

Chapitre IV : CLASSIFICATION DES RELAIS

Les relais sont des appareils destinés à rompre ou à établir les circuits électriques sous l'effet d'un facteur physique. Les relais sont utilisés dans les circuits de commande et des circuits de protection.

Les relais de commande mesurent, ou reçoivent un signal de contrôle, suite à qu'ils provoquent un changement déterminé au préalable dans un ou plusieurs circuits, autrement dit, ils assurent le déclenchement ou l'enclenchement des circuits électriques quand cela est exigé dans un procédé industriel [6].

Les relais de protection se composent de deux éléments principaux, l'élément récepteur (comparateur) et l'élément actionneur. Le premier élément, qui peut être un comparateur de phase ou d'amplitude, est soumis à des facteurs électriques caractérisant le circuit protégé (tension, courant...). Une fois que les ou l'un de ces paramètres pour lequel l'élément récepteur est réglé dépasse l'élément actionneur, et celui-ci à son tour provoque un changement d'état dans le circuit secondaire, entraînant le déclenchement du disjoncteur contrôlé.

Il existe plusieurs types de relais dont la classification est faite selon les indices suivants :

- **Selon la conception**

- a- relais électromagnétique,
- b- relais à induction,
- c- relais électrodynamique,
- d- relais thermique,
- e- relais statique.

- **Selon les grandeurs à contrôler**

Les grandeurs à contrôler sont celles qui caractérisent le circuit électrique (tension, courant, fréquence, déphasage)

- a- relais de courant
- b- relais de tension,
- c- relais de fréquence,
- d- relais soumis à une combinaison de ces grandeurs: relais de puissance, relais directionnels, relais de distance.

- **Selon la modification de la grandeur contrôlée**

La modification de la grandeur contrôlée représente le facteur qui détermine la mise en action du relais. D'après ce facteur les relais sont classés en:

- a- relais à maximum,
- b- relais à minimum,
- c- relais différentiels.

- **Selon le mode d'action**

- a- relais à action direct
- b- relais à action indirecte.

IV.1. Relais électromagnétiques

Un relais électromagnétique, dans son principe de commutation, s'apparente à un interrupteur mécanique dont la manœuvre serait non pas effectuée manuellement, mais en faisant circuler un courant dans le circuit d'excitation du relais. Ce circuit est constitué par une bobine appelée bobine d'excitation ou bobine de commande.

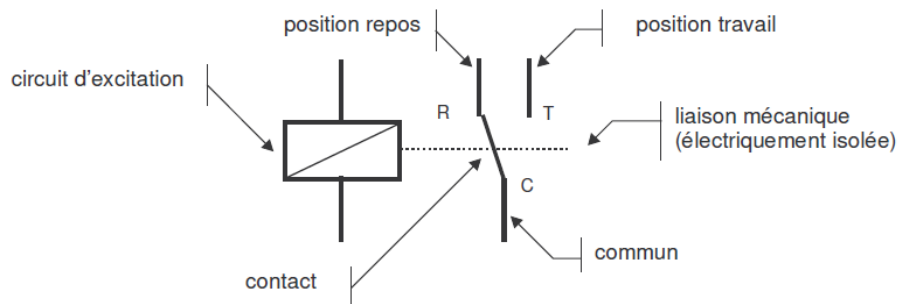


Figure IV.1. Constitution d'un relais électromagnétique

La mise en action du relais par sa bobine de commande demande une puissance électrique faible. Elle provoque l'ouverture ou la fermeture d'un circuit dans lequel circule un courant élevé, et par là même elle peut commander une puissance beaucoup plus grande que la puissance d'excitation.

Lorsque le relais est commandé, le contact initialement en position repos passe en position travail et reste dans cette position tant qu'un courant circule dans le circuit d'excitation.

Lorsque le courant dans le circuit d'excitation disparaît, le contact revient en position repos.

IV.1.1. Caractéristiques d'un relais électromagnétique

▪ Côté commande (bobine) :

- Tension nominale d'alimentation (U_n) : valeur de la tension d'alimentation de la bobine pour un fonctionnement optimal.
- Résistance de la bobine d'excitation (R_{bob}) : Ce paramètre caractérise la résistance électrique du circuit d'excitation du relais.
- Courant nominal (I_n) : valeur du courant circulant dans la bobine pour un fonctionnement optimal ($I_n = U_n / R_{bob}$)
- Tension d'enclenchement du relais : valeur minimale de la tension d'alimentation de la bobine permettant le passage des interrupteurs en position de travail.
- Tension de déclenchement du relais : valeur maximale de la tension d'alimentation de la bobine permettant le retour des interrupteurs en position de repos.

