

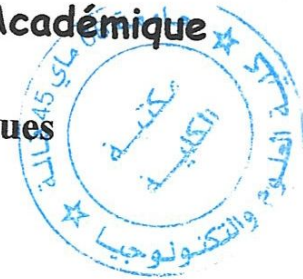
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



707

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

Domaine : **Sciences et Techniques**
Filière : **Génie électrique**
Spécialité : **Réseaux électrique**



Calcul des courants de court-circuit
et moyens de protection

Présenté par :

Boukhenfra salih
Zouad issam

Sous la direction de :

Mr : Gouidia Said

JUIN 2011

Rémerciement

A l'occasion de l'élaboration de cet ouvrage nous avons le plaisir de remercier tout organisme et toute personne qui nous a aidés de prêt ou de lion ayant mis à notre disposition tout les documents et toutes les données et les informations liés à notre objet de recherche, nous citons :

- *Notre encadreur Mr.Gouidia qui nous encadré au long de cet travail et qui apporté une contribution approfondie dans les divers aspects de ce sujet ;*
- *Mr BOUNAYA qui nous ont aidé et donnés tout les informations nécessaires à notre travail*



Sommaire

Chapitre 01 : généralité sur les courts-circuits

1-1	définition de court-circuit	01
1-2	effets des courant de court-circuit.....	01
1-3	les causes les plus courantes	02
1-4	Importances des calculs de court circuit.....	03
1-5	facteurs influents sur la valeur de l'intensité d'un courant de court-circuit...	04
1-6	Types de court circuit	05
1-7	Caractéristiques des courts-circuits	05

Chapitre 02 modélisations de réseau électrique

2-1	Représentation des réseaux électrique.....	08
2-2	Formation de la matrice Y_{bus} (matrice admittance).....	16
2-3	Formation de la matrice Z_{bus} (matrice l'impédance)	18
2-4	Utilisation des unités relative et les valeurs en pour cent	20

Chapitre 03 méthode de calcule les courts-circuits

3-1	Représentation complexé d'une simple phase.....	22
3-2	Composant symétrique	23
3-3	Relation entre les vecteurs de phases et leurs composantes symétriques	24
3-4	composantes symétriques et matrice d'impédance / admittance	25
3-5	notions de matrices circuiantes	26
3-6	calculs des courants de court-circuit symétriques (triphases).....	28
3-6.1	calculs des courants de court-circuit symétriques (triphases).....	28
3-6.2	calculs des courants de court-circuit asymétrique.....	30
3-7	calcul des courts-circuits dans approche systématique.....	32
3-7.1	calcul des courts circuits symétriques (approche systématique)	32
3-7.2	calculs des courants de court circuit asymétriques (approche systématique)	35
3-8	Expressions des impédances du système directe inverse homopolaire.....	40
3-9	Analyse des courts-circuits dans un réseau électrique	44
3-10	Résumé des formules des composantes symétriques.....	52

Chapitre 04 Testé et validation

4-1	données du réseau à calculer.....	54
4-2	schémas équivalents des composantes symétriques.....	55
4-2.1	schémas équivalent de composante directe	56
4-2.2	schémas équivalent de composante inverse	57
4-2.3	schémas équivalent de composante homopolaire	58
4-3	matrice d'admittance Y_{bus} et impédance Z_{bus} dans les trois composantes	59
4-3.1	Matrice d'admittance et impédance composante directe.....	59
4-3.2	Matrice d'admittance et impédance composante inverse.....	60
4-3.3	Matrice d'admittance et impédance composante homopolaire.....	61
4-4	Calculs des courants de court circuit	62
4-4.1	Court-circuit triphasé	63
4-4.2	Court circuit monophasé (p-t).....	67
4-4.3	Court circuit biphasé non à la terre (p-p)	70
4-4.4	calculs court circuit biphasé à la terre (p-p-T)	74

Chapitre 05 moyenné de protection

5-1	Rôle et caractéristiques.....	80
5-2	Caractères et conséquences des défauts	81
5-3	Propriétés de la protection.....	81
5-4	Les appareils de coupure et de contrôle	82
5-5	Dispositifs de protection contre les surtensions	83
5-6	Protections ampérométriques et volumétriques	84
5-7	Protection des éléments du réseau électrique.....	85
5-7.1	Protection des jeux de barres.....	85
5-7.2	Protection de transformateurs	86
5-7.3	Protection différentielle	87
5-7.4	Protection des lignes électriques	89
5-7.4.1	protections différentielles longitudinales.....	89
5-7.4.2	protections différentielles transversales	91
5-7.4.3	protections à maximum de courant directionnel	92

INTRODUCTION

Le calcul des courants de court circuit est très compliqué si l'on tient compte des caractéristiques réelles et des régimes de tous les éléments du système énergétique

La méthode de calcul des courants de court circuit sont celles utilisées pour l'analyse des réseaux électriques on distingue :

A/ solution directe du système d'équation obtenu par la méthode des courants des mailles ou par la méthode des tensions nodales.

B/ solution par transformation et réduction du schéma équivalent du réseau

C/ solution par simulation du réseau.

- le choix de l'une de ces méthodes dépend de la taille et la complexité du réseau et des informations sur les données nécessaires pour l'analyse juste avant le défaut
- la solution directe par la résolution du système d'équation est actuellement la plus utilisée en utilisant des programmes appropriés l'utilisation des programmes de calculs permet de calculer un grand nombre de réseaux.
- la solution par transformation et réduction du schéma est utilisée pour résoudre les problèmes de certains réseaux caractérisés par une taille et complexité réduite elle donne la solution à plusieurs nombres de défauts et utilise aussi à des problèmes plus complexes.
- la solution par simulation a l'avantage d'être plus simple l'application grâce à la correspondance élément par élément entre le réseau réel et le réseau simulé.
- devant l'apparition des méthodes numériques elle est généralement limitée à l'étude des petits réseaux et dans les situations où l'ordinateur ne peut pas donner des solutions.

La partie essentielle de l'analyse des réseaux et le calcul des courants des circuits-circuits et celle qui concerne la détermination du schéma équivalent des réseaux durant le défaut on distingue durant l'analyse des défauts deux classes.

La première concerne les défauts symétriques comme (les c.c triphasés)

La 2^{ème} les défauts asymétriques (les autres types des courts circuits)

- ces derniers sont analysés en utilisant la méthode des composantes symétriques.
- L'utilisation de la méthode des composantes symétriques est particulièrement utilisée dans les réseaux triphasés déséquilibrés (c.-à-d.) d'un court-circuit monophasé (p-T) biphasé (ou biphasé terre)..... etc.
- Dans notre travail on a utilisé cette méthode pour calculer les différents types de court-circuit affectant un réseau électrique.
- Contre ce type de défaut sachant que toute installation électrique doit être protégée contre les court-circuit chaque fois qu'il y a une discontinuité électrique.

- La connaissance de l'intensité du courant de court-circuit est indispensable pour dimensionner correctement le matériel constituant les postes essentiellement les disjoncteurs dont le pouvoir de coupeur doit être suffisant pour interrompre les courant des défaut les élevés de plus en cherche à réaliser des système de protection donnant toute sécurité en cas de défaut entre phase ou entre phase terre.

CHAPITRE

01

Généralités

sur

les courts-circuits

1-1. Définition :

Un courant de court circuit se produit généralement lors de la fermeture d'un circuit électrique quelconque sur une impédance nulle ou de faible valeur, c'est le cas d'une mise à la terre accidentelle d'une ou plusieurs phases d'un réseau ou d'un matériel électrique, c'est le cas également d'une connexion accidentelle entre phases ayant une impédance négligeable pour la limitation du courant de court circuit.

On dit aussi que c'est un courant de « défaut » des lors que cela représente un fonctionnement anormal du système et de ces équipements

Le courant de défaut est caractérisé par des valeurs très élevées, en fonction de l'impédance globale vue du point de défaut, ces courants représentent plusieurs fois le courant de nominal (de l'ordre de 10 fois)

1-2 Effet des courants de court-circuit :

les effets et conséquences des court circuit sont extrêmement néfastes pour le matériel et les équipement du réseau électrique, en effet les matériels électriques installés sur réseaux électriques n'étant pas dimensionnés pour supporter des valeurs de courant très élevées .

Ces courants vont donc faire subir au matériel des contraintes d'échauffement excessives pouvant entraîner leur destruction, des dysfonctionnements divers notamment au niveau des matériels de mesure ou des transformateurs de courant ainsi que de télécommunication peuvent aussi être observés.

Il est donc indispensable de protéger ce matériel des effets des courts circuits.

Cette fonction est assurée généralement par un appareil pouvant couper des courants très élevés. Ce sont les disjoncteurs, cependant ces appareils sont liés aux protections ces dernières sont munies d'algorithmes pour la détection de défaut et la coordination au sein d'un réseau, notamment avec les autres protections (sélectivité).

Elles sont variables selon la nature et la durée des défauts, le point concerné de l'installation et l'intensité du courant :

- au point de défaut, la présence d'arcs de défaut, avec

- détérioration des isolants
- fusion des conducteurs
- incendie et danger pour les personnes

Contrôle, comma

- pour le circuit défectueux :
 - les efforts électrodynamique, avec :
 1. déformation des JDB (jeux de barres).
 2. arrachement des câbles.
- sur échauffement par augmentation des pertes joules, avec risque de détérioration des isolants
- pour les autres circuits électriques du réseau concerné ou de réseaux situés à proximité
- les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes.
- la mise hors service d'une plus ou moins grande partie du réseau suivant son schéma et la sélectivité de ses protections,
- l'instabilité dynamique et/ou la perte de synchronisme des machines,
- les perturbations dans les circuits de contrôle, commande,... etc.

1 -3 les causes les plus courantes :

Les causes d'un court circuit peuvent être diverses :

- condition atmosphérique : (coup de foudre, vent, tempête, etc.)

Dans ces conditions climatiques sévères, des claquages diélectriques (à la suite de surtensions temporaires engendrées par la foudre par exemple) ou la destruction partielle de matériel peuvent engendrer des courts circuits.

- vieillessement du matériel :

Ce phénomène engendre des ruptures ou défaillances locales pouvant engendrer des courts circuits.

- défaut d'isolation : Ce défaut est souvent à l'origine de certain court circuit ou l'isolant n'est plus en mesure d'assurer sa fonction d'isolant

conduisant à un contact entre phases où entre spires d'un transformateur par exemple.

Le contact accidentel entre une ligne aérienne et de végétation (arbre) est considéré comme un défaut d'isolation dès lors que la distance d'isolation entre la ligne et la végétation (terre) n'est plus respectée quelque soit la raison (défaut de maintenance ou d'élagage).

➤ défaut de manœuvre et erreurs humaines :

Ce type de manœuvre ou d'erreur est souvent à l'origine de court circuit graves, cela va depuis l'oubli d'une mise à la terre lors d'une maintenance quelconque jusqu'au défaut de manœuvre engendrant des surtensions temporaires susceptibles de provoquer des claquages diélectriques.

➤ vandalisme :

le jet « intentionnel » d'une barre de fer sur ligne aérienne provoque inévitablement un court circuit.

➤ animaux :

Les oiseaux sont souvent à l'origine de court circuit ; le cas de la cigogne du Portugal est célèbre.

En effet, en mai 2000, une des ailes d'une cigogne s'est coincée entre deux phases d'une ligne aérienne du réseau électrique portugais.

UNE réaction inappropriée des protections a conduit à une panne électrique englobant environ la moitié du réseau portugais.

1-4 Importances des calculs de court circuit :

La connaissance des valeurs de courants pouvant être engendré par les courts circuits est indispensable pour le dimensionnement des matériels de protection (Ensemble protection_ disjoncteur) pour les disjoncteurs ces valeurs sont requises pour leur dimensionnement au regard du pouvoir de coupure.

Ce pouvoir de coupure doit être suffisant pour les courants de courts circuits les plus élevés.

Le calcul des courant de court circuit n'implique pas seulement la connaissance des ces courants au point de défaut, mais également la réparation de ces courants

sur les autres lignes et phases du réseau ainsi que leurs conséquences sur les tensions.

Ces valeurs permettent ensuite de choisir les protections les plus adaptées pour chaque type de réseau.

Les courants de court circuit bien qu'ils engendrent des contraintes additionnelles lors de régimes transitoires, sont souvent calculés sur la base du régime permanent.

D'autre part les courants de court circuit, hormis les courts circuits triphasés provoquent des déséquilibres au niveau des courants et des tensions ; de ce fait, les méthodes de calcul se basant sur un équilibre parfait des phases et donc permettant une étude en monophasée ne sont plus valables dans ce cas (sauf bien entendu pour les défauts symétriques).

On fait donc appel à des méthodes spécifiques permettant de traiter des cas dissymétriques ou déséquilibrés.

Les méthodes les plus populaires sont basées sur la transformation de Fortescue

Dites aussi « composantes symétriques » nous n'exposerons donc que cette méthode pour le calcul des courants de court circuit.

1-5 facteurs influents sur la valeur de l'intensité d'un courant de court-circuit :

La valeur de l'intensité du courant de court-circuit en un point donné d'un réseau est fonction :

De la nature des éléments qui constituent le réseau : alternateurs, transformateurs, lignes, câble.

De la structure du réseau : maillé, radial.

Du mode d'exploitation du réseau : neutre isolé ou neutre relié à la terre

De la résistance du défaut.

Du type de défaut : triphasé, biphasé ou monophasé.

1 -6 types de court circuit :

Il existe donc principalement deux types de courts circuits :

-les courts circuits symétriques :

Il s'agit des courts circuits triphasés isolés ou à la terre

-les courts circuits dissymétriques :

Il s'agit des courts circuits suivant :

- court circuit monophasé (phase – terre)
- court circuit biphasé isolé (phase- phase) ou à la terre (phases – phases-terre).

Pour les deux types de court circuit ; ou les défauts peuvent être :

Francs (pas de résistance ou d'impédance de défaut) ou impédances (ayant une résistance ou impédance de défaut).

Les courts circuits triphasés en engendrer en générale les courants de défaut les plus élevés, donc les pouvoirs de coupure des disjoncteurs est souvent définis par les valeurs de ces courants.

1-7 Caractéristiques des courts-circuits :

Ils sont principalement caractérisés par :

- ✚ **leurs durées** : auto-extincteur, fugitif ou permanent.
 - ✚ **leurs origines** : mécaniques (rupture de conducteurs, liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger conducteur tel que outils ou animaux) surtensions électriques d'origine interne ou atmosphérique.
1. ou à la suite d'une dégradation de l'isolement, consécutive à la chaleur, l'humidité ou une ambiance corrosive ;
 - ✚ **leurs localisations** : interne ou externe à une machine ou à un tableau électrique.
 - monophasés : 80 % des cas ;
 - biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés ;
 - triphasés : 5 % seulement dès l'origine.

Elles sont variables selon la nature et la durée des défauts, le point concerné de l'installation et l'intensité du courant :

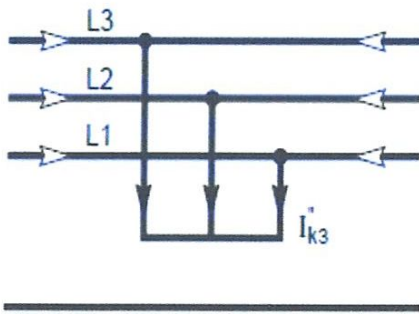
- Au point de défaut, la présence d'arcs de défaut, avec :

- Détérioration des isolants
- Fusion des conducteurs,
- Incendie et danger pour les personnes ;

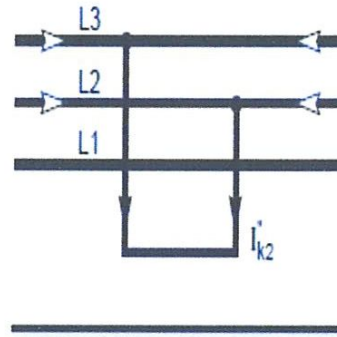
Pour le circuit défectueux :

- Les efforts électrodynamiques, avec :
 - déformation des JdB (jeux de barres),
 - arrachement des câbles ;
- Sur échauffement par augmentation des pertes joules, avec détérioration des isolants,
- pour les autres circuits électriques du réseau concerné ou de réseaux situés à proximité :
- les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes,
- la mise hors service d'une plus ou moins grande partie du réseau suivant son schéma et la sélectivité de ses protections,
- L'instabilité dynamique et/ou la perte de synchronisme des machines,
- les perturbations dans les circuits de contrôle commande.....etc

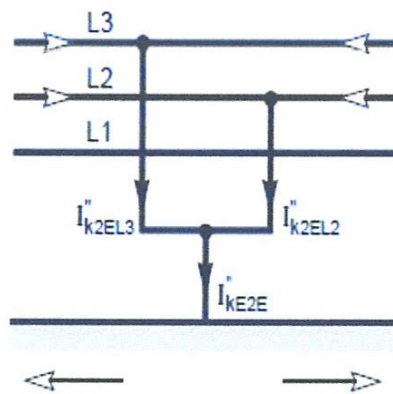
a) court-circuit triphasé



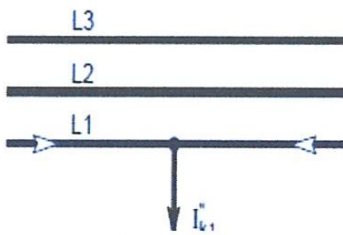
b) court-circuit biphasé, isolé



c) court-circuit biphasé - terre



d) court-circuit phase-terre



courant de court-circuit,
 courants de court-circuit partiels dans les conducteurs et la terre.

CHAPITRE

02

MEDALISATION

DU

SYSTEME ELECTRIQUE

2-1 représentations des réseaux électriques :

La formulation des équations de réseau électrique passe par la définition d'un modèle mathématique cohérent et exact qui décrit les caractéristiques des composantes individuelles (machines, lignes, transformateur, impédances) et les relations d'interconnexion entre ces composants.

L'équation matricielle constitue un modèle adapté au traitement mathématique et informatique sous un aspect systémique.

Cette représentation matricielle correspond à la nature des grandeurs sur lesquelles doit porter l'étude : lorsqu'il s'agit des tensions ce sera des matrices impédances tandis que dans le cadre de l'analyse des courant les matrices admittance seront privilégiées.

Le réseau électrique décrit par trois grands types de matrice :

- les matrices élémentaires.
- les matrices d'incidence.
- les matrices de transfert.

2-1-1 Les matrices élémentaires :

On appelle « réseau élémentaire » l'ensemble des composants de réseau muni des conditions de couplage électrique et magnétique.

Chaque composant est défini par les nœuds de départ et d'arrivée que l'on appellera p et q et l'impédance Z_{pq} ou l'admittance $y_{pq} = 1/Z_{pq}$ du composant.

Les générateurs sont en outre caractérisés par une force électromotrice E_{pq} ou une source de courant I_{pq} insérée dans la branche représentative de l'élément.

Selon la nature du composant que l'on souhaite représenter, il est possible d'utiliser une représentation sous forme d'impédance ou sous la forme d'admittance.

A. Equation en impédance :

Lorsque le générateur est modélisé par une force électromotrice la représentation en terme d'impédance conduit à utiliser le schéma de la figure 2.1 ci-dessous, ce qui conduit à l'équation (2-1) dans laquelle v_{pq} représente la tension aux bornes de l'élément.

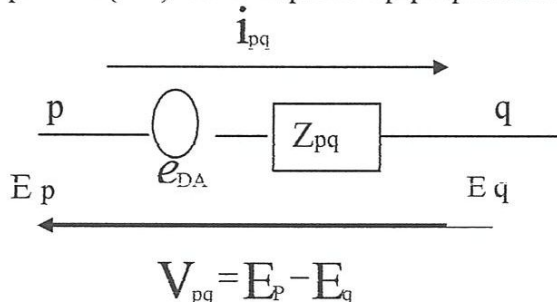


Fig. 2-1 Elément représenté sous la forme impédance

$$V_{pq} + e_{pq} = Z_{pq} + i_{pq} \dots \dots \dots 2-1$$

On donc :

- V_{pq} Représente la tension aux bornes de l'élément.
- e_{pq} Une force électromotrice.
- Z_{pq} L'impédance conduit.
- i_{pq} Courante insérée dans la branche représentative

B. Equation en admittance :

lorsque le générateur est une source de courant j , il est préférable d'utiliser une représentation en termes d'admittance qui alors celle du schéma de la figure 2-2 ce qui conduit à l'équation (2-2) compte tenu de ce schéma :

$$i_{pq} + j_{pq} = y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots 2-2$$

$$j_{pq} = -y_{pq} \cdot e_{pq}$$

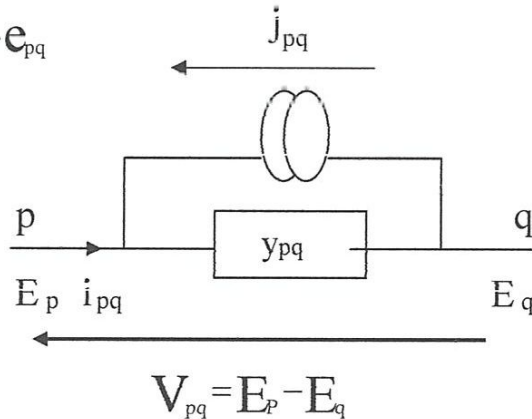


Fig 2-2 Elément représenté sous la forme admittance

On a :
On donc :

- V_{pq} Représente la tension aux bornes de l'élément.
- Z_{pq} L'impédance conduit.
- j_{pq} Courante insérée dans la branche représentas

La matrice du réseau élémentaire est une matrice dont les éléments diagonaux sont les impédances de chacune des arêtes du réseau impédance que l'on appellera impédance propre et qui sera affectée de la double numérotation $Z_{pq,pq}$

pour indiquer que c'est l'impédance propre de l'arête pq tandis que les l'impédance de couplage entre les arêtes pq et seront notées $Z_{pq,rs}$ et seront des éléments non diagonaux de la matrice.

Comme en général une ligne est couplée à une ou au maximum à deux autre ligne, il n'y aura que peu d'éléments non diagonaux qu'une numérotation adaptée permettra de placer au voisinage de la diagonale principale.

