

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences technique

Spécialité : génie électrique

Option : réseaux électriques

Thème

**Calcule les défférents courants de court
circuit dans le réseau électrique**

Présenté par:

CHEKIMA LAZHARI
HAGA OUALID

Encadreur:

Mr.GUEHRARYOUCEF

Année universitaire:

2009/2010

Remerciement

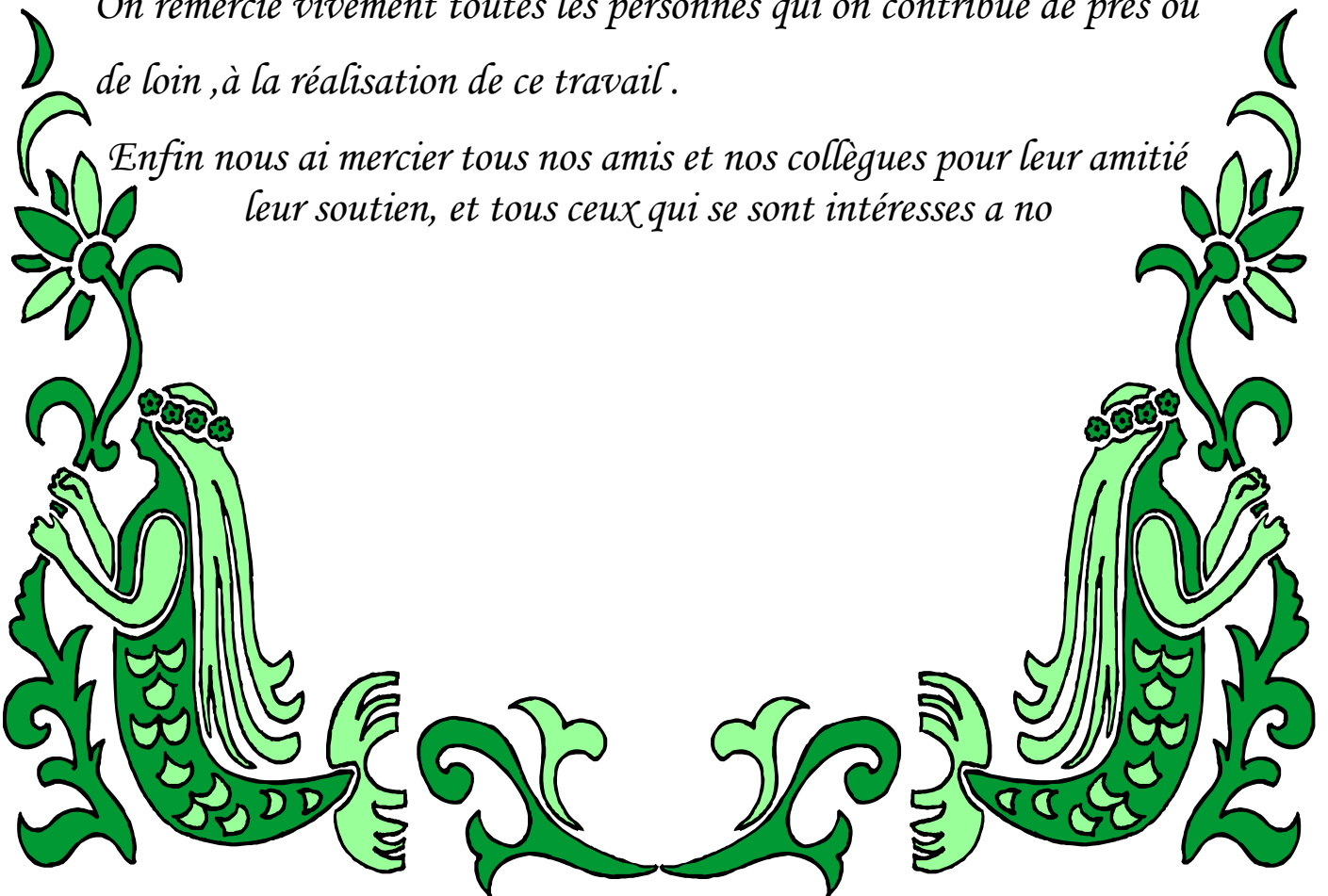
Tout d'abord on remercie le bon dieu puissant de la bonne santé, la volonté et de la patience qu'il nous a donnée tout au long de notre étude.

On remercie très sincèrement Mr. Guehrar. Youcef notre encadrement de ce travail, pour ses conseils pertinents, et ses orientations judicieuses, sa patienter et diligence, et par ses suggestions et critiques à grandement facilité ce travail.

On tient à exprimer notre gratitude aux membres de jury qui ont bien voulu examiner ce travail.

On remercie vivement toutes les personnes qui on contribue de près ou de loin ,à la réalisation de ce travail .

Enfin nous ai mercier tous nos amis et nos collègues pour leur amitié leur soutien, et tous ceux qui se sont intéressés a no



Dédicace

A mon cher père qui m'a appris que la vie est volonté est défit ;

A ma chère mère, l'exemple de la bougie qui éclaire ma vie ;

Je leur dédit ce modeste travail et j'espère que dieu les garde.

A mes chères amies intimes ;

Je dédie cette démarche à mes oncles et mes tantes ;

A mes grands-parents ;

A mes frangins et mes frangines;

A tout la famille

A celui qui partage avec moi ce travail.

*Je dédie ce travail à ceux qui nous ont guidés pendant notre cursus, à
mes enseignements ; je les remercie pour leur aide,*

*Encouragement et leur contribution efficace à la réalisation de ce
travail*

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation

De ce modeste travée.



Sommaire

Introduction générale	01
------------------------------------	-----------

Chapitre (I)

Introduction	03
I.1) Définition de court-circuit	03
I.2) Origine des défauts	04
I.2.1) Origine mécanique	04
I.2.2) Origine électrique	04
I.3) Caractères des défauts	04
I.4) Conséquences des défauts de court-circuit	04
I.5) Types de court-circuits	05
I.5.1) Le court-circuits équilibré (symétriques)	06
I.5.1.1) Court circuit triphasé	06
I.5.1.2) Court circuit triphasé à la terre	06
I.5.2) Les court circuits déséquilibrés (dissymétriques)	06
I.5.2.1) Court circuit monophasé à la terre	06
I.5.2.2) courts circuits biphasés isolés	07
I.5.2.3) court circuit biphasés à la terre	07
I.6) le but de calcul le courant de court circuit	08
Conclusion	08

Chapitre (II)

Introduction	09
II.1) Composant symétrique	09
II.1.1) système direct	09
II.1.2) Système inverse	10
II.1.3) Système homopolaire	10
II.2) Principe de composant symétrique	10
II.3) Décomposition d'un système triphasé en ses composantes symétriques	11
II.4) Simplifications des schémas	13
II.5) Paramètres Direct, Inverse et Homopolaire des éléments essentiels d'un réseau	14
II.5.1) Paramètres Directs	14

II.5.2) Paramètres Inverses	14
II.5.2) Paramètres Inverses	15
II.6) Méthode de calcul des régimes déséquilibrés	17
II.6.1) Principe de superposition	17
II.7) Méthode de résolution pratique	18
II.7.1) Défaut phase terre	19
II.7.2) Défaut biphasé terre	22
II.7.3) Défaut triphasé terre	24
Conclusion	25

Chapitre (III)

Introduction	26
III.1) Réseau à six jeux de barres	26
III.2) Les schémas des séquences	28
III.2.1) Le schéma de séquence directe	28
III.2.2) Le schéma de séquence inverse	28
III.2.3) Le schéma de séquence homopolaire	29
III.3) le schéma équivalent	29
III.3.1) Schéma directe et inverse (Calcul de Z_d (Z_i))	29
III.3.2) Schéma homopolaire (Calcul de Z_0)	34
III.4) Calcul les différents courants de court circuit	37
III.4.1) court circuit triphasé	37
III.4.2) court circuit monophasé	39
III.4.3) court circuit deux ligne terre	40
III.4.4) court circuit biphasé	41
Conclusion	41
<i>Conclusion générale</i>	42

Introduction générale:

L'électricité est devenue l'énergie la plus appelée à satisfaire les besoins humains et de permettre les activités économiques et leur développement. Il est bien connue que l'électricité est un produit très particulier, il peut seulement être produit au moment ou il est demandé ni plus tard.

Ainsi que la production et le transport de l'énergie électrique ont besoins d'être protégé et donne une qualité de service suffisant, et dans des conditions économiques optimales, très soigneusement une instrumentation complexe et bien coordonnée.

Le transport de l'énergie électrique est effectué par des systèmes triphasés, ces systèmes sont pratiquement le siège d'une déséquilibre des tensions due aux réseaux d'alimentation et par suite un déséquilibre des impédances des récepteurs.

Pour pouvoir évaluer les déséquilibres tolérables lors de l'exploitation des réseaux électriques, il est nécessaire de disposer d'une description mathématique les phénomènes qui caractérisant leur fonctionnement lors d'un déséquilibre.

La méthode des composantes symétriques la plus utilisée pour déterminer des grandeurs (courant et tension) de ces phénomènes. Cette dernière consiste à décomposer un système quelconque de tension ou de courant en la somme de trois systèmes équilibrée indépendants.

- ✓ Séquence directe;
- ✓ Séquence inverse;
- ✓ Séquence homopolaire.

Ces composantes symétriques sont d'une grande utilise pour l'étude analytique, ou la simulation des déséquilibres intervenant dans les réseaux électriques.

Notre travail se compose en trois partis:

Dans le premier chapitre on s'est consacré à présenter des généralités sur les courants de court-circuit, dans le deuxième chapitre présent la méthode de calcule de courant de court circuit de problème symétrique, dans dernier chapitre on fait exemple de calcule des courants de court circuit d'un réseau ayant six jeux de barres.

Introduction :

Toute installation électrique doit être protégée contre les courts-circuits et ceci, sauf exception, chaque fois qu'il y a une discontinuité électrique, ce qui correspond le plus généralement de bien choisir la section des conducteurs et les appareils de protection. L'intensité du courant de court-circuit est à calculer aux différents étages de l'installation, ceci pour pouvoir déterminer les caractéristiques du matériel qui doit supporter ou couper ce courant de défaut. Deux valeurs du courant de court-circuit doivent être connues :

- Le courant maximal de court-circuit qui détermine :
 - Le pouvoir de coupure -PDC- des disjoncteurs.
 - Le pouvoir de fermeture des appareils.
 - La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage.

Il correspond à un court-circuit à proximité immédiate des bornes aval de l'organe de protection. Il doit être calculé avec une bonne précision (marge de sécurité).

- Le courant minimal de court-circuit indispensable au choix de la courbe de déclenchement des disjoncteurs et des fusibles, en particulier quand :
 - La longueur des câbles est importante et/ou que la source est relativement impédante (générateurs-onduleurs) .
 - La protection des personnes repose sur le fonctionnement des disjoncteurs ou des fusibles, c'est essentiellement le cas avec les schémas de liaison à la terre du neutre TN ou I T.

Les réseaux électriques soumis à un environnement quelque fois sévère, sont le siège d'incident qui provoque des perturbations de l'alimentation en général aux courts circuits d'origines divers affectant les réseaux .

I.1) Définition de court-circuit :

On dit qu'il se produit un court-circuit ou un défaut lorsqu'un conducteur sous tension se trouve mis en contact accidentellement avec un conducteur de tension différente ou avec une pièce conductrice reliée à la terre (bâti de machine, support de ligne,...), un arc électrique ou avec la terre elle-même. On appelle court-circuit métallique un contact direct entre pièces conductrices, ou même contact par l'intermédiaire d'une autre pièce conductrice. Le plus souvent un arc électrique s'établit à travers le diélectrique, soit sous l'effet d'une surélévation anormale de la tension. Le milieu dans lequel s'établit l'arc est rendu conducteur par ionisation . [1]

I.2) Origine des défauts:

Une installation électrique est susceptible de subir des courts circuits l'origine peut être :

I.2.1) Origine mécanique:

Par exemple une rupture des conducteurs, une liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger tel que outils animaux, une rupture d'un support d'un conducteur ou, isolateur sur une ligne aérienne.

