



République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département D'électrotechnique

**Mémoire de Fin D'étude Présenté
Pour L'obtention du Diplôme de**

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et de la Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux Electrique

Thème

***Etude de Différents de Court-Circuit
dans le Réseaux Electrique***



Encadré par :

✓ M. Guia Talal



Présenté par :

✓ Beddi Ahmed
✓ Chekima Bachir
✓ Belaid Laid
✓ Bouamra Salim

Université Année: 2014-2015

REMERCIEMENT

« Avant toute chose, nous remercions DIEU qui a nous a donné la force, la volonté et le courage pour accomplir ce modeste travail ».

Nous exprimons toute gratitude à notre encadreur

MR GULA TALAL

pour ses conseils pendant notre travail de fin d'étude.

Toutes nos expressions de gratitude et de reconnaissance vont vers les membres du jury.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du Department de Electro technique pour la formulation qu'ils nous ont donné durant notre cycle d'étude.

Enfin nous remercions, avec toute la suprême sincérité tout ceux qui ont aidé de près ou de loin à terminer et réaliser notre projet de fin d'étude.

Ahmed – Bachir- Laid- Salim

SOMMAIRE

SOMMAIRE:

Listes des figures	
Listes des tableaux	
Introduction generale.....	4

Chapitre I: Rappels sur les courants de court-circuit symétrique

I.1 Introduction.....	6
I.2. Les court-circuit	6
I.2.1.Définition.....	6
I.2.2. Origines des court-circuit.....	6
I.2.3.Les courants de court-circuit.....	6
I.3. Calcul des courants de court-circuit symetriques.....	10
I- 3-1- Méthodes de calcul de courant de court-circuit.....	11
I-3-1-1 Hypothèses simplificatrices.....	11
I-3 -1-2 Méthode précise.....	12
I-3 -1-3Méthode approximative.....	14
I-3 -1-4 Méthodes des unités relatives de base.....	15
I-4-Conclusion.....	16

Chapitre II: Le courant de court-circuit asymétrique

II-1 Introduction.....	19
II-2.Les systeme desequilibre.....	19
II-2-1-Le Systeme Direct.....	19
II-2-2-Le système inverse.....	19
II-2-3-Le système homopolaire.....	20
II-3-Decomposition d'un systeme triphase en ses composantes symetriques.....	20
II-3-1-Paramètres Direct, Inverse et Homopolaire des éléments essentiels d'un réseaux.....	22
II-3-1-1-Les impédances symétriques d'une charge équilibrée couplée en tringle.....	23
II-3-1-2-Les impédances symétriques d'une linge de transport.....	24
II-3-1-3-Les impédances symétriques d'un transformateur.....	24
II-3-1-4-Les impédances symétriques d'un générateur.....	24

II-4 Calcule des courants de court-circuit asymetriques.....	26
II-4-1- Méthode des calculs de courant de court-circuit asymétrique.....	26
II-4-2- Hypothèses simplificatrices.....	26
II-4-3- Paramètres Direct, Inverse et Homopolaire des éléments essentiels d'un réseau.....	28
II-4-3-1- Paramètres Directs.....	28
II-4-3-2- Paramètres Inverses.....	28
II-4-3-3-Paramètres Homopolaires.....	29
II-5- Calcule du courant de court-circuit pour differantes cas disymetrique	32
II-5-1- Court-circuit monophasé.....	32
II-5-2- Court-circuit biphasé.....	33
II-5-3- Court-circuit biphasé à la terre.....	34
II-6- Conclusion.....	35

Chapitre III:Simulation

III-1-Introduction.....	37
III-2- Le modèle et les paramètres de réseau en plateforme Simulink.....	37
III-3-Procédures de simulation	38
III-3-1-Cas normale symétrique (Avant défaut).....	38
III-3-2-Cas de défaut symétrique simple (triphasé simple).....	39
III-3-3-Cas de défaut symétrique a la terre (triphasé a la terre).....	41
III-4-Défauts Asymétriques.....	42
III-4-1- Défaut monophasé A a la terre.....	42
III-4-2-Défaut biphasé simple BC.....	44
III-4-3-Défaut biphasé a la terre BC.....	45
III-5-Conclusion.....	47
Conclusion generale.....	48
Bibliographie	

LISTE DE FIGURE

LISTE DES FIGURES

Fig.I-1: Schéma de principe d'une distribution d'énergie

Fig.I- 2:Schéma équivalent en cas de court-circuit

Fig.I-3: Le déphasage entre le courant de court-circuit et la tension appliquée

Fig.I-4:Enclenchement au Zéro de courant de court-circuit symétrique

Fig.I-5: Schéma d'un court-circuit symétrique

Fig.I.6- Schéma unifilaire du réseau électrique simple

Fig.I-7 Schéma équivalent du réseau électrique 30kV en cas de défaut

Fig.I-8 Schéma équivalent du réseau électrique 30kV simplifié

Fig.I-9 Présentation unifilaire du réseau électrique 31.5 kV

Fig .I-10 Schéma équivalent d'impédance en unité relative

Fig.II-1:Présentation vectorielle du système direct

Fig.II-2:Présentation vectorielle du système inverse

Fig.II-3:Présentation vectorielle du système homopolaire

Fig.II-4: Présentation vectorielle des composantes symétriques

Fig.II-5: Les composants symétriques de tension en fonction des grandeurs triphasées

Fig.II-6: Les impédances symétriques d'une charge équilibrée couplée en étoile

Fig.II-7: Les impédances symétriques d'une charge équilibrée couplée en triangle

Fig.II-8 :Les impédances internes triphasées d'un générateur

Fig.II-9:Diagramme vectoriel des tensions

Fig.II-10: court-circuit monophasé à la terre

Fig.II-11:court-circuit biphasé simple

Fig.II-12:les circuits équivalents des trois séquences symétriques direct, inverse et homopolaire

- Fig.II-13: Le circuit équivalente du Séquanes symétriques homopolaire
- Fig.II-14:cas de court-circuit monophasé a la terre
- Fig. II-15:cas d'un court-circuit biphasé simple
- Fig.II-16:cas d'un court-circuit biphasé a la terre
- Fig III-1: Le modèle et les paramètres de réseau en plateforme Simulink
- Fig. III-2: tableau de configuration des types de défauts en simulink
- Fig. III-3: La tension triphasé de réception (charge).
- Fig. III-4: Le courant triphasé de réception
- Fig. III-5 tableau de configuration des types de défauts en simulink
- Fig. III-6: La tension triphasé de réception (charge).
- Fig. III-7: Le courant triphasé de réception
- Fig. III-8: tableau de configuration des types de défauts en simulink
- Fig. III-9: La tension de réception
- Fig. III-10: La courant de réception
- Fig. III-11: tableau de configuration des types de défauts en simulink
- Fig. III-12: La tension de réception
- Fig. III-13: La courant de réception
- Fig. III-14: tableau de configuration des types de défauts en simulink
- Fig. III-15: La tension de réception
- Fig. III-16: La courant de réception
- Fig. III-17: tableau de configuration des types de défauts en simulink
- Fig. III-18: La tension de réception
- Fig. III-19: La courant de réception

LISTE DE TABLEAUX

Liste des tableaux

Table I-1	Tableaux des valeurs moyenne de tension standard
Tableau. II-1	Paramètres Homopolaires des charges
Tableau II-2	Paramètres Homopolaires d'un transformateur à deux enroulements

INTRODUCTION

I-INTRODUCTION GENERALE:

Dans les réseaux électriques de transports le but et l'objectif de production est d'assurer une bonne qualité, la continuité de service ainsi la sécurité humaine et de bien, parmi les problèmes de réseau d'énergies électriques c'est les cas de court-circuit attaques la ligne en tous temps et lieux a cause des plusieurs origine de court-circuit

Aussi on a fait dans ce travail des rappelles sur les différents cas de court-circuit , pour cela, dans le premier chapitre on a présenté une simple modélisation pour le court-circuit , ensuite les différentes méthodes des calculs de courant de court-circuit symétrique

Dans le deuxième chapitre , on a présenté les cas de court-circuit asymétrique, la méthode des composantes symétriques telle que les séquences direct , inverse et homopolaire pour calculer le courant de court-circuit monophasé et biphasé

Enfin, nous terminons notre travail par une partie de simulation a l'intermédiaire de Simulink (matlab) pour présenter le courant de court-circuit en cas symétrique et asymétrique

CHAPITRE I

***RAPPELS SUR LES
COURANTS DE COURT-
CIRCUIT SYMETRIQUE***

I.1 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 appelées impédances cycliques [1,3]. 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 chapitre simplifie les calculs et permet une résolution beaucoup plus facile en se ramenant à la superposition de trois réseaux monophasés indépendants[3,2].

I.2. LES COURT-CIRCUIT :

I.2.1.Définition

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[4,7].

I.2.2. Origines des court-circuit

- Défaut d'isolation,
- Vent violent (rupture des conducteurs),
- Surtensions très élevée d'origine atmosphérique (foudre) ou de manœuvre,
- Accumulation de glace (rupture des conducteurs, effondrement des pylônes,
- contournement ou court-circuit des isolateurs),
- Pollution atmosphérique des isolateurs

I.2.3.les courants de court-circuit

a- Naissance d'un court circuit (modélisation):

Schéma équivalent de la distribution d'énergie en fonctionnement normal :

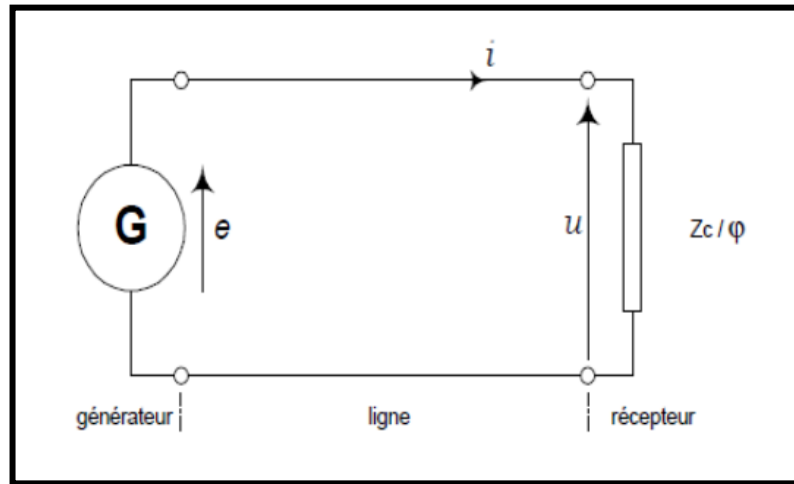


Fig. I.1: Schéma de principe d'une distribution d'énergie

En cas générale le générateur alimente le récepteur d'énergie électrique par l'intermédiaire qui est la ligne électriques avec une tension d'alimentation :

$$e = E\sqrt{2} \sin(\omega t) \dots \dots \dots (I.1)$$

Le courant i qui s'installe dans le circuit :

$$i = e / Z_c \dots \dots \dots (I.2)$$

Donc:

$$i = (E\sqrt{2} / Z_c) \sin (\omega t - \phi) \dots \dots \dots (I.3)$$

A l'instant $t=0$ le court circuit apparaît sur la ligne, et on peut représenter l'installation par le schéma équivalent suivant :

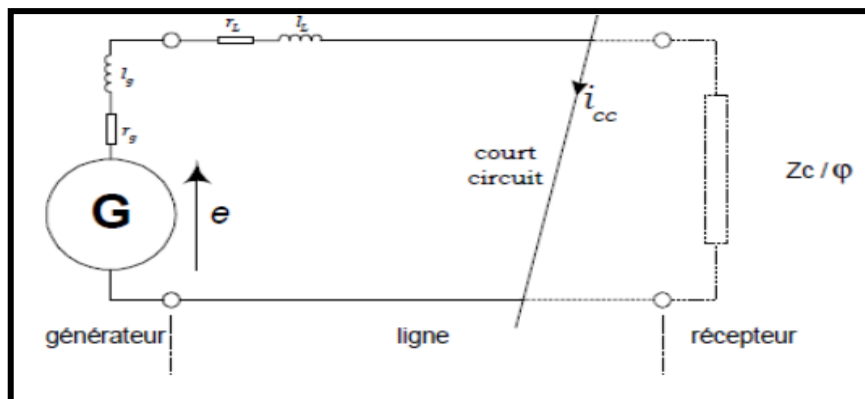


Fig. I- 2: Schéma équivalent en cas de court-circuit

Soit l'impédance interne du générateur :

$$Z_g = r_g + j l_g w \dots \dots \dots (I.4)$$

Et l'impédance de la ligne:

$$Z_L = r_L + j l_L w \dots \dots \dots (I.5)$$

$$Z = Z_g + Z_L \dots \dots \dots (I.6)$$

Donc l'impédance totale en cas de court-circuit :

$$Z = R + jL\omega = Ze^{j\psi} \dots \dots \dots (I.7)$$

$$\text{avec } R = r_g + r_L ; L = l_g + l_L \dots \dots \dots (I.8)$$

et l'angle $\psi = \text{Arctg} \frac{L\omega}{R} \dots \dots \dots (I.9)$

ψ c'est le déphasage entre le courant de court-circuit et la tension appliquée peuvent être représentés selon les graphiques ci-dessous :

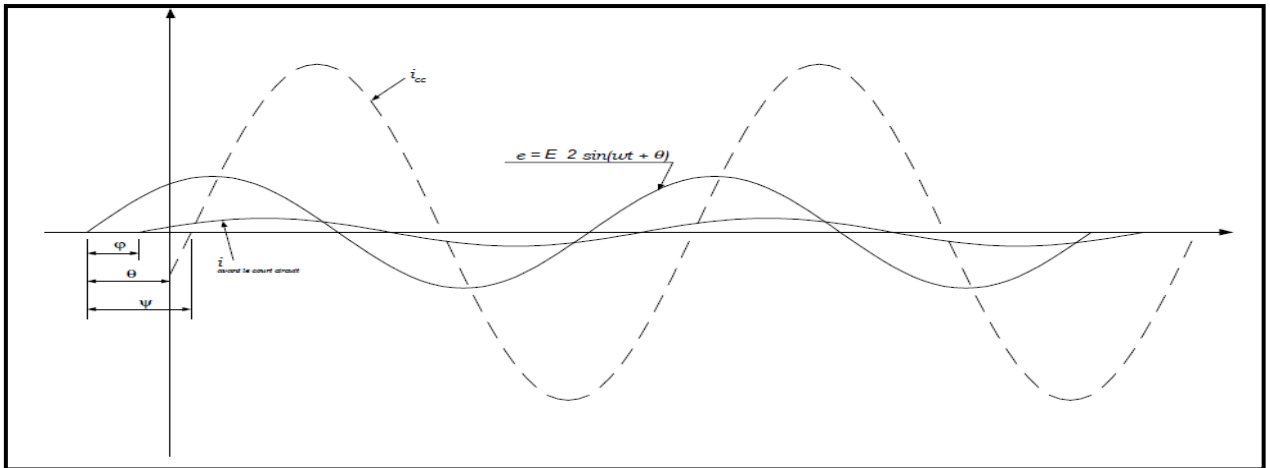


Fig. I -3: Le déphasage entre le courant de court-circuit et la tension appliquée

L'apparition du court circuit est prise comme origine des temps. Donc à l'instant $t=0$ on peut écrire l'équation suivante en appliquant la loi des mailles au circuit en défaut[2.7] :

$$e = E\sqrt{2} \sin (\omega t + \theta) = R i_{cc} + L di_{cc}/dt \dots \dots \dots (I.10)$$

Résolution d'une équation du 1^{er} ordre :

$$\text{Quand on a } f(x) = a dx/dt + b x \dots \dots \dots (I.11)$$

$$\text{la solution est de la forme } x = (x_0 - x_{f0})e^{-\frac{bt}{a}} + x_f \dots \dots \dots (I.12)$$

Avec x_0 : la valeur de x à l'instant $t=0$ de la perturbation

x_{f0} : la valeur du terme forcé pour $t=0$

x_f : le terme forcé , celui du régime permanent qui subsiste après les transitoires.