Soient les vecteur v et i représentée sur la figure (2-3) la matrice d'impédance du réseau élémentaire est matrice z telle que les diagonaux soient $Z_{pq,pq}$ et les éléments de couplage $Z_{pq,rs}$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_{12} \\ I_{13} \\ \vdots \\ I_{23} \\ \vdots \\ I_{pq} \end{bmatrix} \quad \mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_{12} \\ V_{13} \\ \vdots \\ V_{23} \\ \vdots \\ V_{pq} \end{bmatrix} \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{12} & \vdots & \dots & \dots \\ Z_{13} & \vdots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots \\ Z_{23} & \vdots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{pq} & Z_{pq,rs} & \vdots & Z_{pq,pq} \end{bmatrix}$$

2-1-2 Les matrices d'incidence :

Les matrices d'incidence ainsi que nous l'avions indiqué plus haut caractérisent les relations entre les éléments de réseau appelés généralement arêtes et les nœuds de connexion de ces éléments.

On a dans sous matrices trois types :

Matrice d'incidence arêtes- sommets « A »

Matrice d'incidence arêtes- coupures fondamentales « B »

Matrice d'incidence arêtes- circuits fondamentaux « c »

➤ Matrice d'incidence arêtes- sommets « A » :

C'est une matrice A de terme général (a_{ij}) et de dimension (e x n) telle que :

$a_{ij} = 1$: si l'arête i est incidente au sommet j et orientée vers ce sommet.

$a_{ij} = -1$: si l'arête i est incidente au sommet j et orientée en s'éloignant de ce sommet.

$a_{ij} = 0$: si l'arête i est non incidente au sommet j

Quelle que soit la ligne i :

$$\sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} = 0 \dots\dots\dots 2.3$$

En effet sur une même ligne correspondant à l'arête référencée par i, il n'y a que deux éléments non nuls.

le premier qui correspond au nœud de départ avec la valeur -1

La propriété énoncée ci-dessus entraîne que la matrice est forcément de rang inférieur à n.

➤ Matrice d'incidence arêtes accès : « A' »

Elle correspond à la matrice d'incidence arêtes- sommets dans laquelle le choix d'un sommet de référence (pour le potentiel) conduit à supprimer une colonne de la matrice « A » (en général la première)

Cette matrice est de rang n-1.

➤ Matrice d'incidence arêtes- coupures fondamentales « B » :

C'est une matrice B de terme général (bij) et de dimension (e x b) telle que :

bij =1 : si la i^{ème} arête appartient à la j^{ème} coupure fondamentale avec même orientation.

bij =-1 : si la i^{ème} arête appartient à la j^{ème} coupure fondamentale avec orientation contraire.

bij =0 : si la i^{ème} arête n'appartient pas à la j^{ème} coupure fondamentale.

➤ Matrice d'incidence arêtes- circuits fondamentaux « c » :

C'est une matrice B de terme général (cij) et de dimension (e x b) telle que :

cij =1 : si la i^{ème} arête appartient au j^{ème} circuit fondamentale avec même orientation.

cij =-1 : si la i^{ème} arête appartient à la j^{ème} circuit fondamentale avec orientation contraire.

cij =0 : si la i^{ème} arête n'appartient pas à la j^{ème} circuit fondamentale.

2-1-3 Les matrices de transfert :

Ce sont des matrices qui décrivent de manière mathématique le comportement électrique du réseau maillé.

Ce sont essentiellement des matrices d'impédance ou d'admittance qui sont rapportées aux nœuds du réseau (matrice nodales).

les matrices de transfert nodales :

Considérons un réseau comprenant n sommets parmi lesquels nous choisissons un sommet de référence auquel seront rapportées toutes les tensions : par autre sommets deviennent alors des accès qui sont caractérisés par les tensions $E_1, E_2, E_3, \dots, E_p, \dots, E_{n-1}$ en chacun de ces accès et les courant $I_1, I_2, \dots, I_p, \dots, I_{n-1}$ qui y sont injectés.

Cette représentation permet de ramener l'analyse du réseau à ses composants, tels qu'ils sont vus de l'extérieur sans tenir compte de la structure interne qui sera représentée par les matrices de transfert.

Nous définissons alors le vecteur E_{bus} forme de l'ensemble des tensions nodales et dont le dont le terme générale est :

$$E_{bus} = \langle E_p \rangle.$$

Et le vecteur I_{bus} formé par l'ensemble des courant injectés aux nœuds dont le terme général s'écrit :

$$I_{bus} = \langle I_p \rangle$$

$$E_{bus} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_{n-1} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad I_{bus} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_{n-1} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots 2.4$$

Le fonctionnement du réseau est alors modélisé par les relation entre ces grandeurs à travers des matrices que l'on appelle Z_{bus} qui porte le nom de matrice de transfert des impédance nodales (ou en bref de matrice d'impédance nodale) et Y_{bus} qui sera appelée matrice de transfert des admittances nodales (ou en bref matrice d'admittance nodale).

Ces relations sont exprimées par les équations (2-2) et (2-3) ci-dessous :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{bus} = Y_{bus} \cdot E_{bus} \quad \dots\dots\dots 2-5 \\ \text{Matrices des admittances de transfert (nodales)} \\ \\ E_{bus} = Z_{bus} \cdot I_{bus} \quad \dots\dots\dots 2-6 \\ \text{Matrices des impédances de transfert (nodales)} \end{array} \right.$$

➤ les matrices de transfert de mailles :

Considérons un réseau dans lequel il y a m circuits fondamentaux ou mailles qui sont parcourues par des courants i_1, i_2, \dots, i_m et nous appelons e_1, e_2, \dots, e_m Les sources de tensions insérées à l'intérieur de chaque maille.

Nous appelons \mathbf{I}_m respectivement \mathbf{E}_m les vecteurs de terme général $\mathbf{I}_m = \langle i_k \rangle$

Respectivement $\mathbf{E}_m = \langle e_k \rangle$.

Le fonctionnement du réseau dans ce référentiel de courant et de tension est exprimé à l'aide des équations qui relient les courants de maille aux tensions injectées à l'intérieur de chaque maille.

Ces relations sont exprimées de manière matricielle par des matrices de transfert des impédances de maille (ou en bref matrice d'impédance de maille) nommée \mathbf{Z}_m et respectivement la matrice de transfert des admittances de maille (ou en bref matrice des admittances de maille) nommée \mathbf{Y}_m .

$$\mathbf{E}_m = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e \\ \vdots \\ e_m \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad \mathbf{I}_m = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_p \\ \vdots \\ i_m \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots 2.7$$

Les relations entre \mathbf{E}_m et \mathbf{I}_m sont exprimées à travers ces matrices de transfert par les équations (2-4) et (2-5)

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{I}_m = \mathbf{Y}_m \cdot \mathbf{E}_m \quad \dots\dots\dots 2-8 \\ \text{Matrices des admittances de transfert (maille)} \\ \\ \mathbf{E}_m = \mathbf{Z}_m \cdot \mathbf{I}_m \quad \dots\dots\dots 2-9 \\ \text{Matrices des impédances de transfert (maile)} \end{array} \right.$$

Les liens entre ces matrices peuvent être décrits par l'équation opératoire suivante de la figure (2-3) qui exprime que les matrices de transfert sont construites à partir des matrices élémentaires et de matrice d'incidence par des opérations de composition complexes.

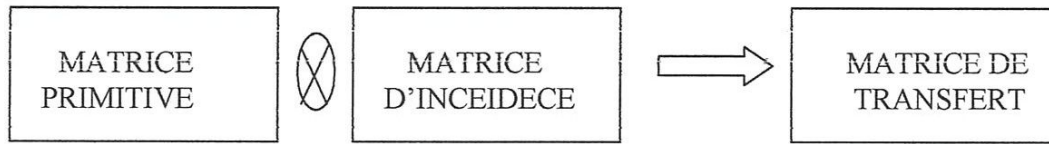


Figure2-3 Matrice de réseau

Bien entendu il existe un lien très fort entre les matrices de transfert, les matrices d'impédance ou d'admittance nodale et les matrices d'incidence.

Considérons les équations matricielles du réseau élémentaire (relation 2.2) :

$$\mathbf{i} + \mathbf{j} = \mathbf{y} \cdot \mathbf{v}$$

Multiplions matriciellement les deux membres de cette équation par la transposée \mathbf{A}^t de la matrice \mathbf{A} .

$$\mathbf{A}^t(\mathbf{i} + \mathbf{j}) = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{y} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{A}^t \mathbf{i} + \mathbf{A}^t \mathbf{j} = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{y} \cdot \mathbf{v} \dots\dots 2.10$$

On a

$\mathbf{A}^t \mathbf{i}$ est égale à la somme des courants arrivant en chacun des nœuds du réseau, ce qui est injecté en chaque nœud soit \mathbf{I}_{bus} .

on en déduit donc que :

$$\mathbf{I}_{bus} = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{y} \cdot \mathbf{v}$$

calculons maintenant la puissance totale qui circule dans le réseau.

Cette puissance est la même que le réseau soit représenté sous la forme des tensions et des courants nodaux ou par le réseau sous sa forme élémentaire. Il s'ensuit que :

$$P = (\mathbf{I}_{bus})^{*t} \mathbf{E}_{bus} = \mathbf{j}^{*t} \cdot \mathbf{v}$$

ET :

$$\mathbf{I}_{bus} = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{j}$$

Donc :

$$\left(\mathbf{I}_{\text{bus}} \right)^{*t} = \left(\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{j} \right)^{*t}$$

et comme la matrice A est composée de nombres réels :elle est égale à sa conjuguée ($A=A^*$) et donc :

$$\mathbf{j}^{*t} \mathbf{A} \mathbf{E}_{\text{bus}} = \mathbf{j}^{*t} \mathbf{V}$$

ce qui est vrai quel que soit le vecteur j et donc implique que :

$$\mathbf{V} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{E}_{\text{bus}}$$

et comme :

$$\mathbf{I}_{\text{bus}} = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{y} \cdot \mathbf{V}$$

Il vient :

$$\mathbf{A}^t \mathbf{y} \cdot \mathbf{A} \mathbf{E}_{\text{bus}} = \mathbf{Y}_{\text{bus}} \cdot \mathbf{E}_{\text{bus}}$$

Soit en conclusion :

$$\mathbf{Y}_{\text{bus}} = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{y} \cdot \mathbf{A} \quad \dots\dots\dots 2.11$$

Et

$$\mathbf{Z}_{\text{bus}} = \left(\mathbf{Y}_{\text{bus}} \right)^{-1} \quad \dots\dots 2.12$$

2-2 Formation de la matrice Ybus (matrice admittance) :

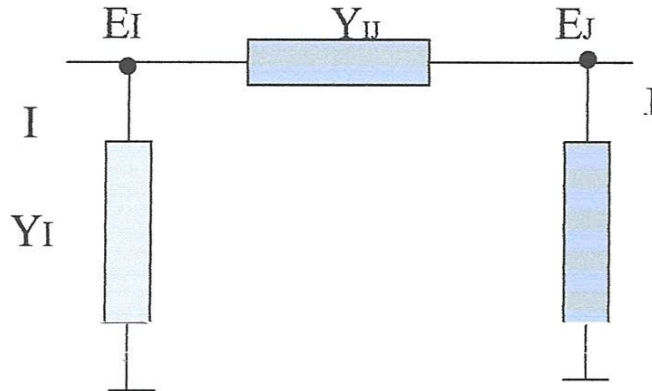


Fig. 2-4 : Élément du réseau (ligne. câble)

Considérons un élément de réseau à des nœuds $1..2...j....k ..$ Chaque composante est représentée par un quadripôle formé d'un élément en série entre les nœuds i et j et de plieurs éléments en parallèle reliés au nœud référence (Défini comme le nœud de référence des tensions) ainsi que la montre le schéma de figure2-4.

Le schéma de la figure 2-5 permet d'illustrer la mise en équation d'une partie de réseau formé d'un nœud i connecté à des nœuds voisine $1....j....k.$

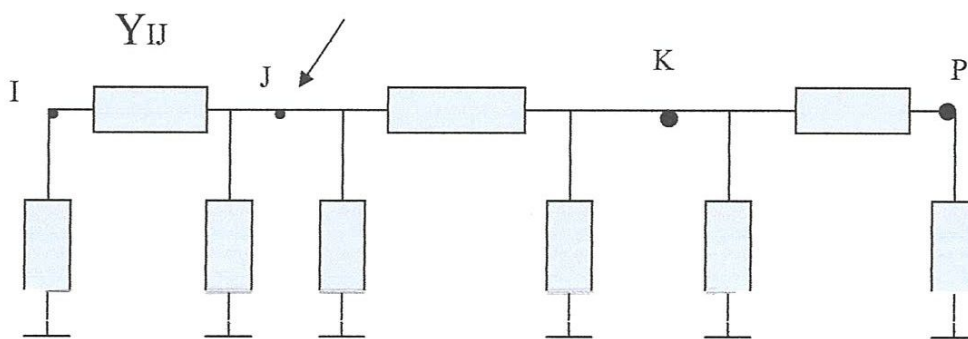


Figure 2-5 parties de réseaa

Donc le matrice d'admittance Y_{bus} de ce réseau qui présente dans la figure 2-5

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{JJ} & Y_{IJ} & 0 & 0 \\ Y_{IJ} & Y_{II} & Y_{IK} & 0 \\ 0 & Y_{IK} & Y_{KK} & Y_{KP} \\ 0 & 0 & Y_{PK} & Y_{PP} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2-13$$

Le nœud I est relié au nœud j par l'admittance Y_{IJ} et au nœud de référence par l'admittance Y_{ij}

Le nœud j est au nœud i par l'admittance Y_{ij} au nœud de référence par l'admittance et Y_{ij} au nœud k par l'admittance et Y_{ik} au nœud de referance coté nœud k par Y_{ijk} .

Soient $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_j$ les tensions complexes qui apparaissent aux nœuds 1,2,...,i,...,j. quand un courant I_i est injecté au nœud i.

Ces tensions et le courant I_i sont liés par l'équation (2-6) :

$$I_i = \left[\sum_{j \neq i} Y_{ij} \right] E_i + \sum_{j \neq i} Y_{ij} (E_i - E_j)$$

$$I_i = \left[\sum_{j \neq i} (Y_{ij} + Y_{ij}) \right] E_i + \sum_{j \neq i} (-Y_{ij} E_j) \dots\dots\dots 2-14$$

$$I_i = Y_{ij} E_i + \sum_{j \neq i} Y_{ij} E_i$$

Nous en déduisons l'expression des termes généraux d' Y_{bus} en fonction des admittances des éléments du réseau par identification des termes d' Y_{bus} :

On donc :

$$Y_{ii} = \sum (Y_{ij} + Y_{ij})$$

$$Y_{ij} = -Y_{ij} \dots\dots\dots 2-15$$

D'après les l'équation (2-2) de la matrice des admittances de transfert (nodales) on a donc :

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot E_{bus}$$

$$\begin{bmatrix} I_j \\ I_i \\ I_k \\ I_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{jji} & Y_{ij} & 0 & 0 \\ Y_{ij} & Y_{ii} & Y_{ik} & 0 \\ 0 & Y_{ik} & Y_{kk} & Y_{kp} \\ 0 & 0 & Y_{pk} & Y_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_j \\ V_i \\ V_k \\ V_p \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2-16$$

Donc :

$$I_{bus} = \begin{bmatrix} I_j \\ I_i \\ I_k \\ I_p \end{bmatrix} = Y_{bus} \begin{bmatrix} V_j \\ V_i \\ V_k \\ V_p \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.17$$

2-3 Formation de la matrice Zbus (matrice l'impédance) :

La formation de la matrice ybus est simple car elle procède d'une composition directe des admittances. d'autre part, il n'y a qu'un nombre restreint de connexions entre les différents éléments du réseau ce qui lui donne la structure d'une matrice « creuse », c'est-à-dire qu'il n'y a qu'un petit nombre d'éléments non nuls, ce qui facilite encore sa construction.

En revanche cette structure particulière n'a pas d'influence sur la constitution de zbus qui est son inverse.

En fait, cette propriété particulière de ybus pourrait être utilisée pour la construction directe de zbus car une inversion de matrice n'est autre que la résolution d'un système linéaire égal à l'ordre de la matrice creuse par triangularisation de cette matrice est facilitée lorsque cette dernière n'a qu'un petit nombre d'éléments non nuls.

Cependant la grande taille des matrices ybus et zbus dont les éléments sont de surcroît complexes rend toute construction de zbus par inverse directe très coûteuse en temps de calcul.

DONC ON :

$$Z_{bus} = [Y_{bus}]^{-1}$$

Zbus ou la matrice d'impédance de réseau dans la figure 2-5

$$Z_{bus} = \begin{bmatrix} Z_{jj} & Z_{ij} & 0 & 0 \\ Z_{ij} & Z_{ii} & Z_{ik} & 0 \\ 0 & Z_{ik} & Z_{kk} & Z_{kp} \\ 0 & 0 & Z_{pk} & Z_{pp} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.18$$

D'après les l'équation (2-3) la matrice des impédances de transfert (nodales) :

$$E_{bus} = Z_{bus} \cdot I_{bus}$$

$$\begin{bmatrix} V_j \\ V_i \\ V_k \\ V_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{jj} & Z_{ij} & 0 & 0 \\ Z_{ij} & Z_{ii} & Z_{ik} & 0 \\ 0 & Z_{ik} & Z_{kk} & Z_{kp} \\ 0 & 0 & Z_{pk} & Z_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_j \\ I_i \\ I_k \\ I_p \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2-19$$

2-4 Utilisation des unités relative et les valeurs en pour cent :

-les valeurs en unité relative (u.r) :

On peut comprendre le principe de base de la méthode d'unité relative, on se basant sur l'application de la loi d'ohm sur une impédance Z . la tension V produite au passage d'un courant I à travers l'impédance est donné par

$$V = I Z$$

ON V et I sont les valeurs vectrices et Z est l'impédance complexe, tout les valeurs sont exprimées en nombre complexe soit V_{base} et I_{base} des valeurs réels de tension on volt et de courant en ampères .

La dernière équation peut écrite :

Qui en unité relative (u.r) s'écrit :

$$\left[\frac{V}{V_{base}} \right] = \left[\frac{IZ}{V_{base}} \right] \left[\frac{I_{base}}{I_{base}} \right] = \left[\frac{I}{I_{base}} \right] \left[\frac{I_{base} \cdot Z}{V_{base}} \right] \quad 2.20$$

V

$$(u.r) = I (u.r) \cdot Z (u.r)$$

Les valeurs en unité relative de la tension, le courant et l'impédance sont données par :

$$V_{(u.r)} = \frac{V}{V_{base}} \quad 2.21$$

$$I_{(u.r)} = \frac{I}{I_{base}} \quad 2.22$$

$$Z_{(u.r)} = \frac{Z}{Z_{base}} = \left(\frac{I_{base}}{V_{base}} \right) \cdot Z \quad 2.23$$

Ou l'impédance de base est donné par :

$$V_{base} = \frac{Z_{base}}{I_{base}} \quad 2.24$$

On note que les valeurs de base de tension, courant et impédance sont des valeurs réels, et les valeur en unité relative de tension $V(u.r)$, de courant $I(u.r)$ et impédance $Z(u.r)$ sont des nombres complexe qui ont la même argument que V , I et Z

-Les valeurs en pour cent

Dans l'analyse des réseaux électriques ont exprime parfois les valeur d'impédance en plus on unité relative en pour la loi d'OHM, on peut l'exprimer en pour cent comme suit :

$$V\% = \frac{I\%Z\%}{100} \quad 2.25$$

L'utilisation des valeurs en unités relatives et pour-cent des tensions, courants et impédances dans l'analyse des réseaux électriques doivent-être exprimer par rapport à une valeur commune de puissance de base (S_{base} en MVA par exemple).

L'expression de l'impédance en unité relative ou en pour-cent est Donnée par la formule suivante :

$$\left(\begin{array}{l} Z(u.r) \text{ ou } Z\% \\ \text{par rapport à } S_{base} \end{array} \right) = \left(\frac{S_{base}}{S_N} \right) \left(\begin{array}{l} Z(ur) \text{ ou } Z \% \\ \text{par rapport à } S_N \end{array} \right) \quad 2.26$$

On général en prend des valeurs, des valeurs standards de S_{base} comme : 100MVA ou 1000 MVA.

CHAPITRE

03

METHODE

DE

CALCULE

DES COURTS- CIRCUITS

3-1 Représentation complexé d'une simple phase :

Les composantes électrique d'un réseau électrique triphasé comme : les générateurs, les transformateur, les lignes, les câbles... etc. peuvent tous fonctionnés dans un système triphasé avec paramètres électriques symétrique.

Les tensions de trois phases par rapport au n'importe quel du réseau doivent être égaux et décalées l'un par rapport à l'autre de 120° l'ordre de phase est le même que, celui généré par les générateurs. connue sous le nom 'ordre de la composante directe)

Les courants et les tensions de cette séquence sont représentés par le diagramme vectoriel de la figure 3-1

La relation mathématique entre les courants et les tensions de phases est donné par les formules suivant

$$EI \quad \left(\begin{array}{l} I_b = a^2 I_a \\ I_c = a I_a \\ V_b = a^2 V_a \\ V_c = a V_a \end{array} \right) \quad 3-1$$

Où les termes a, b et c sont les trois phases de composante direct, en prenant la phase a comme phase de référence.

a est un constante égale à :

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1 \angle 120^\circ \quad 3-2$$

est appelé opérateur 120°

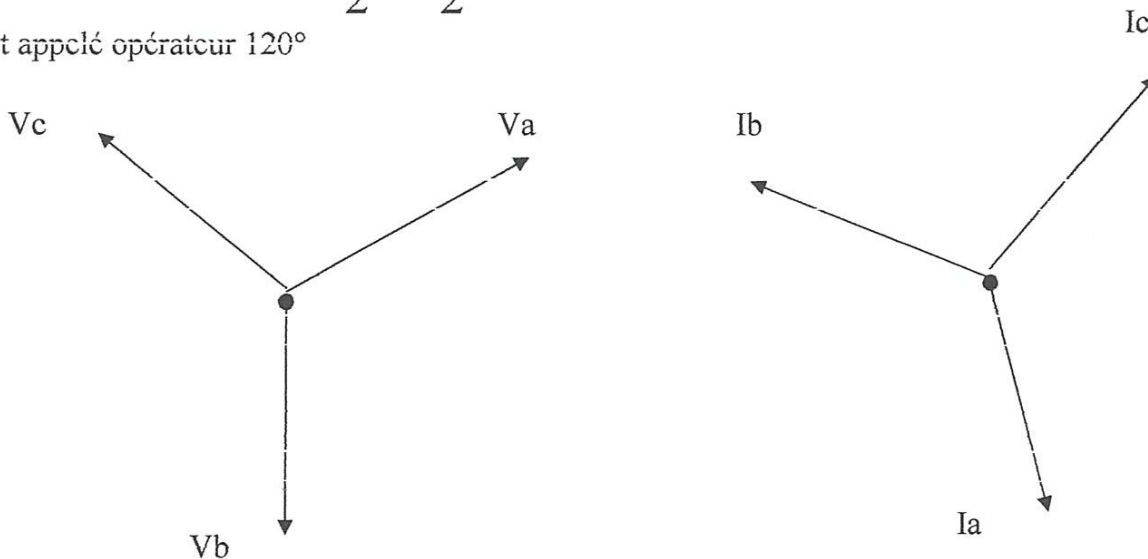


Fig 3-1 digramme de phase des courants et des tensions pour la composante directe.

