alarme et une télésignalisation « **surcharge** » et éventuellement des ordres de délestage ,après une temporisation de **20 secondes**
- un ordre de déclenchement si le défaut persiste au delà d'une temporisation de **20 minutes**

le deuxième seuil est réglé à « $I > 1,5 I_n$ » si le courant « I » traversant l'équipement est supérieur à « $1,5 I_n$ » la protection doit élaborer :

- une alarme et une télésignalisation « **surcharge dangereuse** » après une temporisation de « **20 secondes** » .
- un ordre de déclenchement si le défaut persiste au delà d'une temporisation de **5 minutes**

Cette protection est assurée par deux relais à maximum de courant, un coté HTB et l'autre coté HTA

Protection contre la surtension:

Le rôle des parafoudres et des éclateurs de protection est de protéger le transformateur contre les surtensions excessives dont l'origine peut être :

- L 'atmosphère (coups de foudre) .
- Les manœuvres.
- Mauvais fonctionnement de la régulation de tension.

Cette protection est réalisée par un relais voltmétrique alimenté par le TT barre.

Les seuils de réglage sont :

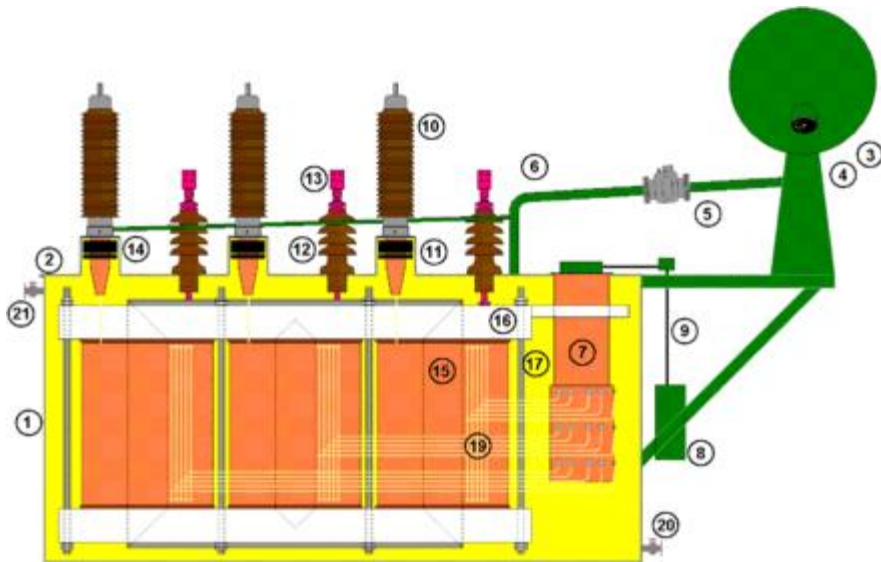
- ✓ 125% U_n temporisée à 30s pour le 225 KV
- ✓ 125% U_n temporisée à 0.4s pour le 60 KV

Protection défaillance disjoncteur (50BF):

La défaillance d'un disjoncteur peut avoir des conséquences très graves. Cette défaillance est détectée si un ordre de déclenchement n'est pas exécuté après une certaine temporisation. L'action de la protection est l'ouverture de tous les disjoncteurs raccordés au même jeux de barres que le disjoncteur défaillant. La protection défaillance disjoncteur émet ses ordres de déclenchement via la protection jeux de barres si celle ci existe. Dans le cas du transformateur l 'information utilisée pour détecter la défaillance disjoncteur $I_r = 20\% I_n \rightarrow t = 2,5 \text{ sec}$

Protection différentielle (87T):

La protection différentielle transformateur est une protection principale aussi importante que les protections internes transformateur. Cette protection à une sélectivité absolue. Le principe de la protection différentielle transformateur consiste à comparer deux courants d'une même phase qui normalement sont égaux. Si le courant qui rentre dans la zone protégée n'est pas égal au courant sortant de cette zone, la différence des courants des extrémités de la zone protégée donne la mesure du courant de défaut. Cette protection est nécessaire pour détecter les défauts entre phases à l'intérieur du transformateur



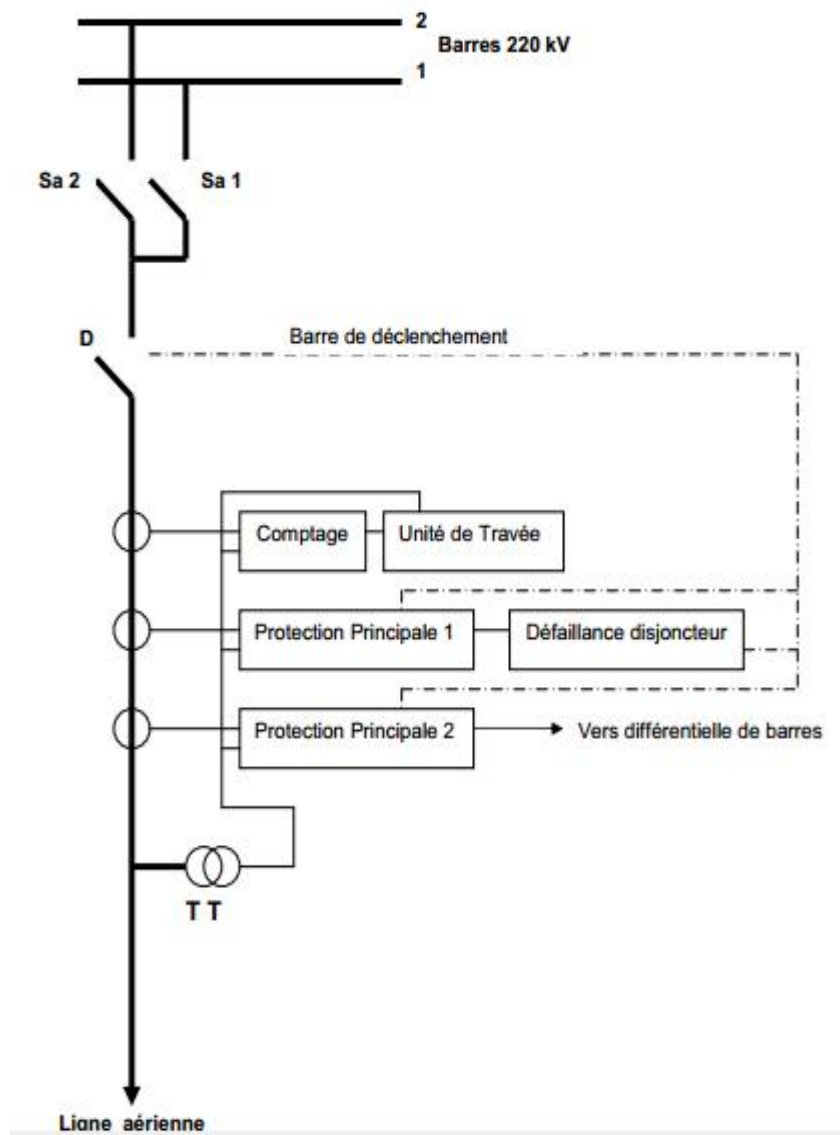


Schéma bloc de Travée Ligne longue 220 kV