

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

691



**Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : Sciences et Techniques  
Filière : Génie Electrique  
Spécialité : Protection et control des réseaux  
électrique

---

**Protection des équipements électriques**

---

Présenté par : - BOUREZG Nasr  
- FECIH Samir

Sous la direction de : Dr.LEMZADMI Ahcene

JUIN 2011

# Remerciment



je tenu d'abord à remercier très fortement « Dieu », qui

nous à donné la santé et nous à aidé à faire ce travail.

Nous présentons nos vifs remerciements humblement à

Dr.LEMZADMI Ahcene , qui à accepté d'être notre

promoteur et qui nous à dirigé et orienté afin d'élaborer ce

modeste travail, sans nos privé de son savoir.

Les membres de jury qui examineront notre travail et

tous les enseignants d'électrotechnique et Automatique.

En fin nous ne manquerons par nos copines et amies.

Sans oublier tout notre collègues de la promotion de

master en protection et contrôle des réseaux électriques

# SOMMAIRE

<b>CHAPITRE I : NOTIONS GENERALES SURE LA PROTECTION</b>	<b>page</b>
I-1 INTRODUCTION.....	1
I-2 DEFINITION DE LA PROTECTION DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUE .....	1
I-3 LE ROLE DE LA PROTECTION .....	1
I-4 BUT DE LA PROTECTION .....	1
I-5 LE PLAN DE PROTECTION .....	2
<b>CHAPITRE II :GENERALITERS SUR LER SYSTEMES DE PROTECTION</b>	
II-1 DEFINITION DU SYSTEME DE PROTECTION .....	3
II-2 PERTURBATIONS .....	3
II-2-1 Courant de court-circuit .....	4
II-4 Courant de Surcharge .....	4
II-2-3- Perturbations transitoires.....	4
II-2-4- Déséquilibre.....	5
II-3- PROPRIETES DE PROTECTION.....	5
II-4- PRINCIPE DE BASE DE LA PROTECTION.....	6
II-4-1 Protections ampermétriques et voltmétriques.....	6
II-4-2- Mode de sélectivité.....	7
II-5- COMPOSANT DE BASE DE PROTECTION.....	9
<b>CHAPITRE III: REGIME DE NEUTRE</b>	
III LES REGIMES DE NEUTRE .....	10
III-1 LES REGIMES DE NEUTRE EN BASSE TENSION .....	11
III-1-1 Les différents régimes de neutre - définition et schemas .....	11
III -1-2 Comparaison des différents régimes de neutre en basse tension.....	16
III-2- LES REGIMES DE NEUTRE EN HAUTE TENSION.....	20
III-2-1. Les différents régimes de neutre - définitions et schémas.....	20
III-2-2. Comparaison des différents régimes de neutre en haute tension.....	22

## **CHAPITRE IV: PROTECTION DIFFERENTIELLE DES TRANSFORMATEURS**

IV-1-GENERALITES.....	26
IV-2-CLASSIFICATION DE LA PROTECTION DIFFERENTIELLE.....	29
IV-3-TYPES DE DEFAUT AU NIVEAUX DE TRANSFORMATEUR.....	29
IV-4-PROTECTION DIFFERENTIEL DES TRANSFORMATEURS.....	30
IV-4-1- Considération de base .....	31
IV-4-2- Choix et raccordement de TCs.....	32
IV-4-3- Pourcentage de l'enroulement protégé par le relais différentiel pendant un défaut de la terre.....	32
IV-4-4- Détermination de la pente.....	34
IV-4-5 Distribution de courant de défaut dans des transformateurs de puissance.....	35

## **CHAPITRE V: ETUDE PRATIQUE SUR LA PROTECTION DIFFERENTIELLE**

V-1-DESCRIPTION DES DISPOSITIFS ET EXPERIMENTALE.....	37
V-2-DEFINITION .....	37
V-3-PRINCIP DE FONCTIONNEMENT.....	38
V-4-CARACTERISTIQUE DE REGLAGE.....	38
V-5- MANIPULATION.....	40
Conclusion	

# PRESENTATION

L'énergie électrique est un besoin vital pour l'homme dans sa vie de tous les jours. Elle est l'œuvre de l'implication étroite du maître qu'est l'homme intelligent et la machine qu'est l'esclave. Tous les deux se protègent mutuellement. Le maître ne fait pas confiance à la bête qui est la machine et développe des dispositifs de protection qui entrent dans le cadre de la protection de personnels et de la machine.

Le réseau électrique comprend trois grandes étapes, la production de l'énergie électrique, le transport et la distribution. Chaque équipement est doté d'un ensemble de protections souvent de nature complémentaire et à caractère instantané ou différé.

L'objectif primordial de la protection est d'éliminer le défaut par l'action instantanée d'un relais électromagnétique ou retardée par un relais temporisé. Selon le type du défaut, la protection intelligente émet un signal de déclenchement du disjoncteur, et par conséquent la mise hors tension de l'installation ou un signal de signalisation pour informer les opérateurs sur la nature du défaut et de prendre les mesures adéquates.

Le présent travail se divise en deux parties :

- La première partie est une étude sur la protection en générale et la protection différentielle en particulier.
- La deuxième partie est une étude expérimentale sur l'application de cette méthode dans la protection des transformateurs de puissance.

*CHAPITRE I:*  
*NOTIONS GENERALES SUR*  
*LA PROTECTION*

### **I-1- INTRODUCTION :**

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable : court-circuit, défaut d'isolement...

### **I-2- DEFINITION DE LA PROTECTION DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUE :**

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

#### **Fonction :**

En règle générale pour protéger une installation il faut :

- Surveiller le fonctionnement
- Détecter un état de dysfonctionnement

### **I-3- LE ROLE DE LA PROTECTION :**

Les systèmes de protection doit détecter les fonctionnement électriques anormaux dans les défaut d'isolement entre :

- un conducteur et la terre « défaut monophasé »
- conducteur « défaut bephasé »
- Trois conducteur « défaut triphasé »

Aux surcharge prolonger :

- aux surtensions
- aux déséquilibre

### **I-4- BUT DE LA PROTECTION :**

Les buts visés par les dispositifs de protection sont multiples :

- \* participer à la protection des personnes contre les dangers électriques.
- \* éviter les détériorations de matériel (un court-circuit triphasé sur un jeu de barres moyenne tension peut faire fondre jusqu'à 50 kg de cuivre en 1seconde; la température de l'arc peut dépasser en son centre 10000°C).
- \* limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécaniques auxquelles sont soumis ces matériels.
- \* préserver la stabilité et la continuité de service du réseau.
- \* protéger les installations voisines (par exemple, réduire les tensions induites dans les circuits proches).

**I-5- LE PLAN DE PROTECTION :**

- Le système de protection définit les dispositifs de protection contre les principaux défauts affectant les réseaux et les machines :

- \* les courts-circuits, entre phases et phase-terre.
- \* les surcharges.
- \* les défauts propres aux machines tournantes.

Pour établir un plan de protection, les paramètres suivants sont à prendre en compte :

- \* l'architecture et la taille du réseau et ses différents modes d'exploitation.
- \* les schémas de liaison à la terre.
- \* les caractéristiques des sources de courant et leurs contributions en cas de défaut
- \* les types de charges.
- \* le besoin de continuité de service.

*CHAPITRE II:  
GENERALITERS SUR  
LER SYSTEMES DE PROTECTION*

## II-1- DEFINITION DU SYSTEME DE PROTECTION:

C'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble de façon cohérente et adaptée au réseau.

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

(Schéma.II, 1) :

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

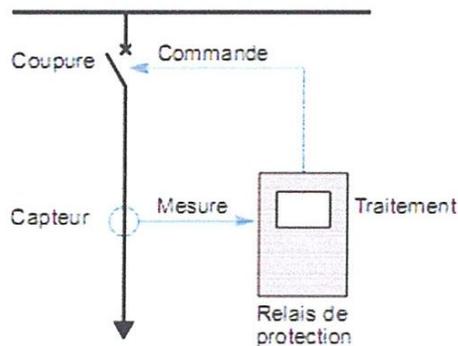


Schéma.(II, 1) chaîne de protection

## II-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. D'une façon générale, quelle que soit la perturbation, les effets peuvent être classés de deux façons différentes:

- **Effets instantanés** : Manœuvres intempestives de contacteurs ou d'organes de protection, mauvais fonctionnement ou arrêt d'une machine. L'impact de la perturbation est alors directement remarquable sur le plan financier et technique.

- **Effets différés** : Pertes énergétiques, vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques supplémentaires engendrés par les perturbations. L'impact financier est difficilement quantifiable.

L'évolution de la technologie a permis le développement et la généralisation des automatismes, des variateurs de vitesse dans l'industrie, des systèmes informatiques, des éclairages fluo-compact dans le tertiaire et le domestique. Ces équipements ont la particularité d'être à la fois sensibles aux perturbations de la tension et générateurs de perturbations.

Leur multiplicité au sein d'un même procédé exige une alimentation électrique de plus en plus performante en termes de continuité et de qualité. En effet, l'arrêt temporaire d'un élément de la chaîne peut provoquer l'arrêt de l'outil de production (traitement de l'eau, imprimerie, pétrochimie...) ou de service (banques, télécommunications...).

### **II-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.

### **II-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.

### **II-2-3- Perturbations transitoires:**

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories:

#### **a- Impulsive**

Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension en direction positive ou négative. Ces types d'événements peuvent être catégorisés selon leur vitesse ( Rapide , moyen et lent) . les perturbations Impulsives peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes)

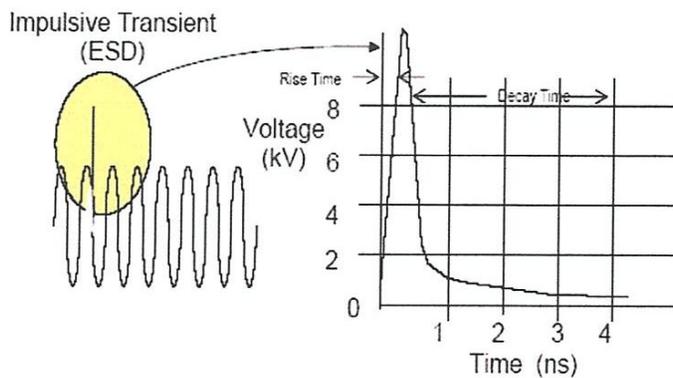


Schéma (II,2): Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique

### 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 aux deux limites des composantes positive et négative qui oscillent à la fréquence du système naturel. En simple terme, la perturbation oscillatoire cause un fort signal de puissance qui disparaît très rapidement. La perturbation oscillatoire se produit à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitatives car elles résistent au changement.