On note que la multiplication d'un vecteur par l'opération adonne un vecteur résultant de même module et décalé de 120° en avance dans le sens antihoraire par rapport au premier vecteur.

$$\left(\begin{array}{l} a = 1 \angle 120^\circ = 1 \angle -240^\circ \\ a^2 = 1 \angle 240^\circ = 1 \angle -120^\circ \\ 1 + a + a^2 = 0 \end{array} \right) \quad 3-3$$

3-2 COMPOSANTES SYMETRIQUE

Le calcul des courts-circuits asymétriques dans les réseaux triphasés, n'est possible que par l'utilisation des composantes en n'importe quel système de Vecteur triphasé asymétrique de tension ou de courant peut être remplacé par la somme de trois systèmes de vecteurs, qui sont :

- La composante directe composée de trois vecteurs de même module et décalés de 120° l'un par rapport à l'autre, l'ordre de phase est le même que celui des générateurs.
- La composante inverse composée de trois vecteurs de même module et l'ordre des phases est l'inverse que celui de la composante directe.
- La composante homopolaire composée de trois vecteurs de même modules et phases.

ces, trois systèmes des vecteurs sont représentés par la figure (1-2) ; le sens de rotation de ces trois de vecteur est le sens «

horaire » ce qui donne pour la composante directe l'ordre de phase a, c, b, et pour la composante inverse a, b, c.

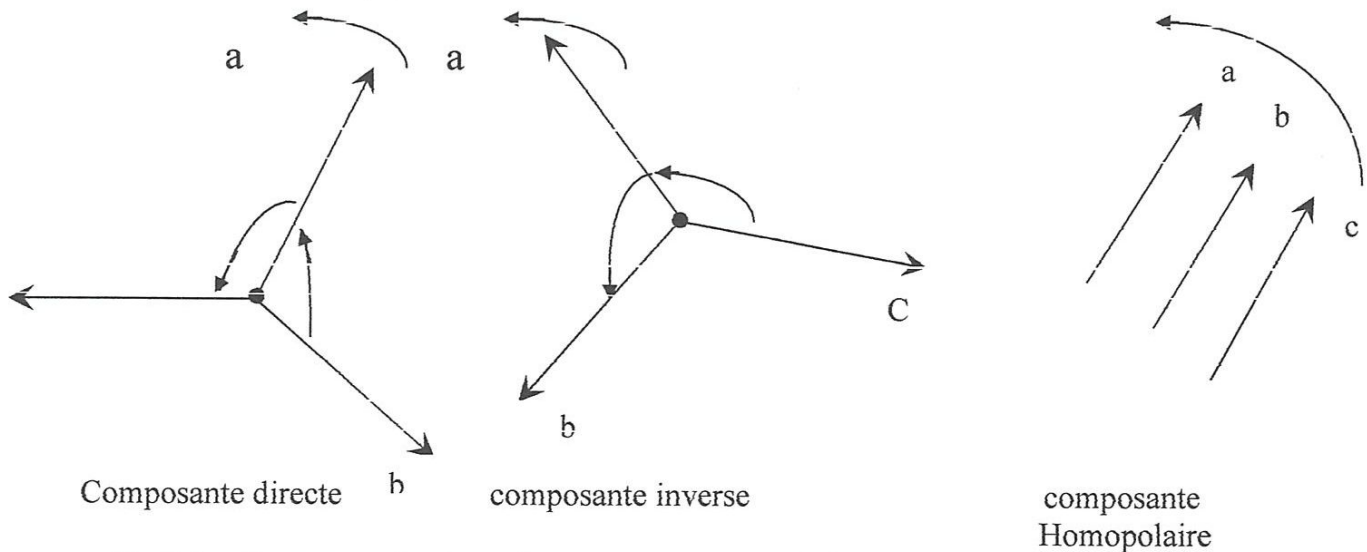


Fig.3-2 : diagramme de phase des composantes symétriques

3-3 Relation entre les vecteurs de phases et leurs composantes symétriques :

Soit I_a , I_b , et I_c trois vecteurs de phases de phases asymétrique ou a, b, c sont les trois phases et on désigne par 1, 2 et 0 les composantes : directe, inverse et homopolaire respectivement .

Donc les vecteurs des trois systèmes symétriques seront :

-pour la composante directe :

$$I_{a1}, I_{b1} = a^2 I_{a1} \quad \text{et} \quad I_{c1} = a I_{a1} \quad \dots\dots\dots 3-4$$

pour la composante inverse :

$$I_{a1}, I_{b1} = a^2 I_{a1} \quad \text{et} \quad I_{c1} = a^2 I_{a2} \quad \dots\dots\dots 3-5$$

- pour la composante homopolaire :

$$I_{a0}, I_{b0} = I_{a0} \quad \text{et} \quad I_{c0} = I_{a0} \quad \dots\dots\dots 3-6$$

Avec a est un opérateur de phase $a=1$

Donc on peut écrire

$$\left(\begin{array}{l} I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \\ I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \end{array} \right) \quad 3-7$$

Ces équations peuvent écrire par rapport à une phase de référence (phase a) comme suit :

$$\left(\begin{array}{l} I_a = I_1 + I_2 + I_0 \\ I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \\ I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \end{array} \right) \quad 3-8$$

Ci qui donnent

$$\begin{pmatrix} I_1 = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \\ I_2 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \\ I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \end{pmatrix} \quad 3-9$$

De la même manière que les courants, on peut appliquer les même formules sur les tensions et on aura par rapport à la phase de référence (a) :

$$\begin{pmatrix} V_a = V_1 + V_2 + V_0 \\ V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0 \\ V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0 \end{pmatrix} \quad 3-10$$

Ce qui donne pour les composantes symétriques :

$$\begin{pmatrix} V_1 = \frac{1}{3} (V_a + a V_b + a^2 V_c) \\ V_2 = \frac{1}{3} (V_a + a^2 V_b + a V_c) \\ V_0 = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \end{pmatrix} \quad 3-11$$

3-4 composantes symétriques et matrice d'impédance / admittance :

Supposant les vecteurs de tension et de courant de phase sont liés par une matrice d'impédance / admittance de tel sorte que :

$$\bar{V}_P = [\mathbf{Z}] \cdot \bar{I}_P \quad \bar{I}_P = [\mathbf{Y}] \cdot \bar{V}_P \quad 3-12$$

En utilisant les relations de transformation donnée par 6.3, on obtient :

$$\left\{ \begin{array}{l} [\mathbf{T}] \mathbf{V}_S = [\mathbf{Z}] \cdot [\mathbf{T}] \cdot \mathbf{I}_S \\ \text{Et donc :} \\ \mathbf{V}_S = [\mathbf{T}]^{-1} \cdot [\mathbf{Z}] [\mathbf{T}] \mathbf{I}_S \quad \dots\dots\dots 3-13 \\ \text{On pose :} \\ [\mathbf{Z}]_S = [\mathbf{T}]^{-1} \cdot [\mathbf{Z}] [\mathbf{T}] \\ \text{ET} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\mathbf{T}] \mathbf{V}_S = [\mathbf{Y}] \cdot [\mathbf{T}] \cdot \mathbf{I}_S \\ \text{Et donc :} \\ \mathbf{V}_S = [\mathbf{T}]^{-1} \cdot [\mathbf{Y}] [\mathbf{T}] \mathbf{I}_S \quad \dots\dots\dots 3-14. \\ \text{On pose} \\ [\mathbf{Y}]_S = [\mathbf{T}]^{-1} \cdot [\mathbf{Y}] [\mathbf{T}] \\ \\ [\mathbf{Z}]_S \quad [\mathbf{Z}]_S \end{array} \right.$$

et sont les transformations respectivement des matrices impédance et admittance en composantes symétriques.

Elles donnent la relation entre les vecteurs des composantes symétriques de tension et de courant

3-5 notions de matrices circulantes :

Considérons un système de trois impédance (respectivement trois admittances) couplées ou non, avec une symétrie d'ordre trois, c'est-à-dire insensible à une permutation circulaire de ses bornes.

Ce système est caractérisé par une matrice impédance (respectivement admittance) dite circulante.

de la relation (3-3) on a :

$$\mathbf{V}_P = [\mathbf{Z}] \cdot \mathbf{I}_P \quad \mathbf{I}_P = [\mathbf{Y}] \cdot \mathbf{V}_P \quad \dots\dots\dots 3-15$$

et avec :

$$[Z] = \begin{pmatrix} Z_a & Z_b & Z_c \\ Z_c & Z_a & Z_b \\ Z_b & Z_c & Z_a \end{pmatrix} \dots\dots\dots 3-16$$

lorsque ces matrices subissent une transformation de Fortescue « composante symétrique » via les relation 3-3 alors elles deviennent diagonales. dans le cas des impédance on aura :

$$[Z]_S = [T]^{-1} \cdot [Z][T] \begin{pmatrix} Z_a+Z_b+Z_c & 0 & 0 \\ 0 & Z_a+a^2Z_b+a Z_c & 0 \\ 0 & 0 & Z_a+a Z_b+a^2Z_c \end{pmatrix} \dots\dots\dots 3-17$$

bien entendu , on aura la même forme dans la cas des admittances.

l'expression des impédances donnée par la relation (3-5) peut être écrite sous la forme :

$$[Z]_S = \begin{pmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots 3-18$$

On peut donc constater que la transformation de Fortescue diagonalise toute matrice circulante.

Cette transformation permet de décomposer un système triphasé quelconque en combinaison linéaire de trois systèmes indépendants et chacun équilibré nettement plus simple à étudier.

Cette méthode, développée dans le cas triphasé, se généralise à tout système q phase qui se décompose en q systèmes équilibrés.

Ainsi montre clairement ce découplage au niveau des composantes symétriques :

$$V_S = [Z_S] \cdot I_S$$

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots 3-19$$

Ainsi si les impédance cycliques sous alimentées par un système triphasé équilibré (inverse et homopolaire) de courante, nous obtenons trois système monophasé identiques caractérisée par une seule impédance appelée impédance cyclique directe

Z1 (inverse ou homopolaire) .

Cette caractéristique montre donc bine le découplage résultant dans les trois systèmes symétriques

3- 6-1 calculs des courants de court-circuit symétriques (triphases) :

Le calcul des courants de court-circuit se divise en deux parties le calcul des courants de court-circuit symétrique et calcule de courant asymétrique.

Dans le cas symétrique il n'y a pas de problème le courant de court circuit est déterminé à partir du schéma équivalent de la composante directe du réseau.

Nous allons d'abord présenter le concept, ensuite le généraliser aux grands réseaux en utilisant les matrices de réseaux, notamment les matrices de transfert. La méthode de calcul dans ce cas basée sur l'application de « la méthode de thévenin ».

En effet, le théorème de thévenin est très utile pour déterminer les changements dans les variables (courant/tension) dans les conditions de linéarité, a la suit d'un ajout d'impédance entre deux points du circuit électrique.

Cette méthode permet donc de considérer le court-circuit comme un changement que le réseau subit.

Peut alors applique aisément la méthode de superposition de deux états d'équilibre

Le théorème de thévenin stipule que « les variations que subissent les tensions et courants d'un réseau linéaire à la suite de l'ajout d'une impédance entre deux nœuds du réseau sont identiques aux tensions et courants causés par une f.e.m placée en avec une impédance et de mémé amplitude et déphasage que la tension d'avant le défaut avec tout les autre sources tension court-circuit »

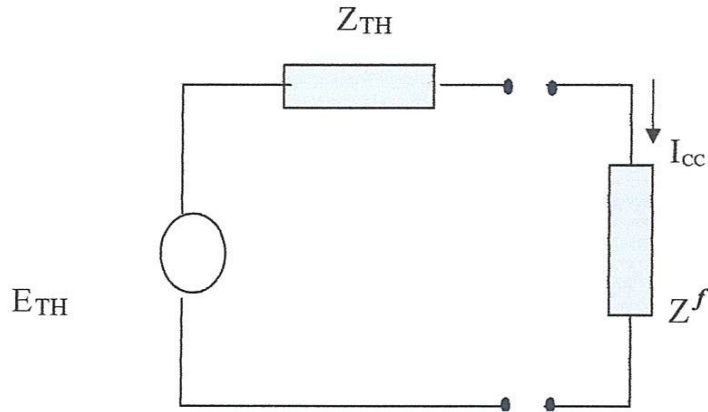


FIG 3-3 : impédance de défaut et circuit équivalent de thévenin

dans le circuit de la figure 3-1 le court circuit peut être représenté par l'addition de la branche d'impédance Z^f (impédance de défaut) au circuit équivalent de thévenin (E_{TH} en série avec Z_{TH}) le courant résultant de ce changement est le courant de court-circuit .

ce courant est donc donnée par :

$$I_{CC} = \frac{E_{TH}}{Z_{TH} + Z^f} \dots\dots\dots 3-20$$

Avec :

E_{TH} : tension de thévenin identique à la tension de défaut notée V^0 au point de défaut.

Z_{TH} : impédance de thévenin cette impédance correspond à celle mesurée vue du point de défaut avec tous les sources de tension court-circuit.

Z^f : Impédance de défaut.

Dans le cas d'un court-circuit France ($Z^f=0$

On aura :

$$I_{CC} = \frac{E_{TH}}{Z_{TH}} = \frac{V^0}{Z_{TH}} \dots\dots\dots 3-21$$

Les courants dans les branches calculés par cette méthode sont donc variations dues au court-circuit (ajout de branches Z^f).

Le courant résultant dans chaque ligne du I^f circuit ou du réseau est donc

Constitué de la somme des valeurs de courant avant le défaut.

\bar{I}^0 Ce représenté le courant de courant avant le défaut.

$\Delta \bar{I}^f$ Représenté la variation de courant causée par le court-circuit.

Donc on :

$$\bar{I}^f = \bar{I}^0 + \Delta \bar{I}^f \quad \dots\dots\dots 3-22$$

(Ajout de l'impédance de défaut Z^f dans le circuit équivalent de Thévenin).

De même pour les tensions, la tension résultante au niveau de chaque nœud i V_i^f
Du circuit ou du réseau est donc constituée de la somme des valeurs de tension avant le V^0 défaut et de la variation causée par le court-circuit.

$$V^f = V^0 + \Delta V^f \quad \dots\dots\dots 3-23$$

3-6-2 calcul des courants de court-circuit asymétrique :

Les réseaux électriques sont des système de grande dimension, le calcul des courants de court-circuit dans le cas des défauts asymétrique il est difficile de calculer directement le courant de court-circuit parce que les paramètres (tension, courant) du réseau dans ces condition sont asymétrique.

On nécessite une généralisation de la méthode de composante symétrique. Pour ce faire, on fera en sorte de toujours se ramener à réseaux « équivalent » équilibrés représentant les composantes ou séquences directe – inverse – homopolaire.

Lorsque survient un court-circuit asymétrique au sein d'un réseau, il faut toujours commencer par déterminer les trois réseaux des composantes symétriques vues du point de défaut

On aura donc trois réseaux équivalents :

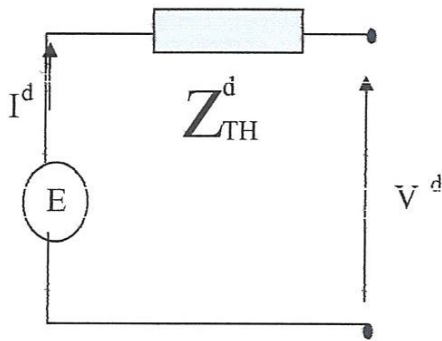


FIG3-4 : schéma équivalente de Thévenin du système directe

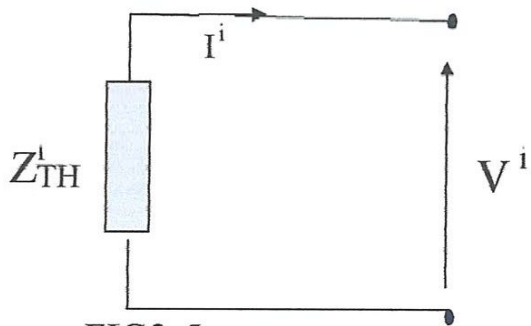


FIG3-5 : schéma équivalente de Thévenin du système inverse

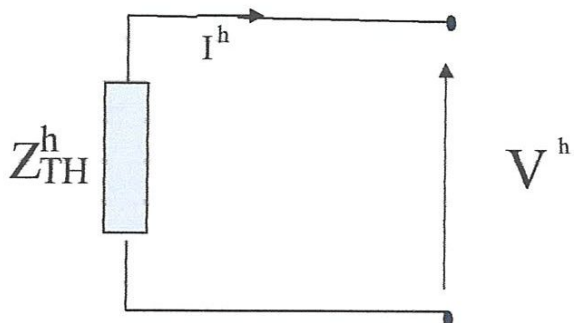


FIG3-6 : schéma équivalente de Thévenin du système homopolaire

3-7-1 calcul des courts circuits symétriques (approche systématique) :

Des lors qu'il s'agit d'effectuer des calculs de court-circuit sur des réseaux de grande dimension les équivalents thévenin deviennent difficiles à obtenir notamment pour l'impédance équivalente Z_{TH} .

Il est donc indispensable de disposer d'approches systématique pouvant être intégrées dans n'importe quel modèle de calcul.

Cette approche est basée sur l'utilisation de matrice de transfert des réseaux

Notamment la matrice Z_{bus} .

Dans un réseau les courants injectés représentés par le vecteur I_{bus} et les tensions nodales représentées par le vecteur V_{bus} sont liés par la relation suivante :

$$V_{bus} = Z_{bus} \cdot I_{bus} \quad \dots\dots\dots 3-24$$

Où Z_{bus} représente la matrice de transfert des impédances du réseau.

Avec :

$$V_{bus} = [V_1 \cdot V_2 \cdots V_p \cdots V_n] \quad 3-25$$

le vecteur des tensions nodales.

$$I_{bus} = [I_1 \cdot I_2 \cdots I_p \cdots I_n] \quad 3-26$$

le vecteur des courants injectés

En généralisation donc la méthode, basée sur le théorème de Thévenin décrite précédemment, sur un réseau représenté par sa matrice de transfert Z_{bus} , la variation dans les courants et tension obtenues à la suite d'un court-circuit en un nœud quelconque « r » du réseau, peuvent être exprimées par :

$$\Delta V_{bus}^f = Z_{bus} + \Delta I_{bus}^f \quad 3-27$$

Dans l'expression (3-27) le vecteur des variations de courants injectés ne contient

Qu'une seule valeur correspondant au courant du nœud en défaut.

en effet le seul changement considéré, dans l'hypothèse de linéarité, dans les courants injectés est celui du courant de court circuit.

Ainsi considérons un court-circuit qui se produit en un nœud « R » quelconque du réseau.

Le vecteur ΔI_{bus}^f devient alors :

$$\Delta I_{bus} = [0, 0 \dots\dots\dots I_R \dots\dots\dots 0] \quad 3-28$$

Par convention, le courant injecté \mathbf{I}_R est dans le sens contraire du courant de court-circuit \mathbf{I}_{CC}

Ainsi que

$$\mathbf{I}_R = -\mathbf{I}_{CC}$$

$$\mathbf{Z}_{bus} = \mathbf{Y}_{bus}^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{11} & \dots & \mathbf{Z}_{1R} & \dots & \mathbf{Z}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{Z}_{R1} & \dots & \mathbf{Z}_{RR} & \dots & \mathbf{Z}_{Rn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{Z}_{n1} & \dots & \mathbf{Z}_{nR} & \dots & \mathbf{Z}_{nn} \end{bmatrix} \quad 3-29$$

en combinant les relation (3-28) et (3-29) avec (3-24) on trouve que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \mathbf{V}_1^f = \mathbf{Z}_{1R} \cdot \mathbf{I}_R^f = -\mathbf{Z}_{1R} \cdot \mathbf{I}_{CC} \\ \Delta \mathbf{V}_2^f = \mathbf{Z}_{2R} \cdot \mathbf{I}_R^f = -\mathbf{Z}_{2R} \cdot \mathbf{I}_{CC} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \Delta \mathbf{V}_R^f = \mathbf{Z}_{RR} \cdot \mathbf{I}_R^f = -\mathbf{Z}_{RR} \cdot \mathbf{I}_{CC} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \Delta \mathbf{V}_n^f = \mathbf{Z}_{nR} \cdot \mathbf{I}_R^f = -\mathbf{Z}_{nR} \cdot \mathbf{I}_{CC} \end{array} \right. \quad 3-30$$

Et d'après la relation on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{V}_1^f = \mathbf{V}_1^0 + \Delta \mathbf{V}_1^f \\ \mathbf{V}_2^f = \mathbf{V}_2^0 + \Delta \mathbf{V}_2^f \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ \mathbf{V}_R^f = \mathbf{V}_R^0 + \Delta \mathbf{V}_R^f \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ \mathbf{V}_n^f = \mathbf{V}_n^0 + \Delta \mathbf{V}_n^f \end{array} \right. \quad 3-31$$

On a finalement les tensions post-défaut en tout point du réseau par les relations :

$$\Delta V_i^f = V_i^0 = -Z_{iR} \cdot I_{CC} \quad 3-32$$

$$\Delta V_R^f = V_R^0 = -Z_{RR} \cdot I_{CC}$$

Pour $i=1, \dots, n$

Sachant que $\Delta V_R^f = Z^f \cdot I_{CC}$ on a donc $Z^f \cdot I_{CC} = V_R^0 - Z_{RR} \cdot I_{CC}$ ce qui nous donne

$$I_{CC} = \frac{V_R^0}{Z^f + Z_{RR}} \quad 3-33$$

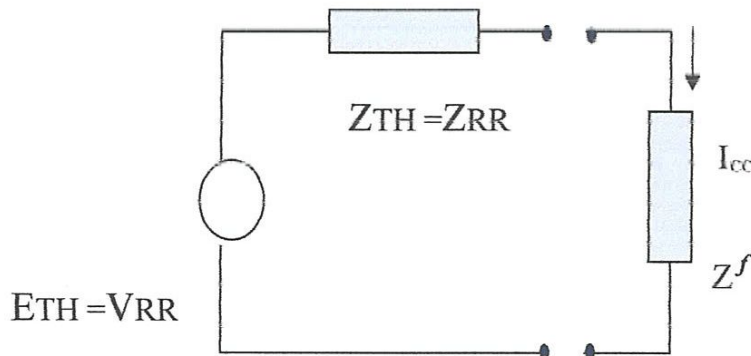


FIG3-7 : impédance de Thévenin dans Z_{bus}

On constate donc que l'impédance équivalente de thévenin est donnée

Directement par Z_{RR} obtenue à partir de la matrice Z_{bus} .

