



Faculté Des Sciences De L'ingénieur
Département D'électrotechnique

Année 2007

MEMOIRE
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER

THEME

CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DES COURTS- CIRCUITS

Option: Qualité De L'énergie électrique

Présenté par

BENHAMIDA HAKIM

Directeur de mémoire: HOUCINE LABAR M.C Université ANNABA

Devant le jury

Président: -DEBBACHE.N	Prof	U.ANNABA
Rapporteur: -LABAR HOCINE	M.C	U.ANNABA
Examineur:		
- BOUNAYA.K	M.C	U.GUELMA
- BAH.I.T	M.C	U.ANNABA

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier:

Mon encadreur Mr: **LABAR HOUCINE** pour son suivi

Continu ainsi que sa bonne orientation du travail

Je remercie également les membres de jury:

-DEBBACHE.N PROF U.ANNABA

-BOUNAYA.K M.C U.GUELMA

-BAHI.T M.C U.ANNABA

D'avoir acceptés d'honorer par leur présence la soutenance
de notre mémoire de magistère.

Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidés de près ou de loin
afin d'achever ce travail et surtout ma femme .

HAKIM

ملخص

الدارات القصيرة هي عبارة عن أنظمة غير عادية ، وتمثل حالة خاصة من بين مجموعة من الحالات الغير عادية لعمل الشبكات الكهربائية . وفيها عدة أنواع (متناظرة وغير متناظرة).
عموما الدارة القصيرة تتمثل في انخفاض كبير لمعوقة الدارة المناسب لها وهي عكس القوة المحركة الكهربائية التي تسمح بمرور تيار شديد القوة .

هذا الارتفاع في قوة التيار له انعكاسات سلبية ويؤدي إلى انخفاض التوتر إلى قيمة منعدمة في نقطة الدارة القصيرة وهذا يؤثر سلبا على نوعية الطاقة الكهربائية.

من هذا المنطلق معظم الباحثين عملوا على تطوير الأنظمة وطرق الحساب والتي هي هامة في الاختيار الصحيح لأجهزة الحماية لغاية حماية الدارات الكهربائية وكذا مستعملي الكهرباء.

Résumé

Les courts-circuits sont des régimes anormaux, qui représentent un cas particulier des conditions anormales de fonctionnement des réseaux électriques ; ils peuvent être de différents types (symétrique ou asymétrique). En générale un court-circuit présente une forte diminution de l'impédance du circuit correspondant et ,étant opposé aux forces électromotrices ,favorise la circulation d'un fort courant. Cette augmentation a pour effet de chuter la tension jusqu'à la valeur nul au point de court-circuit ce qui influe sur la qualité d'énergie électrique.

A ce point de vue, la plus part des chercheurs ont développé des logiciels et des méthodes de calcul qui sont nécessaires pour le choix correct des équipements de protection dans le but de protéger l'installation électrique ainsi que les usages.

ABSTRACTS

Short-circuits are the anomalous regimes, that represent a particular case of the anomalous conditions of electric network working; they can be different types (symmetrical or asymmetric).

In general a short circuit senses a strong reduction of the impedance of the corresponding circuit and being opposes to strengths électromotrices that encourage the circulation of a current strong part. This increase has the effect of to fall tension until the hopeless value to the point of short circuit what influences on the electric energy quality.

To this point of view the more part of researchers has develops software and methods of count that are necessary for the choice correct of protection facilities in the goal to protect the electric installation as well as uses.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre 1 – Théorie sur les régimes sinusoïdales	
1-1 Introduction	3
1-2 Régime sinusoïdal monophasé	3
1-2-1 Définition d'une grandeur monophasé sinusoïdale	3
1-2-2 Représentation complexe des grandeurs sinusoïdales.....	4
1-2-3 Impédance et admittance	6
1-2-4 Puissance et facteur de puissance	7
1-2-4-1 Puissance instantanée	7
1-2-4-2 Puissance active	8
1-2-4-3 Puissance réactive.....	8
1-2-4-4 Puissance apparente.....	8
1-2-4-5 Facteur de puissance.....	8
1-2-5 Influence des éléments non linéaires sur le régime sinusoïdal.....	9
1-3 Régime sinusoïdal triphasé.....	9
1-3-1 avantage du système triphasé	9
1-3-2 Définition d'un système triphasé symétrique	10
1-3-2-1 système direct	11
1-3-2-2 système inverse	11
1-3-2-3 système homopolaire.....	12
1-3-3 systèmes triphasés en étoile ou en triangle.....	12
1-3-3-1 Association en étoile	13
1-3-3-2 Association en triangle.....	14
1-3-3-3 grandeurs de lignes et grandeurs de phases	14
a- en étoile	14
b- en triangle	15
1-3-4 puissance dans les systèmes triphasé	17
1-4 système triphasé asymétrique.....	17
1-4-1 Méthode de composante symétrique.....	17
Conclusion	20
Chapitre II – Théorie sur les courts- circuits	
2-1 Introduction.....	21
2-2 Effets physiologiques du courant électrique.....	21
2-2-1 danger du passage du courant électrique.....	22
2-3 les différents types de court- circuit.....	22
2-4 court- circuit symétrique	23

2-4-1 processus transitoire lors d'un court- circuit triphasé.....	23
2-4-2 court- circuit triphasé symétrique.....	26
2-4-2-1 court- circuit triphasé à la terre.....	27
2-4-2-2 court- circuit triphasé isolé à la terre.....	29
2-4-3 Puissance de court circuit.....	30
2-5 Court- circuit asymétrique	31
2-5-1 court- circuit biphasé non à la terre.....	31
2-5-2 court- circuit biphasé à la terre.....	34
2-5-3 court- circuit monophasé.....	37
2-5-3-1 Régime du neutre.....	37
a- Régime TT	37
b- Régime TN.....	38
c- Régime IT	39
2-5-4 Analyse d'un défaut phase terre	39
2-6 force électrodynamique résultante lors d'un court –circuit.....	42
2-7 échauffement des conducteurs.....	43
2-8 effets des arcs sur le réseau électrique.....	43
2-8-1 perturbation électromagnétique des arcs.....	43
2-9 avantage du courant de court- circuit.....	44
Conclusion.....	45

Chapitre III – Méthode d'identification des courts- circuits

3-1 Introduction.....	46
3-2 méthode des unités relatives de base.....	46
3-2-1 Détermination des paramètres des éléments du réseau.....	47
a- système électrique.....	48
b- transformateur.....	48
c- ligne aérienne.....	49
d- charges.....	49
3-3-2 étape de calcul	49
3-3 méthode des impédances.....	51
3-3-1 principe de la méthode.....	51
3-3-2 détermination des résistances et réactances d'une installation.....	52
a- Réseau amont	52
b- Transformateur.....	52
c- conducteur et appareillage.....	53
3-3-3 différents type de court- circuit.....	54
a- court- circuit triphasé.....	54
b- court- circuit biphasé.....	54
c- court- circuit monophasé isolé.....	54

d- court- circuit monophasé à la terre.....	55
3-3-4 détermination de l'impédance homopolaire.....	55
3-4 méthode des composantes symétriques.....	57
3-4-1 condition d'utilisation des composantes symétriques.....	57
3-4-2 principe de la méthode.....	57
3-4-3 détermination des composantes symétrique.....	58
3-4-4 application a un système triphasé.....	60
3-4-4-1 cas d'une charge équilibré.....	61
3-4-4-2 cas d'apparition du défaut.....	62
3-4-5 détermination des impédances directes inverse et homopolaire.....	63
Pour différents éléments d'un réseau électrique	
a- Générateur.....	63
b- Transformateurs.....	63
c- Lignes.....	64
Conclusion.....	65

Chapitre IV –Simulation du réseau électrique

4-1 Introduction.....	66
4-2 présentation de l'entreprise.....	66
4-2-1 schéma du réseau de distribution du complexe.....	66
4-3 Description de l'aciérie à oxygène n°1.....	68
4-3-1 Zone élaboration de l'acier.....	68
a- manutention de ferraille.....	68
b- manutention de la fonte liquide.....	68
c- convertisseurs.....	68
d- station de traitement.....	68
4-3-2 machine à coulée continue.....	68
4-4 schéma du réseau à étudier.....	70
4-5 méthode de calcul des courants de court- circuit.....	70
4-5-1 présentation du problème.....	71
4-5-2 méthodologie de calcul des courts- circuit.....	72
a- défaut triphasé.....	73
b- défaut biphasé.....	73
c- défaut monophasé.....	73
4-6 données des composantes du réseau.....	73
4-7 résultats de simulation.....	74
Conclusion.....	86
Discussion des résultats.....	88
Conclusion générale.....	91
Bibliographie.....	93