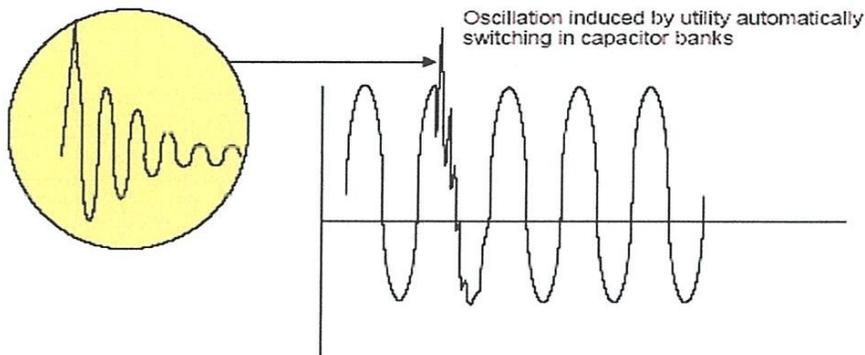


Schéma (II,3): Perturbation oscillatoire

#### II-2-4- Déséquilibre:

- Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de  $120^\circ$ .

#### II-3- PROPRIETES DE PROTECTION:

Pour qu'un système de protection accomplit 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 encadrants le défaut, de manière à maintenir sous tension les parties saines

**II-4- PRINCIPE DE BASE DE LA PROTECTION:**

Un système de protection est constitué :

- Organe de détection et de décision
  - 1- Organe de mesure ou chaîne de mesure
  - 2- Organe de comparaison
  - 3- Organe de décision
- Organe d'intervention
  - 1- Organe de signalisation et de déclenchement

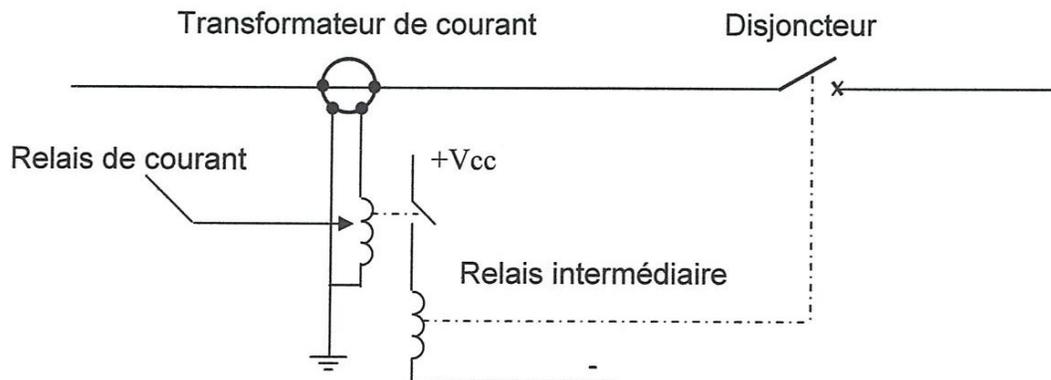
**II-4-1 Protections ampermétriques et voltmétriques:****II-4-1-1. Protections ampermétriques:**

Cette protection permet d'éviter les surintensités dangereuses en :

- Valeur
  - Temps
- Le relais thermique protège le système contre les courants de surcharge.
- Le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courants de court-circuit.
- Le coupe circuit à fusible est un appareil de connexion capable de protéger le système contre les surintensités
- Cartouches **gI**, **gII** sont à usage général (Protègent le système contre tous les types de surintensités)
  - Cartouches **aM** assurent la protection du système contre les surintensités fortes.

**a- Protection à maximum de courant à temps constant:**

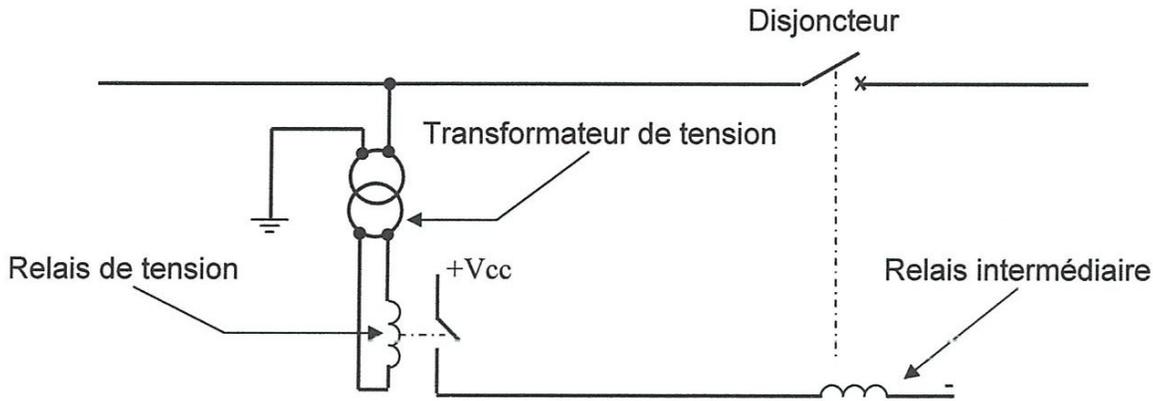
Elle fonctionne instantanément ou avec temporisation quand le courant dans le circuit à protéger atteint ou dépasse une valeur déterminée (réglage).



Schéma(II,4) Protection à maximum de courant à temps constant (Schéma d'une phase)

**II-4-1-2. Protection voltmétrique:**

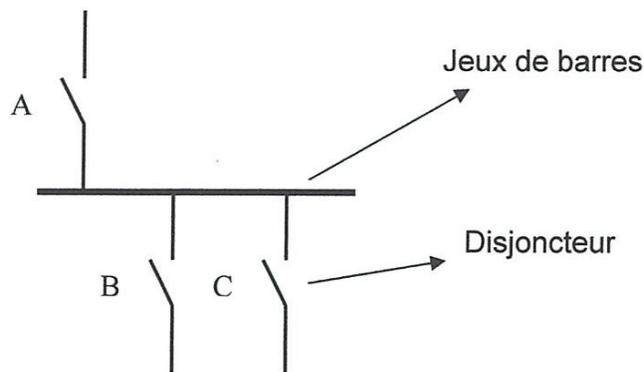
Elle fonctionne instantanément ou avec temporisation quand la tension dans le circuit à protéger atteint ou dépasse une valeur déterminée (réglage). Les transformateurs de tension assurent l'isolement galvanique et l'adaptation aux circuits de mesures.



Schéma(II,5) Protection voltmétrique (schéma d'une phase)

**II-4-2- Mode de sélectivité:**

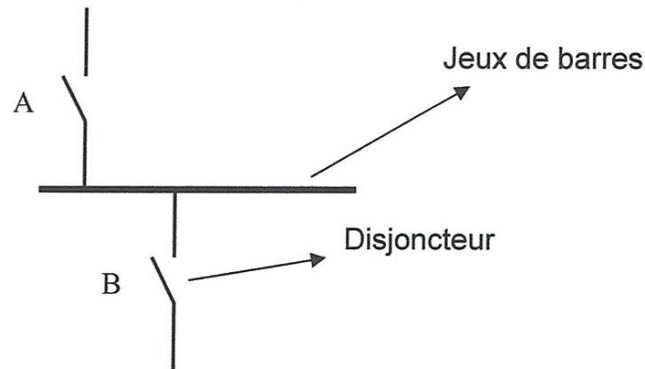
Une protection est dite sélective si un défaut survenu en un point quelconque du circuit est éliminé par l'appareil de protection situé immédiatement en amont du défaut et lui seul.



Schéma(II,6) 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

### II-4-2-1. Sélectivité ampermétrique:

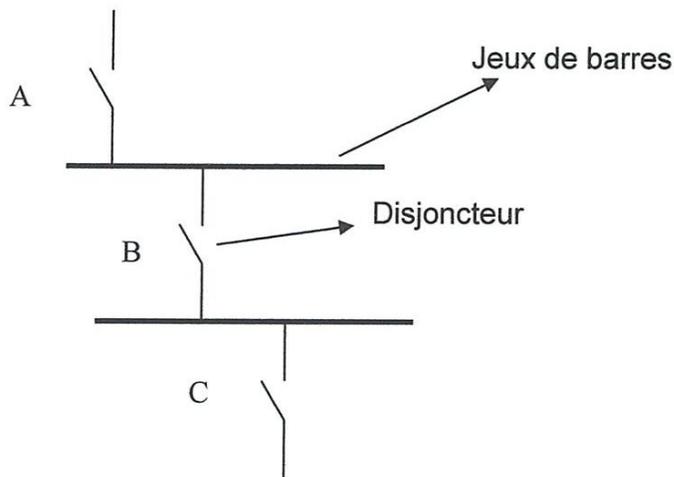


Schéma(II, 7) Sélectivité ampermétrique

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

### II-4-2-2. Sélectivité chronométrique:



Schéma(II,8) Sélectivité chronométrique

Le disjoncteur C est un disjoncteur à action rapide, tandis que les autres disjoncteurs sont à action retardée (le disjoncteur B à 0.3s, le disjoncteur A à 0.6s).

La différence des temps de fonctionnement  $t$  entre deux protections consécutives constitue l'intervalle de sélectivité. Il doit prendre en compte :

- Le temps de coupure du circuit  $T_c$

- Les tolérances sur la temporisation  $dt$
- Le temps de retour au repos de la protection  $tr$

Le temps  $t$  vérifie de ce fait la relation  $t = T_c + tr + 2dt$ . Etant donné les performances actuelles des dispositifs de coupure et des relais, la valeur qui est utilisée pour  $t$  se situe entre 200 et 300 ms pour deux disjoncteurs consécutifs.

### II-4-2-3. Sélectivité logique:

Ce principe est utilisé lorsqu'un temps court d'élimination de défaut est exigé. L'échange de données logiques entre des protections consécutives élimine les intervalles de sélectivité. Dans des réseaux en anneau, les protections situées en amont du point de défaut sont activées alors que celles situées en aval ne le sont pas ; ceci permet de localiser clairement le point de défaut et le disjoncteur à déclencher. Chaque protection qui est activée par le défaut envoie :

- Un ordre de blocage au niveau amont (ordre qui augmente la temporisation du relais amont)
- Un ordre de déclenchement au disjoncteur concerné à moins qu'il n'ait lui-même reçu un ordre de blocage de l'aval.

La temporisation est utilisée comme secours.

### II-5- COMPOSANT DE BASE DE PROTECTION:

#### - Transformateur de tension et de courant :

pour surveiller et donner des informations faibles sur l'état du système.

- **Relais:** pour convertir les signaux des appareils de surveillances et donner des instructions pour ouvrir un circuit dans des conditions de panne ou pour déclencher des alarmes lorsque les équipements sous protection s'approchent d'une possible destruction.
- **Fusible:** autodestructible pour sauvegarder les équipements en aval qui sont sous protection.
- **Disjoncteur:** utilisé pour des circuits transportant des courants énormes et aussi pour couper le circuit transportant le courant de défaut en quelques cycles en ce qui passe sur la réaction provenant des relais.
- **Batteries:** fournir aux relais et disjoncteur une source d'alimentation ininterrompue indépendante de la source principale protégée.