I.2.2) Origine électrique:

- Surtensions électriques d'origine interne ou atmosphérique.
- Ou à la suite d'une dégradation de l'isolement, consécutive à la chaleur, l'humidité ou une ambiance corrosive .
- Une erreur d'exploitation, par exemple la mise à la terre d'une phase. Un couplage entre deux sources de tension différentes ou des phases différentes, et aussi une fermeture par erreur d'un appareil de coupure. [2]

I.3) Caractères des défauts:

Ces courts circuits peuvent être:

- Défauts auto-extincteurs .
- Défaut fugitifs: Ce défauts disparaissent après l'ouverture des disjoncteurs de protection et ne réapparaissent par lors de la remise en service (le défaut est brûlé) .
- Défauts permanents: Les défauts permanents nécessitent la mise hors tension d'un câble d'une machine et l'intervention du personnel d'exploitation . [2]

I.4) Conséquences des défauts de court-circuit:

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

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

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

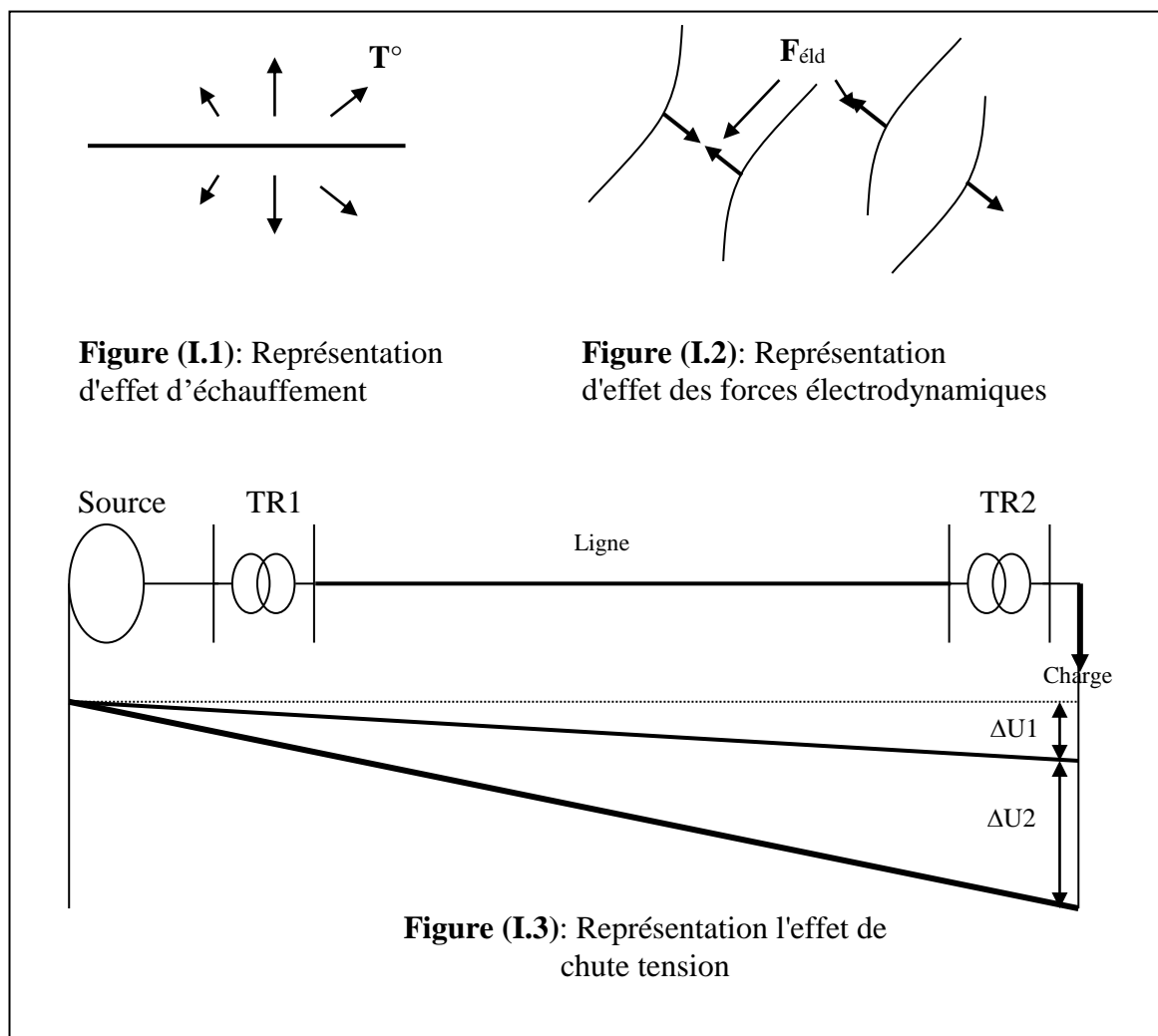
2. Pour le circuit défectueux :

- Les efforts électrodynamiques, avec :
 - A -déformation des jeux de barres .
 - B -arrachement des câbles .

3. Suréchauffement par augmentation des pertes joules, avec risque de détérioration des isolants .

4. 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.
- Grandes chutes (pertes) de tensions, ce qui diminue le niveau de tension etc. [3]



$\Delta U1$: Chute de tension dans le régime normal.

$\Delta U2$: Chute de tension dans le régime de court-circuit .

I.5) Types de court-circuits:

La connaissance de la valeur du courant du court circuit en différents points du réseau est donnée indispensable pour définir les éléments du réseau qui sont.

Les câbles, jeux de barre, les transformateurs, tout le matériel d'interruption et de protection ainsi que leur réglage.

La valeur de courant varie suivant le type de court-circuit qui peut affecter une ou plusieurs phases ainsi que la mise à la terre.

I.5.1) Le court-circuits équilibré (symétriques):

(Environ 5% de tous les court-circuits) intéressant toutes les phases avec ou sans mise à la terre.

I.5.1.1) Court circuit triphasé:

C'est le défaut correspondant à la figure ci-dessous. En générale, il provoque les courants de défaut les plus importants. Son calcul est donc indispensable pour choisir les matériels (intensité et contraintes électrodynamique maximale à supporter). [2]

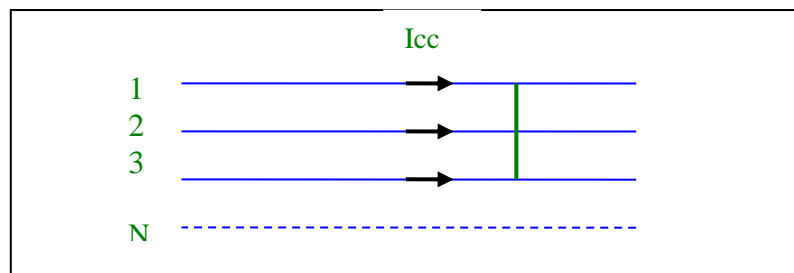


Figure (I.4): Représentation court-circuits triphasé simple.

I.5.1.2) Court circuit triphasé à la terre:

C'est le défaut correspondant à la figure ci-dessous, un court circuit triphasé qui se produit entre trois phases du réseau et la terre (la mise à la terre ne modifie pas la valeur des courants, puisqu'en raison de la symétrie du système, le conducteur neutre, ou la terre, n'est parcouru par aucun courant). [2]

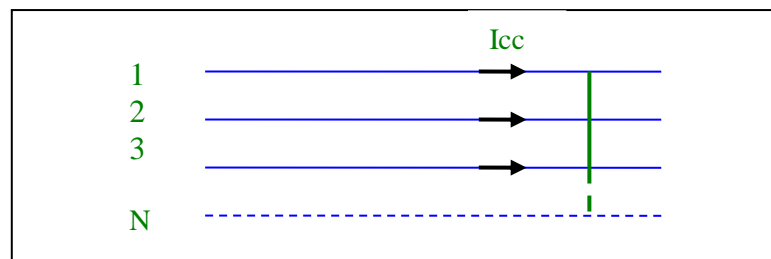


Figure (I.5): Représentation court-circuits triphasé à la terre.

I.5.2) Les court circuits déséquilibrés (dissymétriques):

Les types des courts circuits déséquilibrés sont:

I.5.2.1) Court circuit monophasé à la terre:

Cela se traduit par la mise en contact par le sol ou par une pièce conductrice avec la terre).

Ces court-circuits représentent 80 à 85% des cas. [4]

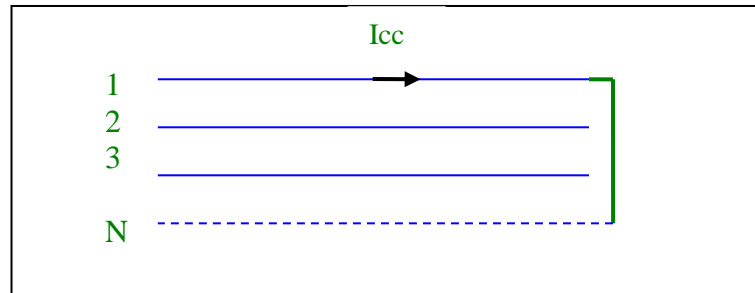


Figure (I.6): Représentation de court-circuits monophasé à la terre.

I.5.2.2) Courts circuits biphasés isolés:

C'est le défaut correspond à la figure ci-dessous, Ces représentent environ 10 à15% des cas. [4]

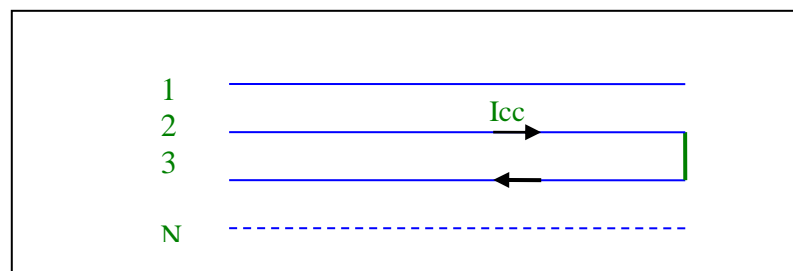


Figure (I.7): Représentation court-circuits biphasé isolé.

I.5.2.3) Court circuit biphasés à la terre:

C'est le défaut correspond à la figure ci-dessous, un court-circuits biphasé à la terre qui se produit entre deux phase et la terre. Ces représentent environ 10 à15% des cas. [4]

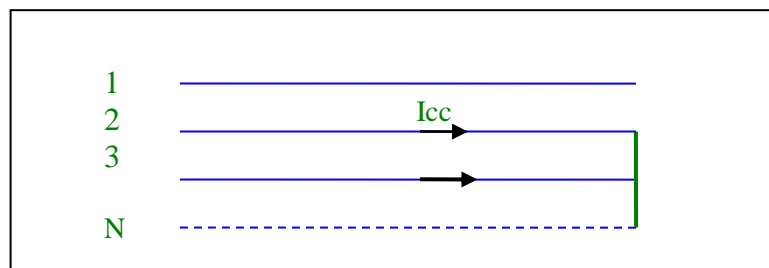


Figure (I.8): Représentation court-circuits biphasé à la terre.

Tableau:(I-1): Probabilité de survenance des différents courts circuits.

Notation	Types de court-circuit	Probabilité de survenance
K⁽³⁾	Triphasé	5%
K⁽²⁾	Biphasé	10 à 15%
K^(1,1)	Biphasé à la terre	10 à 15%
K⁽¹⁾	Monophasé	80 à 85%

I.6) Le but de calcul le courant de court circuit :

La détermination courant de court-circuit dans une installation est a la base de la conception d'un réseau .Elle détermine:

- ⊕ Le pouvoir des coupures des appareils de protection.
- ⊕ La tenue des câbles ou des canalisations électriques.
- ⊕ Sécurité des personnes.

Conclusion:

Un courant de court-circuit est une valeur anormale de courant ayant une grande intensité provoquée par un contact franc entre phases ou entre phase et terre.

Dans un réseau triphasé on peut classer les court-circuits de la manière suivante : court circuit triphasé, monophasé à la terre, biphasé isolé, et biphasé à la terre.

Les causes des défauts sont, des détériorations mécaniques, soit des surtensions ou parfois des manœuvres erronées des personnels d'exploitation.

Introduction:

Le dimensionnement d'une installation et des matériels à mettre en œuvre, le réglage des protections, comme l'analyse de phénomènes électriques, nécessitent souvent des calculs de courants et de tensions dans des réseaux.

En fonctionnement normal équilibré symétrique, l'étude des réseaux triphasés peut se ramener à l'étude d'un réseau monophasé équivalent de tensions égales aux tensions simples du réseau, de courants égaux à ceux du réseau et d'impédances égales à celles du réseau.

Dès qu'apparaît une dissymétrie significative dans la configuration du réseau, la simplification n'est plus possible, car on ne peut établir les relations dans les différents conducteurs à l'aide d'une impédance cyclique par élément de réseau.

La méthode générale faisant appel aux lois d'Ohm et de Kirchhoff est possible mais complexe et lourde. La méthode, dite des composantes symétriques, décrite dans ce projet simplifie les calculs et permet une résolution beaucoup plus facile en se ramenant à la superposition de trois réseaux monophasés indépendants.

II.1) Composant symétrique:

Il est important de déterminer les valeurs de tension et courant du système pendant ces courts-circuits afin de dimensionner les dispositifs de protections. La méthode des composantes symétriques apparaît admirablement destinée pour l'analyse des systèmes dissymétriques.

Soit un ensemble de trois vecteurs triphasés sinusoïdaux tournant à la même vitesse ω . Ils sont donc fixes les uns par rapport aux autres.

Il existe trois dispositions particulières présentant une symétrie des vecteurs entre eux et pour cela qualifiées de « composantes symétriques ».

II.1.1) système direct:

Le « système direct » encore appelé par l'anglo-saxonne « séquence positive », dans lequel $\bar{V}_{1d}, \bar{V}_{2d}, \bar{V}_{3d}$ ont même amplitude, sont décalés de 120° et sont disposés selon le sens horaire. [5]

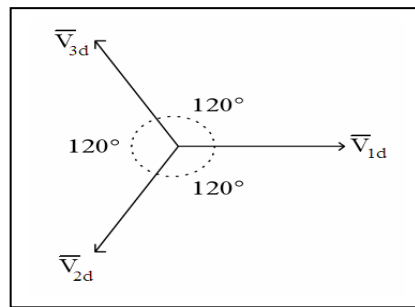


Figure (II-1): Système direct.

II.1.2) Système inverse:

Le « système inverse » encore appelé par les anglo-saxons « séquence négative », dans lequel $\bar{V}_{1i}, \bar{V}_{2i}, \bar{V}_{3i}$ ont même amplitude, sont décalés de 120° et sont disposés selon le sens trigonométrique.[5]

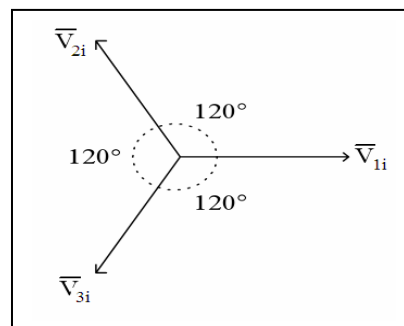


Figure (II-2): Système inverse.

II.1.3) Système homopolaire:

Le « système homopolaire » encore appelé par l'anglo-saxonne « séquence nulle », dans lequel $\bar{V}_{10}, \bar{V}_{20}, \bar{V}_{30}$ ont même amplitude, sont en phase et donc colinéaires. [5]

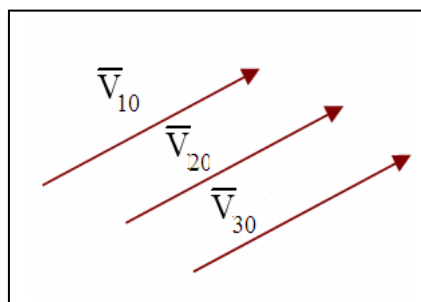


Figure (II-3): Système homopolaire.

