

Chapitre II Composants d'un système de protection

II.1/ Schéma synoptique d'un système de protection

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).

Un exemple d'un système de protection pour une ligne HT est montré sur la Figure II.1 L'autre extrémité de la ligne possède un système de protection similaire. Dans le cas d'un défaut, les deux relais ont besoin de fonctionner, donc les deux disjoncteurs s'ouvrent et la ligne est mise hors service.

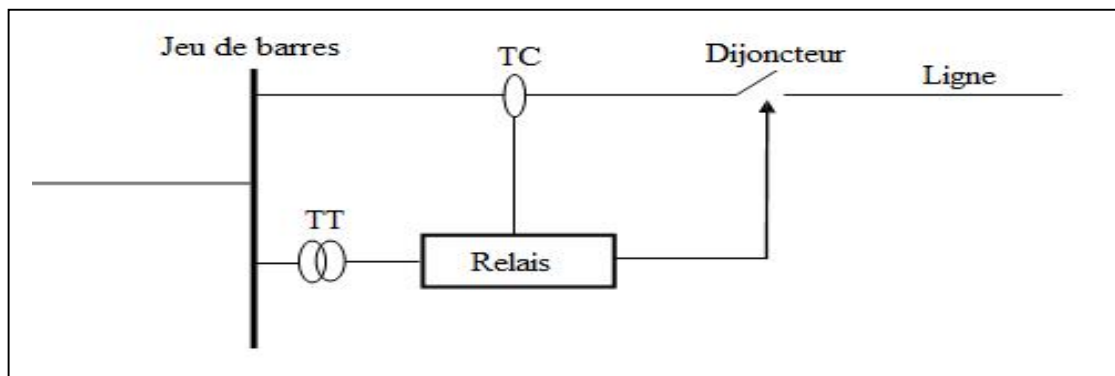


Figure II.1. Eléments constitutifs d'un système de protection

Les relais de protection sont connectés aux transformateurs de mesure (TC et TT) pour recevoir des signaux d'entrée et aux disjoncteurs pour délivrer des commandes d'ouverture ou de fermeture.

Donc en cas de défaut, la tâche du disjoncteur consiste à éliminer le défaut tandis que la tâche du de relais de protection est de détecter ce défaut.

Le temps d'élimination de défauts comprend :

- ◆ Le temps de fonctionnement des protections (détection du défaut).
- ◆ Le temps d'ouverture des disjoncteurs (élimination du défaut).

II.2/ Transformateurs de courant (TC ou TI)

Les transformateurs de courant sont employés uniquement aux fins de mesure et de protection. Le transformateur de courant est utilisé pour ramener à une valeur facilement mesurable les courants très intenses des lignes à haute tension. Il sert également à isoler les appareils de mesure ou de protection des lignes à haute tension. Le primaire de ce transformateur est monté en série dans la ligne où l'on veut mesurer le courant.

Un transformateur de courant est constitué d'un circuit primaire et d'un circuit secondaire couplés par un circuit magnétique et d'un enrobage isolant.

L'appareil est de type:

- **Bobiné:** lorsque le primaire et le secondaire comportent un bobinage enroulé sur le circuit magnétique.
- **Traversant:** le primaire est constitué par un conducteur non isolé de l'installation.
- **Tore:** primaire constitué par un câble isolé.

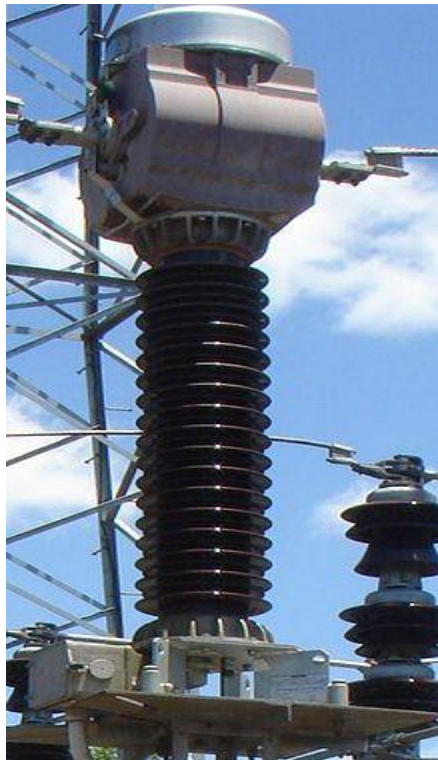
Comme il n'est pas possible de brancher directement les relais sur le réseau HT, les informations qu'ils reçoivent proviennent de transformateurs de courant (TC), et de transformateurs de potentiel (TP).

Lorsque l'intensité primaire est importante, les TC sont à barre traversante ; lorsqu'elle est faible, ceux-ci sont à primaire bobiné.

Du point de vue électrique, les TC ont plusieurs rôles :

- délivrer à leur secondaire une intensité, image fidèle de celle qui circule, dans le conducteur HT concerné,
- assurer l'isolement galvanique entre la HT et les circuits de mesure et de protection,
- protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsque survient un défaut sur le réseau HT.

Voici quelques transformateurs de courant:



Download from
Dreamstime.com
This watermarked comp image is for previewing purposes only.

ID 16564374
© Tomasz Wojnicz | Dreamstime.com

II.3/ Les transformateurs de tension : TT ou TP

Le transformateur de potentiel peut être 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.