# CHAPITRE III:

## REGIME DE NEUTRE

### III- LES REGIMES DE NEUTRE:

Dans tout système triphasé Haute ou Basse Tension existent trois tensions simples, mesurées entre chacune des phases et un point commun appelé "point neutre".

Physiquement, le neutre est le point commun de trois enroulements montés en étoile (Schéma III-1).

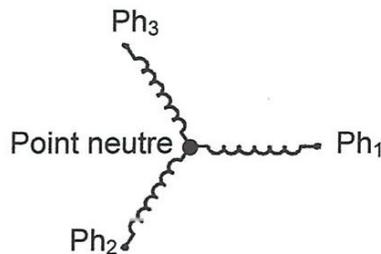


Schéma (III,1) : point neutre d'un système triphasé en étoile

Le neutre peut être sorti ou non, distribué ou non, la distribution du neutre en Haute Tension est exceptionnelle, le neutre est très souvent distribué en Basse Tension

Dans une installation Haute ou Basse Tension, le neutre peut ou non être relié à la terre, on parle alors de régime du neutre.

La connexion du neutre à la terre peut être réalisée directement, ou par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance, dans le premier cas, on dit que l'on a un neutre direct à la terre et dans le second cas, que le neutre est impédant.

Lorsqu'il n'existe aucune liaison intentionnelle entre le point neutre et la terre, on dit que le neutre est isolé.

Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important, Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre à la terre.

Un neutre mis directement à la terre limite fortement les surtensions : par contre, il engendre des courants de défaut très importants au contraire, un neutre isolé limite les courants de défaut à des valeurs très faibles, mais favorise l'apparition de surtensions élevées.

Dans toute installation, la continuité de service en présence d'un défaut d'isolement est également liée au régime du neutre, un neutre isolé permet la continuité de service en Basse Tension et même en Haute Tension, sous réserve de respecter le décret sur la protection des travailleurs. un neutre direct à la terre, ou faiblement impédant, impose au contraire un déclenchement dès l'apparition du premier défaut d'isolément.

L'importance des dommages que subissent certains équipements, tels que les moteurs et les alternateurs présentant un défaut d'isolement interne, dépend également du régime du neutre.

Dans un réseau à neutre direct à la terre, une machine affectée d'un défaut d'isolement est fortement endommagée en raison de la valeur élevée des courants de défaut.

Dans un réseau à neutre isolé ou fortement impédant, les dommages sont au contraire réduits, mais il faut que les équipements aient un niveau d'isolement compatible avec le niveau des surtensions pouvant se développer dans ce type de réseau.

Le choix du régime du neutre, tant en Basse Tension qu'en Haute Tension, dépend à la fois de la nature de l'installation et de celle du réseau, est également influencé par la nature des récepteurs et la recherche de la continuité de service.

### **III -1- LES REGIMES DE NEUTRE EN BASSE TENSION:**

Nous allons d'abord définir les différents régimes de neutre, basse tension, puis nous comparerons les avantages et les inconvénients de chacun d'eux.

#### **III -1-1. Les différents régimes de neutre - définition et schemas:**

En basse tension, il ya Trois régimes sont possibles : IT, TT, TN

La première lettre définit la situation du point neutre par rapport a la terre :

**T** : liaison directe du point neutre à la terre

**I** : point neutre isolé de la terre ou relié à la terre par une impédance élevée (2000  $\Omega$  par exemple)

La deuxième lettre définit la situation des masses de l'installation électrique par rapport à la terre :

**T** : les masses sont reliées directement à la terre

**N** : les masses sont reliées directement au conducteur de neutre

### ■ Neutre isolé ou impédant schéma IT (Schéma III-2)

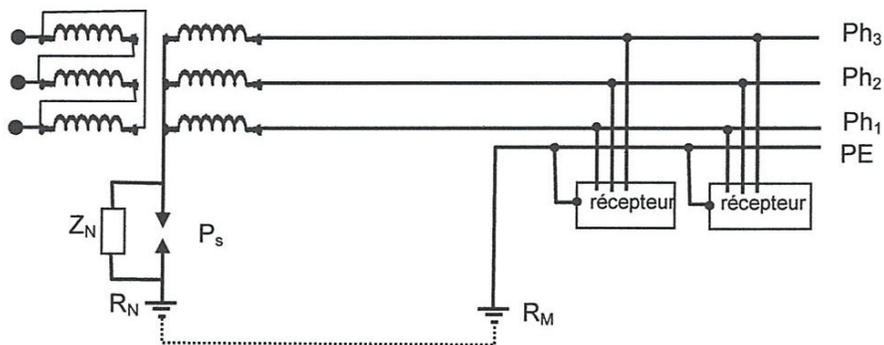
#### lettre I

Le neutre est isolé ou relié à la terre par impédance élevée (une impédance de  $1700 \Omega$  est fréquemment utilisée).

#### lettre T

Les masses des récepteurs sont interconnectées et reliées à une prise de terre.

Un groupe de récepteurs peut être relié individuellement à la terre s'il est très éloigné des autres récepteurs.



$Z_N$  : impédance de mise à la terre du neutre

$P_s$  : limiteur de surtension

Schéma (III-2) : neutre isolé ou impédant (schéma IT) en basse tension

#### \* Particularités

- la coupure sur double défaut est obtenue normalement par les dispositifs assurant la protection contre les défauts entre phases (disjoncteurs, fusibles...)

- si le courant de court-circuit n'est pas suffisant pour activer la protection contre les défauts entre phases, notamment si des récepteurs sont très éloignés, la protection devra être réalisée par des dispositifs différentiels résiduels.
- il est déconseillé de distribuer le neutre.
- il faut obligatoirement installer un limiteur de surtension entre le point neutre du transformateur HTA/BT et la terre. si le neutre n'est pas accessible le limiteur de surtension est installé entre une phase et la terre il assure l'écoulement à la terre des surtensions d'origine externes transmises par le transformateur, et protège le réseau Basse Tension contre une élévation de tension résultant d'un amorçage entre les enroulements Haute Tension et Basse Tension du transformateur.
- un groupe de récepteurs relié individuellement à la terre doit être protégé par un dispositif différentiel résiduel.

#### ■ neutre mis directement à la terre schéma TT (Schéma III-3)

##### Première lettre T

Le neutre est relié directement à la terre

##### Deuxième lettre T

Les masses des récepteurs sont interconnectées soit toutes ensemble, soit par groupe de récepteurs, chaque groupe interconnecté est relié à une prise de terre.

Une masse peut être reliée individuellement à la terre si elle est très éloignée des autres.

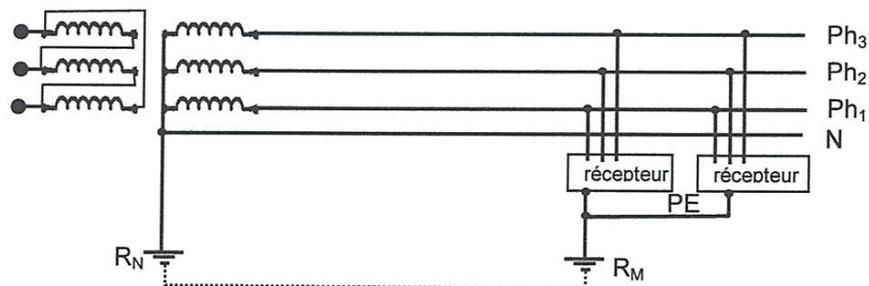


Schéma (III-3): neutre mis directement à la terre (schéma TT) en basse tension

**\* Particularités**

- l'installation de dispositifs différentiels résiduels est obligatoire
- toutes les masses protégées par le même dispositif de protection doivent être reliées à la même prise de terre
- la prise de terre du neutre et celle des masses peuvent ou non être interconnectées ou confondues
- le neutre peut être distribué ou non

**■ masse au neutre schéma TN**

**lettre T**

Le neutre est relié directement à la terre

**lettre N**

Les masses des récepteurs sont reliées au connecteur de neutre

On distingue deux schémas possibles suivant que le conducteur de neutre et le conducteur de protection (PE) sont confondus ou non

**1er cas:** les conducteurs de neutre et de protection sont confondus en un seul conducteur appelé PEN Le schéma est identifié par une troisième lettre C et est appelé TNC (Schéma. III-4).

il faut répartir uniformément des prises de terre tout le long du conducteur PEN afin d'éviter les montées de potentiel des masses en cas de défaut. Ce schéma est interdit pour les sections inférieures à 10 mm<sup>2</sup> cuivre et 16 mm<sup>2</sup> aluminium, ainsi qu'en aval d'un schéma TNS, il est également interdit pour les canalisations mobiles.

**2ème cas:** le conducteur de neutre et le conducteur de protection sont séparés Le schéma est identifié par une troisième lettre S et est appelé TNS (Schéma. III-5)

Il faut répartir uniformément des prises de terre tout le long du conducteur de protection PE afin d'éviter les montées de potentiel des masses en cas de défaut ce schéma est interdit en amont d'un schéma TNC.

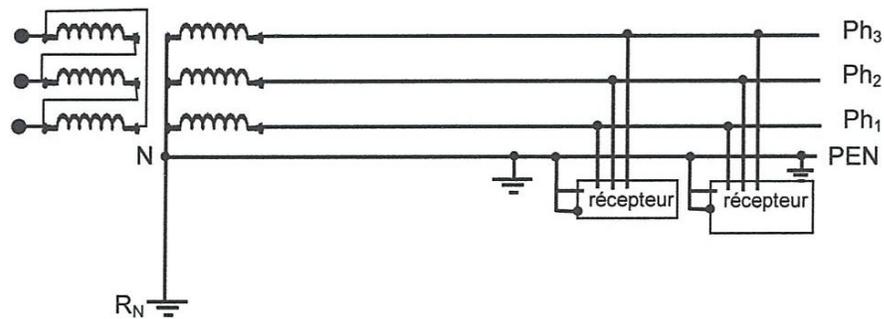


Schéma (III-4) : schéma TNC

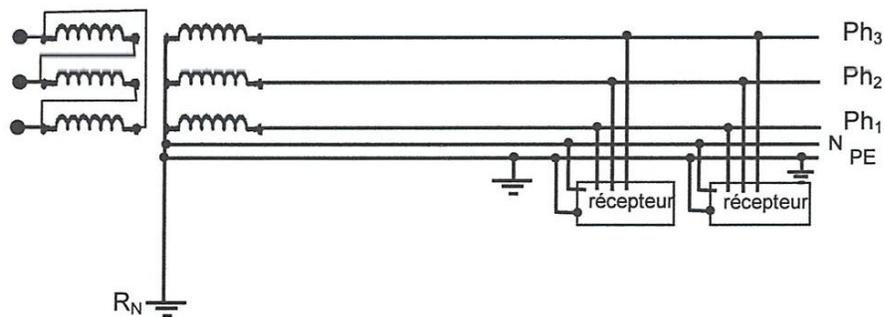


Schéma (III-5) : schéma TNS

#### \* Particularités des schémas TNS et TNC

- la coupure sur défaut est obtenue par les dispositifs assurant la protection contre les défauts entre phases (disjoncteurs, fusibles..)