NOTATION ET SYMBOLE

<u>Symbole</u>	<u>Unité</u>	<u>Désignation</u>
T	S	période.
$W = 2\pi f$	Rad/s	pulsation des phénomènes Sinusoïdaux.
f	Hz	fréquence.
Z	Ω	impédance.
P	W	puissance active.
Q	VAR	puissance réactive.
S	VA	puissance apparente
ΔP	W	perte active.
v	m ³	volume.
I	A	courant composé.
J	A	courant simple.
U	V	tension composé.
V	V	tension simple.
$a = \text{EXP}(j2\pi/3)$	1	opérateur de relation.
Z_{cc}	Ω	impédance de court- Circuit.
θ_{cc}	rad	déphasage decourtccircuit.
T_a	S	Constante de temps.
I_d, I_i, I_h	A	courant, direct, inverse ,homopolaire.
V_d, V_i, V_h	V	tension direct inverse homopolaire.
Z_d, Z_i, Z_h	Ω	impédance direct, Inverse, homopolaire.
P_{cc}	VA	puissance de court-Circuit.
I_{cc}	A	courant de court Circuit.
B	T	induction magnétique.
Df	N	Force électrodynamique.
S	mm ²	section du conducteur.
ρ	$\Omega \cdot m$	résistivité.
γ	kg/m ³	masse volumique .
$t_3 \cdot t_2$	s	durée de court-Circuit.
C	J/kg .k	chaleur massique .
*	1	unité relative .
dm	m	moyenne géométrique entre les phases
n	1	nombre de conducteur dans une phase.
Req	m	rayon équivalent entre les phases
J	w/h	énergie active.
l	m	longueur du conducteur

INTRODUCTION GENERALE

L'industrialisation et la croissance de la population dans le monde a poussé tout les pays à suivre une politique de mise à niveau pour améliorer leurs positions mondiale, et pour y arriver là les premiers pas ont été fait dans le domaine de l'énergie et surtout celui de l'énergie électrique.

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

Dans ce cadre la plupart des études et des recherches ont été basé sur le perfectionnement des moyens de protection contre les dangers et les problèmes survenant sur les réseaux électriques et surtout celui de court circuit à cause de son impact lourd sur les différentes parties des installations.

En partant de l'idée que, pour résoudre un problème, il faut d'abord le définir et s'avoir tout ces causes et ces conséquences, on a vue qu'il était nécessaire de s'intéresser en prématuré au problème de court- circuit dans le réseau électrique. pour donner plus de crédibilité à notre travail nous avons pris comme modèle le réseau qui représente une partie du réseau interne de l'aciérie à oxygène n°1 (réseau moyen tension – Basse tension alimentant les trolleys zone affinage)

Ce travail s'articule autour de la contribution et l'identification du court circuit qui est constitué de quatre chapitres organisés de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à l'étude théorique de régime sinusoïdale, ces différentes formes.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique du régime de court circuit, ces différentes formes ainsi que les causes qui le provoquent de même les conséquences qui sont souvent dangereuses et qui influent sur la qualité de l'énergie électrique.

Le troisième chapitre présente les différentes méthodes d'identification des courts circuits.

Le quatrième chapitre est réservé à la modélisation d'une partie du réseau intérieur du complexe MITTAL- STEEL (EX-SIDER) et le calcul des courants de court circuit en simulant tout les types de défaut, afin de juger la sélectivité des disjoncteurs installés, et leur pouvoir de coupure.

Ce travail sera clôturé par une conclusion générale à travers laquelle, on exposera les principaux résultats obtenus et on donnera des perspectives et des recommandations.

Etude Du Régime Sinusoïdale

1-1 Introduction:

Le régime sinusoïdal permanent est un régime caractérisant le comportement d'un circuit lorsque les éventuels phénomènes transitoires apparaissant à l'enclenchement se sont évanouis. En électricité la fonction sinusoïdale joue un rôle important, cette prédominance est liée au fait que la production d'énergie électrique est réalisée par la mise en rotation d'un bobinage placé dans un champ d'induction magnétique; la tension obtenue est alors sinusoïdale.

Cette caractéristique permet d'assurer une distribution économique et efficace de cette énergie lors de l'exploitation.

L'importance de la fonction sinusoïdale vient d'une part de ses propriétés mathématiques liant les valeurs instantanées du courant et de la tension; d'autre part due également à l'existence du développement en série de fourier qui permet de représenter une fonction périodique par la somme d'un terme constant et d'une combinaison linéaire de la fonction sinusoïdale [16].

1-2 Régime Sinusoïdal Monophasé:

1-2-1 Définition D'une Grandeur Sinusoïdale Monophasé:

Pour définir les paramètres d'une grandeur sinusoïdale $x(t)$ on considère l'expression générale fig:(1.1)

$$X(t) = A \sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \alpha \right) \dots \dots (1.1)$$

Ou: A est l'amplitude (la plus grande valeur dans l'intervalle égale à une période).

α : la phase initiale (pour $t=0$).

$T=1/f$: la période (s).

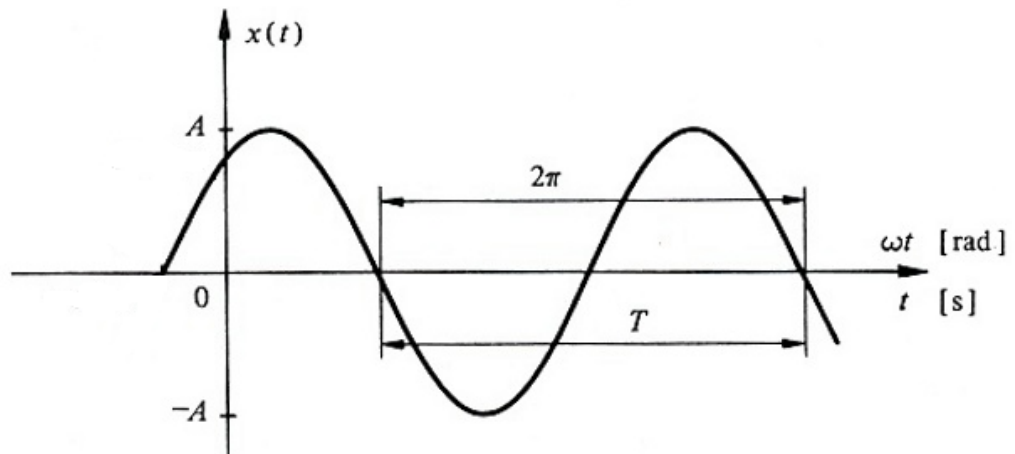


Fig. 1.1 Représentation d'une grandeur sinusoïdale

- La valeur moyenne d'une grandeur sinusoïdale est nulle

$$\overline{X} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = 0 \dots\dots(1.2)$$

- La valeur efficace d'une grandeur sinusoïdale et l'on dénote usuellement par:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X(t)^2 dt} \dots\dots\dots(1.3)$$

En introduisant (1.1) dans (1.3) on obtient:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{A^2}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t + \alpha) dt} = \sqrt{\frac{A^2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} dt - \frac{A^2}{2T} \int_0^T \cos(2\omega t + 2\alpha) dt} = \frac{A}{\sqrt{2}} \dots\dots(1.4)$$

1-2-2 Représentation Complexe des grandeurs Sinusoïdales :

L'utilisation de notation complexe pour représenter les grandeurs sinusoïdales permet de simplifier L'étude en remplaçant les relations intégro_différentielles par des opérations algébriques [5].

