

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

## Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

**Spécialité : ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE**

*Présenté par*  
**KARIM AKSOUM**  
**SOFIANE CHALLALI**

Thème

# Calcul des courants de court-circuits dans un réseau MT de 60kV

*Mémoire soutenu publiquement le 13 Juillet 2015 devant le jury composé de :*

**M HAMID SEDDIKI**

MCA, UMMTO, Président

**M TAHAR OTMANE CHERIF**

MCA, UMMTO, Rapporteur

**M BOUSSAD BOUKAIS**

MCB, UMMTO, Examineur

**M ALI BECHOUCHE**

MCB, UMMTO, Examineur

# Remerciements

Nous remercions notre bon dieu le tout puissant pour nous avoir éclairé la voie du succès et le courage d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier principalement notre promoteur Mr T.OTMANE CHERIF, pour ses conseils, sa disponibilité et l'aide qu'il nous a apporté durant ce travail.

Nos vifs remerciements aux membres de jury, qui nous feront l'honneur de juger ce travail, aux enseignants qui ont contribué à notre formation et toutes les personnes qui ont attribué de prêt ou de loin dans ce modeste travail.

# Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I : Généralité sur les courants de court-circuit

Introduction .....	3
I.1) Définition d'un défaut électrique .....	3
I.2) Origines des défauts.....	3
I.2.1 Défauts d'origine externe.....	3
I.2.2 Défauts d'origine interne .....	3
I.3) Différents types de défauts .....	4
I.3.1 Surintensité.....	4
I.3.2 Surtension.....	4
I.3.3 Le déséquilibre .....	4
I.4) Caractéristique de défaut .....	5
I.4.1 Leurs emplacements.....	5
I.4.2 Leurs durées .....	5
I.4.3 Leurs natures .....	6
I.4.3.1 Monophasés .....	6
I.4.3.2 Biphases .....	6
I.4.3.3 Triphasés .....	6
I.4.3.4 Biphases-terre .....	7
I.4.4 Par leur localisation.....	7
I.4.5 Par la nature de la connexion .....	7
I.4.5.1 Court-circuit franc.....	7
I.4.5.2 Court-circuit impédant .....	7
I.5) Conséquence de défaut .....	7
I.6) Paramètres influençant sur la valeur du courant de court-circuit.....	8
I.7) Définition de l'intensité du courant de court-circuit.....	9
I.7.1 Réseau monophasé.....	9
I.7.2 Réseau triphasé .....	9
Conclusion.....	9

## Chapitre II : Méthodes de calcul des courants de court-circuit

Introduction .....	10
II.1) Définition du courant de court circuit .....	10
II.2) Utilité de calcul du courant de court-circuit.....	11
II.3) Méthodes de calcul des courants de court-circuits.....	11
II.3.1 Méthodes des composantes symétriques.....	11
II.4) Méthode des valeurs réduites pour le Calcul du courant de court-circuit.....	18
II.4.1 Réactance des éléments du réseau.....	19
II.5) Calcul du courant de défaut dans les réseaux MT.....	22
II.5.1 Défaut monophasés .....	22
II.5.2 Défaut biphasé.....	24
II.5.3 Défaut biphasé-terre .....	25
II.5.4 Défaut triphasé.....	27
Conclusion.....	28

## Chapitre III : Protection d'un réseau électrique

Introduction .....	30
III.1) Système de protection .....	30
III.2) Qualités fondamentales d'une protection électrique .....	30
III.2.1 Rapidité .....	30
III.2.2 Sureté.....	30
III.2.3 Sécurité.....	30
III.2.4 Fiabilité.....	30
III.2.5 Sélectivité .....	30
III.2.6 Sensibilité .....	30
III.2.7 Disponibilité .....	30
III.3) Les appareils de protection .....	31
III.3.1 Les disjoncteurs .....	31
III.3.1.1 Différents types de disjoncteurs .....	31
III.3.2 Les sectionneurs .....	34
III.3.2.1 Type de sectionneurs .....	34
III.3.3 Les parafoudres .....	35
III.3.3.1 Différents types de parafoudres.....	35
III.3.4 Les éclateurs .....	36
III.3.5 Les interrupteurs.....	36
III.3.5.1 Définition des interrupteurs.....	36
III.3.6 Relais de protection .....	37
III.3.6.1 Définition .....	37
III.3.6.2 Désignation d'un relais.....	37
III.3.6.3 Différents types des relais .....	37
III.4) Choix du régime du neutre.....	38
III.4.1 Neutre mis directement à la terre .....	39
III.4.2 Neutre mis à la terre par une résistance.....	39
III.4.3 Neutre mis à la terre par une réactance faible .....	40
III.4.4 Neutre mis à la terre par une réactance de compensation .....	40
III.5) La sélectivité des protections .....	41
III.5.1 Définition .....	41
III.5.2 Différents types de sélectivité .....	41
III.5.2.1 Sélectivité totale .....	41
III.5.2.2 Sélectivité partielle.....	41
III.5.2.3 Sélectivité ampèremétrique .....	42
III.5.2.4 Sélectivité chronométrique.....	42
III.5.2.5 Sélectivité logique .....	43
III.6) Protection d'un réseau HTA .....	43
III.6.1 Protection des transformateurs .....	43
III.6.2 Protection des jeux de barres.....	44
III.6.2.1 Principe de protection à maximum de courant.....	44
III.6.2.2 Principe de protection à maximum de tension .....	45
III.6.2.3 Principe de protection à minimum de tension .....	45
III.6.3 Protection d'un départ HTA .....	45
III.6.3.1 Protection contre les défauts entre phases.....	46
III.6.3.2 Protection contre les défauts entre phases et terre.....	47
Conclusion.....	47

## **Chapitre IV : Application sur un réseau MT d'Ouled Fayet B.Aknoun**

Introduction .....	48
IV.1) Calcul de courant triphasé sur le jeu de barres 60kv de Ben Aknoun .....	49
IV.2) Calcul de courant monophasé sur le jeu de barres 60kv Ben Aknoun .....	50
IV.3) Calcul des participations en homopolaire d'Ouled. Fayet et Ben Aknoun.....	51
IV.4) Calcul des tensions de chacune des phases au lieu du défaut.....	52
IV.5) Calcul des tensions de chacune des phases sur le jeu barres d'Ouled. Fayet .....	54
Conclusion.....	76
Conclusion générale .....	77

### **Introduction générale :**

L'industrialisation et la croissance de la population dans le monde ont obligent tous les pays à suivre une politique de mise à niveau pour améliorer leurs positions mondiale. Pour arriver à ce stade, les premiers pas ont été faits dans le domaine de l'énergie et surtout celui de l'énergie électrique.

Les améliorations techniques apportées aux matériels et aux installations étaient énormément liées à la sécurité des réseaux électriques et celle du personnel.

Dans ce cadre, la plupart des études et des recherches ont été basé sur le perfectionnement des moyens de protection contre les dangers et les problèmes survenant sur les réseaux électriques. En particulier celui des courts circuits à cause de leurs dégradation qu'ils causes sur les différentes parties des installations électriques.

En partant de l'idée que, pour résoudre un problème, il faut d'abord le définir et connaître toutes ces causes et ces conséquences. Il est donc important de s'intéresser aux problèmes de court- circuit dans le réseau électrique.

Pour donner plus de crédibilité à notre travail, nous avons pris comme modèle d'application le réseau d'Ouled Fayet avec un poste de source de 60 kV (réseau moyen tension) alimentant le jeu de barres de 60 kV de BEN AKNOUN.

Ce travail porte autour de l'étude et calcul des courants de court-circuits dans un réseau MT.

Le premier chapitre, est consacré à l'étude théorique sur les généralités des courants de court -circuit, Ces différentes formes ainsi que les causes qui les provoquent, sont souvent dangereuses et influent sur la qualité de l'énergie électrique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des différentes méthodes de calcul de courants courts- circuits.

## Introduction générale

---

Le troisième chapitre, consiste à la représentation des moyens de protection d'un réseau électrique.

Au quatrième chapitre, nous avons traité une application sur un réseau M.T ou on à calculé les courants de court-circuits monophasés et triphasés sur deux points.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale résumant notre travail.

## **Introduction**

Les réseaux de distribution d'énergie peuvent être le siège d'un certains nombres d'incidents qui sont dus, en général à l'apparition de défauts. Ces défauts sont les court-circuits ou les surtensions.

Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre et la détermination des protections des personnes et des biens nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau.

### **I.1) Définition d'un défaut électrique**

On appelle un défaut, toute perturbation qui engendre une modification de la valeur de courant et de la tension par rapport à une valeur nominale (dépassement de seuil). Un contact involontaire entre deux conducteurs, par exemple provoque une augmentation de l'intensité électrique et peut mettre en péril l'ensemble du circuit électrique en provoquer des incendies ou des accidents. Dans certains cas, un défaut peut conduire à l'effondrement électrique du réseau et la mise en danger de son environnement. [1]

### **I.2) Origines des défauts**

Il existe de nombreux incidents qui affectent le fonctionnement d'un réseau électrique et peuvent avoir pour origine : [2]

#### **I.2.1. Défauts d'origine externe**

Ceux sont des événements indépendants du réseau, dont l'origine est :

1-Mécanique : rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne, et l'amorçage dû aux contacts de branches, de brindilles ou même d'oiseaux avec les conducteurs.

2- Atmosphérique : qui est le cas de la foudre qui s'abat sur une ligne aérienne ou sur un poste. On peut aussi inclure les amorçages qui résultent de dépôts conducteurs accumulés sur les isolateurs et les travaux de terrassement de terrains qui entraînent systématiquement des défauts permanents sur les câbles souterrains. [2]

#### **I.2.2. Défauts d'origine interne**

Ceux sont des phénomènes propres au réseau car ils prennent naissance à l'intérieur même du réseau sans être justifiés par aucune autre cause extérieure. On peut citer, le cas des surtensions dus à des phénomènes de résonance, les

surintensités qui peuvent être produites par un courant de surcharge, un court-circuit ou un défaut d'isolement et l'ouverture d'un circuit électrique en charge. [2]

### **I.3) Différents types de défauts**

Les différents types de défauts qu'on rencontre sont les surintensités, surtensions et les déséquilibres. [2]

#### **I.3.1. Surintensité**

L'origine des surintensités sont les surcharges et les court-circuits.

**1-Surcharges :** elles peuvent se produire de deux façons

- **Surcharges normales :** Elles se produisent en particulier lors de la mise sous tension des transformateurs et des appareils électriques divers.

- **Surcharges anormales :** Elles se produisent lorsque les appareils installés sont trop puissants pour la ligne d'alimentation ou le travail demandé aux machines est exagéré d'où :

L'échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration des installations.

**2- Court-circuits :** Ils sont dus à un contact accidentel entre phases ou entre une phase et la terre, soit à un défaut d'isolement, soit à une fausse manœuvre. L'augmentation de l'intensité maximale peut être très élevée d'où les risques d'accidents.

#### **I.3.2. Surtensions**

On qualifie de surtension toute tension fonction du temps entre un conducteur de phase et la terre ou entre deux conducteurs de phase, dont la ou les valeurs des crêtes dépassent la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel. Les surtensions sont d'origine interne ou externe.

**1- Surtensions d'origine externe :** Elles sont produites par l'électricité atmosphérique dues à des coups de foudres directs sur une ligne, ou un pylône ou bien à des coups de foudres indirectes (électrostatique, électromagnétique).

**2- Surtensions d'origine interne :** Toute perturbation dans un circuit provoquée par induction d'une variation rapide et momentanée de la tension. Par exemple ouverture et fermeture d'un circuit ou claquage d'un isolant.

#### **I.3.3. Le déséquilibre**

On parle de déséquilibre dans un système triphasé lorsque les trois tensions de ce dernier ne sont pas égales en amplitudes et / ou ne sont pas déphasés les unes

par rapport aux autres de  $120^\circ$ . Le déséquilibre est causé par le courant de court-circuit, la rupture de phase ou un mauvais fonctionnement du disjoncteur.

Les conséquences de déséquilibre sont :

- Echauffement des conducteurs ; Vibration des moteurs. [1]

#### **I.4) Caractéristiques des défauts**

Les défauts affectant les réseaux à moyenne tension peuvent être classés suivant leur emplacement dans le réseau, leurs durées et la difficulté de leur élimination.

[2]

##### **I.4.1. Leurs emplacements**

On peut distinguer :

- Les défauts qui affectent, en aval des disjoncteurs protégeant les départs MT, les réseaux proprement dits, c'est-à-dire les lignes aériennes et les câbles isolés, qui constituent les antennes principales et les dérivation, ainsi que la partie MT des postes MT/BT
- Les défauts qui affectent la partie MT des poste HT/MT, en amont de ces disjoncteurs. [1]

##### **I.4.2. Leurs durées**

Il y a plusieurs sortes de défauts selon la durée de la mise hors tension de la partie défectueuse qui dépend de la valeur atteinte de la tension et celle de l'intensité du courant, alors les défauts sont dits :

- **Permanents** : Après avoir provoqué un déclenchement définitif, nécessitant l'intervention du personnel d'exploitation pour la reprise du service. Ces défauts résultent des défauts qu'on peut constaté en réseau tels que rupture de conducteur, claquage d'isolateurs, ...

- **Semi-permanents** : Ils exigent, pour disparaître, une ou plusieurs coupures relativement longues du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dizaines de secondes), mais qui ne nécessitent aucune intervention du personnel d'exploitation pour la reprise de service.

- **Fugitifs** : Ils nécessitent, pour disparaître, une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de secondes).

- **Auto extincteurs** : Ils disparaissent spontanément, en des temps très court sans provoquer de déclenchement sur le réseau. On rencontre ce type de défauts sur le réseau MT en cas de défaut monophasé.

**-Intermittents** : Ils se répètent à des temps proches et ils s'éliminent d'eux mêmes (cas de balancement d'un conducteur sous l'effet d'un vent violent). [1]

#### I.4.3.Par leurs natures :

On distingue quatre types de court-circuits d'après l'ordre de fréquence

##### I.4.3.1.Monophasés :

Une phase et le neutre ou la terre sont reliés ensemble, (80% des cas). (Fig.1).

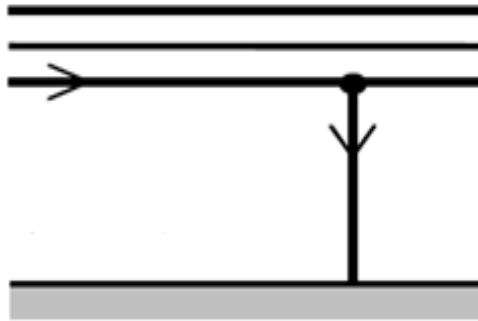


Fig.1 : Défaut monophasé

##### I.4.3.2.Biphasés :

Où deux phases sont raccordées ensemble, (15% des cas). (Fig.2)

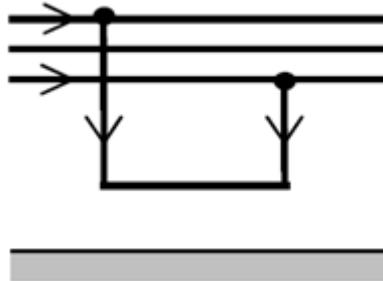


Fig.2 : Défaut biphasé

##### I.4.3.3.Triphasés :

Où les trois phases sont reliées ensemble, (5% des cas). (Fig.3)

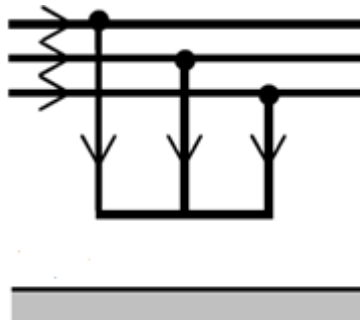


Fig.3 : Défaut triphasé

**I.4.3.4. Biphases-terre :**

Ou deux phases et la terre sont reliées ensemble. (Fig.4)

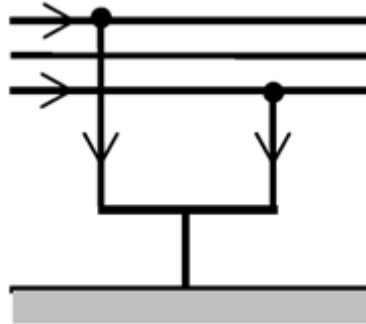


Fig.4 : Défaut biphase-terre

**I.4.4.Par leur localisation :**

Interne ou externe à une machine, sur une ligne aérienne ou souterraine.

**I.4.5. Par la nature de la connexion :****I.4.5.1. Court-circuit franc :**

Lorsque deux points mis en court-circuit se touchent directement.

**I.4.5.2. Court circuit impédant :**

Lorsque les deux points mis en court-circuit sont reliés par un milieu impédant (un arbre par exemple).

**I.5) Conséquence de défaut**

Pendant le court-circuit, l'admittance de la branche en court-circuit augmente. L'importance de la diminution de l'impédance est en fonction de la position du point de court circuit dans le réseau. Le problème majeur dû court-circuit, c'est qu'il engendre une augmentation importante du courant dans quelque branches du réseau.les défauts peuvent avoir plusieurs conséquences :

1-Destruction provoquées par les arcs qui arrivent à détruire les chaines d'isolations, fondre le cuivre et le plomb en présence du claquage d'un câble souterrain.

2-Echauffement dû à la présence des courants de court-circuits consécutifs. Ces courants provoquent des échauffements importants, en particulier dans les câbles souterrains ou les échanges calorifiques avec l'extérieur assez limités.

3-Chutes de tension est la conséquence immédiate des courants de courts-circuits qui provoquent des brusques variations de tension, non seulement sur la ligne court-circuitée, mais aussi sur les lignes adjacentes.

4-Présence d'efforts électrodynamiques : Si le matériel supporte le passage des courants de court-circuit très intenses, il sera soumis à des efforts électrodynamiques importants.

5-Explosions des disjoncteurs provoquées par l'importante valeur des courants de court-circuit : Le fort courant peut provoquer l'explosion des disjoncteurs particulièrement si ces derniers sont anciens et sont placés dans les réseaux MT et alimentés par les transformateurs HTA/HTB de puissances élevées.

6-Pertes de stabilité des groupes générateurs et des fonctionnements hors synchronisme préjudiciable aux matériels dues au court-circuit (s'ils ne sont pas éliminés rapidement), surtout lorsqu'ils sont polyphasés et proche des centrales, entraînant une diminution du couple résistant des machines et donc une rupture de l'équilibre de celui-ci et le couple moteur.

7-Dégradation des circuits de télécommunications : La présence d'un court-circuit dissymétrique entre une ou deux phases d'une ligne d'énergie et la terre entraîne la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par les points neutre du réseau. Une tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant, apparaît sur les lignes de télécommunications qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie. Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunication.

8-Risque pour la sécurité des personnes, lors de la mise sous tension accidentelle des masses, les élévations de potentiel liées à l'écoulement des courants de défaut à la terre, les conducteurs tombés au sol,...etc. [3]

### **I.6) Paramètres influençant sur la valeur du courant de court- circuit :**

L'importance de l'intensité du courant de court-circuit se traduit par le fait qu'elle détermine la sévérité de la contrainte appliquée au matériel en défaut.

La valeur de cette intensité en un point d'un réseau quelconque dépend de plusieurs facteurs à savoir :

- La nature des éléments qui constituent le réseau : Alternateur, transformateur, ligne, câble.
- La structure topologique du réseau, (radial, bouclé, maillé).
- Le mode d'exploitation du réseau : Neutre isolé ou neutre relié à la terre ;
- La résistance du défaut.
- Le type du défaut : Triphasé, biphasé et monophasé.[3]

**I.7) Définition de l'intensité du courant de court circuit :**

**I.7.1. Réseau monophasé :** l'intensité  $I$  d'un courant de court-circuit se définit principalement par l'application de la loi d'ohm.

$$I = \frac{V}{Z} \quad V : \text{Tension simple de la source}$$

$Z$  : Impédance totale du circuit, celle du défaut inclus.

**I.7.2. Réseau triphasé :** L'intensité d'un courant de court-circuit dans un réseau triphasé équilibré se définit par phase à partir de la tension simple du réseau et de l'impédance correspondante par phase. Par contre dans les réseaux triphasés déséquilibrés, le calcul de courant de court-circuit nécessite le recours aux composantes symétriques. [3]

**Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre, la définition du courant de défaut avec ces différents types, ces caractéristiques et les paramètres influençant sur ce courant avec leurs conséquences.

## Introduction :

Lors d'un court-circuit, il y a interruption de l'écoulement d'énergie vers les clients, interruption qu'il faut rendre la plus courte possible. Pour pouvoir interrompre le défaut de court-circuit, il faut dans un premier temps le détecter, et l'isoler dans un second temps. Dans les deux cas nous avons besoin de calculer les courants de court-circuits ( $I_{cc}$ ) pour pouvoir déterminer le pouvoir de coupure des appareils de protections (disjoncteurs, fusibles) ainsi que les réglages des protections. La sélectivité (longitudinale et transversale) dépend aussi de la valeur des courants de court-circuit le long des réseaux.

L'exploitant est donc appelé à déterminer et à prendre en considération les valeurs des courants de court-circuits dans son réseau de manière à fixer les limites de ses protections et de ses appareillages. En effet, l'exploitant doit connaître la valeur des courants de manière à prévoir des protections qui les détectent et qui les éliminent ainsi que les valeurs des courants de court-circuits les plus élevés pour pouvoir dimensionner le pouvoir de coupure et de fermeture des appareillages de coupure (disjoncteurs, fusibles).

Tout défaut d'isolement apparaissant sur un élément du réseau ou raccordé à celui-ci, doit être détecté et éliminé par le plan de protection coordonné afin de préserver la sécurité des personnes et l'intégrité des matériels électriques.

### II.1) Définition du courant de court circuit :

Lors de l'apparition d'un court-circuit, et du fait de la nature inductive du réseau, la valeur et la fréquence industrielle ne s'établissent pas immédiatement (figure 5). Le courant peut approximativement être considéré comme la somme de deux termes.

- Composante transitoire aperiodique qui décroît rapidement.
- Composante sinusoïdale  $f=50\text{Hz}$  correspond au régime établi.