**Nota 1 :** le schéma TNC est interdit pour les sections inférieures à  $10 \text{ mm}^2$  cuivre et  $16 \text{ mm}^2$  aluminium, ainsi que pour les canalisations mobiles

**Nota 2:** les deux schémas TNS et TNC peuvent être utilisés dans une même installation Mais le schéma TNC (4 fils) ne doit jamais être en aval du schéma TNS (5 fils).

### **III -1-2. Comparaison des différents régimes de neutre en basse tension:**

Les trois régimes de neutre diffèrent dans leur technique d'exploitation et de protection des personnes, ils comportent chacun des avantages et des inconvénients que nous allons étudier.

#### **III-1-2.1. Neutre isolé ou impédant (schéma IT) :( Schéma III-2)**

##### **■ Technique d'exploitation**

- surveillance permanente de l'isolement
- signalisation du premier défaut d'isolement
- recherche et élimination obligatoires du défaut
- coupure si deux défauts d'isolement simultanés (double défaut)

##### **■ Technique de protection des personnes**

- interconnexion et mise à la terre des masses
- surveillance du premier défaut par un contrôleur permanent d'isolement
- coupure au deuxième défaut par protection de surintensité (disjoncteurs ou fusibles)

##### **■ Avantages**

- solution assurant la meilleure continuité de service en exploitation
- lors d'un défaut d'isolement, l'intensité de court-circuit est très faible

##### **■ Inconvénients**

- nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance en exploitation
- nécessite un bon niveau d'isolement du réseau (Implique la fragmentation du réseau si celui-ci est très étendu, et l'alimentation des récepteurs à courant de fuite important par transformateurs de séparation)
- la vérification des déclenchements pour deux défauts simultanés doit être effectuée si possible à l'étude du projet de réseau, par des calculs, et obligatoirement à la mise en service par des mesures

- installation de limiteurs de surtension
- nécessité de réaliser une équipotentialité de toutes les masses de l'installation, sinon nécessité d'installer des dispositifs différentiels résiduels
- éviter de distribuer le conducteur neutre, dans le schéma IT, il est en effet recommandé de ne pas distribuer le conducteur neutre pour les raisons suivantes :
- si le conducteur neutre est distribué, un défaut l'affectant supprime les avantages attachés au régime IT
- si le neutre est distribué, il est obligatoire de le protéger
- le fait de ne pas distribuer le neutre facilite le choix des dispositifs de protection contre les surintensités et la recherche des défauts
- localisation des défauts difficile sur les réseaux étendus
- lors d'un défaut d'isolement par rapport à la terre, la tension des deux phases saines par rapport à la terre prend la valeur de la tension composée

Les matériels doivent donc être sélectionnés en conséquence

### **III-1-2.2. Neutre mis directement à la terre (schema TT):**

#### **■ Technique d'exploitation**

- coupure au premier défaut d'isolement

#### **■ Technique de protection des personnes**

- mise à la terre des masses, associée à l'emploi obligatoire des dispositifs différentiels résiduels (au moins un, en tête de l'installation)
- toutes les masses protégées par un même dispositif différentiel résiduel doivent être reliées à la même prise de terre
- les masses simultanément accessibles doivent être reliées à la même prise de terre

■ **Avantages**

- le plus simple à étudier, mettre en oeuvre, contrôler, exploiter
- ne nécessite pas une permanence de surveillance en exploitation (seul un contrôle périodique des dispositifs différentiels résiduels peut être nécessaire)
- la présence des dispositifs différentiels résiduels permet en plus la prévention des risques d'incendie lorsque leur sensibilité est inférieure ou égale à 500 mA.
- localisation facile des défauts
- lors d'un défaut d'isolement l'intensité de court-circuit est faible

■ **Inconvénients**

- coupure au premier défaut d'isolement
- utilisation d'un dispositif différentiel résiduel sur chaque départ pour obtenir une sélectivité totale
- les récepteurs ou parties d'installation qui sont la cause, en marche normale, de courants de fuite importants, doivent faire l'objet de mesures spéciales pour éviter des déclenchements intempestifs (alimenter les récepteurs par transformateurs de séparation ou utiliser des différentiels résiduels à seuil élevé, compatible avec la résistance de la prise de terre des masses).

**III-1-2.3.. Mise au neutre des masses (schémas TNC - TNS):**

■ **Technique d'exploitation**

- coupure au premier défaut d'isolement

■ **Technique de protection des personnes**

- interconnexion et mise à la terre des masses et du neutre impératives
- coupure au premier défaut par protection de surintensité (disjoncteur ou fusibles)

■ **Avantages**

- le schéma TNC peut faire apparaître une économie à l'installation (suppression d'un pôle d'appareillage et d'un conducteur)
- utilisation des dispositifs de protection contre les surintensités, pour assurer la protection contre les contacts indirects

■ **Inconvénients**

- la coupure au premier défaut d'isolement
- le schéma TNC implique l'utilisation de canalisations fixes et rigides
- nécessite des prises de terre uniformément réparties dans toute l'installation, de façon à maintenir le conducteur de protection au potentiel de la terre
- la vérification des déclenchements sur premier défaut d'isolement doit être effectuée si possible lors de l'étude par le calcul, et obligatoirement, lors de la mise en service, par des mesures ; cette vérification est la seule garantie de fonctionnement de Ce régime, aussi bien au moment de ta réception qu'en exploitation et après toute intervention (modification, extension) sur le réseau
- passage du conducteur de protection dans les mêmes canalisations que les conducteurs actifs des circuits correspondants
- nécessite souvent de réaliser des liaisons équipotentielle supplémentaires
- les harmoniques 3 et multiples de 3 circulent dans le conducteur de protection (schéma TNC)
- il présente un risque d'incendie plus élevé, il est d'ailleurs interdit dans les locaux à risque d'incendie (schéma TNC)
- lors d'un défaut d'isolement, l'intensité de court-circuit est élevée et peut provoquer des dommages aux matériels ou des perturbations électro-magnétiques

**III-2-2.5. Neutre mis à la terre par réactance de limitation accordée (bobine de Petersen):**

(voir tableau III-1-e)

**■ Technique d'exploitation**

- non coupure au premier défaut

**■ Avantages**

- si la réactance est telle que la condition  $3 L_0 C_0 W^2 = 1$  est respectée, le courant de défaut phase terre est nul Ceci permet :
- l'extinction spontanée des défauts à la terre non permanents
- le maintien en service de l'installation malgré un défaut permanent, le déclenchement se produisant obligatoirement au deuxième défaut
- le premier défaut est signalé par la détection du passage du courant dans la bobine. La bobine est dimensionnée pour un fonctionnement permanent

**■ Inconvénients**

- difficultés pour réaliser la condition  $3 L_0 C_0 W^2 = 1$  en raison de l'incertitude qui existe sur la connaissance de la capacité du réseau : il en résulte que, pendant la durée du défaut, un courant résiduel circule dans le défaut ; il faut s'assurer que ce courant ne présente pas de danger pour le personnel et le matériel
- les risques de surtensions sont importants
- demande la présence d'un personnel de surveillance
- protection sélective impossible à réaliser au premier défaut si l'accord  $3 L_0 C_0 W^2 = 1$  est réalisé ,dans le cas d'un désaccord systématique ( $3 L_0 C_0 W^2 \neq 1$ ) la protection sélective au premier défaut est complexe et onéreuse ( protection à maximum de courant terre directionnel pour réseaux à neutre compensé)
- risque de ferro-résonance.

*CHAPITRE IV:*  
*PROTECTION DIFFERENTIELLE*  
*DES TRANSFORMATEURS*

#### IV-1-GENERALITES:

La protection différentielle fonctionne lorsque la différence de vecteur de deux ou plusieurs grandeurs électriques semblables dépassent une valeur prédéterminée. Presque n'importe quel type de relais peut fonctionner comme protection différentielle - ce n'est pas tellement la construction du relais qui est importante mais plutôt sa méthode de raccordement dans le circuit.

La majorité des applications des relais différentiels sont du type de courant différentiel, mais ils peuvent également être de type de tension différentiel, fonctionnant selon le même principe que les relais de courant; la différence se situe dans le fait que le signal de fonctionnement est dérivé d'une tension à travers une résistance shunt.

Un exemple simple d'un arrangement différentiel est montré sur le schéma (IV,1). Les secondaires des transformateurs de courant (TCs) sont reliés ensemble et l'enroulement d'un relais de surintensité est relié à travers ces derniers. Bien que les courants  $I_1$  et  $I_2$  puissent être différents, à condition que les deux ensembles de TCs aient des rapports et des raccordements appropriés alors, dans des conditions de charge normales ou quand il y a un défaut en dehors de la zone protection de l'élément.

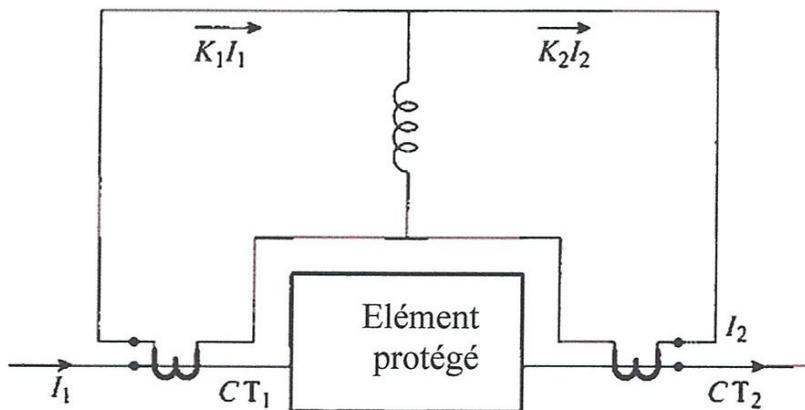


Schéma (IV,1): protections différentielles - courant équilibré

Les courants secondaires circulent entre les deux TCs et ne traversera pas le relais de surintensité. Cependant, si un défaut se produit dans la section entre les deux TCs le courant de défaut coulerait vers le court-circuit des deux côtés TCs et la somme des courants secondaires traverserait le relais différentiel. Dans tous les cas le courant dans le relais différentiel serait proportionnel à la différence de vecteur entre les courants qui entrent et partent de l'élément protégé; si le courant traversant le relais différentiel dépasse la valeur de réglage le relais fonctionnera.

Un arrangement qui est intensivement employé est le relais différentiel avec une caractéristique de pourcentage variable, ou à pourcentage polarisé, qui a une unité additionnelle, l'enroulement retenant, en plus de l'enroulement de fonctionnement comme représenté sur le schéma (IV,2).