On appelle nombre complexe Z toute expression sous la forme:

$$Z = a + j b \dots\dots\dots(1.5)$$

Ou a et b sont des nombres réels, appelés respectivement partie réelle et partie imaginaire de Z , et j est l'unité imaginaire définie par

$$j^2 = -1 \dots\dots\dots(1.6)$$

Le nombre Complexe Z peut être exprimé en fonction de ses coordonnées polaire

$$Z = r (\cos \theta + j \sin \theta) \dots\dots\dots(1.7)$$

$$\text{Ou } a = r \cos \theta \dots\dots\dots(1.8)$$

$$b = r \sin \theta \dots\dots\dots(1.9)$$

$$\text{sous forme exponentielle } Z = r e^{j\theta} \dots\dots\dots(1.10)$$

ou $r = |Z|$ (module) et $\theta = \arg Z$

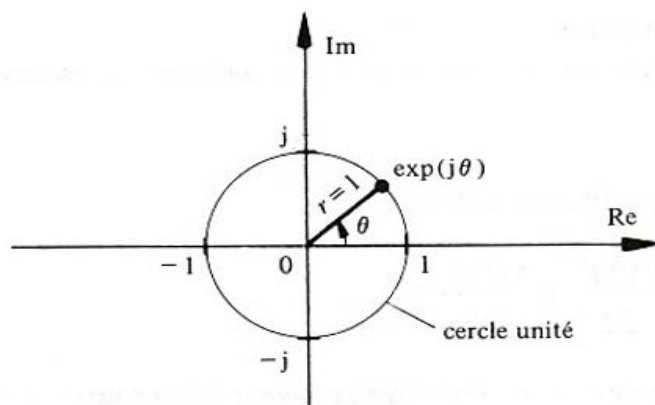


fig:(1.2) Représentation Complexe d'une grandeur sinusoïdale

Si l'argument θ croît linéairement avec le temps $\theta = (\omega t + \alpha)$

On obtient une forme exponentielle complexe en fonction du temps

$$re^{j(\omega t + \alpha)} = r [\cos(\omega t + \alpha) + j \sin(\omega t + \alpha)] \dots\dots\dots(1.11)$$

La représentation de cette fonction dans le plan complexe est celle d'un point tournant à vitesse angulaire ω autour de l'origine de rayon r .

La projection sur l'axe réel et une fonction sinusoïdale de manière analogue la projection sur l'axe imaginaire engendre la même fonction (fig:1.5)

$$\operatorname{Re} [r e^{j(\omega t + \alpha)}] = r \cos(\omega t + \alpha) \dots \dots \dots (1.12)$$

$$\operatorname{Im} [r e^{j(\omega t + \alpha)}] = r \sin(\omega t + \alpha) \dots \dots \dots (1.16)$$

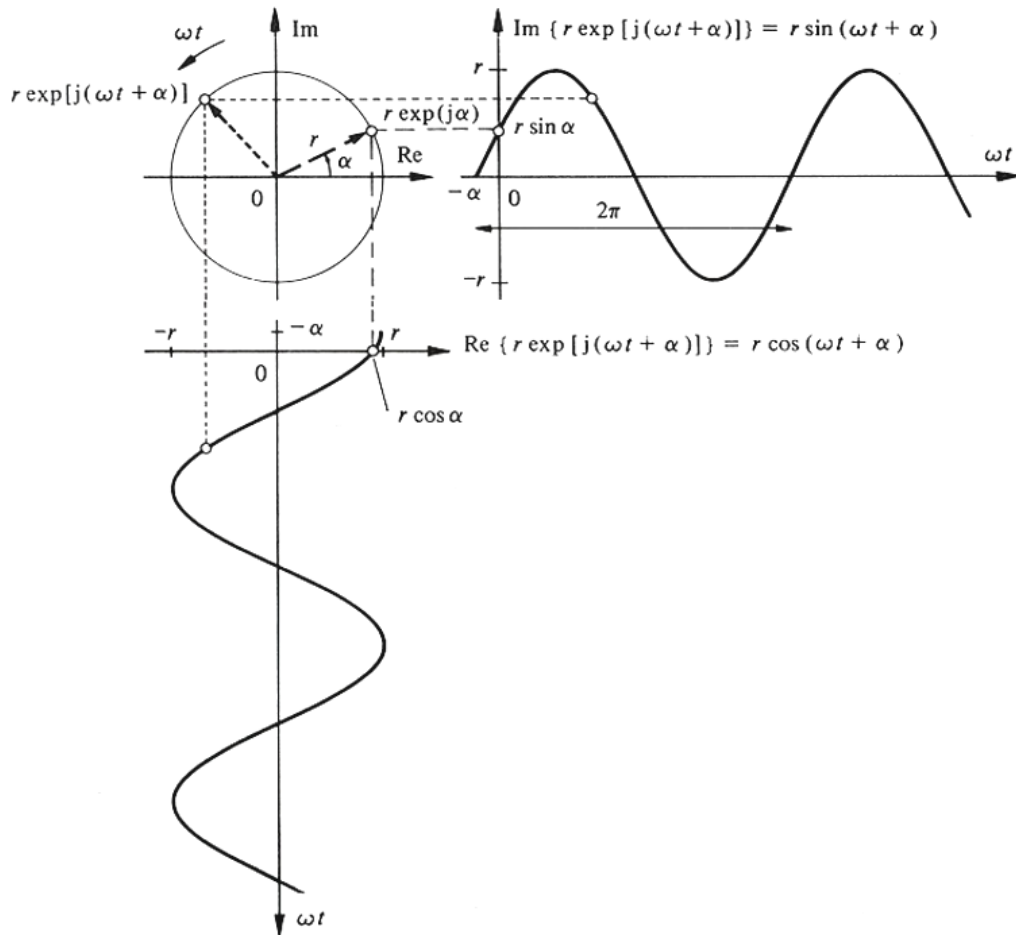


Fig. 1.3 Fonction exponentielle complexe et ses projections sur l'axe réel et l'axe imaginaire.

La représentation complexe des grandeurs sinusoïdales permet de mettre en évidence les déphasages relatifs aux différentes grandeurs sinusoïdales et d'interpréter géométriquement les opérations effectuées sur ces grandeurs.

1-2-3-Impédance et admittance :

En Régime permanent sinusoïdale l'impédance complexe $\bar{Z}$ d'un dipôle et le quotient de la tension complexe par le courant complexe.

$$\bar{Z} = \bar{U} / \bar{I} \dots \dots \dots (1.14)$$

De manière analogue l'admittance complexe $\bar{Y}$ est l'inverse de l'impédance:

$$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = \frac{\bar{I}}{\bar{U}} \dots \dots \dots (1.15)$$

1-2-4 Puissance et facteur de puissance :

1-2-4-1 Puissance instantanée :

La puissance instantanée en régime permanent sinusoïdale est le produit des valeurs instantanées de la tension et du courant :

$$\begin{aligned} P(t) &= U(t) \cdot i(t) = \hat{U} \cdot \hat{I} \cos(\omega t + \alpha) \cdot \cos(\omega t + \beta) \\ &= \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(2\omega t + \alpha + \beta)] \\ &= UI \cos \theta + UI \cos(2\omega t + \alpha + \beta) \dots \dots \dots (1.16) \end{aligned}$$

Ou $\theta = \alpha - \beta$

La fonction $P(t)$ comprend une composante constante $UI \cos \theta$ et une composante sinusoïdale d'amplitude UI et de fréquence double le graphe de cette fonction est représenté sur la (fig: 1.4)

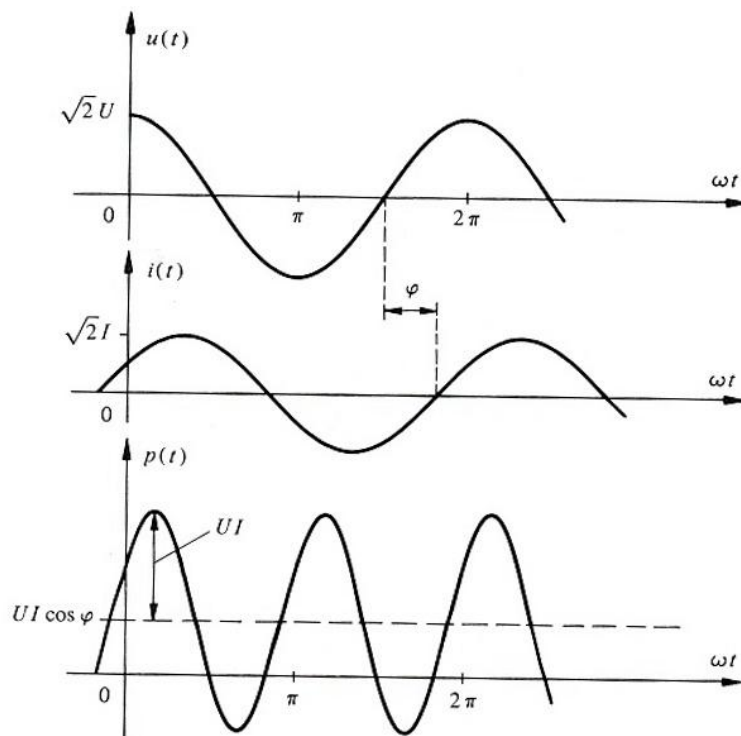


Fig . 1.4. tension, courant et puissance instantané en régime sinusoïdal.