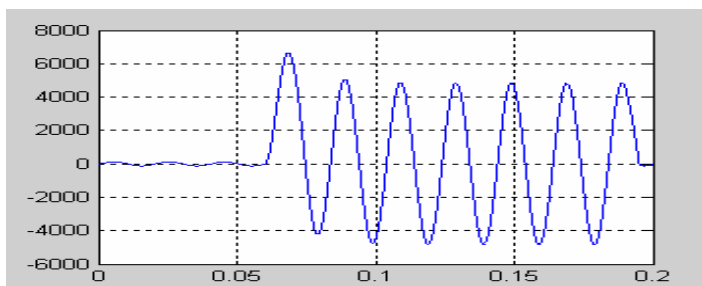


Figure 5 : forme générale du courant de court-circuit

## II.2) Utilité de calcul du courant de court-circuit :

Il est impératif de connaître la valeur du courant de court-circuit  $I_{cc}$  à tous les endroits d'une installation, où l'on veut placer un dispositif de protection (fusible ou disjoncteur) chargé d'interrompre ce court-circuit. Il faut en effet, s'assurer que le pouvoir de coupure du fusible ou du disjoncteur est bien supérieur au courant de court-circuit à cet endroit.

L'incapacité d'un fusible ou d'un disjoncteur d'interrompre un courant de court-circuit peut conduire à des résultats catastrophiques. En effet, deux valeurs du courant de court-circuit doivent être déterminées :

- Sa valeur maximale, quand le court-circuit se produit aux bornes même de l'organe de protection, et dans le cas le plus défavorable (défaut triphasé)
- Sa valeur minimale, quand le court-circuit se produit à l'extrémité de la liaison protégée, c'est-à-dire à l'entrée du prochain organe de protection, et dans le cas le plus favorable (défaut biphasé).

La valeur maximale définit :

- Le pouvoir de coupure nécessaire du fusible ou du disjoncteur chargé de la protection à cet endroit ;
- Le pouvoir de fermeture nécessaire de ce même disjoncteur (en cas de fermeture sur un court-circuit) ;
- La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage électrique.

La valeur minimale définit le choix de la courbe de déclenchement du disjoncteur ou du fusible, assurant la sélectivité des déclenchements. [2]

## II.3) Méthodes de calcul des courants de court-circuits :

### II.3.1 Méthodes des composantes symétriques :

En fonctionnement normal, les réseaux triphasés constituent des ensembles équilibrés. Mais dans le cas où ils sont le siège de défauts, cet équilibre fait place à une dissymétrie importante. [5]

#### 1-Définition des Composantes Symétriques :

Un système triphasé sinusoïdal équilibré est formé par trois grandeurs Sinusoïdales ayant même amplitude et même pulsation, mais présentant deux à deux un déphasage de  $120^\circ$  (ou égal à un multiple de  $120^\circ$ ). Voir figure (6).

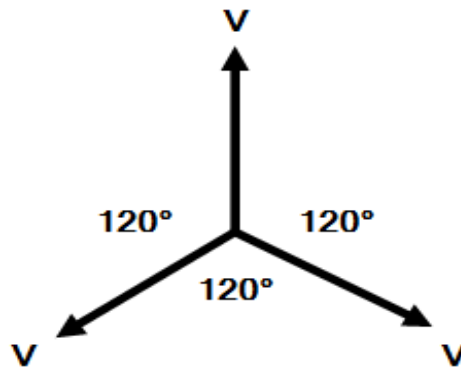


Fig. (6) : Système Triphasé

A partir des trois vecteurs  $V$ , on va chercher à déterminer le nombre de systèmes triphasés équilibrés distincts qu'il est possible de réaliser. Un élément essentiel de la discrimination réside dans le sens du déphasage des vecteurs  $V$  ; ce sens peut être en effet, le sens horaire ou le sens inverse. Pour plus de commodité, numérotions les trois vecteurs ;  $\vec{V}_1$ ,  $\vec{V}_2$ , et  $\vec{V}_3$

Si les numéros croissent dans le sens horaire, chacune des grandeurs possède un déphasage arrière de  $120^\circ$  par rapport à celle qui la précède, et ceci dans l'ordre de numérotation : le système est direct. Voir figure (7).

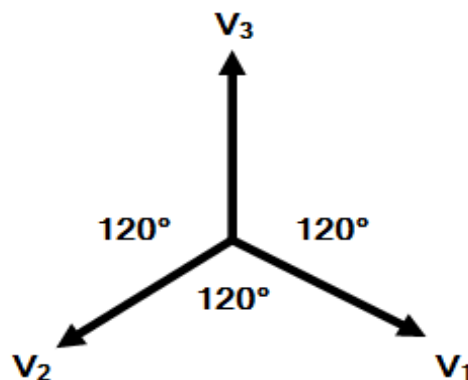


Fig. (7) : système direct

Si les numéros décroissent dans le sens horaire, chacune des grandeurs possède un déphasage avant de  $120^\circ$  par rapport à celle qui la précède, et ceci dans l'ordre de numérotation : Le système est inverse. Voir figure (8).

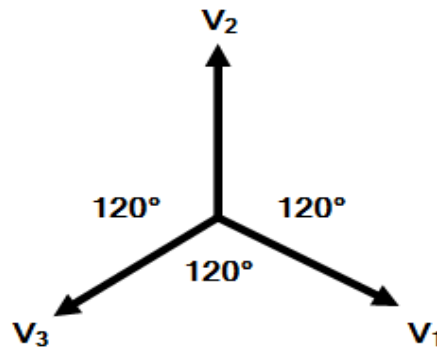


Fig. (8) : système inverse

Si les trois vecteurs sont confondus, les grandeurs constituant le système sont en phase : le système est homopolaire. Voir figure (9).

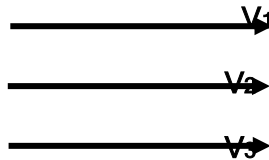


Fig. (9) : système homopolaire

Les trois systèmes définis précédemment, ont reçu le nom de composantes symétriques car ce sont les éléments les plus simples auxquels on peut ramener à un système triphasé déséquilibré quelconque.

**Remarque :** Les systèmes direct et inverse ne diffèrent que par la numérotation des grandeurs qui les constituent.

## 2- Définition et propriété de l'opérateur " a " $a = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ ( $\varphi=120^\circ$ )

Le principe de la méthode des composantes symétriques consiste à ramener un système de trois vecteurs quelconques à trois systèmes de vecteurs symétriques. Pour faciliter cette opération, on fait appel à un nouvel opérateur appelé " a ".

Un vecteur V affecté de l'opérateur " a " est un vecteur aV qui est déphasé de  $120^\circ$  en avant par rapport au vecteur V, le sens de déphasage étant le sens trigonométrique ou antihoraires.

Un vecteur V affecté de l'expression  $a^2$  est un vecteur  $a^2V$  qui est déphasé de  $240^\circ$  en avant par rapport au vecteur V, le sens de déphasage étant le sens trigonométrique ou antihoraire.

La figure (10) explique la disposition des vecteurs affectés de l'opérateur " a "

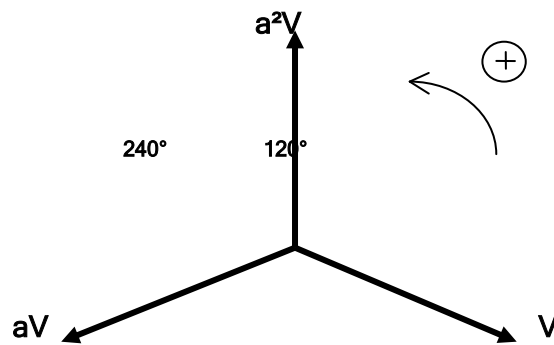


Fig. (10) : Disposition des vecteurs affectés de l'opérateur « a »

Un déphasage avant ou arrière de  $360^\circ$  fait coïncider le vecteur  $a^3V$  avec le vecteur  $V$ , ce qui permet d'écrire :

$$a^3V = V \iff a^3 = 1$$

$$a^0 = a^3 = a = 1 \quad \vec{V}$$

Si on fait l'addition, on constate que :

$$\vec{V} + a\vec{V} + a^2\vec{V} = 0 \quad \text{avec} \quad \vec{V} \neq 0$$

$$1 + a + a^2 = 0 \quad \text{" a " est appelé " Opérateur de Rotation Triphasé " .}$$

### 3. Décomposition d'un système de vecteurs en ses composantes symétriques

Soit un système triphasé quelconque formé de trois vecteurs  $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$ . Par définition, le vecteur de chaque phase est la somme de trois vecteurs appartenant chacun à l'un des trois systèmes direct, inverse et homopolaire. Voir figure (11).

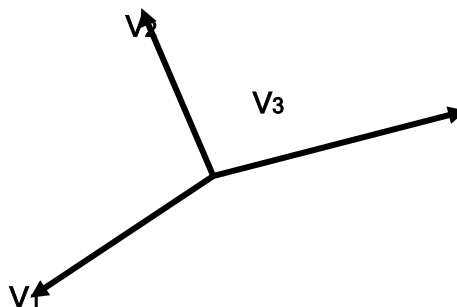


Fig. (11) : Système du vecteur

Vd1, Vd2, Vd3 sont les vecteurs constituant le système direct.

V i1, V i2, V i3 sont les vecteurs constituant le système inverse.

V01, V02, V03 sont les vecteurs constituant le système homopolaire.

On peut écrire :

$$V_1 = V_{d1} + V_{i1} + V_{01} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_2 = V_{d2} + V_{i2} + V_{02} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_3 = V_{d3} + V_{i3} + V_{03} \dots\dots\dots (3)$$

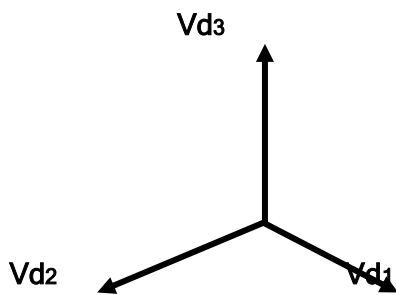


Fig. (12) système direct

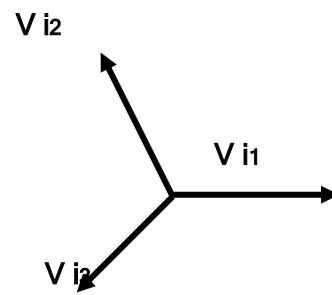


Fig. (13) système inverse

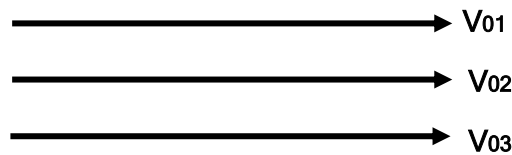


Fig. (14) Système Homopolaire

Vd1, Vi1 et V01 sont choisis comme vecteurs origines, c'est à dire que :

$$V_{d1} = V_d$$

$$V_{i1} = V_i$$

$$V_{01} = V_0$$

On peut écrire :

$$V_{d2} = a^2 V_d \qquad V_{i2} = a V_i \qquad V_{02} = V_{03} = V_0$$

$$V_{d3} = a V_d \qquad V_{i3} = a^2 V_i$$

Les expressions des vecteurs V1, V2 et V3 deviennent alors :

$$V1 = Vd + Vi + V0 \dots\dots\dots(4)$$

$$V2 = a^2Vd + aVi + V0\dots\dots\dots(5)$$

$$V3 = aVd + a^2Vi + V0\dots\dots\dots(6)$$

$$V1 + V2 + V3 = Vd \underbrace{(1 + a^2 + a)}_0 + Vi \underbrace{(1 + a + a^2)}_0 + 3V0$$

Ce qui permet d'écrire :

$$V0 = \frac{1}{3} (V1 + V2 + V3)$$

Si on multiplie (5) par a et (6) par a<sup>2</sup>, on obtient :

$$V1 = Vd + Vi + V0$$

$$aV2 = a^3Vd + a^2Vi + aV0 = Vd + a^2Vi + aV0$$

$$a^2V3 = a^3Vd + a^4Vi + a^2V0 = Vd + aVi + a^2V0$$

$$V1 + aV2 + a^2V3 = 3Vd + Vi \underbrace{(1 + a^2 + a)}_0 + V0 \underbrace{(1 + a + a^2)}_0$$

Ce qui permet d'écrire :

$$Vd = \frac{1}{3} (V1 + aV2 + a^2V3)$$

Si on multiplie (5) par a<sup>2</sup> et (6) par a, on obtient :

$$V1 = Vd + Vi + V0$$

$$a^2V2 = a^4Vd + a^3Vi + a^2V0 = aVd + Vi + a^2V0$$

$$aV3 = a^2Vd + a^3Vi + aV0 = a^2Vd + Vi + aV0$$

$$V1 + a^2V2 + aV3 = Vd \underbrace{(1 + a + a^2)}_0 + 3Vi + V0 \underbrace{(1 + a^2 + a)}_0$$

Ce qui permet d'écrire :

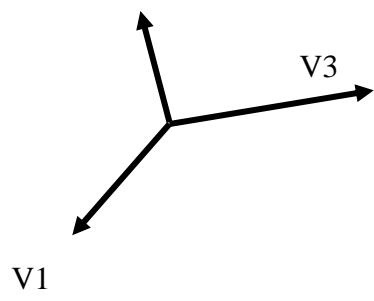
$$V_i = \frac{1}{3} (V_1 + a^2V_2 + aV_3)$$

**4- Constructions des composantes symétriques :**

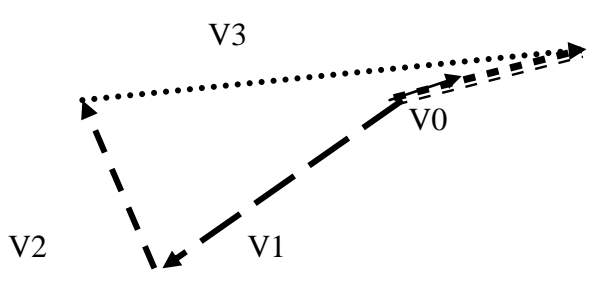
Soit un système triphasé quelconque formé de trois vecteurs  $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$ . Par définition, le vecteur de chaque phase est la somme de trois vecteurs appartenant chacun à l'un des trois systèmes direct, inverse et homopolaire.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_0 = \frac{1}{3} (V_1 + V_2 + V_3) \dots\dots\dots (7) \\ V_d = \frac{1}{3} (V_1 + aV_2 + a^2V_3) \dots\dots\dots (8) \\ V_i = \frac{1}{3} (V_1 + a^2V_2 + aV_3) \dots\dots\dots (9) \end{array} \right.$$

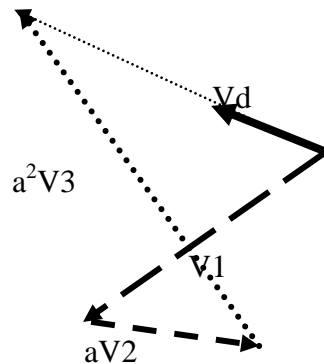
Soit le système donné :



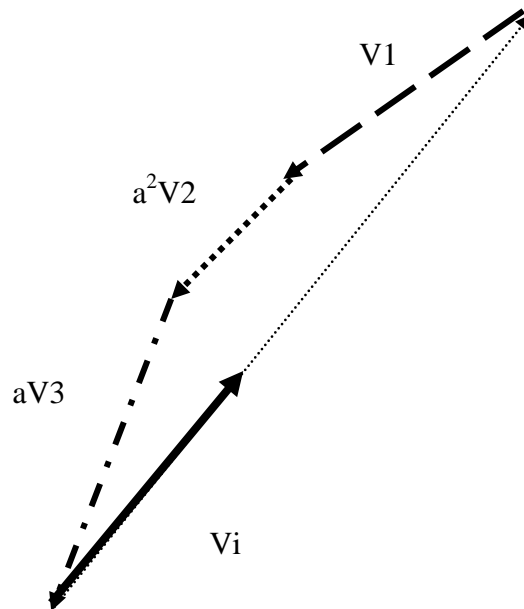
**a-Composante Homopolaire (V0)**



**b- Composante Directe (Vd)**



**c- Composante Inverse (Vi)**



**II.4) Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de court-circuit**

**Définition :**

La valeur réduite d'une grandeur physique donnée est le rapport de cette dernière par une autre grandeur physique de même nature, qui a été choisi arbitrairement comme référence est appelée « grandeur de base ». [2]

On choisi généralement comme grandeur de base  $S_b$  et  $U_b$  et on déduit alors :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \text{ et } Z_b = X_b = \frac{U_b^2}{S_b} \quad , \quad (R_b=0) \dots \dots \dots (10)$$

Les grandeurs réduites des différents éléments du réseau sont alors :

$$\bar{S} = \frac{S}{S_b}, \quad \bar{U} = \frac{U}{U_b}, \quad \bar{I} = \frac{I}{I_b}, \quad \bar{X} = \frac{X}{X_b} \dots\dots\dots(11)$$

• **Changement de base :**

Comme toutes les impédances doivent s'exprimer par rapport à une même impédance de base, il est nécessaire de trouver un moyen de passer d'un système de base à un autre.

$$Z_2^* = Z_1^* \left(\frac{U_{b1}}{U_{b2}}\right)^2 \left(\frac{S_{b2}}{S_{b1}}\right) \dots\dots\dots(12)$$

$U_{b1}, S_{b1}$  : Tension et puissance respectives dans l'ancienne base

$U_{b2}, S_{b2}$  : Tension et puissance respectives dans la nouvelle base

**II.4.1) Réactance des éléments du réseau**

**1) Impédance ramenée à un seul niveau de tension  $U_x$**

Pour calculer le courant de court-circuit à un endroit bien déterminé du réseau, il est indispensable de ramener toutes les impédances à une certaine tension de référence  $U_x$  pour pouvoir utiliser les notions d'impédances séries et parallèles.

Pour cela on utilise :  $\bar{U} = U\left(\frac{U_x}{U}\right), \bar{Z} = Z\left(\frac{U_x}{U}\right), \bar{I} = I\left(\frac{U_x}{U}\right) \dots\dots\dots(13)$

$\bar{U}, \bar{Z}, \bar{I}$  Valeurs ramenées à  $U_x$

**2) Réactance réduite des éléments constituant le réseau**

➤ **Composante direct et inverse :**

- **Ligne :**

$$\bar{X} = X \cdot L \frac{S_b}{U_b^2} \dots\dots\dots(14)$$

avec :

X : réactance de la ligne ;

L : longueur de la ligne ;

$S_b$  et  $U_b$  : Puissance et tension de base.

- **Alternateur :**

$$X = X''_d \frac{S_b}{S_n} \frac{U_n^2}{U_b^2} \dots\dots\dots(15)$$

Avec  $X''_d$  : Réactance subtransitoire.

- **Transformateur à deux enroulements :**

$$\overline{X_T} = U_{cc}^{12} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_n^2}{U_b^2} \dots\dots\dots(16)$$

$U_{cc}$  : tension de court-circuit du transformateur ;  
 $S_n, U_n$  : Puissance et tension nominale.

- **Transformateur à trois enroulements :**

Le calcul ce fait en deux étapes :

• **Première étape :**

$$\overline{X_{12}} = U_{cc}^{12} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2} \dots\dots\dots(17)$$

$\overline{X_{12}}$  : Réactance relative entre l'enroulement 1 et 2 du transformateur

$U_{cc}^{12}$  : Tension de court-circuit entre l'enroulement 1 et 2 du transformateur

$U_{1n}$  : Tension entre l'enroulement 1 et le neutre du transformateur

$$\overline{X_{23}} = U_{cc}^{23} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2} \dots\dots\dots(18)$$

$\overline{X_{23}}$  : Réactance relative entre l'enroulement 2 et 3 du transformateur

$U_{cc}^{23}$  : Tension de court-circuit entre l'enroulement 2 et 3 du transformateur

$U_{1n}$  : Tension entre l'enroulement 1 et le neutre du transformateur

$$\overline{X_{31}} = U_{cc}^{31} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2} \dots\dots\dots(19)$$

$\overline{X_{31}}$  : Réactance relative entre l'enroulement 3 et 1 du transformateur

$U_{cc}^{31}$  : Tension de court-circuit entre l'enroulement 3 et 1 du transformateur

$U_{1n}$  : Tension entre l'enroulement 1 et le neutre du transformateur

• **Deuxième étape :**

$$\overline{X_1} = \frac{1}{2} (\overline{X_{12}} + \overline{X_{31}} - \overline{X_{23}}) \dots\dots\dots(20)$$

$$\overline{X_2} = \frac{1}{2} (\overline{X_{12}} + \overline{X_{32}} - \overline{X_{31}}) \dots\dots\dots(21)$$

$$\overline{X_3} = \frac{1}{2} (\overline{X_{31}} + \overline{X_{23}} - \overline{X_{12}}) \dots\dots\dots(22)$$

**Remarque :** Toutes les réactances sont ramenées au primaire.

- **Réseaux amont :**

$$\overline{X}_a = \frac{U^2}{P_{cc}} \cdot \frac{1}{X_b} \dots\dots\dots (23)$$

$P_{cc}$  : Puissance de court-circuit ;

$U$  : tension entre phase.

➤ **Composantes Homopolaire :**

On utilise les valeurs pratiques, à savoir :

- **Ligne :**

$$\overline{X}_0 = 3 \cdot \overline{X}_d \dots\dots\dots (24)$$

- **Transformateur :**

$$\overline{X}_0 = \overline{X}_d \quad \left(\frac{Y}{Y}\right) \text{ Flux libre} \dots\dots\dots (25)$$

$$\overline{X}_0 = 10\overline{X}_d \quad \left(\frac{Y}{Y}\right) \text{ Flux forcé} \dots\dots\dots (26)$$

$$\overline{X}_0 = \overline{X}_d \dots\dots\dots (27)$$

**Méthodes de calcul :**

- On établit le schéma équivalent au réseau en utilisant les réactances des différents éléments ;
- On ramène toutes les réactances à la tension au point de défaut ;
- On simplifie le schéma :
- En appliquant les transformations  $\Delta$ -Y et Y- $\Delta$  ;
- En associant les réactances série parallèle.

Le courant de court-circuit correspondant est égale à :

$$\overline{I}_{cc} = \frac{\overline{U}}{\sqrt{3} \overline{X}_0} \dots\dots\dots (28)$$

Généralement, on prend  $\overline{U} = 1.1 \overline{U}_n$  du fait que la tension du court-circuit peut être supérieure à la tension nominale.