Les transformateurs de tension ont le même principe que les transformateurs de puissance, mais les tensions primaires et les tensions secondaires sont en phase. Ils permettent de mesurer une tension du domaine de la H.T avec une bonne précision et sans intervention sur l'installation haute tension. L'isolation galvanique réalisée par le transformateur isole et sécurise l'utilisateur et le matériel car la tension recueillie aux bornes du secondaire appartient au domaine B.T.

Le transformateur de potentiel est fabriqué avec noyau de haute qualité fonctionnant à faible densité de flux, de sorte que le courant magnétisant est faible. La borne du transformateur doit être conçue de manière à ce que la variation du rapport de tension avec la charge soit minimale et que le déphasage entre la tension d'entrée et la tension de sortie soit également minimal.

L'enroulement primaire a un grand nombre de tours, et l'enroulement secondaire a un nombre de tours beaucoup plus petit. Pour réduire la réactance de fuite, l'enroulement coaxial est utilisé dans le transformateur de potentiel.

Le transformateur de potentiel est principalement classé en deux types, à savoir les types classiques à enroulement (types électromagnétiques) (Figure II.3) et les transformateurs de potentiel à condensateur (Figure II.4).

Transformateur conventionnel du type à enroulement est très cher en raison des exigences d'isolation. Le transformateur de potentiel à condensateur est une combinaison d'un diviseur de potentiel à condensateur et d'un transformateur de potentiel magnétique de rapport relativement petit.



Figure II.3 Transformateur de tension, de tension nominale 150 kV.

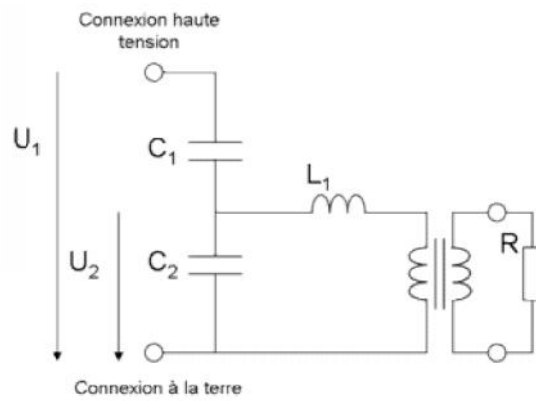
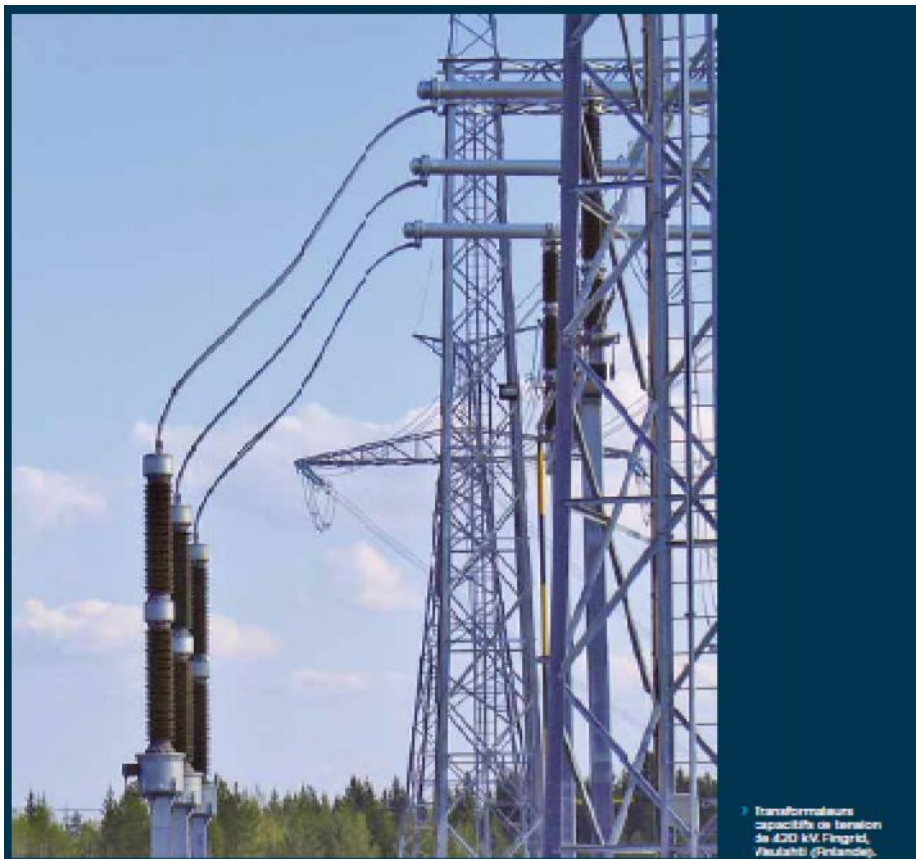


Figure II.4 Schéma équivalent d'un transformateur capacitif de tension

Voici quelques transformateurs de tension:





Transformateur capacitif de tension 245kV (NEPCO)



II.4 Relais

II.4.1 Définition

Le relais est un dispositif à action mécanique ou électrique provoquant le fonctionnement des systèmes qui isolent une certaine zone du réseau en défaut ou actionnant un signal en cas de défaut ou de conditions anormales de marche (alarme, signalisation,.....).