1-2-4-2 puissance active

La puissance active en régime sinusoïdale et la valeur moyenne de la puissance instantanée :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt = UI \cos \varphi \quad (\text{W}) \dots\dots\dots(1.17)$$

1-2-4-3 puissance réactive

La puissance réactive en régime sinusoïdale et l'amplitude de la composante alternative de la puissance instantanée

$$Q = UI \sin \varphi \quad (\text{VAR}) \dots\dots\dots(1.18)$$

1-2-4-4 puissance apparente

Le puissance apparente S est l'amplitude des fluctuations de la puissance instantanée par rapport a sa valeur moyenne :

$$S = U.I \quad (\text{V.A}) \dots\dots\dots(1.19)$$

Cette grandeur liée au puissance active et réactive par la relation suivante:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \dots\dots\dots(1.20)$$

1-2-4-5 facteurs de puissance

le rapport entre la puissance active et la puissance apparente est appelé facteur de puissance on dénote par:

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad \dots\dots\dots(1.21)$$

Ce facteur caractérise l'efficacité d'un système de distribution d'énergie et toujours compris entre zéro et un .

1-2-5-influence des éléments non linéaires sur le régime sinusoïdale

un élément non linéaire présente un problème sur le Régime sinusoïdale Car la forme obtenue n'est pas sinusoïdale ,les méthodes d'analyse basée sur le principe de substitut complexe des grandeurs sinusoïdale ne sont pas applicable en présence de non linéarités [3].

Dans la mesure ou la forme de chaque grandeurs périodique non sinusoïdale ,l'analyse peut être conduite en la développant en série de Fourier (terme constant +série de composante sinusoïdale dont les fréquences sont des multiples entiers).

1-3 Régime sinusoïdal triphasé

1-3-1 avantage du système triphasé

A l'heure actuelle, la majeure partie de la production et du transport de l'énergie électrique se fait sous forme triphasé . pour mieux comprendre l'intérêt du triphasé dans le transport d'énergie ,on peut raisonner sur l'exemple Fig: (1.5)

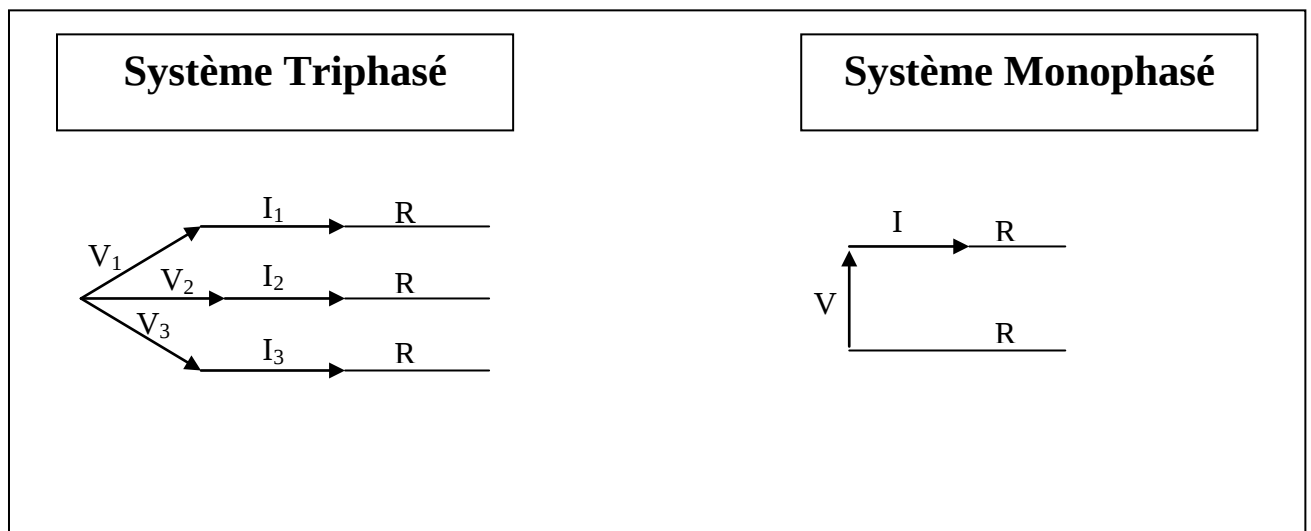


Fig: (1.5) comparaison entre système monophasé et Un système triphasé

On suppose que les deux lignes sont réalisées avec de conducteurs de même résistance R et qu'elle transportent la même puissance P .

En triphasé les pertes en lignes sont donc:

$$\Delta P_{trip} = 3R I^2 \dots\dots\dots(1.22)$$

En monophasé, on doit en revanche dissiper:

$$S_{tri} = S_{mono} \Leftrightarrow \sqrt{3}U I_{tri} = U I_{mono} \Rightarrow I_{mono} = \sqrt{3} I_{tri}$$

$$\Delta P_{mono} = 6R I^2 \dots\dots\dots(1.23).$$

$$\text{Donc } \frac{\Delta P_{mono}}{\Delta P_{trip}} = \frac{6R I^2}{3R I^2} = \frac{2R_{mono}}{R_{trip}} \Rightarrow \Delta P_{mono} = 2\Delta P_{trip} \dots\dots\dots(1.24)$$

On constate que pour transmettre la même puissance sur la même longueur, les pertes actives en monophasé sont plus grandes de 2 fois que celle triphasé.

De plus la quantité de matière utilisée pour réaliser une ligne de longueur L on aura besoin d'un volume de cuivre V (tri) en triphasé et V (mono) en monophasé avec :

$$V_{tri} = 3L.S \dots\dots\dots(1.25).$$

$$V_{mono} = 6.L.S \dots\dots\dots(1.26)$$

Donc il est nécessaire d'employer une quantité double dans le cas d'une ligne monophasé, tout en ayant les pertes en ligne doubles.

1-3-2 Définition D'un Système triphasé symétrique

Considérons trois grandeurs sinusoïdales X_1, X_2 et X_3 formant un système triphasé symétrique et qui se présentent sous forme:

$$X_1 = X \sqrt{2} \cos(wt - \varphi) \dots\dots\dots(1.27)$$

$$X_2 = X \sqrt{2} \cos\left(wt - \varphi - m \frac{2\pi}{3}\right) \dots\dots\dots(1.28)$$

$$X_3 = X \sqrt{2} \cos\left(wt - \varphi - m \frac{4\pi}{3}\right) \dots\dots\dots(1.29)$$

Ces trois grandeurs sont de même valeur efficace et déphasé l'un à l'autre de $2\pi/3$

m : est appelé ordre du système triphasé .

1-3-2-1 système direct:

$m=1$, le système est direct.

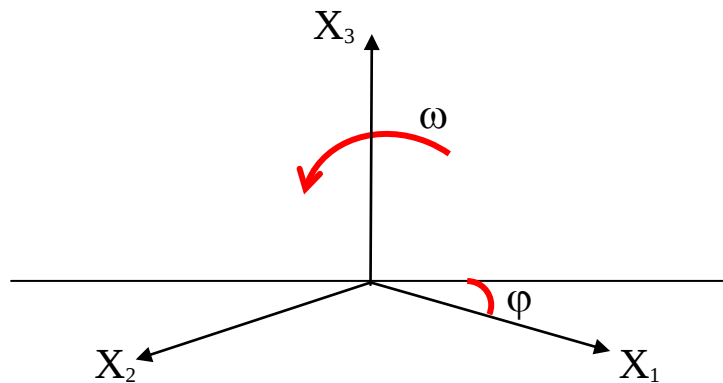
Les trois grandeurs se présentent sous la forme Fig: (1.6)

$$X_1 = X \sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi) \dots \dots \dots (1.30)$$

$$X_2 = X \sqrt{2} \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \dots \dots \dots (1.31)$$

$$X_3 = X \sqrt{2} \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \dots \dots \dots (1.32)$$

est sont, alors symétriques et équilibrés



Fig(1.6) Représentation de fresnel des trois vecteurs

En notation complexe $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, on peut représenter:

$$\overline{X_1} = X e^{j(\omega t - \varphi)} \dots \dots \dots (1.33)$$

$$\overline{X_2} = a^2 \overline{X_1} \dots \dots \dots (1.34)$$

$$\overline{X_3} = a \overline{X_1} \dots \dots \dots (1.35)$$

1-3-2-2 Système inverse

Si $m = 2$, le système est dit inverse, donc les trois grandeurs sinusoïdales se présentent sous la forme Fig: (1.7)

$$X_1 = X\sqrt{2}\cos(\omega t - \varphi) \dots\dots\dots(1.36)$$

$$X_2 = X\sqrt{2}\cos\left(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \dots\dots\dots(1.37)$$

$$X_3 = X\sqrt{2}\cos\left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \dots\dots\dots(1.38)$$