II.5) Calcul du courant de défaut dans les réseaux MT :

II.5.1 Défauts monophasés :

Plus de 80 % des défauts qui affectant les réseaux MT sont monophasés, il est donc important de chercher les mesures les plus efficaces pour les éliminer et ainsi maintenir la continuité de service. [2]

- Défaut monophasé-terre

Ce défaut est constitué par un court-circuit entre une phase et la terre. Il fait intervenir Les trois systèmes de composantes : direct, inverse et homopolaire. [6]

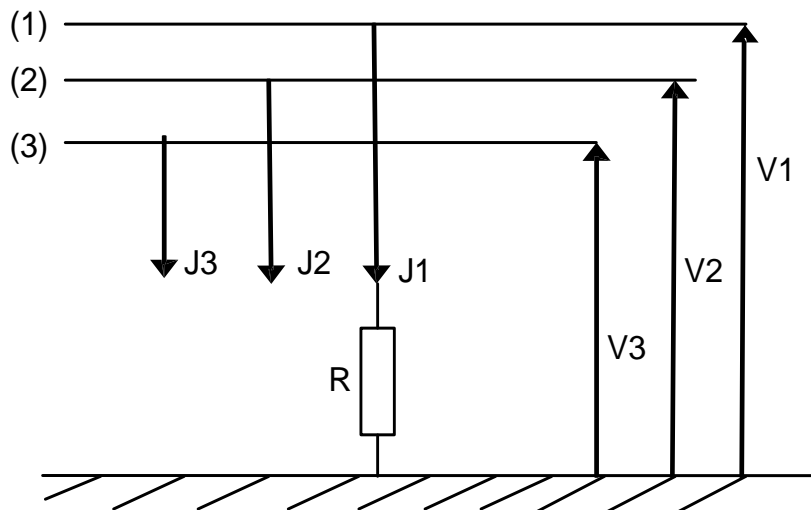


Fig. (15): court-circuit monophasé-terre [2]

Equation de courant de défaut :

$$\bar{V}_1 = R\bar{J}_1 \dots\dots\dots (29)$$

$$\bar{J}_2 = \bar{J}_3 = 0 \dots\dots\dots (30)$$

$$(2) \Rightarrow \bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 \Rightarrow \bar{J}_1 = 3\bar{J}_d = 3\bar{J}_i = 3\bar{J}_0$$

$$(1) \Rightarrow \bar{V}_1 = 3R\bar{J}_d = 3R\bar{J}_i = 3R\bar{J}_0$$

$$\bar{J}_d = \bar{J}_i = \bar{J}_0 = \frac{\bar{V}_0 + \bar{V}_i + \bar{V}_d}{3R} \dots\dots\dots (31)$$

D'autre part on a :

$$\bar{V}_0 = -\bar{J}_0 \bar{Z}_0 \Rightarrow \bar{J}_0 = \frac{-\bar{V}_0}{\bar{Z}_0} \dots\dots\dots(32)$$

$$\bar{V}_i = -\bar{J}_i \bar{Z}_i \Rightarrow \bar{J}_i = \frac{-\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} = \bar{J}_0 \dots\dots\dots(33)$$

$$\bar{V}_n = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d \Rightarrow \bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n - \bar{V}_d}{\bar{Z}_d} = \bar{J}_0 \dots\dots\dots(34)$$

En superposant les équations 31, 32, 33 et 34 on trouve le courant défaut à la terre

$$\bar{J}_0 = \frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \dots\dots\dots(35)$$

En remplaçant les valeurs de  $J_0$  dans les équations 32, 33 et 34 on obtiendra les expressions des composantes symétriques de tension :

$$\bar{V}_0 = \frac{-\bar{Z}_0 \cdot \bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \dots\dots\dots(36)$$

$$\bar{V}_i = \frac{-\bar{Z}_i \cdot \bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \dots\dots\dots(37)$$

$$\bar{V}_d = \frac{\bar{V}_n (\bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R)}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \dots\dots\dots(38)$$

Le courant des Courts-circuits est tel que :

$$\bar{I}_{cc/ph} = \bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 = 3\bar{J}_0 = \frac{3\bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \dots\dots\dots(39)$$

Pour les défauts résistants à la terre, 3R est prépondérant devant les autres impédances

$$\bar{I}_{cc/ph} = \frac{\bar{V}_n}{\bar{R}}$$

Pour un courant de court-circuit franc à la terre (R=0)

$$I_{cc/ph} = J_1 = J_d + J_i + J_0 = 3\bar{J}_0 = \frac{3\bar{V}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \dots\dots\dots(40)$$

**II.5.2 Défaut biphasé :**

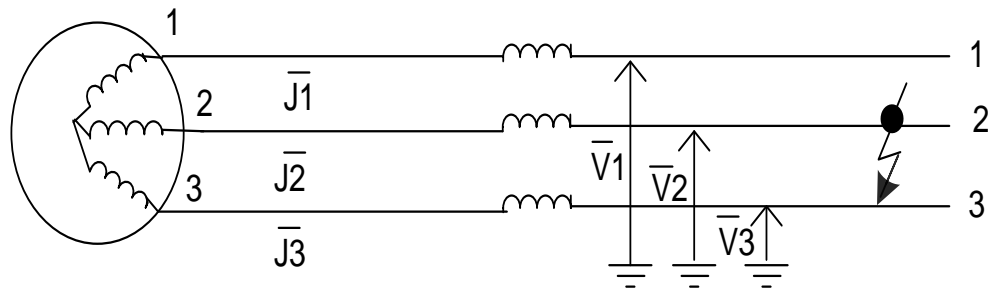


Fig. (16) Défaut biphasé [2]

$$\bar{J}_1 = 0 \dots\dots\dots(41)$$

$$\bar{J}_2 = \bar{J}_3 \dots\dots\dots(42)$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 \dots\dots\dots(43)$$

Des équations (41) et (42), on tire :

$$\bar{J}_0 = 0 \text{ et } \bar{J}_d = -\bar{J}_i$$

De l'équation (43), on aura :

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i$$

$$\bar{J}_d = -\bar{J}_i = \frac{\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} \dots\dots\dots(44)$$

Et  $\bar{V}_0 = \bar{J}_0 \bar{Z}_0 \Rightarrow \bar{V}_0 = 0$

De (44)  $\bar{V}_i = -\bar{Z}_i \bar{J}_i = \bar{V}_d$

Donc on peut écrire :

$$\bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d = \bar{Z}_i \bar{J}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d = \bar{Z}_d (\bar{Z}_d + \bar{Z}_i) \dots\dots\dots(45)$$

D'où  $\bar{J}_{cc2\phi} = \frac{\bar{E} (a^2 - a)}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$  Avec  $a^2 - a = \sqrt{3}$  .....(46)

$$\bar{J}_{cc2\phi} = \frac{\bar{E} \sqrt{3}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \dots\dots\dots(47)$$

**II.5.3 Défaut biphasé-terre :**

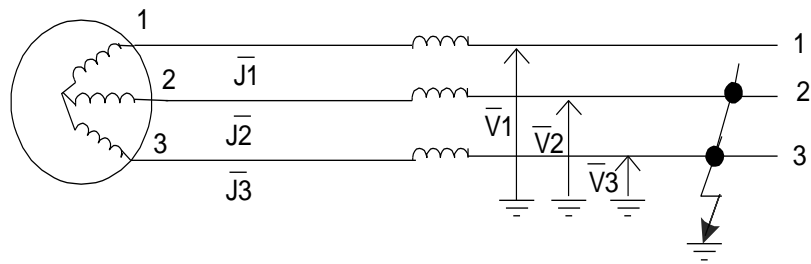


Fig. (17) Défauts biphasé-terre [2]

$$\bar{J}_1 = 0 \dots\dots\dots(48)$$

$$\bar{J}_2 + \bar{J}_3 = \bar{J} \dots\dots\dots(49)$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0 \dots\dots\dots(50)$$

De l'équation (50), on déduit :

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0 = \frac{1}{3} \bar{V}_n$$

D'autre part, on a :

$$\bar{V}_d = \bar{V}_n - \bar{Z}_d \bar{J}_d \Rightarrow \bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n - \bar{V}_d}{\bar{Z}_d} \dots\dots\dots(51)$$

$$\bar{V}_i = -\bar{Z}_i \bar{J}_i \Rightarrow \bar{J}_i = -\frac{\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} \dots\dots\dots(52)$$

$$\bar{V}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{J}_0 \Rightarrow \bar{J}_0 = -\frac{\bar{V}_0}{\bar{Z}_0} \dots\dots\dots(53)$$

De l'équation (48), on peut écrire :

$$\bar{J}_i = 0 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 \dots\dots\dots(54)$$

On remplaçant  $\bar{J}_0$ ,  $\bar{J}_i$  et  $\bar{J}_d$  par leurs expressions dans l'équation (54), on aura :

$$\frac{\bar{V}_n - \bar{V}_d}{\bar{Z}_d} - \frac{\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} - \frac{\bar{V}_0}{\bar{Z}_0} = 0 \dots\dots\dots(55)$$

Comme :  $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0 = \frac{1}{3} \bar{V}_n$  , alors on aura :

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0 = \bar{V}_n = \frac{3(\bar{Z}_0 \bar{Z}_i \bar{V}_n)}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \dots\dots\dots(56)$$

En remplaçant l'équation (56) dans les équations (51), (52) et (53), on obtiendra les expressions des composantes symétriques des courants :

$$\bar{J}_0 = \frac{-\bar{Z}_i \bar{V}_n}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d}$$

$$\bar{J}_i = \frac{-\bar{Z}_0 \bar{V}_n}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d}$$

$$\bar{J}_d = \frac{(\bar{Z}_0 + \bar{Z}_i) \bar{V}_n}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d}$$

Alors :

$$\bar{J}_2 = \frac{\bar{Z}_i(a^2 - 1) + \bar{Z}_0(a^2 - a)}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \bar{V}_n$$

$$\bar{J}_3 = \frac{\bar{Z}_i(a - 1) + \bar{Z}_0(a - a^2)}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \bar{V}_n$$

L'expression du courant de court-circuit biphasé-terre, sera donner par :

$$\bar{J} = \bar{J}_2 + \bar{J}_3 \Rightarrow \bar{I}_{cc2phT} = \frac{-3 \bar{Z}_i}{\bar{Z}_i \bar{Z}_0 + \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 \bar{Z}_d} \bar{V}_n = 3\bar{J}_0$$

II.5.4 Défaut triphasé :

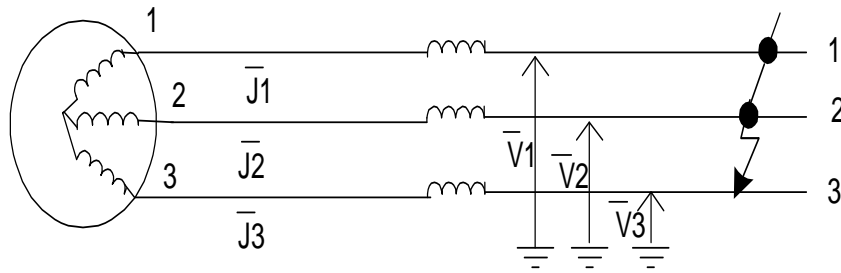


Fig. (18) Défaut triphasé [2]

Equations du défaut :

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 \dots\dots\dots(57)$$

$$\bar{J}_1 + \bar{J}_2 + \bar{J}_3 = 0 \dots\dots\dots(58)$$

$$\bar{V}_d = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + a \bar{V}_2 + a^2 \bar{V}_3) \Rightarrow \frac{1}{3} (1 + a + a^2) \bar{V}_1 = 0$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + a^2 \bar{V}_2 + a \bar{V}_3) \Rightarrow \frac{1}{3} (1 + a + a^2) \bar{V}_1 = 0$$

$$\bar{V}_0 = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) \Rightarrow \frac{1}{3} (1 + 1 + 1) \bar{V}_1 = \bar{V}_0$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = 0$$

$$\bar{V}_0 = \bar{V}_1$$

On a aussi :

$$\bar{J}_1 + \bar{J}_2 + \bar{J}_3 = 0 \Rightarrow (1 + a + a^2) \bar{J}_d + (1 + a + a^2) \bar{J}_i + 3 \bar{J}_0 = 0$$

$$\Rightarrow 3 \bar{J}_0 = 0 \Rightarrow \bar{J}_0 = 0$$

D'autre part on a :

$$\bar{V}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{J}_0 \Rightarrow \bar{V}_0 = 0$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0 = 0 \Rightarrow \bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$$

$$\bar{V}_n = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d \Rightarrow \bar{J}_d = \frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d}$$

Donc on aura :

$$\bar{I}_{cc3ph} = \frac{\bar{V}_n}{\bar{Z}_d}$$

**Conclusion :**

Nous concluons que l'étude mathématique des courants de court-circuit est très importante car elle nous renseigne sur l'ordre de grandeurs des différents types de court-circuit, ce qui permet de bien dimensionner les protections.

En effet, les courants de court-circuits sont des incidents qu'il faut éliminer dans un temps court pour limiter les conséquences et les effets néfastes sur le fonctionnement des réseaux, la tenue de matériel et surtout la sécurité des personnes.

## **Introduction :**

L'apparition et la propagation d'un défaut dans un réseau électrique engendre des effets néfastes sur ce dernier. Lorsqu'un défaut apparaît sur un réseau électrique, plusieurs organes de protection situés dans différentes zones du réseau peuvent détecter simultanément cette anomalie. Leur système sélectif vise à isoler tout le plus rapidement possible la partie du réseau affecté par le défaut et uniquement cette partie, en laissant sous tension les parties saines de ce réseau.

### **III.1) Système de protection**

La protection est un ensemble des dispositifs destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations.

### **III.2) Qualités fondamentales d'une protection électrique [11]**

Une protection électrique se doit de posséder les qualités suivantes :

**III.2.1 Rapidité :** La protection élimine rapidement le défaut. Le temps de déclenchement comprend celui de la protection elle-même, auquel vient s'ajouter le délai d'ouverture des disjoncteurs.

**III.2.2 Sureté :** La protection déclenchée lors d'un défaut, est mesurée en nombre de défaillances sur commande.

**III.2.3 Sécurité :** La protection ne se déclenche pas de manière intempestive.

**III.2.4 Fiabilité :** Elle combine les notions de sureté et de sécurité.

**III.2.5 Sélectivité :** Elle consiste à remettre hors tension que la partie du réseau concernée par un défaut et seulement celle-ci.

**III.2.6 Sensibilité :** La protection doit détecter tous les défauts, même les plus faibles.

**III.2.7 Disponibilité :** La protection doit toujours être en opération. Concrètement une bonne protection doit être conçue de sorte à parer à tout défaut électrique grâce à au moins deux

types de protections différentes (principe de redondance) : celle déclenchant en fonctionnement normal, on parle de déclenchement instantané, et celle déclenchant en cas de défaillance de la première, on parle de déclenchement temporisée et de protection de secours.

### **III.3) Les appareils de protection [7]**

Les principaux appareils de protection sont :

- Les disjoncteurs.
- Les sectionneurs.
- Les interrupteurs.
- Les parafoudres.
- Relais de protection.
- Les éclateurs.

#### **III.3.1 Les disjoncteurs [7]**

Un disjoncteur est un organe de protection qui est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège).

Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit, ou les conséquences de la foudre. De plus le disjoncteur ouvre un circuit automatiquement dès que le courant qui le traverse dépasse une valeur prédéterminée. Sa principale caractéristique lui permet de ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement.

##### **III.3.1.1 Différents types de disjoncteurs**

Les disjoncteurs les plus utilisés sont : Disjoncteurs à air comprimé, disjoncteurs à l'huile, disjoncteurs au SF<sub>6</sub>, disjoncteurs auto pneumatique et disjoncteurs auto soufflage. (Voir fig19 et 20)

**a- Disjoncteur à air comprimé**

**Figure (19)** disjoncteur à air comprimé. [9]

Le gaz contenu dans les disjoncteurs à air comprimé est maintenu sous haute pression (30 à 35 bar) à l'aide d'un compresseur. Cette haute pression permet d'assurer la tenue diélectrique et provoque le soufflage de l'arc pour la coupure.

Le soufflage intense exercé dans ces disjoncteurs à permis d'obtenir de très hautes performances (courant coupé jusqu'à 100 kA sous haute tension) et avec une durée d'élimination du défaut très courte permettant d'assurer une bonne stabilité des réseaux en cas de défaut.

Ils nécessitent un entretien périodique, en particulier de leurs compresseurs, ceci explique qu'ils ont été progressivement supplantés par une autre génération de disjoncteurs, celle des disjoncteurs à SF<sub>6</sub> (ou hexafluorure de soufre). A noter que la technique à air comprimé est la seule qui permet encore aujourd'hui d'atteindre les pouvoirs de coupure les plus élevés (275 KA sous 36 kV) qui sont exigés pour certaines applications (disjoncteurs de générateurs).

**b- Disjoncteur a l'huile****Figure (20):** Disjoncteur à l'huile [9]

La coupure dans l'huile s'est ensuite imposée en haute tension après avoir été utilisée en moyenne tension. Sous l'action de l'arc électrique, l'huile est décomposée, plusieurs types de gaz sont produits (essentiellement de l'hydrogène et de l'acétylène) lors de cette décomposition. L'énergie de l'arc est utilisée pour décomposer et évaporer l'huile, ceci permet de refroidir le milieu entre les contacts et par suite d'interrompre le courant.

Ce type de disjoncteurs est appliqué pour des tensions assignées atteignant 765 kV et des courants de défaut très élevés, pouvant atteindre 50kA mais ils nécessitent un entretien important et délicat (remplacement de l'huile usagée). Ils ont été supplantés par les disjoncteurs à SF<sub>6</sub> qui nécessitent peu de maintenance et ont une longue durée de vie.

**c- Disjoncteur au SF<sub>6</sub>**

Les très bonnes propriétés diélectriques du SF<sub>6</sub> ont entraîné l'extension de la technique SF<sub>6</sub>, et son utilisation pour le développement de disjoncteurs à fort pouvoir de coupure sous des tensions de plus en plus élevées allant jusqu'à 800 kV.

Le développement des réseaux haute tension et la nécessité de faire pénétrer ces réseaux à l'intérieur des agglomérations et des zones industrielles ont entraîné la conception de nouveaux types de postes à haute tension à encombrement réduit. Pour assurer leur isolement, l'air atmosphérique a été remplacé par du SF<sub>6</sub>, ce qui a permis de réduire fortement l'encombrement de l'appareillage à haute-tension.

### III.3.2 Les sectionneurs [7]

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, l'objectif est la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique, d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties.

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

#### III.3.2.1 Type de sectionneurs

##### a- Sectionneur basse tension

Cet appareil est souvent muni de fusibles, il est alors appelé sectionneurs porte-fusible. Certains sectionneurs comportent aussi des contacts de pré coupure permettant de couper la commande des organes de puissance afin d'éviter une manœuvre en charge.

##### b- Sectionneurs haute tension

La fonction principale d'un sectionneur haute tension est de pouvoir séparer un élément d'un réseau électrique (ligne à haute tension, transformateur, portion de poste électrique, ...) afin de permettre à un opérateur d'effectuer une opération de maintenance sur cet élément sans risque.

##### c- Sectionneur de mise à la terre

Les sectionneurs HTB et BT de forte puissance sont dotés de systèmes de mise à la terre. Il s'agit d'un organe de sécurité, dont le but est de fixer le potentiel d'une installation préalablement mise hors tension, pour permettre l'intervention humaine en toute sécurité sur une installation.

### III.3.3 Les parafoudres [12]

Un parafoudre est un dispositif de protection des appareillages électriques contre les surtensions électriques transitoires générées par exemple par la foudre ou certains défauts d'exploitation, à ne pas confondre avec le paratonnerre qui protège contre les coups directs de la foudre. (Voir fig.21).

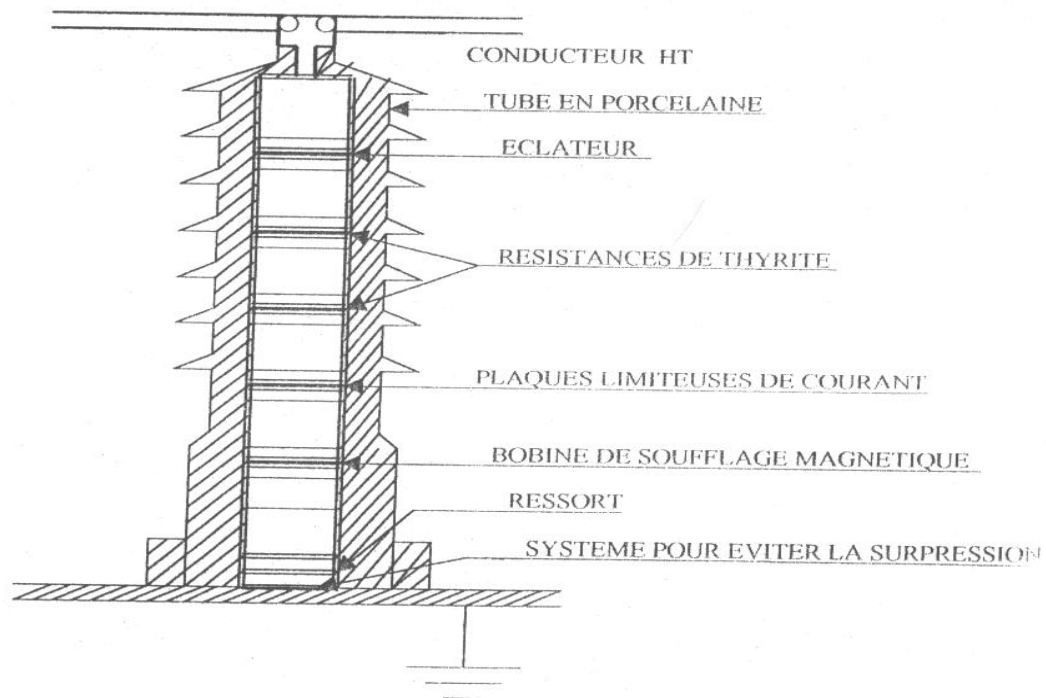


Figure 21 : vue en coupe d'un parafoudre [9]

#### III.3.3.1 Différents types de parafoudres

- a- **Parafoudre à exclusion** : Appareil comportant un ou plusieurs éclateurs et un dispositif d'extinction de l'arc par expulsion de gaz ionisé, d'où coupure du courant d'écoulement.
- b- **Parafoudre à résistance variable** : Appareil comportant un ou deux éclateurs et une résistance variable permettant de couper rapidement le courant d'écoulement à la terre.
- c- **Parafoudre à éclateur simple** : L'appareil comporte deux électrodes séparés par un certain intervalle d'air variable ; l'une des électrodes est reliée à la ligne, l'autre à la terre. Cet appareil est simple et bon marché mais l'arc ne s'éteint que pour de faibles valeurs du courant.