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

II.4.2 Désignation d'un relais

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

II.4.3 Différents types de relais

Il existe essentiellement trois classes de relais selon l'organigramme suivant (FigII.4) :

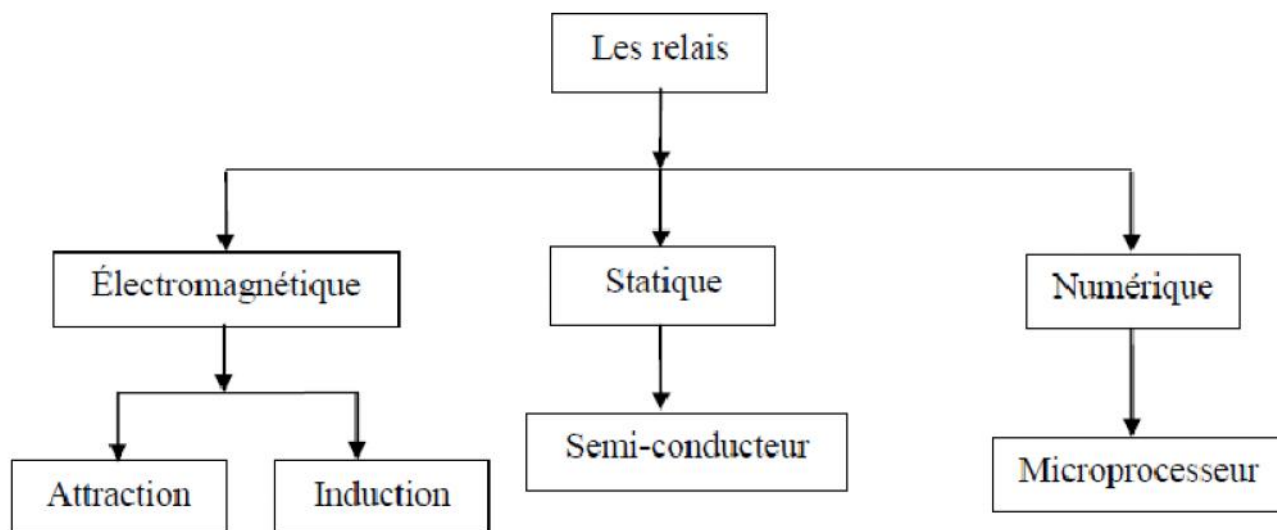


Figure I .5 Différents types de relais

II.4.4 Constitution d'un relais

II.4.4.1 relais électromagnétique

Les premiers relais utilisés dans l'industrie électrique étaient des dispositifs électromécaniques. Leur principe de fonctionnement est basé sur la création d'une force mécanique pour actionner les contacts de relais en réponse à une situation de défaut. La force mécanique a été établie par l'écoulement d'un courant qui a reflété le courant de défaut à travers les enroulements montés dans des noyaux magnétiques. En raison de la nature de son principe de fonctionnement, les relais électromécaniques sont relativement plus lourds et plus volumineux que des relais construits avec d'autres technologies. Cependant, les relais électromécaniques ont été tellement utilisés en grande partie, que même les relais modernes utilisent leur principe de fonctionnement, et représentent toujours un bon choix pour certaines conditions d'application.

Un relais électromagnétique comporte une armature ou un équipage mobile sur lequel agissent les bobines ou des aimants. Ils dépendent de la conception du circuit magnétique.

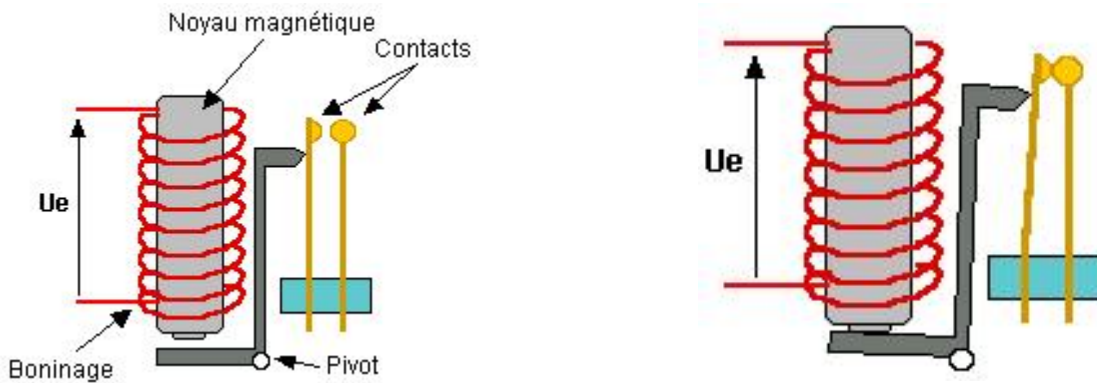


Fig. II.6 Relais électromagnétique

Relais d'induction électromagnétique

La force initiale est développée sur l'élément mobile qui peut être un disque ou une autre forme du rotor de l'élément mobile non magnétique. La force est développée par l'interaction des flux électromagnétiques avec le courant de Foucault, induit dans le rotor par ces flux.

La bobine parcourue par un courant, provoque l'aimantation du circuit magnétique dont la partie mobile se déplace. La force d'attraction sur la partie mobile sera d'autant plus grande que l'intensité du courant sera plus élevée et l'entre fer plus faible. Le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courants de court-circuit.