Application :

$$i_{cc} = (i_{cc0} - i_{ccf0}) e^{-Rt/L} + i_{ccf} \dots \dots \dots (I.13)$$

1- détermination de i_{ccf} le terme forcé:

$$I_{ccf} = E / Z \text{ (en notation complexe)}$$

avec E correspondant à :

$$e = E\sqrt{2} \sin (\omega t + \theta) \dots \dots \dots (I.14)$$

$$e = E_M \cos (\omega t + -\theta \pi/2) \dots \dots \dots (I.15)$$

$$E = E_M e^{j(\omega t + \theta - \pi/2)} \dots\dots\dots (I.16)$$

$$\text{avec } Z = Z e^{j\psi} \dots\dots\dots (I.17)$$

$$\text{Donc, } I_{ccf} = E / Z = E_M e^{j(\omega t + \theta - \pi/2)} / Z e^{j\psi} \dots\dots\dots (I.18)$$

$$i_{ccf} = (E_M / Z) \cdot e^{j(\omega t + \theta - \psi - \pi/2)} \dots\dots\dots (I.19)$$

$$i_{ccf} = \left(\frac{E_M}{Z} \right) \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi) \dots\dots\dots (I.20)$$

2-détermination de i_{ccf0} le terme forcé à l'instant $t=0$:

$$i_{ccf} = \left(\frac{E_M}{Z} \right) \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi) \dots\dots\dots (I.21)$$

$$i_{ccf} = \left(\frac{E_M}{Z} \right) \cdot \sin(\omega \cdot 0 + \theta - \psi) \dots\dots\dots (I.22)$$

$$i_{ccf0} = (E_M / Z) \cdot \sin(\theta - \psi) \dots\dots\dots (I.23)$$

3-Détermination de la valeur du courant de court circuit à l'instant $t=0$ (i_{cc0}):

C'est la valeur de i_{cc} à $t = 0$. A t_0 -le courant dans le circuit est le courant i (courant nominal imposé par le récepteur). A t_0+ le court circuit existe, mais le courant n'a pas eu le temps de croître. Donc, $i_{cc0}=i$. On peut considérer que cette valeur est négligeable devant i_{ccf0} [1,8]

La solution donne donc : On pose $I_M = (E_M / Z) = (E\sqrt{2} / Z) \dots\dots\dots (I.24)$

$$i_{cc} = [i_{ccf0} - i_{ccf0}] e^{-Rt/L} + i_{ccf} \dots\dots\dots (I.25)$$

$$i_{cc} = [-I_M \sin(\theta - \psi)] e^{-Rt/L} + I_M \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi) \dots\dots (I.26)$$

$$i_{cc} = i_0 + i_1 \dots\dots\dots (I.27)$$

L'équation dans laquelle :

i_0 : est un courant transitoire qui tend vers 0 quand $t \rightarrow \infty$

i_1 : est le courant du régime permanent, celui qui subsistera si les systèmes de protection n'intervenaient pas.

On appelle :

I_p : la valeur présumée du courant de court-circuit. C'est la valeur efficace de i_1

$$I_p = I_M / \sqrt{2} = E / Z \dots\dots\dots (I.28)$$

On a les formes des courants de court-circuit pour les deux cas considérer :

-Lorsque $\theta = \psi$ l'angle d'enclenchement du court circuit est égal au déphasage de i_{ccf} par rapport à e . Si, $i_{ccf0} = (E_M / Z) \cdot \sin(\theta - \psi) \Rightarrow i_{ccf0} = 0 \dots\dots\dots (I.29)$

-Lorsque $\theta = 0$ l'enclenchement du court-circuit se produit lorsque la tension d'alimentation passe par zéro. $e = 0$

$\theta = \psi$: enclenchement lorsque i_{ccf} passe par 0.

$$i_{cc} = [-I_M \sin(\theta - \psi)] e^{-Rt/L} + I_M \sin(\omega t + \theta - \psi) \dots \dots \dots (I.30)$$

Si $\theta = \psi$ il vient :

$$i_{cc} = [-I_M \sin(0)] e^{-Rt/L} + I_M \sin(\omega t + 0) \dots \dots \dots (I.31)$$

$$i_{cc} = I_M \sin(\omega t) \dots \dots \dots (I.32)$$

donc $i_0 = 0$, il n'y aura pas de régime transitoire le courant de court circuit sera symétrique:

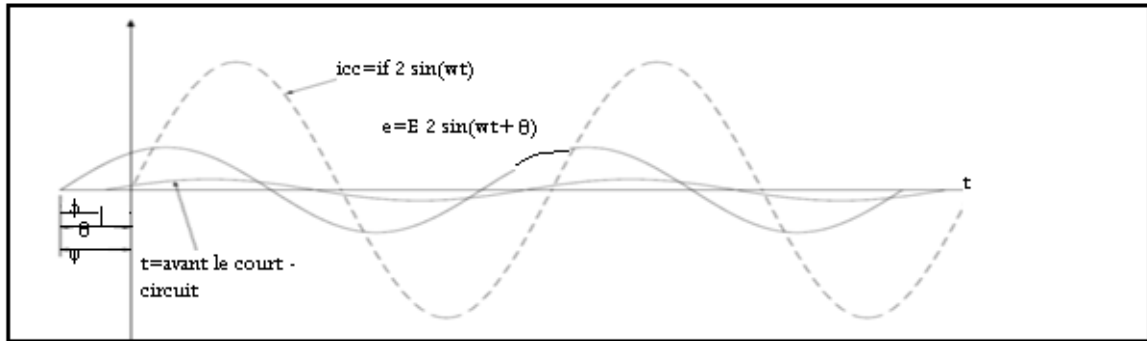


Fig. I -4: Enclenchement au Zéro de courant de court-circuit symétrique

I.3. CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT SYMETRIQUES

Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre, la détermination des protections des personnes et des biens[10,6], nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau (figure.I.5).

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 à un changement de section des conducteurs. 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.

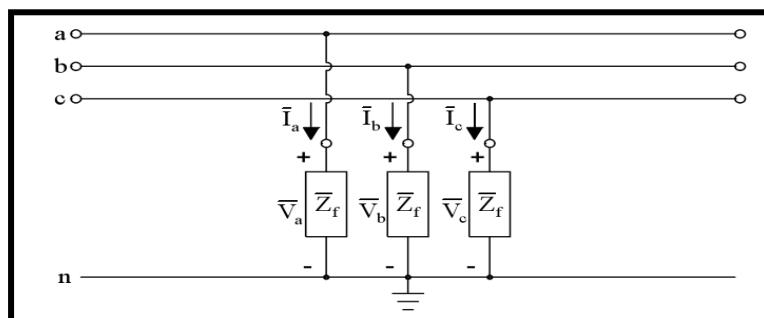


Fig. I-5: Schéma d'un court-circuit symétrique

Deux valeurs du courant de court-circuit doivent être connues :

- a- 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)[6,9].

b- 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 indépendante (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 TI.

Pour mémoire, le courant de court-circuit minimal correspond à un défaut de court-circuit à l'extrémité de la liaison protégée lors d'un défaut biphasé et dans les conditions d'exploitation les moins sévères (défaut à l'extrémité d'un départ et non pas juste derrière la protection, un seul transformateur en service alors que deux sont couple-ables...).

I- 3-1- Méthodes de calcul de courant de court-circuit:

I-3-1-1 Hypothèses simplificatrices : Considérons le schéma de la figure I.6

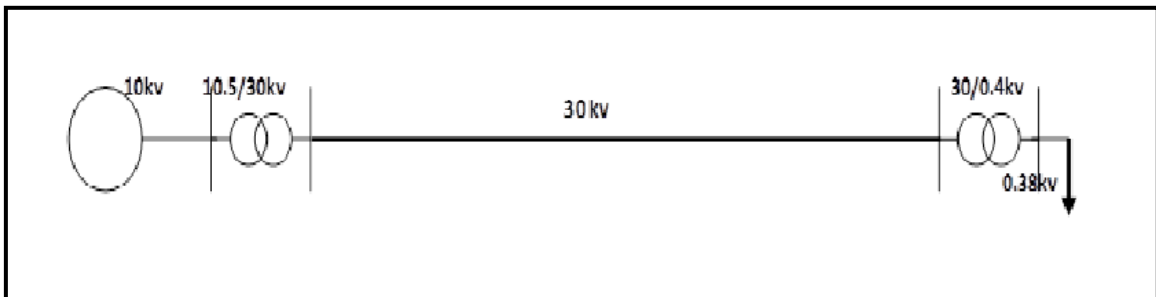


Fig. I.6- Schéma unifilaire du réseau électrique simple

On commence tout d'abord par établir le schéma équivalent :

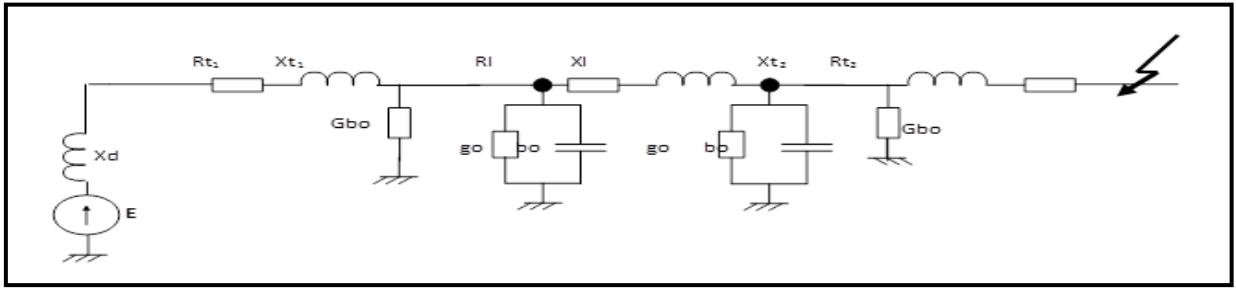


Fig. I-7 Schéma équivalent du réseau électrique 30kV en cas de défaut

On commence tout d'abord par établir le schéma équivalent ,Pour simplifier le calcul du courant de court-circuit on suppose que:

1. Toutes les sources sont symétriques
2. Elles n'ont pas de déphasage (entre les F.E.M)
3. On néglige tous les paramètres longitudinaux du schéma équivalent du réseau
4. Tous les circuits magnétiques sont linéaires
5. On tient compte de la charge du consommateur de la manière approximative, souvent elle sont négligées[6,11].
6. On néglige les résistances actives des éléments long d'un réseau si $R = 1 / 3 . x$
7. On néglige R et X des appareils de commutation.
8. On réduit les paramètres à une même tension.

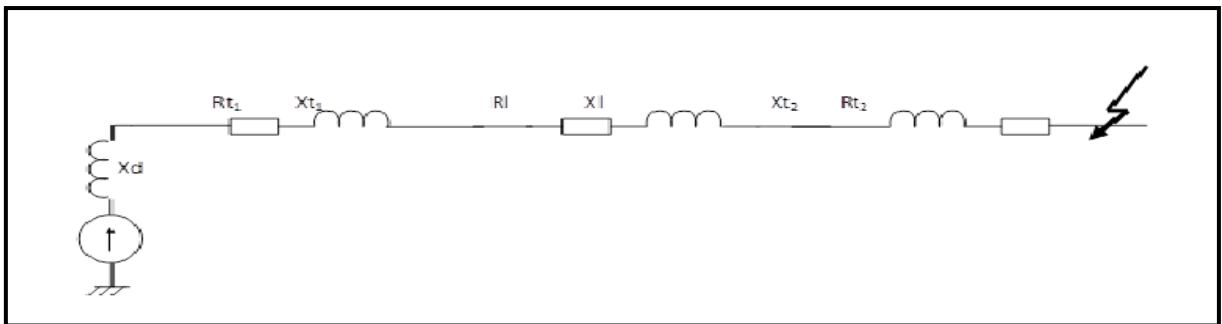


Fig. I-8 Schéma équivalent du réseau électrique 30kV simplifié

Remarque:

Généralement la tension à laquelle on rapporte les paramètres des éléments du réseau est la tension nominale où a lieu le court-circuit.