II.2) Principe de composant symétrique: [6]

La méthode des composantes symétriques consiste à substituer à un système initial déséquilibré de « q » grandeurs complexes quelconque un système de « q » grandeurs génératrices, permettant de définir « q » systèmes symétriques. La transformation est assurée par un opérateur matriciel complexe appelé matrice de Fortescue noté [T], dont les coefficients sont formés à partir de la résolution l'équation complexe $z^q - 1 = 0$.

Cette équation peut s'écrire:

$$z^q - 1 = (Z - Z_1)(Z - Z_2) \dots (Z - Z_q) \quad (\text{II-1})$$

Où Z_1, Z_2, K, Z_q sont les racines complexes de l'équation.

$$Z_1 = 1$$

$$Z_2 = e^{j2\pi/q} = a$$

$$Z_3 = e^{j4\pi/q} = a^2 \quad (\text{II-2})$$

⋮

$$Z_q = e^{j2\pi(q-1)/q} = a^{q-1}$$

II.3) Décomposition d'un système triphasé en ses composantes symétriques: [5]

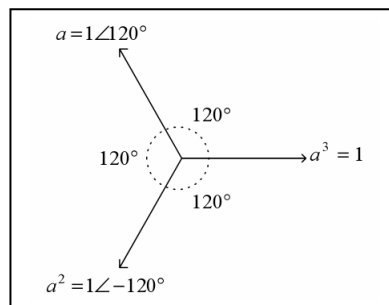
Soit un système triphasé quelconque formé des trois vecteurs $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$. On montre que ce système est la somme de 3 systèmes triphasés équilibrés : direct, inverse et homopolaire.

On cherchera donc:

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_{1d} + \bar{V}_{1i} + \bar{V}_{1o} \\ \bar{V}_2 = \bar{V}_{2d} + \bar{V}_{2i} + \bar{V}_{2o} \\ \bar{V}_3 = \bar{V}_{3d} + \bar{V}_{3i} + \bar{V}_{3o} \end{cases} \quad (\text{II-3})$$

On introduit l'opérateur « a » utilisé dans la représentation des composantes symétriques.

Il est défini comme un vecteur unitaire d'argument égal à 120° . À savoir $a = 1 \angle 120^\circ$



Figure(II-4): L'opérateur « a ».

Donc

$$a^2 = a \times a = (1/120^\circ) \times (1/120^\circ) = (1/240^\circ) = (1/-120^\circ)$$

Et

$$a^3 = a^2 \times a = (1/-120^\circ) \times (1/120^\circ) = 1$$

Clairement, on a

$$1 + a + a^2 = 0 \quad (\text{II-4})$$

$$\text{Si : } a = 1/120^\circ = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$ET : a^2 = 1/\underline{-120^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Donc :

$$1 - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = 0$$

Donc on peut écrire

$$\begin{cases} \bar{V}_{1d} = \bar{V}_d, \bar{V}_{2d} = a^2 \bar{V}_d, \bar{V}_{3d} = a \bar{V}_d \\ \bar{V}_{1i} = \bar{V}_i, \bar{V}_{2i} = a \bar{V}_i, \bar{V}_{3i} = a^2 \bar{V}_i \\ \bar{V}_{1o} = \bar{V}_{2o} = \bar{V}_{3o} = \bar{V}_o \end{cases} \quad (\text{II-5})$$

Soit le système triphasé

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_o + \bar{V}_d + \bar{V}_i \\ \bar{V}_2 = \bar{V}_o + a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i \\ \bar{V}_3 = \bar{V}_o + a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i \end{cases} \quad (\text{II-6})$$

Sous forme matriciel

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{V}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_o \\ \bar{V}_d \\ \bar{V}_i \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \bar{V}_o \\ \bar{V}_d \\ \bar{V}_i \end{bmatrix} \quad (\text{II-7})$$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

[T]: Est la matrice de **Fortescue**

Les composants symétriques de système peut trouver par:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_o \\ \bar{V}_d \\ \bar{V}_i \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{V}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{V}_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II-8})$$

$$[T]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \bar{V}_o = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) \\ \bar{V}_d = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 + a^2\bar{V}_3) \\ \bar{V}_i = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + a^2\bar{V}_2 + a\bar{V}_3) \end{cases} \quad (\text{II-9})$$

La même chose pour les courant:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_o \\ \bar{I}_d \\ \bar{I}_i \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \bar{I}_o \\ \bar{I}_d \\ \bar{I}_i \end{bmatrix} \quad (\text{II-10})$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_o \\ \bar{I}_d \\ \bar{I}_i \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} \quad (\text{III1})$$

- Leur construction géométrique est aisée en tenant compte de la signification de l'opérateur « a » [5]

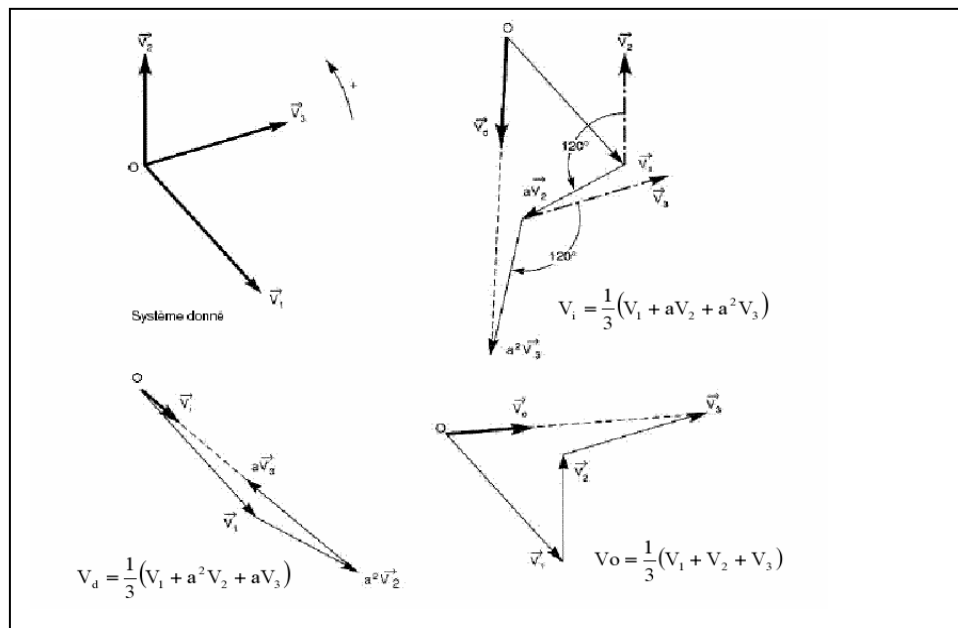


Figure (II-5): Construction géométrique des composantes symétriques avec l'opérateur « a ».

II.4) Simplifications des schémas:

Lors des courts-circuits l'intensité du courant peut atteindre des valeurs très élevées. Dans le cas pratique ou les courts-circuits se produisent dans un réseau comportant de nombreuses lignes et plusieurs transformateurs élévateurs ou abaisseurs de tension, on peut conclure :

1) Que l'intensité des courants de court-circuit diffère d'un point à l'autre d'un réseau : relativement intenses à proximité des centrales, ils sont moins à distance, plus grande, vu qu'ils sont alors limités par les impédances des lignes et des transformateurs entre les sources et le défaut.

2) Qu'en un point donné du réseau, le courant de court-circuit peut augmenter très sensiblement si l'on accroît la puissance de la centrale, ou si l'on procède à l'interconnexion de centrales précédemment isolées.

Dans les réseaux industriels, la réactance des différents éléments constitutifs est généralement prépondérante par rapport à la résistance ; aussi peut-on négliger cette dernière pour le calcul des courants de court-circuit et assimiler les impédances à des réactances pures.

- Dans les transformateurs on néglige les résistances et courants magnétisant.
- Dans les machines synchrones, on néglige les résistances.
- Au niveau des lignes de transmission, on néglige les condensateurs, conductances et résistances.

Ces approximations entraînent une erreur $\leq 5\%$. [1]

II.5) Paramètres Direct, Inverse et Homopolaire des éléments essentiels d'un réseau:

II.5.1) Paramètres Directs:

La réactance directe de n'importe quel élément du circuit à considérer, est une réactance du régime symétrique de fonctionnement de phase c'est à dire la même que pour le calcul du régime triphasé symétrique. [3]

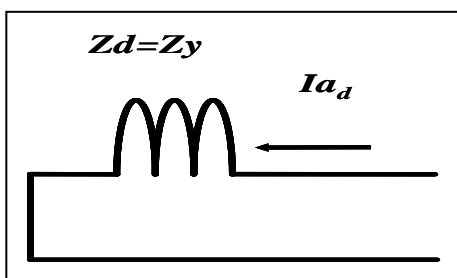


Figure (II-6): Circuit équivalent des séquences directes d'une charge couplée en étoile.

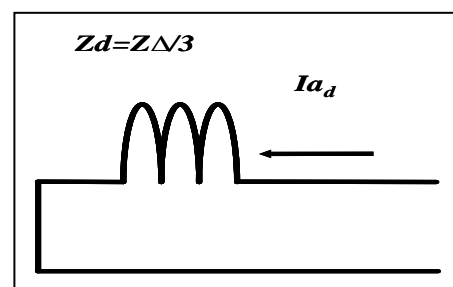


Figure (II-7): Circuit équivalent des séquences directes d'une charge couplée en triangle.

II.5.2) Paramètres Inverses:

Le schéma équivalent inverse s'obtient à partir du schéma équivalent direct en court-circuitant les sources de tension.

Les réactances inverses se divisent en deux types essentiels.

Pour les éléments statiques du réseau (Lignes, Câbles, Transformateurs, Bobines de self) les réactances (impédances) inverses sont égales aux réactances directes.

Pour les éléments mobiles (machines électriques tournantes) les réactances (impédances) inverses ne sont pas égales aux réactances directes. [3]

II.5.3) Paramètres Homopolaires:


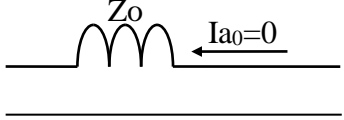

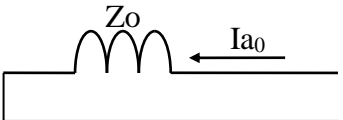
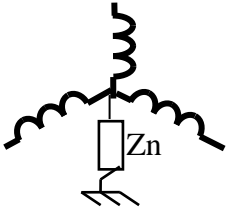
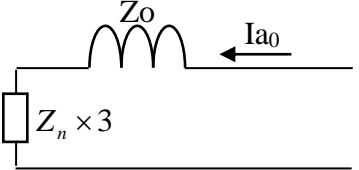
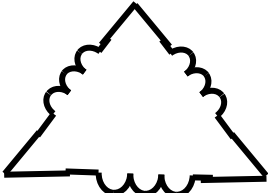
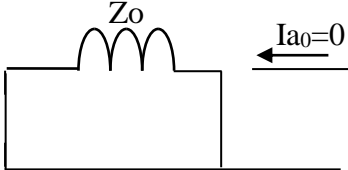
Le schéma équivalent de séquence Homopolaire dépend du régime du réseau par rapport à la terre et des schémas de connexion des enroulements triphasés pour chaque élément du système. [3]

- **Paramètres homopolaires des machines synchrones (générateur):**

Si le neutre est isolé $X_o = \infty$, mais si celui-ci est mis à la terre, X_o doit être mesurer car elle dépend des caractéristiques de la machine synchrone. [3]

- **Paramètres Homopolaires des charges:**

Tableau (II-1): Circuit équivalente de séquence homopolaire d’une charge.

Connexion du charges	Schéma équivalent Homopolaire
	
	
	
	

• Paramètres Homopolaires des lignes de transport d'énergie électrique:

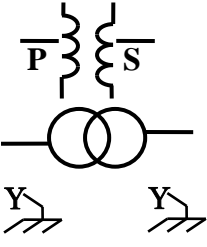
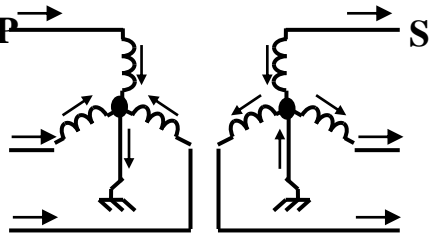
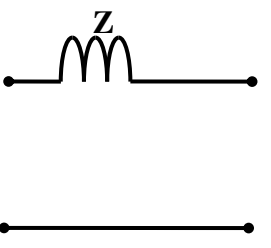
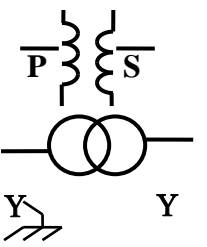
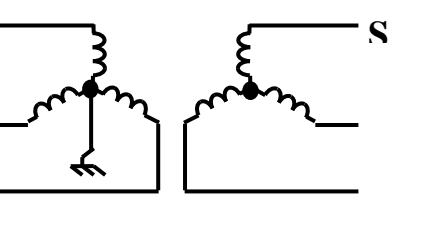
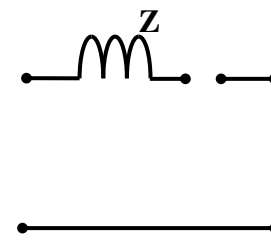
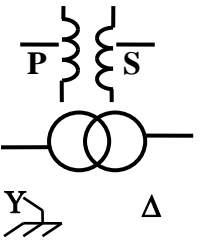
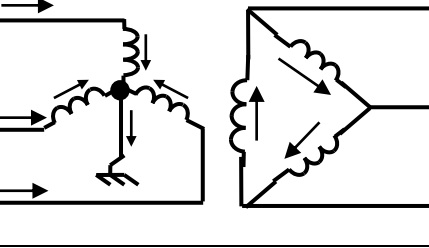
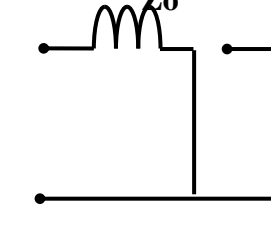
Tableau (II-2): Réactances homopolaires des lignes. [2]