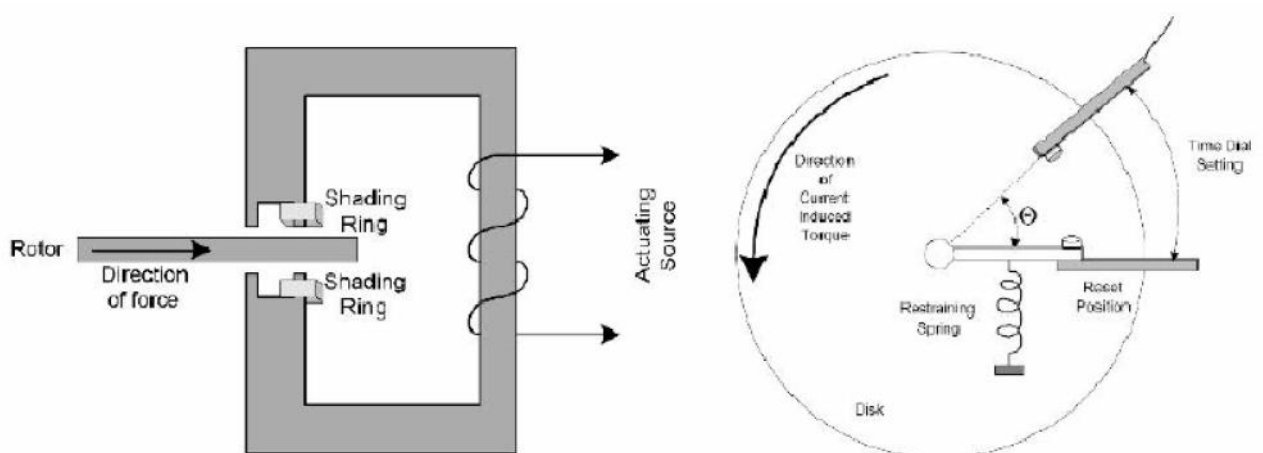


Figure II.7 Relais électromagnétique à induction par disque simple

II.4.4.2 Relais statique

Le développement de l'électronique a poussé les protections vers l'utilisation des composants électroniques discrets et les relais statiques. Ces protections se base sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de courant et de tension, en signaux électriques de faible voltage qui sont comparés à des valeurs de référence (points de réglage).

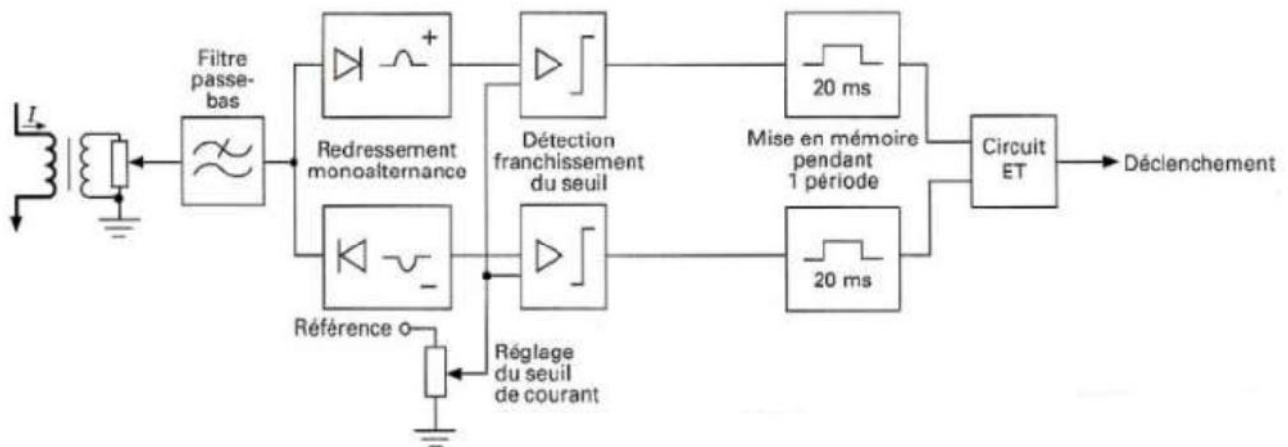
Les relais statiques sont des dispositifs à semi-conducteur composés de composants électroniques comme les résistances, les diodes, les transistors etc. Ils remplacent de plus en plus les relais électromagnétiques pour les avantages suivants : Plus précis, plus sensibles, plus rapides, plus sélectifs, rapidité de dépannage, durée de vie plus longue, faible consommation, moins encombrants.

Il permet de commuter un courant électrique sans aucun mouvement mécanique. La plupart des relais statiques disposent d'un système de détection du passage à zéro de la tension pour déclencher la commutation de la puissance à ce moment là.

Les inconvénients majeurs : un relais statique chauffe beaucoup plus qu'un relais mécanique (dû aux résistances internes non nulles des systèmes électroniques).