▪ Côté interrupteurs commandés :

- Nature des contacts : On peut trouver plusieurs contacts dans un relais. Ces contacts peuvent être à ouverture (normalement fermé), à fermeture (normalement ouvert), inverseur ou temporisés.
- Intensité maximale du courant pouvant traverser les contacts
- Pouvoir de coupure : puissance maximale que l'interrupteur peut supporter
- Tension de service : tension aux bornes de l'interrupteur quand celui-ci est ouvert
- Nombre maximum de manœuvres possibles
- Résistances de contact des interrupteurs
- Temps de déclenchement ou d'enclenchement.

Les relais électromagnétiques peuvent être classés comme suit :

- a. relais à entrefer constant,
- b. relais à entrefer variable,
- c. relais à noyau plongeur,
- d. relais reed,
- e. relais polarisé.

IV.1.2. Relais à entrefer

Le principe de fonctionnement de ces relais est basé sur l'action qui s'exerce entre éléments de fers aimantés. Une bobine fixe parcourue par le courant provoque une aimantation d'un circuit magnétique dont une partie mobile se déplace (armature), figures IV.2 et IV.3. La

force d'attraction sur l'armature sera d'autant plus grande que l'intensité sera plus élevée et l'entrefer plus faible.

Quand le courant dans la bobine dépasse le courant de seuil (I_s), l'armature est attirée vers le noyau, entraînant avec elle le contact mobile qui se ferme sur le contact fixe. Quand le courant dans la bobine devient inférieur au courant de seuil le relais reprend sa position de repos. L'ouverture des contacts est assurée par un ressort de rappel [7].

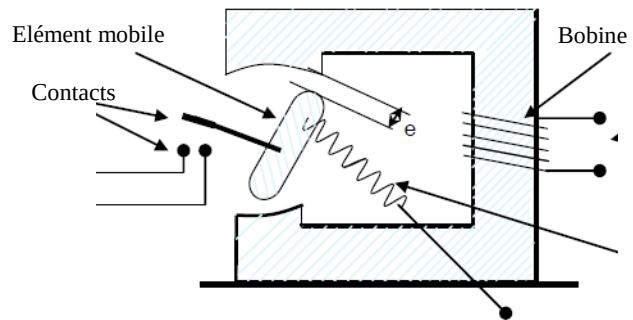
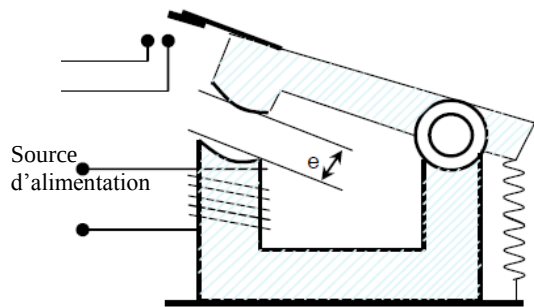


Figure IV.2. Modèle électromagnétique à entrefer variable(e). Figure IV.3. Modèle à entrefer constant (e)

IV.1.3. Relais Reed

Le relais Reed se compose de deux lames magnétiques fixées aux bouts d'un cylindre en verre. Sur l'autre extrémité de ces lames sont placés les contacts, séparés l'un de l'autre par un vide réduit au minimum. L'application d'un champ axial provoque l'attraction des deux lames et la fermeture des contacts. Le champ magnétique peut être créé par une bobine ou un aimant. Pour avoir un relais à multi-contacts on place plusieurs de ce type de relais à travers une bobine. Par rapport au relais à armature pivotante, le relais reed est plus rapide. Cette rapidité de fonctionnement est due à la réduction de la masse totale des contacts et de leur course, le temps de fonctionnement est de (01 ms).

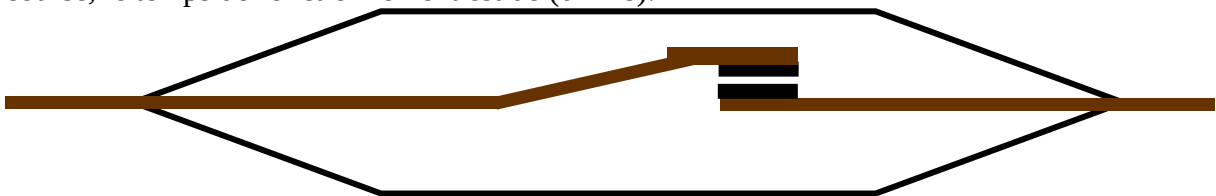


Figure IV.4. Relais Reed

IV.1.4. Relais à noyau plongeur

Le principe de fonctionnement de ce relais est le même que le relais à entrefers, sauf qu'au lieu d'une armature le relais possède un noyau plongeur mobile qui est attiré dans la bobine. Le domaine d'utilisation de ce relais peut aller d'un simple mécanisme de surcharge au fonctionnement des mécanismes exigeant un travail considérable.