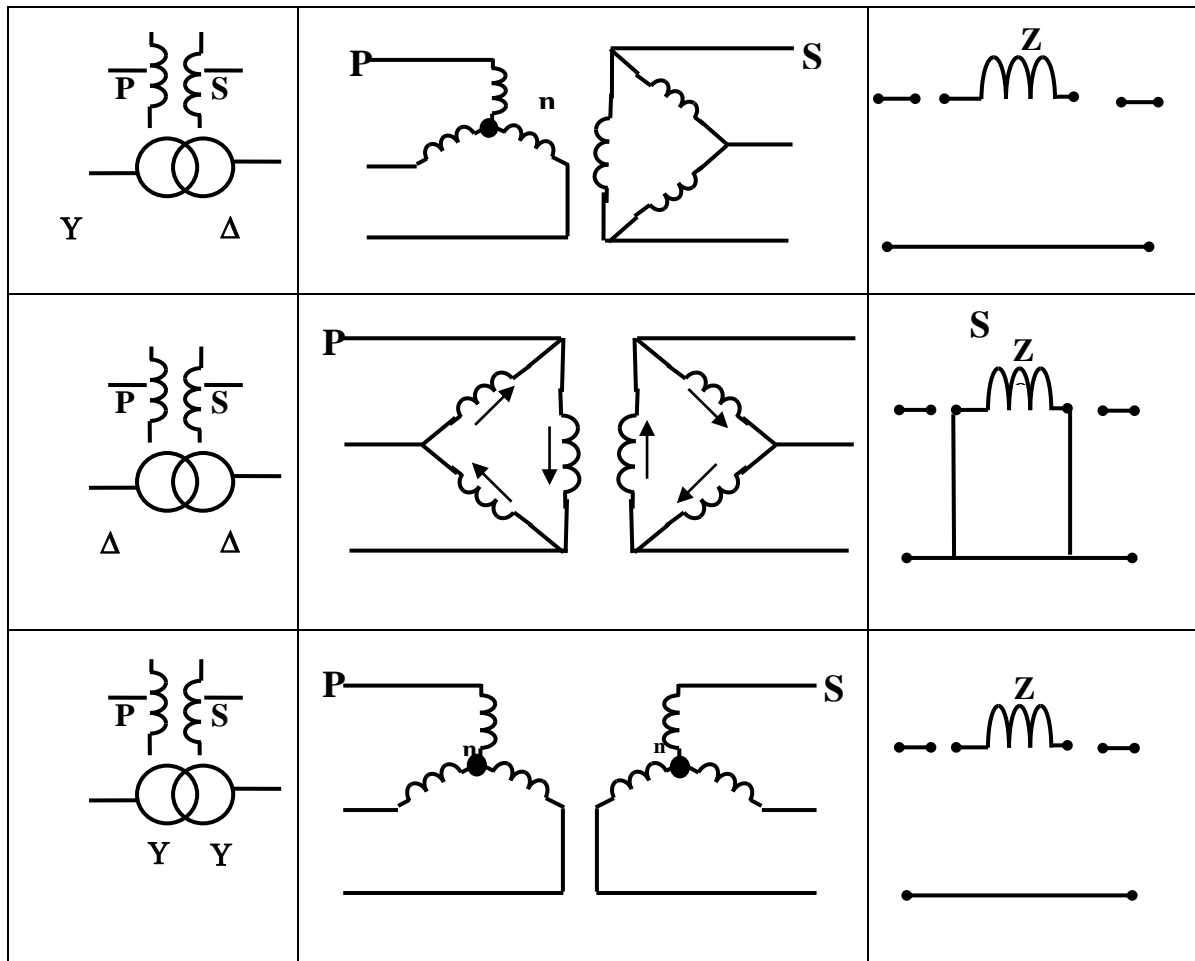
N°	Ligne	X_1/ X_0
1	Ligne sans / avec fil de garde en acier	$X_0= 3,5.X_1$
2	Ligne avec fil de garde mis à la terre avec une grande conductivité	$X_0= 2.X_1$
3	Ligne à double circuit sans / avec fil de garde en acier	$X_0= 5,5.X_1$
4	Ligne à double circuit avec fil de garde mis à la terre avec une grande conductivité	$X_0= 3.X_1$

• Paramètres Homopolaires des transformateurs:

L'impédance homopolaire d'un transformateur dépend de couplage et de mise à la terre de bobinage. [3]

Tableau (II-3): Circuit équivalente de séquence homopolaire d'un transformateur

Couplage	Diagramme de connection du transformateur	Schéma équivalent Homopolaire
		
		
		



Remarques

Les observations suivantes sont importantes:

- Le neutre de système est le point de référence pour les séquences directe et inverse.
- La terre est le point de référence pour la séquence homopolaire. Par conséquent le courant homopolaire ne peut pas passer à moins qu'il y a une liaison à la terre.
- L'impédance de mise à la terre est réfléchié dans la séquence homopolaire par $3Z_n$.

II.6) Méthode de calcul des régimes déséquilibrés:

II.6.1) Principe de superposition:

Nous allons examiner le comportement d'un réseau triphasé linéaire et symétrique, c'est à dire composé d'impédances constantes et identiques pour les 3 phases (c'est le cas en pratique) ne comportant que des forces électromotrices équilibrées mais dont les courants et tensions peuvent se trouver déséquilibrés du fait de la connexion à une zone dissymétrique (D). Les forces électromotrices (f.e.m.) constituent par nature des systèmes directs, les f.e.m. des systèmes inverses et homopolaires étant nulles. Le fonctionnement du réseau est interprété en considérant la superposition de trois régimes correspondant

chacun à l'un des systèmes direct, inverse et homopolaire. En effet dans ce réseau linéaire et symétrique, les courants de chaque système sont liés uniquement aux tensions du même système, et réciproquement, par l'intermédiaire des impédances du système considéré. Notons que ces impédances Z_d , Z_i , Z_o sont fonction des impédances réelles, notamment des inductances mutuelles.

Pour un réseau comportant une seule f.e.m, les composantes symétriques des tensions et des courants étant respectivement, à l'endroit (D) de la dissymétrie V_d , V_i , V_o , I_d , I_i , I_o . les relations définissant les 3 séquences sont :

$$\begin{cases} E = V_d + Z_d \times I_d \\ 0 = V_i + Z_i \times I_i \\ 0 = V_o + Z_o \times I_o \end{cases} \quad (\text{II-12})$$

Schématisées par la Figure (II-8)

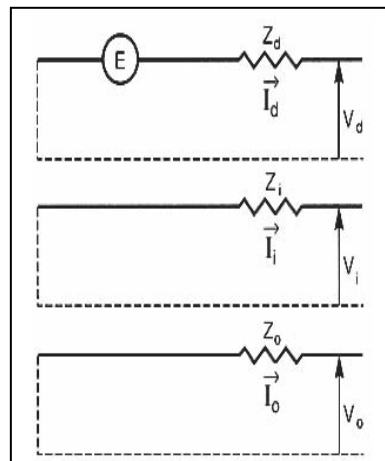


Figure (II-8): Les schémas des trois séquences.

Pour les réseaux comportant plusieurs sources, ces équations restent valables à condition de considérer E et Z_d , Z_i , Z_o , respectivement comme la f.e.m. et comme les impédances internes du générateur équivalent de Thévenin pour les trois séquences vues au point de défaut. [1]

II.7) Méthode de résolution pratique:

La méthode résumée ci-dessous sera développée en détail sur l'exemple du paragraphe suivant (défaut monophasé terre).

- ⊕ Le réseau est divisé en 2 zones:
 - une zone dissymétrique (D), (réseau déséquilibré).
 - une zone symétrique (S), (réseau équilibré).
- ⊕ On écrit les équations liant courants et tensions :
 - dans la zone (D), (composantes réelles).

- dans la zone (S), (composantes symétriques).
 - continuité à la frontière(D-S).
 - fonctionnement dans la zone (S).
- ⊕ La résolution mathématique des équations permet de calculer les valeurs des composantes symétriques et des composantes réelles des courants et tensions des zones (D) et (S).

Il est à noter que les schémas représentatifs des systèmes symétriques offrent la possibilité de calculer directement les valeurs des composantes symétriques. [1]

II.7.1) Défaut phase-terre (dit défaut homopolaire): ce défaut est entre la phase « I » et la terre. [1]

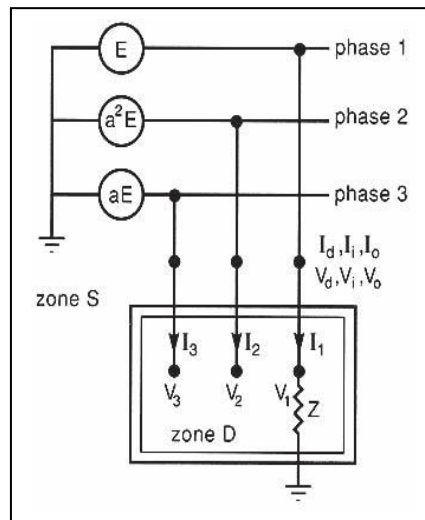


Figure (II-9) : Schéma d'un défaut phase-terre.

A. Ecriture des équations

- ⊕ Isolement de la zone dissymétrique (Figure: (II-9)).
- ⊕ Equations des composantes réelles dans (D)

$$\begin{cases} I_2 = I_3 = 0 \\ V_1 = Z \times I_1 \end{cases} \quad (II-13)$$

Ces équations décrivent le cas examiné. Ce sont les seules qui soient propres cas de figure.

⊕ Equations des composantes symétriques dans (S)

$$\begin{cases} I_1 = I_d + I_i + I_o \\ I_2 = a^2 I_d + a I_i + I_o \\ I_3 = a I_d + a^2 I_i + I_o \\ V_1 + V_d + V_i + V_o \\ V_2 = a^2 V_d + a V_i + V_o \\ V_3 = a V_d + a^2 V_i + V_o \end{cases} \quad (\text{II-14})$$

Ces équations lient respectivement les courants réels et les tensions réelles à leurs composantes symétriques.

On les retrouvera à l'identique dans tous calculs de régimes déséquilibrés.

⊕ Continuité à la frontière D-S

En combinant entre elles les équations des composantes réelles dans (D) et les équations des composantes symétriques dans (S) on obtient :

$$\begin{cases} a^2 I_d + a I_i + I_o = 0 \\ a I_d + a^2 I_i + I_o = 0 \\ V_d + V_i + V_o = Z \times I_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_d = I_i = I_o = I_1 / 3 \\ V_d + V_i + V_o = 3Z \times I_o \end{cases} \quad (\text{II-15})$$

⊕ Equations de fonctionnement de (S),(l'équation (II-12)).

Ces trois équations se retrouveront systématiquement dans tous les calculs de régimes déséquilibrés ne comportant qu'une seule source de tension.

B. Résolution des équations:

⊕ Valeurs des composantes symétriques des courants et des tensions

Soit:

$$I_d = I_i = I_o = E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \quad (\text{II-16})$$

$$\begin{aligned} V_d &= E - Z_d \times I_d = E - Z_d E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \\ \Rightarrow V_d &= E(Z_i + Z_o + 3Z) / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \end{aligned} \quad (\text{II-17})$$

$$V_i = -Z_i \times I_i = Z_i \times E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \quad (\text{II-18})$$

$$V_o = -Z_o \times I_o = -Z_o \times E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \quad (\text{II-19})$$

- ⊕ Schéma du réseau selon les composantes symétriques (Figure (II-10))

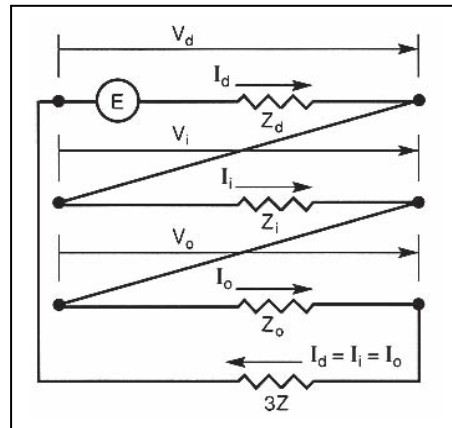


Figure (II-10) : Schéma équivalent de défaut phase-terre.

- ⊕ Valeurs des tensions et des courants réels

$$I_1 = 3 \times E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \quad (\text{II-20})$$

$$I_2 = 0 \quad (\text{II-21})$$

$$I_3 = 0 \quad (\text{II-22})$$

$$V_1 = Z \times I_1 = 3Z \times E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) \quad (\text{II-23})$$

$$\begin{aligned} V_2 &= a^2 V_d + a V_i + V_o \\ \Rightarrow V_2 &= a^2 E [1 - (Z_d + a^2 Z_i + a Z_o) / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z)] \end{aligned} \quad (\text{II-24})$$

$$\begin{aligned} V_3 &= a V_d + a^2 V_i + V_o \\ \Rightarrow V_3 &= a E [1 - (Z_d + a Z_i + a^2 Z_o) / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z)] \end{aligned} \quad (\text{II-25})$$

Nota :

Le terme $[1 - (Z_d + a Z_i + a^2 Z_o) / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z)]$ est appelé facteur de « défaut à la terre », sa valeur varie entre 1 et 1,8.

Cas particuliers

- Défaut franc:

Soit $Z = 0$, le courant de défaut phase-terre prend la valeur

$$I_1 = 3E / Z_d + Z_i + Z_o \quad (\text{II-26})$$

- Défaut de terre impédant:

Soit $3Z \gg Z_d + Z_i + Z_o$, le courant de défaut phase-terre est défini par l'impédance de défaut

$$I_1 = \frac{E}{Z} \quad (\text{II-27})$$

II.7.2) Défaut biphasé terre (Figure (II-11)): Le défaut est entre la phase « 2 », « 3 » et la terre. [1]

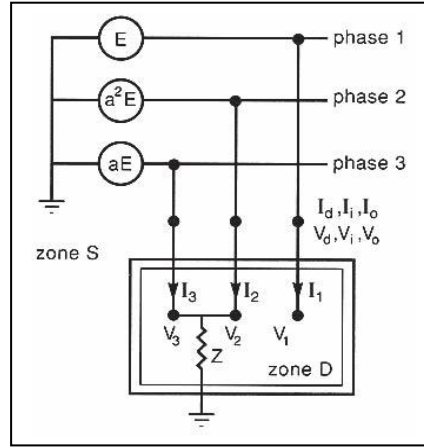


Figure (II-11): Schéma d'un défaut biphasé terre.