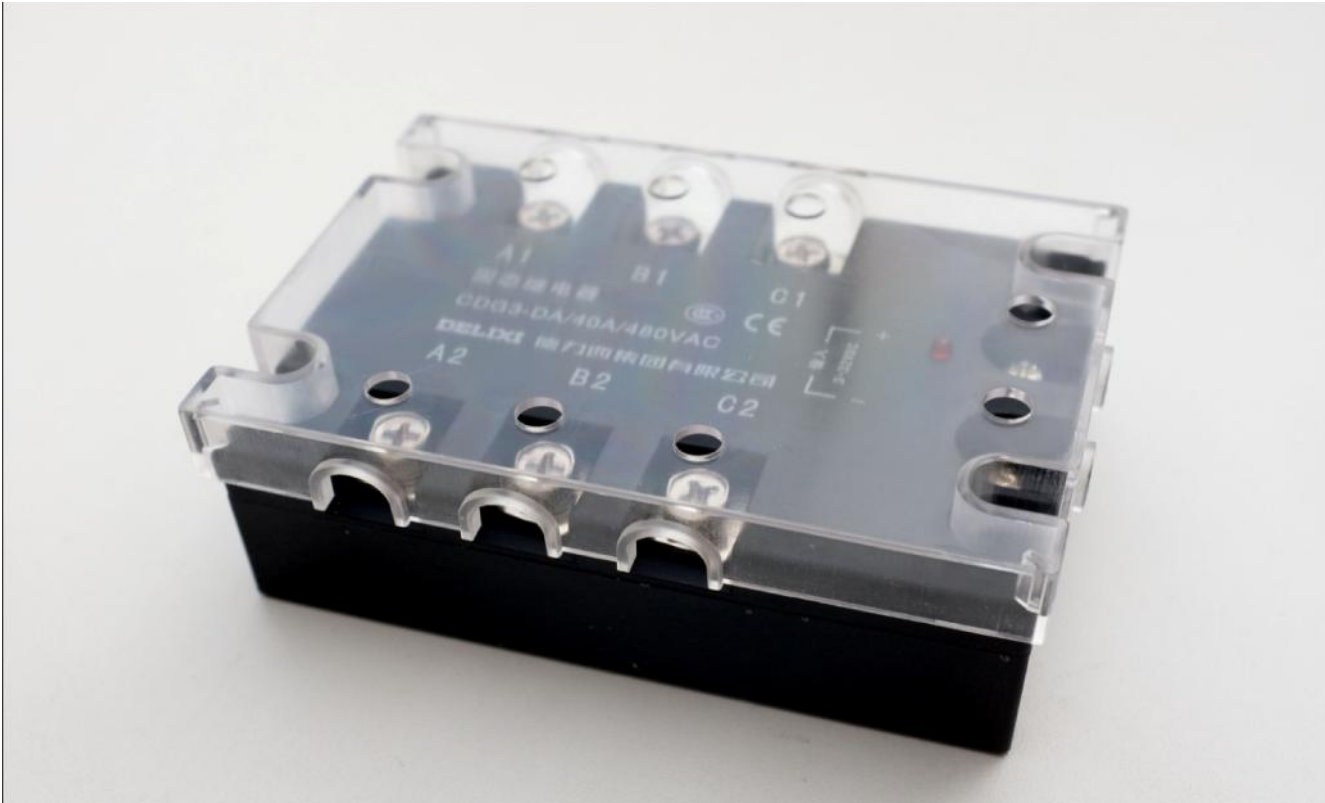
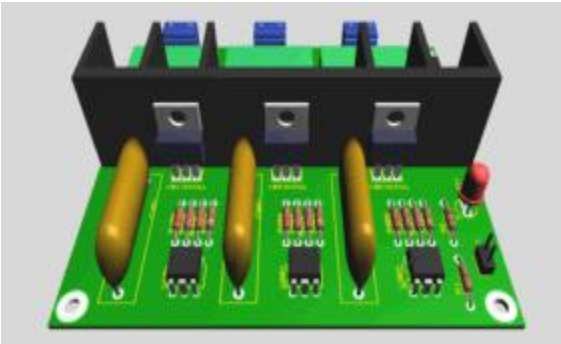
Le relais statique est composé de:

- Un bloc d'adaptation et de filtrage, constitué de petits transformateurs, d'impédances et de filtres passe-bas destinés à éliminer les composantes transitoires rapides;
- Un bloc de traitement et de détection
- Un bloc de sortie, comprenant un temporisateur, par exemple un circuit RC



Relais de mesure de courant sur deux semi-alternances successives

Voici quelques relais statiques :



II.4.4.3 Relais numérique

La technologie numérique a fait son apparition avec le développement des microprocesseurs. Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation des variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible voltage.