### III.3.4 Les éclateurs [12]

Ils sont composés de deux électrodes situées l'une face à l'autre dans un milieu qui peut être l'air ambiant (éclateurs à air), ou du gaz (éclateurs à gaz). Au-delà d'une certaine tension entre les électrodes, un amorçage se produit et le courant passe en formant un arc électrique. Les éclateurs permettent de dévier des courants de foudre importants. Les éclateurs sont utilisés en (HTB) et en (HTA), ils sont placés sur les points des réseaux particulièrement exposés à l'entrée des postes HTA/BT. On distingue plusieurs types d'éclateurs :

#### a- Éclateur à cornes

Ils sont constitués de deux électrodes reliés, l'une au conducteur et l'autre à la terre. Ces deux électrodes sont montées sur une chaîne d'isolateur rigide.

Les éclateurs utilisés en HTA comportent en général entre leurs électrodes une tige anti-oiseaux.

#### b- Eclateurs à tige

Les éclateurs à tige sont utilisés à l'intérieur des postes, sur les réseaux à neutre mis à la terre où le courant de défaut franc à la terre peut atteindre 300A.

### III.3.5 Les interrupteurs [10]

#### III.3.5.1 Définition des interrupteurs

Les interrupteurs sont des appareils destinés à ouvrir ou à fermer un circuit électrique, plus perfectionné que les sectionneurs. Ils possèdent un certain pouvoir de coupure ; en général, ils peuvent couper sous la tension nominale un courant d'une intensité égale à l'intensité nominale.

Le pouvoir de coupure peut être renforcé sur certains appareils. Par contre les sectionneurs-interrupteur, ont un pouvoir de coupure est presque nul.

Enfin, le pouvoir de fermeture est suffisant pour permettre la fermeture en charge des différents types des interrupteurs.

Les interrupteurs les plus utilisés sont :

- Interrupteur- sectionneur ;
- Interrupteur aérien à ouverture automatique dans les creux de tension (IACT) ;
- Interrupteur aérien à commande mécanique (IACM) ;

- Interrupteur aérien télécommandé à creux de tension (IATCT).

### III.3.6 Relais de protection [9]

#### III.3.6.1 Définition

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent une ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température, ...etc.) et le 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 la détection de tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le Court-circuit, la variation de tension...etc. Un relais de protection détecte l'existence de conditions anormales par la surveillance continue de l'état du réseau concerné, détermine quel est le disjoncteur qui doit s'ouvrir et lui alimente son circuit de déclenchement.

#### III.3.6.2 Désignation d'un relais

Un relais est désigné selon la grandeur surveillée (tension, courant, puissance, impédance,...)

- Relais à maximum de courant RMA.
- Relais à maximum ou minimum de tension RMV.
- Relais à minimum d'impédance RMZ.
- Relais directionnel de puissance RDW.
- Relais à minimum de réactance RMX.

#### III.3.6.3 Différents types des relais

On distingue plusieurs types de relais

##### a- Relais à induction magnétique

Un courant alimente les bobines fixes de l'électro-aimant, ce dernier produit des champs magnétiques, ceux-ci créent des courants induits qui font tourner le disque.

##### b- Relais à balance

C'est un relais dont l'équipage mobile est constitué par un flux de balance soumis à l'action de deux forces antagonistes.

**c- Relais thermique**

Il comporte un élément actif chauffé par le passage de l'intensité de courant absorbé par l'appareil à protéger. Cet élément est une lame bimétallique qui se déforme sous l'effet de l'augmentation de la température engendrée par la surintensité.

**d- Relais statique**

Il comporte des circuits intégrés linéaires au silicium composés de portes et circuit logiques, et plus récemment, ils comportent des mémoires et des microprocesseurs.

L'utilisation de ces composants a permis la mise au point des caractéristiques plus sophistiquées.

Les relais statiques remplacent de plus en plus les relais électromagnétiques pour les avantages suivant :

- Plus précis ;
- Plus sensible ;
- Plus rapide ;
- Longue durée de vie ;
- Faible consommation et moins encombrant.

Malgré tous ces avantages, les relais statique possèdent des manques tels que la limitation des fonctions.

**e- Relais numérique**

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible voltage. L'utilisation de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs, ce qui autorise un traitement de données via des algorithmes de protection en fonction de la protection désirée. En outre, ils sont équipés d'un écran d'affichage à cristaux liquides sur la face avant pour le fonctionnement local. []

**III.4) Choix du régime du neutre [8]**

Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important sur le plan de protection. Lors d'un défaut d'isolement ou de 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.

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

Entre ces deux extrêmes, d'autres solutions peuvent être mises en œuvre :

#### III.4.1 Neutre mis directement à la terre

Une liaison électrique d'impédance nulle est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre.

Le neutre étant mis à la terre sans impédance de limitation, le courant de défaut  $I_{k1}$  entre phase et terre est pratiquement un court-circuit phase neutre, donc de valeur élevée.

La coupure se fait au premier défaut d'isolement. (Fig.22)

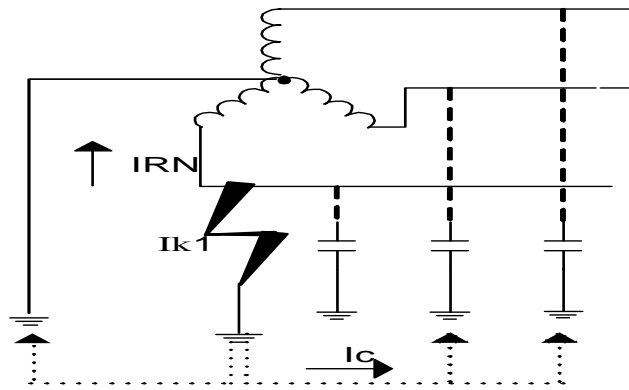


Figure 22 : Neutre mis directement à la terre [8]

#### III.4.2 Neutre mis à la terre par une résistance

Une résistance est connectée volontairement entre le point neutre et la terre. Voir figure 23

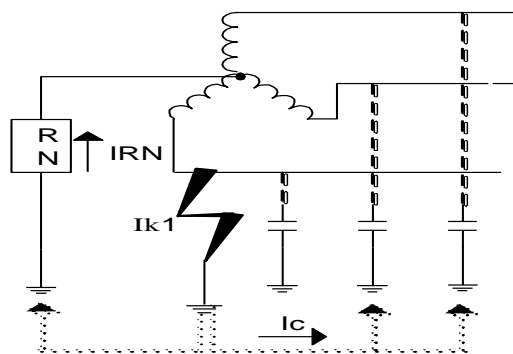


Figure 23 : Neutre mis à la terre par une résistance [8]

### III.4.3 Neutre mis à la terre par une réactance faible

Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre. Pour les réseaux de tension supérieure à 40kV, on préfère utiliser une réactance plutôt qu'une résistance pour des raisons de difficulté de réalisation dues au dégagement de chaleur en cas de défaut. Voir figure 24

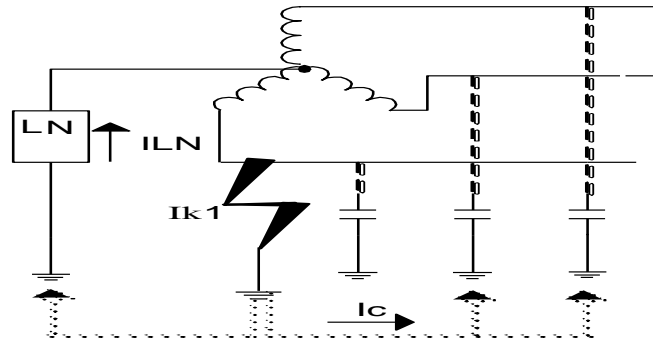


Figure 24 : Neutre mis à la terre par une réactance faible [8]

### III.4.4 Neutre mis à la terre par réactance de compensation

Une réactance raccordée sur la capacité phase-terre totale du réseau et intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est voisin de zéro. Voir figure 25

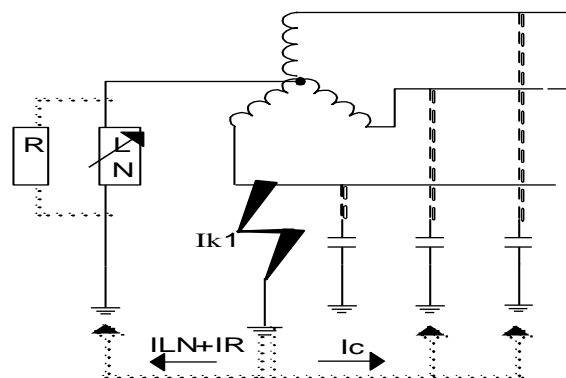


Figure 25: Neutre Mis à la terre par réactance de compensation [8]

## III.5) La sélectivité des protections [12]

### III.5.1 Définition

C'est la coordination des dispositifs de coupure automatique de telle sorte qu'un défaut, survenant en un point quelconque du réseau, soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut.

### III.5.2 Différents types de Sélectivité

#### III.5.2.1 Sélectivité totale

Pour toutes les valeurs du défaut, depuis la surcharge jusqu'au court-circuit franc, la distribution est totalement sélective. Si D2 s'ouvre D1 reste fermé. Voir figure 26

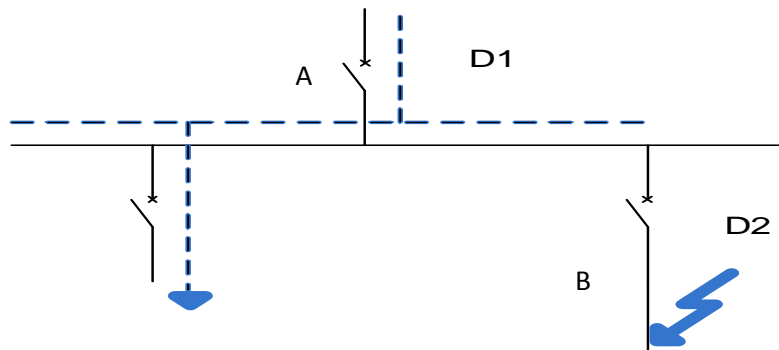


Figure 26 : Sélectivité des appareils [12]

#### III.5.2.2 Sélectivité partielle

La sélectivité est partielle si la condition ci-dessus n'est pas respectée jusqu'au plein courant de court-circuit, mais seulement jusqu'à une valeur inférieure. Cette valeur est appelée limite de sélectivité.

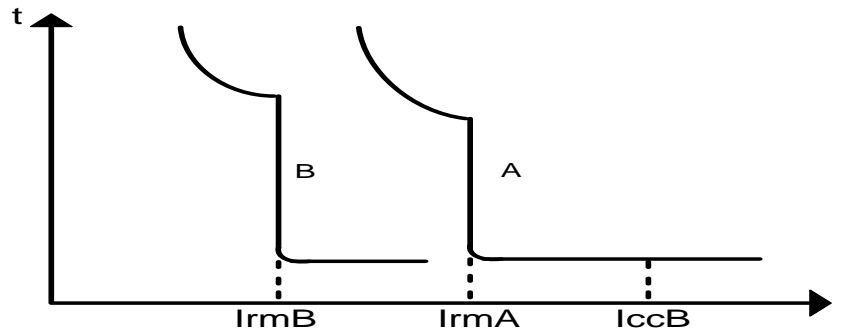
Dans l'éventualité d'un défaut, les disjoncteurs D1 et D2 s'ouvrent.

#### III.5.2.3 Sélectivité ampèremétrique

Elle est basée sur le fait que dans un réseau, le courant de défaut est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source.

Une protection ampèremétrique est disposée au départ de chaque tronçon. Son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de court-circuit minimal provoqué par un défaut sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut situé en aval (au-delà de la zone surveillée).

Elle repose sur le décalage en intensité des courbes figure 27

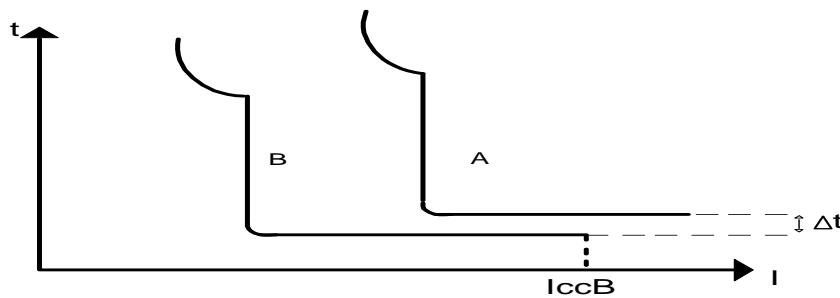


**Figure 27 :** Sélectivité ampèremétrique [12]

#### III.5.2.4 sélectivité chronométrique

Consiste à donner des temporisations différentes aux protections à maximum de courant le long du réseau. Ces temporisations sont d'autant plus longues que le relais est plus proche de la source.

Elle repose sur le décalage temporel des courbes comme le montre la figure 28



**Figure 28 :** sélectivité chronométrique [12]

#### III.5.2.5 Sélectivité logique

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

L'échange d'informations logiques entre protections successives permet la suppression des intervalles de sélectivité, et donc de réduire considérablement le retard de déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source.

Ce principe est souvent utilisé pour protéger des réseaux HTA comportant des antennes avec de nombreux étages de sélectivité. (Fig.29)

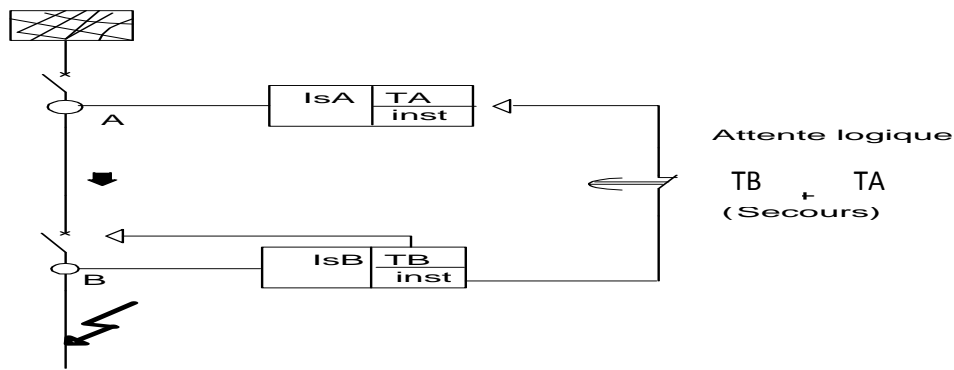


Figure 29 : Fonctionnement d'une Sélectivité logique. [12]

### III.6) Protection d'un réseau HTA [12]

Les réseaux moyenne tension s'étendent des postes sources (transformateurs HTB/HTA) jusqu'aux abonnés HTA ou BT en passant par des jeux de barres et des lignes aériennes ou souterraines.

La protection du réseau HTA consiste à la protection des différents équipements qui le constituent.

#### III.6.1 Protection des transformateurs [12]

Les transformateurs HTB/HTA sont généralement protégés par des protections à maximum de courant.

- **La première, côté HTB :** Est une protection à maximum de courant à deux seuils.
  - Le premier seuil temporisé.
  - Le deuxième seuil instantané pour les court-circuits sur le primaire du transformateur.
- **La deuxième, côté HTA :** Est une protection à un seuil contre les surcharges du transformateur, elle constitue aussi une protection de secours vis-à-vis des défauts polyphasés sur les lignes HTA.

Il est réglé à un courant très élevé de façon à ne pas être sensible aux court-circuits dans la tranche HTA.

#### III.6.2 Protection des jeux de barres [12]

Un jeu de barres est souvent le nœud essentiel dans un réseau de distribution, il est donc important de limiter les dégâts provoqués par un défaut à ce niveau pour permettre une réparation et une remise en service rapide.

Les principales causes de défauts sur un jeu de barres sont :

- Chute accidentelle de pièces métalliques entre barres et entre barres-masse.
- Contournement des isolateurs par un arc.

Les protections les plus simples et la plus économiques d'un jeu de barre consistent à placer :

- Des relais à maximum de courant
- Des relais à minimum de tension
- Des relais à maximum de tension

Cette solution est applicable pourvu que l'énergie s'écoule toujours dans le même sens et que l'on puisse distinguer sans ambiguïté les arrivées et les départs.

### **III.6.2.1 Principe de protection à maximum de courant**

Ce relais est branché aux phases par l'intermédiaire de trois transformateurs de courant (TC) un par phase. Ceux-ci assurent l'isolement de l'adaptation du courant au circuit de protection.

Le courant image (recueilli sur le TC) est redressé et transformé en tension par l'insertion d'une résistance. Donc, le détecteur aura trois entrées de tension qui vont l'alimenter.

Dès que la valeur crête d'un signal dépasse la référence, le détecteur, qui est aussi un comparateur, démarre la temporisation au terme de laquelle les ordres suivants seront exécutés :

- Alarme deuxième stade (signalisation et sonnerie en salle de commande).
- Signalisation vers l'EMS (enregistreur de manœuvres et de signalisation).
- Déclenchement du disjoncteur.

### **III.6.2.2 Principe de la protection à maximum de tension**

Le relais utilisé est à temps constant. Il est raccordé au jeu de barres par trois transformateurs de tension (monté au secondaire en série). La tension est redressée et comparée

à une valeur de référence. Si elle dépasse le seuil, le détecteur commande la temporisation au terme de laquelle il y'aura :

- Une alarme deuxième stade (signalisation et sonnerie en salle de commande).
- Signalisation vers EMS.

### **III.6.2.3 Principe de la protection à minimum de tension**

Une chute de tension faible n'est dangereuse que par l'échauffement provoqué par l'augmentation du courant qui en résulte. Les grandeurs d'entrées du relais sont prises à travers des transformateurs de tension.

Un circuit est chargé de détecter le minimum de tension. Il est suivi d'un détecteur qui bascule dès que la valeur crête la plus petite descend en dessous de la référence affichée et pendant un certain temps.

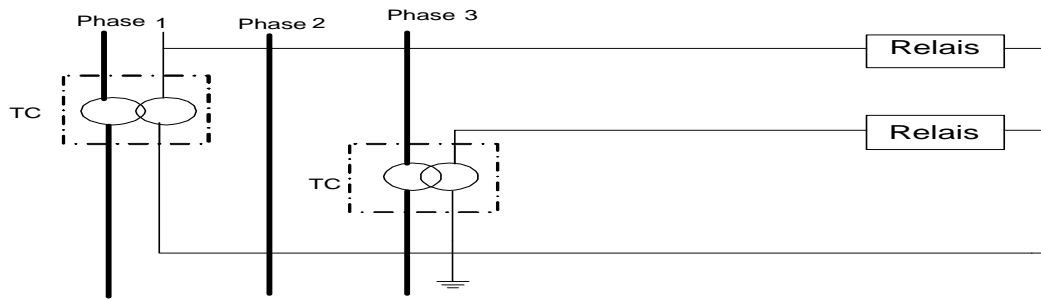
### **III.6.3 Protection d'un départ HTA [9]**

Les protections sont installées en tête des départs dans le poste HTB/HTA et dans les postes HTA/BT. Le système est réalisé par des TC sur les phases avec deux relais de phase et un relais homopolaire de départ pour les différents types de courant de court-circuit (entre phases ou entre phase et terre) et un relais de temps.

Ce système est destiné à mesurer toute surintensité originale d'un court-circuit dépassant le seuil de réglage et par conséquent transmettre l'ordre de déclenchement au disjoncteur.

#### **III.6.3.1 Protection contre les défauts entre phases [9]**

Cette protection s'effectue pour chaque départ HTA à l'aide de deux relais à maximum de courant à temps constant montés au secondaire de deux transformateurs de courant placés sur deux phases. La troisième phase se trouve protégée par ces deux relais car tout défaut polyphasé intéresse au moins deux phases. Voir figure 30



**Figure 30** : Schéma de protection contre les défauts entre phases [9]

#### a- Système de protection à un seul seuil [6]

Cette protection agit vis-à-vis des défauts polyphasés. Le réglage tient compte du cas le plus favorable entre le courant de court-circuit biphasé correspondant à la plus grande impédance du réseau et le courant qui définit la limite thermique du conducteur.

Le réglage doit répondre aux conditions suivantes :

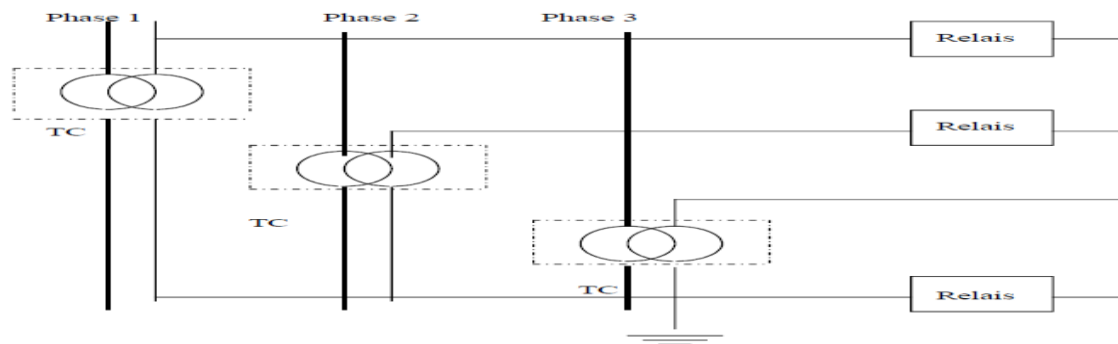
- Détecter les court-circuits polyphasés sur la ligne
- Eviter la limite thermique des conducteurs
- Eviter les déclanchements intempestifs
- Eviter le claquage des TC

#### b- Système de protection à deux seuils [6]

Ces protections sont à deux seuils d'intervention, le premier seuil joue le même rôle que celui à un seul seuil, le second seuil à maximum de courant devra éliminer rapidement les court-circuits d'un courant élevé (court-circuit franc au secondaire d'un transformateur).