I-3 -1-2 Méthode précise:

Considérons le schéma du réseau de la figure. I.9:

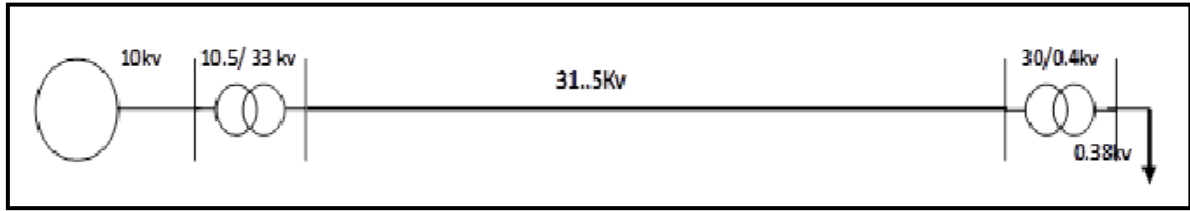


Fig. I.9 Présentation unifilaire du réseau électrique 31.5 kV

Pour réduire n'importe quel paramètre d'un réseau électrique d'un niveau de tension à un autre niveau de tension on utilise le rapport suivant:

$$K_{tm} = \left(\frac{U_{commune}}{U_{propre}} \right)^2 = \left(\frac{U_c}{U_p} \right)^2 \dots \dots \dots (I.33)$$

appelé le coefficient de transmutation pour la méthode précise, on utilise les valeurs de tensions des transformateurs (valeurs de la plaque signalétique)

Appliquons cette relation au schéma de la figure I.9 ci-dessus: On ramène tous les paramètres à $U_n = 0.4kV$ (et non pas à $0.38kV$)

a- Le transfo. T1:

$$X_{t1} = \frac{U_{cc\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{U_{cc\%} \cdot (33)^2}{100 \cdot S_n} \dots \dots \dots (II.34)$$

Donc pour ramener X_{t1} à $U_n = 0.4 kV$ on écrit :

$$X_{ram} = X_{t1} \left(\frac{U_c}{U_p} \right)^2 \dots \dots \dots (I.35)$$

Sachant que X_{t1} est calculé pour $33kV$ c-à-d côté tension commune(haute tension)

$$X_{ram} = X_{t1} \cdot \left(\frac{0.4}{33} \right)^2 \dots \dots \dots (I.36)$$

Même chose pour R_{t1} :

$$R_{t1} = \frac{\Delta P_{cc} \cdot U_n^2}{S_n^2} = \frac{\Delta P_{cc} \cdot (33)^2}{S_n^2} \dots \dots \dots (I.37)$$

$$R_{ram} = R_{t1} \cdot (33/10.5)^2 \cdot (0.4/33)^2 \dots \dots \dots (I.38)$$

$$Si \ R_{t1} = \Delta P_{cc} \cdot \frac{(33)^2}{S_n^2} \Rightarrow R_{ram} = R_{t1} \cdot \left(\frac{0.4}{33} \right)^2 \dots \dots \dots (I.39)$$

b- Ligne:

$$X_{l(ram)} = X_l \cdot (0.4/30)^2 \dots\dots\dots(I.40)$$

I-3 -1-3Méthode approximative:

En réalité il est très difficile de connaître le rapport de transformation réel, car la majorité des transformateurs ont des prises, donc un rapport variable; c'est pour cette raison qu'on utilise la méthode des tensions moyenne de chaque échelon c'est à dire au lieu d'utiliser le rapport de transformation réel[6,10], on utilise le rapport entre les tensions moyennes des différents échelons du réseau; cette méthode est appelée approximative.

A titre d'exemple on utilisera le même schéma de la figure. II-4

La tension moyenne est calculée comme suit:

$$U_{moy} = (U_{début} + U_{fin}) / 2 ; \text{ avec: } U_{début} = 1.1U_n \text{ et } U_{fin} = 1.0 U_n \dots\dots(I.41)$$

$$\Rightarrow U_{moy} = 1.05U_n \dots\dots\dots(I.42)$$

$U_n(kV)$	0.38	3	5.5	6	10	15	30	35	60	90	110	150	220
$U_{moy}(kV)$	0.40	3.15	5.8	6.3	10.5	15.75	31.5	37	63	94.5	115	157	231

Table I-1. Tableaux des valeurs moyenne de tension standard

Pour T_1 :

$$X_{t1(ram)} = X_{t_1} - 33 \cdot (0.4/31.5)^2 \dots\dots\dots(I.43)$$

Si X_{t_1} est calculée pour 10.5, on aura:

$$X_{t1(ram)} = X_{t10.5} \cdot (31.5/10.5)^2 \cdot (0.4/31.5)^2 = X_{t10.5} \cdot (0.4/31.5)^2 \dots\dots\dots(I.44)$$

$$X_{L(ram)} = X_L \cdot (0.4/31.5)^2 \dots\dots\dots(I.45)$$

Alternateur:

$$E_{ram} = E \cdot (0.4/31.5) \cdot (31.5/10.5) = E \cdot (0.4/10.5) \dots\dots\dots(I.46)$$

$$X_{d(ram)} = X_d \cdot (0.4/10.5)^2 \dots\dots\dots(I.47)$$

I-3 -1-4 Méthodes des unités relatives de base:

Cette méthode est basée sur l'utilisation des valeurs relatives (sans unité), en choisissant essentiellement la puissance apparente et la tension de base ; en utilisant le même schéma précédent on procède comme suit[1,2,9]:

On choisit généralement $S_B=100$ MVA , $U_B=$ à la tension où a eu lieu le court-circuit en kV

On détermine I_B et Z_B analytiquement: [4]cours d'analyse des réseaux

$$I_B = S_B \sqrt{3} \cdot U_B \text{ et } U_B = U_B^2 / S_B \dots \dots \dots (I.48)$$

En utilisant le schéma équivalent du réseau donné ; on entame la détermination des paramètres des éléments du réseau:

a. Alternateur:

$$E_{(pu)} = (E/U_B) \cdot (U_B/U_n) = E / U_n \dots \dots \dots (I.49)$$

Remarque:

Pour un système électrique la f.e.m est choisie dans l'intervalle : $E_{(pu)} \in [1,5, \dots, 1,1]$

Pour une centrale électrique elle est calculée comme suit:

$$E_{(pu)} = \sqrt{(U_n \cdot \cos \varphi_n)^2 + (U_n \cdot \sin \varphi_n + I_{ch} \cdot X''_d)^2} \dots \dots \dots (I.50)$$

Si la machine fonctionne à pleine charge : $I_{ch} = 1$

$$X_{d(pu)} = \frac{X_{d\%}}{100 \cdot Z_B} \cdot \left(\frac{U_n^2}{S_n} \right) = \frac{X_d \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} \cdot \frac{S_B}{U_n^2} = \frac{X_d}{100} \cdot \frac{S_B}{S_n} \dots \dots \dots (I.51)$$

b. Transformateur:

$$X_{tr(pu)} = \frac{X_{tr}}{Z_B} \cdot \left(\frac{U_B}{U_n} \right)^2 = \frac{U_{cc\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} \cdot \left(\frac{S_n}{U_B} \right)^2 \cdot \left(\frac{U_B}{U_n} \right)^2 \Rightarrow X_{tr(pu)} = \frac{U_{cc\%} \cdot S_B}{100 \cdot S_n} \dots \dots \dots (I.52)$$

$$\text{donc si } S_B = 100, MVA \text{ d'où } X_{tr\%} = \frac{U_{cc\%}}{S_n} \dots \dots \dots (I.53)$$

c.Ligne:

$$X_{L(pu)} = \frac{X_L}{Z_B} \cdot \left(\frac{U_B}{U_n} \right)^2 = \frac{X_0 \cdot L_0 S_B}{U_B^2} \cdot \left(\frac{U_B}{U_n} \right)^2 \Rightarrow X_{L(pu)} = \frac{X_0 \cdot L_0 S_B}{U_n^2} \dots \dots \dots (I.54)$$

X_0 : la réactance ligne [Ω/km].

L_0 : la longueur du ligne.

Après avoir calculé tous les éléments du réseau en unités relatives de base, on simplifie le schéma et on calcul le courant de cc comme suit:

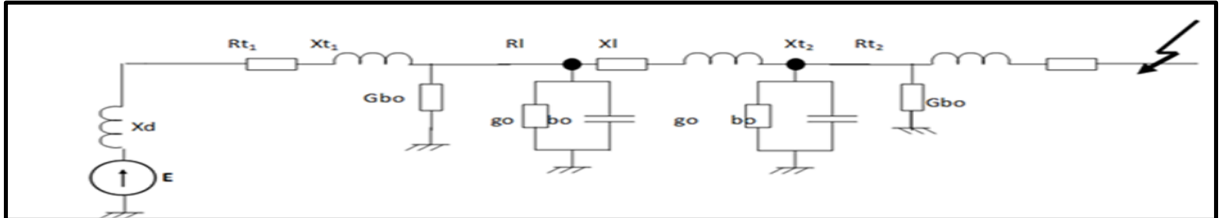


Fig I.9 Schéma d'impédance en unité relative

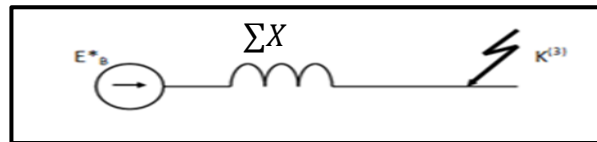


Fig I.10 Schéma équivalent d'impédance en unité relative

$$I_{cc} = \frac{E \cdot B}{\Sigma X} \dots\dots\dots(I.54)$$

La valeur réelle du courant de Court-circuit sera calculée comme suit:

$$I_{cc} = I_{cc} \cdot I_B \dots\dots\dots(I.55)$$

CONCLUSION :

Dans un réseau triphasé de constitution symétrique on peut dire que les **court-circuits triphasés symétriques** (environ 5% de tous les court- circuits) intéressant toutes les phases avec ou sans mise à 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).

Aussi il est très intéressant de calculer le courant de court-circuit symétrique; cela fait raison de simplifie le choix des appareils de protection pour toutes les éléments de réseaux exploité en toute points[6,8].

Pour calculer les courant de défaut d'abord on dominant plusieurs méthodes de simplifications, tell que la négligeassions des éléments transversale du réseau ainsi les

résistances longitudinale s'il est incomparable en valeur par rapport à la réactance longitudinale.

Aussi On réduit les paramètres à une même tension et en système des unités relatives

CHAPITRE II

***LE COURANT DE COURT-
CIRCUIT ASYMETRIQUE***

II-1 INTRODUCTION:

Un système triphasé est une catégorie particulière de réseau polyphasé à trois grandeurs (tensions ou courants) sinusoïdales de même fréquence. Le système est symétrique si les grandeurs sinusoïdales sont de même valeur efficace et déphasées de $(2\pi/3)$. Il est direct si les phases sont ordonnées dans le sens trigonométrique et inverse dans l'autre cas.

un réseau triphasé est un assemblage de trois générateurs de tension indépendants connectés en étoile, c'est à dire avec un pôle commun appelé point neutre[4,2]. La ligne est l'ensemble des conducteurs transportant l'énergie. On distingue trois conducteurs (un par phase) et éventuellement un quatrième pour le retour du courant appelé conducteur de neutre.

II-2.LES SYSTEME DESEQUILIBRE

Par construction, les systèmes de production, transport et utilisation d'énergie électrique sont équilibrés symétriques, et les f.e.m. triphasés équilibrées directes. Cependant, il y a certaines situations qui peuvent les déséquilibrer.

Les dissymétries possibles proviennent :

- De grosses charges monophasées,
- De défaut dans le réseau (coupure, court-circuit entre phases ou entre phase et terre).

Pour protéger les systèmes contre ces situations, on doit prévoir des dispositifs de protections tel que les fusibles, les disjoncteurs.[3,5] Pour cela et aussi pour d'autres raisons, il est nécessaire calculer les courants et les tensions du système dans de la nouvelle situation de déséquilibre.

II-2-1-Le système direct

Le système direct encore appelé séquence positive, dans lequel V_{1d} V_{2d} V_{3d} figure II-1 ont la même amplitude, et décalés de 120° et sont disposés selon le sens horaire.

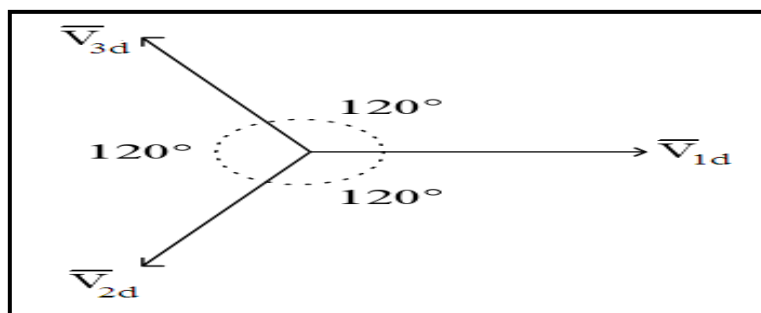


Fig. II-1:Présentation vectorielle du système direct

II-2-2-Le système inverse

Le système inverse encore appelé séquence négative , dans lequel V_{1i} , V_{2i} , V_{3i} figure

II-2 ont la même amplitude, et décalés de 120° et sont disposés selon le sens trigonométrique.

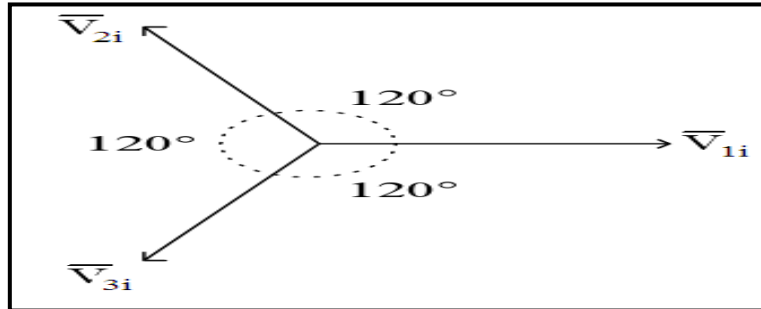


Fig. II-2:Présentation vectorielle du système inverse

II-2-3-Le système homopolaire

Le système homopolaire encore appelé séquence nulle, dans lequel V_{10} V_{10} V_{10} figure II-3 ont la même amplitude, et sont en phase et donc colinéaires[1,2].