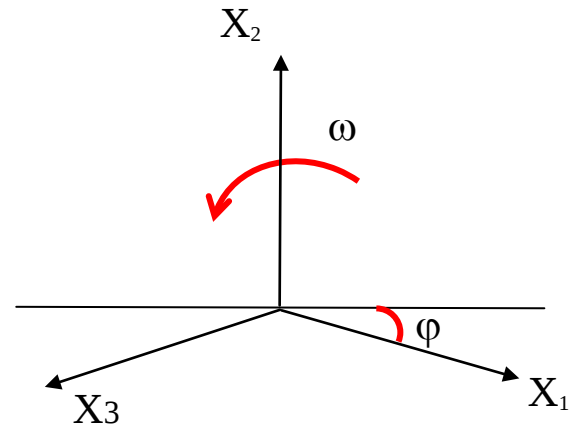
est sont, également symétriques et équilibrées

d'où :

$$\overline{X_1} = X e^{j(\omega t - \varphi)} \dots\dots\dots(1.39)$$

$$\overline{X_2} = a \overline{X_1} \dots\dots\dots(1.40)$$

$$\overline{X_3} = a^2 \overline{X_1} \dots\dots\dots(1.41)$$



Fig(1.7) Représentation De fresnel

3-2-3 Système homopolaire

Si $m = 3$, le système est dit homopolaire ,donc les trois grandeurs se présentent sous la forme Fig: (1.9)

$$X_1(t) = X_2(t) = X_3(t) \dots\dots\dots(1.42)$$

d'où :

$$\overline{X_1} = \overline{X_2} = \overline{X_3} \dots\dots\dots(1.43)$$

Donc les trois vecteurs sont confondus.

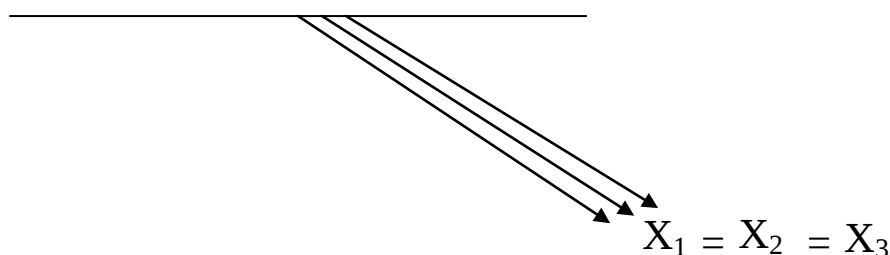
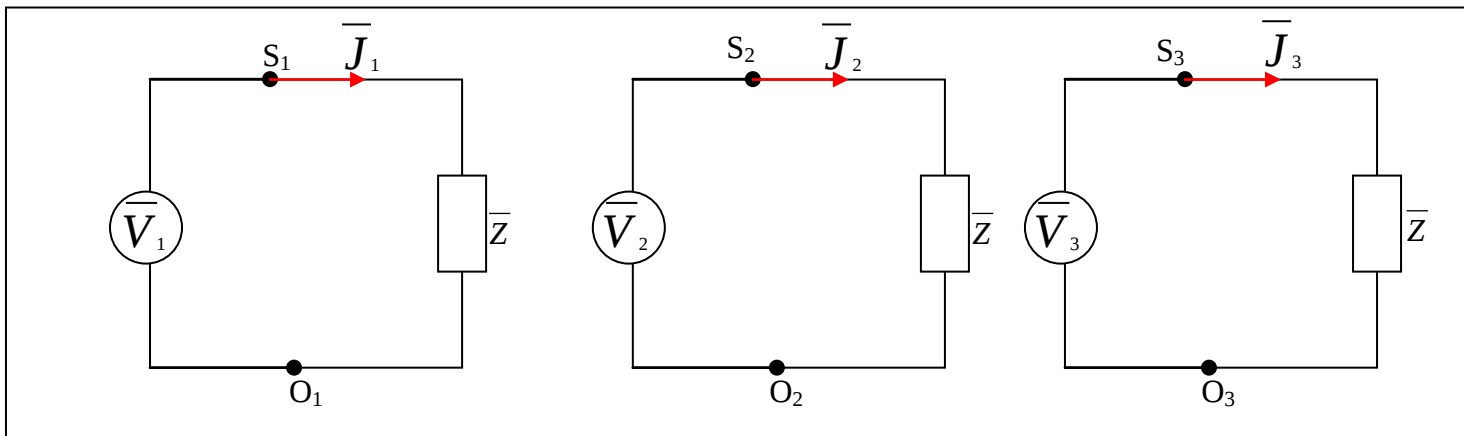


Fig : (1.8) Représentation de fresnel**1-3-3 Système triphasé en étoile ou en triangle**

On considère trois sources de tensions sinusoïdales $\bar{V}_1, \bar{V}_2$ et $\bar{V}_3$ alimentant des impédances identiques, parcourues par les courants $\bar{J}_1, \bar{J}_2$ et $\bar{J}_3$ qui forment également un système triphasé équilibré Fig: (1.9)

**Fig: (1.9)** Trois systèmes monophasés indépendants

Nous allons envisager deux types d'association afin d'apparaître l'intérêt du triphasé par rapport a trois système monophasé indépendants .

1-3-3-1-Association en étoile

Les trois points O_1, O_2 et O_3 sont mis au même potentiel .**Fig: (1.10)**

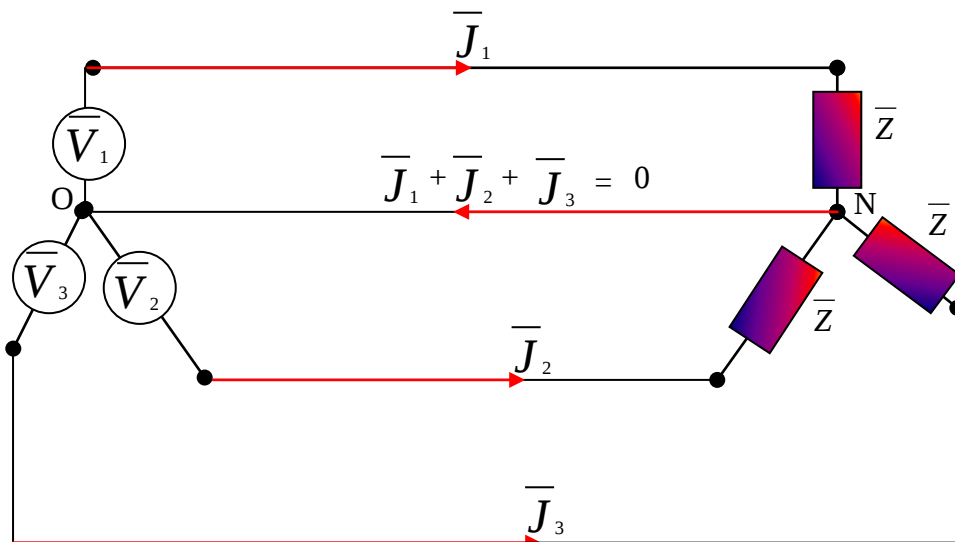
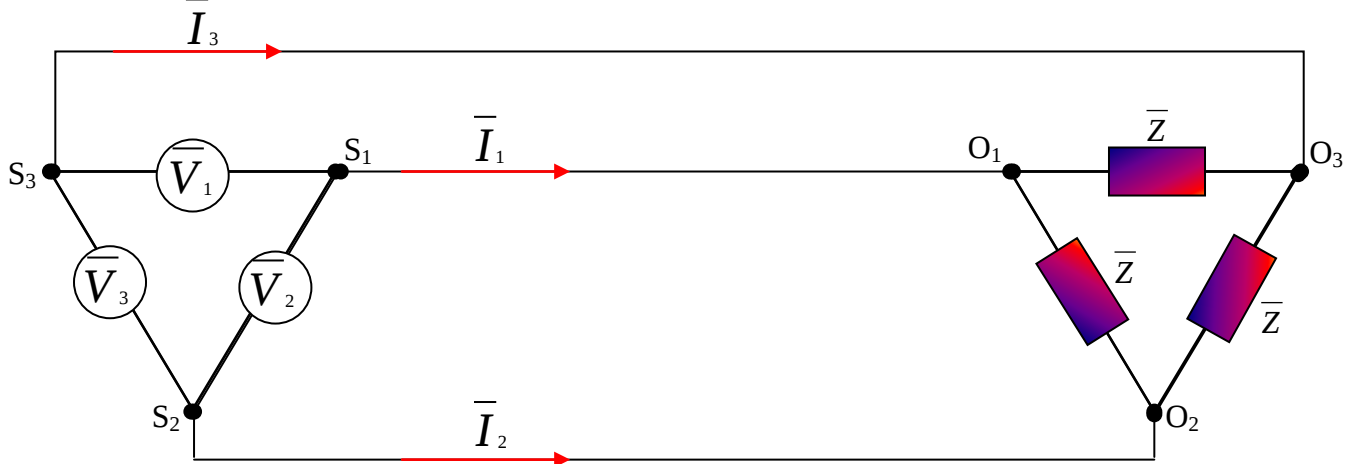


Fig: (1.10) Association en étoile

Le courant dans le fil de retour entre O et N, appelé fil neutre, est nul (si le système est équilibré).