Puisque ce type de relais est le plus commun dans les arrangements. Le courant dans l'enroulement de fonctionnement est proportionnel à  $(I_1 - I_2)$ . Si  $N$  est égal au nombre de tours de la branche différentielle avec l'enroulement de fonctionnement relié au point intermédiaire de l'enroulement retenant, alors tous les courants sont égaux à  $I_1 (N/2) + I_2(N/2)$ , qui est identique comme si  $(I_1 + I_2)/2$  a traversé tout l'enroulement retenant. La caractéristique de fonctionnement du relais avec cette forme de contrainte est montrée sur le schéma (IV,3).

Les TCs, bien que produit selon les mêmes spécifications, n'auront pas les courants secondaires identiques pour les mêmes courants primaires en raison de légères différences dans leurs caractéristiques magnétisantes. La force retenante du relais augmente avec la grandeur de  $(I_1 + I_2)$ , de ce fait empêchant le déclenchement inutile dû à toutes erreurs de déséquilibre des TCs. En outre, le couple retenant est augmenté en présence des courants de défaut produisant une caractéristique de fonctionnement plus stable et empêchant le mauvais fonctionnements du relais. Dans des relais qui ont un enroulement retenant variable, les coulées peuvent être placées pour balancer tous les courants dus aux différences dans le TCs. Si les relais n'ont pas ces coulées variables, alors les courants quittant le TCs devraient s'assortir étroitement afin d'éviter le fonctionnement des relais.

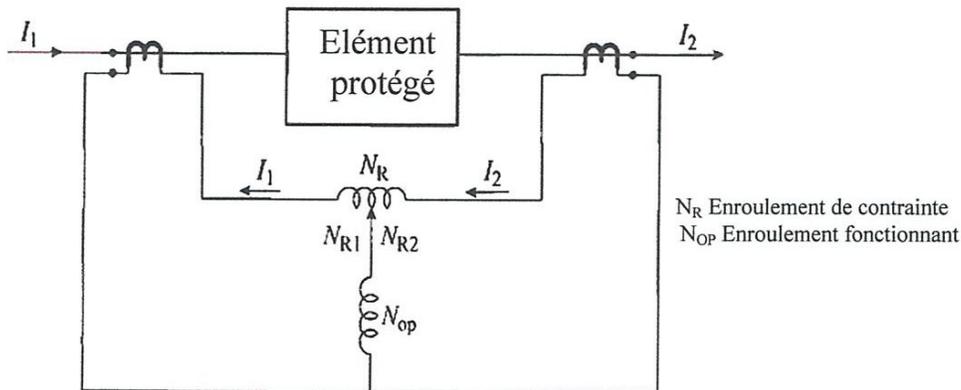


Schéma (IV,2): Relais différentiel avec la caractéristique ayant différent pourcentage

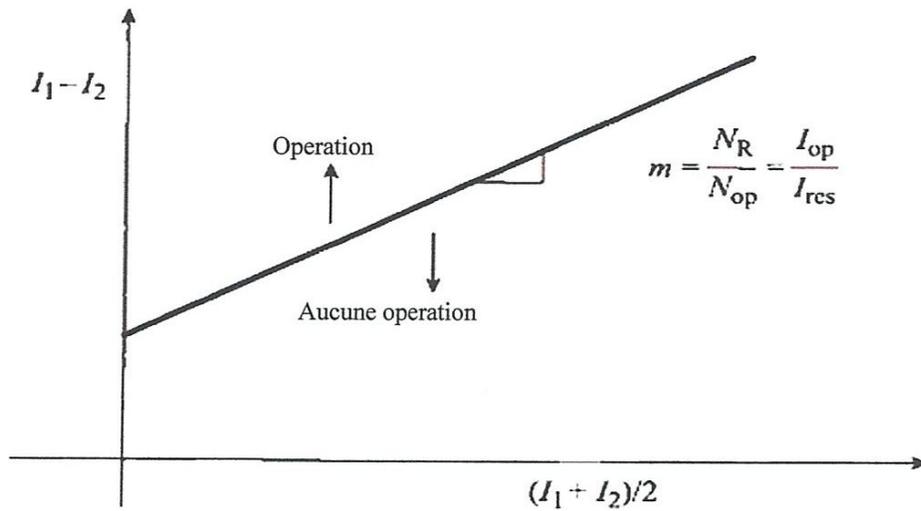


Schéma (IV,3): Caractéristique de relais

Les relais différentiels peuvent être utilisés pour les éléments de système d'alimentation qui ont plus de deux bornes, comme représenté sur le schéma (IV,4).

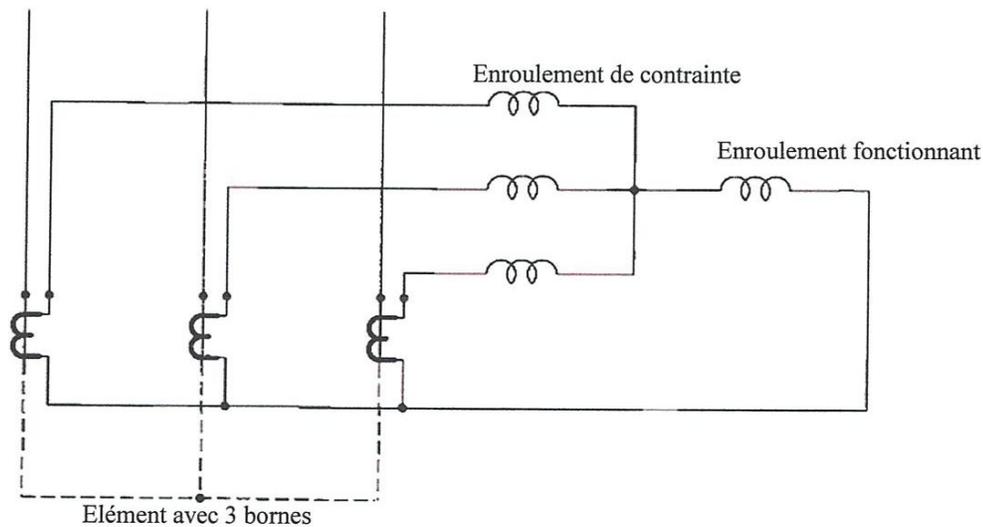


Schéma (IV,4) Protection différentielle pour l'élément avec trois bornes

Chacun des trois enroulements retenants (contraintes) a le même nombre de tours et chaque enroulement produit une contrainte qui est indépendante des autres; ceux-ci s'ajoutent arithmétiquement. La pente de la caractéristique de fonctionnement de chaque relais change selon la distribution du courant dans les trois enroulements retenant. Il y a également d'autres types de relais différentiels qui emploient les éléments directionnels ou de surtension au lieu des éléments de surintensité. Ainsi, tous les types sont des prolongements du principe qui ont été décrits ci-dessus.

#### **IV-2-CLASSIFICATION DE LA PROTECTION DIFFERENTIELLE:**

La protection différentielle peut être classifiée selon le type d'élément à protéger, comme suit:

- transformateurs;
- générateurs et machines rotatives;
- lignes et jeux de barres.

#### **IV-3-TYPES DE DEFAUT AU NIVEAUX DE TRANSFORMATEUR:**

En raison de sa nature statique le transformateur de puissance peut être considéré comme une unité très fiable. Néanmoins il y a une possibilité d'échec en raison des défauts internes aussi bien qu'être soumise aux efforts des sources extérieures qui pourraient causer la condition de pannes internes.

##### **Les défauts internes sont :**

- 1- échec d'isolation de l'enroulement, des stratifications ou des boulons; des dommages dans la construction ; qualité insatisfaisante ou fragilité par le vieillissement ou la surcharge  
L'échec de l'isolation de stratification ou boulon de noyau produit un courant de Foucault accru causant le chauffage du noyau.
- 2- La détérioration de l'huile qui pourrait être provoquée par l'huile de mauvaise qualité; pénétration de l'humidité; décomposition en raison de la surchauffe ou la formation du cambouis par oxydation en raison de mauvais joints électriques.
- 3- Pertes d'huile par les fuites.
- 4- Incapacité pour résister à des efforts de défaut. Ceci peut être dû aux mauvaises conceptions. Ou les courants forts répétés installent les efforts mécaniques graves.
- 5- Défauts de commutateur (pointeur).
- 6- défauts de refroidissement de système.

##### **L'état externe qui pourrait causer des défauts à se développer est :**

- 1- à travers-défauts lourds.
- 2- surcharges.
- 3- Montées subites de commutation.
- 4- Foudre.

#### IV-4-PROTECTION DIFFERENTIEL DES TRANSFORMATEURS:

Un système différentiel peut protéger un transformateur efficacement en raison de la fiabilité inhérente des relais, et du fait que des ampèremètres équivalents sont développés dans les enroulements primaires et secondaires du transformateur. Les TCs des côtés primaires et secondaires du transformateur sont reliés de telle manière qu'ils forment un système de circulation, de courant comme illustré sur le schéma (IV,5). Les défauts sur les bornes ou dans les enroulements sont dans la zone de protection de transformateur et devraient être dégagés aussi rapidement que possible afin d'éviter les contraintes interne et le danger du feu. La majorité de défauts internes qui se produisent dans les enroulements sont à la terre (à travers le noyau) ou entre les tours, avec la sévérité selon la conception du transformateur et le type de miss à la terre.

La protection différentielle peut également détecter et supprime les défauts clairs d'isolation dans les enroulements de transformateur. La cause principale de ces défauts est des arcs à l'intérieur des douilles et des défauts dans le curseur. Ce type de protection répond non seulement aux défauts entre phases et phase et la terre mais également dans un certain degré aux défauts entre les tours. Cependant, les défauts phase- phase entre les enroulements d'un transformateur triphasé sont moins communs. Un défaut interne qui ne constitue pas un danger immédiat est un défaut naissant et s'il n'est détecté à temps, il pourrait se dégénérer en un défaut important. Les défauts principaux dans ce groupe sont des défauts de noyau, provoqués par la détérioration de l'isolation entre les stratifications qui composent le noyau.

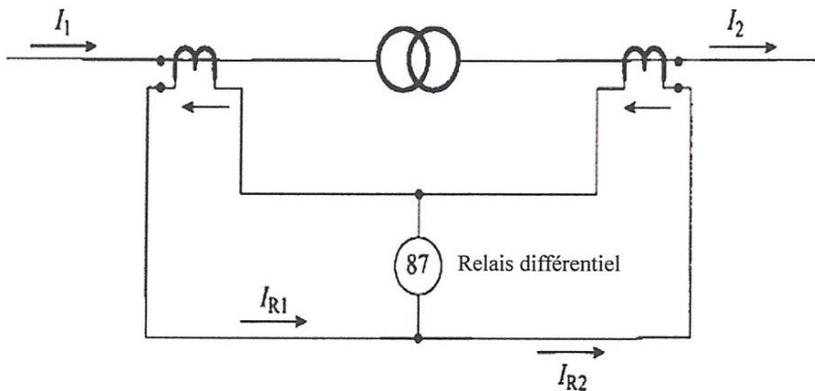


Schéma (IV,5): Protection différentielle de transformateur

**IV-4-1- Considération de base :**

Afin d'appliquer les principes de la protection différentielle aux transformateurs triphasés, les facteurs suivants devraient être pris en considération:

**IV-4-1.1 Rapport de transformation :**

Les courants nominaux dans les côtés primaires et secondaires du transformateur changent dans le rapport inverse aux tensions correspondantes. Ceci devrait être compensé en employant différents rapports de transformation pour le TCs des côtés primaires et secondaires du transformateur.