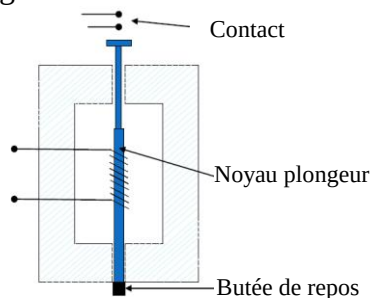


Figure IV.5. Relais électromagnétique à noyau plongeur

IV.1.5. Relais polarisés

Un relais polarisé est constitué par un aimant permanent dont les pôles sont N et S et dont le circuit magnétique possède, dans sa partie centrale, une troisième branche sur laquelle est enroulée la bobine d'extraction B et qui se termine par une partie mobile M portant le contact C, articulé autour d'un pivot P.

Un pont de redresseurs alimente la bobine B dans un sens tel que l'extrémité de la partie mobile M devient un pôle N, cette partie s'oriente donc vers le pôle S, provoquant la fermeture du contact. Suivant sa construction, le relais polarisé peut être monostable ou bistable.

Le relais polarisé est caractérisé par un fonctionnement très rapide, une faible consommation, un courant de retour au repos I_r très voisin du courant de fonctionnement I_f .

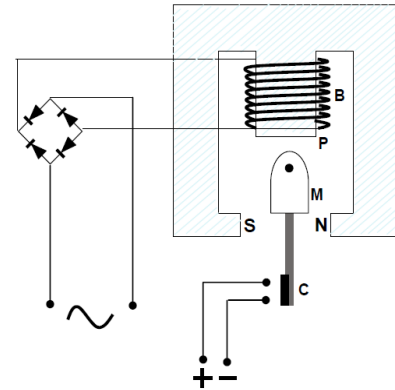


Figure IV.6. Relais polarisé

IV.1.6. Relais à induction

Les relais à induction sont de type à disque ou à cylindre figure IV.7 Le principe de fonctionnement de ces relais est basé sur le couple produit par l'interaction de deux flux magnétiques qui sont mutuellement disposés sous un certain angle l'un par rapport à l'autre [6].

Le courant I parcourant la bobine du relais, produit un flux magnétique (ϕ_0). Une spire en court-circuit placée sur un des pôles permet de provoquer artificiellement la division du flux ϕ_0 en deux flux ϕ_1 et ϕ_2 .

Le flux ϕ_1 traversant la spire en court-circuit crée le flux magnétique de la spire, et c'est grâce à ce dernier qu'un angle de déphasage (α) est créé entre ϕ_1 et ϕ_2 .

Les flux magnétiques ϕ_1 et ϕ_2 traversant le disque, induisant dans ce dernier les forces électromotrices (F.E.M) E_1 et E_2 qui, à leur tour créent les courants tourbillonnaires I_1 et I_2 à l'intérieur du disque. L'interaction entre ϕ_1 et I_2 ; ϕ_2 et I_1 , crée le couple moteur du disque qui est déterminé d'après la formule suivante:



Figure IV.7. Relais à induction

$$C = K_1 \cdot f \cdot \phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \sin \alpha \quad (IV.1)$$

K_1 : coefficient de proportionnalité,

f : fréquence,

α : déphasage entre ϕ_1 et ϕ_2

IV.2. Relais statique

Le principe de fonctionnement des relais statiques est basé sur les caractéristiques propres des composants à base de semi-conducteurs (diode, transistors...etc).

Les relais statiques ont tendance à remplacer complètement les relais électromagnétiques. Ceci s'explique par les avantages apportés à la protection, tels que:

- Rapidité de fonctionnement,
- Résistance aux chocs et aux vibrations,
- Aucune nécessité de maintenance,
- Énergie consommée très faible, ce qui permet leur miniaturisation,
- Pas de détérioration suite à des fonctionnements fréquents.

Le principe de fonctionnement reste le même et constitue une extension des photocoupleurs qui sont largement utilisés et connus. Leur forme la plus simple présente une LED côté entrée et un phototransistor côté sortie, qui sont séparés par un chemin optique de l'ordre de quelques millimètres (Figure IV.8). En fonction des niveaux de tension et de courant, il est possible d'utiliser un thyristor ou TRIAC photosensible au lieu du phototransistor.

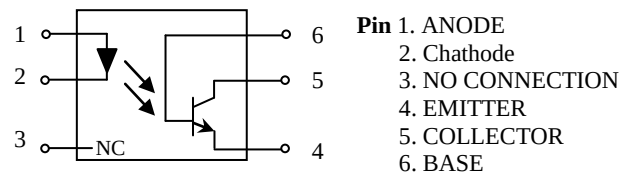


Figure IV.8. Relais statique

L'isolation galvanique entre la LED et le phototransistor se situe généralement dans une plage de quelques milliers de volts, en raison de la séparation LED/phototransistor, ainsi que la barrière isolante optiquement transparente. Il est à noter que l'isolation constitue un paramètre de claquage de tension et n'est pas la même chose que la résistance d'entrée à sortie, qui est de l'ordre de 1000 à 1 million MΩ (souvent simplement appelée la résistance « infinie »). Le temps de commutation entre les états passant et bloqué est typiquement spécifié à quelques microsecondes.