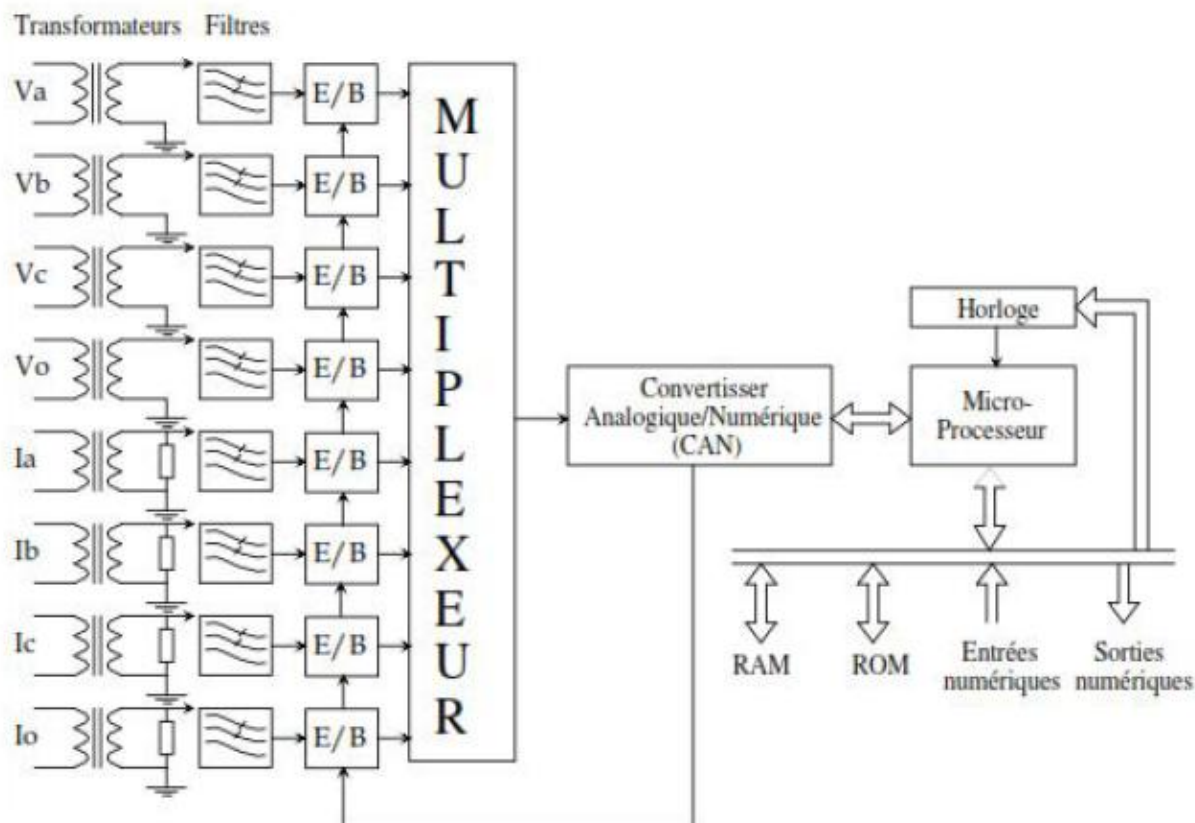
Leur intégration à très grande échelle a permis de réunir de nombreux composants dans une simple puce. La technologie numérique a fait sa place dans le domaine de la protection des systèmes électriques. Aujourd'hui, les relais numériques sont mis en application pour protéger presque tous les composants des systèmes électriques.

Les relais numériques ont beaucoup d'avantages telle que :

- **Économique** : La raison principale de l'acceptation des relais numériques est qu'ils présentent beaucoup de dispositifs au prix raisonnable.
- **Rapide** : Il y a deux raisons du fonctionnement rapide des relais numériques ; un, les relais numériques n'emploient aucune partie mécanique, deux, l'utilisation des processeurs à grande vitesse ont fait de ces relais très rapides.
- **Fonctions multiples** : Les relais, les compteurs, les commutateurs de commande, les indicateurs, et les appareils de communication peuvent être intégré dans un relais protecteur simple à microprocesseur.
- **Temps mise en marche réduit** : la mise en marche est un processus de vérification des performances d'un équipement avant qu'il ne soit mis en service.
- **Economie de temps et d'effort** : la localisation rapide de l'endroit du défaut par les relais numériques dans les lignes de transport réduisent le temps de coupure électrique considérablement.
- **Flexibilité** : Un relais peut être employé pour protéger différents composants de système d'énergie en chargeant différents logiciels.
- **Petite taille** : Les relais numériques sont plus légers dans le poids et ont besoin de moins d'espace que les relais électromécaniques et à semi-conducteur. Pour cette raison, il est facile de transporter ces dispositifs.
- **Remplacement facile** : si un relais numérique tombe en panne, peut être remplacé complètement. Ceci économise le temps et le travail nécessaire pour des réparations.

➤ Schéma bloc d'un relais numérique

Le relais numérique est un dispositif à base de microprocesseur qui utilise un logiciel pour le traitement des signaux échantillonnés et mettre en application la logique du relais. La majeure partie de la recherche dans le secteur de la protection à relais numériques est liée au développement des algorithmes pour des applications spécifiques. Les éléments de base d'un relais numérique sont résumés sur la Figure ci-dessous



TC , TT, Filtre anti-repliement, Multiplexeur, Conversion analogique / numérique, échantillonneur/bloqueur (E/B), Algorithme, Le microprocesseur

II.4.5. Principes de fonctionnement des relais de protection

Tous les paramètres d'un réseau électrique peuvent être utilisés pour sa surveillance et la détection de défauts. Il s'agit le plus souvent de mesure du courant et de la tension du réseau. En général, quand un défaut de court-circuit se produit le courant augmente et la tension baisse. A travers la variation de ces deux grandeurs, d'autres paramètres varient également et on obtient des mesures de paramètres plus complexes :

- ◆ Déphasage par comparaison des phases ;
- ◆ Puissance apparente en effectuant le produit du courant par la tension ;
- ◆ Puissances active et réactive à partir de la puissance apparente et du déphasage ;
- ◆ Impédance en effectuant le quotient de la tension par le courant ;

Le principe de fonctionnement d'un relais est basé sur la détection de ces variations à l'intérieur de sa zone de protection. Les relais sont caractérisés par leurs grandeurs d'entrée auxquelles ils répondent.