**IV-4-1.2 Raccordements de transformateur :**

Quand un transformateur est relié en (Y/ $\Delta$ ), le courant secondaire a un déphasage d'un multiple du  $30^\circ$  relativement au primaire, selon le groupe de vecteur. Ce décalage peut être compensé par les raccordements secondaires appropriés de TC. En outre, la séquence zéro du courant qui entre dans le côté (Y) du transformateur n'induit pas de courant dans l'enroulement ( $\Delta$ ) de l'autre côté. On peut donc éliminer la séquence zéro du courant du côté étoile en reliant les TCs en delta. Pour la même raison, les TCs du côté ( $\Delta$ ) du transformateur devraient être reliés en étoile. Quand les TCs sont reliés en ( $\Delta$ ), leurs valeurs secondaires nominales devraient être multipliées par  $\sqrt{3}$  de sorte que les courants entrant dans delta soient équilibrés par les courants secondaires des TCs reliés en (Y).

**IV-4-1.3 Le commutateur ( curseur de changement):**

Si le transformateur a l'avantage d'un curseur de changement il est possible de changer son rapport de transformation, et n'importe quel système de protection différentiel devrait pouvoir faire face à cette variation. Puisqu'il n'est pas pratique pour changer les rapports de transformation de TC, la protection différentielle devrait avoir une gamme appropriée de tolérance afin de pouvoir modifier la sensibilité de sa réponse d'opération. Qu'il inclue une certaine forme de polarisation dans le système de protection ainsi que quelques inscriptions d'identification des bornes de courants les plus élevés d'entrée.

**IV-4-1.4 Irruption de magnétisation :**

Ce phénomène se produit quand le transformateur est actif, ou quand la tension primaire revient à sa valeur normale après le dégagement d'un défaut externe. L'irruption magnétisante produit un écoulement de courant dans l'enroulement primaire qui n'a aucun équivalent dans l'enroulement secondaire. L'effet net est ainsi semblable à la situation quand il y a un défaut interne sur le transformateur. Puisque le relais différentiel voit le courant de magnétiser comme

défaut interne, il est nécessaire d'avoir une certaine méthode de distinguer le courant magnétisant et le courant de défaut. Ces méthodes incluent:

1. L'utilisation d'un relais différentiel avec une sensibilité appropriée pour faire face au courant magnétisant, habituellement obtenu par une unité qui présente délai pour couvrir la période de la crête initiale d'irruption.
2. En utilisant une unité de harmonique contrainte, ou une unité de surveillance, en même temps qu'une unité différentielle.
3. Empêcher le relais différentiel pendant l'activation du transformateur.

#### **IV-4-2- Choix et raccordement de TCs :**

Les facteurs suivants devraient être pris en considération en considérant l'application des systèmes de protection différentiels:

1. En général, le TCs du côté d'étoile d'un transformateur de (Y/ $\Delta$ ) devrait être relié dans le delta, et ceux du côté de delta devraient être reliés en étoile. Cet arrangement compense déphasage à travers le transformateur et bloque le courant d'zéro-ordre en cas des défauts externes pour mettre à la terre.
2. Les relais devraient être reliés pour accepter le courant de charge écrivant un côté du transformateur et partant par l'autre côté. S'il y a plus de deux enroulements qu'il est nécessaire de considérer toutes les combinaisons, prenant deux enroulements à la fois.
3. Les rapports de TC devraient être choisis afin de produire l'équilibre possible maximum entre les courants secondaires des deux côtés du transformateur dans des conditions de charge maximum. S'il y a plus de deux enroulements, toutes les combinaisons devraient être considérées, prenant deux enroulements à la fois et la puissance nominale de l'enroulement primaire. Si les rapports disponibles de TC ne permettent pas à compensation proportionnée de n'être faite pour aucune variation du courant secondaire à partir de TCs, alors des transformateurs de compensation peuvent être employés pour excentrer déphasage à travers le transformateur.

#### **IV-4-3- Pourcentage de l'enroulement protégé par le relais différentiel pendant un défaut de la terre:**

Bien que la protection différentielle soit très fiable pour les transformateurs de puissance protecteurs, les enroulements toujours ne sont pas entièrement protégés, particulièrement dans le cas des défauts monophasés. Considérez le cas d'un transformateur delta/star comme représenté sur le Schéma (IV.6) a, dans laquelle l'enroulement étoile a été mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance. Supposez qu'un défaut interne de la terre se produit au point F à une distance X du point neutre, impliquant un pourcentage de tours de X,

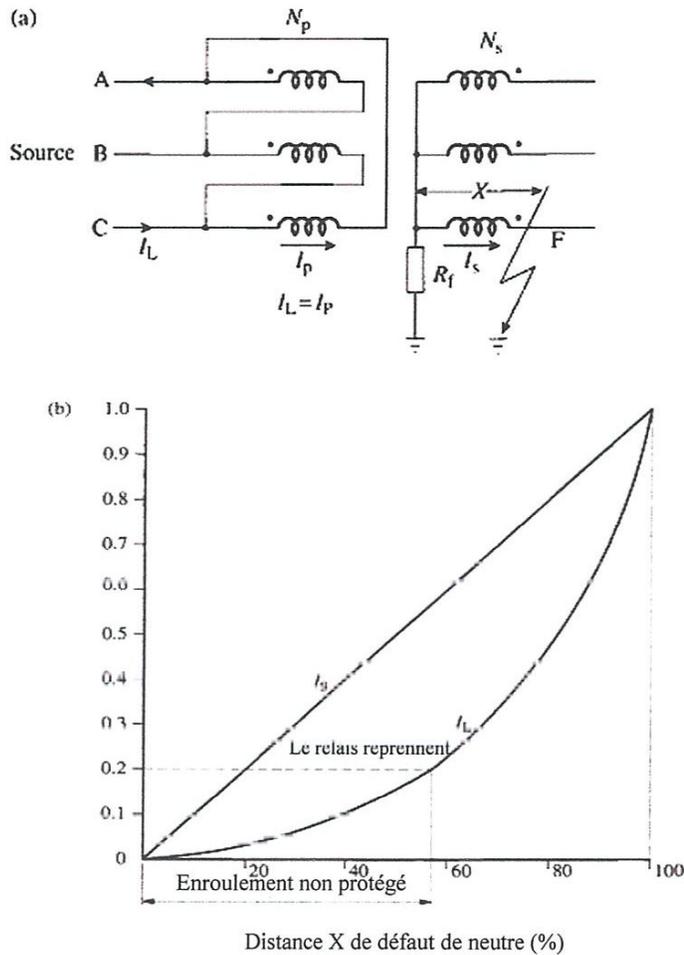


Schéma (IV.6): Transformateur ( $\Delta/Y$ ); enroulement étoile mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance, avec un défaut du côté étoile: (a) diagramme de raccordement; (b) valeurs de courant de défaut pour primaire et secondaire

Et que la résistance a été placée de sorte que le courant nominal coule pour un défaut sur les bornes, (la pleine tension phase-neutre étant appliquée entre la phase et la terre). Les nombres de tours primaires et secondaires sont  $N_p$  et  $N_s$  respectivement.

Le courant secondaire pour un défaut à F est produit avec un pourcentage de X de la tension phase-neutre. Par conséquent, le courant sera  $X I_n$ . En outre, le nombre de tours impliqués dans le défaut est  $X N_s$ . La distribution du courant dans le côté ( $\Delta$ ) pour un défaut de terre du côté (Y) a comme conséquence un courant  $I'_L$  égale :

$$I'_L = X I_n * (X N_s / N_p) = X^2 I_n (N_s / N_p) \quad (IV,1)$$

Dans les conditions normales, le courant de ligne dans le côté delta,  $I_L$ ,  $I_s$

$$I_L = \sqrt{3} I_n * (N_s / N_p) \quad (IV,2)$$

Si le relais différentiel est placé pour fonctionner pour 20% du courant nominal de ligne puis, pour le fonctionnement du relais, ce qui suit devrait s'appliquer:

$$I_L \geq 0,2 * I_L$$

$$X^2 I_n (N_s/N_p) \geq 0,2 * \sqrt{3} * I_n * (N_s/N_p)$$

$$X^2 \geq 0,2 * \sqrt{3} \iff X \geq 59\%$$

par conséquent, 59 % de l'enroulement secondaire restera non protégé. Il devrait pour protéger 80 % de l'enroulement ( $X \geq 0,2$ ) exigerait un arrangement efficace de relais de 2,3% du courant primaire nominal. Il peut être très difficile de réaliser ce niveau de l'arrangement avec certains types de relais différentiels.

le Schéma (IV.6b) illustre les courants primaires et secondaires typiques pour des formes de transport ( $\Delta/Y$ ), où l'enroulement secondaire (Y) est mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance, et également l'effet de l'endroit d'un défaut le long de l'enroulement (Y) sur la sélection vers le haut des relais différentiels.

#### IV-4-4- Détermination de la pente:

L'arrangement de la pente des relais différentiels est effectué dans le but de s'assurer qu'il n'y aura aucun fonctionnement en raison des différences dans les courants dans les enroulements de contrainte dus aux rapports de transformation des TCs et au fonctionnement du commutateur dans des conditions de charge. Afin de déterminer la pente, les couples de contrainte et de fonctionnement sont calculés sur la base des courants et du nombre de tours dans les enroulements respectifs comme présenté ci-dessous:

$$T_{res} = I_1 N_{R1} + I_2 N_{R2}$$

$$T_{OP} = I_1 - (I_2 / N_{OP})$$

Là où:  $I_1, I_2$  = courants dans les secondaires des TCs;  $N_{R1}, N_{R2}$  = nombre de tours des enroulements de contrainte. (Voir le schéma IV,2).

Afin le relais à fonctionner,  $T_{OP} > T_{res}$ , i.e.  $|I_1 - I_2| N_{op} > I_1 N_{R1} + I_2 N_{R2}$ .

$$\text{Si } N_{R1} = N_{R2} = N_R/2,$$

$$\text{Ceci donne alors } T_{res} = (I_1 + I_2) N_R/2.$$

Pour l'opération du relais, la défektivité de pente :

$$\frac{|I_1 - I_2|}{0.5|I_1 + I_2|} \geq \frac{N_{res}}{N_{op}} = m$$

Une courbe de fonctionnement typique est montrée sur le schéma (IV,3).

évitée parce que les courants sont dans l'ordre de (1A) et peut être fourni ainsi directement au relais.