Cependant, un relais statique complet est plus qu'une LED et un phototransistor ou un thyristor/TRIAC photosensible. Il nécessite également des circuits et des fonctions supplémentaires sur le côté entrée de la LED et le côté sortie photosensible (figure IV.9).

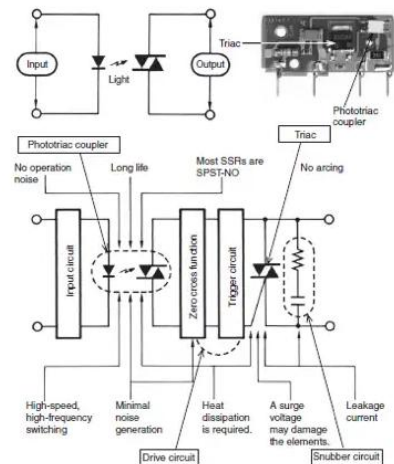


Figure IV.9. Un relais statique complet requiert des circuits et des fonctions supplémentaires sur le côté entrée de la LED et le côté sortie photosensible.

IV.3. Relais thermiques

Les relais thermiques sont des capteurs destinés à fonctionner sous l'effet de la température lorsque celle-ci dépasse une valeur bien déterminée. Ces relais sont utilisés comme moyen de protection des machines électriques contre les surcharges de longue durée. L'augmentation de la température due aux surcharges peut être détectée d'une manière directe ou indirecte par l'une des méthodes suivantes:

- Dilatation d'un liquide ou d'un solide,

- Variation de la résistance d'un métal,
- Force électromotrice d'un thermoélectrique,
- Mesure de $I^2.t$.

IV.3.1. Relais à bilame

Le relais bilame figure IV.10, se compose de deux couches de métaux de coefficients de dilatation thermique très différents. Les deux couches sont liées rigidement l'une à l'autre. En chauffant la bilame, la couche métallique ayant le coefficient de dilatation thermique le plus élevé se dilate davantage que celle qui le plus faible coefficient.

La différence de dilatation provoque une courbure de la lame d'autant plus accentuée que l'échauffement sera plus important. L'échauffement des bilames est donné :

- Soit par une résistance électrique chauffante enroulée autour du bilame,
- Soit par un passage direct du courant électrique dans la bilame (entre sa fixation et un contact fixe),

IV.3.2. Relais Ipsotherme

Sous l'effet de la chaleur, pour la valeur de réglage, la bilame se déforme, inverse sa courbure et vient contre le contact fixe, assurant ainsi la fermeture du circuit électrique.

Le relais Ipsotherme figure IV.11, de très petites dimensions, peut être placé directement au contact des isolants du stator de la machine électrique. Le relais est réglé pour fermer les contacts dès que la température atteint la limite de sécurité pour les isolants, quelle que soit la cause de la montée en température.

Ces relais sont généralement utilisés seulement en signalisation, donc leur fonctionnement ne provoque pas automatiquement le débranchement de la machine.

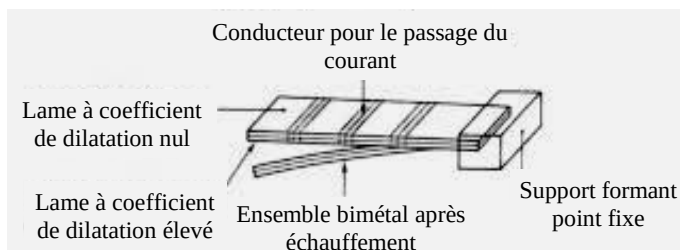


Figure IV.10. Relais Bilame

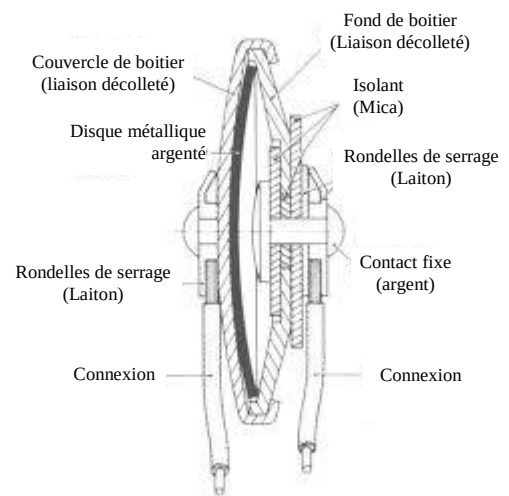


Figure IV.11. Relais Ipsotherme

IV.4. Relais directionnel [22]

Les modules de relais directionnels sont utilisés pour la protection contre les surintensités et les défauts de terre lorsqu'une caractéristique de sélectivité est nécessaire ; en raison de lignes en parallèle, de réseaux en maillés ou de réseaux alimentés à partir d'un nombre de sources.

Elle est nécessaire en cas de défaut :

- En présence de plusieurs sources ;
- Dans un réseau en boucles fermées ou câbles en parallèles ;
- En neutre isolé pour les retours de courants capacitifs ;
- Et pour détecter le sens anormal d'écoulement d'énergie active ou réactive (machines tournantes).