Quelques relais de protection utilisés dans les réseaux électriques sont décrit ci dessous.

◆ Relais de mesure de courant

Les relais de courant mesurent un courant ou une combinaison de courants (courant direct, inverse, homopolaire). Il en existe une grande variété qui se différencie par la définition de la grandeur mesurée et du mode de temporisation :

- ◆ Valeur instantanée, valeur de crête, valeur moyenne ou valeur efficace ;
- ◆ Valeur mesurée sur une demi-alternance, sur deux demi-alternances successives, sur la valeur moyenne de plusieurs demi-alternances, etc. ;
- ◆ Valeur instantanée ou temporisée.

◆ Relais de mesure de tension

Les relais de tension peuvent être à maximum de tension ou à minimum de tension. La mesure s'effectue sur une valeur instantanée ou sur une valeur de crête, éventuellement sur une valeur moyenne. Ce type de relais est habituellement temporisé. La mesure s'effectue sur les tensions simples, les tensions composées, les tensions directes, inverses ou homopolaires. Dans certains cas, pour rendre ces relais insensibles au niveau général de tension du réseau, la mesure est réalisée en comparant la valeur de la tension entre phase et neutre et la valeur de la tension composée entre phases en quadrature (par exemple, comparaison de la tension simple V avec la tension composée U en repérant par A, B, C les phases et par N le neutre).

◆ Relais de mesure d'impédance

Le relais d'impédance prend en compte en permanence les grandeurs d'une même phase pour évaluer l'impédance du réseau sur cette phase. Cette évaluation d'impédance est réalisée en général sur les trois phases, soit entre phase et neutre, soit entre phases. Elle peut être également réalisée sur des grandeurs symétriques : tensions et courants directs, inverses ou homopolaires.

◆ Relais de mesure de puissance

La mesure de la puissance dans un réseau triphasé peut être effectuée par différentes manières

- ◆ Par des relais de puissance active ou réactive, monophasée ou triphasée ;
- ◆ Par des relais de puissance dits à angle dont l'angle affectant la mesure est obtenu par un raccordement particulier des grandeurs V et I (alimentation par exemple du relais par le courant de la phase A et la tension entre les deux phases A et B).

◆ Relais directionnel

Ce type de relais apparaît aujourd'hui comme une excellente opportunité pour améliorer à la fois la puissance transitée sur un réseau et la qualité de service. Le concept direction est très important dans plusieurs applications des relais de protection. Ce type de protection fonctionne à partir du courant, de la tension et du sens de l'écoulement de l'énergie. Il agit lorsque simultanément le courant ou la puissance dépasse un seuil et que l'énergie se propage dans une direction prédéfinie. 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). Les protections directionnelles sont un moyen complémentaire aux protections à maximum de courant, permettant d'assurer une bonne isolation de la portion du réseau en défaut.

◆ Relais différentiel

La protection différentielle est un principe commun de protection pour les transformateurs, moteurs, et générateurs. Elle mesure la différence de courant entre deux TC branchés l'un en aval, l'autre en amont d'une partie du réseau à surveiller (un moteur, un transformateur, un jeu de barres) pour détecter et isoler rapidement tout défaut interne à cette partie. Elle est basée sur la comparaison du courant d'entrée et de sortie d'un élément, si la comparaison indique la présence d'une différence cela veut dire la présence d'un défaut et le relais doit agir. La différence mesurée doit être significative pour qu'elle soit attribuée à un défaut.

I I.5 Organe d'exécution (disjoncteur)

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée. Dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), qui détecte le défaut et envoie des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé. Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut. Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment.

Le disjoncteur ne réussit pas souvent à interrompre le courant durant la première tentative, plusieurs cycles de la fréquence fondamentale du courant sont nécessaires pour une interruption complète du flux de courant, ce qui affecte la vitesse du disjoncteur. Les disjoncteurs rapides utilisés dans la HT sont d'un cycle, par contre ceux utilisés dans la BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir. De plus pour distinguer entre un défaut permanent et un défaut temporaire le concept d'auto-enclenchement est utilisé. Quand le disjoncteur déclenche il reste ouvert un certain temps ensuite il ferme automatiquement. Cette action permet au relais de vérifier si le défaut continu d'exister, et dans ce cas de déclencher de nouveau. Si le défaut a disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne va rester en service.

Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure :

- ◆ Les disjoncteurs à l'huile.
- ◆ Les disjoncteurs à air comprimé.
- ◆ Les disjoncteurs utilisant le gaz SF₆ (Hexafluorure de soufre).
- ◆ Les disjoncteurs à vide.

➤ Le disjoncteur à réenclenchement automatique :

Ce dispositif ouvre le circuit lors de l'apparition d'un défaut et le referme après un délai compris entre une fraction de seconde et quelques secondes, deux ou trois fois selon l'ajustement des dispositifs de commande interne. Si le défaut ne disparaît pas après ces tentatives, le disjoncteur ouvre le circuit en permanence et une équipe de réparation doit aller sur les lieux pour le réarmer.

➤ Interrupteur HTA:

Appareils qui peuvent couper les faibles courants capacitifs des lignes de transport ou les courants d'excitation des transformateurs, mais qui ne peuvent pas interrompre les courants de charges normaux.