Les entrées de mesure pour les courants étant surveillés ont été indiquées 1S1 - 1S2, 2S1 - 2S2 et 3S1 - 3S2 pour le côté primaire (par convention le côté à haute tension du transformateur) aussi bien que 4S1 - 4S2, 5S1 - 5S2 et 6S1 - 6S2 pour le côté secondaire (par convention le côté de basse tension). Leurs valeurs nominales s'élèvent à (1 A) chacun, par lequel une surcharge continue jusqu'à (4 A) soit possible. Afin la protection différentielle puisse utiliser correctement, l'ordre de phase des tensions doit produire un champ tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Un autre dispositif à considérer est que l'arrangement de défaut du relais utilisé ici a été placé au raccordement (Y/Y) par le fabricant pour la protection du transformateur. La puissance d'énergie des entrées de mesure (également désignées sous le nom de fardeau) se trouve au-dessous de (0,1 VA) pour le courant nominal. Le relais peut être utilisé dans une gamme de fréquence de (50 - 60 hertz).

Pour l'opération il exige une tension auxiliaire (bornes A1 - A2). L'alimentation d'énergie à longue portée intégrée permet pour cette une tension CC Entre 19 et 390 V ou une tension CA Entre 35 et 275 V (50 jusqu'à 60 hertz).

Dans l'expérience précédente le dispositif est alimenté avec une tension auxiliaire de CA de 230 V

### **V-3-PRINCIP DE FONCTIONNEMENT:**

La disponibilité fonctionnelle du relais est montrée par une LED verte. Commencer réussi est signalé par la LED rouge avec la désignation "trip". En outre un ou plusieurs des trois LED L1 L2 ou L3 s'allument la phase affectée. L'autre LED (indiquée D2 et montrée avec un symbole de transformateur) est employée en même temps que la stabilisation du relais contre l'irruption magnétisante. Elle s'allume quand le relais est bloqué brièvement pendant le commutateur dessus pour éviter des migrations de défaut. Plus loin le relais est équipé d'un bouton de remise pour reconnaître des messages de défaut. Le rendement de commande est exécuté par l'intermédiaire d'un contact de changement (bornes 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>4</sub>).

### **V-4-CARACTERISTIQUE DE REGLAGE:**

Pour l'arrangement de la caractéristique de déclenchement le dispositif a deux commutateurs progression sur le panneau plan avec une gamme de réglage de 5% à 42,5% respectivement dans 16 étapes.

Pour des valeurs courantes  $I_d$  inférieur le courant nominal (1A) la section horizontale de la caractéristique s'applique, alors que le déclenchement du relais est exécuté par l'importance du

à travers courant. Le déclenchement se produit selon l'arrangement du commutateur  $I_{d1}$  dont les valeurs sont liées au courant nominal.

La caractéristique appropriée aux valeurs  $I_d$  de courant plus grandes que le courant nominal. Ici les voyages de relais proportionnellement au à travers courant. La valeur de réglage du commutateur  $I_{d2}$  est liée au prétendu courant  $I_s$  de stabilisation C'est identique au à travers courant pour des courants plus haut que le courant nominal.

le schéma suivante indique les gammes de réglage possibles pour  $I_{d1}$  et  $I_{d2}$  la gamme de déclenchement du relais résultant d'elle. Considérez que la description est dans la balance double logarithmique.

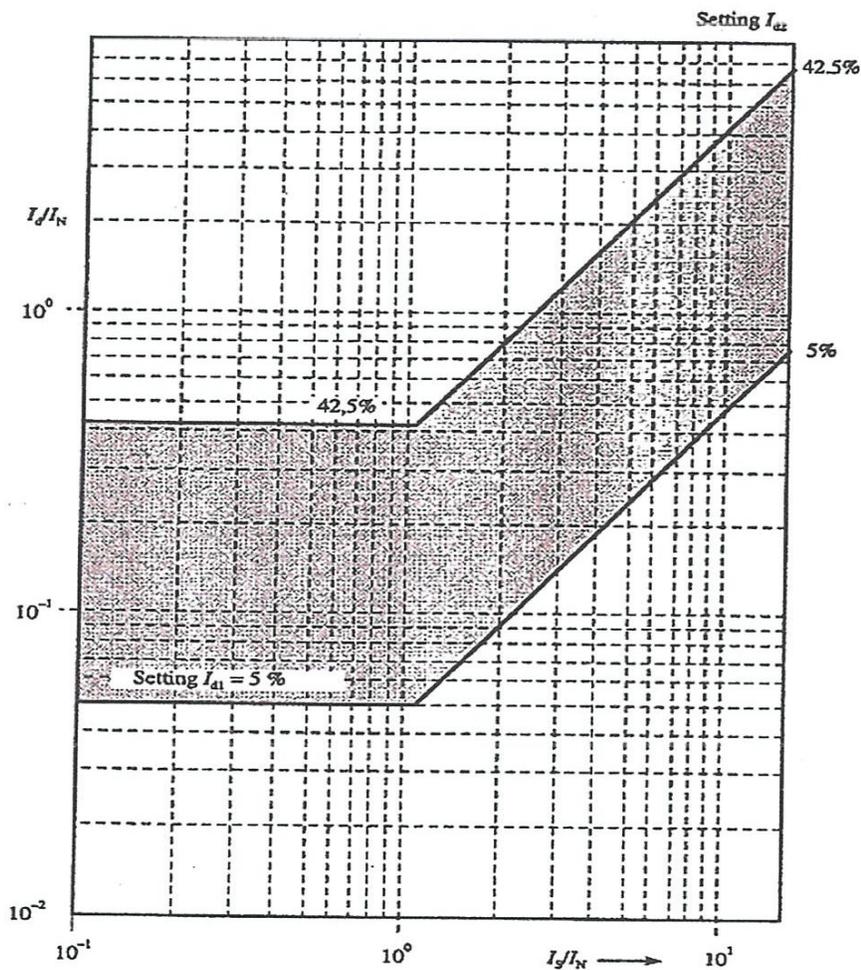


schéma (V.2).caractéristique de réglage

## **V-5- MANIPULATION :**

### **Objectifs:**

La réponse du relais à de divers courants sur l'entrée et le rendement " De et sa réponse pour la protection d'un transformateur triphasé. Mesurez son puissance d'énergie (fardeau).

### **Matérielle utiliser :**

Liste et expérience d'équipement installées:

- 1 alimentation d'énergie triphasée
- 1 Transformateurs triphasés de module de disjoncteur de la puissance du transformateur d'expérience de 6HU
- 1 6HI Isofcasing 42PU
- 1 Charge résistive 1,0
- 1 Relais protecteur différentiel de transformateur
- 1 Instrument mobile 1 A d'enroulement
- 1 Instrument mobile 2,5 A d'enroulement
- 1 Instrument mobile 100/400 V d'enroulement
- 1 Appareil de contrôle acoustique de conductivité
- 1 Ensemble de fils se reliant de sûreté
- 1 Ensemble de fils se reliant sans risque, jaune/vert
- 2 Place de la sûreté jetant un pont sur les prises, noir/blanche
- 1 Ensemble de sûreté jetant un pont sur les prises, vert/jaune

**Test01 :** la réponse d'un relais de protection différentiel de transformateur pendant les charges monophasées :

Assemblez le circuit comme indiqué dans le schéma(V.3)

La charge résistive est placée à une valeur d'approximativement. 10%.

Le paramètre de déclenchement  $I_{d1}$  du relais et changé de 5% jusqu' à 35% dans les étapes de 10%; tandis que l'arrangement  $I_{d2}$  ne joue aucun rôle.

Schéma et montage :

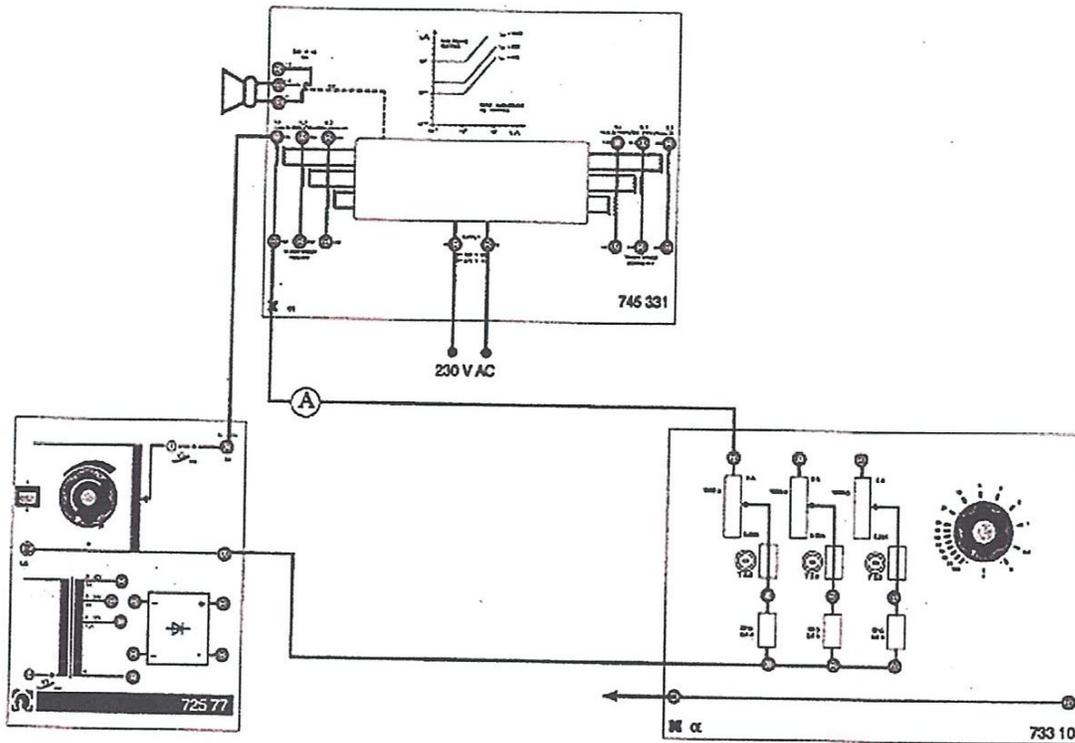


schéma (V.3): Le circuit étudiait la réponse d'un relais de protection différentiel de transformateur pendant les charges monophasées

Chaque fois la tension au transformateur monophasé est commencement lentement accru de 0 V jusqu' aux voyages de relais. Après la tension est réduite jusqu'à ce que le relais libère encore.

Les valeurs des courants lus de l'affichage sont écrites dans le Tableau ci-dessous et employées pour former la valeur de rajustement du relais.

<b>Valeur de courant <math>I_{dl}(\%)</math> :</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>35</b>
<b>Valeur de courant 1.73(A) :</b>	<b>0.087</b>	<b>0.260</b>	<b>0.433</b>	<b>0.606</b>
<b>3phase</b>				
<b>Valeur d'exploitation(A) :</b>	<b>0.09</b>	<b>0.29</b>	<b>0.45</b>	<b>0.63</b>
<b>Valeur de libération(A) :</b>	<b>0.08</b>	<b>0.26</b>	<b>0.43</b>	<b>0.60</b>
<b>Le rapport :</b>	<b>0.89</b>	<b>0.90</b>	<b>0.96</b>	<b>0.95</b>

**A-** Employez les essais aléatoires pour vérifier la réponse du relais en utilisant l'autre transformateur d'entrée (bornes 2S1 - 2S2 et 3S1 - 3S2).