Ainsi, dans la situation d'un réseau à deux sources illustrée par la figure IV.12, les protections à maximum de courant déclencheront.

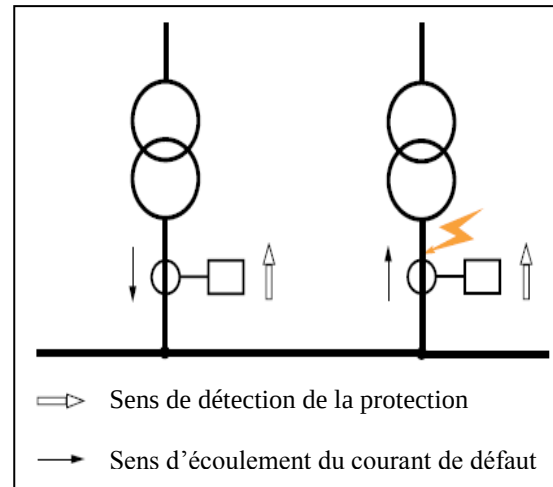


Figure IV.12. Illustration du rôle des protections directionnelles.

Les protections directionnelles de courant sont capables de ne déclencher que l'arrivée en défaut. C'est la mesure du sens d'écoulement du courant, c'est-à-dire la mesure du déphasage entre courant et tension, qui permet de détecter la direction dans laquelle se trouve le défaut.

▪ Application

Les protections directionnelles sont utiles sur tout élément du réseau où le sens d'écoulement de l'énergie est susceptible de changer, notamment lors d'un court-circuit entre phases et/ou d'un défaut à la terre (défaut monophasé).

- La protection directionnelle de "phase" est installée pour protéger deux liaisons exploitées en parallèle, une boucle ou une portion de réseau reliant deux sources d'énergie.

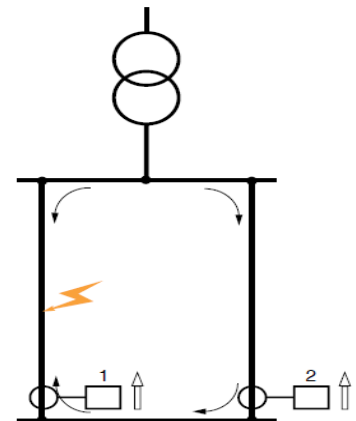


Figure IV.13. Application de la protection directionnelle (liaison parallèle)

Sur le schéma de la figure IV.2 : La protection directionnelle (1) déclenche car le sens d'écoulement du courant est anormal.

La protection directionnelle de "terre" est sensible au sens d'écoulement du courant à la terre. Dès lors que le courant de défaut phase-terre se répartit entre plusieurs systèmes de mise à la terre, il est nécessaire d'installer des protections directionnelles de terre.

Les protections directionnelles sont donc un moyen complémentaire aux protections à maximum d'intensité, permettant, dans les situations précédemment citées, d'assurer une bonne discrimination de la portion de réseau en défaut.

IV.5. Relais d'impédance (de distance)

Un relais d'impédance est un dispositif de détection de défaut dans une ligne ou un câble dont la mise en œuvre est basée sur des mesures d'impédance.

Si l'impédance vue par le relais est assimilable – avec un risque d'erreur suffisamment faible – à celle d'un défaut dans le secteur protégé par ce relais, un ordre de déclenchement est envoyé au disjoncteur idoine ; sinon, le relais suppose un fonctionnement normal. L'intérêt principal d'un tel relais réside dans le fait que celui-ci est beaucoup plus sélectif qu'un relais d'intensité ; en effet, comme il est basé sur une mesure d'impédance, il permet de distinguer une forte charge ($\cos(\varphi)$ proche de 1) de l'existence d'un court-circuit sur la ligne ($\cos(\varphi)$ proche de 0) – ce que ne permet évidemment pas une « simple » mesure de courant.

La logique de ce relais est régie par les trois caractéristiques suivantes :

- Une valeur seuil de courant qu'au moins l'un des courants mesurés doit dépasser pour que la protection entame une mesure d'impédance. Cette valeur seuil dépend du type de défaut potentiellement présent – du fait qu'il implique ou non la terre.

- Une caractéristique de détection de défaut qui, lorsque l'une des impédances mesurées passe à l'intérieur de cette caractéristique, permet de commuter la protection dans un mode de calcul plus précis. Comme les impédances à calculer dépendent du fait que le défaut implique la terre ou pas, chacun des cas possède sa propre caractéristique (en pointillé lorsque la terre est concernée). La forme d'enclume de ces caractéristiques permet de distinguer facilement les cas de longues lignes fortement chargées par rapport aux cas de courts-circuits.

La figure IV.14 montre la Variation de l'impédance de la boucle, en fonction de la distance, pour un court-circuit biphasé. Le grand avantage du relais construit d'après le principe d'impédance réside dans le choix automatique des temps de déclenchement en fonction de la distance au lieu du court-circuit, ainsi que dans leur indépendance compète de l'intensité du courant de court-circuit.