On peut donc dire que Z_{RR} représente l'impédance équivalente de thévenin vue du point « R »

On a donc finalement

On donc finalement :

$$V_i^f = V_i^0 = \frac{Z_{iR}}{Z^f + Z_{RR}} V_R^0 \quad 3-34$$

$$V_R^f = V_R^0 = \frac{Z^f}{Z^f + Z_{RR}} V_R^0$$

3 7-2 calculs des courants de court circuit asymétriques (approche systématique) :

Ces réseaux équivalents vont être modélisés par les matrices de transfert notamment Z_{bus} , on aura alors affalé à trois matrices Z_{bus} :

- réseau équivalent zbus système direct : Z_{bus}^d

- réseau équivalent du système inverse : Z_{bus}^i

-réseau équivalent du système homopolaire : Z_{bus}^h

Une fois les réseaux équivalents des trois système directe, inverse, homopolaire, déterminés, on pourra construire ces matrices de transfert (Y_{bus} ou Z_{bus}) pour chaque réseau équivalent.

Comme on utilise le plus souvent, pour les calculs de courants de court-circuit, les matrices zbus ces dernières peuvent être construites soit pas à pas, soit par inversion de la matrice Y_{bus} .

En passant par les matrices Y_{bus} on aura donc $Y_{bus}^d, Y_{bus}^i, Y_{bus}^h$ pour les systèmes respectivement directs, inverse, homopolaire.

Pour chaque système et donc chaque réseau équivalent on aura la Relation (3-24)

suivante : $V_{bus} = Z_{bus} \cdot I_{bus}$

Pour aurons donc pour le système direct :

$$V_{bus}^d = Z_{bus}^d \cdot I_{bus}^d \quad \dots\dots\dots 3-35$$

Pour le système inverse :

$$V_{bus}^i = Z_{bus}^i \cdot I_{bus}^i \quad \dots\dots\dots 3-36$$

Pour le système homopolaire

$$V_{bus}^h = Z_{bus}^h \cdot I_{bus}^h \quad \dots\dots\dots 3-37$$

On peut aussi représenter les trois équation (3-35), (3-36), (3-37) au sein d'un système d'un système unique

$$V_{s, bus} = Z_{s, bus} + I_{s, bus} \quad 3-38$$

On aura donc trois réseaux équivalents :

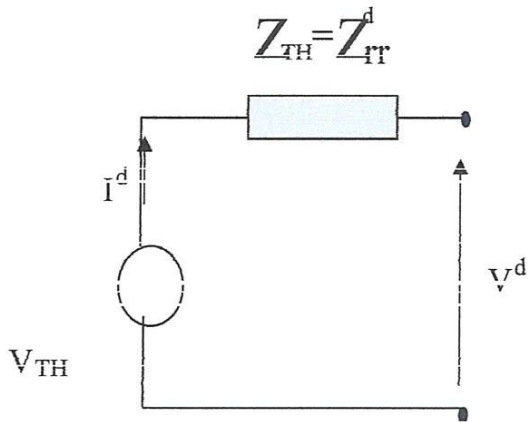


FIG3-8 : schéma impédance de thévenin dans zbus directe

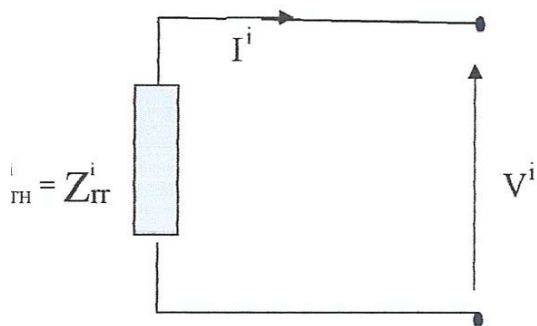


FIG3-9 : schéma impédance de thévenin dans zbus inverse

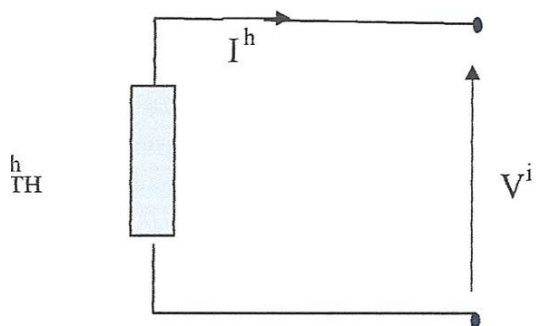


FIG3-10 : schéma impédance de Thévenin dans Zbus homopolaire

Les systèmes (3.38) sera donc de dimension ou :

$$\bar{Z}_{s \bullet bus} = \begin{bmatrix} Z_{S.11} & \cdots & Z_{S.1J} & \cdots & Z_{S.1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{S.J1} & \cdots & Z_{S.JJ} & \cdots & Z_{S.Jn} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{S.n1} & \cdots & Z_{S.nJ} & \cdots & Z_{S.nn} \end{bmatrix} \quad 3-39$$

$$\bar{V}_{S,bus} = \begin{bmatrix} V_{s,1} \\ \vdots \\ V_{s,j} \\ \vdots \\ V_{s,n} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad \bar{I}_{S,bus} = \begin{bmatrix} I_{s,1} \\ \vdots \\ I_{s,j} \\ \vdots \\ I_{s,n} \end{bmatrix} \quad 3-40$$

Chaque élément de $Z_{s,bus}$, de $V_{s,bus}$ et de $I_{s,bus}$ est :

$$Z_{s \bullet ij} = \begin{bmatrix} Z_{ij}^d & 0 & 0 \\ 0 & Z_{ij}^i & 0 \\ 0 & 0 & Z_{ij}^h \end{bmatrix} \quad 3-41$$

$$\bar{V}_{S,j} = \begin{bmatrix} V_j^d \\ V_j^i \\ V_j^h \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad \bar{I}_{S,j} = \begin{bmatrix} I_j^d \\ I_j^i \\ I_j^h \end{bmatrix} \quad 3-42$$

Considérons un court-circuit asymétrique au nœud « j »

On peut exprimer les courant de défaut ainsi que les tensions au nœud « j » sur l'ensemble des trois phases (a, b, c) par :

$$\mathbf{V}_{p,j}^f = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{a,j}^f \\ \mathbf{V}_{b,j}^f \\ \mathbf{V}_{c,j}^f \end{bmatrix} \quad \mathbf{I}_{p,j}^f = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{a,j}^f \\ \mathbf{I}_{b,j}^f \\ \mathbf{I}_{c,j}^f \end{bmatrix} \quad 3-43$$

L'indice « p » indique que ces grandeurs sont dans le repère des valeurs de phases.

La relation liant ces deux vecteurs au point de défaut est

$$\mathbf{V}_{p,i}^f = \mathbf{Z}_{p,i}^f \mathbf{I}_{p,i}^f \quad 3-44$$

Le passage en composantes symétrique donne :

$$\mathbf{V}_{s,j}^f = \mathbf{Z}_{s}^f \mathbf{I}_{s,j}^f = (\mathbf{T}^{-1})^t \mathbf{Z}_{s}^f (\mathbf{T}) \mathbf{I}_{s,j}^f \quad 3-45$$

ET

$$\mathbf{I}_{s,j}^f = \mathbf{Y}_{s}^f \mathbf{V}_{s,j}^f = (\mathbf{T}^{-1})^t \mathbf{Y}_{s}^f (\mathbf{T}) \mathbf{V}_{s,j}^f \quad 3-46$$

En appliquant le principe de l'équation (3-34) (principe de superposition Thévenin) on aura :

$$\mathbf{V}_{S\text{ bus}}^f = \mathbf{V}_{S\text{ bus}}^0 + \mathbf{Z}_{S\text{ bus}} \mathbf{I}_{S\text{ bus}}^f \quad 3-47$$

le vecteur $\mathbf{I}_{S\text{ bus}}^f$ ne contient pas le courant de défaut (au nœud j) est donc de la forme :

$$\mathbf{I}_{S\text{ bus}}^f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -\mathbf{I}_{s,j}^f \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad 3-48$$

Les expressions (5-51) et (3-52) sont générales et peuvent être appliquées à tout court-circuit en tout point du réseau, ces formules permettent de calculer les courants et tensions en composantes symétriques. il faudra ensuite revenir aux valeurs de phase..

3-8 Expressions des impédances du système directe inverse homopolaire :

• 1 impédance des lignes et transformateur :

Les ligne et transformateur sont des éléments statiques, de ce fait les impédances directe et inverse sont identiques.

Elles sont en effet insensibles aux permutations des phases.

$Z_1 = Z_2$ Pour l'impédance homopolaire la situation est différente entre les ligne e les transformateurs

- pour les ligne et câbles :

on adopte généralement les formules suivantes :

-lignes de transport et de répartition

$$Z_1 = j0.42\Omega/km \quad (\text{Résistance négligé}) \dots\dots\dots 3-53$$

- ligne de distribution (section s en mm², supposé en alu) :

$$Z_1 = \left(\frac{33}{s} + j0.36 \right) \Omega / km \quad \dots\dots\dots 3-54.$$

- et pour les deux cas :

$$Z_1 = Z_2 \quad \dots\dots\dots 3-55$$

$$Z_0 = 3Z_1 \quad \dots\dots\dots 3-56$$

-câble a moyenne tension (en aluminium, unipolaires ou triplomb)

$$Z_1 = \left(\frac{30}{s} + j0.2\alpha 0.3 \right) \Omega / km \quad \dots\dots\dots 3-57$$

$$\dots\dots\dots 3-58$$

$$Z_1 = Z_2$$

ces valeurs ne sont données qu'à titre d'ordre de grandeur, les formules exactes étant compliquées du fait de l'action de enveloppes des câbles , et des modes de fabrication et de pose.

- pour les transformateurs :

Dans le cas des transformateurs, ces impédances directe inverse sont égales et peuvent être considérées comme des réactances de fuites dont les valeurs relatives sont

Généralement comprise entre :

- 4% (transformateur MT/HT)
 - et (de 07 à 13) % (transformateur MT/HT)
- Ou même 17% exceptionnellement.

Sachant que la valeur relative est rapportée à une impédance égale à

$$U_n^2 / P_n$$

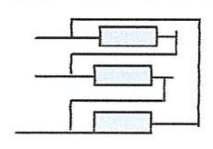
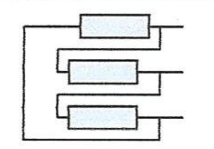
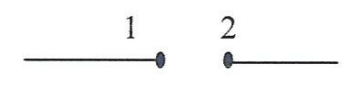
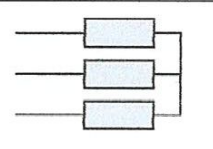
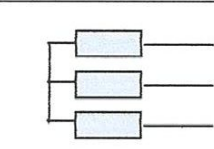

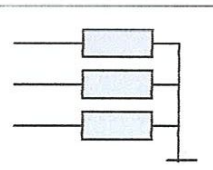
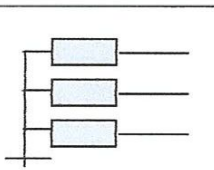
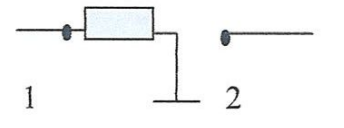
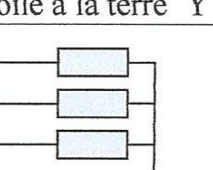
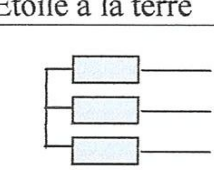
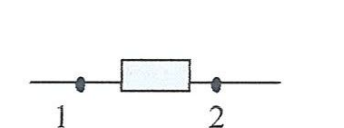
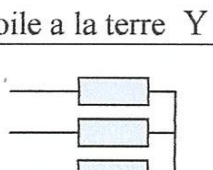
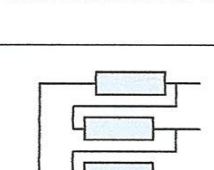
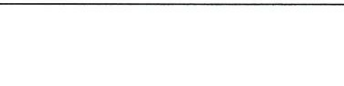
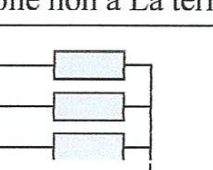
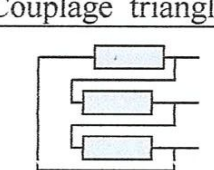
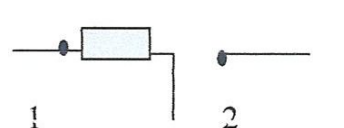
P_n étant la puissance du transformateur et qui on la désigné aussi le nom de « puissance de court-circuit », puisque c'est en valeur relative, la tension primaire qui fait circuler le courant nominal secondaire en court-circuit.

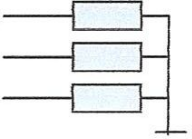
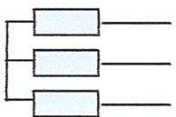
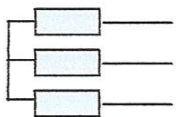
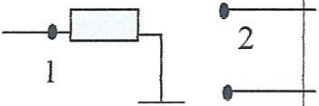
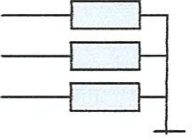
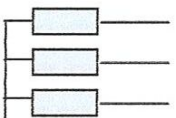
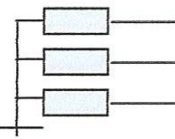
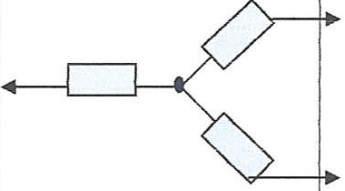
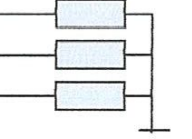
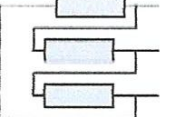
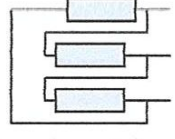
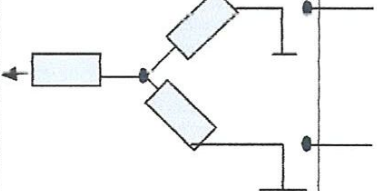
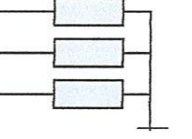
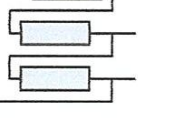
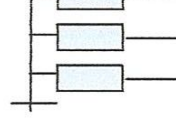
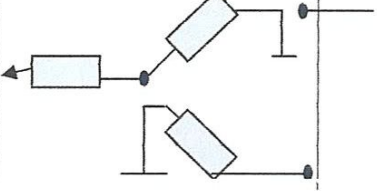
L'impédance homopolaire du transformateur ces aspects sont rendus possibles grâce à deux caractéristiques :

- le couplage (triangle/étoile)
- le mode mise à la terre du neutre (s'il existe)

En effet, le mode de mise à la terre conditionne la circulation ou non de ces courant (d'un côté à l'autre du transformateur)

-I tableau (3-1) donne les impédance homopolaire des transformateurs : schéma équivalent : Y Δ

GROUPEMENT			schéma unifilaire équivalente
Primaire	Secondaire	Tertiaire	
 <p>Couplage triangle Δ</p>	 <p>Couplage triangle Δ</p>		
 <p>Etoile non a La terre Y</p>	 <p>Etoile non a La terré</p>		
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Etoile a la terre Y</p>		
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Etoile non a La terre Y</p>		
 <p>Etoile non a La terre Y</p>	 <p>Couplage triangle Δ</p>		
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Couplage triangle Δ</p>		

GROUPEMENT			schéma unifilaire équivalente
Primaire	Secondaire	Tertiaire	
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Etoile non a La terre Y</p>	 <p>Etoile non a La terre Y</p>	
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Etoile a la terre Y</p>	
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Couplage triangle Δ</p>	 <p>Couplage triangle Δ</p>	
 <p>Etoile a la terre Y</p>	 <p>Couplage triangle Δ</p>	 <p>Etoile a la terre Y</p>	

3-9 Analyse des courts-circuits dans un réseau électrique :

➤ 1 court-circuit symétrique (triphase) :

Considérons premièrement un court-circuit triphasé nom à la terre représenté par la figure 3-11 , donc les conditions de court-circuit au point de défaut sont :

$$V_a = V_b = V_c = V \quad 3-59$$

ET

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad 3-60$$

On remplace dans 2-12 par les composantes symétriques aura :

$$(I_1 + I_2 + I_0) + (a^2 I_1 + a I_2 + I_0) + (a I_1 + a^2 I_2 + I_0) = 0$$

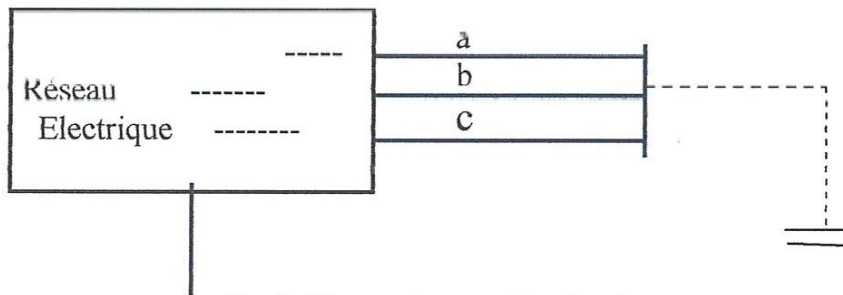


Fig 3-11: court-circuit triphasé

De cette équation on aura :

$$\bar{I}_0 = 0$$

Parce que on a : $1 + a + a^2 = 0$

Maintenant on remplace dans 2-11 par les composante symétrique en tentant compte que $I_0 = 0$ on aura :

$$\left(\begin{array}{l} V_a = E - I_1 Z_1 - I_2 Z_2 = V \\ V_b = a^2 E - a^2 I_1 Z_1 + a I_2 Z_2 = V \\ V_c = a E - a I_1 Z_1 - a^2 I_2 Z_2 = V \end{array} \right) \quad 3-61$$

La somme de ces trois tensions nous

Donne :

$$V_a + V_b + V_c = 0 = 3V$$

Donc :

$$\bar{V}_a = \bar{V}_b = \bar{V}_c = 0$$

De (3-61) on a :

$$V_a - a V_b = (a^2 - 1) \bar{I}_2 Z_2 = (1 - a) V = 0$$

Ce qui donne :

$$I_2 = 0$$

Et

$$I_1 = \frac{E}{Z_1}$$

Donc les composantes symétriques pour le cas d'un court-circuit triphasé sont :

$$\begin{pmatrix} I_1 = \frac{E}{Z_1} \\ I_2 = 0 \\ I_0 = 0 \end{pmatrix} \quad 3-62$$

Maintenant deuxièmement le cas d'un court-circuit triphasé à la terre on a :

$$\begin{pmatrix} V_a = E - I_1 Z_1 - I_2 Z_2 - I_0 Z_0 = 0 \\ V_b = a^2 E - a^2 I_1 Z_1 + a I_2 Z_2 - I_0 Z_0 = 0 \\ V_c = a E - a I_1 Z_1 - a^2 I_2 Z_2 - I_0 Z_0 = 0 \end{pmatrix} \quad 3-63$$

Donc :

$$V_a + V_b + V_c = -3 I_0 Z_0 = 0 \implies I_0 = 0$$

De même on a

$$V_a - a V_b = (a^2 - 1) I_2 Z_2 = 0 \implies \bar{I}_2 = 0$$

Donc on conclut que l'équation des composantes symétrique pour le cas d'un court-circuit triphasé que ce soit à la terre ou non à la terre est les mêmes (Équation 3-62)

Les courant de phase entrant dans le défaut est :

$$\left(\begin{array}{l} I_1 = \frac{E}{Z_1} \\ I_b = a^2 I_1 = \frac{a^2 E}{Z_1} \\ V_{bus} = Z_{bus} \cdot I_{bus} \end{array} \right) \quad 3-64$$

➤ **court-circuit asymétrique :**

➤ **courts-circuits monophasés :**

Considérons un court-circuit monophasé (nom à la terre) représenté par la figure 3-12, donc les conditions de court-circuit au point de défaut sont :

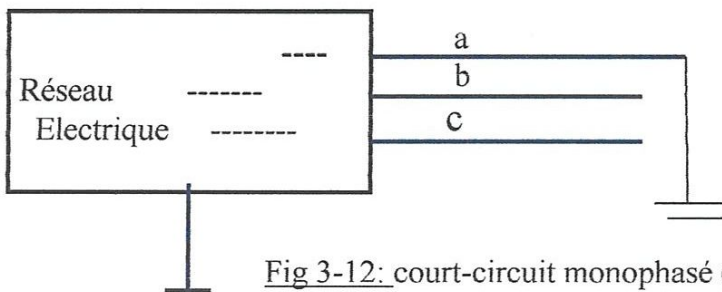


Fig 3-12: court-circuit monophasé (a-T).

$$\left\{ \begin{array}{l} V_a = 0 \\ I_b = I_c = 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 3-65 \\ 3-66 \end{array}$$

De (3-66) on a :

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = 0$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 = 0$$

Ce qui donne :

$$\bar{I}_b + \bar{I}_c = (a^2 - a)\bar{I}_1 + (a - a^2)\bar{I}_2 = 0$$

$$\Rightarrow \bar{I}_2 = \bar{I}_1$$

$$\text{ET} \quad \bar{I}_b + \bar{I}_c = -\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + 2\bar{I}_0 = 0$$