1-3-3-2 Association en triangle:

La Connexion avec la charge s'effectue donc de la façon indiquée sur la **fig: (1.11)**.

**Fig (1.11)** Association en triangle

1.3.3.3:Grandeurs de lignes et grandeurs de phases

a: En étoile

Dans le cas d'un couplage en étoile, les courants de lignes et de phases sont identiques ($I=J$) en revanche les tensions de lignes et de phases sont différents

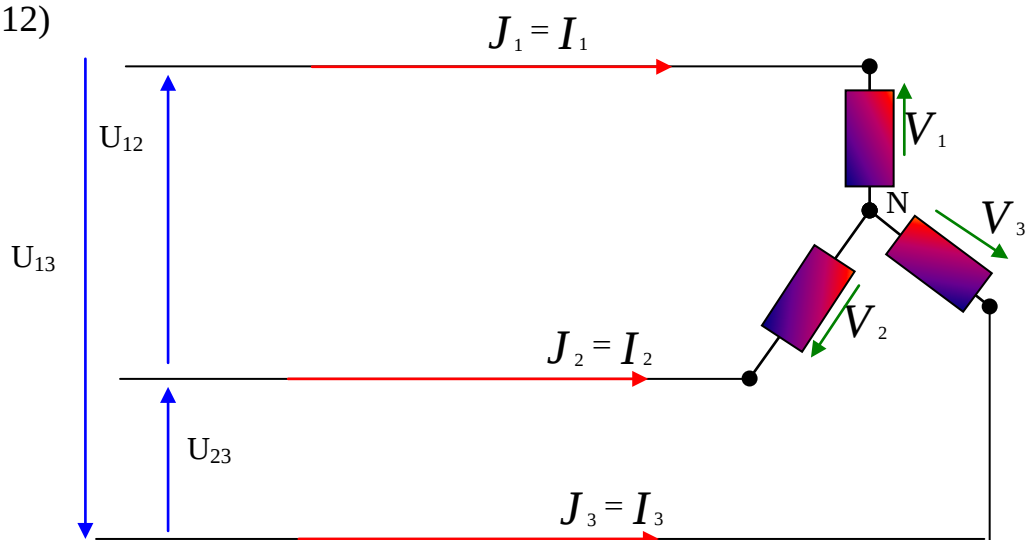
Fig:(1.12)

Fig (1.12) Grandeur de ligne en étoile

La relation entre les tensions de lignes et de phases (si le système est équilibré) sera :

$$\overline{U}_{12} = \overline{V}_1 - \overline{V}_2 \dots\dots\dots(1.44)$$

$$\overline{V}_2 = a^2 \overline{V}_1 \quad (\text{Système direct})$$

Ce qui conduit à:

$$\overline{U}_{12} = \left(1 + \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot \overline{V}_1 = \sqrt{3} V_1 e^{j \frac{\pi}{6}} \dots\dots\dots(1.45)$$

De la même manière pour les autres tensions de lignes, on aura donc:

$$U = \sqrt{3} V \dots\dots\dots(1.46)$$

Le diagramme des tensions de phase direct conduit à un diagramme des tensions de ligne lui aussi direct et en avance de 30° comme le montre le diagramme de Fresnel **Fig:(1.13)**

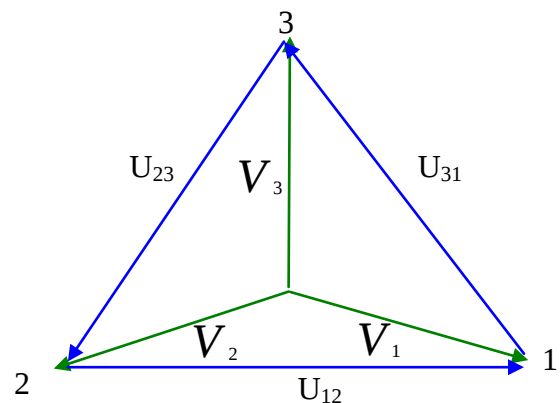


Fig (1.13) Représentation de fresnel des tensions

b: En triangle:

Dans le cas d'un couplage triangle les tensions de ligne et les tensions de phases sont identiques, mais les courants sont différents (système équilibre direct) comme l'indique la **Fig:(1.14)**.

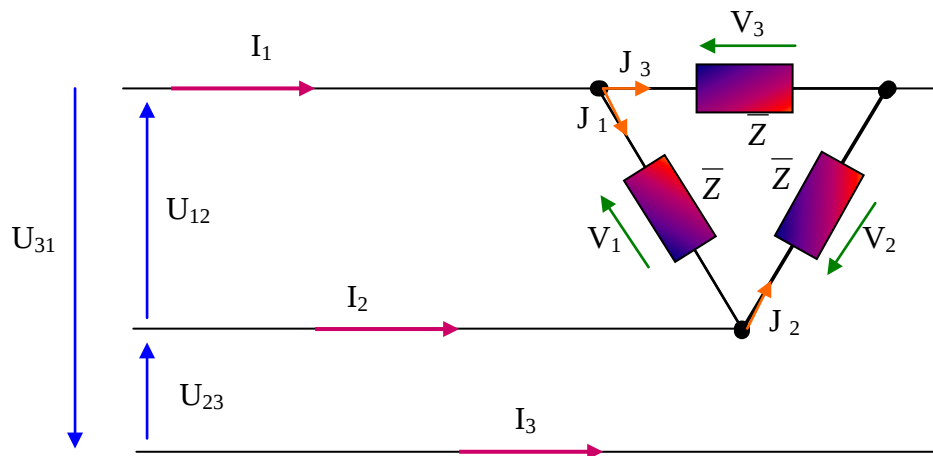


Fig (1.14) Grandeur de ligne en triangle

Alors :

$$\bar{I}_1 = \bar{J}_1 - \bar{J}_3 \dots\dots\dots(1.47)$$

$$\bar{J}_3 = a \bar{J}_1$$

Soit :

$$\bar{I}_1 = (1 - a) \bar{J}_1 = \left(1 + \frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \bar{J}_1 = J_1 \sqrt{3} e^{-j\frac{\pi}{6}} \dots\dots\dots(1.48)$$

De la même démarche pour les autres courants.

On constate que: $I = \sqrt{3}J$ et que I est en retard de phase de 30° sur J le résultat est représenté sur le diagramme de fresnel.

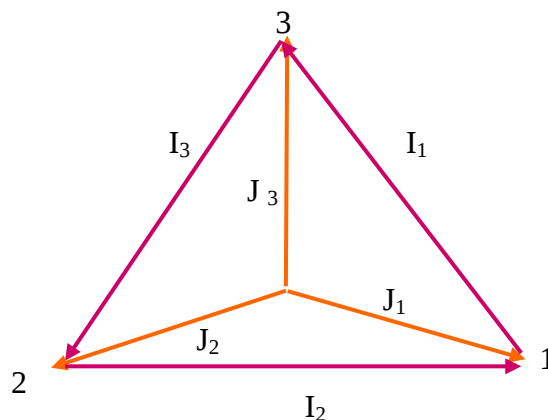


Fig (1.15) Représentation de fresnel des Courants

1-3-4 Puissances dans les systèmes triphasé

La puissance absorbée par une charge triphasé équilibrée est la somme des puissances absorbées par chaque phase.

La puissance totale active et réactive dans le système d'après le théorème de Boucherot est donné par :

$$P = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 3UI \cos \theta \dots\dots\dots (1.49)$$

$$Q = Q_1(t) + Q_2(t) + Q_3(t) = 3UI \sin \theta \dots\dots\dots (1.50)$$

La puissance apparente total vaut:

$$S = 3UI \dots\dots\dots (1.51)$$

- ❖ Les puissances instantanées dans un système équilibré est donc constante. c'est l'un des intérêts du triphasé, qui permet notamment d'éviter les fluctuations du couple dans les machines tournantes.
- ❖ La puissance active peut être calculée aussi avec les grandeurs de ligne U et I (étoile, triangle) on aura:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \theta \dots\dots\dots (1.52)$$

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \theta \dots\dots\dots (1.53)$$

$$S = \sqrt{3}UI \dots\dots\dots (1.54)$$

1-4 Système triphasé asymétrique

Un état de fonctionnement non symétrique apparaît lorsque les impédances de phase de la charge ne sont pas identiques (four à induction, machine à souder à l'arc.....).