### III.6.3.2 Protection contre les défauts entre phase et terre [6]

Elle s'effectue à l'aide d'un seul relais à maximum de courant homopolaire monté dans le circuit du neutre des trois TC comme le montre la figure 31



**Figure 31** : Protection contre les défauts entre phase et terre [9]

Le relais du courant homopolaire doit être réglé à une valeur qui dépend :

- Du courant résiduel  $I_0$  sur les départs sains en raison du retour d'une partie du courant du défaut à la terre à travers la capacité homopolaire du conducteur.
- Du courant résiduel  $I_n$  au secondaire des TC calculé en absence de tout défaut à la terre.

### **Conclusion :**

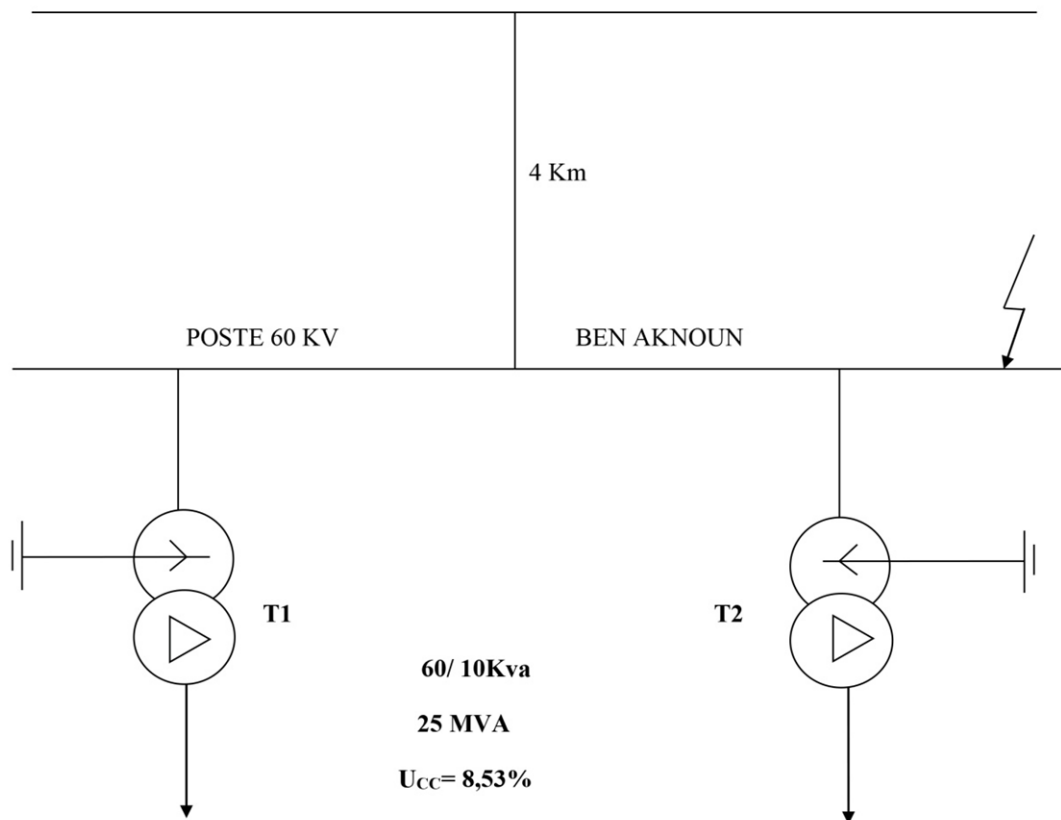
Dans ce chapitre, nous avons énuméré les différentes protections, comment concevoir et réaliser un système de protection capable d'éliminer les risques d'accidents et de limiter les dégâts dans les matériels, tout en maintenant la continuité de service dans les parties saines de l'installation et leurs principe de fonctionnement et comment les utiliser contre les différents défauts.

### Introduction:

Dans ce chapitre nous allons appliquer les méthodes de calcul de courant de court-circuit sur le réseau MT d'OULED FAYET pour bien paramétrer les appareils de protection.

Notre calcul est effectué sur le départ HTA de BEN AKNOUN issu de poste de source 60KV d'OULED FAYET. On va faire un calcul de courant de court-circuit présumé à l'extrémité du jeu barres MT.

#### POSTE SOURCE 60 KV d'Ouled. Fayet



**Figure 32** : partie du réseau d'Ouled Fayet

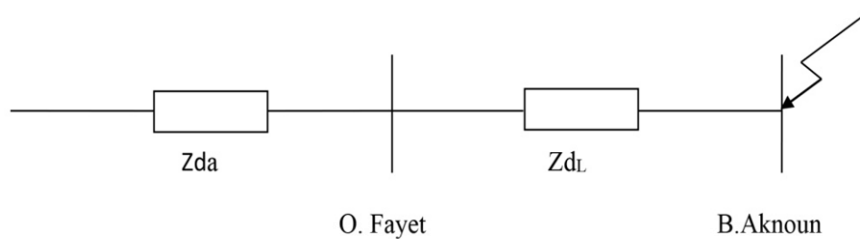
Le défaut est situé dans un poste en antenne comportant deux transformateurs en parallèle et couplés en Etoile –Triangle.

**Les Paramètres du réseau :**

- Puissance de Court-circuit Triphasée à Ouled Fayet :  $P_{cc} = 355 \text{ MVA}$
- Puissance de Court-circuit Monophasé à Ouled Fayet :  $P_{cc} = 266 \text{ MVA}$
- Longueur de la ligne Ouled Fayet –Ben Aknoun :  $l = 4 \text{ Km}$
- Puissance d'un transformateur 60 /10 kV : 25 MVA
- Tension de Court-circuit des transformateurs :  $U_{cc} (\%) = 8.53 \%$
- Réactance Kilométrique de la ligne :  $0,42\Omega /\text{Km}$
- Niveau de la tension : 60 kV

**On demande de calculer :**

- $J_{tri}$  sur le jeu de barres 60 kV de Ben Aknoun
- $J_{mono}$  sur le jeu de barres 60 kV de Ben Aknoun
- Les participations en homopolaires d'Ouled Fayet et Ben Aknoun
- Les tensions de chacune des phases au lieu de défaut
- Les tensions de chacune des phases sur le jeu de barres d'Ouled Fayet
- Faire le diagramme des courants et des tensions.

**IV.1) Calcul de  $j_{tri}$  sur le jeu de barres 60 kV de Ben Aknoun****a) Schéma direct :****Figure 33 :** schéma équivalent avec le court-circuit sur le jeu de barres**b) Calcul de l'impédance amont  $Z_{da}$  de O. Fayet**

$$Z_{da} = j U^2 / S_{CCtri} = 60^2 / 355 = j 10,14\Omega$$

**c) Calcul de l'impédance de la ligne O.Fayet-Ben.AKnoun**

$$Z_{dL} = j 0,42 \times 4 = j 1,68\Omega$$

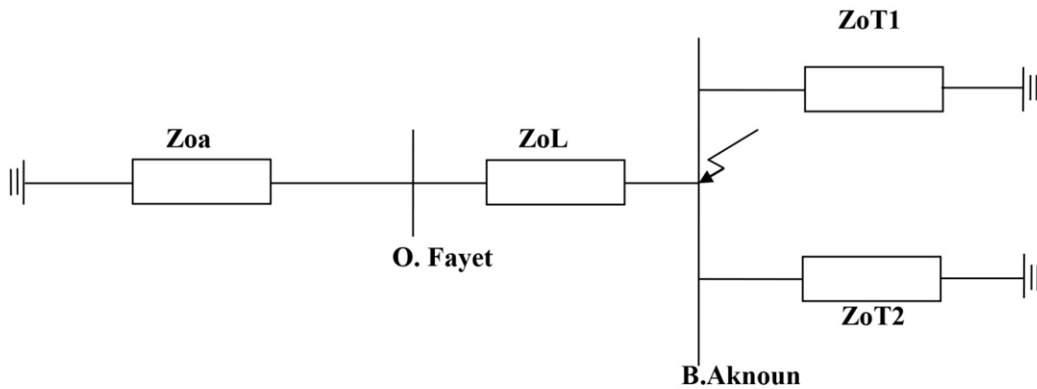
**d) Calcul de  $j_{tri}$** 

$$Z_d = Z_{da} + Z_{dL} = j 10,14 + j 1,68 = j 11,82\Omega$$

$$J_{tri} = E / Z_d = (60000 / \sqrt{3}) / 11,82 = 2930 \text{ A}$$

## IV.2) Calcul de $j_{\text{mono}}$ sur le jeu de barres 60 kV de Ben Aknoun

### a) Schéma homopolaire :



### b) Calcul de l'impédance homopolaire amont Zdoa de O.Fayet

$$P_{CC\text{mono}} = U \sqrt{3} J_{\text{mono}}$$

$$J_{\text{mono}} = 3E / (Z_d + Z_i + Z_o)$$

$$Z_d = Z_i \implies J_{\text{mono}} = 3E / (2Z_d + Z_o)$$

$$P_{CC\text{mono}} = U \sqrt{3} J_{\text{mono}} = U \sqrt{3} \times 3E / (2Z_d + Z_o)$$

$$\text{Or } E \sqrt{3} = U \implies P_{CC\text{mono}} = 3U^2 / (2Z_d + Z_o)$$

$$\text{D'où : } Z_o = (3U^2 / P_{CC\text{mono}}) - 2Z_d$$

$$Z_d = j [ (3U / P_{CC\text{mono}}) - 2Z_d ] = j [ (3 \times 60^2) / 266 - 2 \times 10,14 ] = j 20,32 \Omega$$

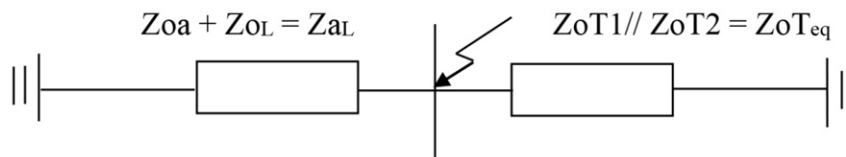
### b) Calcul de l'impédance homopolaire de la ligne

L'impédance homopolaire de la ligne aérienne équivaut toujours à trois fois son impédance directe.

$$Z_{oL} = 3 Z_{dL} = 3 \times j 1,68 = j 5,04 \Omega$$

**d) Calcul de l'impédance homopolaire des Transformateurs**

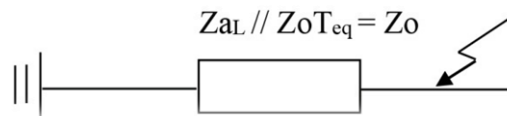
$$Z_{oT1} = Z_{oT2} = j (P / 100) \times (U_2 / S_n) = j (8,53 / 100) \times (602 / 25) = j 12,28\Omega$$

**e) Transformation du schéma**

B.Aknoun

$$Z_{aL} = Z_{oa} + Z_{oL} = j 20,32 + j 5,04 = j 25,38\Omega$$

$$Z_{oT_{eq}} = Z_{oT1} // Z_{oT2} = (j 12,28 \times j 12,28) / (j 12,28 \times j 12,28) = j 6,14\Omega$$

**Figure 34** : schéma équivalent de la composante homopolaire

$$Z_o = Z_{aL} // Z_{oT_{eq}} = (j 25,36 \times j 6,14) / (j 25,36 \times j 6,14) = j 4,94\Omega$$

**f) Calcul de  $J_{mono}$** 

$$J_{mono} = 3E / (2Z_d + Z_o) = (3 \times 60000 / \sqrt{3}) / (2 \times 11,82 + 4,94)$$

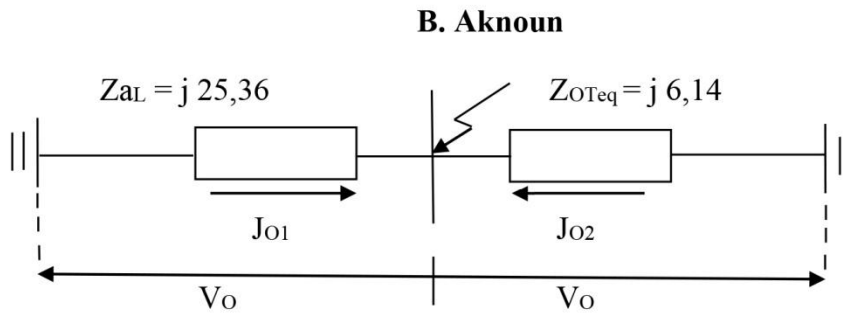
$$J_{mono} = 3636A$$

**IV.3) Calcul des participations en homopolaire de O.Fayet et B.Aknoun****a) Calcul du courant homopolaire total**

$$J_o = J_1 / 3 = 3636 / 3 = 1212A$$

**b) Calcul de la tension homopolaire au point de défaut**

$$V_o = - Z_o J_o = - 4,94 \times 1212 = - 5987V$$

**c) Calcul des courants homopolaire  $J_{O1}$  et  $J_{O2}$** 

Soient  $J_{O1}$  et  $J_{O2}$  les courants homopolaire provenant respectivement de O.

Fayet et B. Aknoun et se dirigeant vers le défaut.

$$V_O = Z_{OaL} \times J_{O1} \quad \Longrightarrow \quad J_{O1} = V_O / Z_{OaL}$$

$$J_{O1} = 5987 / 25,36 = 236A$$

$$V_O = Z_{OTeq} \times J_{O2} \quad \Longrightarrow \quad J_{O2} = V_O / Z_{OTeq}$$

$$J_{O2} = 5987 / 6,14 = 976A$$

Le courant  $J_{O2}$  est le courant homopolaire provenant des deux transformateurs identiques installés à Ben Aknoun.

Chacun de ces transformateurs participe avec un courant homopolaire  $J_{OT}$  égal à :

$$J_{OT1} = J_{OT2} = 976 / 2 = 488A$$

**IV.4) Calcul des tension de chacune des phases au lieu du défaut****a) Calcul des composantes symétriques des tensions****a.1) Tension directe  $V_d$** 

$$E = V_d + Z_d \times J_d \quad \Longrightarrow \quad V_d = E - Z_d \times J_d$$

$$\text{Or } J_d = J_i = J_o \quad \text{d'où } V_d = E - Z_d \times J_o$$

$$V_d = (60000 / \sqrt{3}) - 11,82 \times 1212 = 20315V$$

**a.2) Tension inverse Vi**

$$0 = V_i + Z_i \times J_i \quad \Longrightarrow \quad V_i = - Z_i \times J_i = - Z_d \times J_o$$

$$V_i = - 11,82 \times 1212 = -14326V$$

**a.3) Tension homopolaire Vo** (calculée précédemment)

$$V_o = - Z_o \times J_o = - 4,94 \times 1212 = -5987V$$

**b) Calcul des tensions V1, V2 et V3 au lieu du défaut****b.1) Tension V1 de la phase 1**

$$V_1 = V_d + V_i + V_o = 20315 - 14326 - 5987 = 0V$$

Ce résultat confirme que le défaut pris comme exemple, se situe sur la phase 1. Il est donc logique que la tension de cette phase soit nulle, le défaut étant franc.

**b.2) Tension V2 de la phase 2**

$$V_2 = a^2 V_d + a V_i + V_o$$

$$a^2 = 1/2 - j\sqrt{3}/2 \quad \text{et} \quad a = -1/2 + j\sqrt{3}/2$$

$$V_2 = (-1/2 - j\sqrt{3}/2) \times 20315 + (-1/2 + j\sqrt{3}/2) \times (-14326) + (-5987)$$

$$V_2 = -10157,5 - j\sqrt{3} \times 10157,5 + 7163 - j\sqrt{3} \times 7163 - 5987$$

$$V_2 = -8981,5 - j\sqrt{3} \times 17320,5 = -8981,5 - j30000$$

$$V_2 = \sqrt{(8981,5)^2 + (30000)^2} = 31315V$$

$$\text{tg}\theta_2 = (-30000) / (-8981,5) = -73^\circ$$

**b.3) Tension V3 de la phase 3**

$$V_3 = a V_d + a^2 V_i + V_o$$

$$a^2 = -1/2 - j\sqrt{3}/2 \quad \text{et} \quad a = -1/2 + j\sqrt{3}/2$$

$$V_3 = (-1/2 + j\sqrt{3}/2) \times 17320,5 + (-1/2 - j\sqrt{3}/2) \times (-14326) + (-5987)$$

$$V_3 = -10157,5 + j\sqrt{3} \times 10157,5 + 7163 + j\sqrt{3} \times 7163 - 5987$$

$$V_3 = -8981,5 + j\sqrt{3} \times 17320,5 = -8981,5 + j30000$$

$$V_3 = \sqrt{(8981,5)^2 + (30000)^2} = 31315 V$$

$$\text{tg}\theta_3 = (+30000) / (-8981,5) = -73^\circ$$

## IV.5 Calcul des tensions de chacune des phases sur le jeu de barres O. Fayet

### a) Calcul des composantes symétriques des Tensions

#### a.1) Tension directe V'd

$$V'd = V_d + Z_{dL} \times J_d$$

$$V'd = 20315 + 1,68 \times 1212 = 22351 \text{ V}$$

#### a.2) Tension inverse V'i

$$V'i = V_i + Z_{iL} \times J_i$$

$$V'i = -14326 + 1,68 \times 1212 = -12290 \text{ V}$$

#### a.3) Tension homopolaire V'o

$$V'o = V_o + Z_{oL} \times J_o = -5987 + 5,04 \times 236 = -4798 \text{ V}$$

### b) Calcul des Tension V'1, V'2 et V'3 sur le jeu de barres O. Fayet

#### b.1) Tension V'1 de la phase 1

$$V'1 = V'd + V'i + V'o = 22351 - 12290 - 4798 = 5263 \text{ V}$$

#### b.2) Tension V'2 de la phase 2

$$V'2 = a^2 V'd + a V'i + V'o$$

$$V'2 = (-1/2 - j\sqrt{3}/2) \times 22351 + (-1/2 + j\sqrt{3}/2) \times (-12290) + (-4798)$$

$$V'2 = -9830 - j30000$$

$$V'2 = \sqrt{(9830)^2 + (30000)^2} = 31570 \text{ V}$$

$$\text{tg } \alpha_2 = (-30000) / (-9830) = +72^\circ$$

#### b.3) Tension V'3 de la phase 3

$$V'3 = a V'd + a^2 V'i + V'o$$

$$V'3 = (-1/2 + j\sqrt{3}/2) \times 22351 + (-1/2 - j\sqrt{3}/2) \times (-12290) + (-4798)$$

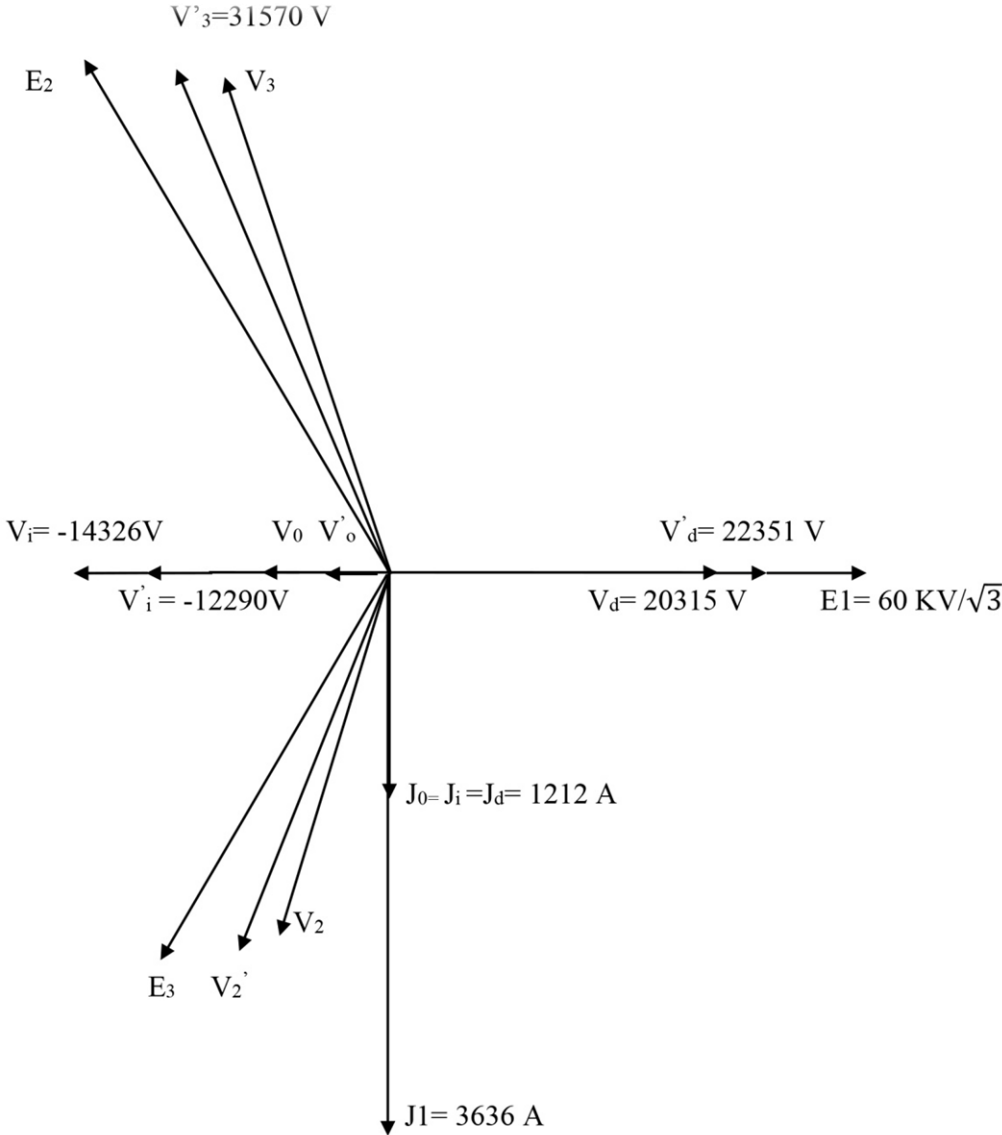
$$V'3 = -10157,5 + j\sqrt{3} \times 10157,5 + 7163 + j\sqrt{3} \times 7163 - 5987$$