A. Ecriture des équations

⊕ Dans la zone (D)

$$\begin{cases} I_1 = 0 \\ V_2 = V_3 = Z(I_2 + I_3) \end{cases} \quad (\text{II-28})$$

⊕ Dans la zone (S),(l'équation (II-14))

⊕ Continuité à la frontière (D) - (S)

$$\begin{cases} I_d + I_i + I_o = 0 \\ V_d = V_i \\ V_o = V_d + 3Z \times I_o \end{cases} \quad (\text{II-29})$$

⊕ Equations de fonctionnement de (S),(l'équation (II-12)).

B. Résolution des équations

$$I_d = E / Z_d + (Z_i \times (Z_o + 3Z) / Z_i + Z_o + 3Z) \quad (\text{II-30})$$

$$\Rightarrow I_d = E(Z_i + Z_o + 3Z) / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-31})$$

$$I_i = [-E / Z_d + (Z_i \times (Z_o + 3Z) / Z_i + Z_o + 3Z)] \times [Z_o + 3Z / Z_i + Z_o + 3Z] \quad (\text{II-32})$$

$$\Rightarrow I_i = -E(Z_o + 3Z) / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-33})$$

$$I_o = [-E / Z_d + (Z_i \times (Z_o + 3Z) / Z_i + Z_o + 3Z)] \times [Z_i / Z_i + Z_o + 3Z] \quad (\text{II-34})$$

$$\Rightarrow I_o = -EZ_i / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-35})$$

$$V_d = V_i = [E / Z_d + (Z_i \times (Z_o + 3Z) / Z_i + Z_o + 3Z)] \times [Z_i \times (Z_o + 3Z) / Z_i + Z_o + 3Z] \quad (\text{II-36})$$

$$V_o = [E / Z_d + (Z_i \times (Z_o + 3Z) / Z_i + Z_o + 3Z)] \times [Z_o \times Z_i / Z_i + Z_o + 3Z] \quad (\text{II-37})$$

$$I_1 = 0 \quad (\text{II-38})$$

$$I_2 = -j\sqrt{3}E(Z_o + 3Z - aZ_i) / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-39})$$

$$I_3 = -j\sqrt{3}E(Z_o + 3Z - a^2Z_i) / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-40})$$

$$V_1 = E \times 3Z_i(Z_o + 3Z) / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-41})$$

$$V_2 = V_3 = E \times (-3Z \times Z_i) / (Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) \quad (\text{II-42})$$

⊕ Schéma du réseau selon les composantes symétriques (Figure (II-12))

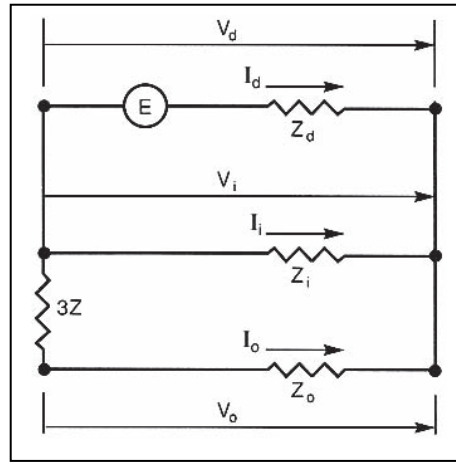


Figure (II-12): Schéma équivalent d'un défaut biphasé terre.

Cas particuliers

- Défaut franc

Soit $Z = 0$, le courant de défaut phase-terre prend la valeur :

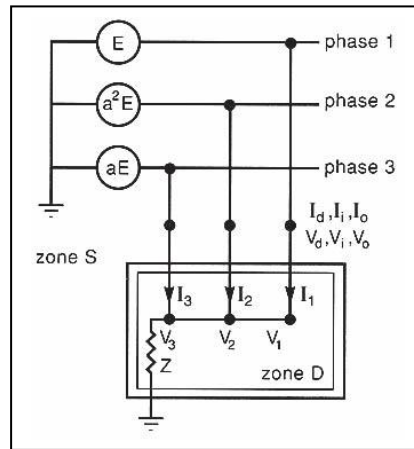
$$I_2 + I_3 = 3E \times Z_i / (Z_d \times Z_i + Z_i \times Z_o + Z_d \times Z_o) \quad (\text{II-43})$$

- Défaut biphasé

Soit $Z = \infty$, le courant de défaut phase vaut alors :

$$I_2 = -I_3 = E(a^2 - a) / (Z_d + Z_i) = -jE\sqrt{3} / Z_d + Z_i \quad (\text{II-44})$$

III.7.3) Défaut triphasé terre (Figure (II-13)): Le défaut est entre trois phase et la terre.[1]



(II-13): Schéma d'un défaut triphasé terre.

A. Ecriture des équations:

⊕ Dans la zone (D)

$$V_1 = V_2 = V_3 = Z \times (I_1 + I_2 + I_3) \tag{II-45}$$

⊕ Dans la zone (S), (l'équation (II-14)).

$$\tag{II-46}$$

⊕ Continuité à la frontière (D) - (S)

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 3I_o \\ V_d = V_i = 0 \\ V_1 = V_2 = V_3 = V_o \end{cases} \tag{II-47}$$

⊕ Equations de fonctionnement de (S), (l'équation (II-12)).

B. Résolution des équations:

⊕ Les résultats sont indépendants des valeurs Z_d, Z_i et Z_o

$$I_i = I_o = 0 \tag{II-48}$$

$$V_d = V_i = V_o = 0 \tag{II-49}$$

$$I_1 = E / Z_d \tag{II-50}$$

$$I_2 = a^2 E / Z_d \tag{II-51}$$

$$I_3 = a E / Z_d \tag{II-52}$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0 \tag{II-53}$$

✦ Schéma du réseau selon les composantes symétriques (**Figure (II-14)**):

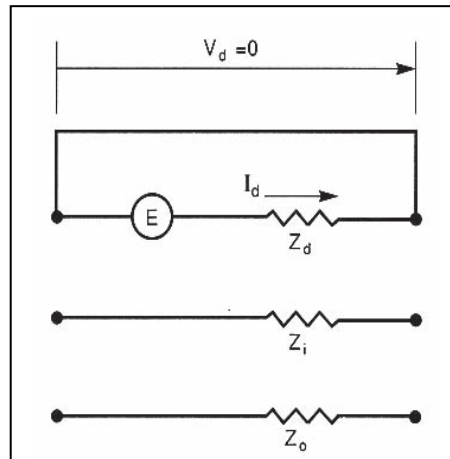


Figure (II-14): Schéma équivalent d'un défaut triphasé terre.

Conclusion:

Il est nécessaire de calculer les courants et tensions du système dans telles situations de déséquilibre. Un tel système (déséquilibré) peut être transformé en trois systèmes équilibrés ces composantes sont appelés 'composantes symétriques. On peut transformer un système déséquilibré quelconque en composantes symétriques. On observe que les trois séquences des composants symétriques (directe, inverse et homopolaire) sont indépendantes dès que la séquence directe est le même utilisé dans le système équilibré. Elle a une source tension. Ainsi la tension de séquence directe génère un courant direct. Par contre il n'y a pas de source de tension dans les séquences inverse et homopolaire. Les courants inverse et homopolaire causent que des tensions inverse et homopolaire. Chacune de trois séquences d'un réseau peut être résoudre séparément. Les courants et les tensions de phase peuvent être trouvés par superposition, on ajoutant leurs composants symétriques de courants et de tensions respectivement.

Introduction:

Concernant cette partie, afin de donner une idée sur les différentes étapes de calculs pour la détermination des grandeurs liées au court circuit (symétrique et asymétrique), nous avons traité un exemple de réseau de six jeux de barres.

III.1) Réseau à six jeux de barres:

Le schéma d'un réseau électrique de six jeux de barres est donné à la figure (III-1).

Les réactances directes, inverses et homopolaires (en p.u. dans une base de 100MVA) des lignes et des transformateurs sont donnés sur le tableau (III.1).

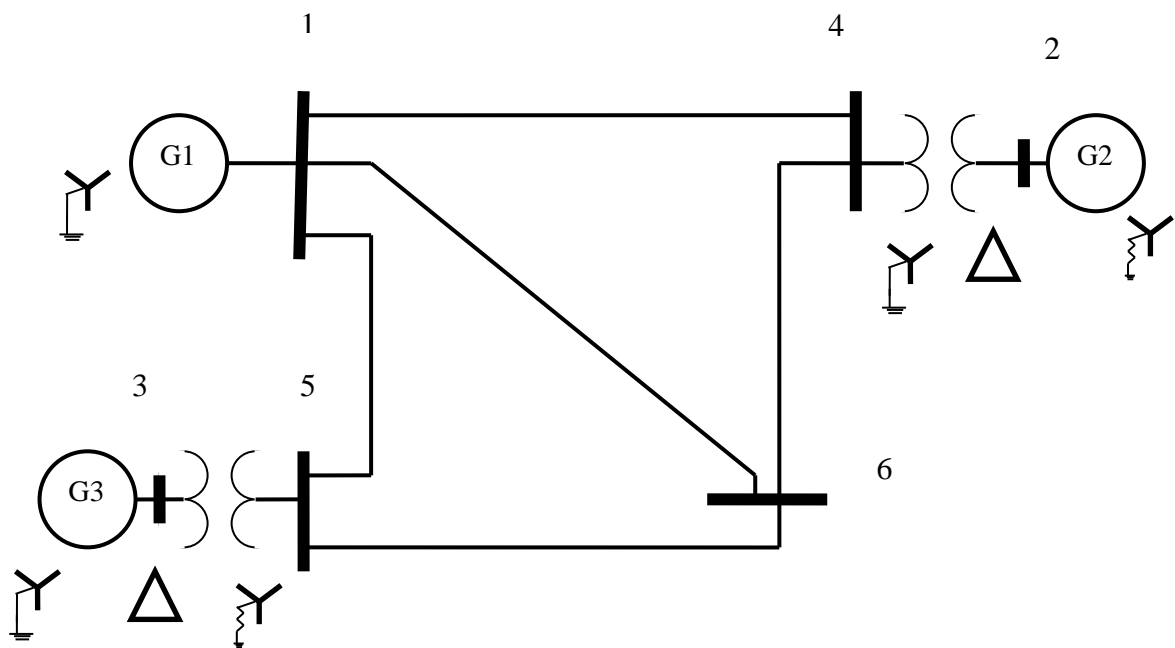


Figure (III-1): Diagramme unifilaire d'un réseau à six barres

✚ **Données initiales:**

Nombre des jeux de barres (NJB)	= 6
Nombre des lignes (NL)	= 5
Nombre de générateur (NG)	= 3
Le jeu de barre de défaut	: 1

Tableau (III-1) : Paramètres des lignes et transformateurs en p.u

N ° de barre	N ° de barre	$X_d(p.u)$	$X_i(p.u)$	$X_o(p.u)$
1	4	$X_2=0.225$	$X_2=0.225$	$X_{02}=0.400$
1	5	$X_5=0.105$	$X_5=0.105$	$X_{05}=0.200$
1	6	$X_6=0.215$	$X_6=0.215$	$X_{06}=0.390$
2	4	$X_3=0.035$	$X_3=0.035$	$X_{03}=0.035$
3	5	$X_9=0.042$	$X_9=0.042$	$X_{09}=0.042$
4	6	$X_7=0.125$	$X_7=0.125$	$X_{07}=0.250$
5	6	$X_{10}=0.175$	$X_{10}=0.175$	$X_{010}=0.350$

Les couplages des transformateurs sont schématisés dans la figure:(III-1). Le transformateur entre les barres 3 et 5 est mis à la terre à travers une réactance $X_n= 0.10$ p.u et le transformateur entre les jeux de barres 2 et 4 est mise solidement à la terre. Dans le tableau (III-2), on donne les réactances directes, inverse, homopolaires et celles de mise à la terre X_{ng} des générateurs dans une base de 100 MVA.

Tableau:(III-2): Paramètres des générateurs en p.u

N° de générateur	$X_d(p.u)$	$X_i(p.u)$	$X_o(p.u)$	$X_n(p.u)$
1	$X_1=0.20$	$X_1=0.20$	$X_{01}=0.06$	0.00
2	$X_4=0.15$	$X_4=0.15$	$X_{04}=0.04$	$X_{ng}=0.05$
3	$X_8=0.25$	$X_8=0.25$	$X_{08}=0.08$	0.00

Dans notre calcul, on néglige les résistances, les réactances shunt et les charges, et on suppose que toutes les FEM des générateurs sont égales $1\angle 0^\circ$ pu. Ainsi, on choisie le jeu de barre N°1 pour le calcul des différents courants de défaut.