➤ Sectionneurs:

Appareils qui n'ont aucun pouvoir de coupure, ils ne permettent d'ouvrir un circuit qu'en l'absence de tout courant. Ils sont utilisés pour isoler un ensemble de circuit, un appareil, une machine, une section de ligne aérienne ou de câble, afin de permettre au personnel d'exploitation d'y accéder sans danger.

➤ Sectionneurs de mise à la terre :

Interrupteurs de sécurité qui isolent un circuit et qui, grâce à leur mise à la terre, empêche l'apparition de toute tension sur une ligne pendant les réparations.

Principe de fonctionnement :

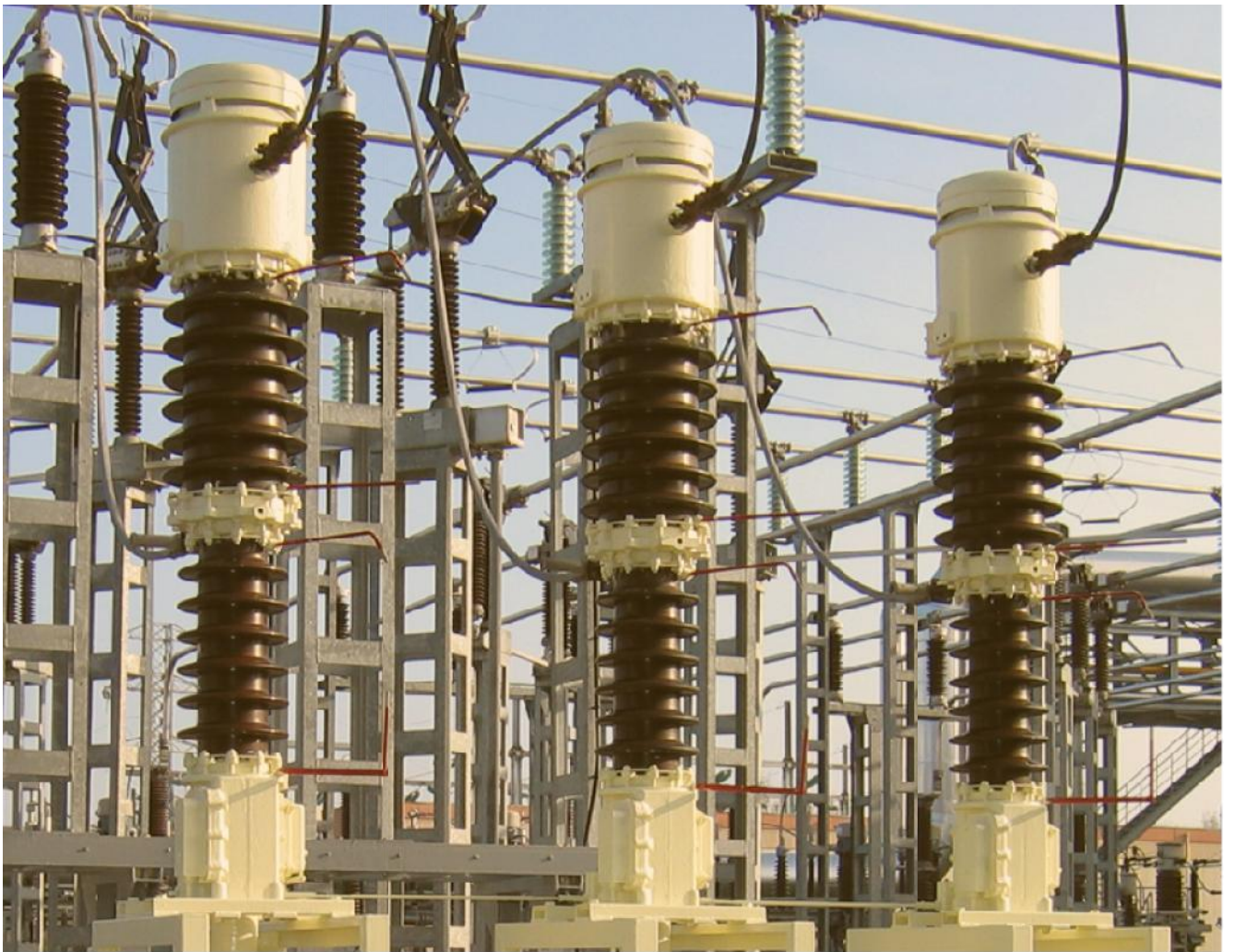
La coupure d'un courant électrique par un disjoncteur HT est obtenue en séparant des courant dans un gaz (air, SF6, etc.) ou dans un milieu isolant (par exemple à vide). Après la séparation des contacts, le courant continue de circuler à travers un arc électrique qui s'est établi entre les contacts du disjoncteur. Le principe de coupure retenu est la coupure du courant lorsqu'il passe par zéro (ceci se produit toutes les dix millisecondes dans le cas d'un courant alternatif à 50 Hz). En effet, c'est à cet instant que la puissance qui est fournie à l'arc électrique par le réseau est minimal (cette puissance fournie est même nulle à l'instant ou la valeur instantanée du courant est nulle).



Disjoncteurs HTB pour postes aériens (125kV).



Disjoncteur haute tension - max. 63 kA, 420 - 550 kV | ABB



Disjoncteurs HTB