Elle peut aussi intervenir en cas d'une ouverture d'une phase, court-circuitetc [8].

Néanmoins un système sinusoïdale asymétrique, peut être ramené à une combinaison de systèmes symétrique.

1-4-1-Méthode de composante symétrique

Tout système triphasé non symétrique est la superposition d'un système direct, système inverse et système homopolaire fig:(1.16)

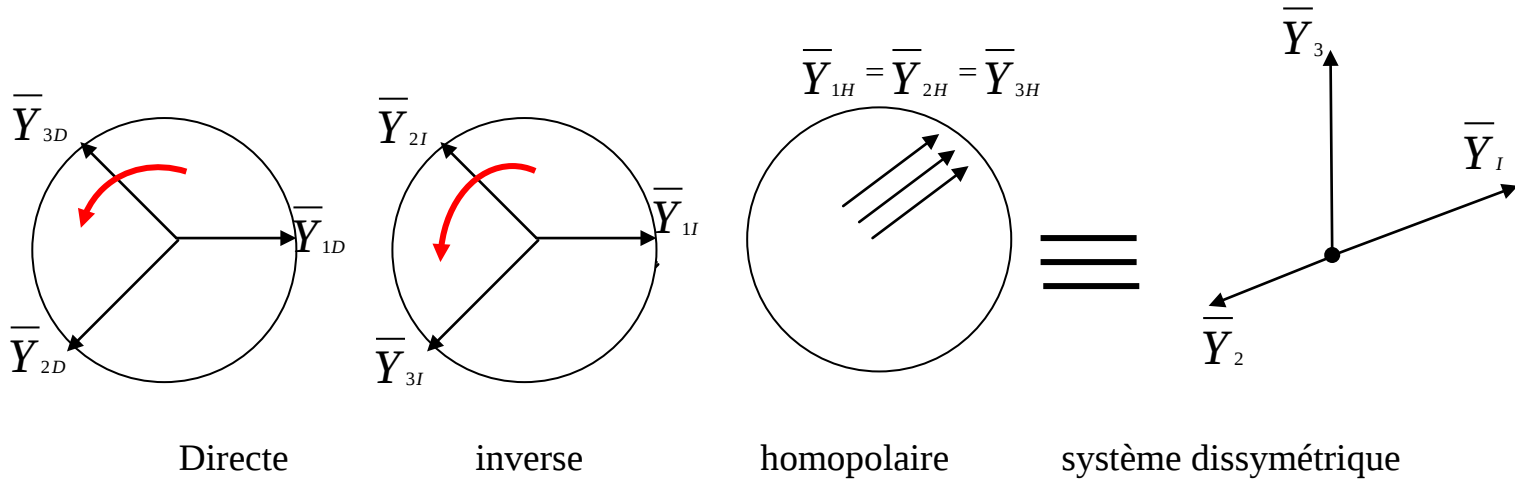


Fig:(1.16) Décomposition d'un système non symétrique en un système symétrique.

Les indices d, i et h indiquant respectivement les composantes directe, inverse et homopolaire.

En posant $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ (opérateur de rotation d'un angle de 120°)

$$a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} \quad ; a^3 = 1$$

Les trois grandeurs du système non symétrique sont exprimées par le système d'équation:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_1 &= \bar{Y}_{1d} + \bar{Y}_{1i} + \bar{Y}_{1h} \\ \bar{Y}_2 &= \bar{Y}_{2d} + \bar{Y}_{2i} + \bar{Y}_{2h} \\ \bar{Y}_3 &= \bar{Y}_{3d} + \bar{Y}_{3i} + \bar{Y}_{3h} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.55)$$

En introduisant l'opérateur de rotation, le système d'équation devient:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_1 &= \bar{Y}_d + \bar{Y}_i + \bar{Y}_h \\ \bar{Y}_2 &= a^2 \bar{Y}_d + a \bar{Y}_i + \bar{Y}_h \\ \bar{Y}_3 &= a \bar{Y}_d + a^2 \bar{Y}_i + \bar{Y}_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.56)$$

Sachant que :

$$\overline{Y}_{3d} = a \overline{Y}_{1d}; \overline{Y}_{2d} = a^2 \overline{Y}_{1d}$$

$$\overline{Y}_{2i} = a \overline{Y}_{1i}; \overline{Y}_{3i} = a^2 \overline{Y}_{1i}$$

$$\overline{Y}_{1h} = \overline{Y}_{2h} = \overline{Y}_{3h}$$

Soit matériellement:

$$\begin{bmatrix} \overline{Y}_1 \\ \overline{Y}_2 \\ \overline{Y}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{Y}_d \\ \overline{Y}_i \\ \overline{Y}_h \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1.57)$$

En résolvant par rapport aux composantes symétrique on obtient:

$$\left. \begin{aligned} \overline{Y}_d &= \frac{1}{3}(\overline{Y}_1 + a \overline{Y}_2 + a^2 \overline{Y}_3) \\ \overline{Y}_i &= \frac{1}{3}(\overline{Y}_1 + a^2 \overline{Y}_2 + a \overline{Y}_3) \\ \overline{Y}_h &= \frac{1}{3}(\overline{Y}_1 + \overline{Y}_2 + \overline{Y}_3) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.58)$$

Sous forme matricielle on aura:

$$\begin{bmatrix} \overline{Y}_d \\ \overline{Y}_i \\ \overline{Y}_h \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{Y}_1 \\ \overline{Y}_2 \\ \overline{Y}_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1.59)$$

Conclusion:

L'étude du régime sinusoïdale dans les circuits monophasés et triphasés nous a permis de comprendre l'intérêt du système triphasé dans le transport d'énergie électrique.

- les systèmes triphasés équilibrés permettent de créer des champs tournants.**
- A masse égale (donc à coût égal), une machine triphasée permet de convertir plus d'énergie qu'une machine monophasée (de 50% à 100% de plus).**
- A Puissance égale, les machines triphasées sont donc moins coûteuses que leurs homologues monophasés.**
- la puissance instantanée fournie par un système triphasé équilibré est constante (pour éviter les fluctuations de puissance dans les machines tournantes)**
- A puissance, tension et résistance par conducteur égale, une ligne triphasée consomme moins d'énergie qu'une ligne monophasée et demande une quantité de matière moindre pour réaliser une ligne.**
- la somme des grandeurs triphasées équilibrées est nulle ce qui permet notamment de simplifier l'association de trois phases entre elles.**

Etude Théorique Du régime De Court Circuit

2-1- introduction

Les courts- circuits sont un cas particulier des conditions anormales de fonctionnement des réseaux électriques. Les conditions anormales peuvent être dues soit à un défaut d'isolement (imperfection du matériel isolant), soit due à celle de l'exploitation (les surcharges, Non fermeture accidentel d'une phase.....etc).

Un court- circuit présente un circuit où tous les courants se convergent vers le point de défaut, et il s'ensuit d'une augmentation des courants dans tous les éléments du réseau en dépassent plusieurs fois les valeurs admissibles. Cette augmentation est surtout ressentie par les éléments proches au point de défaut. Les effets du courant de court- circuit ne se limitent pas seulement aux réseaux et aux installations électriques mais peut constituer un danger pour l'être humain.

2.2.effets physiologiques du courant électrique.

Le courant électrique a une action sur les principales fonctions vitales de l'organisme à savoir la respiration et la circulation (1). Il convient également de ne pas négliger les risques de brûlures liés au passage du courant électrique à travers le corps humain lors du contact avec un matériel destiné à l'usage électrique.

Des études expérimentales faites par des experts de la commission internationale (CEI); sont effectuées sur des animaux et même dans certaines conditions sur des personnes, ont abouti à déterminer les valeurs de tension de contact dangereuse en fonction du temps.

La figure (2-1) montre le courant maximal et la tension de contact U_c que le corps peut supporter en tenant compte de l'impédance du corps humain.