III.2) Les schémas des séquences:

III.2.1) Le schéma de séquence directe:

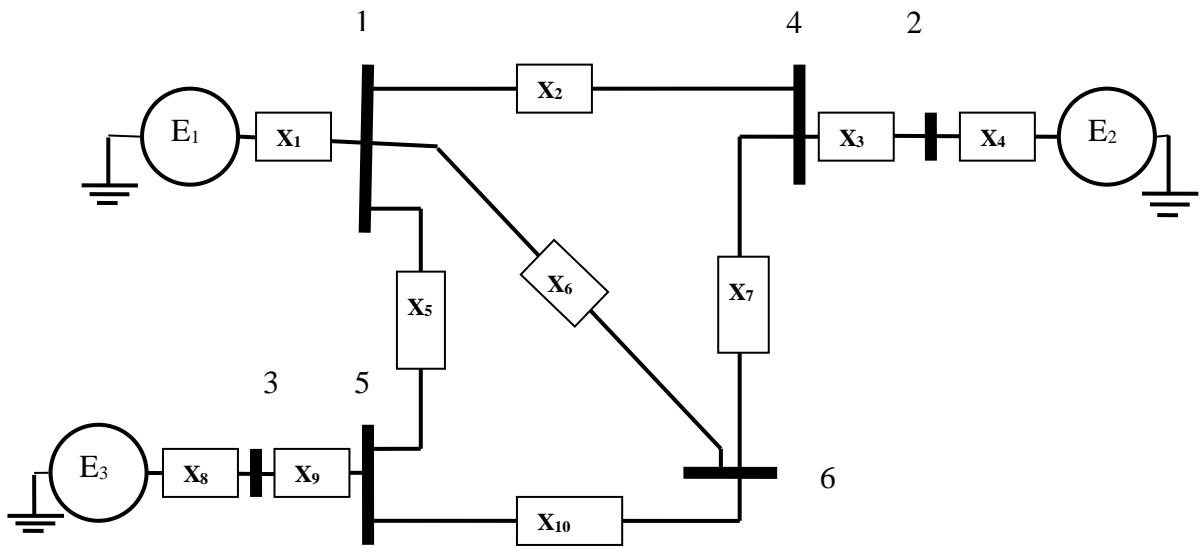


Figure (III-2): Le schéma de séquence directe

III.2.2) Le schéma de séquence inverse:

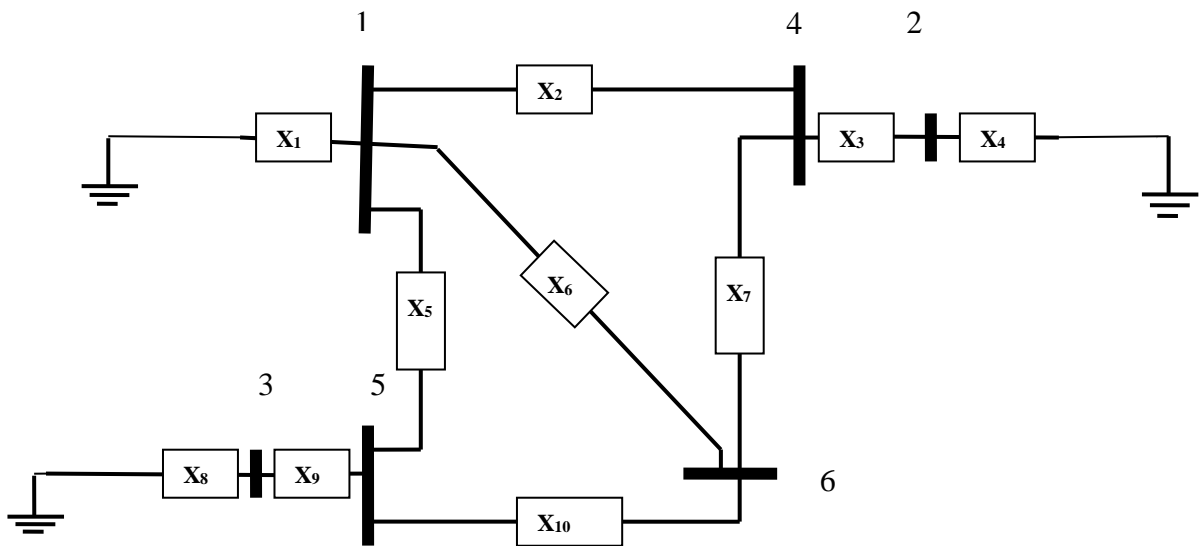


Figure (III-3): Le schéma de séquence inverse

III.2.3) Le schéma de séquence homopolaire:

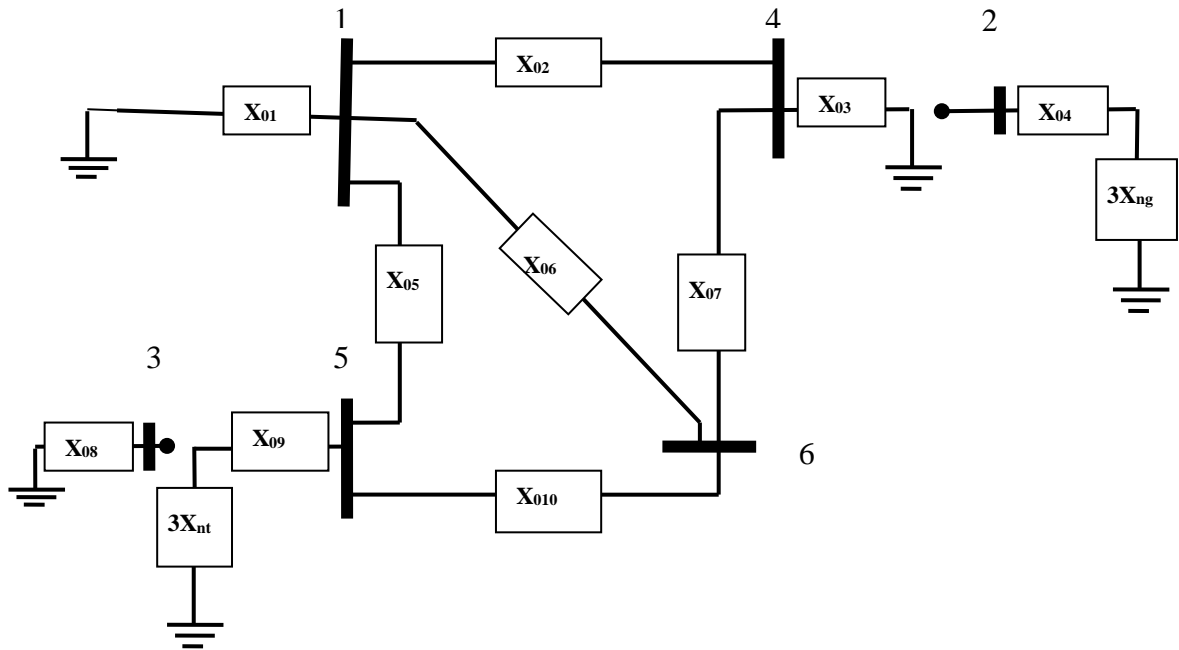


Figure (III-4): Le schéma de séquence homopolaire

III.3) Le schéma équivalent:

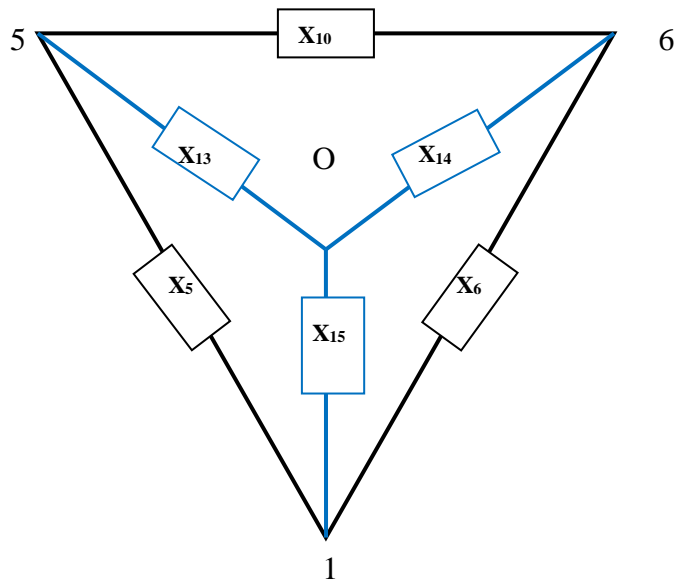
III.3.1) Schéma directe et inverse (Calcul de Z_d , Z_i):

On fait la somme pour les réactances en série

$$X_{11} = X_3 + X_4 = 0.035 + 0.15 = 0.1850 pu$$

$$X_{12} = X_8 + X_9 = 0.250 + 0.042 = 0.2920$$

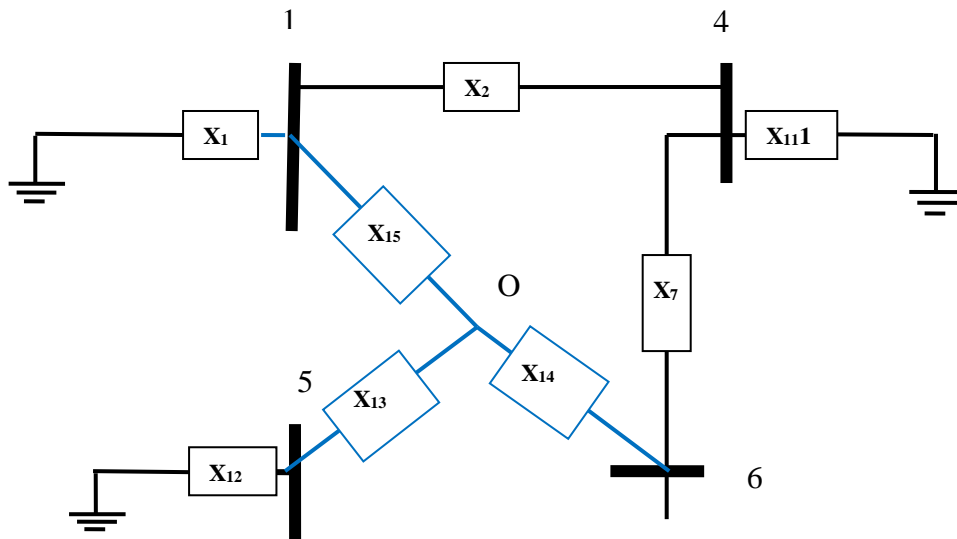
Le passage de triangle en étoile:



$$X_{13} = \frac{X_5 \times X_{10}}{X_{10} + X_5 + X_6} = \frac{0.105 \times 0.175}{0.215 + 0.175 + 0.105} = 0.0371 pu$$

$$X_{14} = \frac{X_6 \times X_{10}}{X_{10} + X_5 + X_6} = \frac{0.215 \times 0.175}{0.215 + 0.175 + 0.105} = 0.0760 pu$$

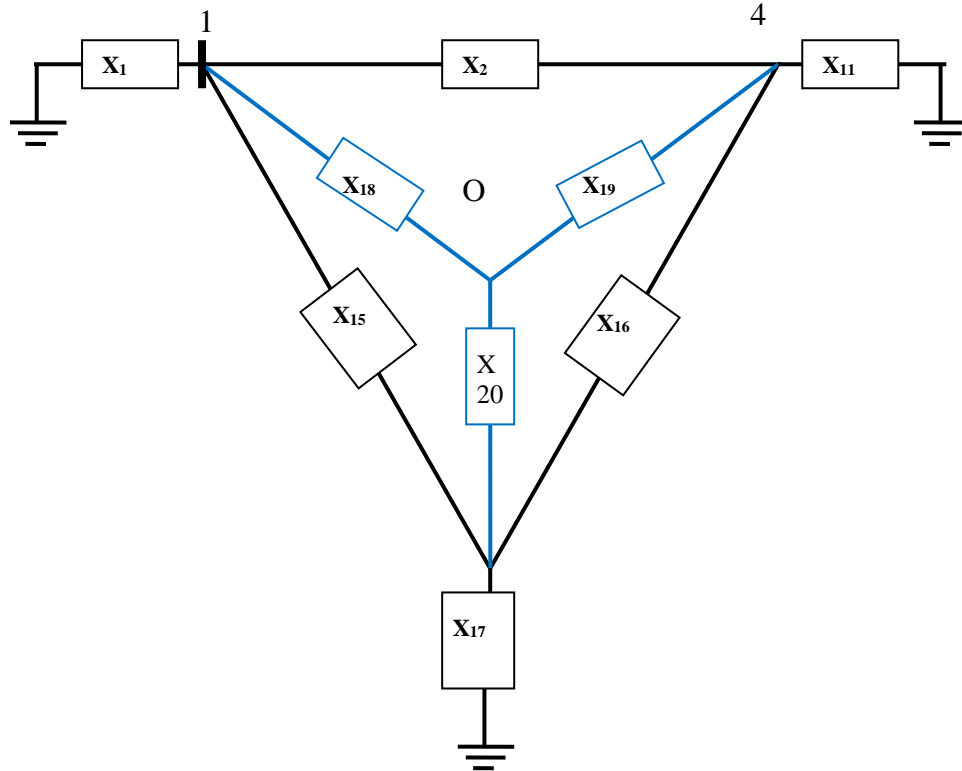
$$X_{15} = \frac{X_5 \times X_6}{X_{10} + X_5 + X_6} = \frac{0.105 \times 0.215}{0.215 + 0.175 + 0.105} = 0.0456 pu$$



On additionne les réactances en série :

$$X_{16} = X_7 + X_{14} = 0.1250 + 0.0760 = 0.2010 pu$$

$$X_{17} = X_{12} + X_{13} = 0.2920 + 0.0371 = 0.3291 pu$$



Le passage de triangle en étoile:

$$X_{18} = \frac{X_2 \times X_{15}}{X_2 + X_{15} + X_{16}} = \frac{0.2250 \times 0.0456}{0.2250 + 0.0456 + 0.2010} = 0.0217 pu$$

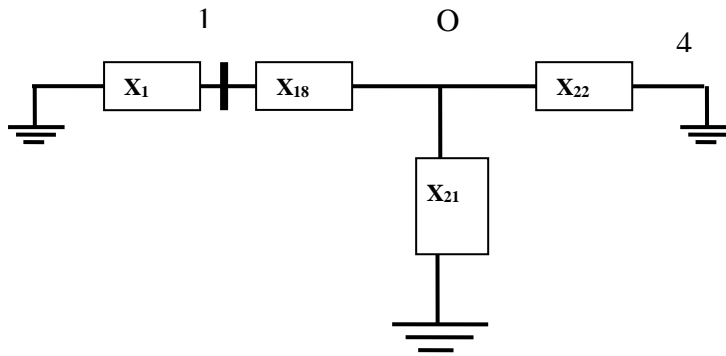
$$X_{19} = \frac{X_2 \times X_{16}}{X_2 + X_{15} + X_{16}} = \frac{0.2250 \times 0.2010}{0.2250 + 0.0456 + 0.2010} = 0.0959 pu$$

$$X_{20} = \frac{X_{15} \times X_{16}}{X_2 + X_{15} + X_{16}} = \frac{0.0456 \times 0.2010}{0.2250 + 0.0456 + 0.2010} = 0.0194 pu$$