$$V'3 = -9830 + j30000$$

$$V'3 = \sqrt{(9830)^2 + (30000)^2} = 31570 \text{ V}$$

$$\text{tg } \theta_3 = (+30000) / (-9830) = -72^\circ$$

**6/ Diagramme des courants et des Tensions**



## Centrale

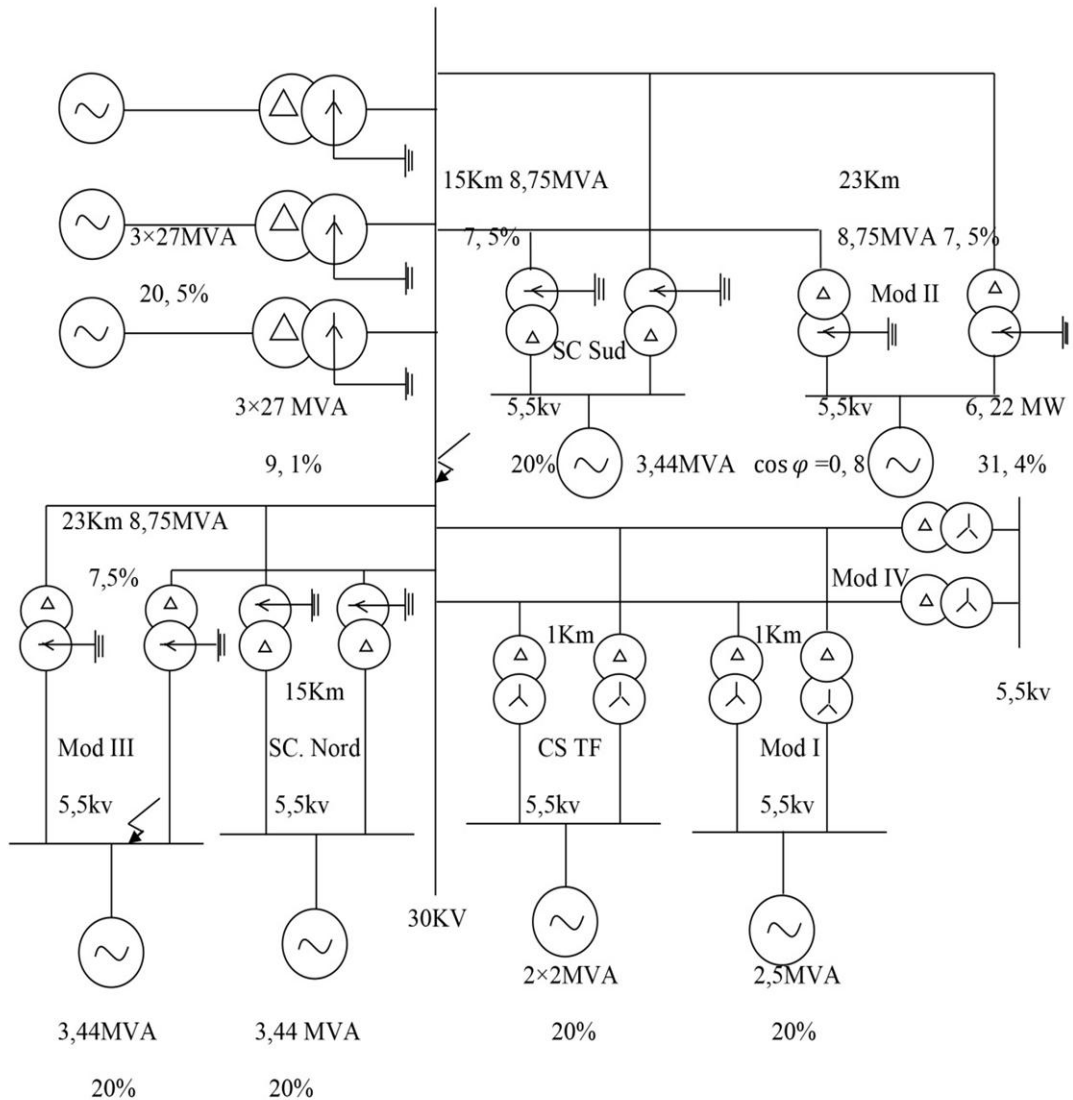


Figure 35 : schéma de calcul du réseau

## Paramètre du réseau :

**Centrale :**

3 Groupes  $3 \times 27$  MVA  $U_{cc}=20,5\%$

3 Transformateurs Triangle-Etoile à la Terre  $3 \times 27$  MVA  $U_{cc}=9,1\%$

**SC Sud = SC Nord**

1 Groupe 3,44 MVA  $U_{cc}=20\%$

2 Transformateurs Triangle-Etoile à la terre  $2 \times 8,75$  MVA  $U_{cc}=7,5\%$

Longueur de la ligne : 15 Km

**Mod II**

- 1 Groupe 6,22 MW  $\cos\varphi=0,8$   $U_{cc}=31,4\%$
- 2 Transformateurs Etoile-Triangle  $2 \times 8,75$  MVA  $U_{cc}=7,5\%$
- Longueur de la ligne : 23 Km

**Mod III**

- 1 Groupe 3,33MVA  $U_{CC} = 20\%$
- 2 Transformateurs Etoile à la terre -Triangle  $2 \times 8,75$  MVA  $U_{CC} = 7,5\%$
- Longueur de la ligne : 23 Km

**CS TF Mod I :**

- 2 Groupes  $2 \times 2$  MVA  $U_{CC} = 20\%$
- 2 Transformateurs Etoile à la terre – Triangle  $2 \times 7,5$  MVA  $U_{CC} = 7,5\%$
- Longueur de la ligne : 1 KM

**Mod IV :**

- 2 Transformateurs Etoile –Triangle  $2 \times 8,75$  MVA  $U_{cc}=7,5\%$

**On demande de calculer :**

Le courant de court-circuit Triphasé sur le jeu de barres 30 KV de la centrale

Le courant de court –circuit Monophasé sur le jeu de barres 30 KV de la centrale

Le courant de court –circuit Triphasé sur le jeu de barres 5,5 KV de Mod III vu du jeu de barres 30 KV de la centrale

Le courant de court –circuit Monophasé sur le jeu de barres 5,5 KV de Mod III vu du jeu de barres 30 KV de la centrale

Les participations en homopolaires de chaque boucle pour le court-circuit Monophasé sur le jeu de barres 30 KV de la centrale

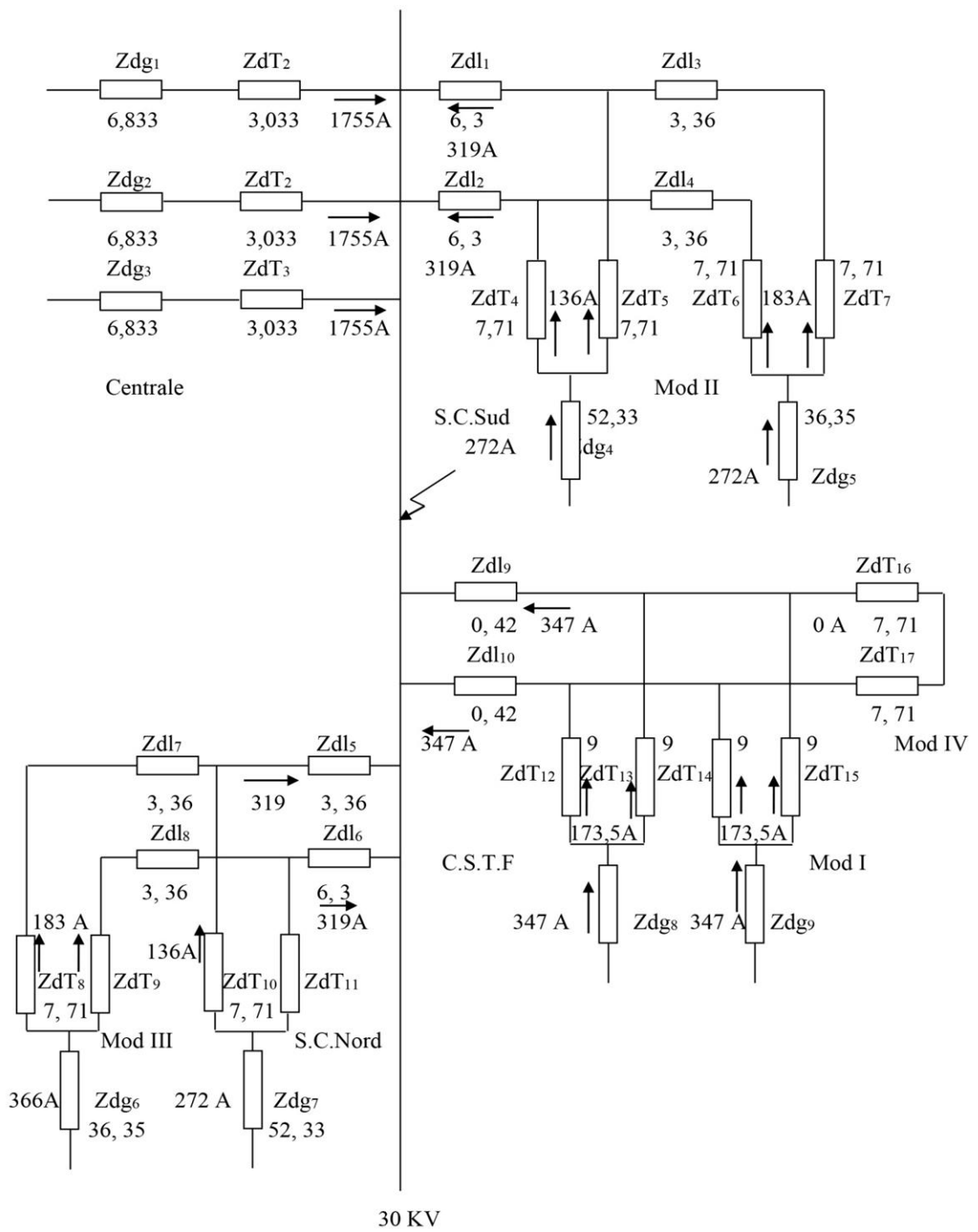


Figure 36 : schéma équivalent direct

## 1. Calcul de l'impédance directe

### 1.1 Central

$$Z_{dg1} = Z_{dg2} = Z_{dg3} = j ( 20,5/100 ) \times ( 30^2/27 ) = j 6,833$$

$$Z_{dT1} = Z_{dT2} = Z_{dT3} = j ( 9,1/100 ) \times ( 30^2/27 ) = j 3,033 \Omega$$

### 1.2. SC Sud

$$Z_{dg4} = j ( 20/100 ) \times ( 30^2/3,44 ) = j 52, 33 \Omega$$

$$Z_{dT4} = Z_{dT5} = j ( 7,5/100 ) \times ( 30^2/8,75 ) = j 7, 71 \Omega$$

$$Z_{dL1} = Z_{dL2} = j ( 0, 42 \times 15 ) = j 6, 3 \Omega$$

### 1.3. Mod II

$$Z_{dg5} = j ( 31,4/100 ) \times ( 30^2 \times 0,8/6,22 ) = j 36, 35 \Omega$$

$$Z_{dT6} = Z_{dT7} = j ( 7,5/100 ) \times ( 30^2/8,75 ) = j 7, 71 \Omega$$

$$Z_{dL3} = Z_{dL4} = j 0, 42 \times ( 23 - 15 ) = j 3, 36 \Omega$$

### 1.4. Mod III

$$Z_{dg6} = Z_{dg4} = j 52, 33 \Omega$$

$$Z_{dT8} = Z_{dT9} = Z_{dT4} = Z_{dT5} = j 7, 71 \Omega$$

$$Z_{dL7} = Z_{dL8} = Z_{dL3} = Z_{dL4} = j 3, 36 \Omega$$

### 1.5. SC Nord

$$Z_{dg7} = Z_{dg4} = j ( 20/100 ) \times ( 30^2/3,44 ) = j 52, 33 \Omega$$

$$Z_{dT10} = Z_{dT11} = Z_{dT4} = Z_{dT5} = j 7, 71 \Omega$$

$$Z_{dL5} = Z_{dL6} = Z_{dL1} = Z_{dL2} = j 6, 3 \Omega$$

### 1.6.C S T F

$$Z_{dg8} = j ( 1/2 ) \times j ( 20/100 ) \times ( 30^2/2 ) = j 45 \Omega$$

$$Z_{dT12} = Z_{dT13} = j ( 7,5/100 ) \times ( 30^2/7,5 ) = j 9 \Omega$$

$$Z_{dL9} = Z_{dL10} = j ( 0, 42 \times 1 ) = j 0, 42 \Omega$$

### 1.7.Mod I

$$Z_{dg9} = Z_{dg8} = j 45 \Omega$$

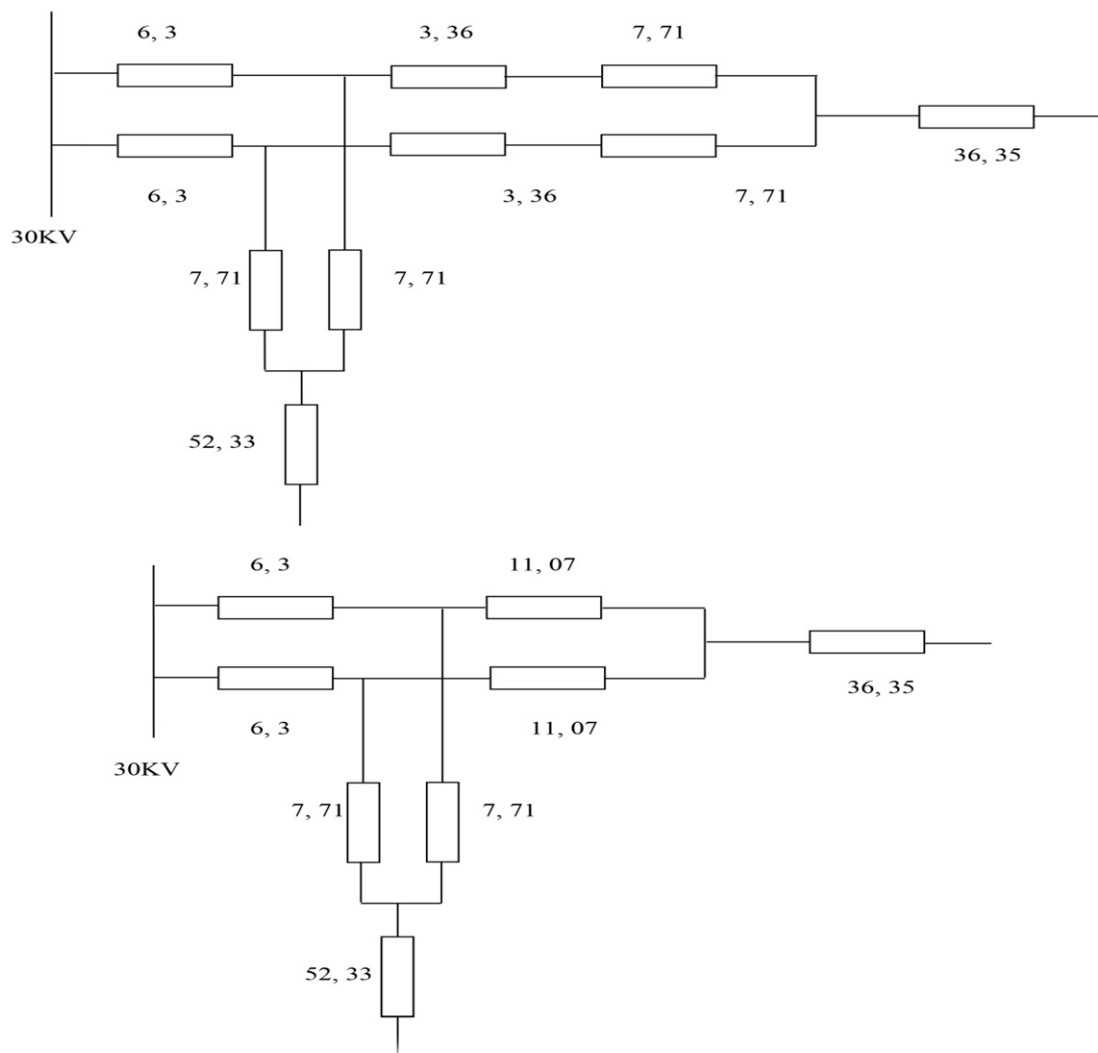
$$Z_{dT14} = Z_{dT15} = Z_{dT12} = Z_{dT13} = j 9 \Omega$$

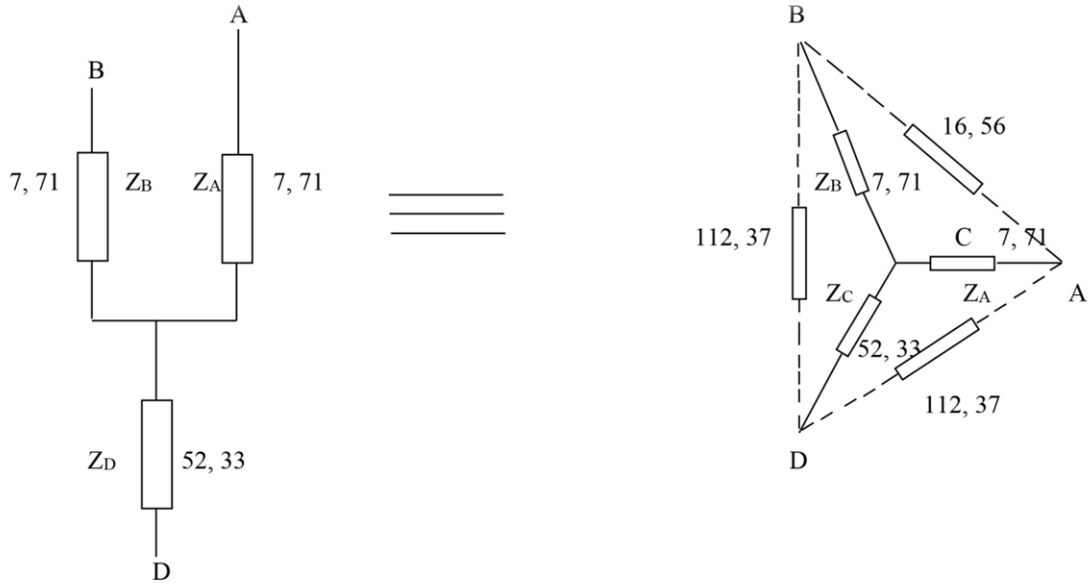
### 1.8. Mod IV

$$Z_{d_{T16}} = Z_{d_{T17}} = j (7,5 / 100) \times (30^2 / 8,75) = j 7,72$$

Il est à remarquer que la boucle SC Sud-Mode II est identique à la boucle SC Nord – Mode III

Le schéma direct équivalent à la boucle SC Nord- Mode III est :





$$Z_{AB} = (Z_A \cdot Z_B + Z_B \cdot Z_D + Z_D \cdot Z_A) / Z_D = (7,71 \times 7,71 + 7,71 \times 52,33 + 52,33 \times 7,71) / 52,33$$

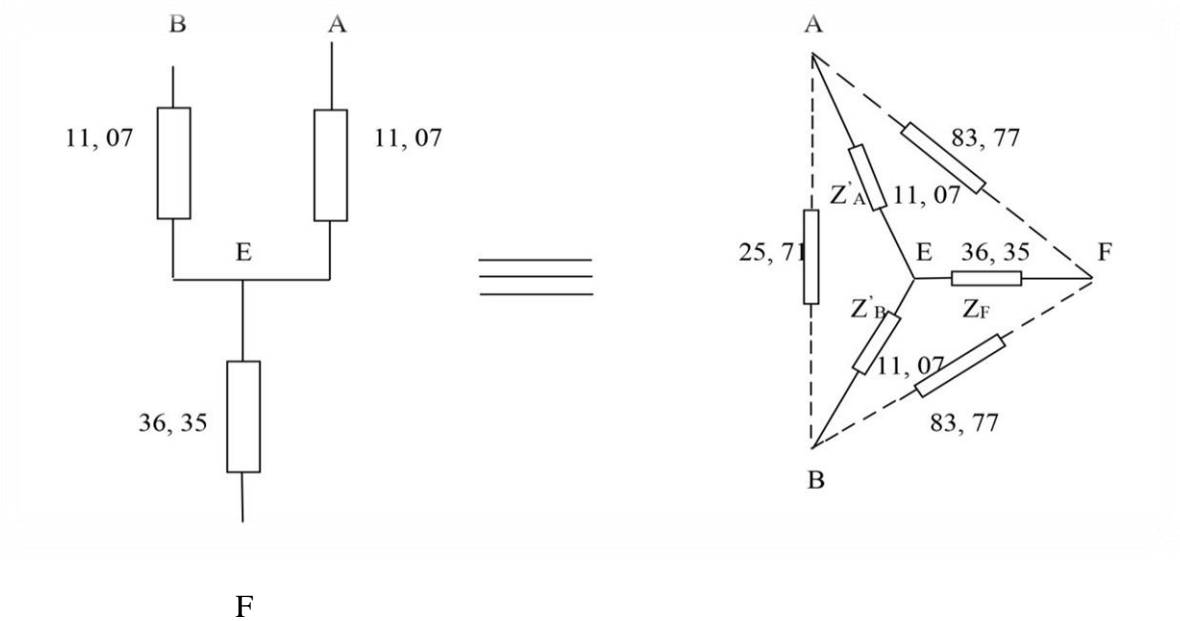
$$Z_{AB} = 16,56 \Omega$$

$$Z_{BD} = (Z_B \cdot Z_D + Z_D \cdot Z_A + Z_A \cdot Z_B) / Z_A = (7,71 \times 52,33 + 52,33 \times 7,71 + 7,71 \times 7,71) / 52,33$$

$$Z_{BD} = 112,37 \Omega$$

$$Z_{AD} = (Z_A \cdot Z_D + Z_D \cdot Z_B + Z_B \cdot Z_A) / Z_B = (7,71 \times 52,33 + 52,33 \times 7,71 + 7,71 \times 7,71) / 52,33$$

$$Z_{AD} = 112,37 \Omega$$



$$Z'_{AB} = (Z'_A \cdot Z'_B + Z'_B \cdot Z_F + Z_F \cdot Z'_A) / Z_F = (11,07 \times 11,07 + 11,07 \times 36,35 + 36,35 \times 11,07) / 36,35$$