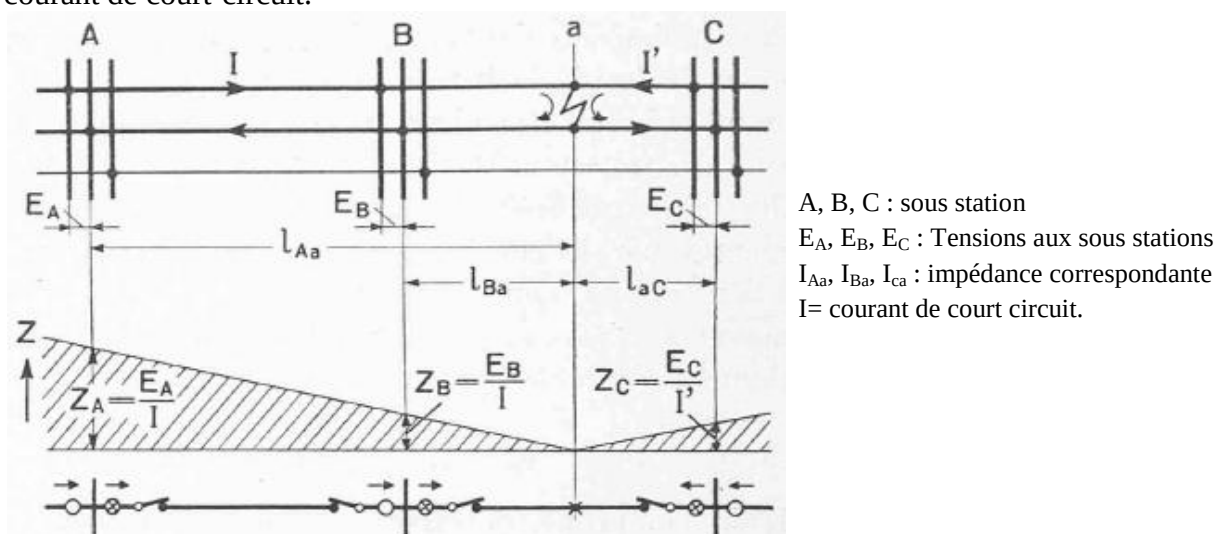


Figure IV.14: Court circuit entre deux phases et variation de l'impédance de court circuit

Cette dernière circonstance permet d'étendre le domaine de fonctionnement du relais à des courants de court-circuit inférieurs au courant normal, tels qu'ils se produisent aux périodes de faible charge, en cas de service séparé, etc., et qui ne peuvent pas être décelés par des relais à maximum de courant.

Dans ce but, le fonctionnement des relais ne doit pas dépendre du dépassement d'une intensité de courant déterminée, mais de l'existence d'une impédance inférieure à une valeur donnée.

En effet, l'impédance de court-circuit n'est jamais supérieure à l'impédance en service normal, même pour les plus grandes surcharges qui peuvent se présenter. Le fonctionnement du relais basé sur le principe d'impédance assure le déclenchement des courants de court-circuit même les plus faibles, tout en admettant des surcharges normales, sans qu'il soit nécessaire pour cela de procéder à des réglages quelconques. Le choix automatique du temps

de déclenchement en fonction de l'impédance est indépendant de la configuration du réseau, du nombre de sources d'alimentation et de l'intensité du courant de court-circuit. On peut donc obtenir, grâce à la suppression d'un échelonnement fixe entre les postes, des temps de déclenchement tels que les conséquences des perturbations soient réduites au minimum. A tous points de vue, les temps de déclenchement doivent être très courts, à cause des dégâts causés aux lignes, aux isolateurs et en particulier des suites indirectes d'un temps de déclenchement trop long, soit le décrochage des machines synchrones. La seule protection efficace contre cette dernière perturbation est un déclenchement rapide. Un temps de déclenchement inférieur à deux secondes est la première condition exigée d'un relais sélectif moderne.

IV.5.1. Principe de fonctionnement

- Mesurer une impédance proportionnelle à la distance du point de mesure au défaut,
- Délimiter des zones d'impédance correspondant à des tronçons de ligne de différentes longueurs (figure IV.15),
- Déclencher par zone avec temporisation.
- L'exemple de la figure 2 fait apparaître pour la protection en A du tronçon AB :
- Un cercle d'impédance à 80 % de la longueur de ligne (zone 1), à l'intérieur duquel est associé un déclenchement instantané,
- Une couronne d'impédance comprise entre 80 % et 120 % de la longueur de ligne (zone 2), à laquelle est associé un déclenchement temporisé (200 ms),
- Un cercle d'impédance à 120 % de la longueur de ligne (zone 3), à l'extérieur duquel est associé un déclenchement temporisé long de secours de la protection B à l'extérieur de AB,
- Un cercle d'impédance à 120 % en aval pour assurer le secours de la protection en aval,
- Lorsqu'il y a communication entre les protections aux extrémités, on peut déclencher instantanément entre 0 et 100 %.