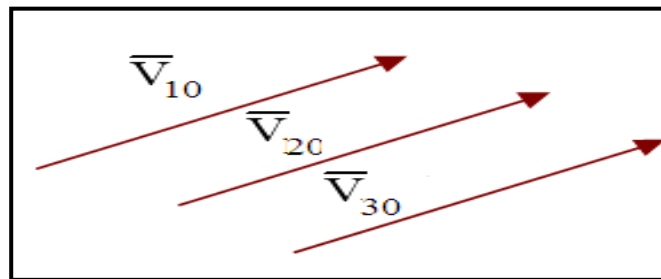


Fig. II-3:Présentation vectorielle du système homopolaire

II-3.DECOMPOSITION D'UN SYSTEME TRIPHASÉ EN SES COMPOSANTES SYMETRIQUES:

Soit un système triphasé quelconque formé de trois vecteurs V_1, V_2, V_3 on montre que ce système est la somme de trois systèmes triphasés équilibrés : direct, inverse et homopolaire.

$$\begin{cases} V_1 = V_{1d} + V_{1i} + V_{10} \\ V_2 = V_{2d} + V_{2i} + V_{20} \dots\dots\dots (II.1) \\ V_3 = V_{3d} + V_{3i} + V_{30} \end{cases}$$

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 : $a = 1 \angle 120^\circ$

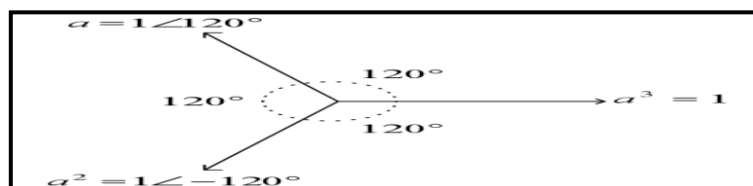


Fig. II-4: Présentation vectorielle des composantes symétriques

Avec : $1+a^2+a^3=0$

On peut écrire :

$$\begin{cases} V_{1d} = aV_{2d} = a^2V_{3d} = V_d \\ V_{1i} = a^2 V_{2i} = aV_{3i} = V_i \dots \dots \dots (II.2) \\ V_{10} = V_{20} = V_{30} = V_0 \end{cases}$$

Système triphasé

$$\begin{cases} V_1 = V_0 + V_d + V_i \\ V_2 = V_0 + a^2V_d + aV_i \dots \dots \dots (II.3) \\ V_3 = V_0 + aV_d + a^2V_i \end{cases}$$

Sous forma matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} V_0 \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (II.4)$$

La même chose pour le courant

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} I_0 \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (II.5)$$

[T] est la matrice de Fortescue

Les composants symétriques de système peut trouver par :

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (II.6)$$

Simplification

$$\begin{cases} V_0 = \frac{1}{3} (V_1 + V_2 + V_3) \\ V_d = \frac{1}{3} (V_1 + aV_2 + a^2V_3) \dots \dots \dots (II.7) \\ V_i = \frac{1}{3} (V_1 + a^2V_2 + aV_3) \end{cases}$$

Construction géométrique des composantes symétriques avec l'opérateur a

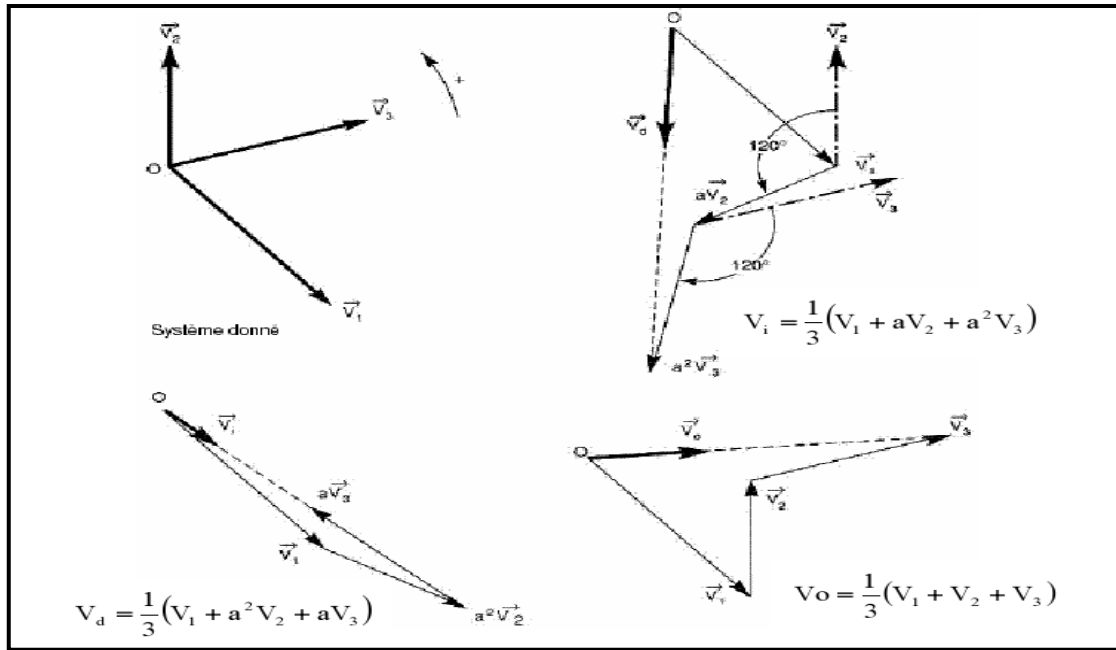


Fig. II-5: Les composants symétriques de tension en fonction des grandeurs triphasées

II-3-1-Paramètres Direct, Inverse et Homopolaire des éléments essentiels d'un réseau

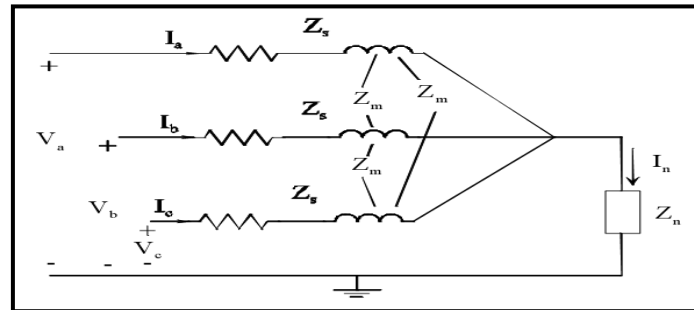


Fig. II-6: Les impédances symétriques d'une charge équilibrée couplée en étoile

$$\begin{aligned} V_a &= Z_s I_a + Z_m I_b + Z_m I_c + Z_n I_n \\ V_b &= Z_m I_a + Z_s I_b + Z_m I_c + Z_n I_n \\ V_c &= Z_m I_a + Z_m I_b + Z_s I_c + Z_n I_n \end{aligned} \quad \text{.....(II.8)}$$

$$I_n = I_a + I_b + I_c \quad \text{.....(II.9)}$$

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_s + Z_n & Z_m + Z_n & Z_m + Z_n \\ Z_m + Z_n & Z_s + Z_n & Z_m + Z_n \\ Z_m + Z_n & Z_m + Z_n & Z_s + Z_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} \quad \text{.....(II.10)}$$

$$V_{abs} = Z_{abs} I_{abs} \quad \text{..... (II. 11)}$$

Sous forme matricielle compactée

$$[V_{abc}] = [Z_{abc}][I_{abc}] \dots \dots \dots (II.12)$$

Utilisant les composants symétriques

$$[T][V_{cs}] = [Z_{abc}][T][I_{cs}] \dots \dots \dots (II.13)$$

$$\Rightarrow [V_{cs}] = [T]^{-1}[Z_{abc}][T][I_{cs}] = [Z_{cs}][I_{cs}] \dots \dots \dots (II.14)$$

$$[Z_{cs}] = [T]^{-1}[Z_{abc}][T] \dots \dots \dots (II.15)$$

$$[Z_{cs}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Z_s + Z_n & Z_m + Z_n & Z_m + Z_n \\ Z_m + Z_n & Z_s + Z_n & Z_m + Z_n \\ Z_m + Z_n & Z_m + Z_n & Z_s + Z_n \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots (II.16)$$

$$[Z_{cs}] = \begin{pmatrix} Z_s + 3Z_n + 2Z_m & 0 & 0 \\ 0 & Z_s - Z_m & 0 \\ 0 & 0 & Z_s - Z_m \end{pmatrix} \dots \dots \dots (II.17)$$

S'il n'y a pas un couplage mutuel entre les éléments de la charge $Z_m=0$, on a:

$$[Z_{cs}] = \begin{pmatrix} Z_s + 3Z_n & 0 & 0 \\ 0 & Z_s & 0 \\ 0 & 0 & Z_s \end{pmatrix} \dots \dots \dots (II.18)$$

On remarque que la matrice d'impédance est une matrice diagonale, donc les trois séquences pour une charge équilibrée sont indépendantes. C.à.d. que le courants d' une séquence produira la tension dans le même séquence[2,6].

II-3-1-1-les impédances symétriques d'une charge équilibrée couplée en triangle

L'impédance directe et inverse de ce couplage égale à leur impédance sur trois (transformation en triangle ou en étoile).

Les courants homopolaires peuvent exister dans le couplage triangle.

Cependant, on a :

$$I_{AO} = I_{BO} = I_{CO} = I_O \dots \dots \dots (II.19)$$

On remarque que les courants de linge sortants de ce couplage sont égaux à zéro. Par exemple :

$$I_{AB} = I_{AO} - I_{BO} = 0 \dots \dots \dots (II.20)$$

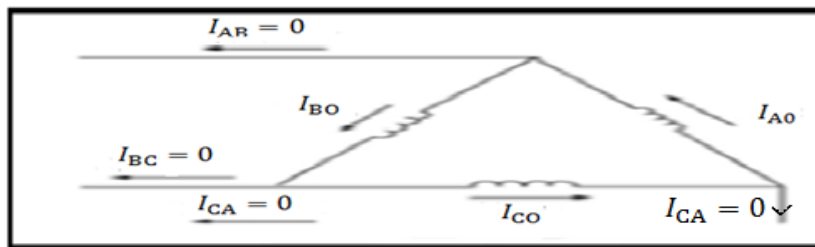


Fig. II-7: Les impédances symétriques d'une charge équilibrée couplée en triangle

II-3-1-2-Les impédances symétriques d'une ligne de transport

Considérons une ligne de transport triphasé d'impédance Z_l , et l'impédance de retour (ou neutre) est Z_N . Si le système de tension est déséquilibré, on a un courant dans le neutre. Ainsi :

$$I_n = I_a + I_b + I_c \dots \dots \dots (II.21)$$

Les chutes de tension dans la ligne ΔV_a , ΔV_b et ΔV_c sont :

$$\begin{cases} \Delta V_a = I_a Z_l + I_n Z_N = I_a (Z_l + Z_N) + I_b Z_N + I_c Z_N \\ \Delta V_b = I_b Z_l + I_n Z_N = I_a Z_N + I_b (Z_l + Z_N) + I_c Z_N \dots \dots (II.22) \\ \Delta V_c = I_c Z_l + I_n Z_N = I_a Z_N + I_b Z_N + I_c (Z_l + Z_N) \end{cases}$$

Sous forme matriciel:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_l + Z_N & Z_N & Z_N \\ Z_N & Z_l + Z_N & Z_N \\ Z_N & Z_N & Z_l + Z_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \dots \dots \dots (II.23)$$

La transformation en composants symétriques dont:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_0 \\ \Delta V_d \\ \Delta V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_l + 3Z_N & 0 & 0 \\ 0 & Z_l & 0 \\ 0 & 0 & Z_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (II.24)$$

Donc $Z_0 = Z_l + 3Z_N$ et $Z_d = Z_i = Z_l$

II-3-1-3-Les impédances symétriques d'un transformateur

- Les impédances directes et inverses de transformateur sont égale à leur impédance cyclique.
- Mais l'impédance homopolaire dépend de couplage et de mise à la terre de bobinage[7,1]

II-3-1-4-Les impédances symétriques d'un générateur

$$V_a = E_a - I_a Z_a - I_n Z_n$$

$$V_b = E_b - I_b Z_b - I_n Z_n \dots \dots \dots (II.25)$$

$$V_c = E_c - I_c Z_c - I_n Z_n$$

Mais $I_n = I_a + I_b + I_c$, on a

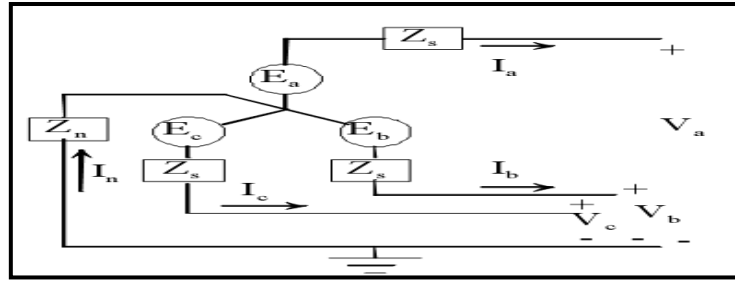


Fig. II-8 :Les impédances interne triphasé d'une générateur

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_s + Z_n & Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_s + Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_n & Z_s + Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (II.26)$$

Sous forme compact

$$[V_{abc}] = [E_{abc}] - [Z_{abc}][I_{abc}] \dots\dots\dots (II.27)$$

Si on le transforme en composants symétriques

$$\begin{aligned} [T][V_{cs}] &= [E_{abc}] - [Z_{abc}][T][I_{cs}] \\ \Rightarrow [V_{cs}] &= [T]^{-1}[E_{abc}] - [T]^{-1}[Z_{abc}][T][I_{cs}] \\ &= [E_{cs}] - [Z_{cs}][I_{cs}] \dots\dots\dots (II.28) \end{aligned}$$

$$[Z_{cs}] = [T]^{-1}[Z_{abc}][T] \dots\dots\dots (II.29)$$

Donc:

$$[Z_{cs}] = \begin{bmatrix} Z_s + 3Z_n & 0 & 0 \\ 0 & Z_s & 0 \\ 0 & 0 & Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_d & 0 \\ 0 & 0 & Z_i \end{bmatrix} \dots\dots\dots (II.30)$$

Le générateur est conçu pour donner une FEM direct, donc l'FEM inverse et homopolaire sont nulles.

On a:

$$\begin{cases} V_o = 0 - I_o Z_o \\ V_d = E_a - I_d Z_d \dots\dots\dots (II.31) \\ V_i = 0 - I_i Z_i \end{cases}$$

II-4 CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT ASYMETRIQUES

Les courts-circuits asymétriques sont provoqués par les connexions entre:

- Deux phases sans contact à la terre (biphasé).
- Deux phases et la terre (biphasé à la terre).
- Une phase et la terre (monophasé).

Parfois les valeurs des courants de court-circuit asymétriques dépassent les valeurs de court-circuit symétrique; habituellement le calcul de courant de court-circuit asymétrique se fait à l'aide des composantes des circuits symétriques [3,6]

II-4-1- Méthode des calculs de courant de court-circuit asymétrique

Durant les courts-circuits biphasé ou monophasé le système triphasé (de tension ou de courant) devient asymétrique.

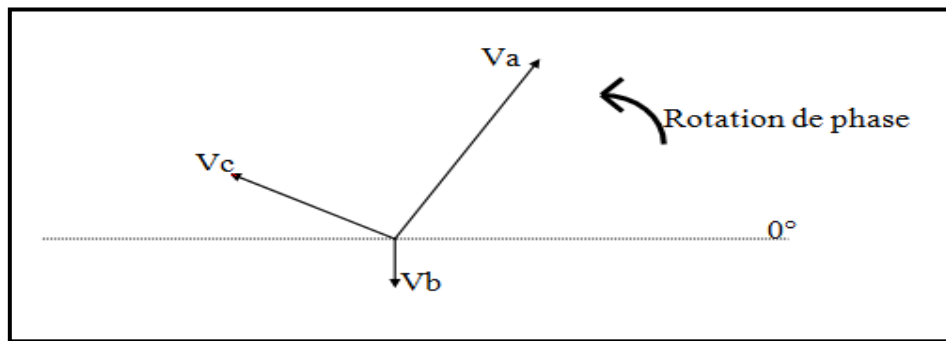


Fig. II-9:Diagramme vectoriel des tension

C'est à dire les trois phases se trouvent dans des conditions différentes, donc on peut utiliser les même méthodes de calcul utilisées dans le calcul des courants de court-circuit symétrique

II-4-2- Hypothèses simplificatrices:

Le court-circuit asymétrique est calculé pour la phase particulière, c'est la phase qui se trouve dans des conditions différentes des autres phases.