Le schéma deviendra alors :

$$X_{21} = X_{17} + X_{20} = 0.3291 + 0.0194 = 0.3485 pu$$

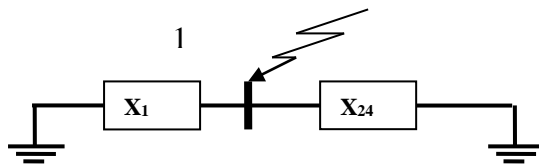
$$X_{22} = X_{19} + X_{11} = 0.0959 + 0.1850 = 0.2809 pu$$



Les réactances X_{21} et X_{22} en parallèle

$$X_{23} = \frac{X_{21} \times X_{22}}{X_{21} + X_{22}} = \frac{0.3485 \times 0.2809}{0.3485 + 0.2809} = 0.1555 pu$$

$$X_{24} = X_{18} + X_{23} = 0,0217 + 0,1555 = 0.1772 pu$$



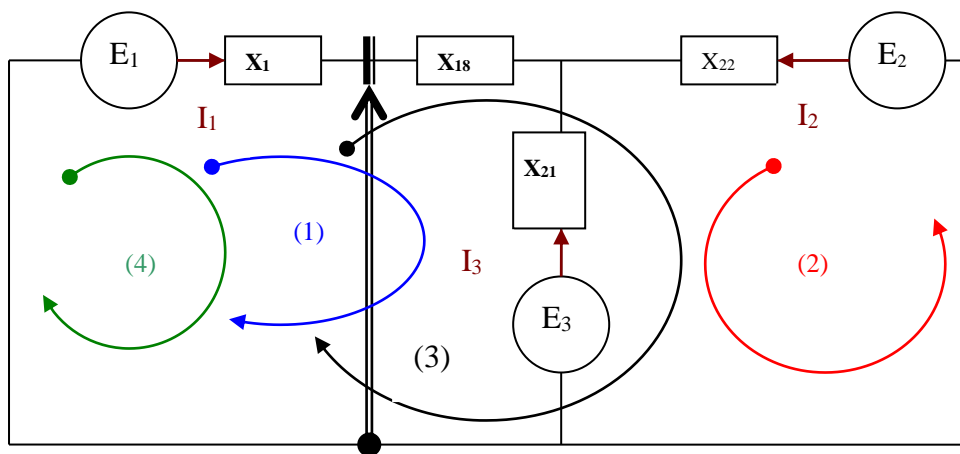
Enfin Z_d est égalée

$$\text{On a } X_d = \frac{X_1 \times X_{24}}{X_1 + X_{24}} = \frac{0.2000 \times 0.1772}{0.2000 + 0.1772} = 0.0939 pu$$

Donc:

$$Z_d = jX_d = j0.0939 pu$$

○ Calcul E_{th} :



Mail (1):

$$E_1 - E_3 = j0.2I_1 + j0.0217I_1 + j0.3485I_3$$

$$1\angle 0^\circ - 1\angle 0^\circ = j0.2217I_1 + j0.3485I_3$$

$$0 = j0.2217I_1 + j0.3485I_3$$

Mail (2):

$$E_2 - E_3 = j0.3485I_3 + j0.2809I_2$$

$$0 = j0.3485I_3 + j0.2809I_2$$

Mail (3):

$$E_1 - E_2 = j0.2I_1 + j0.0217I_1 + j0.2809I_2$$

$$0 = j0.2217I_1 + j0.2809I_2$$

Sous forme matriciel:

$$j \begin{bmatrix} 0.2217 & 0 & 0.3485 \\ 0 & 0.2809 & 0.3485 \\ 0.2217 & 0.2809 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[I] = \text{inv}[Z] \times [0]$$

On trouve donc

$$I_1 = I_2 = I_3 = 0$$

Mail (4):

$$E_1 = j0.2I_1 + E_{th}$$

$$E_1 = E_{th} = 1\angle 0^\circ$$

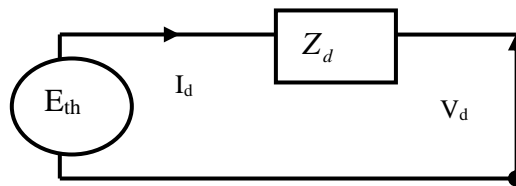


Figure (III-5): Le schéma équivalent de séquence directe

Aussi, les valeurs des impédances inverses sont égales aux valeurs des impédances directes
on a :

$$Z_d = Z_i = j0.0939 \text{ pu}$$

Mais, le schéma équivalent inverse est le même que celle de séquence directe sauf on court circuit le générateur de Thévenin.

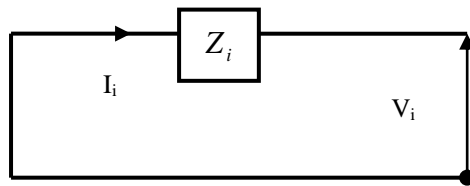


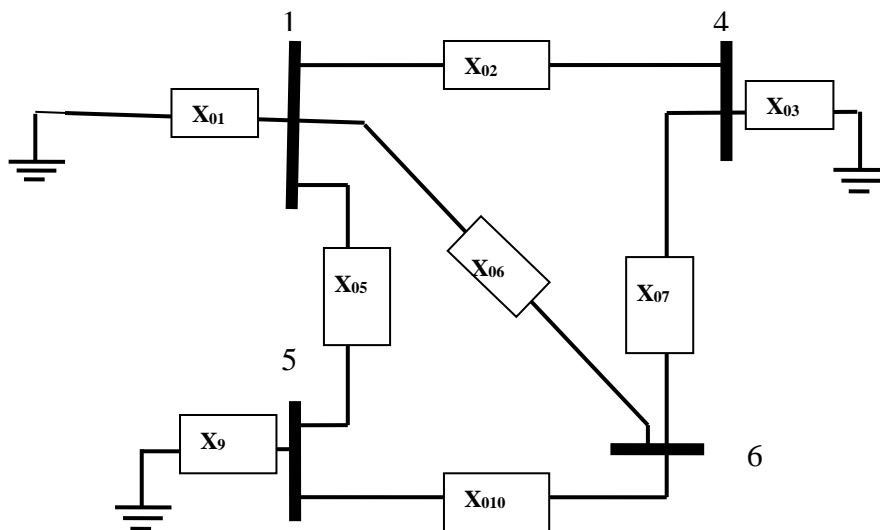
Figure (III-6): Le schéma équivalent de séquence inverse

III.3.2) Schéma homopolaire (Calcul de Z0):

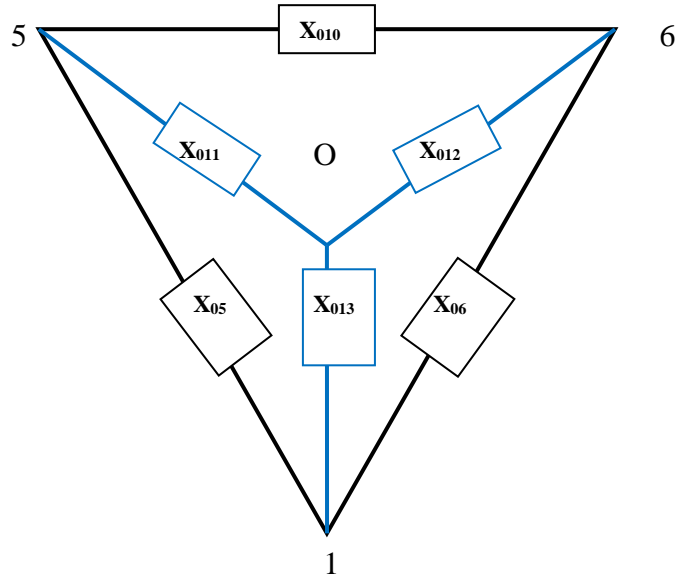
Simplification de schéma homopolaire :

$$X_9^{\circ} = X_{09} + 3X_{nt} = 0.042 + 3 \times 0.1 = 0.342 pu$$

$$X_4^{\circ} = X_{04} + 3X_{ng} = 0.04 + 3 \times 0.05 = 0.19 pu$$



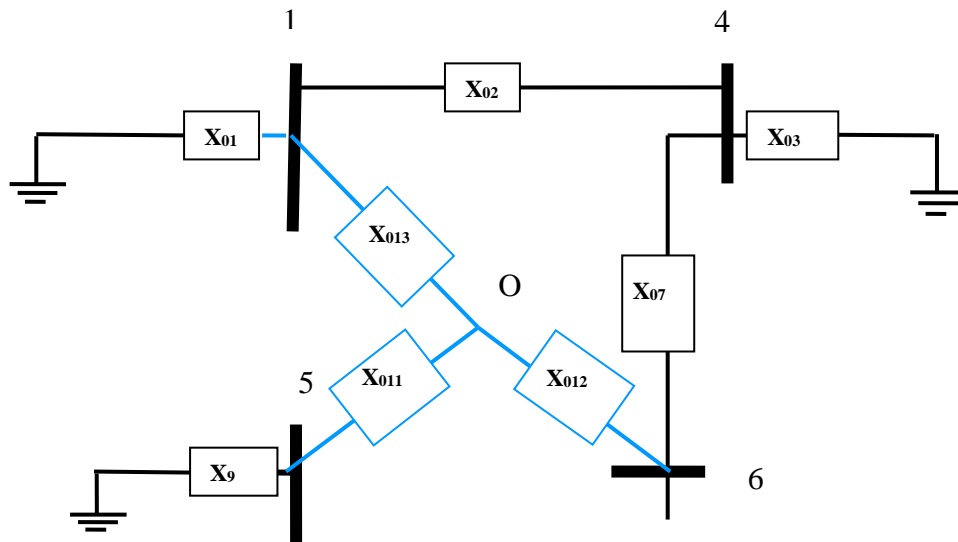
Le passage de triangle en étoile:



$$X_{011} = \frac{X_{05} \times X_{010}}{X_{05} + X_{06} + X_{010}} = \frac{0.200 \times 0.350}{0.350 + 0.390 + 0.200} = 0.0745 pu$$

$$X_{012} = \frac{X_{06} \times X_{010}}{X_{05} + X_{06} + X_{010}} = \frac{0.390 \times 0.350}{0.350 + 0.390 + 0.200} = 0.1452 pu$$

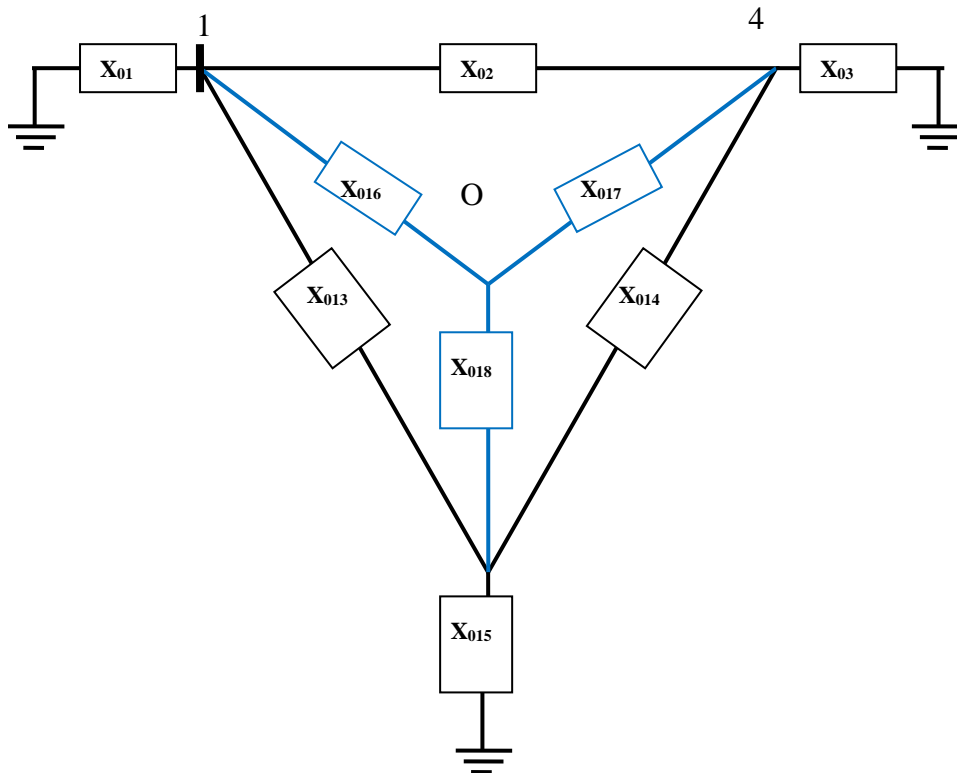
$$X_{013} = \frac{X_{05} \times X_{06}}{X_{05} + X_{06} + X_{010}} = \frac{0.200 \times 0.390}{0.350 + 0.390 + 0.200} = 0.0830 pu$$



On additionne les réactances en série

$$X_{014} = X_{07} + X_{012} = 0.250 + 0.1452 = 0.3952 pu$$

$$X_{015} = X_{09} + X_{011} = 0.342 + 0.0745 = 0.4165 pu$$



$$X_{016} = \frac{X_{02} \times X_{013}}{X_{02} + X_{013} + X_{014}} = \frac{0.4000 \times 0.0830}{0.4000 + 0.0830 + 0.3952} = 0.0378 pu$$