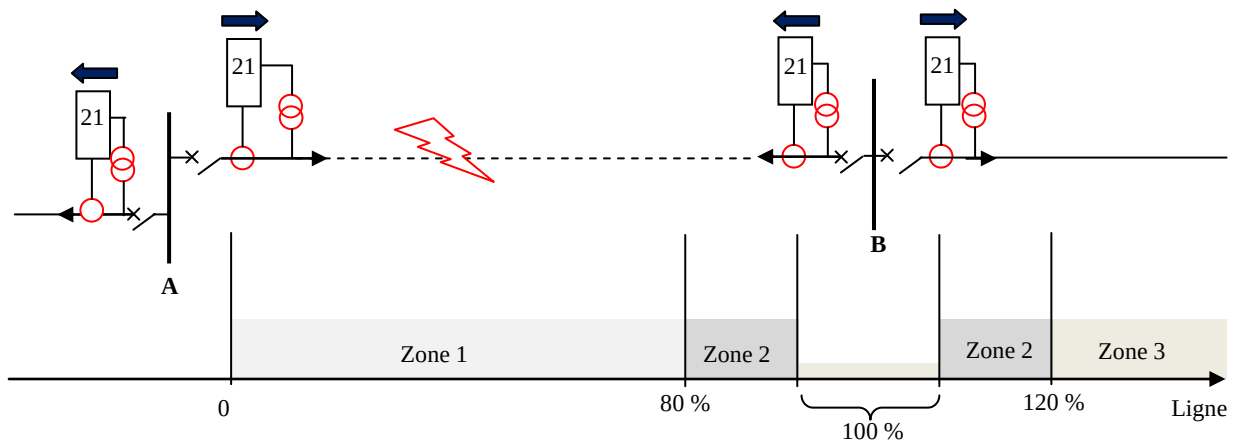


Figure IV.15. Principe de la protection de distance

IV.6. Relais différentiels

Les relais différentiels sont destinés à protéger les moteurs, générateurs transformateurs et les lignes contre les courts-circuits. Ces relais détectent les CC en comparant les courants entrants aux courants sortant des circuits protégés.

Pour effectuer cette comparaison, il suffirait de réaliser sur chaque phase de l'élément à protéger « EP » le montage de la figure IV.16, où T_1 et T_2 sont les transformateurs de courant à l'entrée et à la sortie de « EP » et où « R » est un simple relais de courant qui ferme son contact quand le courant secondaire (I_1-I_2) proportionnel à (J_1-J_2) dépasse une certaine valeur de réglage [7].

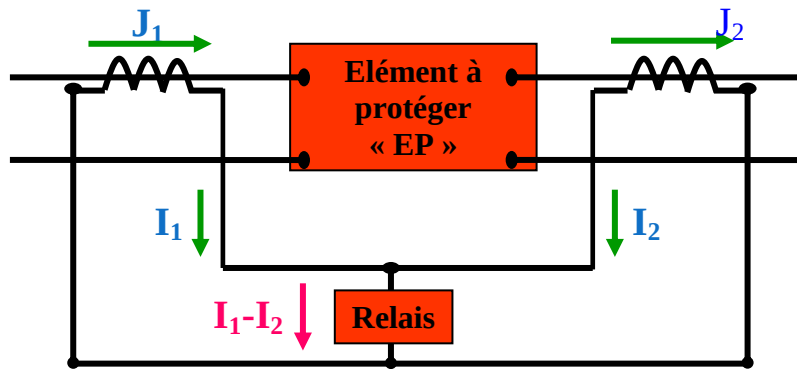


Figure IV.16. Principe de fonctionnement de la protection différentielle

IV.6.1. Sélectivité par protection différentielle [1]

Toute différence d'amplitude et de phase entre les courants des deux extrémités du tronçon de réseau surveillé signale la présence d'un défaut : la protection ne réagit qu'aux défauts internes à la zone couverte et est insensible à tout défaut externe. Elle est donc sélective par nature.

Le déclenchement instantané est provoqué lorsque $I_A - I_B$ est supérieur à un seuil.

Le fonctionnement est possible à condition d'utiliser des transformateurs de courant spécifiquement dimensionnés, rendant insensible la protection aux autres phénomènes.

La stabilité de la protection différentielle est sa capacité à rester insensible s'il n'y a pas de défaut interne à la zone protégée, même si un courant différentiel est détecté :

- Courant magnétisant de transformateur,
- Courant capacitif de ligne,
- Courant d'erreur dû à la saturation des capteurs de courant.