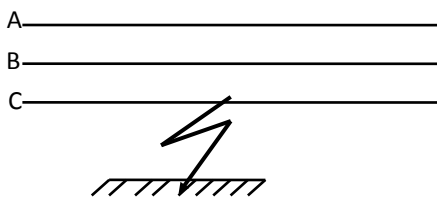


Fig. II-10: court-circuit monophasé a la terre

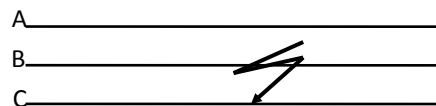


Fig. II-11:court-circuit biphasé simple

Chaque machine ou appareil électrique offre au passage d'un système de courant direct, inverse et homopolaire une impédance propre qu'on désigne respectivement par $Z_1(X_1), Z_2(X_2), Z_0(X_0)$.

Le court-circuit asymétrique est liée avec la composition de 3 schémas indépendants du réseau à savoir : inverse, direct et homopolaire[9,10,3].

Pendant le calcul du court-circuit asymétrique, on suppose que les impédances de toutes les phases sont égales; d'après cette admission on peut utiliser les lois d'Ohm et de Kirchhoff pour chaque composante symétrique séparée[4,2].

Les courants asymétriques traversant les phases du circuit électrique provoque les chutes de tension asymétrique aussi, cette chute de tension peut être représentée par les composantes symétriques. On peut dire que les courants asymétriques provoquent les chutes de tension de même suite d'alternance

Les impédances des éléments du circuit triphasé pour les suites différentes d'alternance des vecteurs, sont différents aussi

$$(Z_1 \neq Z_2 \neq Z_0), \Delta U_1 = j \cdot I_1 \cdot X_1, \Delta U_2 = j \cdot I_2 \cdot X_2, \Delta U_0 = j \cdot I_0 \cdot X_0.$$

Pour les circuits asymétriques on peut appliquer le principe de superposition c'est à dire on suppose que les différentes composantes direct, inverse et homopolaire fonctionnent indépendamment l'un de l'autre[3,8].

Pour un court-circuit triphasé symétrique la tension dans un point de défaut est nulle(cas idéal), mais durant le court-circuit asymétrique les composantes directes de tension dans un point de défaut sont différentes de zéro et de même pour les composantes inverses et homopolaires, d'un autre côté les alternateurs donne seulement le système symétrique de f.e.m de la suite directe c'est à dire les f.e.m inverse et homopolaire sont nulles dans le schéma équivalent.

Considérons le schéma équivalent d'un générateur à vide court-circuité:

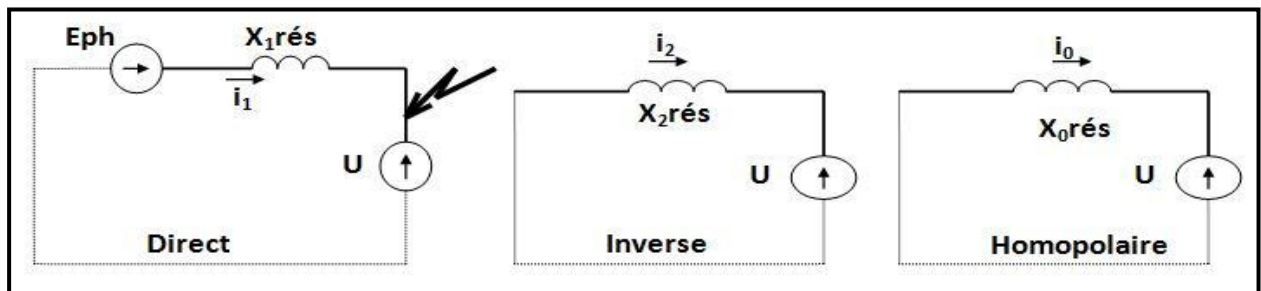


Fig. II-12:les circuits équivalentes des trois Séquences symétriques direct, inverse et homopolaire

Les équations d'équilibre sont:

$$\begin{cases} V_1 = E_{ph} - I_1 \cdot X_1 \\ V_2 = 0 - I_2 X_2 \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (II. 32) \\ V_3 = 0 - I_0 \cdot X_0 \end{cases}$$

où : V_1, V_2 et V_0 , Tensions direct, inverse et Homopolaire appliquées au point de court-circuit.

I_1, I_2 et I_0 , Courants direct, inverse et Homopolaire appliquées dans le point de court-circuit.

X_1, X_2 et X_0 , Réactances direct, inverse et Homopolaire par rapport au point de court-circuit.

II-4-3- Paramètres Direct, Inverse et Homopolaire des éléments essentiels d'un réseau:

II-4-3-1- 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[11,2].

II-4-3-2- 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 égaux aux réactances directes.

$$(X_1 = X_2, R_1 = R_2, Z_1 = Z_2)$$

-Pour les éléments mobiles (machines électriques tournantes) on a:

-Alternateurs sans amortisseur:

$$X_2 = (X'_d \cdot X_q)$$

Où. X''_d est la réactance longitudinale synchrone et X_q est la réactance transversale synchrone.

En général on prend $X_2 = 1.45 \cdot X''_d$

-Alternateurs avec amortisseur:

$$X_2 = 1/2 \cdot (X'_d + X_q)$$

$$\text{Avec } X_2 = 1,22 \cdot X''_d$$

Pour la charge industrielle

$$X_{2,n} = 0,35 \text{ pour } U = (5 \longrightarrow 15,75) \text{ kV}$$

$$X_{2,n} = 0,45 \text{ pour } U = (30 \longrightarrow 220) \text{ kV}$$

II-4-3-3-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[1,2].

a)Paramètres Homopolaires des lignes de transport d'énergie électrique

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

b) Paramètres Homopolaires des charges:

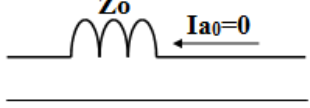
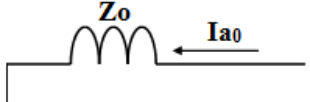
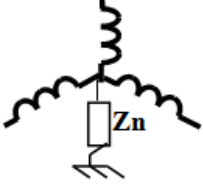
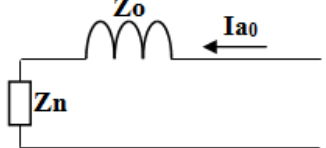
Connexion de charges	Schéma équivalent Homopolaire
	
	
	
	

Tableau. II-1: Paramètres Homopolaires des charges

c) Paramètres Homopolaires des machines synchrones (générateur) :

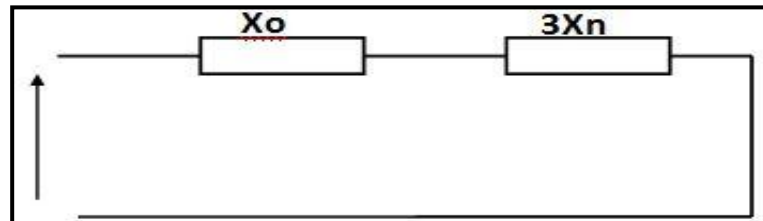


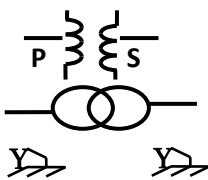
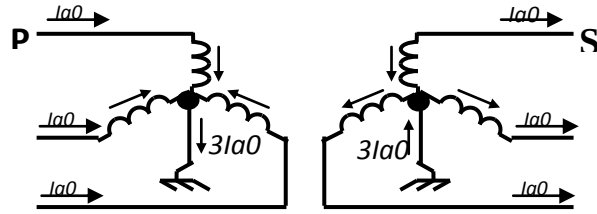
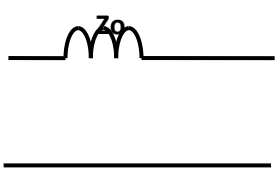
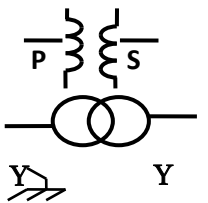
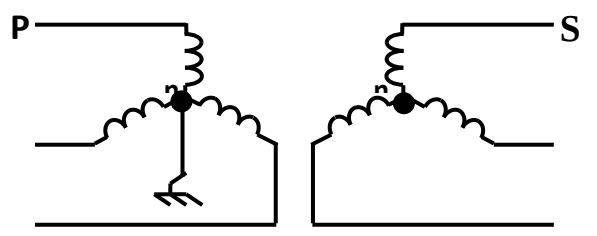
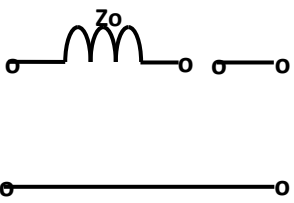
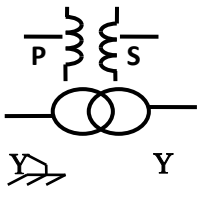
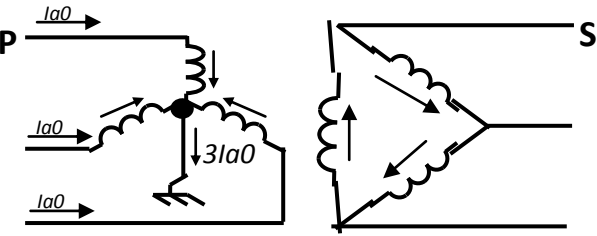
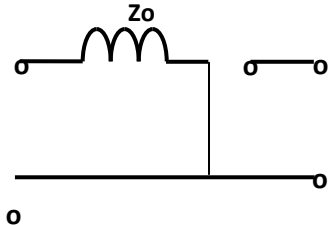
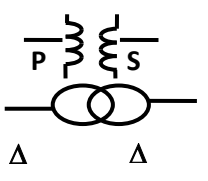
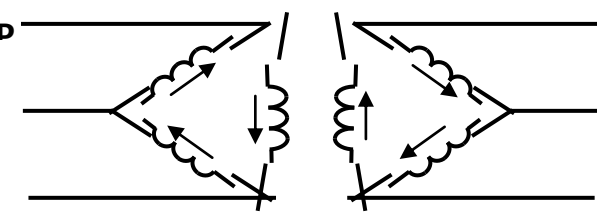
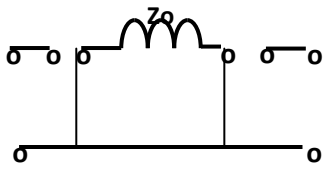
Fig. II-13: Le circuit équivalente du Séquanes symétriques homopolaire

Si le neutre est isolé $X_o=0$, mais si celui-ci est mis à la terre, X_o doit être mesurer car elle dépend des caractéristiques de la machine synchrone

d) d'une machine asynchrone (moteur):

$X_2 = X_1 = X_{cc}$, $R_2 = R_1 = R_{cc}$ et X_0 doit être mesurée

e) Paramètres Homopolaires d'un transformateur à deux enroulements:

Connexion de charges	Diagramme de connexion du transformateur	Schéma équivalent Homopolaire
		
		
		
		

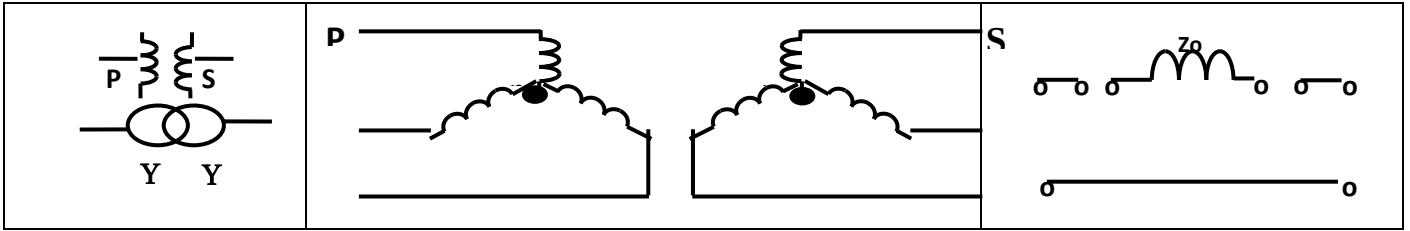


Tableau II-2: Paramètres Homopolaires d'un transformateur à deux enroulements:

II-5-CALCULE DU COURANT DE COURT-CIRCUIT POUR DIFFERENTES CAS DISSYMETRIQUE

II-5-1-Court-circuit monophasé:

Nous avons les conditions suivantes: figure II-14

$$V_a = 0 ; \quad I_B = I_C = 0$$

$$\begin{cases} I_{a1} = \frac{1}{3} (I_A + a \cdot I_B + a^2 \cdot I_C) = \frac{I_A}{3} \\ I_{a2} = \frac{1}{3} (I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C) = \frac{I_A}{3} \dots\dots\dots (II.33) \\ I_{a0} = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C) = \frac{I_A}{3} \end{cases}$$

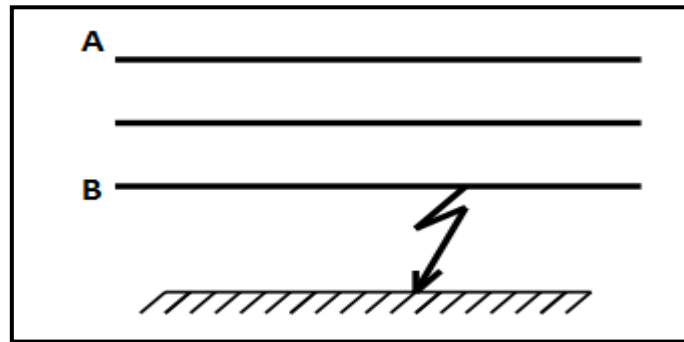


Fig. II-14:cas de court-circuit monophasé a la terre

$$\Rightarrow I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{I_A}{3}$$

On sait que :

$$\begin{cases} V_{A1} = E_1 - I_{A1} \cdot Z_1 \\ V_{A2} = 0 - I_{A2} \cdot Z_2 \dots\dots\dots (II.34) \\ V_{A0} = 0 - I_{A0} \cdot Z_0 \end{cases}$$

En remplaçant dans U_A les valeurs de V_{A1}, V_{A2}, V_{A0} on obtient:

$$V_A = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_A = E_1 - I_{A1} \cdot Z_1 - I_{A2} \cdot Z_2 - I_{A0} \cdot Z_0 = 0 \Rightarrow$$

$$E_1 - I_{A1} \cdot Z_1 - I_{A2} \cdot Z_2 - I_{A0} \cdot Z_0 = 0$$

$$E_1 = I_{A1} (Z_1 + Z_2 + Z_0) \Rightarrow$$

$$I_{a1} = E_1 / Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots\dots\dots (II.35)$$

$$I_{ACCPT} = 3 \cdot I_{A1}$$

$$\Rightarrow \mathbf{I}_{ccPT} = \frac{\mathbf{3 \cdot E_1}}{\mathbf{Z_1 + Z_2 + Z_3}} \dots\dots\dots (II.36)$$