**Résultat:**

Le relais protecteur montre une réponse presque identique de tous les entrées.

**B-** N'importe quel transformateur donné d'entrée étant employé (par exemple 1S1 - 1S2) placez une valeur courante d'approximativement. 1 A (la position du pour de commutateur  $I_{d1}$  ne joue aucun rôle ici) et interrompent alors le courant. Observez la réponse du relais quand le courant est commuté en arrière dessus encore.

**Résultat:**

Pendant le commutateur sur un courant élevé coule brièvement (commençant le courant d'irruption). Le relais détecte ce courant et il est bloqué pour approximativement 3 s de sorte que le déclenchement ne se produise pas. Les LED correspondants s'allument pour la durée du blocage.

**C-** La mesure de la puissance d'énergie est semblable exécuté à d'autres relais. •

Déterminez d'abord la puissance apparente consommée par l'électronique en mesurant la tension et le courant dans le circuit auxiliaire de tension.

$$V = 224V, \quad I = 50mA, \quad S = 11,2 VA$$

**D-** La puissance consommée par les circuits de mesure dépend de l'importance de la tension étant appliquée, i.e. coulé courant.

Déterminez la puissance apparente consommée d'un circuit de mesure à un courant d'approximativement. 1 coulé en utilisant la charge résistive.

$$U = 26 mV, \quad I = 1A, \quad S = 0,026 VA$$

Pour démontrer le fonctionnement du relais dans un système triphasé, installez le circuit comme montré dans le schéma.( V-4):

**E-** Considérez que le transformateur triphasé est relié des côtés dans le raccordement (Y) et la tension nominale est reliée du côté secondaire. La charge résistive est employée comme charge, qui est au commencement placée à une valeur d'approximativement. 20 %.

Le paramètre de déclenchement  $I_{d1}$  du relais est ajusté sur 10 %. En conséquence que le relais est très sensible contre des différences courantes du côté primaire et secondaire du transformateur. Branchez la charge et réduisez lentement le courant en augmentant la valeur de la charge résistive. Quelle réponse est montrée par le relais?

**Résultat:**

A la charge élevée le courant évalué la quantité de courant de magnétisation est relativement bas aucun déclenchement est causé ainsi. Si le courant de charge est réduit à une valeur d'approximativement. 0,5 A, le courant de magnétisation est plus grave du côté primaire. Si prérezglez la valeur différentielle est atteinte, le relais se déclenche

**Test 02 : Réalisations des défauts de transformateur :**

Maintenant changez les deux paramètres de déclenchement à la valeur 32,5 % et placez la charge résistive de sorte qu'un courant d'approximativement. 1A du côté primaire du transformateur.

Examinez la réponse du relais pour différents défauts, qui peuvent être reliés au côté secondaire du transformateur:

Schéma et montage :

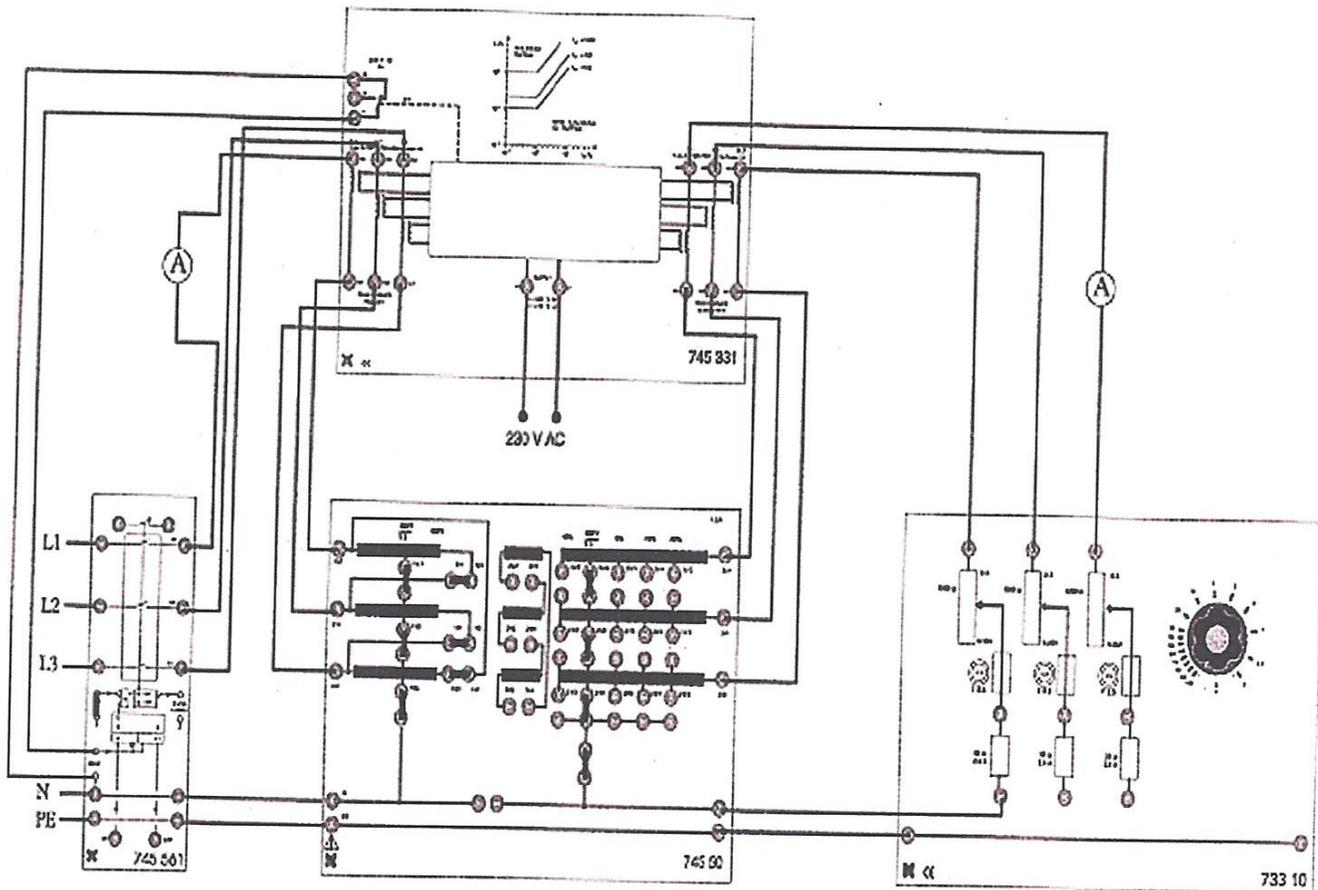


schéma.( V-4): protection différentielle de transformateur par relais

Ajustez les deux paramètres de déclenchement sur les 32,5 % de valeur et placez la charge résistive de sorte qu'un courant d'approximativement. I écoulements du côté primaire.

1<sup>er</sup> court-circuit entre deux phases, par exemple en reliant les bornes 2U1 - 2V1 :

**Résultat :**

Le relais se déclenche immédiatement et protège ainsi le transformateur. En raison de la réaction passagère il y a des asymétries graves en chacune des trois phases pendant une brève période causant chacun des trois LED à s'allument.

2<sup>ème</sup> defaults de la Terre, par exemple en reliant la borne 2U1 N (point neutre latéral secondaire) :

**Résultat :**

Ici trop le relais accomplit sa fonction et voyages protecteurs instantanément. Si le default de la Terre se produit, par exemple entre les bornes 2UI - N, puis la LED L1 et L2 s'allument.

3<sup>ème</sup> Le transformateur de mesure échoue, par exemple en reliant les bornes 4S1 - 4S2:

**Résultat :**

Les voyages de relais. Comme dans le cas du défaut deux de la terre LED s'allument L'échec d'un transformateur de mesure peut également être simulé du côté secondaire du transformateur, tandis qu'ici un court-circuit ou un défaut de la terre ne peut être exécuté, comme autrement système d'alimentation de laboratoire serait sévèrement surchargé faisant probablement souffler les fusibles dans l'alimentation d'énergie triphasée, même avant les voyages protecteurs de relais!

**Tableau des valeurs de fin de manipulation :**

$R_{PH1}(\Omega)$	$R_{PH2}(\Omega)$	$U_C(V)$	$U_s(V)$	$I_p(A)$	$I_s(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$I_r(A)$
254	219	380	220	1	0.86	32.5	32.5	0.325

# CONCLUSION

Pour une efficacité des systèmes électriques, une étude préalable sur les systèmes de protection est plus que nécessaire. Cet étude est l'objet de notre travail qu'on a abordé dans les chapitres suivants :

- Généralité sur la protection des systèmes électriques et le régime de neutre.
- Analyse de la protection différentielle d'un transformateur.

La protection différentielle de transformateur protégé contre le court circuit entre enroulements qui correspond a des courts circuits de type biphasé et triphasé.

La partie expérimentale de notre travail consiste à réaliser la protection différentielle d'un transformateur triphasé par la provocation de court-circuit.

Le travail réalisé nous a permet de comprendre et maitriser la protection des transformateurs qui sera utile dans le milieu industriel.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Principes de science et de fonctionnement des réacteurs –  
Electricité
- [2] Power System s Second edition -T. Davies c Eng, FIEE
- [3] Guide de la protection des équipements électriques LG hewitson  
Dunod 2007
- [4] mise à la terre du neutre dans un réseau industriel haute tension,  
Cahier Technique n<sup>o</sup> 62, F Sautriau
- [5] Protection of Electrical Networks - Christophe Prévé – First  
published in Great Britain and the United States in 2006 by  
ISTE Ltd
- [6] Technique de l'ingénieur
- [7] Électricité Distribution Networks - 2nd Edition  
Juan M. Gers and Edward J. Holmes
- [8] Cahier Technique n<sup>o</sup> 155, Ch. Puret
- [9] La conception des réseaux industriels en HT, Cahier Technique  
n<sup>o</sup>169, G Thomasset
- [10] Les schémas des liaisons à la terre en BT (régime du neutre).  
Cahier Technique n<sup>o</sup> 172, B. Lacroix, R Calvas
- [11] Cahier Technique n<sup>o</sup>173, B. Lacroix, R. Calvas

- [12] Perturbations électriques dans les installations électriques BT et schémas des liaisons à la terre, Cahier Technique n° 177, R Calvas
- [13] Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usine, Lavoisier, 1985
- [14] Guide des protections des réseaux industriels, christophe prévé
- [15] Module 5 'Site : [www.icelec.com](http://www.icelec.com) E-mail [contact@icelec.com](mailto:contact@icelec.com)
- [16] <http://www.schneider-electric.com>
- [17] <http://www.sepamrelay.com>
- [18] Protection Différentielle Transformateur
- [19] Guide de la protection, guide 2003