Il existe 2 grands principes selon le mode de stabilisation :

- La protection différentielle à haute impédance ; le relais est connecté en série avec une résistance de stabilisation R_s dans le circuit différentiel (figures IV.17 et IV.18),

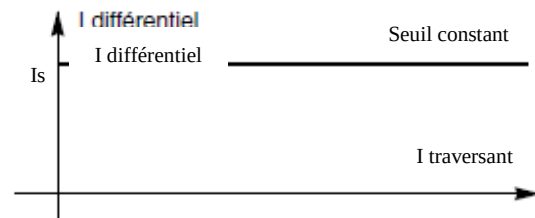
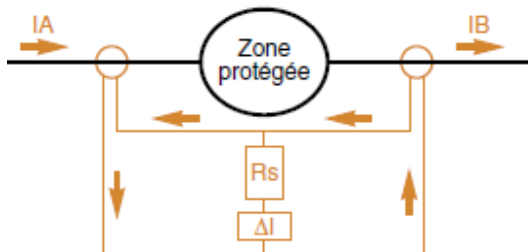


Figure IV.17. Schéma de protection différentielle à haute impédance. Figure IV.18. Stabilité par résistance.

La protection différentielle à pourcentage ; le relais est connecté indépendamment aux circuits des courants I_A et I_B . La différence des courants $I_A - I_B$ est déterminée dans la protection, et la stabilité de la protection est obtenue par une retenue relative à la valeur du courant traversant (figures IV.19 et IV.20).

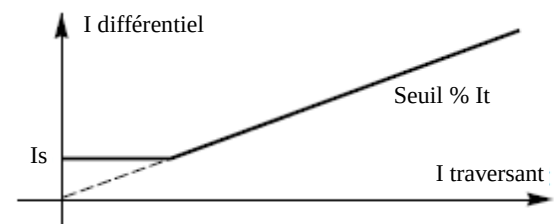
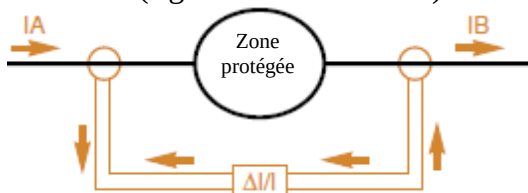


Figure IV.19. Schéma de protection différentielle à pourcentage. Figure IV.20. Stabilité par retenue.

▪ Avantages

- Protection sensible à des valeurs de courants de défaut inférieures au courant nominal de l'élément protégé.

- Protection de zone qui peut déclencher instantanément.

▪ Inconvénients

- Le coût de l'installation est important.
- La mise en œuvre du dispositif est délicate.
- Il faut prévoir une fonction de secours à maximum de courant.

▪ Application des Relais différentiels

Tous les composants prioritaires de forte puissance peuvent être concernés : moteur, générateur, transformateur, jeu de barres, câble, ligne.

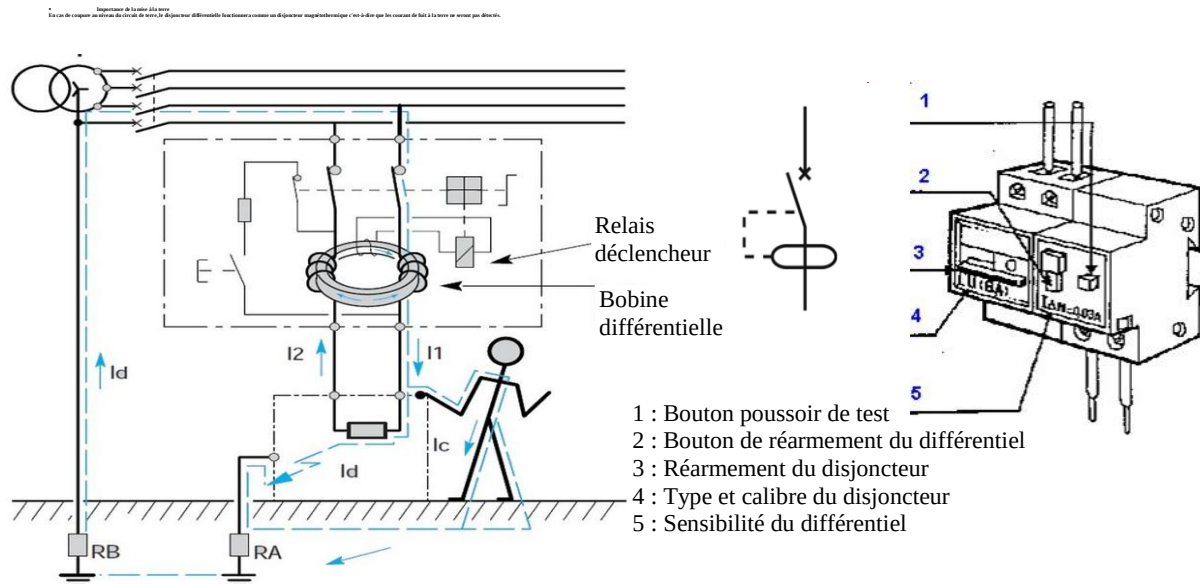


Figure IV.21. Disjoncteur différentiel.