II-5-2. Court-circuit biphasé:

On a les conditions suivantes: figure II- 15



Fig. II-15:cas d'un court-circuit biphasé simple

$$I_A = 0$$

$$I_B + I_C = 0 \Rightarrow I_B = -I_C$$

$$V_B + V_C = 0$$

$$I_{A1} = I_A + a \cdot I_B + a^2 \cdot I_C / 3 = (a - a^2) \cdot I_B / 3$$

$$I_{A2} = I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C / 3 = - (a - a^2) \cdot I_B / 3$$

$$U_{A1} = U_A + a \cdot U_B + a^2 \cdot U_C / 3 = U_A + (a + a^2) \cdot U_B / 3$$

$$U_{A2} = U_A + a^2 \cdot U_B + a \cdot U_C / 3 = U_A + (a + a^2) \cdot U_B / 3$$

$$\Rightarrow V_{A1} = V_{A2}$$

En remplaçant dans le système on obtient:

$$E_1 - I_{a1} \cdot Z_1 = -I_{a2} \cdot Z_2 \quad \text{et} \quad E_1 - I_{a1} \cdot Z_1 = I_{A1} \cdot Z_2$$

$$\Rightarrow I_{a1} = E_1 / Z_1 + Z_2 \quad \dots\dots\dots(\text{II.37})$$

On sait que :

$$I_B = \frac{3 \cdot I_{A1}}{a + a} = \frac{3 \cdot I_{A1}}{j\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{A1}}{j} = -j\sqrt{3} \cdot I_{A1}$$

$$\boxed{\Rightarrow \mathbf{I}_B = -j \frac{\sqrt{3} \cdot \mathbf{E}_1}{\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2}} \quad \dots\dots\dots(\text{II.38})$$

II-5-3 Court-circuit biphasé à la terre:

On a les conditions suivantes:

$$I_A = 0$$

$$V_B = V_C = 0$$

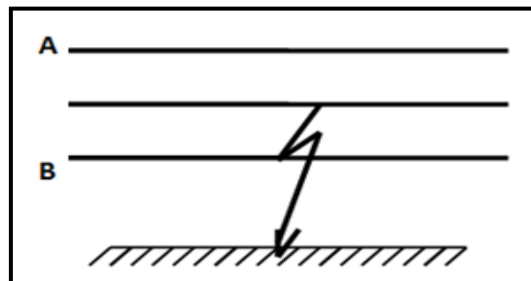


Fig. .II-16: cas d'un court-circuit biphasé à la terre

On trouve que :

$$I_{a1} = \frac{E_1 \cdot (Z_0 + Z_2)}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0} = \frac{E_1}{Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_2 + Z_0}}$$

$$I_{a2} = \frac{-E_1 \cdot Z_0}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0}$$

$$I_{a0} = \frac{-E_1 \cdot Z_2}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0}$$

$$I_{cc} = I_B + I_C \dots\dots\dots (II.39)$$

$$I_B = I_{b0} + I_{b1} + I_{b2}$$

$$I_C = I_{c0} + I_{c1} + I_{c2}$$

$$I_{b0} = I_{c0} = I_{a1}$$

$$I_{b1} = a^2 \cdot I_{a1}$$

$$I_{b2} = a \cdot I_{a2}$$

$$I_{c1} = a \cdot I_{a1}$$

$$I_{c2} = a^2 \cdot I_{a2}$$

$$I_{cc} = 2 \cdot I_{a0} + (a + a^2) \cdot [I_{a1} + I_{a2}] \dots\dots\dots (II.40)$$

II-6-CONCLUSION:

D'après ce chapitre on a calculé le courant de court-circuit dissymétriques de quelques soit le réseaux donné il faut d'abord de composé le système en trois sous systèmes direct, inverse et homopolaire, ainsi les calculs de ses paramètres impédances ou réactances pour les différents séquences, finalement on calcule le courant qui le court-circuit d'après l'impédance équivalent vue en point de défaut[6,10].

CHAPITRE III

SIMULATION

III-SUMILATION

III.1.Introduction

Dans ce chapitre on applique plusieurs défaut en cas symétrique et ensuite en cas dissymétriques pour un modèle simple de réseau (figure III.1) et faire une comparaison avec le théorique, cette simulation nous permet de toucher un peut le vue pratique

III.2. Le modèle et les paramètres de réseau en plateforme Simulink:

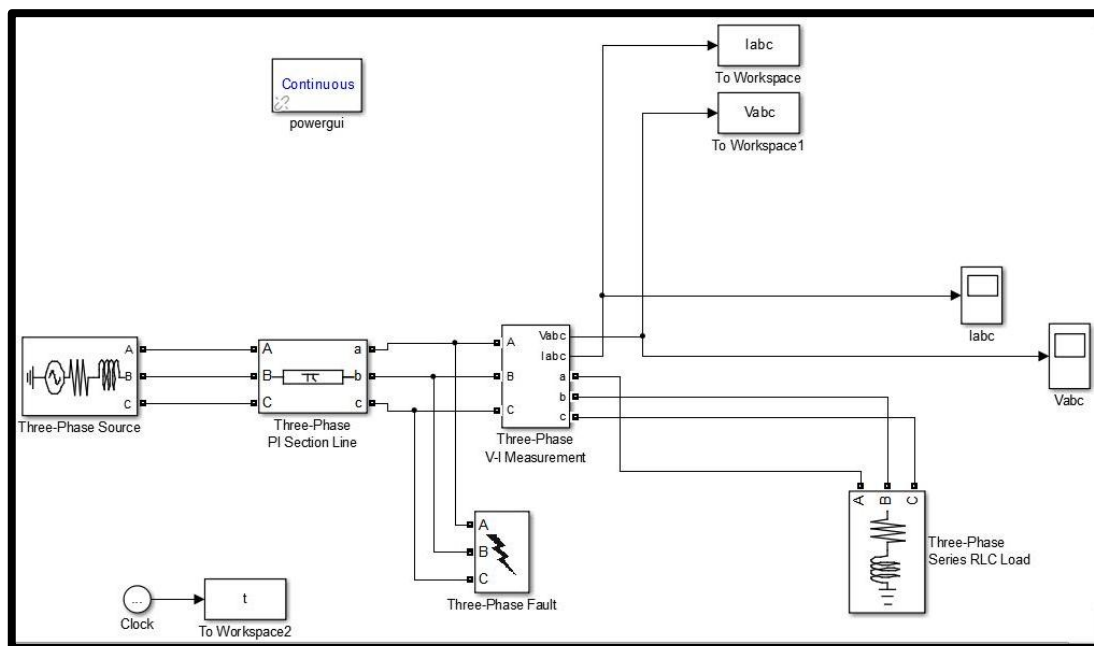


Fig III-1: Le modèle et les paramètres de réseau en plateforme Simulink

- Générateur :

Phase-to-phase rms voltage (V): $30e3$

Phase angle of phase A (degrees): 0

Fréquence (Hz): 50hz

3-phase short-circuit level at base voltage(VA): $500e6$

Base voltage (Vrms ph-ph): $30e3$

X/R ratio: 7

- Ligne électriques :

Frequency used for R L C specification (Hz) : 50hz

Positive- and zero-sequence resistances (Ohms/km) [R1 R0] : [0.01273 0.3864]

Positive- and zero-sequence inductances (H/km) [L1 L0] :

[$0.9337e - 3$ $4.1264e - 3$]

Positive- and zéro-séquence capacitances (F/km) [C1 C0] : $[12.74e - 9 \ 7.751e - 9]$

- **Charge :**

Nominal phase-to-phase voltage Vn (Vrms):400000

Nominal fréquence fn (Hz): 50hz

Active power P (W):250e6

Inductive reactive power QL (positive var):80e6

Capacitive reactive power Qc (negative var):0

III-3.procédures de simulation

III.3.1.en cas normale symétrique (Avant défaut):

Dans ce cas nous appliquons la tension symétrique a notre réseau et nous observons que tous les grandeurs son égaux (tensions et courants des phases)

$V_{abc}=2.418e+4$

$I_{abc}=39.67$

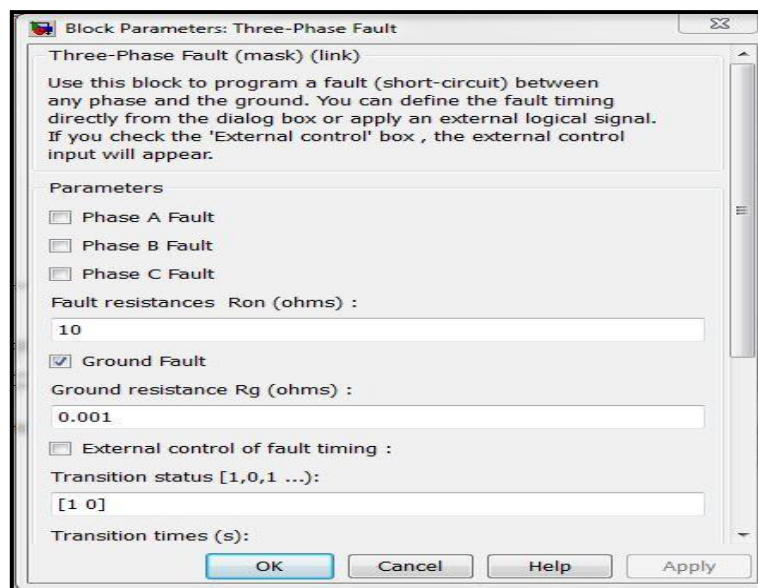


Fig. III-2: tableau de configuration des types de défauts en simulink

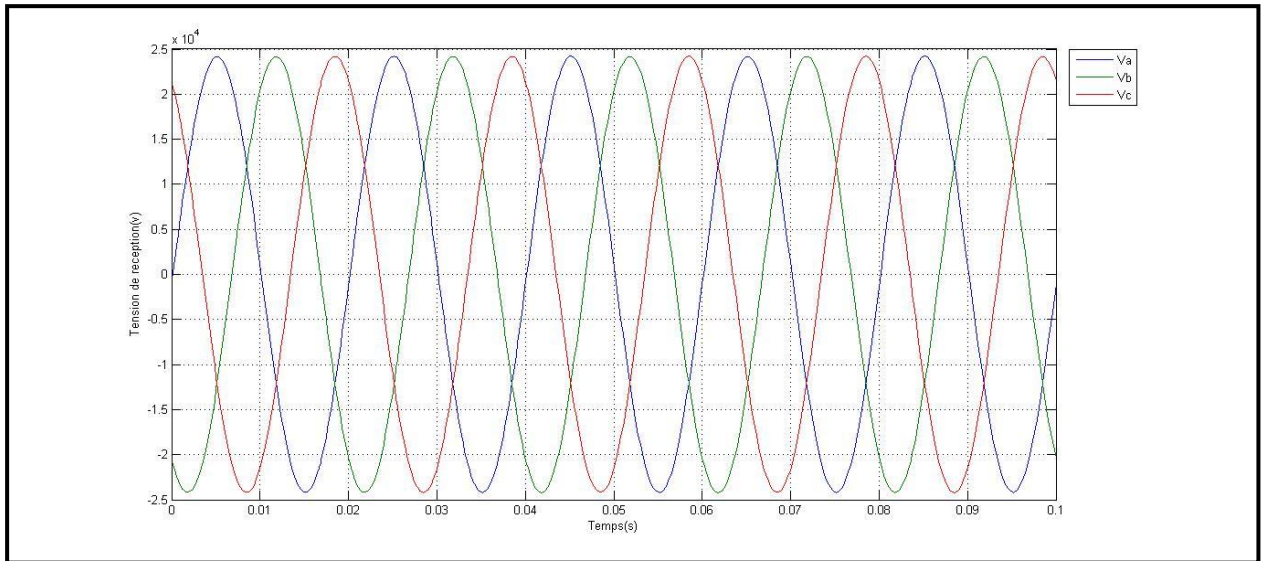


Fig. III-3: La tension triphasé de réception (charge).

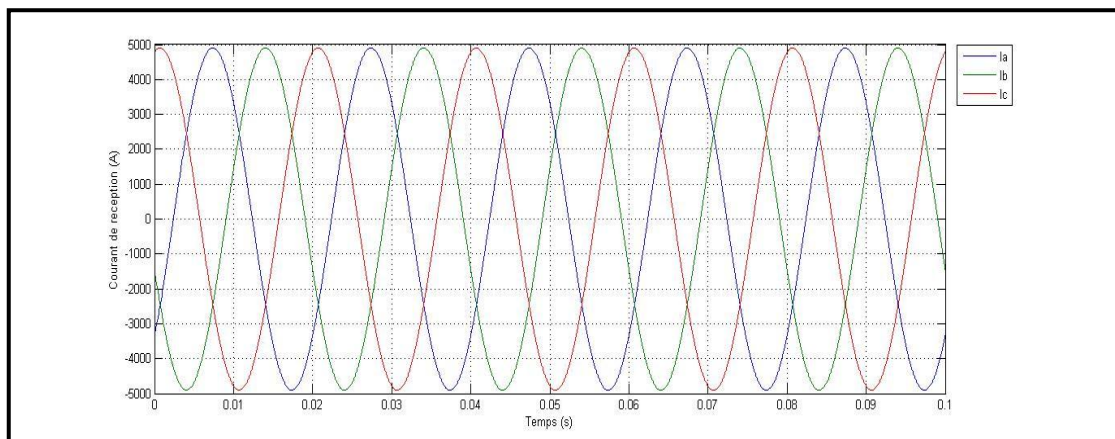


Fig. III-4: Le courant triphasé de réception

III-3-2.cas de défaut symétrique simple (triphase simple)