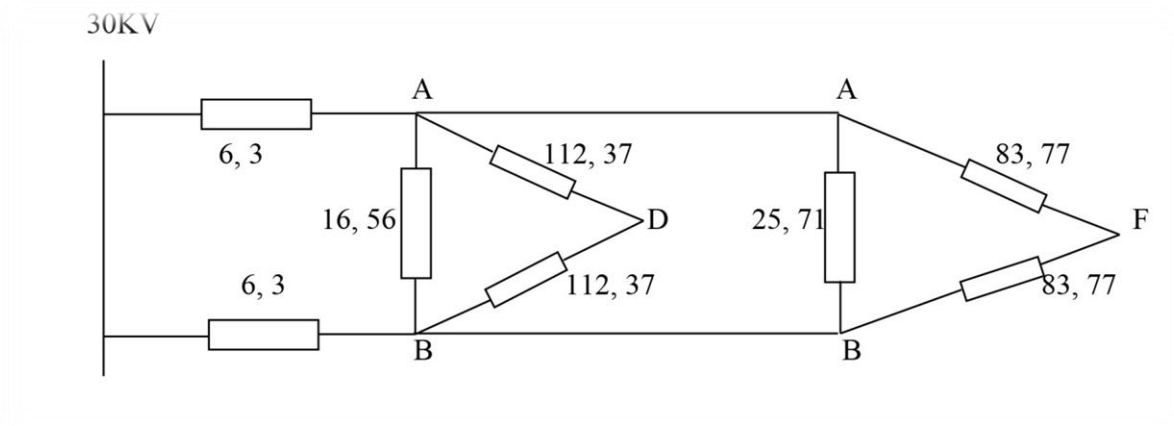
$$Z'_{AB} = 25,71 \Omega$$

$$Z_{BF} = (Z'_B \cdot Z_F + Z_F \cdot Z'_A + Z'_A \cdot Z'_B) / Z'_A = (11,07 \times 36,35 + 36,35 \times 11,07 + 11,07 \times 11,07) / 11,07$$

$$Z_{BF} = 83,77 \Omega$$

$$Z_{AF} = (Z'_A \cdot Z_F + Z_F \cdot Z'_B + Z'_B \cdot Z'_A) / Z'_B = (11,07 \times 36,35 + 36,35 \times 11,07 + 11,07 \times 11,07) / 11,07$$

$$Z_{AF} = 83,77 \Omega$$



Les deux triangles sont branchés en parallèle :

$$16,56 // 25,71 = (16,56 \times 25,71) / (16,56 + 25,71) = 10,04 \Omega$$

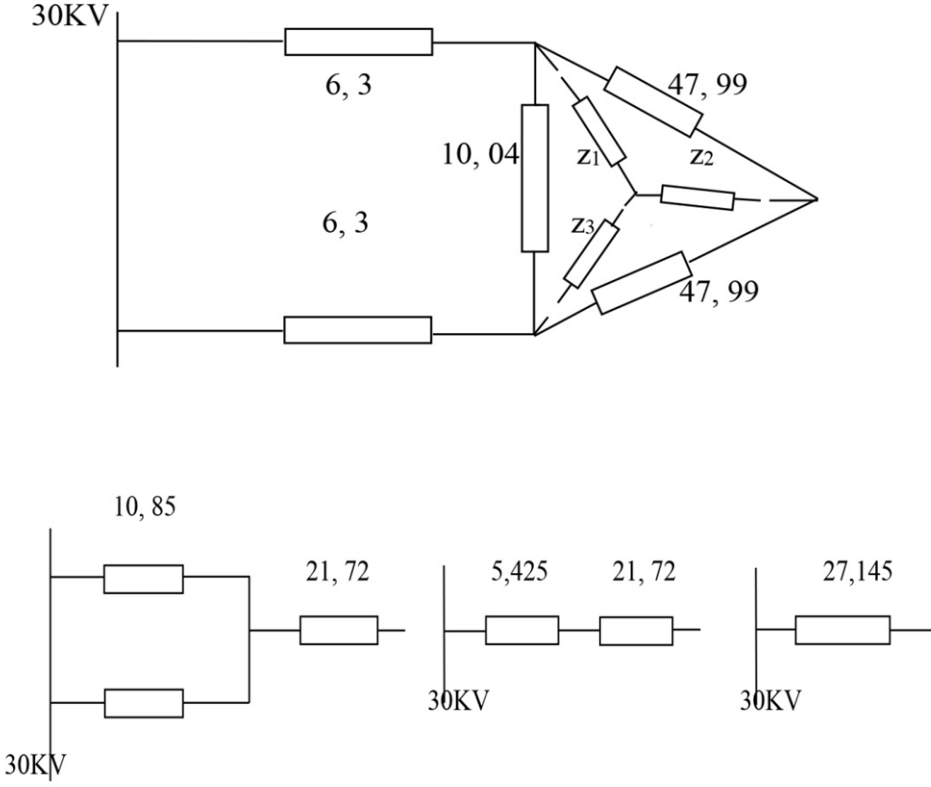
$$112,37 // 83,77 = (112,37 \times 83,77) / (112,37 + 83,77) = 47,99 \Omega$$

$(11 J_{Tri} = (30000 / \sqrt{3}) / 8,31 = 2083 \text{ A})$

$$Z_1 = (10,04 \times 47,99) / (10,04 + 2 \times 47,99) = 4,55 \Omega$$

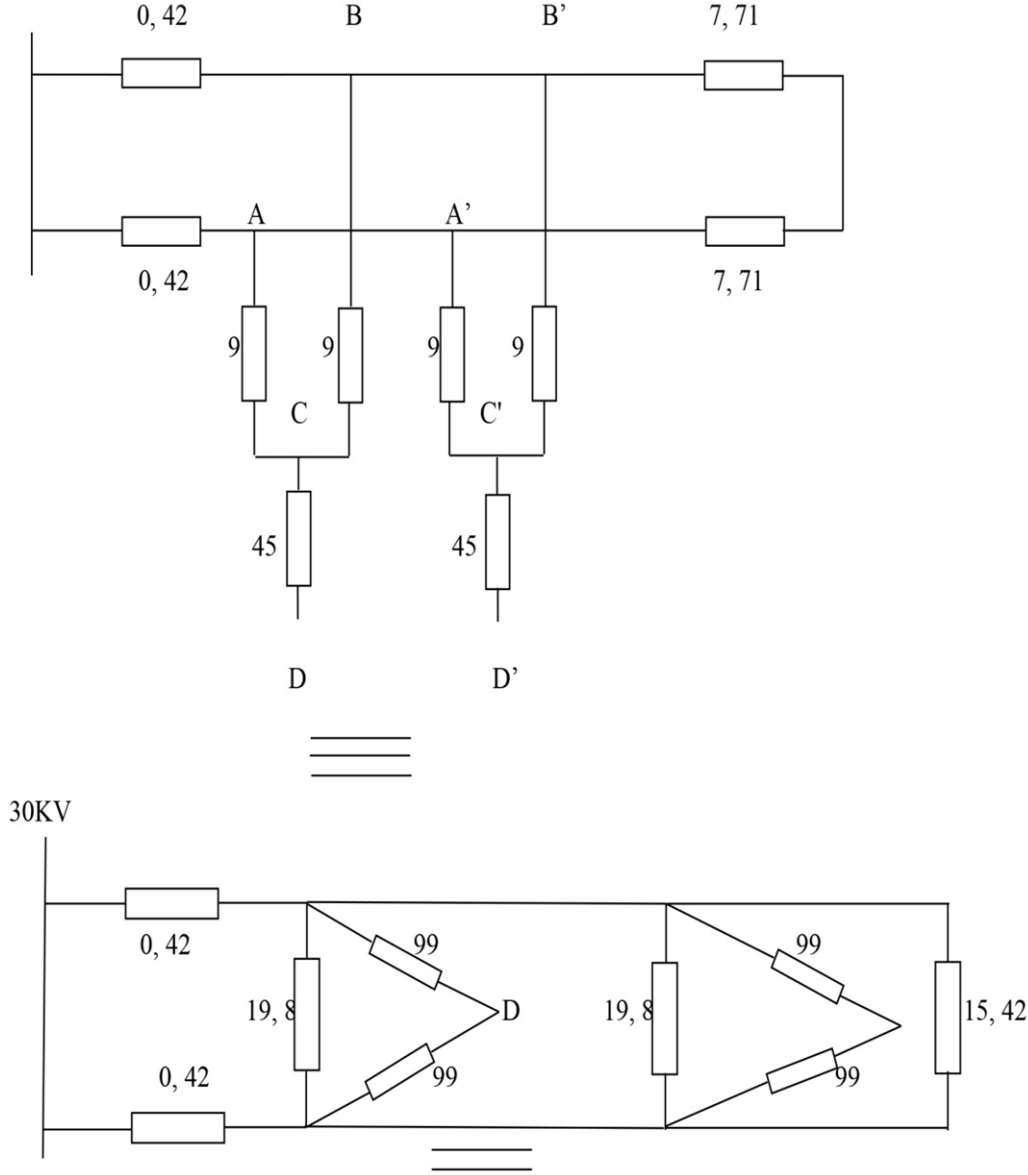
$$Z_2 = (47,99 \times 47,99) / (10,04 + 2 \times 47,99) = 21,72 \Omega$$

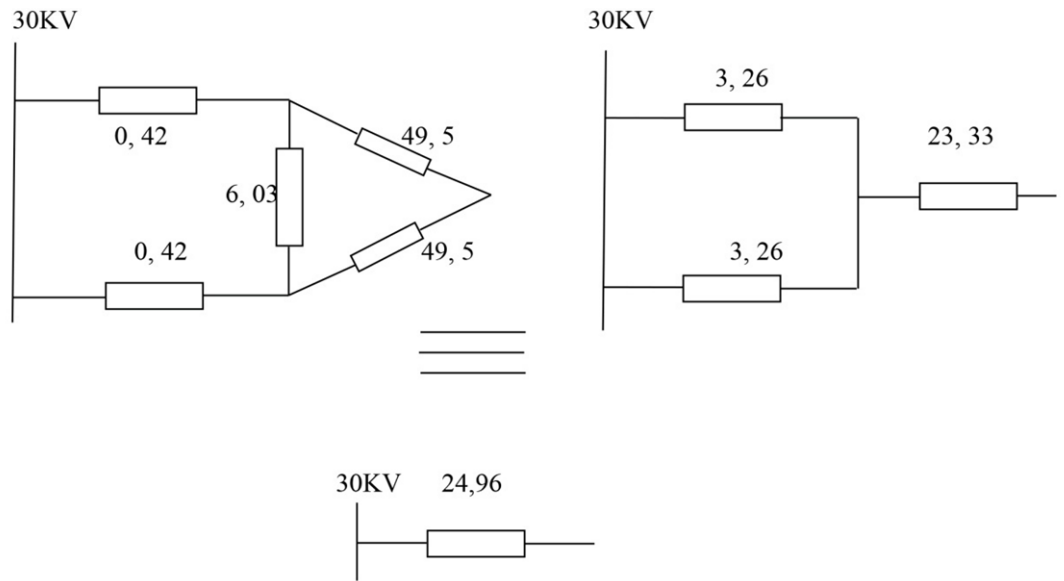
$$Z_3 = (10,04 \times 47,99) / (10,04 + 2 \times 47,99) = 4,55 \Omega$$



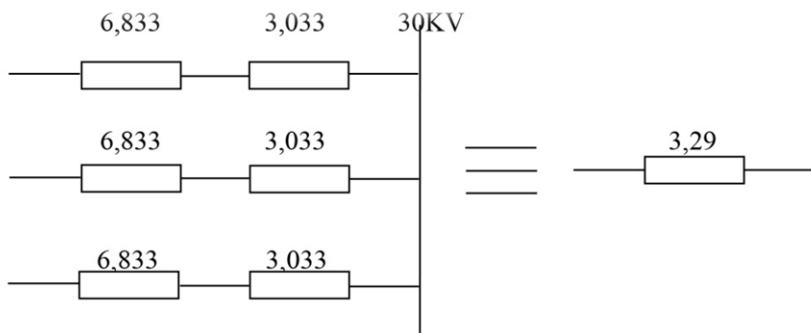
$$10,85 // 10,85 = 10,85 / 2 = 5,425 \Omega$$

Le schéma équivalent de la branche C.S.T.F-Mode I et Mode IV est :

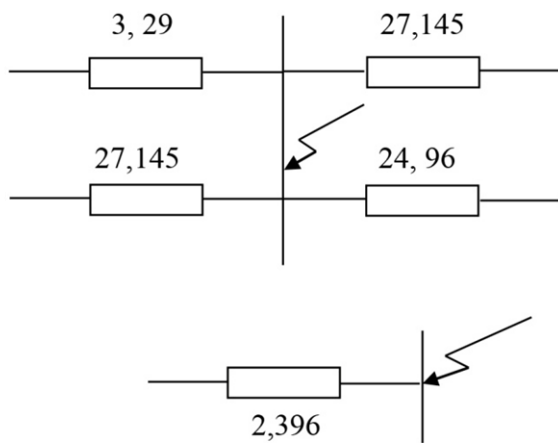




Le Schéma direct de la Centrale est :



Le Schéma équivalent du réseau vu du point de défaut est :

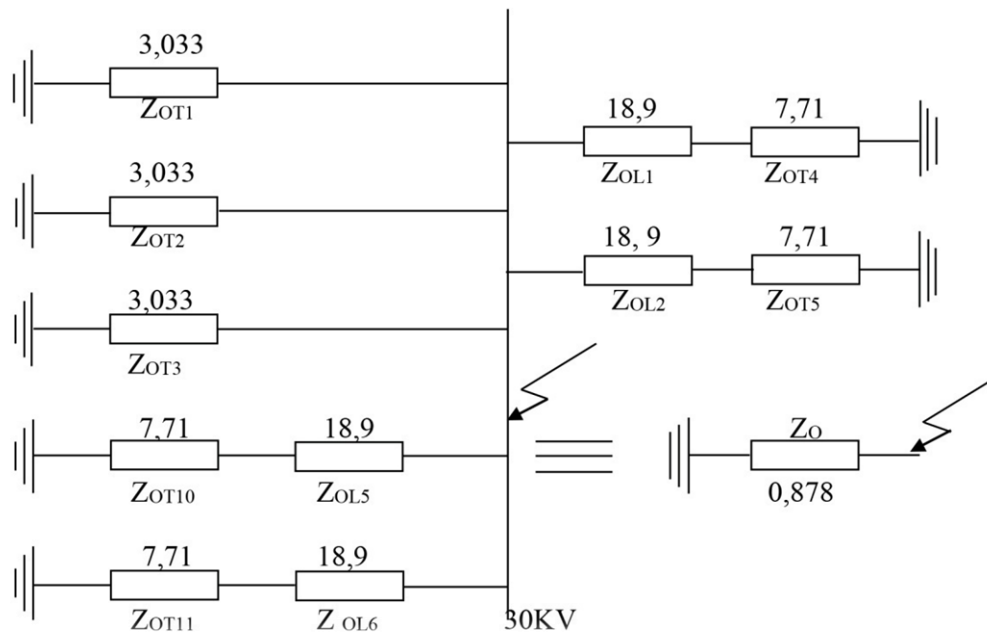


$$Z_d = Z_i = 2,396 \Omega$$

## 2. Calcul du courant de court-circuit Triphasé sur le jeu de barres 30KV

$$J_{\text{Tri}} = (30000 / \sqrt{3}) / 2,396 = 7240\text{A}$$

### Schéma homopolaire :



Il est à constater que le Mode III, Mode II, CSTF, Mode I et Mode IV ne participent pas en homopolaire car leurs transformateurs ont l'enroulement côté jeu de barres 30KV couplé en triangle c'est-à-dire isolé du sol.

Ces transformateurs qui participent en homopolaire ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_{10}$  et  $T_{11}$ ) sont en couplage étoile à la terre-triangle. Leurs impédances homopolaire valent l'impédance directe.

$$Z_{OT} = Z_{dT}$$

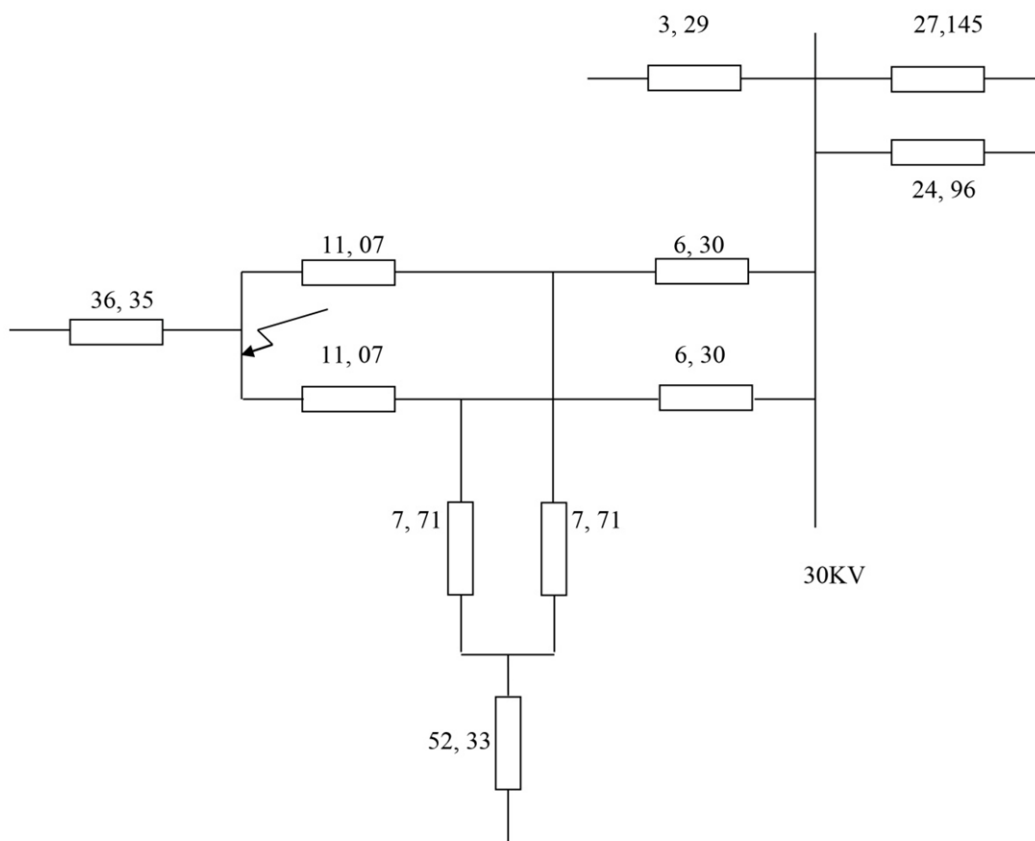
Pour les lignes  $L_1, L_2, L_5$  et  $L_6$ :

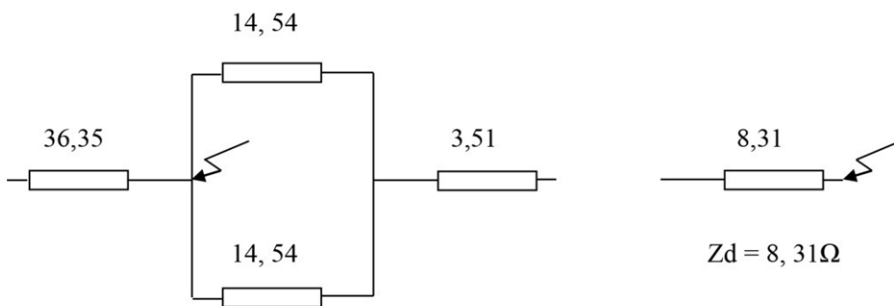
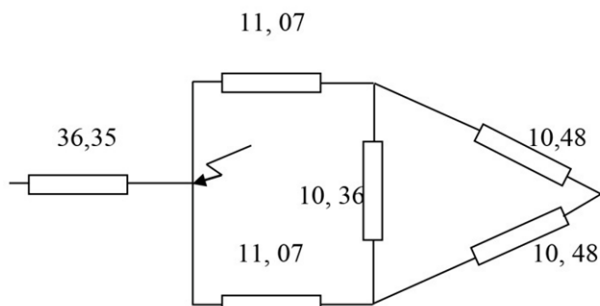
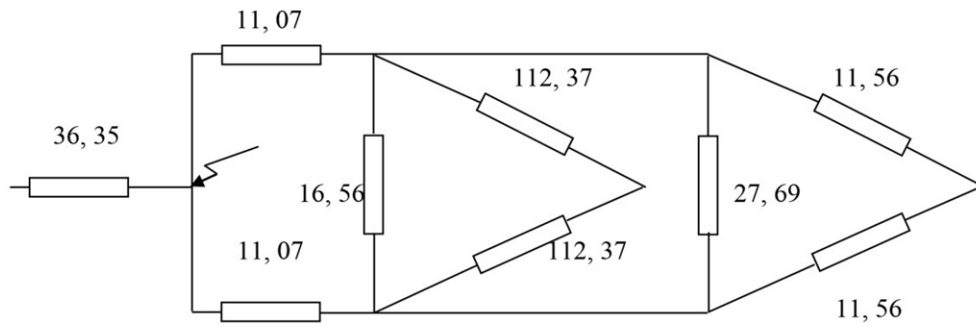
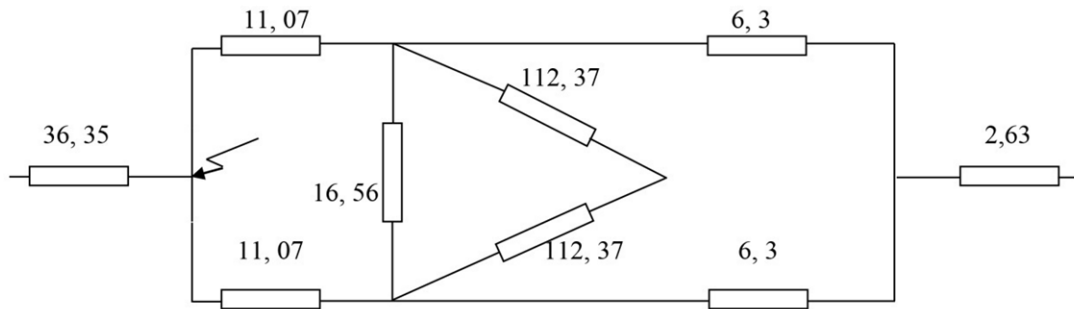
$$Z_{OL} = 3Z_{dL}$$

**3. Calcul de courant de court-circuit monophasé sur le jeu de barres 30KV**

$$J = 3E / (2Zd + Zo)$$

$$J_{\text{Mono}} = (3 \times 30000 / \sqrt{3}) / (2 \times 2,396 + 0,878) = 9180 \text{A}$$