EN remplaçant par \bar{I}_1 on aura :

$$\bar{I}_b + \bar{I}_c = -\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + 2\bar{I}_0 = 0$$

$$\Rightarrow \bar{I}_2 = \bar{I}_1$$

Donc: $\bar{I}_2 = \bar{I}_1 = \bar{I}_0$

DE (3-65) on a :

$$V_a = E - \bar{I}_1 Z_1 - \bar{I}_2 Z_2 - \bar{I}_0 Z_0 = 0$$

$$V_a = \bar{I}_1 (Z_1 + Z_2 + Z_0) = 0$$

En fin pour court-circuit monophasé (a-terre) on a .

$$\left[\bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \bar{I}_0 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right] \quad 3-67$$

Et les courant des phases correspondant :

$$\left[\begin{array}{l} \bar{I}_a = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0 = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\ \bar{I}_b = a^2 \bar{I}_1 + a \bar{I}_2 + \bar{I}_0 = 0 \\ \bar{I}_c = a \bar{I}_1 + a^2 \bar{I}_2 + \bar{I}_0 = 0 \end{array} \right] \quad 3-68$$

➤ courts-circuits biphasés non à la terre :

Considérons un court circuit biphasé non à la terre (b c) représenté par la figure 3-13, donc les conditions de court-circuit au point de défaut sont :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \bar{I}_a = 0 & 3-69 \\ \bar{I}_b + \bar{I}_c = 0 & 3-70 \\ \bar{V}_b + \bar{V}_c = V & 3-71 \end{array} \right.$$

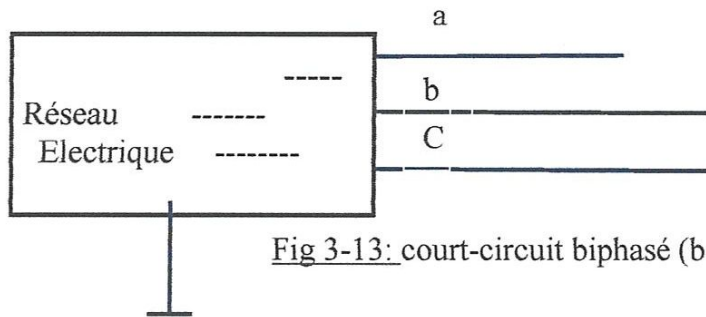


Fig 3-13: court-circuit biphasé (b-c) non a la terre

Ecrivons les équations (3-69) et (3-70) par les composantes symétrique on aura :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

ET

$$I_b + I_c = -(a^2 I_1 + a I_2 + I_0) + (a I_1 + a^2 I_2 + I_0) = 0$$

Ce qui donne :

$$I_b + I_c - -I_1 + I_2 + 2I_0 = 0$$

Sachant que $1 + a + a^2 = 0$

on voit que : $I_a + I_b + I_c = 3I_0 = 0$

$$\implies I_0 = 0$$

On a aussi: $1 + a + a^2 = 0$

$$\implies I_2 = I_1$$

En écrivant l'équation (3-71) par les composantes symétrique on aura :

$$V_b = a^2 E - a^2 I_1 Z_1 + a I_2 Z_2 = V$$

Donc : $V_c = a E - a I_1 Z_1 - a^2 I_2 Z_2 = \check{V}$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) E - (a^2 - a) I_1 Z_1 - (a - a^2) I_2 Z_2 = 0$$

qui donne : $E - I_1 Z_1 + I_2 Z_2 = 0$

Mais : $I_2 = I_1$

$$\implies E - I_1 (Z_1 + Z_2) = 0$$

Donc les équations des composantes symétriques pour les cas d'un court-circuit biphasé non à la terre sont :

$$\begin{pmatrix} I_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2} \\ I_2 = \frac{-E}{Z_1 + Z_2} \\ I_0 = 0 \end{pmatrix} \quad 3-72$$

Donc les courants de phases correspondantes :

$$\begin{pmatrix} I_a = I_1 + I_2 = 0 \\ I_b = a^2 I_1 + a I_2 = \frac{j\sqrt{3}.E}{Z_1 + Z_2} \\ I_c = a I_1 + a^2 I_2 = \frac{j\sqrt{3}.E}{Z_1 + Z_2} \end{pmatrix} \quad 3-73$$

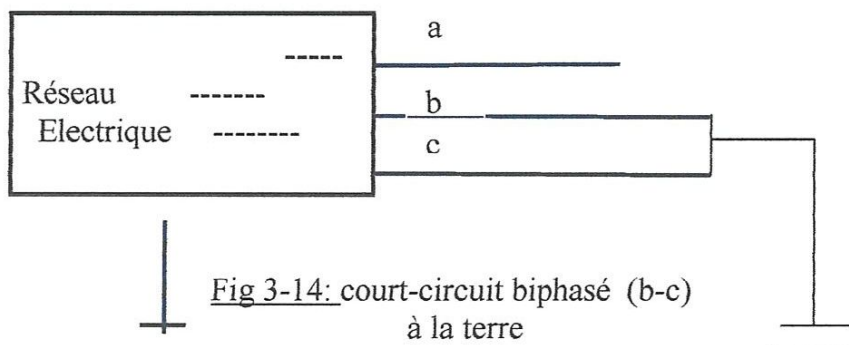
$$pa \quad a^2 - a = -j\sqrt{3}$$

➤ Court –circuit biphasé à la terre :

Considérons un court –circuit biphasé à la terre représenté par la figure (3-14) les conditions de court – circuit au point de défaut sont :

$$\begin{cases} I_a = 0 & 3-74 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_a = V_c = 0 & 3-75 \end{cases}$$



De on a :

$$V_b = a^2 E - a^2 I_1 Z_1 - a I_2 Z_0 = V$$

$$\text{ET: } V_c - a E - a I_1 Z_1 - a^2 I_2 Z_2 - I_0 Z_0 = 0$$

Donc:

$$V_b - a V_c = (1-a) I_2 Z_2 - (1-a) I_0 Z_0 = 0$$

Qui Donne:

$$I_0 = \frac{I_2 Z_2}{Z_0}$$

De on a :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

En remplaçant par I_0 :

$$I_a = I_1 + \frac{(Z_2 + Z_0) I_2}{Z_0} = 0$$

$$I_2 = \frac{-Z_0 I_1}{Z_2 + Z_0}$$

$$I_0 = \frac{-Z_2 I_2}{Z_2 + Z_0}$$

On a :

$$V_b + V_c - E + I_1 Z_1 + I_2 Z_2 - 2 I_0 Z_0 = 0$$

En remplaçant dans I_2 et I_0 :

$$E = I_1 \left(Z_1 - \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0} + \frac{2 Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0} \right)$$

$$\Rightarrow E = Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}$$

Donc pour un court circuit biphasé à la terre on a :

$$\begin{pmatrix} I_1 = \frac{(Z_2 + Z_0)E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} \\ I_2 = \frac{-Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} \\ I_0 = \frac{-Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} \end{pmatrix} \quad 3-76$$

Et pour les courants de phases :

$$\begin{pmatrix} I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 0 \\ I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = \frac{-j\sqrt{3} E (Z_0 - a Z_2)}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} \\ I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 = \frac{J\sqrt{3} E (Z_0 - a^2 Z_2)}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} \end{pmatrix} \quad 3-77$$

3-10 Résumé des formules des composantes symétriques :

Les composantes symétriques des courants et les tensions de court-circuit pour les quatre cas de court circuit sont regroupées dans les tableaux suivant :

Tab3-2

TYPE de défaut	I_a	I_b	I_c
Triphasé (p-p-p)	$\frac{E}{Z_1}$	$\frac{a^2 E}{Z_1}$	$\frac{a E}{Z_1}$
Monophasé a la terre (p-T)	$\frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	0	0
Biphasé (p-p) non a la terre	0	$\frac{-j\sqrt{3}.E}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{j\sqrt{3}.E}{Z_1 + Z_2}$
Biphasé à la terre (p-p-T)	0	$\frac{-j\sqrt{3}.E (Z_0 - a^2 Z_2)}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	$\frac{j\sqrt{3}.E (Z_0 - a Z_2)}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$

Tab 3-3

TYPE de défaut	I_1	I_2	I_0
Triphasé	$\frac{E}{Z_1}$	0	0
Monophasé a la terre (a-t)	$\frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
Biphasé (b-c) non a la terre	$\frac{E}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{-E}{Z_1 + Z_2}$	0
Biphasé à la terre (b-c-t)	$\frac{(Z_2 + Z_0)E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	$\frac{-Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	$\frac{Z_2 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$

Tab 3-4

TYPE de défaut	V_1	V_2	V_0
Triphasé	0	0	0
Monophasé a la terre (a-t)	$\frac{(Z_2 + Z_0)E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{-Z_2 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{-Z_0 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
Biphasé (b-c) non a la terre	$\frac{Z_2 E}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{Z_2 E}{Z_1 + Z_2}$	0
Biphasé à la terre (b-c-t)	$\frac{Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	$\frac{Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	$\frac{Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$

Tab 3-5

TYPE de défaut	V_a	V_b	V_c
TRIPHASE	0	$\frac{-3Z_2 Z_0 E}{4Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	$\frac{-3Z_2 Z_0 E}{4Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$
Monophasé a la terre (a-t)	0	$\frac{[(a^2 - a) + (a^2 - 1)Z_0]E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{[(a^2 - a) + (a^2 - 1)Z_0]E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
Biphasé (b-c) non a la terre	$\frac{2Z_2 E}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{-Z_2 E}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{-Z_2 E}{Z_1 + Z_2}$
Biphasé à la terre (b-c-t)	$\frac{3Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$	0	0

CHAPITRE

04

TEST

ET

VALIDATION

4-1 Données du réseau à calculer

Le réseau proposé au calcul est représenté par le schéma suivant :

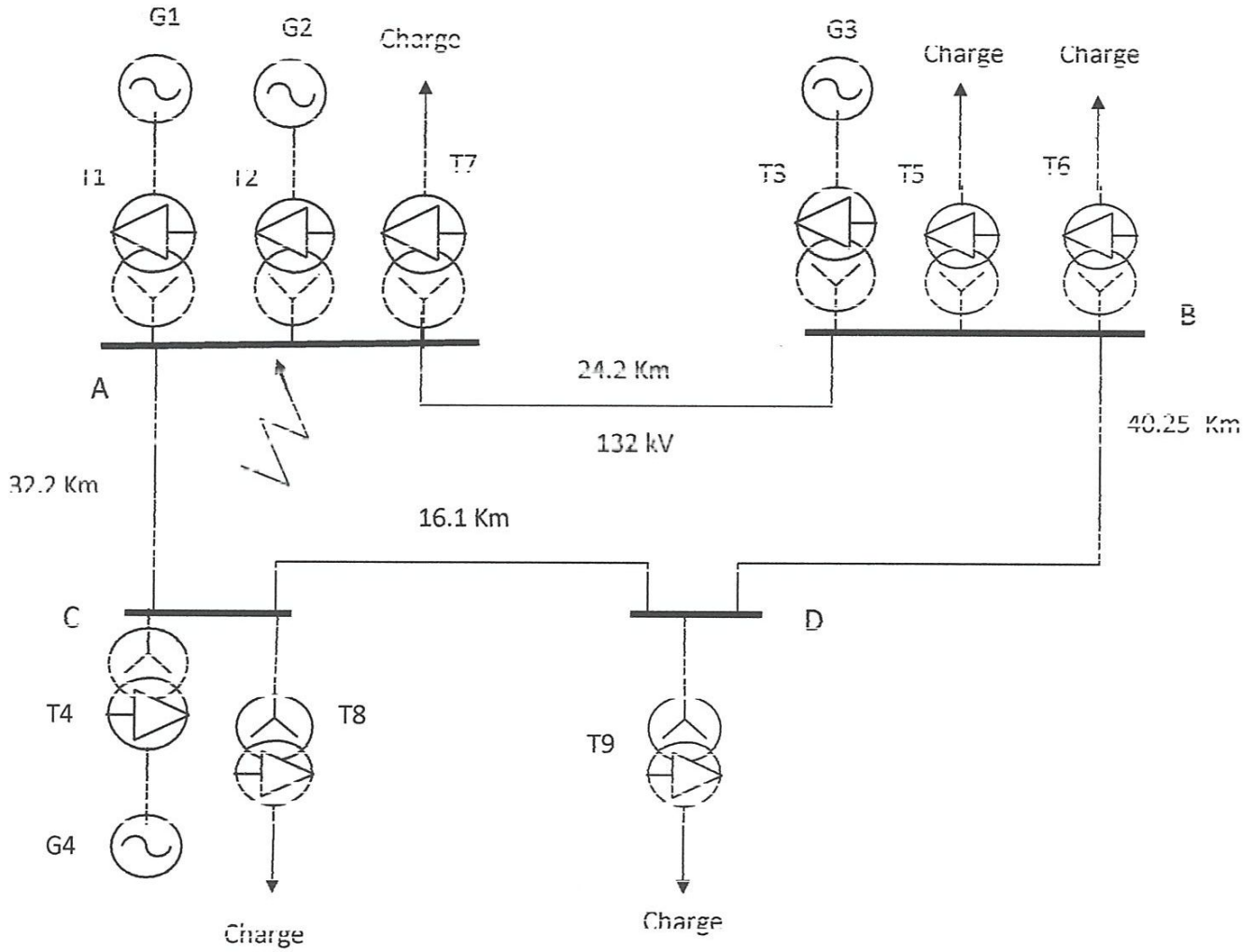


Fig 4-1 schéma du réseau à caicuier

Les données de notre réseau sont regroupées dans le tableau suivant :

Éléments du réseau	puissance	Impédance en pour cent % par rapport à $S_b = 100 \text{ MVA}$
G1 G2	60 MW 75 MVA	$Z_1 = j 22.7$ $Z_2 = j 16$
G3 G4	30 MW 37.5 MVA	$Z_1 = j 40$ $Z_2 = j 30.7$
T1 T2	75 MVA	$Z = j16$
T3 T4	37.5 MVA	$Z = j26.7$
T5 T6	30 MVA	$Z = j33.3$
T7 T8 T9	60 MVA	$Z = j20$
Ligne en KM		$Z_1 = Z_2 = 0.089 + j 0.236$ $Z_0 = 0.197 + j 0.589$

4-2 schémas équivalents des composantes symétriques :

On veut calculer les différents types de court-circuit au jeu de barre A
 Pour cela il est nécessaire de déterminer le schéma équivalent du réseau pour les composantes symétriques des impédances donc on aura les schémas suivant

4-4 schémas équivalent de composante homopolaire :

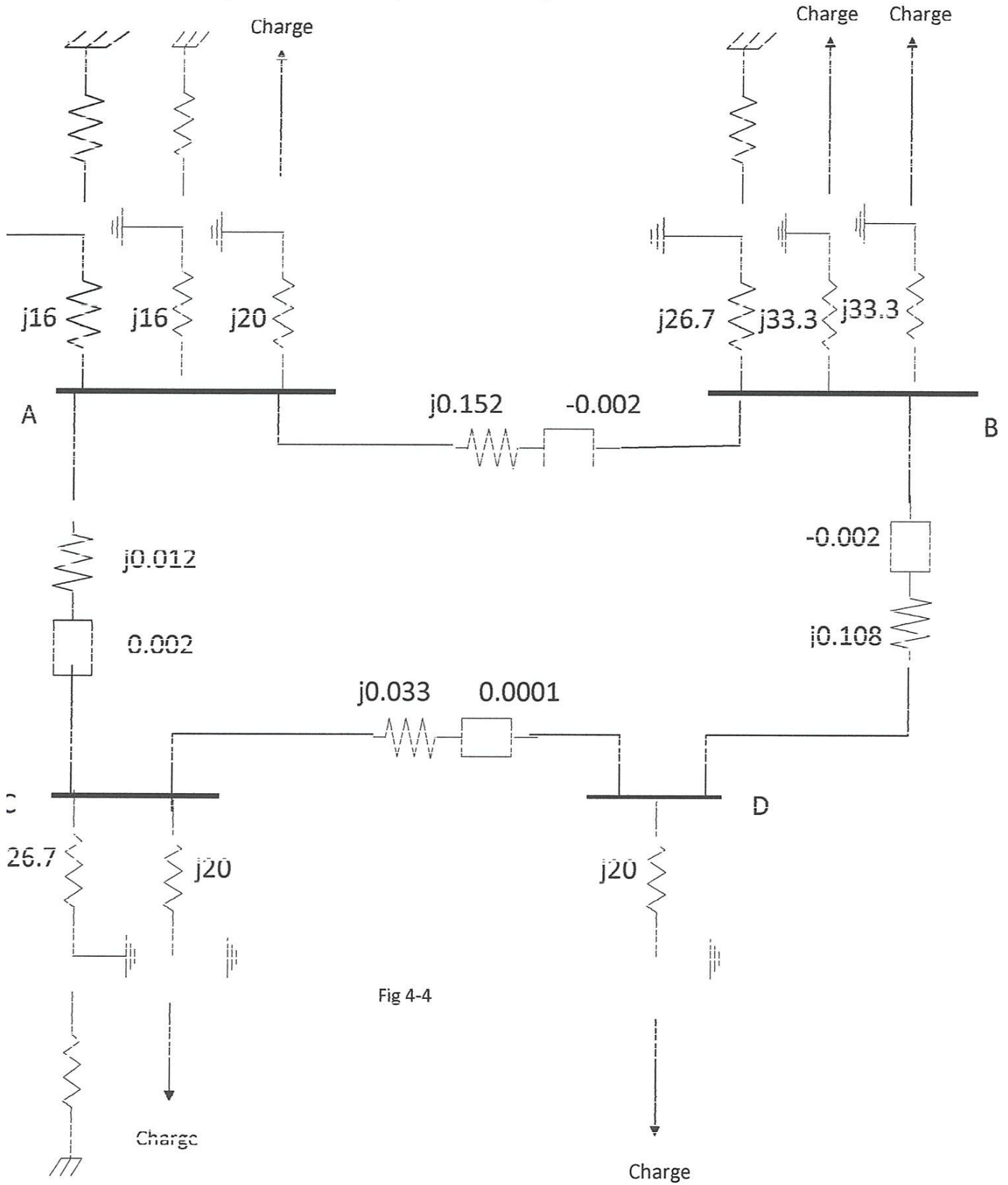


Fig 4-4

4-3 matrice d'admittance Ybus et impédance Zbus dans les trois composantes :

4-3-1 matrice de admittance composante directe Ybus1 :

$$Y_{bus}^1 = \begin{bmatrix} Y_{AA1} & Y_{AB1} & Y_{AC1} & Y_{AD1} \\ Y_{BA1} & Y_{BB1} & Y_{BC1} & Y_{BD1} \\ Y_{CA1} & Y_{CB1} & Y_{CC1} & Y_{CD1} \\ Y_{DA1} & Y_{DB1} & Y_{DC1} & Y_{DD1} \end{bmatrix}$$

$$Y_{bus}^1 = \begin{bmatrix} 10.125 - j32018 & -5.780 + j15.329 & -4.344 + j11.520 & 0.00 + j0.00 \\ -5.780 + j15.329 & 9.256 - j26045 & 0.00 + j0.00 & -3.457 + j9.216 \\ -4.344 + j11.520 & 0.00 + j0.00 & 13.034 - j36061 & -8.689 + j23.041 \\ 0.00 + j0.00 & -3.475 + j9.21 & -8.689 + j23.041 & 12.165 - j32.258 \end{bmatrix}$$

4-3-2 matrice de impédance composante directe Zbus1 :

$$Z_{bus}^1 = \begin{bmatrix} Z_{AA1} & Z_{AB1} & Z_{AC1} & Z_{AD1} \\ Z_{BA1} & Z_{BB1} & Z_{BC1} & Z_{BD1} \\ Z_{CA1} & Z_{CB1} & Z_{CC1} & Z_{CD1} \\ Z_{DA1} & Z_{DB1} & Z_{DC1} & Z_{DD1} \end{bmatrix}$$

$$Z_{bus}^1 = \begin{bmatrix} 0.0014 + j0.126 & -0.002 + j0.115 & -0.0028 + j0.144 & -0.0026 + j0.144 \\ 0.0022 + j0.115 & 0.0091 + j0.148 & 0.0018 + j0.119 & 0.017 + j0.127 \\ -0.0028 + j0.114 & -0.0012 + j0.119 & 0.0109 + j0.153 & 0.0074 + j0.143 \\ -0.0026 + j0.114 & 0.0017 + j0.127 & 0.0074 + j0.143 & 0.016 + j0.166 \end{bmatrix}$$

4-3-3 matrice de admittance composante inverse Ybus2 :

$$Y_{bus}^2 = \begin{bmatrix} Y_{AA2} & Y_{AB2} & Y_{AC2} & Y_{AD2} \\ Y_{BA2} & Y_{BB2} & Y_{BC2} & Y_{BD2} \\ Y_{CA2} & Y_{CB2} & Y_{CC2} & Y_{CD2} \\ Y_{DA2} & Y_{DB2} & Y_{DC2} & Y_{DD2} \end{bmatrix}$$

$$Y_{bus}^2 = \begin{bmatrix} 10.125 - j33.100 & -5.780 + j15.329 & -4.344 + j11.520 & 0.00 + j0.00 \\ -5.780 + j15.329 & 9.256 - j26.288 & 0.00 + j0.00 & -3.457 + j9.216 \\ -4.344 + j11.520 & 0.00 + j0.00 & 13.034 - j36.304 & -8.689 + j23.041 \\ 0.00 + j0.00 & -3.475 + j9.21 & -8.689 + j23.041 & 12.165 - j32.258 \end{bmatrix}$$

4 3 4 matrice de impédance composante inverse Zbus2 :

$$Z_{bus}^2 = \begin{bmatrix} Z_{AA2} & Z_{AB2} & Z_{AC2} & Z_{AD2} \\ Z_{BA2} & Z_{BB2} & Z_{BC2} & Z_{BD2} \\ Z_{CA2} & Z_{CB2} & Z_{CC2} & Z_{CD2} \\ Z_{DA2} & Z_{DB2} & Z_{DC2} & Z_{DD2} \end{bmatrix}$$

$$Z_{bus}^2 = \begin{bmatrix} 0.0013 + j0.106 & -0.002 + j0.115 & -0.0028 + j0.144 & -0.0026 + j0.144 \\ -0.0022 + j0.115 & 0.0091 + j0.128 & -0.0018 + j0.119 & 0.017 + j0.127 \\ -0.0028 + j0.114 & -0.0012 + j0.119 & 0.0109 + j0.134 & 0.0074 + j0.143 \\ -0.0026 + j0.114 & 0.0017 + j0.127 & 0.0074 + j0.143 & 0.016 + j0.146 \end{bmatrix}$$