Dans la période de défaut, ce cas correspond au service normal mais avec des grandeurs très petits au cas originale avec une modification au niveau de charge après le défaut

$$I_a=I_b=I_c=2.612e+8$$

$$V_a=V_b=V_c=8.051e12$$

$$\text{pendant temps}=0.0227$$

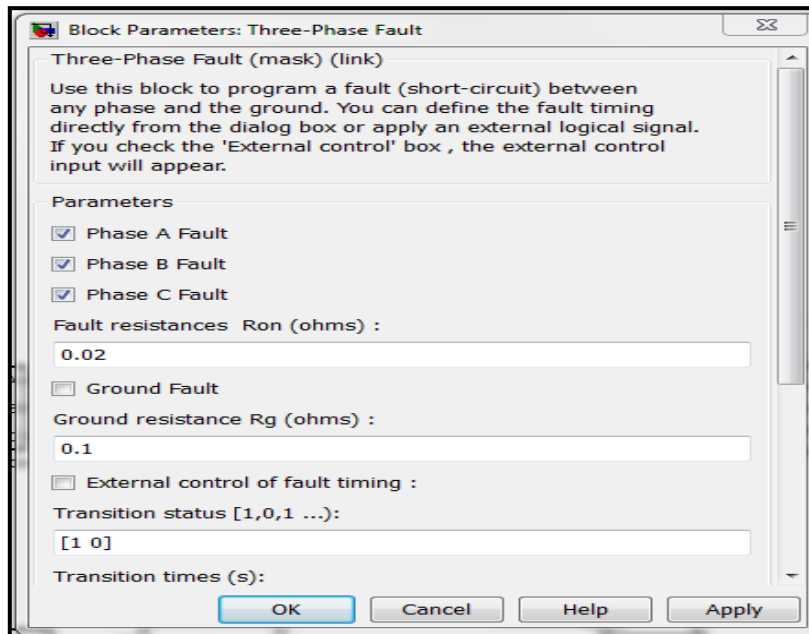


Fig. III-5 tableau de configuration des types de défauts en simulink

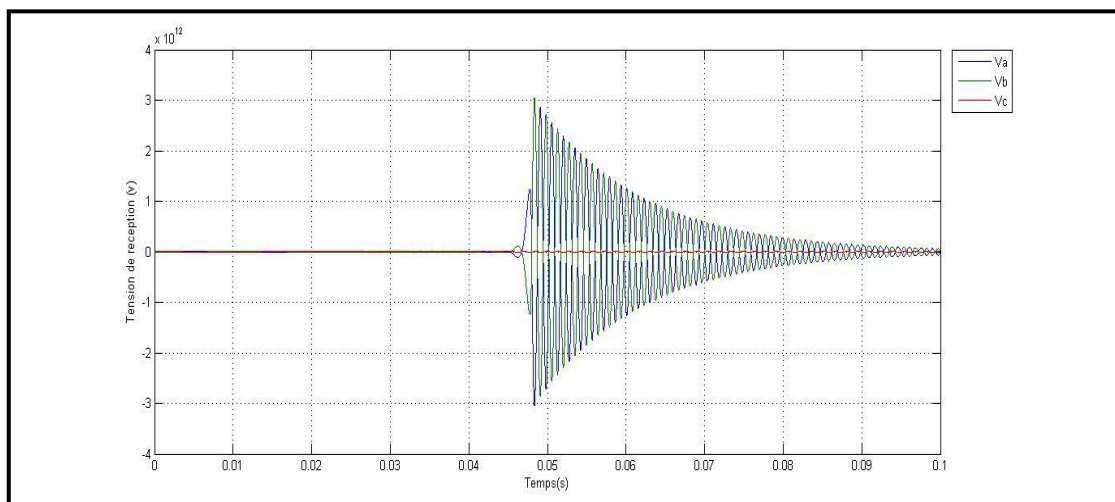


Fig. III-6: La tension triphasé de réception (charge).

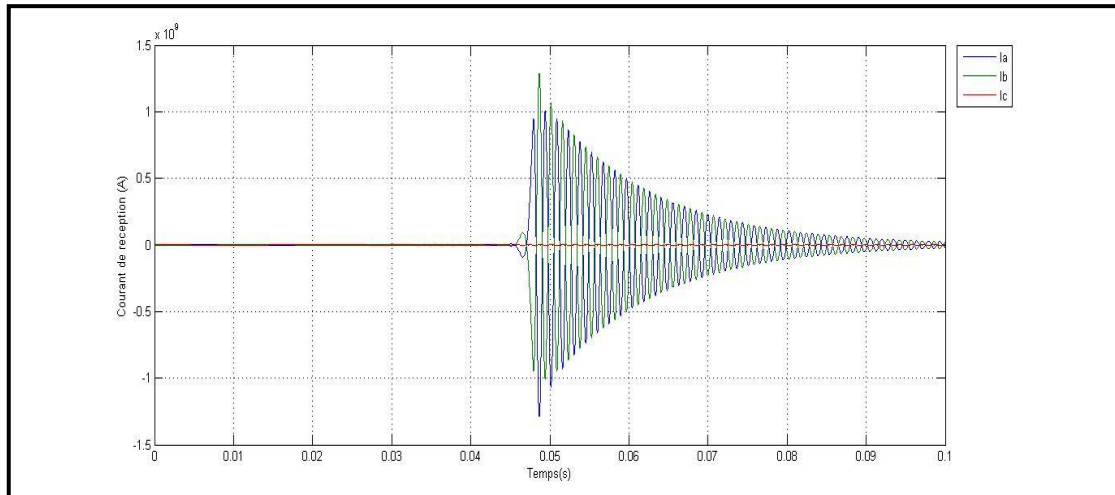


Fig. III-7: Le courant triphasé de réception

III-3-3.cas de défaut symétrique a la terre (triphase a la terre).

Dans ce cas (figure III.) les mêmes observations que le cas précédentes mais avec autre grandeurs courant / tension (figure figure)

$$I_{abc} = 2.640$$

$$V_{abc} = 8.071e+6$$

Aussi cette fois la charge de réception sera suspendue par ce défaut

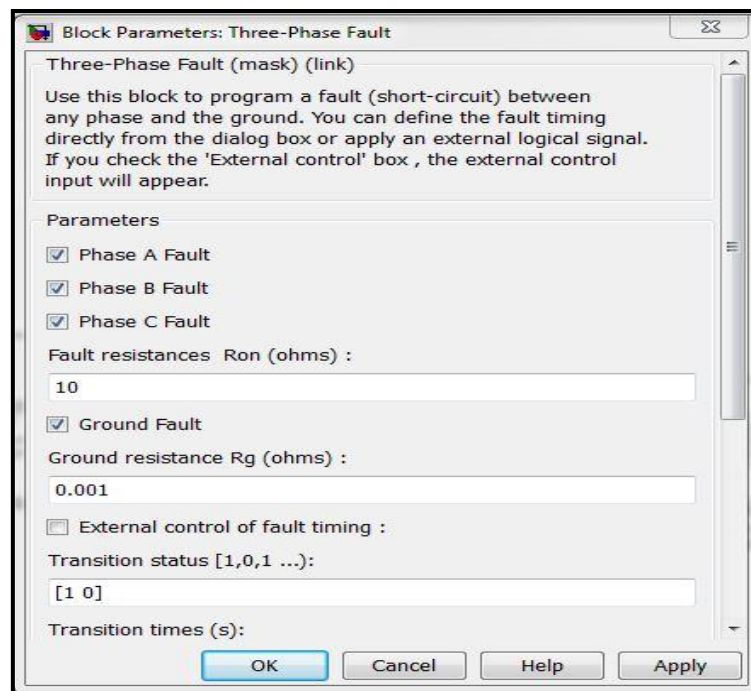


Fig. III-8: tableau de configuration des types de défauts en simulink

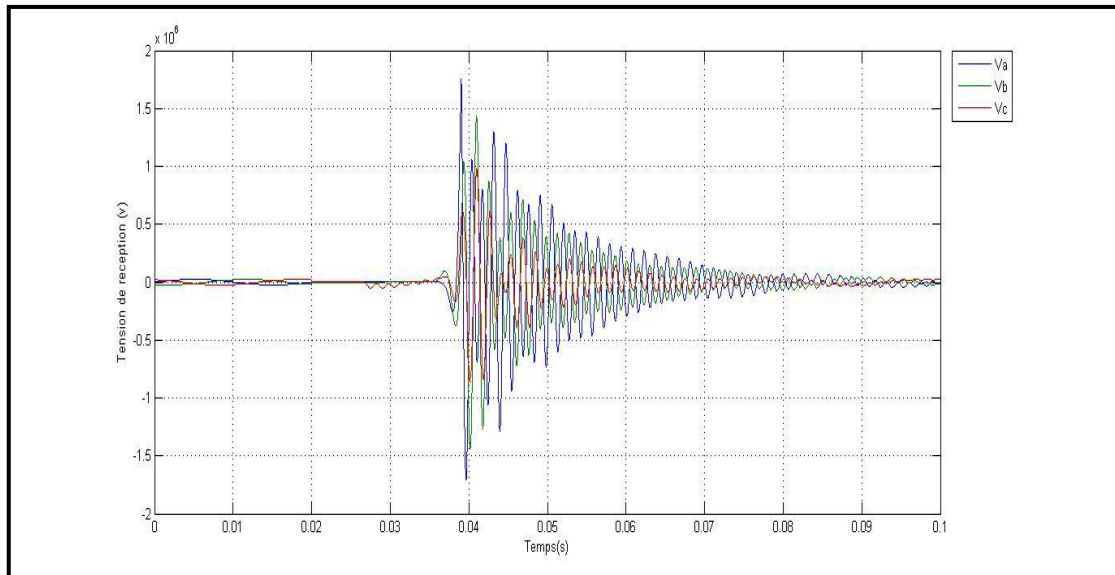


Fig. III-9: La tension de réception

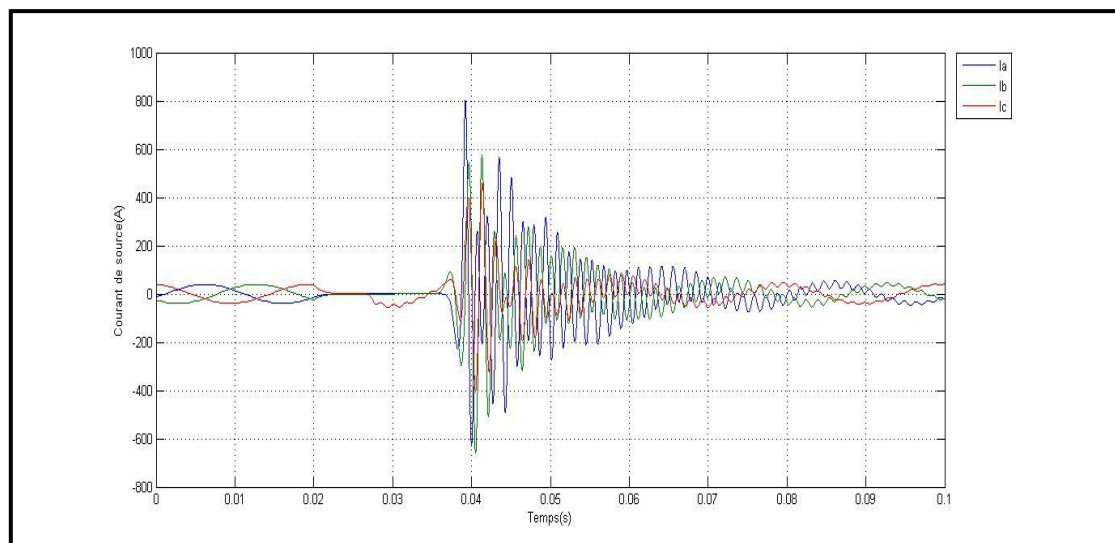


Fig. III-10: La courant de réception

III-4. Défauts Asymétriques.

III-4-1. Défaut monophasé A a la terre.

Dans ce cas au défaut en phase A le courant en A sera presque comme théoriquement nulle et les autres phases reste au même module original

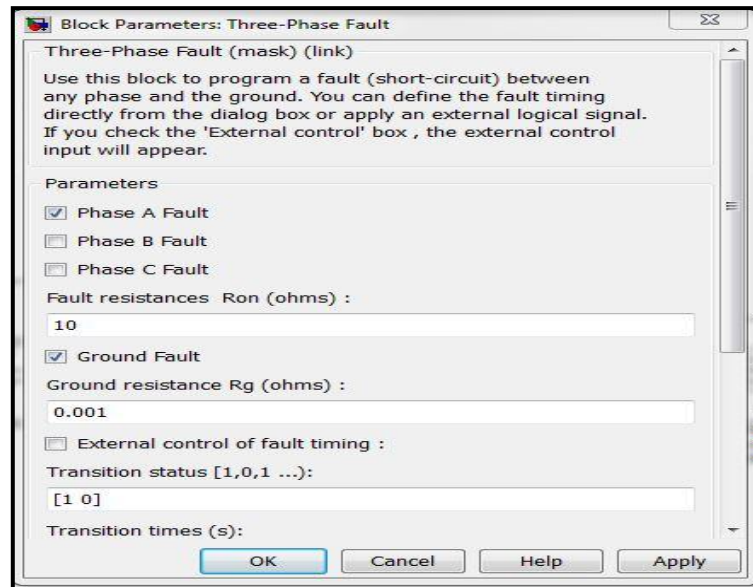


Fig. III-11: tableau de configuration des types de défauts en simulink

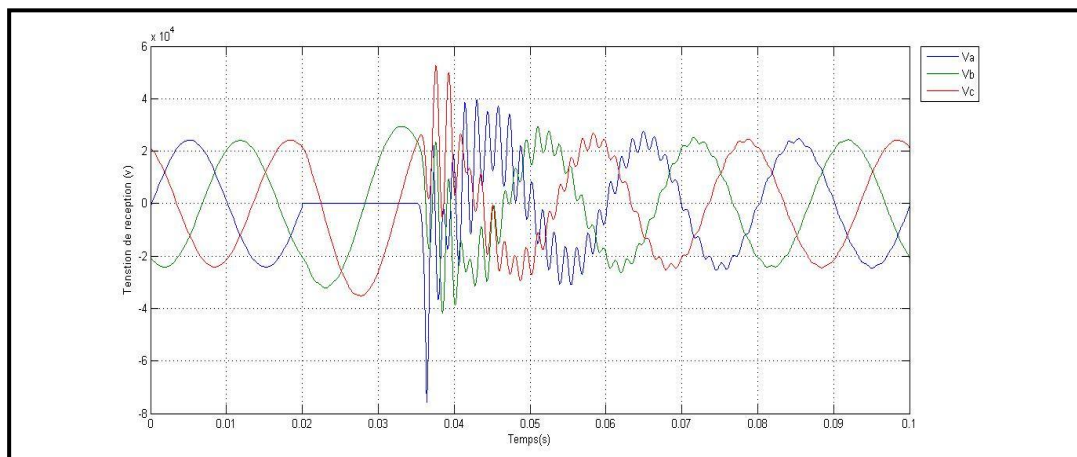


Fig. III-12: La tension de réception

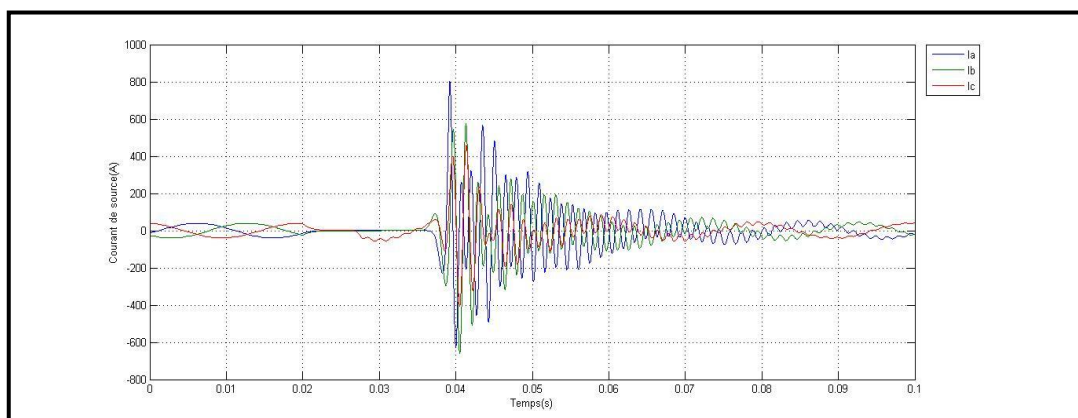


Fig. III-13: La courant de réception

$$I_a = -17.07e+4A$$

$$I_b = -3.169e+4A$$

$$I_c = -2948A$$

III-4-2. Défaut biphasé simple BC.