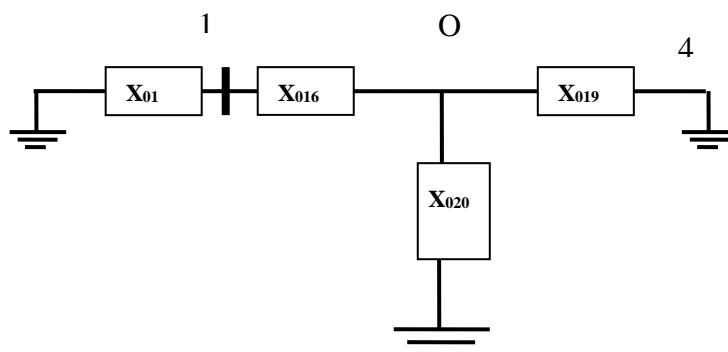
$$X_{017} = \frac{X_{02} \times X_{014}}{X_{02} + X_{013} + X_{014}} = \frac{0.4000 \times 0.3952}{0.4000 + 0.0830 + 0.3952} = 0.1800 pu$$

$$X_{018} = \frac{X_{013} \times X_{014}}{X_{02} + X_{013} + X_{014}} = \frac{0.0830 \times 0.3952}{0.4000 + 0.0830 + 0.3952} = 0.0373 pu$$

On additionne les réactances en série

$$X_{019} = X_{03} + X_{017} = 0.035 + 0.1800 = 0.2150 pu$$

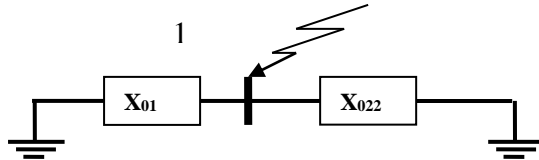
$$X_{020} = X_{015} + X_{018} = 0.4165 + 0.0373 = 0.4538 pu$$



Les réactances X_{019} et X_{020} en parallèle

$$X_{021} = \frac{X_{019} \times X_{020}}{X_{019} + X_{020}} = \frac{0.2150 \times 0.4538}{0.2150 + 0.4538} = 0.1459 pu$$

$$X_{022} = X_{016} + X_{021} = 0.0378 + 0.1459 = 0.1837 pu$$



Enfin Z_o est égalée

$$\text{On a } X_o = \frac{X_{01} \times X_{023}}{X_{01} + X_{023}} = \frac{0.0600 \times 0.1837}{0.0600 + 0.1837} = 0.0452 pu$$

Donc $Z_o = jX_o = j0.0452 pu$

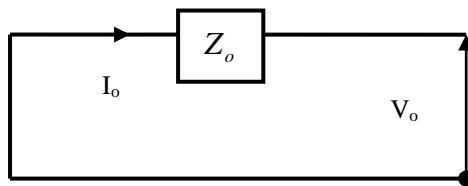


Figure (III-7): Le schéma équivalent de séquence homopolaire

III.4) Calcul des différents courants de court circuit:

III.4.1) Court circuit triphasée:

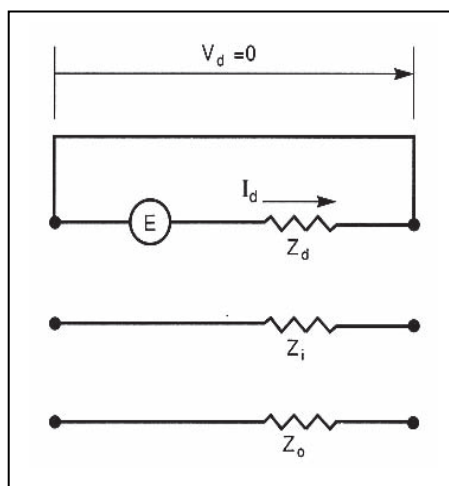


Figure (II-8): Schéma équivalent d'un défaut triphasé terre

Ecriture des équations:

✦ Dans la zone (D)

$$V_1 = V_2 = V_3 = Z (I_1 + I_2 + I_3)$$

✦ Dans la zone(S)

$$\begin{cases} I_1 = I_d + I_i + I_o \\ I_2 = a^2 I_d + a I_i + I_o \\ I_3 = a I_d + a^2 I_i + I_o \\ V_1 + V_d + V_i + V_o \\ V_2 = a^2 V_d + a V_i + V_o \\ V_3 = a V_d + a^2 V_i + V_o \end{cases}$$

✦ Continuité à la frontière (D-S)

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 3I_o \\ V_d = V_i = 0 \\ V_1 = V_2 = V_3 = V_o \end{cases}$$

✦ Equations de fonctionnement de (S)

$$\begin{cases} E = V_d + Z_d \times I_d \\ 0 = V_i + Z_i \times I_i \\ 0 = V_o + Z_o \times I_o \end{cases}$$

Résolution des équations:

✦ Résultats sont indépendants des valeurs Z_d, Z_i et Z_o

$$I_i = I_o = 0$$

$$V_d = V_i = V_o = 0$$

$$I_1 = E / Z_d = 10.6496 \angle -90^\circ pu$$

$$I_2 = a^2 E / Z_d = 10.6496 \angle 150^\circ pu$$

$$I_3 = a E / Z_d = 10.6496 \angle 30^\circ pu$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0$$

$$\text{Donc: } I_{cc} = I_1 = I_2 = I_3$$

Et la puissance de court circuit triphasée est:

$$S_{cc} = 3E \times I_1^* = 3 \times 1 \angle 0^\circ \times (10.6496 \angle 90^\circ) = 31.9488 \angle 90^\circ pu$$

III.4.2) Court circuit monophasée:

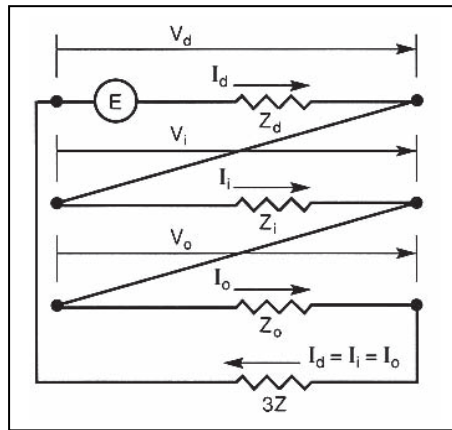


Figure (III-9) : Schéma équivalent de défaut phase-terre

Ecriture des équations:

- ⊕ Equations des composantes réelles dans (D)

$$\begin{cases} I_2 = I_3 = 0 \\ V_1 = Z \times I_1 \end{cases}$$

- ⊕ Equations des composantes symétriques dans (S) l'équation (II-14)

- ⊕ Continuité à la frontière (D-S)

$$\begin{cases} a^2 I_d + a I_i + I_o = 0 \\ a I_d + a^2 I_i + I_o = 0 \\ V_d + V_i + V_o = Z \times I_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_d = I_i = I_o = I_1 / 3 \\ V_d + V_i + V_o = 3Z \times I_o \end{cases}$$

- ⊕ Equations de fonctionnement de (S) l'équation (II-12)

Résolution des équations:

$$I_d = I_i = I_o = E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) = 1 \angle 0^\circ / (j0.0939 + j0.0939 + j0.0452) = -j4.2918 pu$$

$$I_1 = I_d + I_i + I_o = 3 \times I_o$$

$$\Rightarrow I_1 = 3 \times E / (Z_d + Z_i + Z_o + 3Z) = 3 \times 1 \angle 0^\circ / (j0.0939 + j0.0939 + j0.0452) = -j12.8755 pu$$

$$I_2 = I_3 = 0$$

$$\text{Donc } I_{cc} = I_1 = -j12.8755 pu = 12.8755 \angle -90^\circ pu$$

Et la puissance de court circuit monophasée est:

$$S_{cc} = E \times I_1^* + E \times I_2^* + E \times I_3^* = E \times I_1^* = 1 \angle 0^\circ \times 12.8755 \angle 90^\circ = 12.8755 \angle 90^\circ pu$$

III.4.3) Court circuit deux ligne terre:

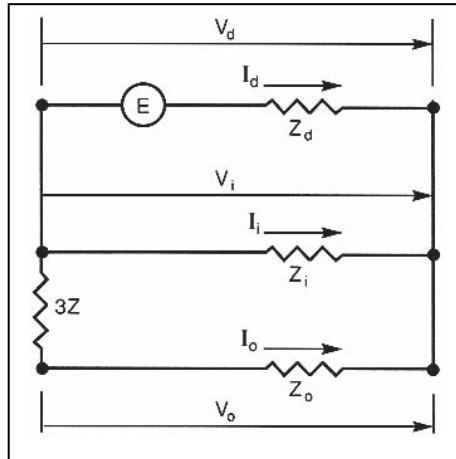


Figure (III-10): Schéma équivalent d'un défaut biphasé terre

✦ Dans la zone (D)

$$\begin{cases} I_1 = 0 \\ V_2 = V_3 = Z(I_2 + I_3) \end{cases}$$

✦ Dans la zone (S) l'équation (II-14) l'équation (II-14)

✦ Continuité à la frontière (D-S)

$$\begin{cases} I_d + I_i + I_o = 0 \\ V_d = V_i \\ V_o = V_d + 3Z \times I_o \end{cases}$$

✦ Equations de fonctionnement de(S) l'équation (II-12)

Résolution des équations:

$$I_1 = 0$$

$$I_2 = -j\sqrt{3}E(Z_o + 3Z - aZ_i)/(Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) = -9.2196 + j8.1387 pu = 12.3 \angle -41.44^\circ pu$$

$$I_3 = -j\sqrt{3}E(Z_o + 3Z - a^2Z_i)/(Z_i \times (Z_o + 3Z) + Z_d \times (Z_i + Z_o + 3Z)) = -9.2196 - j8.1387 pu = 8.1404 \angle 41.44^\circ pu$$

$$\text{Donc } I_{cc} = I_2 + I_3 = -18.4392 pu = 18.4392 \angle 180^\circ pu$$

Et la puissance de court circuit biphasé terre est:

$$S_{cc} = E \times I_1^* + Ea^2 \times I_2^* + Ea \times I_3^* = Ea^2 \times I_2^* + Ea \times I_3^* = -4.8767 pu = 4.8767 \angle 180^\circ pu$$

III.4.4) Court circuit biphasé:

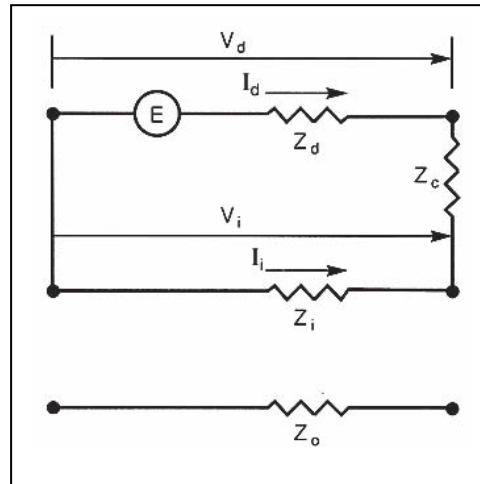


Figure (III-11): Schéma équivalent d'un défaut biphasé.

Soit $Z = \infty$, le courant de défaut phase vaut alors :

$$I_2 = -I_3 = E(a^2 - a)/(Z_d + Z_i) = -jE\sqrt{3}/Z_d + Z_i = -9.2226 pu = 9.2226 \angle 180^\circ pu$$

$$\text{Donc } I_{cc} = I_2 = -I_3 = -9.2226 pu$$

Et la puissance de court circuit biphasé est:

$$S_{cc} = E \times I_1^* + Ea^2 \times I_2^* + Ea \times I_3^* = Ea^2 \times I_2^* + Ea \times I_3^* = j15.9736 pu = 15.9736 \angle 90^\circ$$

Conclusion:

D'après les résultats obtenus précédemment .On peut tirer les remarques suivantes:

Le courant de défaut (court circuit biphasé terre) est assez grand par rapport aux autres types de défauts.

On peut limiter les courants de court circuit déséquilibrés, si on ajoute des impédances de mise à la terre aux générateurs et transformateurs.

Connaissant les valeurs des courts circuits, on peut choisir convenablement les appareils de coupure et régler les fonctions des appareils de protection.

Conclusion Générale:

Dans notre travail nous venons d'étudier et présenter en premier lieu les généralités sur les courant de court-circuit (définition, types, consequence de court-circuit).

L'objectif du calcul de courant de court-circuit nous permet de choisir les paramètres de protection contre ce dernier, pour cela nous avons étudiée les déferut type de court-circuit par la méthode des composants symétriques.

Dant le chapitre trois, nous avons calculeé les déferents courants de court-circuit d'un réseau de 6 noeud, nous constatons que la puissance de court-circuit triphasé est le plus grande et de courant le plus faible, le courant de court circuit le plus grand est le court circuit biphasée terre, et la puissance la plus faible est celle de court circuit monophasé. Les appareils de protection sont choisis en fonction de courant de court-circuit triphasée et ne sont pas choisis au court circuit le plus fréquent (monophasé) pour éviter tous les risques.

On peut limiter les courts circuits monophasée et biphasée terre on ajoutant des impédances entre neutre et terre.

En fin, cette modeste étude pourrail en effet servir de base pour des éventuelles études plus exhaustives par exemple calcule de courant de court circuit par ordinateur.

Bibliographie

- [1] **I. Foufana**, « *Analyse des réseaux triphasés en régime perturbé à l'aide des composantes symétriques* », cour de module 6GEN607 : Transport et Exploitation d'Énergie Électrique, Canada.
- [2].**Med. L. Mediaza, N. Tayeb** « *Etude et calcul des courants de court circuit dans les réseaux électriques* », Mémoire de fin d'étude (D.E.U.A) 2008 Université de BATNA
- [3] **T. Guia**. Cours 4^{émé} année analyses des réseaux électrique
- [4]. « *Etude et calcul des courants du différent court circuit dans les réseaux électriques* », Mémoire de fin d'étude (D.E.U.A) 2007 Université de BATNA
- [5] **Y. Guehrar**, cours 3^{émé} année modélisation et calcule des réseaux électriques.
- [6] « *Les composantes symétriques* », **cours de Electrotechnique d'I.P.S.T** (institut de promotion supérieur de travail), Université Provence, Marseille France.