4-3-5 matrice de admittance composante homopolaire Y_{bus0} :

$$Y_{bus0} = \begin{bmatrix} Y_{AA0} & Y_{AB0} & Y_{AC0} & Y_{AD0} \\ Y_{BA0} & Y_{BB0} & Y_{BC0} & Y_{BD0} \\ Y_{CA0} & Y_{CB0} & Y_{CC0} & Y_{CD0} \\ Y_{DA0} & Y_{DB0} & Y_{DC0} & Y_{DD0} \end{bmatrix}$$

$$Z_{bus0} = \begin{bmatrix} 4.058 & j29.017 & 2.317 + j6.575 & 1.741 + j4.941 & 0.00 + j0.00 \\ -2.317 + j6.575 & 3.710 - j20.280 & 0.00 + j0.00 & -1.393 + j3.953 \\ -1.741 + j4.941 & 0.00 + j0.00 & 5.224 - j23.570 & -3.483 + j9.883 \\ 0.00 + j0.00 & -1.393 + j3.953 & -3.483 + j9.883 & 4.876 - j18.837 \end{bmatrix}$$

 4-3-6 matrice de impédance composante homopolaire Z_{bus0} :

$$Z_{bus0} = \begin{bmatrix} Z_{AA0} & Z_{AB0} & Z_{AC0} & Z_{AD0} \\ Z_{BA0} & Z_{BB0} & Z_{BC0} & Z_{BD0} \\ Z_{CA0} & Z_{CB0} & Z_{CC0} & Z_{CD0} \\ Z_{DA0} & Z_{DB0} & Z_{DC0} & Z_{DD0} \end{bmatrix}$$

$$Z_{bus0} = \begin{bmatrix} 0.0027 + j0.039 & -0.002 + j0.152 & -0.002 + j0.012 & -0.0023 + j0.001 \\ -0.0021 + j0.152 & 0.0064 + j0.056 & -0.0023 + j0.011 & 0.001 + j0.017 \\ -0.002 + j0.127 & -0.0023 + j0.108 & 0.006 + j0.057 & 0.0001 + j0.033 \\ -0.0023 + j0.001 & 0.0014 + j0.017 & 0.0001 + j0.033 & 0.010 + j0.071 \end{bmatrix}$$

4-4 Calculs des courants de court circuit :

On veut calculer les différents types de court circuit au jeu de barre A pour cela il est nécessaire de déterminer le schéma équivalent du réseau pour les composante symétrique des impédances donc on aura les schémas suivants :

Schémas équivalents de séquence directe

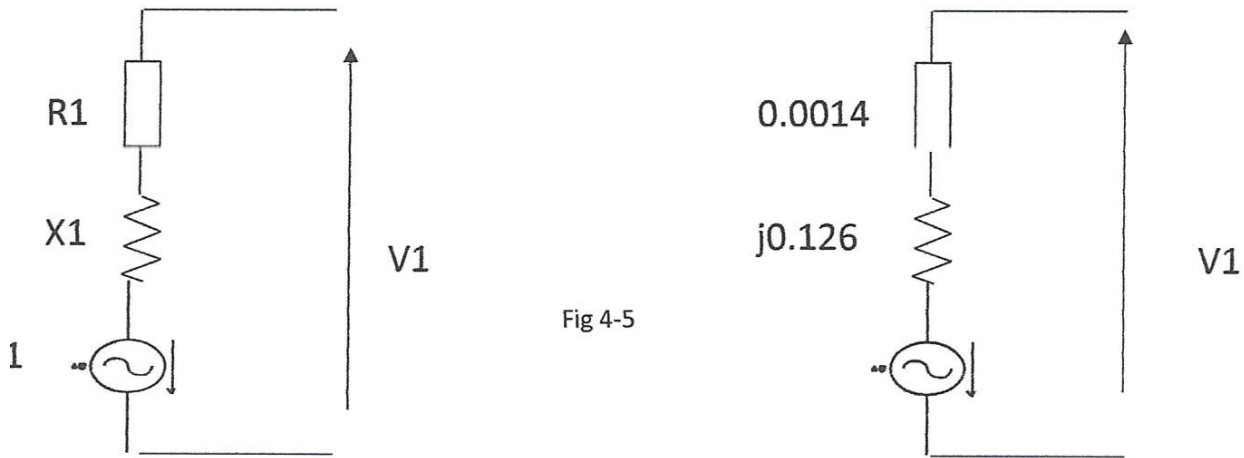


Schéma équivalent de séquence inverse

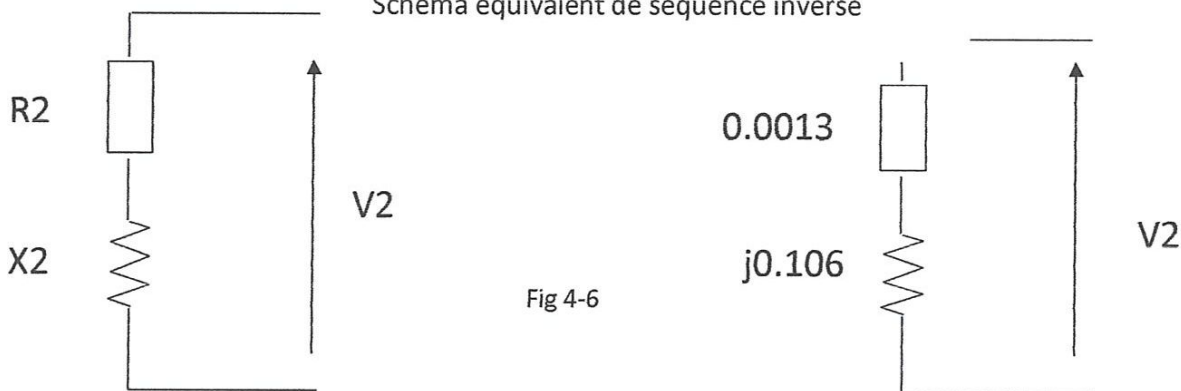
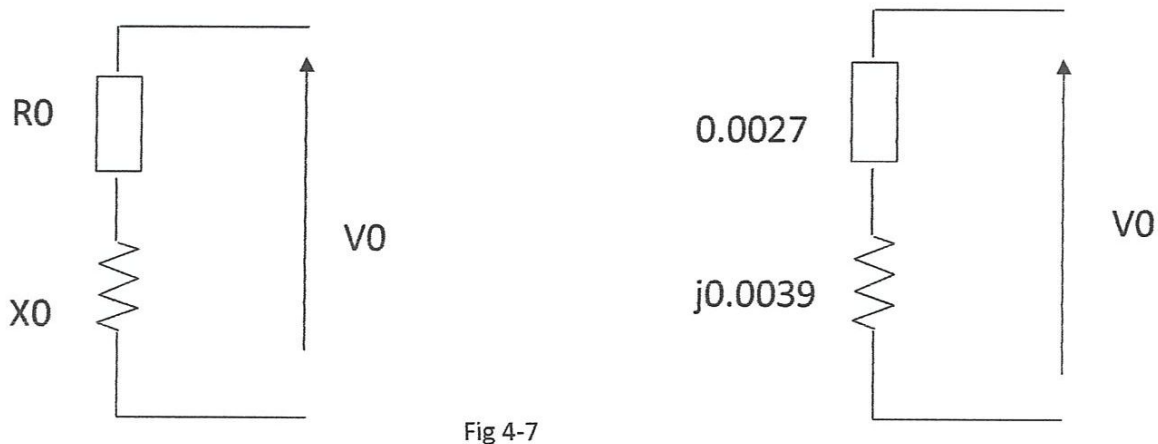


Schéma équivalent de séquence homopolaire



Court circuit symétrique:

4-4-1 Court-circuit triphasé :

Pour les courts-circuits symétriques les composantes inverses et homopolaires sont nulles.

$$I_{cc} = \frac{E_{TH}}{Z_{TH} + Z^f}$$

Donc les courant sont :

$$I_1 = 0.093 - j7.93 \quad \text{en u.r}$$

Les valeurs de bases

Tension de base 132 kV

Puissance de base 100MVA

$$S_B = \sqrt{3} \cdot I_B \cdot U_B$$

donc :

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 132} = 437 \text{ A}$$

Donc les courants symétriques réels sont :

$$I_a = 40.732 - j346777 \quad \text{A}$$

-pour les courant de phase (Ia, Ib,Ic) :

D'après la formule suivante :

$$I_a = \frac{E}{Z_{11}}$$

$$I_b = \frac{a^2 \bar{E}}{Z_{11}}$$

$$I_c = \frac{a \bar{E}}{Z_{11}}$$

Donc les courants dans chaque phase :

$$\bar{I}_a = (0.093 - j7.931) \quad \text{en u.r}$$

$$\bar{I}_b = (-6.871 + j3.887) \quad \text{en u.r}$$

$$\bar{I}_c = (6.771 + j4.047) \quad \text{en u.r}$$

alors pour les quantité réelle des ces courants :

$$I_a = (40,641 - j3465,41) \quad A$$

$$I_b = (-3002,64 + j1698,61) \quad A$$

$$I_c = (2958,49 + j1768,53) \quad A$$

Les courants dans chaque phase de court-circuit en forme polaire sont :

$$I_a = 3465,64 \angle -89,32^\circ \quad A$$

$$I_b = 3449,97 \angle 150,50^\circ \quad A$$

$$I_c = 3446,79 \angle 30,87^\circ \quad A$$

Pour les tensions :

$$V_1 = V_2 = V_0 = 0$$

Les tension de phase au point de défaut sont :

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

Puisque $U_B = \sqrt{3} V_B$ donc la tension de base simple sera :

$$V_B = \frac{U_B}{\sqrt{3}} = \frac{132}{\sqrt{3}} = 76,2KV$$

Donc les tensions au point de défaut seront nulles .

Donc en forme polaire :

$$I_a = 0 \angle 0^\circ \quad KV$$

$$I_b = 0 \angle 0^\circ \quad KV$$

$$I_c = 0 \angle 0^\circ \quad KV$$

Les tensions dans les autres jeux barre (B.C.D) court-circuit symétrique :

Pour les courts-circuits triphasé ne peut calcule les tensions de ligne avec la formule suivant dans tout les jeux barre

D'après la formule

$$\vec{V}_i^f = \vec{V}_i^0 - \frac{Z_{iR}}{Z^f + Z_{RR}} \cdot \vec{V}_R^0$$

- Alors pour la jeu barre (B) :

$$\vec{V}_B^f = \vec{V}_B^0 - \frac{Z_{BA1}}{Z^f + Z_{AA1}} \vec{V}_A^0$$

$$\vec{V}_B^f = \vec{V}_B^0 - \frac{Z_{BA}}{Z_{AA}} \vec{V}_A^0$$

$$\vec{V}_B^f = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_0$$

$$\vec{V}_B^f = \vec{V}_1 \quad \vec{V}_2 = \vec{V}_0 = 0$$

$$\vec{V}_A = \vec{V}_r^0 = 1$$

$$\vec{V}_2 = \vec{V}_0 = 0$$

- En a dans sens directe seulement

$$\vec{V}_i = \vec{V}_B \begin{matrix} Z_{BA1} \\ Z_{AA1} \end{matrix} \vec{V}_A^0 = \begin{matrix} -0.002 + j0.155 \\ 0.0014 + j0.126 \end{matrix}$$

$$\vec{V}_i = 1.77 - 1.01 \dots \dots \dots \text{u.r}$$

- Donc les tensions des lignes dans le jeu barre B :

$$\vec{V}_1 = (1.77 - j1.01) \dots \dots \dots \text{u.r}$$

$$\vec{V}_2 = 0 \dots \dots \dots \text{u.r}$$

$$\vec{V}_0 = 0 \dots \dots \dots \text{u.r}$$

- Donc les tensions symétriques réelles sont :

$$V_1 = (58.67 - j0.762) \dots \dots \dots kv$$

$$V_2 = 0 \dots \dots \dots kv$$

$$V_0 = 0 \dots \dots \dots kv$$

- pour le jeu barre (C) on donc

$$V_1 = V_C - \frac{Z_{CA1}}{Z_{AA1}} V_A = 1 - \frac{4.344 + j11.520}{0.0014 + j0.126} 1$$

$$V_1 = -90.03 - j36.48 \dots \dots \dots u.r$$

- Les tensions dans le jeu barre c

$$V_1 = (90.03 - j36.48) \dots \dots \dots u.r$$

$$V_2 = 0 \dots \dots \dots u.r$$

$$V_0 = 0 \dots \dots \dots u.r$$

- Pour jeu barre D :

$$V_1 = V_D - \frac{Z_{DA1}}{Z_{AA1}} V_A = 1 - \frac{-0.0026 + 0.144}{0.0014 + j0.126} 1$$

$$V_1 = 1.858 - j1.033 \dots \dots \dots u.r$$

- Les tensions dans le jeu barre c

$$V_1 = (1.858 - j1.033) \dots \dots \dots u.r$$

$$V_2 = 0 \dots \dots \dots u.r$$

$$V_0 = 0 \dots \dots \dots u.r$$

Par unité réelle

$$V_1 = 140.9 - j78.71 \dots \dots \dots kv$$

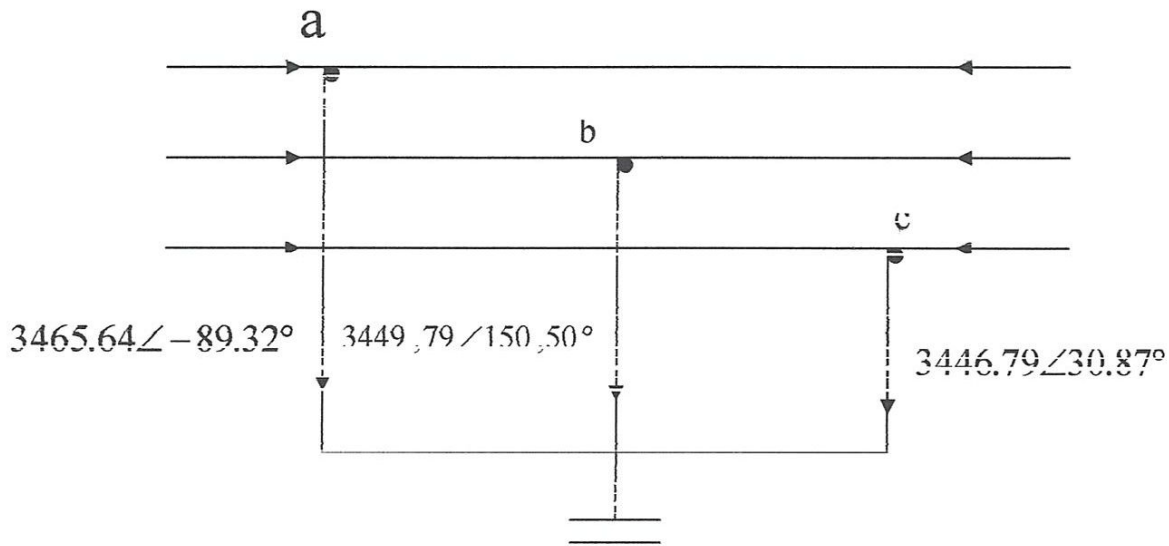


Fig 4-8 court circuit triphasé a la terre.

- **Calcul des courants de court circuit (asymétrique) :**

Pour el calcul de ce type de court circuit on de décompose notre système asymétrique au trois système directe inverse et homopolaire.

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_{AA1}$$

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_{AA2}$$

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{AA0}$$

4-4-2 Courts circuits monophasés (p-t) :

Les composantes symétriques des courants :

$$\underline{\bar{I}}_1 = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0}$$

$$\underline{\bar{I}}_2 = \frac{\underline{F}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0}$$

$$\underline{\bar{I}}_0 = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0}$$

$$\bar{I}_1 = (0,075 - j3,683) \quad \text{en u.r}$$

$$\bar{I}_2 = (0,075 - j3,683) \quad \text{en u.r}$$

$$\bar{I}_0 = (0,075 - j3,683) \quad \text{en u.r}$$

Valeurs réelles des courants :

$$I_1 = I_2 = I_0 = (0.075 - j3.683)437 \quad \text{A}$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = (32.85 - 1609.49) \quad \text{A}$$

les courant de phase (I_a, I_b, I_c) :

D'après la formule suivante :

$$I_a = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

Donc les courants dans chaque phase sont :

$$I_a = (0,225 - j11,049) \quad \text{en u.r}$$

$$I_b = 0 \quad \text{en u.r}$$

$$I_c = 0 \quad \text{en u.r}$$

Alors pour les quantités réelle des ces courante des phases:

$$I_a = (98,56 - j4828,49) \quad \text{A}$$

$$I_b = 0 \quad \text{A}$$

$$I_c = 0 \quad \text{A}$$

Les courants dans chaque phase de court-circuit en forme polaire sont

$$\underline{I}_a = 4829,5 \angle -88,83^\circ \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_b = 0$$

$$\underline{I}_c = 0$$

-pour les tensions court- circuit monophasé :

- Les tensions symétriques (V_1, V_2, V_0) :

D'après les formules

$$V_1 = \frac{(Z_0 + Z_2)E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$V_2 = \frac{-Z_2 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$V_0 = \frac{-Z_0 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Donc les tensions symétriques sont :

$$V_1 = (0,854 + j0,006) \quad \text{en u.r}$$

$$V_2 = (-0,390 - j0,003) \quad \text{en u.r}$$

$$V_0 = (-0,145 + j0,007) \quad \text{en u.r}$$

Les tensions symétriques avec quantité réelle :

$$V_1 = (65.07 + j0.518) \quad \text{KV}$$

$$V_2 = (-29.71 - j0.222) \quad \text{KV}$$

$$V_0 = (-11.049 + j0.541) \quad \text{KV}$$

Pour les tensions des phases (V_a , V_b , V_c) :

$$V_a = 0$$

$$V_b = \frac{(a^2 - a)Z_2 + (a^2 - 1)Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$V_c = \frac{(a - a^2)Z_2 + (a - 1)Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Donc les tensions des phases sont :

$$V_a = 0$$

$$V_b = (-0.21 + j0.80) \text{ KV}$$

$$V_c = (-0.21 + j0.80)$$

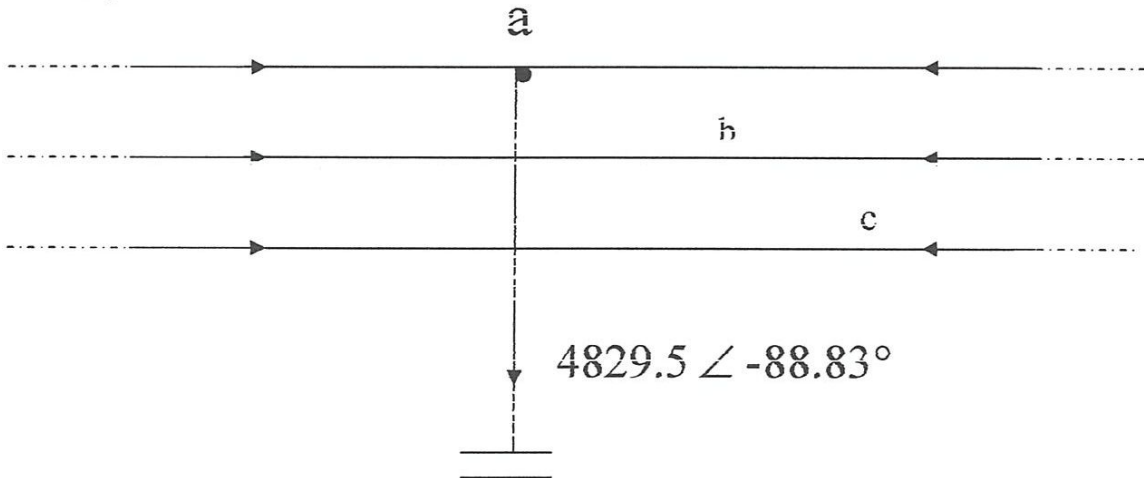


Fig 4-9 court-circuit monophasé a la terre

4-4-3 Court circuit biphasé non à la terre(p-p) :

- pour les courant symétrique (\bar{I}_1 , \bar{I}_2, \bar{I}_0) dans ce défaut :

$$\bar{I}_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2}$$

$$\bar{I}_2 = \frac{-E}{Z_1 + Z_2}$$

$$\bar{I}_0 = 0$$

les courants de symétriques en (u r) sont :

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= (0.052 - j4.309) && \text{en u.r} \\ \bar{I}_2 &= (-0.052 + j4.309) && \text{en u.r} \\ \bar{I}_0 &= 0 && \text{en u.r} \end{aligned}$$

les courants symétriques réels sont :

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= (22.724 - j1883.03) && \text{A} \\ \bar{I}_2 &= (-22.724 + j1883.03) && \text{A} \\ \bar{I}_0 &= 0 && \text{A} \end{aligned}$$

Pour la quantité polaire des courants symétriques :

$$\begin{aligned} I_1 &= 1883.17 \angle -89.30^\circ && \text{A} \\ I_2 &= 1883.17 \angle 89.30^\circ && \text{A} \\ I_0 &= 0 \angle 0^\circ && \text{A} \end{aligned}$$

Les courants de phase (Ia, Ib, Ic) :

$$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= \frac{-j\sqrt{3}E}{Z_1 + Z_2} \\ I_c &= \frac{j\sqrt{3}E}{Z_1 + Z_2} \end{aligned}$$

donc les courants dans chaque phase sont :

$$\begin{aligned} I_a &= 0 && \text{en u.r} \\ I_b &= -7.464 - j0.091 && \text{en u.r} \\ I_c &= 7.464 + j0.091 && \end{aligned}$$

Alors pour la quantité réelle des ces courante des phases:

$$I_a = 0 \quad A$$

$$I_b = -3263.03 - j40.072 \quad A$$

$$I_c = 3262.03 + j40.072 \quad A$$

Les courants dans chaque phase de court-circuit en forme polaire sont :

$$I_a = 0 \angle 0^\circ \quad A$$

$$I_b = 3262.27 \angle -179.29^\circ \quad A$$

$$I_c = 3262.27 \angle 0.70^\circ \quad A$$

-pour les tensions court-circuit biphasé a la terre :