**4. Calcul du courant de court-circuit triphasé sur le jeu de barres 5,5KV à Mode III vu du jeu de barres 30KV****Schéma direct**



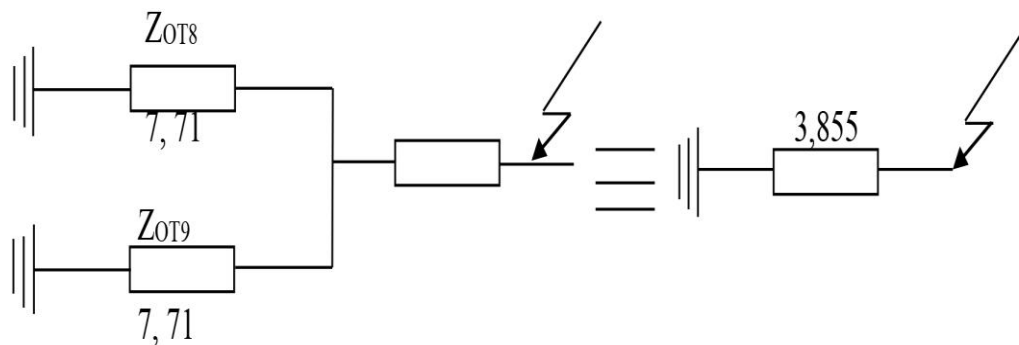
$$J_{Tri} = (30000 / \sqrt{3}) / 8,31 = 2083 \text{ A}$$

**5. calcul du courant de court-circuit Monophasé sur le jeu de barres 5,5KV à Mode III vu du jeu de barres 30KV**

$$Z_d = Z_i = 8,31 \Omega$$

**Schéma homopolaire**

Seuls les deux transformateurs T8 et T9 participent en homopolaire

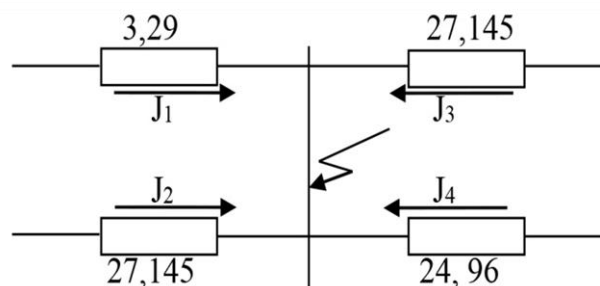


$$Z_{OT} = 3,855 \Omega$$

$$J_{\text{Mono}} = (3 \times 30000 / \sqrt{3}) / (2 \times 8,31 + 3,855) = 2540 \text{ A}$$

**6. Calcul des participations de chaque boucle pour un court-circuit triphasé sur le jeu de barres 30KV**

$$J_{\text{Tri}} = 7230 \text{ A}$$



**6.1 Calcul des participations de la centrale**

$$J_1 = (30000 / \sqrt{3}) / 3,29 = 5265 \text{ A}$$

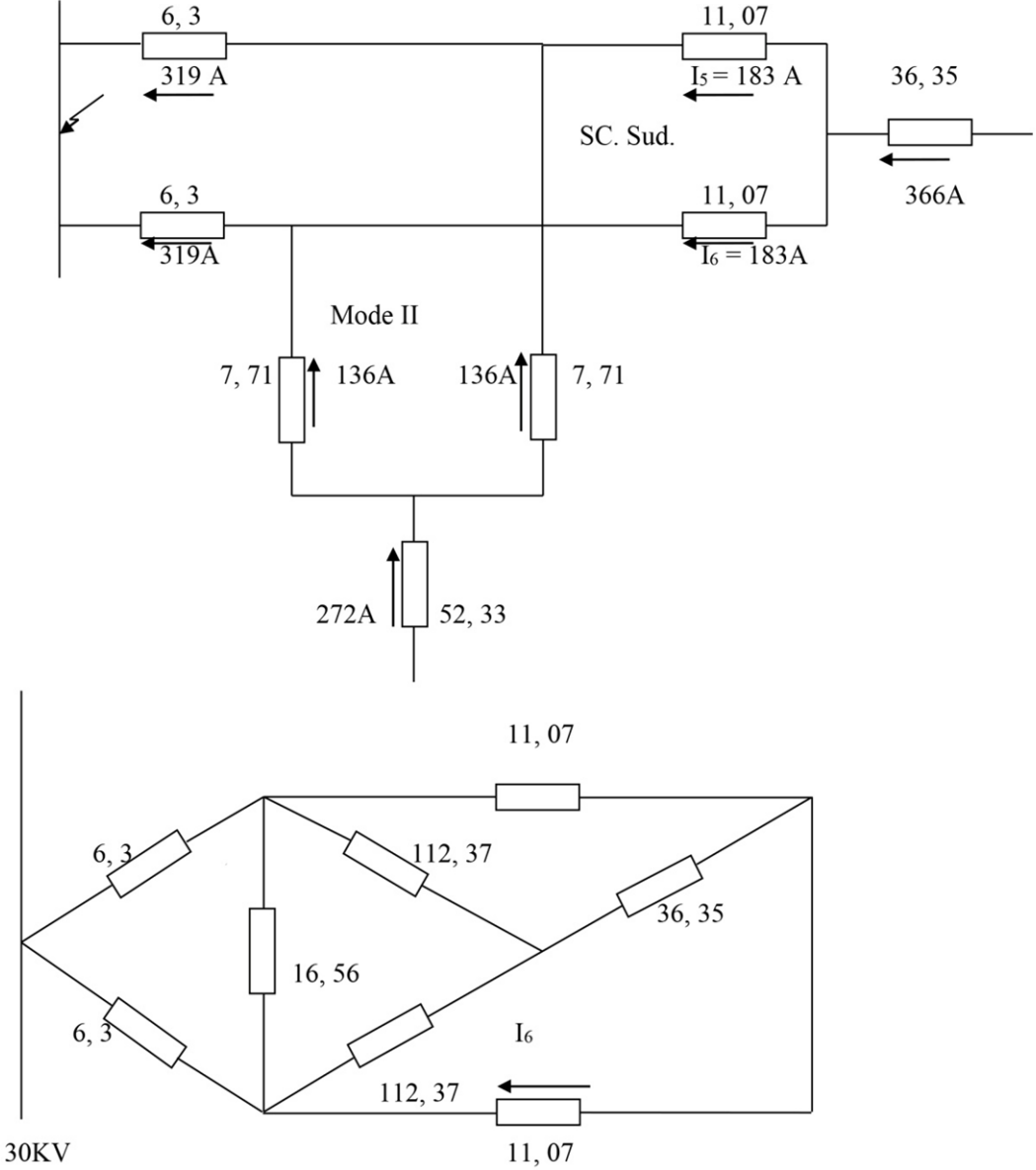
**6.2 Calcul des participations des boucles Mode III – SC Nord et Mode II – SC Sud**

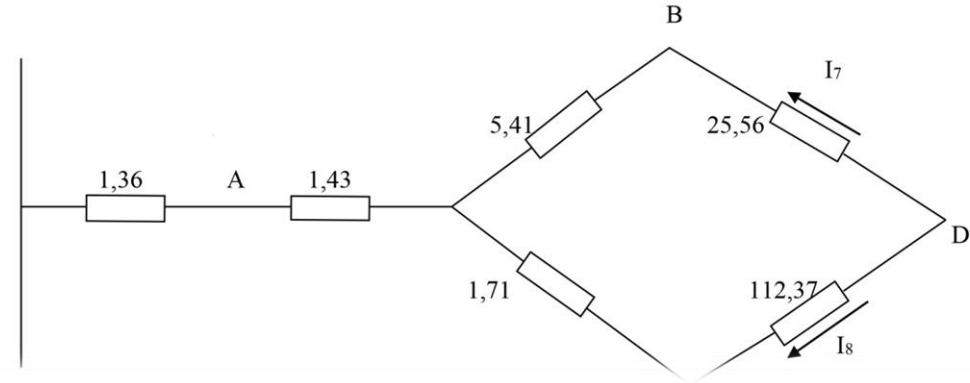
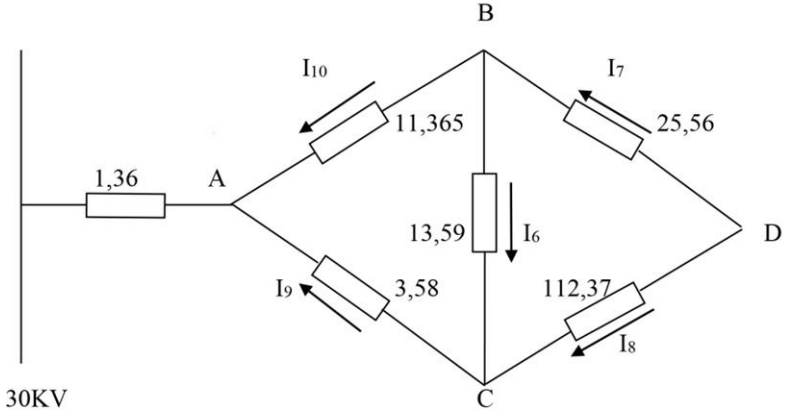
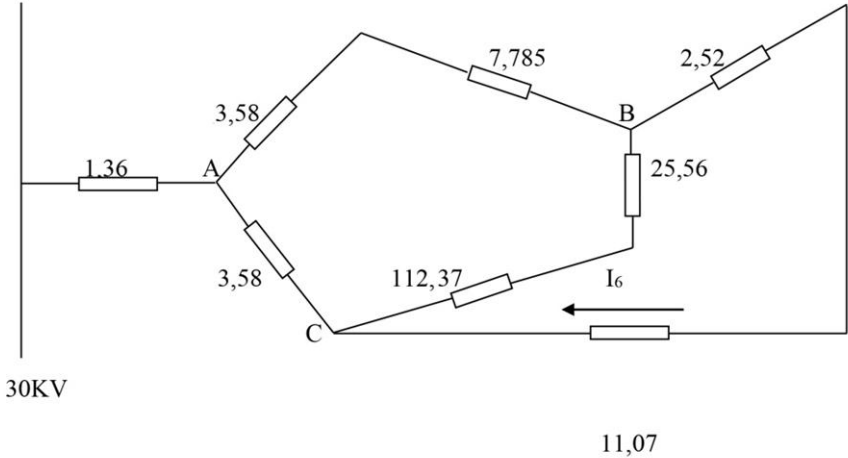
$$J_2 = J_3 = (30000 / \sqrt{3}) / 27,145 = 638 \text{ A}$$

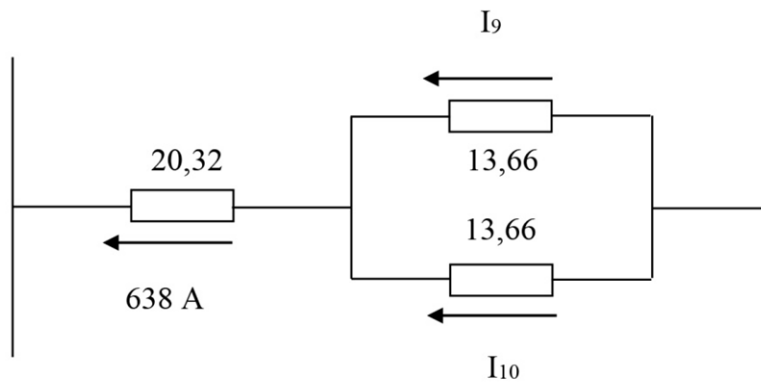
**6.3 Calcul des participations de la boucle CSTF - Mode I + Mode IV**

$$J_4 = (30000 / \sqrt{3}) / 24,96 = 964 \text{ A}$$

Développons la boucle Mode II-SC Sud et calculons les participations dans les branches



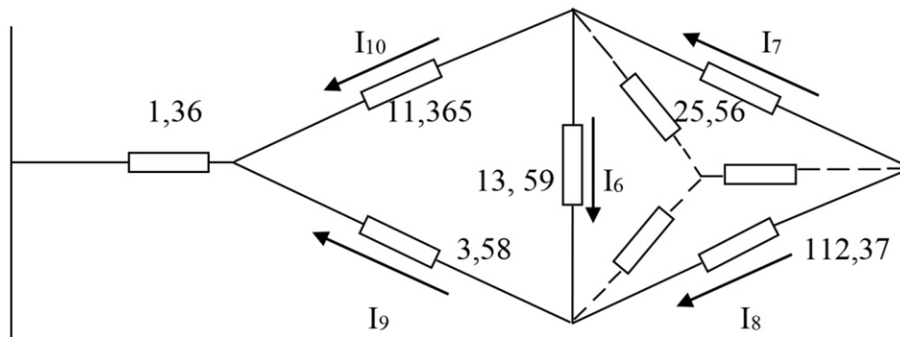


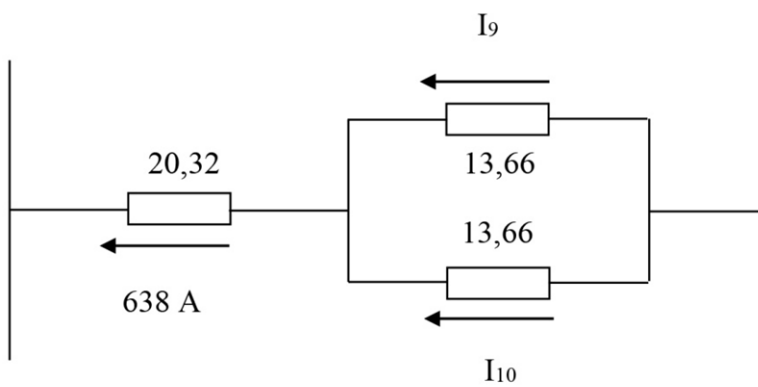
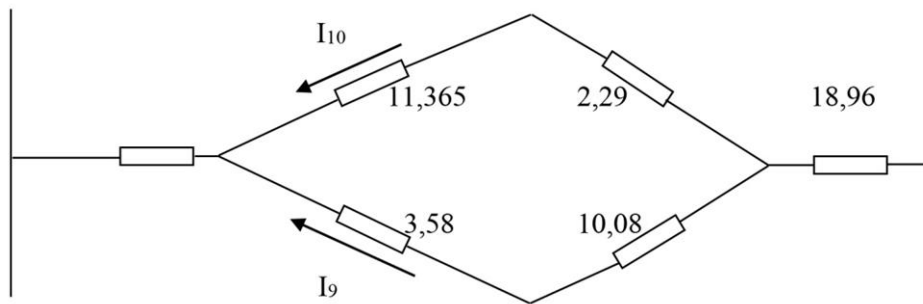


$$I_7 = \frac{30000 / \sqrt{3} - 2,79 \times 638}{30,97} = 502 \text{ A}$$

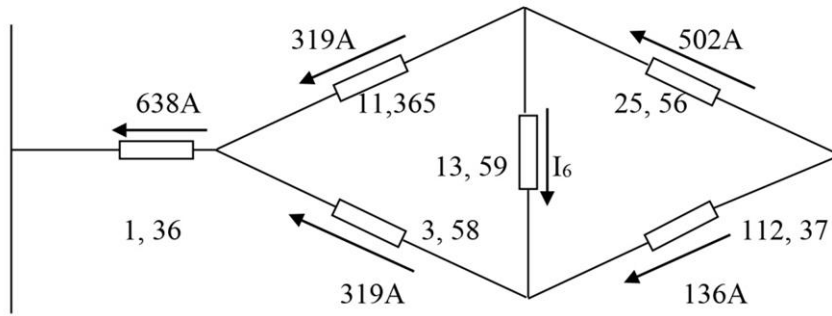
$$I_8 = \frac{30000 / \sqrt{3} - 2,79 \times 638}{114,08} = 136 \text{ A}$$

Calculons I9 et I10





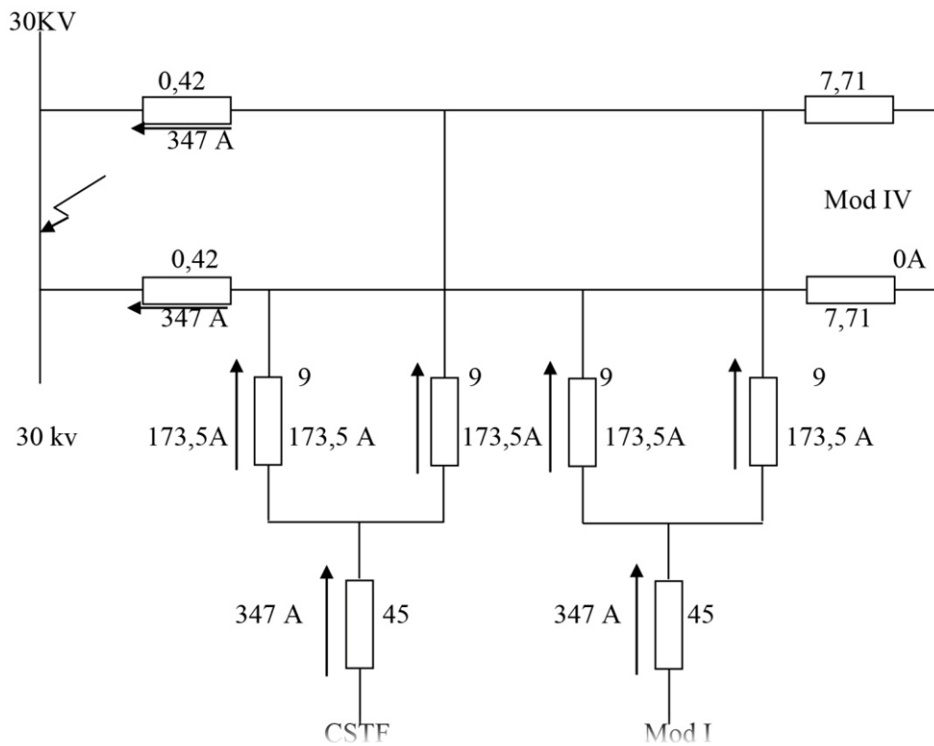
$$I_9 = I_{10} = \frac{30000 / \sqrt{3} - 20,32 \times 638}{13,66} = 319 \text{ A}$$



Calculons les participations de CSTF-Mode I-Mode IV.

Chaque ligne aboutissant sur le jeu de barres 30KV participe avec 374 A.

On remarque que les deux sources sont identiques donc chacune d'elle participe avec 347 A



**Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a utilisé la méthode des composantes symétriques et la méthode des composantes asymétriques pour calculer les courants de court-circuits.

D'après cette étude, on peut constater que le courant de court-circuit monophasé est plus sévère par rapport au courant de court-circuit triphasé sur le même point.

A l'issue de ce travail, qui consiste à l'étude du phénomène de court circuit, on a essayé de voir la gravité d'apparition d'un tel problème dans un réseau électrique en général.

Pour donner plus de crédibilité à notre travail, nous avons pris comme modèle d'application le réseau d'OULED FAYET avec un poste de source de 60kv (réseau moyen tension) alimentant le jeu de barres de 60 kV de BEN AKNOUN.

D'après ce qui a été résumer dans le premier chapitre, on constate que les défauts peuvent être classés selon différents critères (par leurs durées, leurs origines, leurs natures, leurs localisations) et leurs conséquences peuvent être dangereuses sur le fonctionnement du réseau, le matériel et la sécurité des personnes.

La valeur du courant de court - circuit dépend essentiellement de la nature des éléments qui constituent le réseau, le mode d'exploitation du neutre, le type de défaut.

Le calcul des courants de court-circuits peuvent être effectué selon différentes méthodes analytiques, nous avons opté pour la méthode des composantes symétriques.

L'analyse des différents types du courant de défaut, nous conduit à conclure que le court circuit monophasé est le plus fréquent statistiquement.

Dans notre travail, nous nous somme, intéressés à la détermination des différents types de courants de court-circuits, car ces valeurs jouent un rôle déterminant dans le choix du seuil de fonctionnement des appareils de protections et dans l'amélioration de leurs sensibilités.

L'étude correcte du comportement du réseau électrique et particulièrement celui du réseau d'OULED FAYET doit être basée sur la détermination des valeurs exactes des différents courants de court-circuits. Cette nécessité, nous a obligés à faire une étude comparative de différentes méthodes de calcul des courants de courts-circuits dans le but de choisir une méthode fiable.

Cette analyse nous a permis de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de différentes méthodes.

La modélisation du réseau nécessite l'application de la méthode des impédances. Pour la détermination et l'acquisition des données du modèle, on utilise la méthode des unités relatives de bases. Enfin, nous avons introduit la méthode des composantes symétriques pour déterminer les différents paramètres du court- circuit.

## Conclusion générale

---

Nous souhaitons que notre travail peut-être un support pour les étudiants dans la réalisation de leurs projets de fin d'étude.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] : O.AITGUENISSAID, O.OUKHOUIA <<Protection numérique par SEPAM 80, d'un départ électrique HTA>>, mémoire fin d'étude master, UMMTO, année 2012.
- [2] : S.ABBASSEN, N.KACED << Etude de protection des départs moyenne tension, application poste de FREHA>> mémoire d'ingénieur, UMMTO, année 2008.
- [3] : Claude CORROYER << Protection des réseaux>> Technique de l'ingénieur.
- [4] : H.BELMAHDI et N.ABDELLI «Etudes d'un réseau de distribution moyenne tension, application Oued-Aissi / Tizi-Ouzou», mémoire d'ingénieur, UMMTO, année 2008.
- [5] : IFEG – Ecole Technique de Blida
- [6] :L.BENARAB «Détermination des seuils de réglage des protections des départs moyenne tension au complexe de l'ENIEM», mémoire d'ingénieur, UMMTO, année 2010.
- [7] : WILDI, G.SYBILLE <<Electrotechnique 4<sup>ème</sup> édition>>, De Boeck, Septembre 2005.
- [8] : <<Diagnostic du départ moyenne tension issu du central SOUK EL DJEMA>>, mémoire d'ingénieur, UMMTO, année 2008.
- [9] : F.AMRANI, R.BELKASSA << Etude d des protections des départ, application poste 60/30 kV de TIZI MEDEN >> Mémoire d'ingénieur, UMMTO, année 2009.
- [10]: <<SPECIFICATION TICHNIQUE ONE ST N° D22-P66>>, edition Août 2010.
- [11] : N.SAIM << Restructuration de réseau moyenne tension d'AZAZGA>> mémoire d'ingénieur, UMMTO, année 2010.
- [12] : << Guide de protection >> MERLIN GERIN Schneider électrique, edition 2006.