Dans ce cas de défaut les deux grandeurs des phases ou le défaut sera affectée sont égaux et les troisièmes grandeurs reste normal

$$I_b = I_c = -7.155A$$

$$I_a = 19.13A$$

$$V_b = V_c = 8787V$$

$$V_a = 1.513e+4V$$

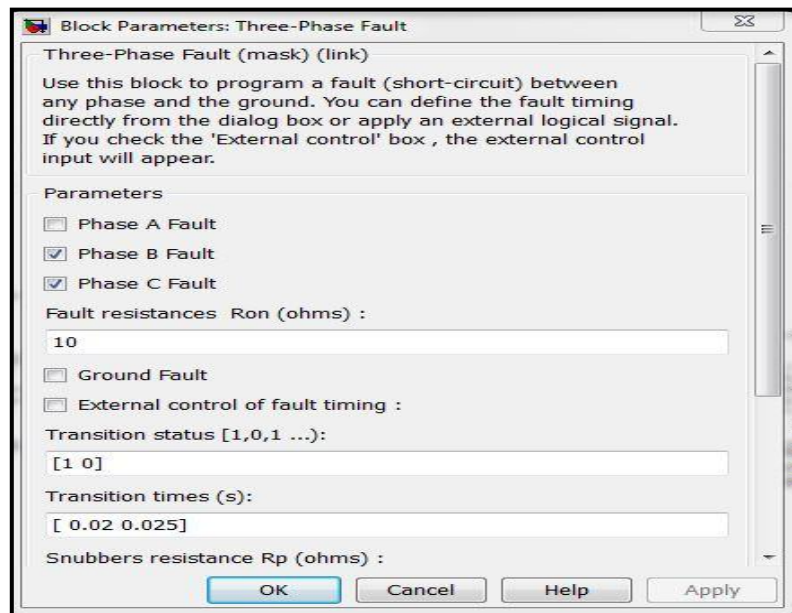


Fig. III-14: tableau de configuration des types de défauts en simulink

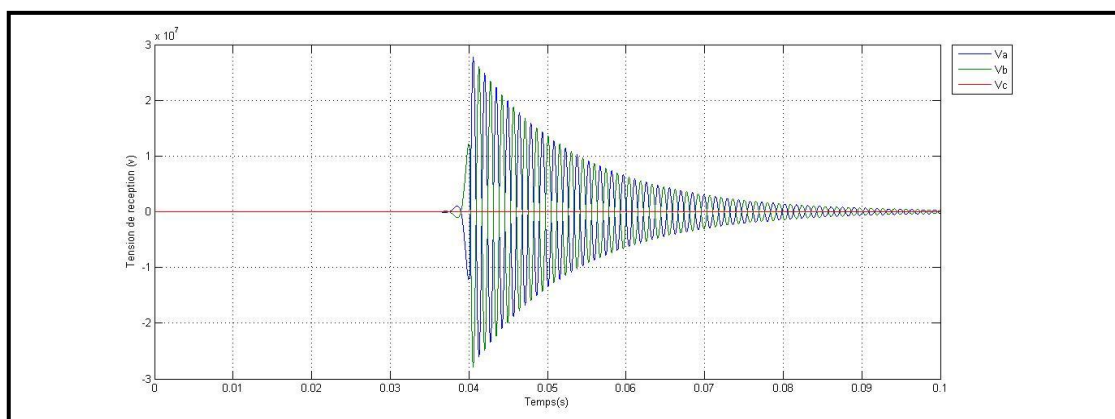


Fig. III-15: La tension de réception

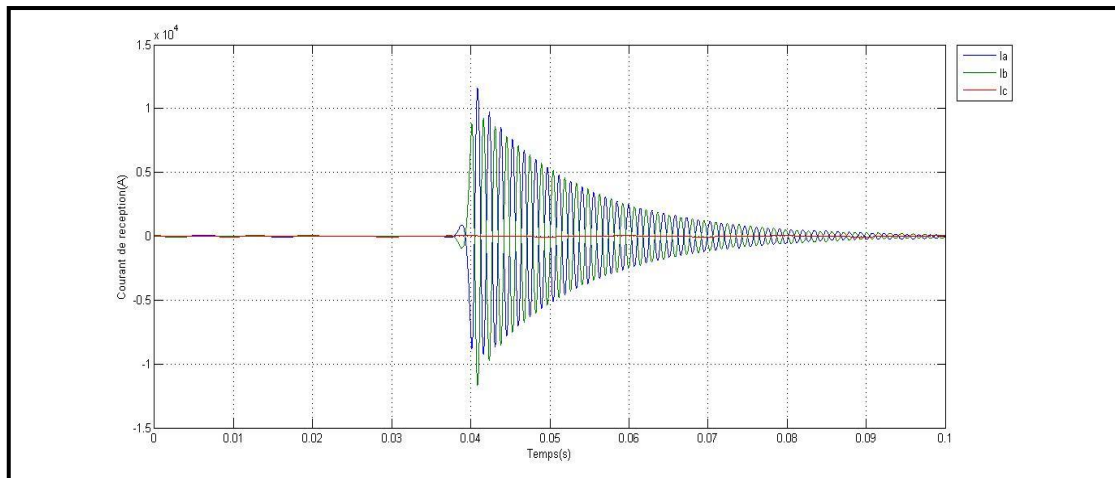


Fig. III-16: La courant de réception

III-4-4. Défaut biphasé a la terre BC.

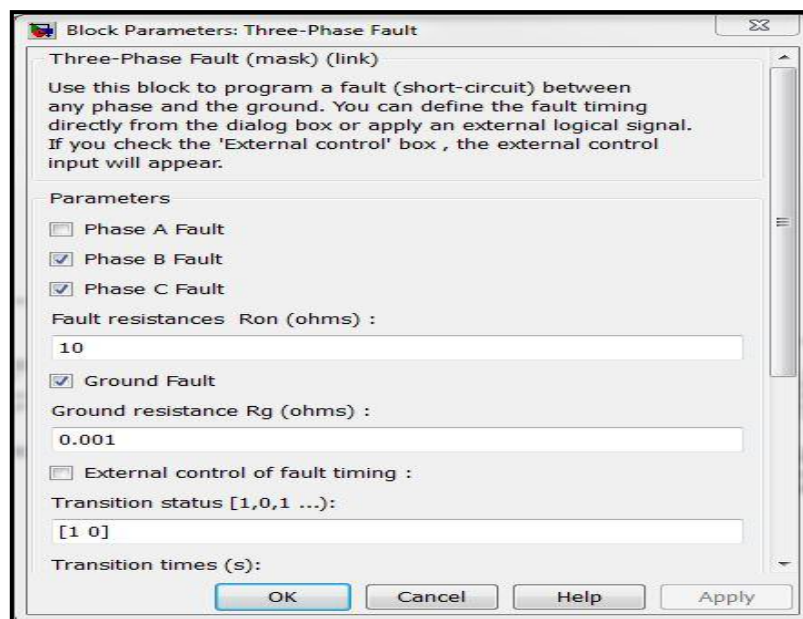


Fig. III-17: tableau de configuration des types de défauts en simulink

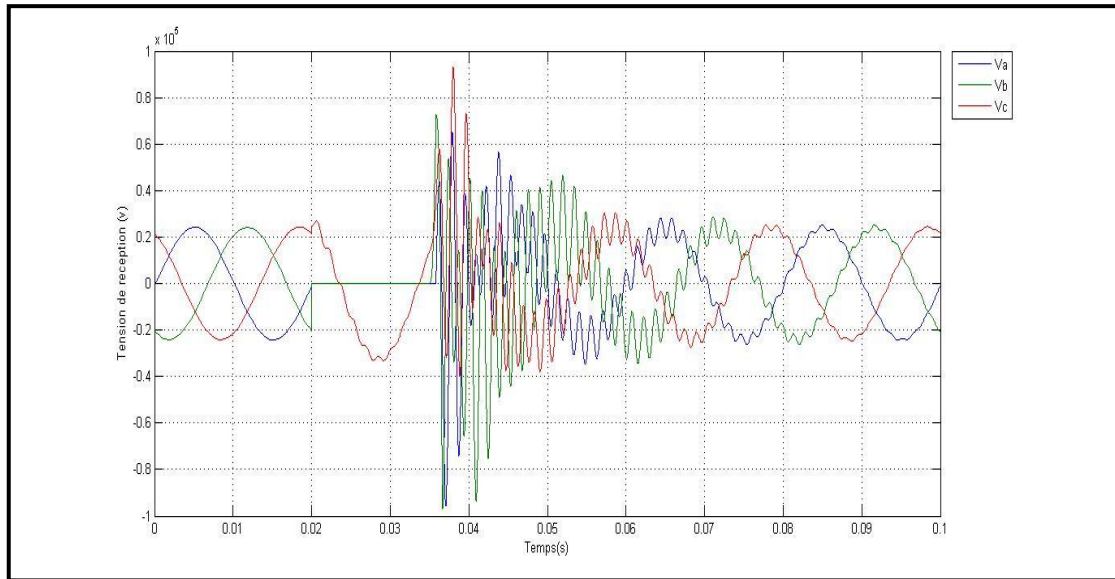


Fig. III-18: La tension de réception

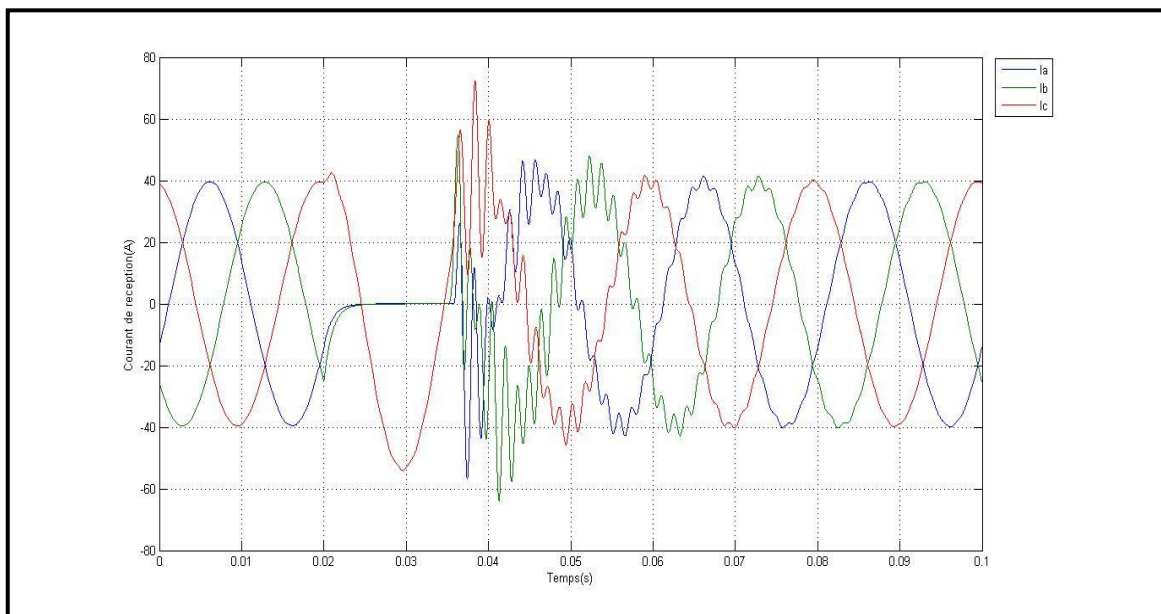


Fig. III-19: La courant de réception

$$I_a = 25.07 \text{ A}$$

$$I_b = I_c = 2.737 \text{ A}$$

$$V_a = 2.329 \times 10^4 \text{ V}$$

$$V_b = V_c = -0.06115 \text{ V}$$

Conclusion

Dans ce chapitre on a conclus que la traduction entre la théorie et la simulation est une bonne approche qui nous aide à définir le courant et la tension en cas de défaut qui nous permis d'utilisé les appareils et le type de protection qui correspond

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Dans un réseau triphasé de constitution symétrique on peut dire que les court-circuits triphasés symétriques intéressent toutes les phases avec ou sans mise à 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).

Pour calculer les courant de défaut d'abord on dominant plusieurs méthodes de simplifications, tel que la négligeassions des éléments transversale du réseau ainsi les résistances longitudinale s'il est incomparable en valeur par rapport à la réactance longitudinale.

Pour calculer le courant dissymétrique pour un réseau électrique, nous décomposons le système en sous systèmes direct, inverse et homopolaire, ainsi les calculs de ses paramètres impédances ou réactances pour les différentes séquences.

Aussi la simulation avec le simulink nous aide à avoir la traduction entre la théorie et la pratique en défaut symétrique et asymétrique

Et pour une perspective à un travail en future sera être sur la protection contre ces différents défauts sur un réseau prédéfini

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- 1.A.R.Bergen,"Power System Analysis."Prentice-hall,1986.
- 2.J.L. Blackburn "Symmetrical Components for Power Systems Engineering."John Wiley & Sons,1993
- 3.J.Grainger,W.D.Stevenson,"Power Systems Analysis."McGraw-Hill,1994
- 4.P. M. Anderson, "Analysis of Faulted Power Systems.", IEEE Press Power Systems Engineering series,1995
- 5.M.Guia Talal,"Cours Modélisation et calcul des réseaux électriques",2015
- 6.J. C. Das," Power System Analysis "Short Circuit Load Flow and Harmonics," Marcel Dekker ,Inc., 2002
- 7.I.Kasikci," Short Circuits in Power Systems ," Wiley-VCH Verlag GmbH" Weinheim,Germany,2002
- 8.J.Arrillage," Power Systems Harmonics ,"John Wiley&Sons,2003.
- 9.Hadi Saadat, " Power Systems Analysis," McGraw-Hill,2004
- 10.X.Wang,Y.Song,M.Irving,"Modern Power System Analysis ," Springer Science +Business Media,LLC,2008.
- 11.N.D.Tleis," Power Systems Modelling and Fault Analysis –Theory and Practice," Elsevier,2008