- Les tensions symétriques (V_1, V_2, V_3) :

D'après les formules

$$V_1 = \frac{Z_2 E}{Z_1 + Z_2}$$

$$V_2 = \frac{Z_1 E}{Z_1 + Z_2}$$

$$V_0 = 0$$

Donc les tensions symétriques sont :

$$V_1 = (0.456 + j0.0003) \quad KV$$

$$V_2 = (0.543 + j0.0003) \quad KV$$

$$V_0 = 0$$

tensions symétriques avec quantité réelle :

$$V_1 = (65.07 + j0.518) \quad KV$$

$$V_2 = (29.71 - j0.222) \quad KV$$

$$V_0 = (-11.049 + j0.541) \quad KV$$

Pour les tensions des phases (V_a , V_b , V_c) :

$$V_a = \frac{2 Z_2 \cdot E}{Z_1 + Z_2}$$

$$V_b = \frac{-Z_2 \cdot E}{Z_1 + Z_2}$$

$$V_c = \frac{-Z_2 \cdot E}{Z_1 + Z_2}$$

Donc les tensions des phases sont :

$$V_a = (0.91 - j0.0005) \quad \text{u.r}$$

$$V_b = (-0.45 + j0.002) \quad \text{u.r}$$

$$V_c = (-0.45 + j0.002) \quad \text{u.r}$$

Alors avec les quantité réelle :

$$V_a = (69.34 - j0.043) \quad \text{KV}$$

$$V_b = (-34.29 + j0.015) \quad \text{KV}$$

$$V_c = (-34.29 + j0.015) \quad \text{KV}$$

Les résultants en forme polaire :

$$V_a = 69.34 \angle -0.03^\circ \quad \text{KV}$$

$$V_b = 34.29 \angle 179.97^\circ \quad \text{KV}$$

$$V_c = 34.29 \angle 179.97^\circ \quad \text{KV}$$

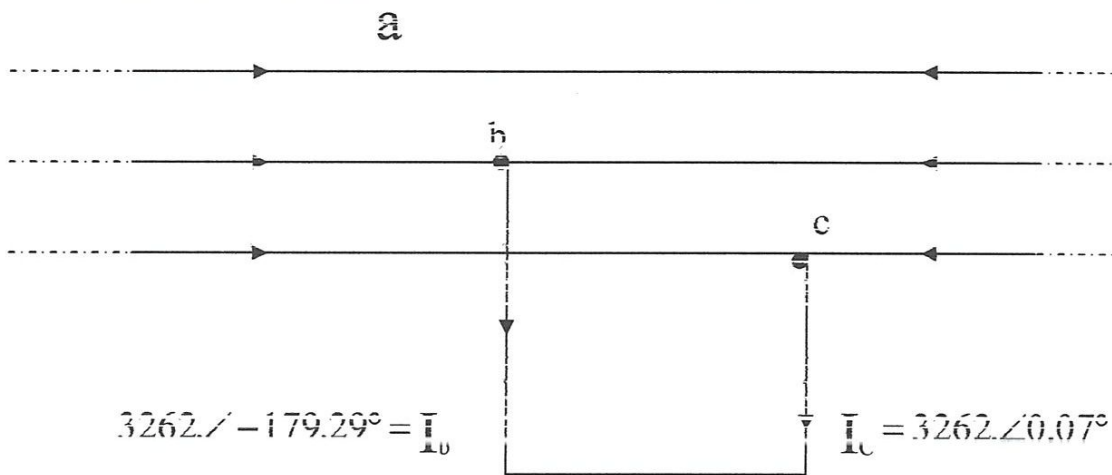


Fig 4-10 court-circuit biphasé non a la terre.

4-4-4 calculs court circuit biphasé à la terre (p-p-T) :

- pour les courant symétrique ($\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_0$) dans ce défaut :

D'après la formule qui ne détermine dans le chapitre 03 :

$$\bar{I}_1 = \frac{(Z_1 + Z_0)E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$\bar{I}_2 = \frac{-Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$\bar{I}_0 = \frac{-Z_2 E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

donc les courants de symétrie sont :

$$\bar{I}_1 = (0.154 - j7.49) \quad \text{En u.r}$$

$$\bar{I}_2 = (0.041 + j1.792) \quad \text{En u.r}$$

$$\bar{I}_0 = (-0.161 + j4.811)$$

-donc les courants symétriques réels sont :

$$\underline{I}_1 = (67.298 + j3273.13) \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_2 = (17.917 + j783.104) \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_0 = (-70.357 + j2102.407) \quad \text{A}$$

- pour les courants de phase (Ia, Ib, Ic) :

D'après la formule suivante :

$$\underline{I}_a = 0$$

$$\underline{I}_b = \frac{-j \sqrt{3} . E (Z_0 - a Z_1)}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$\underline{I}_c = \frac{j \sqrt{3} . E (Z_0 - a^2 Z_2)}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

Donc les courants dans chaque phase sont :

$$\underline{I}_a = 0 \quad \text{En u.r}$$

$$\underline{I}_b = -7.468 + j7.037 \quad \text{En u.r}$$

$$\underline{I}_c = 7.32 + j6.95 \quad \text{en u.r}$$

Alors pour les quantités réelles des ces courants de phases:

$$\underline{I}_a = 0 \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_b = -3263.51 + j3075.17 \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_c = 3198.84 + j3037.15 \quad \text{A}$$

Les courants dans chaque phase de court-circuit en forme polaire sont :

$$\underline{I}_a = 0 \angle 0^\circ \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_b = 4484.10 \angle 136.7^\circ \quad \text{A}$$

$$\underline{I}_c = 4411 \angle 43.51^\circ$$

Pour les tensions court-circuit biphase à la terre :

- Les tensions symétriques (V_1, V_2, V_3).

D'après les formules

$$V_1 = \frac{Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$V_2 = \frac{Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$V_0 = \frac{Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

Donc les tensions symétriques sont :

$$V_1 = (0.186 - j00065) \quad \text{KV}$$

$$V_2 = (0.186 - j00065) \quad \text{KV}$$

$$V_0 = (0.186 - j00065) \quad \text{KV}$$

Pour les tensions des phases (V_a, V_b, V_c) :

$$V_a = \frac{3Z_2 Z_0 E}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$V_b = 0$$

$$V_c = 0$$

Donc les tensions des phases sont :

$$V_a = (0,558 - j0,02) \quad \text{KV}$$

$$V_b = 0 \quad \text{KV}$$

$$V_c = 0 \quad \text{KV}$$

Alors avec la quantité réelle :

$$V_a = (42,52 - j1,485) \quad \text{KV}$$

$$V_b = 0 \quad \text{KV}$$

$$V_c = 0 \quad \text{KV}$$

Les résultants en forme polaire :

$$\bar{V}_a = 42,54 \angle -2,00^\circ \quad \text{KV}$$

$$\bar{V}_b = 0 \quad \text{KV}$$

$$\bar{V}_c = 0 \quad \text{KV}$$

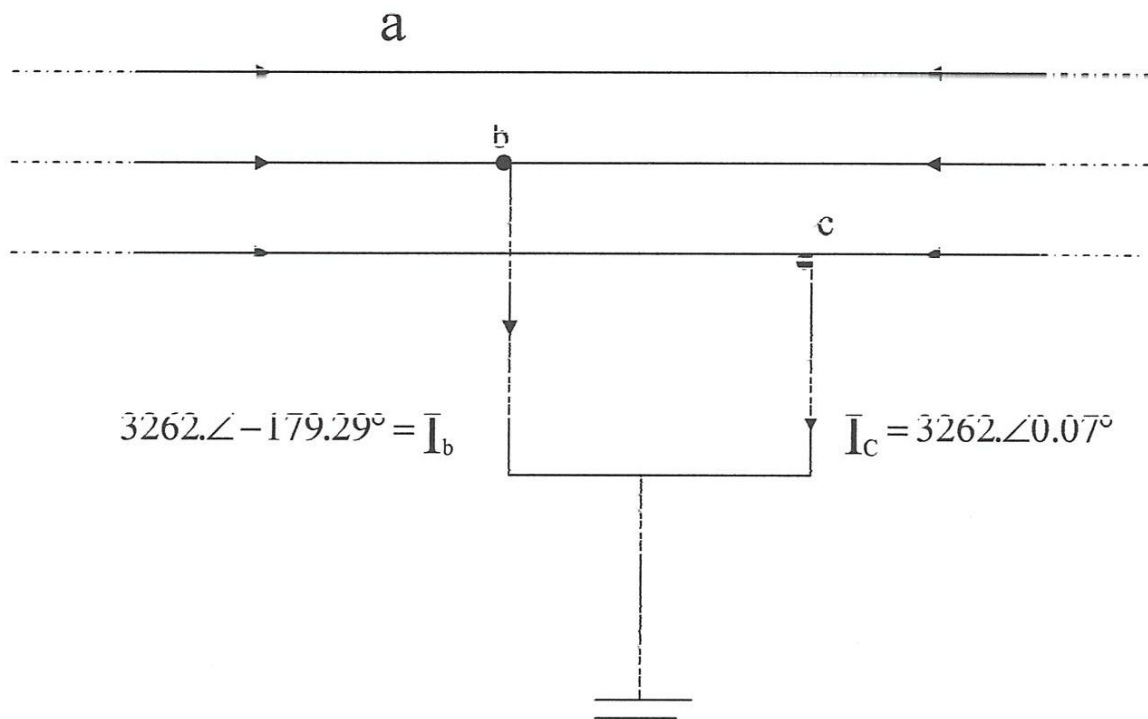


Fig 4-11 courts-circuits biphasés à la terre.

Les tensions et les courant dans les autre jeux barre (B,C ,D) :

Nous avons écrire un programme dans le matlabc qui calcule les tensions et courant pour tout les type de court-circuit et dans tout les jeux barres de réseau qui il va donne le résultat suivant :

-Pour court-circuit monophasé:

-Les tensions dans tous les jeux Barres

Bus	No.	Phase a	Phase b	Phase c
	1	0.0000	0.8203	0.8403
	2	0.1720	0.8120	0.8270
	3	0.1928	0.8096	0.8283
	4	0.1995	0.8088	0.8244

-Les courant dans tous les jeux Barres

Bus	Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	F	11.0112	0.0000	0.0000
2	1	1.9707	0.0778	0.1036
3	1	1.6745	0.0860	0.1054
4	2	0.1642	0.0404	0.0420
4	3	0.0276	0.1493	0.1485

On a (1.2.3.4) représenté les jeux barre (A.B.C.D) respectivement

Les résultats sont les modules des tensions et les courants dans tous les jeux barres

- Pour court-circuit biphasé non a la terre :

-Les tensions dans tous les jeux Barres

No.	Phase a	Phase b	Phase c
1	0.9126	0.4563	0.4563
2	0.9138	0.4897	0.4376
3	0.9141	0.4954	0.4364
4	0.9140	0.4937	0.4367

-Les courant dans tous les jeux Barres

Bus	Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	F	0.0000	7.4342	7.4342
2	1	0.0223	1.3591	1.3621
3	1	0.0200	1.1703	1.1730
3	4	0.0019	0.0850	0.0854
4	2	0.0019	0.0850	0.0854

CHAPITRE

05

moyens

de

protection

- Conditions anormales de fonctionnement.

Peuvent entraver, ces exigences et réduire la performance de des éléments.

La continuité de la distribution d'énergie électrique aux consommateurs propriété qui caractérise les réseaux électriques exige un dimensionnement adéquat des éléments de ce dernier et la conformité de leurs régimes au rôle du système de protection est donc d'éviter les conséquences de ces incidents.

- En assurant la protection des personnes contre tout échange électrique
- En limitant les contraintes thermiques, électriques et mécaniques.
- En réduisant les tensions induites dans les circuits et canalisation voisines.
- En préservant la stabilité du réseau

5.2. Caractères et conséquences des défauts :

Les défauts qui se manifestent sur les réseaux sont classés suivant leurs lieux d'apparition dans le réseau leurs et la difficulté de leur élimination

Particulièrement si ceux-ci sont d'un type ancien et sont placés sur le réseau MT alimente par des transformateurs HT/MT de grande puissance.

5.3 Propriétés de la protection

Pour qu'un système de protection accomplisse convenablement sa mission, il doit présenter les qualités suivantes :

- **Fiabilité** : déclenchement suite à un défaut réel (décision sûre)
- **Disponibilité** : c'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état marche.
- **Rapidité** : d'action : pour limiter les effets néfastes du défaut
- **Sensibilité** : détecter la moindre variation de grandeur à surveiller
- **Sélectivité** : Déclenchement seulement des appareils encadrant le défaut de manière à maintenir sous tension les parties saines.

5.4 .Les appareils de coupure et de contrôle :

5.4.1 le sectionneur :

Le sectionneur est un appareil destiné à interrompre la continuité d'un conducteur ou à l'isoler d'autres conducteurs seulement lorsque le courant qui le parcourt est très faible.

Par exemple, un sectionneur peut le courant absorbé à vide par à vide par un transformateur de faible puissance ou par une ligne de faible longueur.

Le sectionneur sert simplement à isoler elles différentes parties d'une installation d'une façon visible à l'œil nu pour une mise hors service , lors d'entretien ou de réparation son pouvoir de coupure est pratiquement nul, si bien qu'il ne doit jamais être manœuvre sous charge , ni pour enclencher. ni pour déclencher (risque de soudage des contacts de fusion ou d'explosion) a cet effet on prévoit des verrouillages empêchant la manœuvre lorsqu'un courant passe ou pourrait passer .

5.4.2 : l'interrupteur :

Un interrupteur est un appareil capable d'établir, de supporter et de couper des courant de service ou de changer les connexion d'un circuit l'appareil peut être prévue pour établir, mais pas pour couper des courant anormalement élevés, tels que les courant de court-circuit commander à la main ou par un relais, l'interrupteur a un assigné (et à la puissance nominale assigné) de la machine ou de l'appareil qu'il relie au réseau il faut prévoir un verrouillage empêchant l'ouverture de l'interrupteur si le courant qu'il le traverse dépasse son pouvoir de coupure.

La réunion dans le même appareil des fonctions d'interrupteur et de sectionneur constitue l'interrupteur-sectionneur par fois appelé sectionneur de charge .

5.4.3 le disjoncteur :

Le disjoncteur est un appareil capable d'établir, de supporter et de couper des courant de service ou d'établir et de couper automatiquement dans des conditions prédéterminées, des courant anormalement élevé tel que courant de sur charge élevé ou de court circuit de tel appareils sont généralement prévus pour fonctionner peu fréquemment, cependant certains types sont capables de manœuvrer fréquentes et peuvent aussi être utiliser comme interrupteur de commande.

La puissance de coupure d'un disjoncteur est très élevée . elle doit être choisie en fonction de la puissance de court circuit correspondant à l'emplacement dans le réseau et non selon la charge nominale qui n'a en général aucun rapport avec la puissance de court circuit pour couper le alternatif, le disjoncteur doit empêcher l'arc se reformer si tôt après qu'il s'est éteint, en augmentant la tension de réamorçage pour ceci il faut écarter rapidement les contact ,chasser le plasma, augmenter la pression

(on le vide pour les disjoncteur à vide et refroidir toute la zone afin de rétablir la rigidité d'électrique de l'espace entre les contacts.

5.5. Dispositifs de protection contre les surtensions :

- **L'éclateur :**

l'éclateur est un dispositif de limitation des surtension comportant un intervalle d'éclatement d'air libre entre une électrode sous tension et une électrode à la terre .les électrodes ont fait leur preuve de façons satisfaisante sur des réseau de tension inférieure ou égale à 245 KV .dans les pays ou l'activité orageuse et modérée ,le réglage d'intervalle d'éclatement est souvent un compromis entre protection et continuité de service.

- **L'éclateur de protection :**

Un éclateur peut être utilisé comme dispositif normal de protection du poste ce qui peut être admis dans certaines de sévérité orageuse modéré et lorsque le niveau de sur tension de coupure est relativement faible dans ce cas , on utilise de préférence un éclateur séparé ;installé à quelque distance de tout objet qui risque d'être endommagé par l'éclateur est directement supporté par une borne traversée d'un appareil .on doit l'enlever pour effectuer l'essai diélectrique de l'appareil).

l'éclatement entre électrodes des éclateurs de protection est choisi de manière à obtenir un niveau de protection nettement inférieure au niveau de tenue de l'objet à protéger

- **Le parafoudre :**

la parafoudre est un dispositif installé dans les réseaux électrique pour la protection contre les tensions transitoires et la limitation de la durée et de l'amplitude des courants de suite dus à l'amorça dans la version classique un parafoudre est constitué d'un éclateur sous atmosphère contrôlée mis en série avec une (ou plusieurs) résistance non linéaire .

le parafoudre se distingue de l'éclateur dans son fonctionnement par les faits suivants :

- Il travaille en atmosphère contrôlée c'est -à-dire que sa tension n'est pratiquement pas influencée par les conditions atmosphériques.
- La résistance non linéaire placée en série avec l'éclateur limite le courant de suite qui est coupée lors du prochain par zéro de la tension

5.6. Protections ampérométriques et volumétriques :

a-protections ampère métriques :

Cette protection permet d'éviter les surintensités dangereuses en :

- valeur
- Temps

le relais thermique protège le système contre les courant de surcharge .

le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courant de court-circuit

Le coupe circuit à fusible est un appareil de connexion capable de protégè le système contre les surintensités

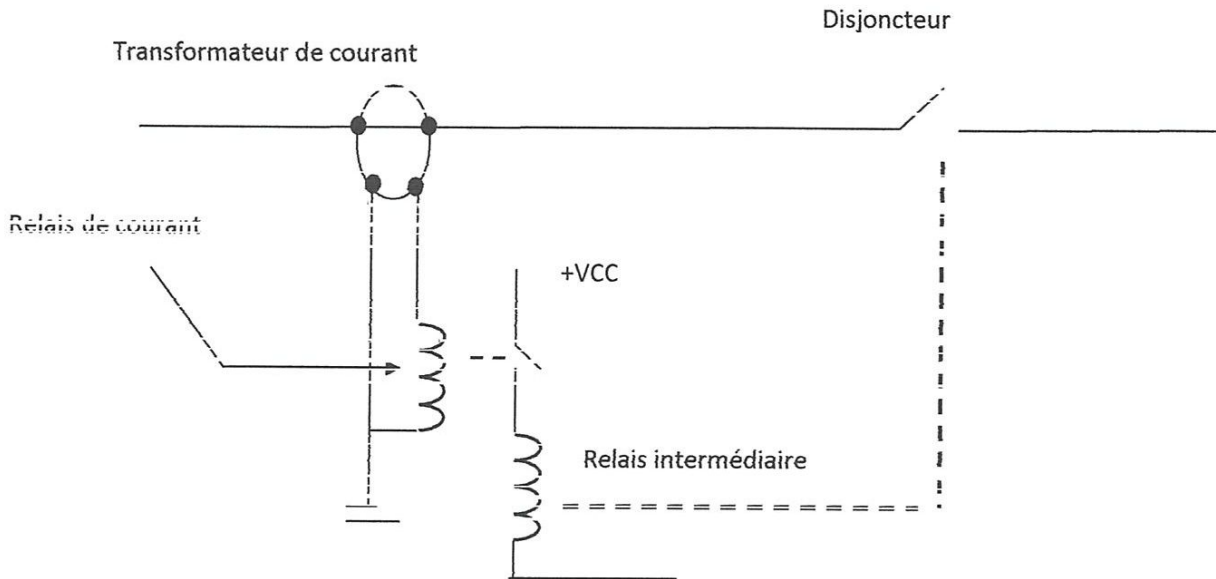


Fig 5.1 protection à maximum de courant à temps constant

(schéma un phase)

b-protection volumétrique :

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

Les transformateurs de tension assurent l'isolement galvanique et l'adaptation au circuit de mesures.

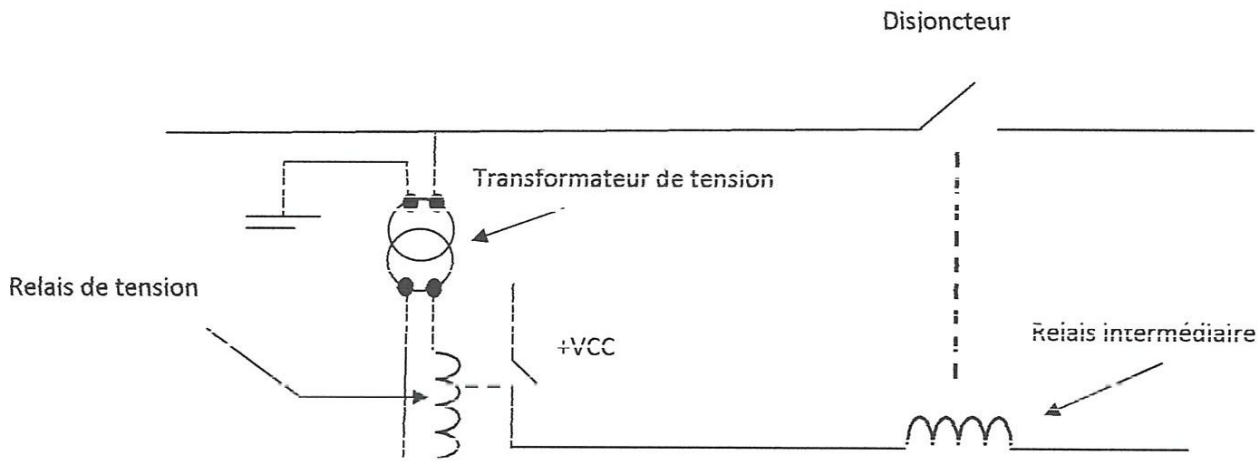


Fig 5.2 protection volumétrique (schéma d'une phase)

5.7. Protection des éléments du réseau électrique

5.7.1. Protection des jeux de barres

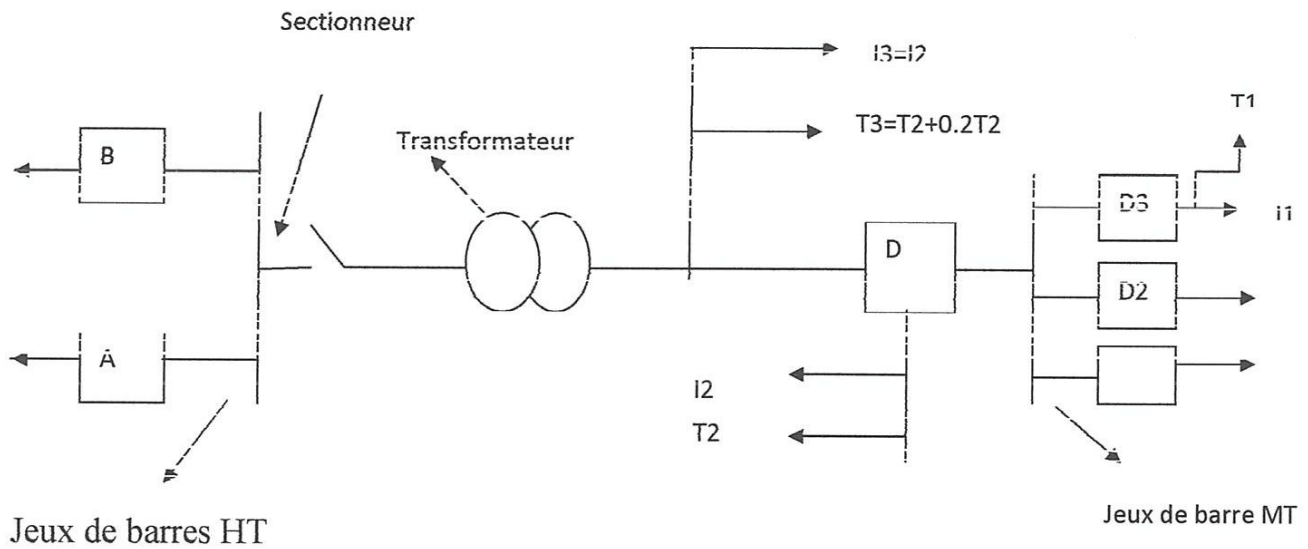


Fig 5-3 protection des jeux de barres

En cas de défaut polyphasé sur un départ MT, se sont les relais à maximum de courant qui doivent agir en provoquant l'ouverture du disjoncteur correspondant (d1 ou d2 ou d3).

Si un défaut affecte les jeux de barres il doit être éliminé par le disjoncteur 'D' dont des seuils de réglage du courant I et le temps T sont supérieurs à ceux des départ MT. soit I1 et T2 des relais de protection seront :

$$I2 = I1 + 0.1 I1$$

$$T2 = T1 + 0.5s$$

Si un défaut affecte le câble de liaison, il doit être détecté par deux relais à maximum de courant à action temporisé, associés au transformateur HT/MT qui ouvrent les disjoncteurs A .B.C .

5.7.2. Protection de transformateurs :

Les défauts qui pourraient affecter le transformateur sont .

- Court circuit entre phase à l'intérieur et l'extérieur de la cuve
- Court circuit entre spires
- Masse cuve

Le transformateur est équipé de protections de bases suivantes :

- Protection 'BUCHHOLTZ' qui protégé le transformateur contre tout défaut apparaissant à l'intérieur de la cuve .
- Protection différentielle
- Protection différentielle
- Protection masse cuve
- Ces protections se complètent mutuellement
- Protection masse cuve

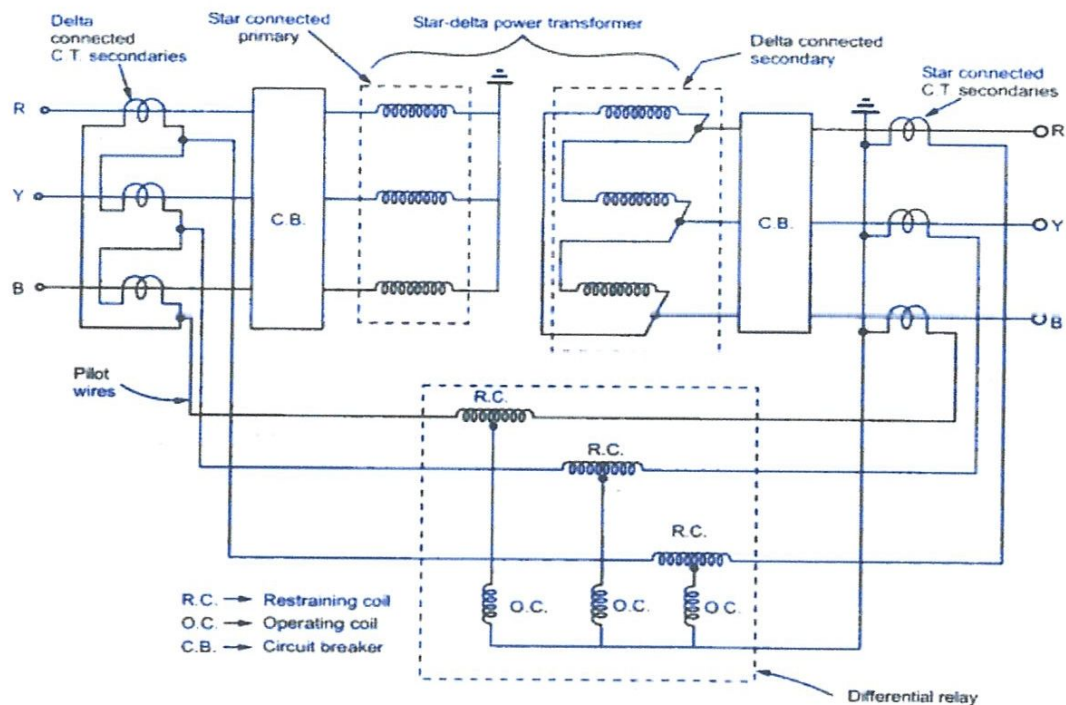


FIG 5-4 protections de transformateur

5.7.3. Protection différentielle

on peut représenter chaque phase du transformateur par le schéma simplifié suivant :

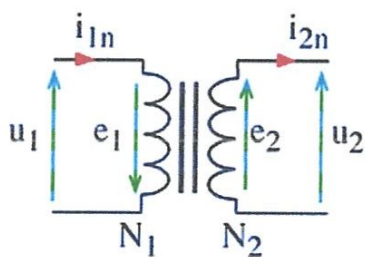


fig. 5-5 protection différentielle

Hors défaut $I1=I2$

En présence du défaut, un courant de différence apparait

$I_d = I1 - I2$ ce courant est comparé au courant somme

$$I = (I_1 + I_2) / 2$$

Le relais fonctionne lorsque le courant I_d représente un pourcentage (p) donné du courant somme soit :

$$I_d = p \cdot I$$

- Seuil d'insensibilisé (ou seuil bas)

Verrouillage de la protection en bas régime .ce seuil de réglage est de 0.2 à 0.8 I_r (courant de réglage). mesure du taux de l'harmonique 2.

Un détecteur verrouille la protection lorsque la différence de courant contient plus de 15 % de l'harmonique 2

- Seuil haut afin d'assurer un déclenchement rapide lors des défauts importants, tout courant $I_d > 8I_r$

5.7.4 Protection des lignes électriques :

5.7.4.1 protections différentielles longitudinales :

Cette protection est réalisée pour les lignes très courtes entre 10 et 20 km.

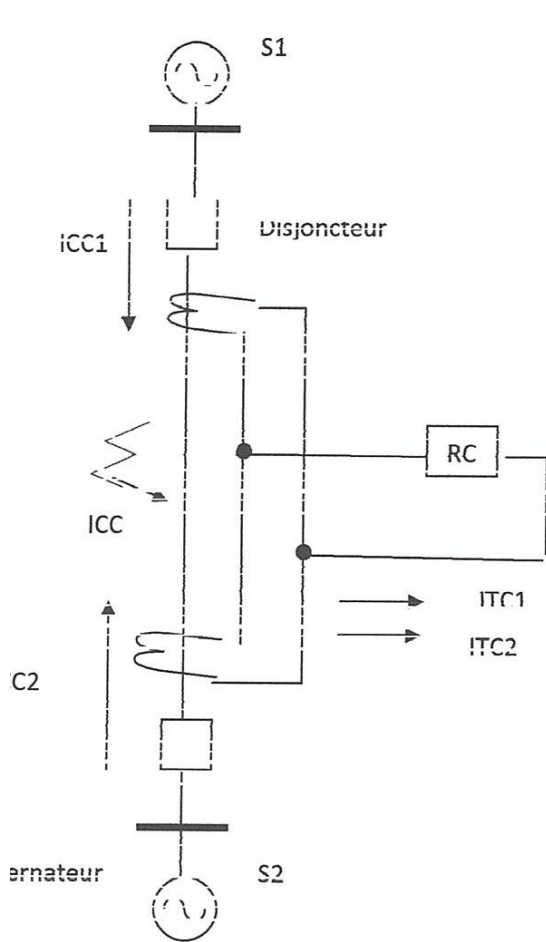


FIG 5.6

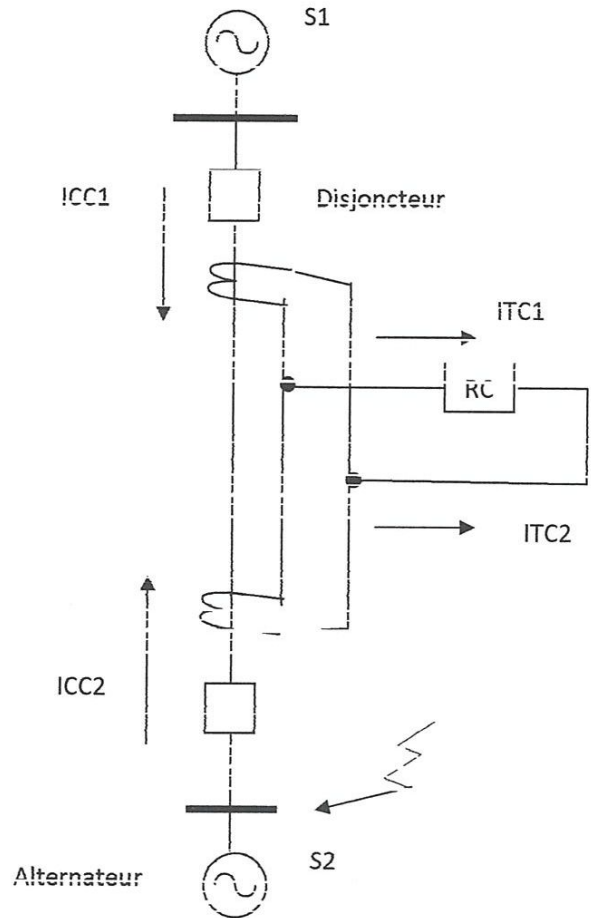


fig. 5.7

Sur la (fig. 5.6) le court-circuit est sur le jeu de barres de l'alternateur S2, les courants secondaires à la sortie des transformateurs de courant sont en opposition de phase, ce que fait que le courant de fonctionnement du relais de courant RC est nul ($I(I)RC = 0$) la protection différentielle reste aveugle c.-à-d. ne fonction pas.

Sur la (Fig5-7) la protection différentielle fonctionne car le défaut se trouve dans la zone de protection, et le courant de fonctionnement du relais de courant

égal à la somme des courants secondaires des transformateurs de courant
 $(I(\bar{f})_{RC} = I_{TC1} + I_{TC2})$

Le courant de réglage du relais de courant RC doit prendre en considération les différences des caractéristiques des transformateurs de courant dues à la conception.

$$I(\bar{f})_{RC} = K_{séc} I_{némax}$$

$$\text{Avec } I_{némax} = K \cdot \frac{F_i}{100} \cdot \frac{I_{CCmax}}{\eta_{TC}}$$

$K_{séc}$ (de 1.3 à 1.4) coefficients de sécurité

$I_{némax}$ courant non équilibré maximal

Avec :

\bar{K}_T : (de 0.5 à 0.1) coefficient qui tient compte des TC

F_i : (0.1) classe de précision des TC

η_{TC} : rapport de court-circuit maximal

Le schéma global de la protection différentielle d'une ligne de transport de l'énergie électrique est le même que celui de l'alternateur.

5.7.4.2 protections différentielles transversales :

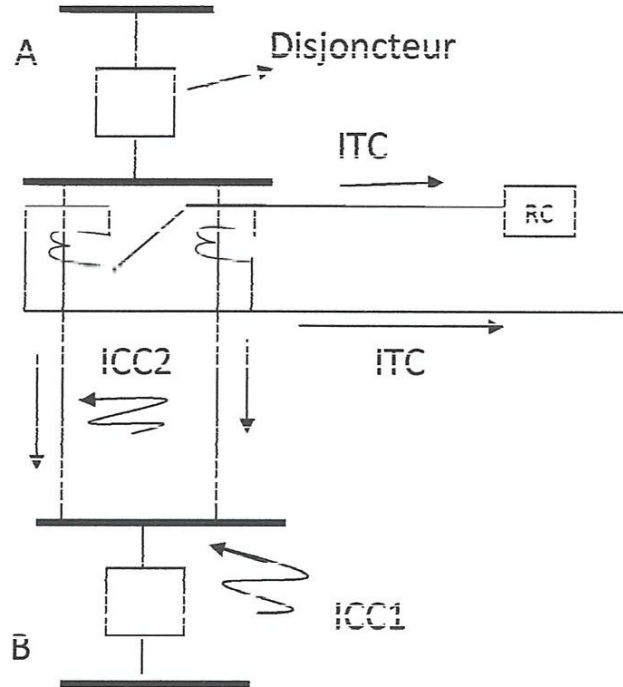


Fig 5-8 courant de court-circuit en fonction de la distance

- Au point de court-circuit N°1 le courant de fonctionnement des relais est nul.
- Au point de court-circuit N°2 le courant de fonctionnement des relais est différent de zéro parce que la distance au point de court-circuit n'est pas égale.

Le courant de fonctionnement des relais de courant est calculé par l'équation suivante :

Avec

$$I_f(R) = K_{séc} I_{néc}$$

$$I_{néc} = K_t \frac{Fi}{100} \frac{I_{CCmax}}{2\eta TC}$$

$$K_{séc} = 1.3 \div 1.4$$

Cette protection possède une zone morte ($I_m = 10\% DE 1$) où la protection n'agit pas car les courants de court-circuit sont pratiquement égaux.

5.7.4.3 protections à maximum de courant directionnel :

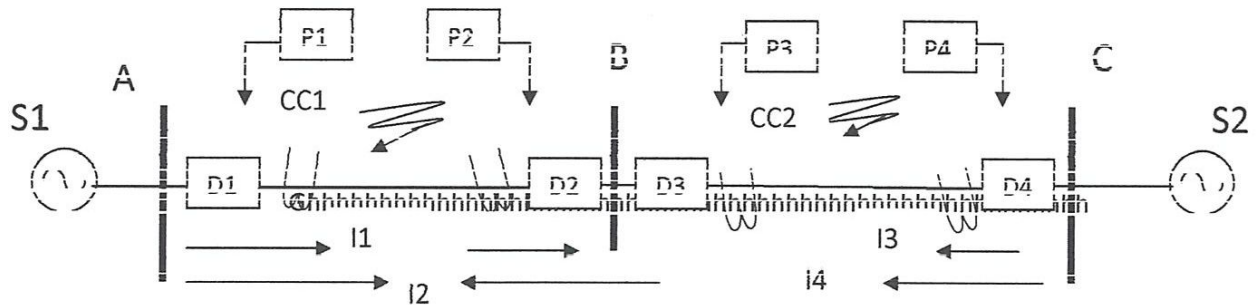


Fig 5-9 point de court-circuit

Dans ce cas , on ne peut pas utiliser une protection à maximum de courant temporisée car lors du court-circuit CC1 le temps de fonctionnement de la protection P2 est inférieur à celui de la protection P3 , tandis que lors du court-circuit CC2 c'est l'inverse , aussi on constate au niveau des disjoncteurs D2 et D3 les courant de court-circuit sont en opposition de phase.

Pour remédier cette situation, on adopte la protection qui réagit en fonction du déphasage des courant de court-circuit pour les protections P1 et P2 on utilise une protection à maximum de courant temporisé avec :

Pour le court-circuit CC1, $t_f(P4) \geq t_f(P2)$

Pour le court-circuit CC2, $t_f(P1) \geq t_f(P3)$

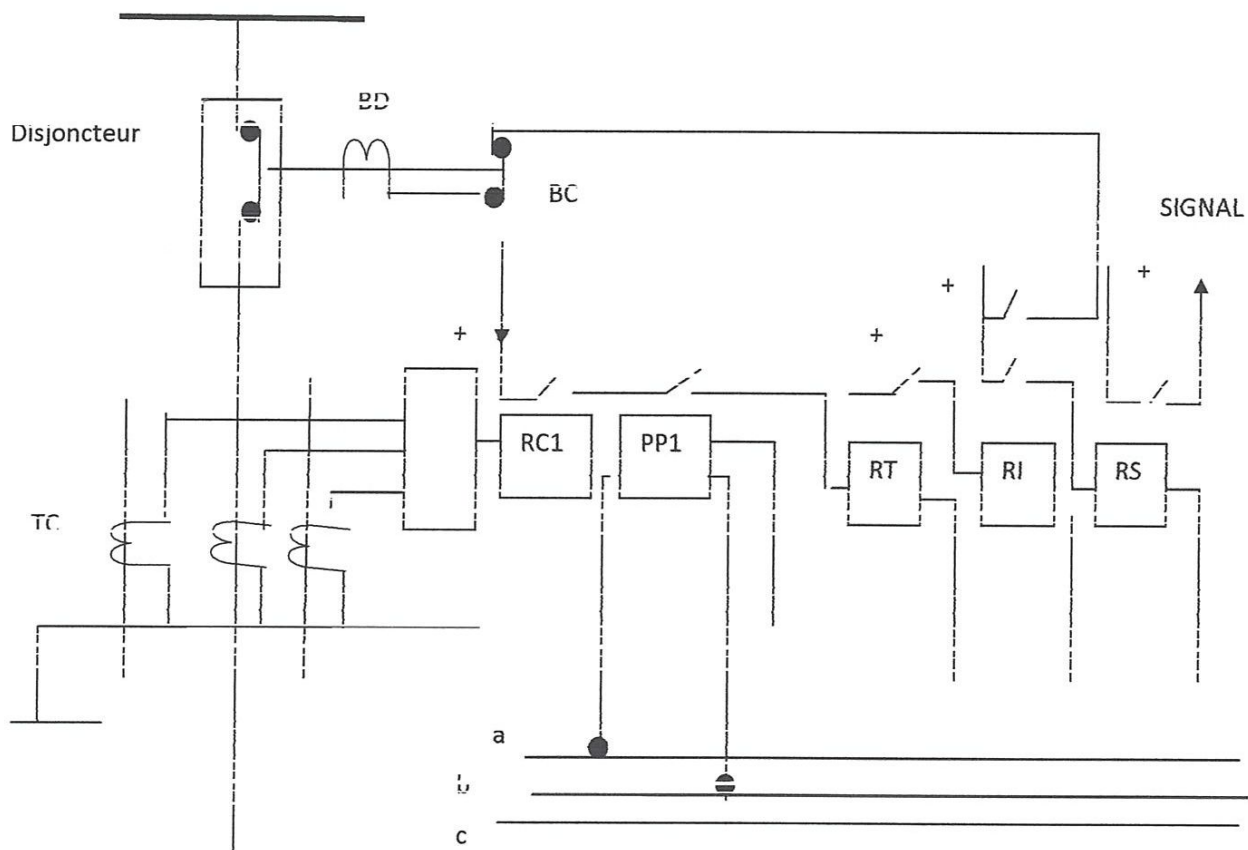


FIG 5.10 schéma de principe des protections à maximum de courant

Directionnelle

- Dans le court-circuit de chaque transformateur de courant on branche deux relais (un relais de courant et un relais de puissance) .

La mise en série des contacts des relais empêche le fonctionnement de la protection en régime normal et de surcharge, pendant le court-circuit, le contacte du relais de puissance se ferme selon la valeur de son couple moteur (selon le branchement du relais de puissance soit il agie pour un couple positif ou négatif).

Conclusion général

Cette étude nous a permis d'approfondir et enrichir nos connaissances au calcul et l'analyse des réseaux électriques et en particulier le calcul des courants de court-circuit cette dernière représente la partie importante de l'analyse des réseaux électriques.

Le but de ce travail était de présenter une méthode simple pour le calcul des courants de court-circuit dans n'importe quel point d'un réseau électrique.

Le calcul des courants de court-circuit se divise en deux parties, le calcul des courants de court-circuit symétrique et asymétriques pour les premiers il n'y a pas de problèmes le courant de court-circuit est déterminé à partir du schéma équivalent de composants directs.

Pour les deuxièmes il est difficile de calculer directement le courant de court-circuit la solution donc est la décomposition du système asymétrique en trois systèmes symétriques avec cette décomposition on a vu qu'on peut déterminer le courant de court-circuit n'importe quel type de défaut.

Il suffit seulement de tracer les schémas équivalents des trois composants symétriques et en tenant compte des conditions du court-circuit au point de défaut.

Pour assurer une continuité de fourniture de l'énergie électrique, on doit protéger notre système électrique contre tout défaut peut influencer le régime de fonctionnement, pour cela on installe des organes de protection, le choix de ces derniers dépend de la durée et l'amplitude du défaut, qui sont généralement les courts-circuits.

Pour chaque type de court-circuit il y a des conditions limites à partir de ses conditions on calcule le courant de court-circuit. Donc les appareils de protection sont choisis d'après les valeurs des courants de court-circuit.

Bibliographie :

**-cahier de technique n° 158 : calcule des courants de court-circuit :
ROLAND CALVAS, BENOIT DE METZ NOBLAT, ANDRE
DUCLUZUX, GEORGES THPMASST.**

**- Mémoire de licence L.M.D : calcule des courants de court-circuit et les
choix de la protection, juin 2008, Encadré par M.COUAIDIA SAID**

**-Guide de l'installation électrique (en français, selon NF C 15100:
édition 2004 ; en anglais selon CEI 60364 : édition 2005),
Réalisation Schneider Electric, (Institut Schneider Formation).**

**-Mémoire de master 02 L .M.D : calcule des courants de court-
circuit et moyennes de protection, juin 2010, Encadre par M.
BOUDFEL**

**-LE LIVRE : méthodes d'analyses des réseaux électrique, Auteur
Jean Claude sabonnad**

-

**-Mémoire de licence ingénieur :
Le calcule de courant de court-circuit dans les réseaux de transport
de répartition et de distribution.**

Les cahiers de cours :

Analyse de réseaux électriques... (k.bounaya)

Modélisation des réseaux électriques.... (s.gouaidia)