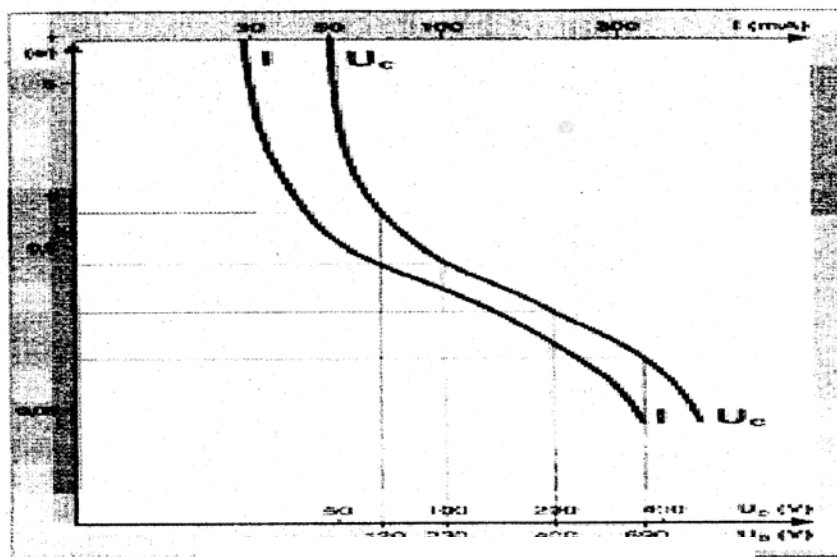


fig (2-1) : Courant et tension de contact supportés par le corps humain

2-2-1 : danger du passage du courant électrique .

La limite de sensation est variable d'un corps à un autre; cela dépend de nombreux facteurs : tension de contact , état et humidité de la peau et nature du contact avec le sol.

⚡ 0,5 mA Picotement.



⚡ 10 mA tétanisation musculaire



⚡ 30 mA paralysie respiratoire



⚡ 75 mA Fibrillation Ventriculaire



⚡ 1 A Arrêt cardiaque.



Fig. 2.2. Résumé des effets du courant sur le corps

2-3 : Les différents types du court- circuit :

Le fonctionnement des réseaux électriques peut être caractérisé , principalement, par trois régimes : régimes normaux , régimes transitoires et régimes après avaries. Ce dernier peut être symétrique ou non symétrique :

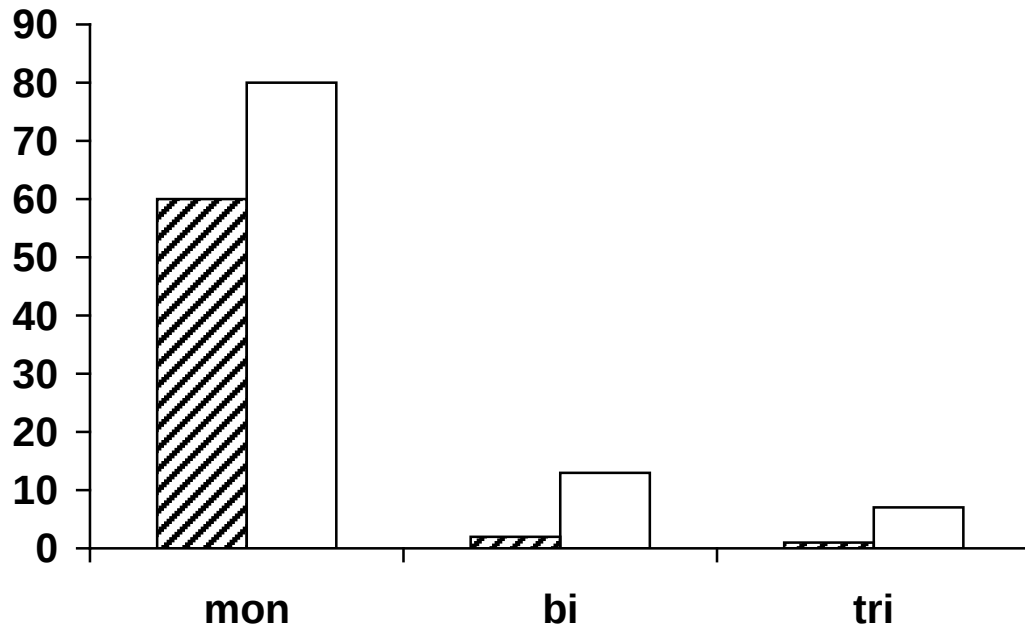
Ceux qui sont du type symétrique sont :

- court- circuit triphasé entre les trois phases sans liaison à la terre.
- court- circuit triphasé entre les trois phases avec liaison à la terre.

et ceux qui sont asymétriques sont :

- court- circuit biphasé entre deux phases sans liaison à la terre.
- court- circuit biphasé entre deux phases avec liaison à la terre.
- court- circuit monophasé entre une phases et la terre.

l'expérience dans l'exploitation des réseaux électriques montre que les court- circuit les plus fréquents sont de type monophasé qui représentent de (60 ÷ 90%), la figure(2.3) nombre la fréquence d'apparition des différents types de court- circuit .



	F min %	60	2	1
	F max %	80	13	7

Fig (2-3) . Fréquence D'apparition Des Différents Types De Court- Circuit .

2-4. Court- circuit symétrique.

2-4-1 :Processus transitoire lors d'un court- circuit triphasé .

lors d'un défaut triphasé sur une ligne du réseau électrique il se produit des appels de courant très importants dont il faut tenir compte pendant le choix du dispositif de protection fig (2-3).

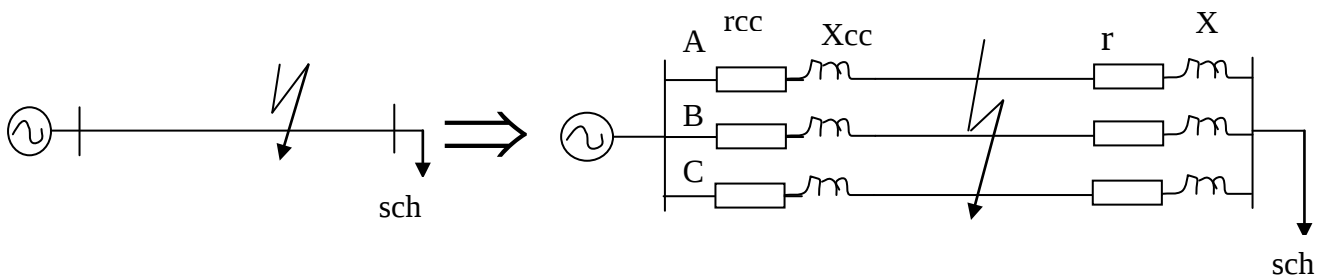


fig (2-3). Schéma de principe.

L'impédance de court- circuit s'exprime :

$$Z_{cc} = r_{cc} + j X_{cc} \dots\dots\dots(2-1).$$

avec,

$$\theta_{cc} = \arctg \frac{X_{cc}}{r_{cc}} \dots\dots\dots(2-2).$$

le courant i_{Acc} dans la phrase de référence A est alors solution de l'équation différentielle :

$$r_{cc} i_{Acc}(t) + l_{cc} \frac{d i_{Acc}(t)}{dt} = u_m \sin(\omega t + \alpha) \dots\dots\dots(2-3).$$

La solution de cette équation différentielle comprend le terme transitoire, solution de l'équation sans second membre (solution libre) ; et la solution particulière (forcée) correspondante au régime permanent sinusoïdale de court- circuit :

$$i_{Acc}(t) = i_{ALcc}(t) + i_{AFcc}(t) = A e^{-\frac{t}{T_a}} \times \frac{u_m}{\sqrt{r_{cc}^2 + X_{cc}^2}} \sin(\omega t + \alpha - \theta_{cc}) \dots\dots\dots(2-4).$$

Où :

$$T_a = \frac{l_{cc}}{r_{cc}} = \frac{X_{cc}}{\omega \cdot r_{cc}} \text{ (constante de temps du circuit)}.$$

$i_{ALCC}(t)$: courant libre débité par l'inductance " L" pendant le changement d'état (qui dépend du régime transitoire).

$i_{AFCC}(t)$: Courant instantané forcé par la tension $u_A(t)$ dans le circuit de défaut indépendamment du régime transitoire.

α : phase initial de la tension de la source.

Condition initial : à $t = 0$.

$i(0) = 0$ (régime à vide) donc .

$$0 = \frac{u_m}{Z_{cc}} \sin(\alpha - \theta_{cc}) + A$$

$$A = -\frac{u_m}{Z_{cc}} \sin(\alpha - \theta_{cc}) \dots\dots\dots(2-5).$$

La solution générale sera :

$$i_{Acc}(t) = \frac{u_m}{Z_{cc}} \left[\sin(\omega t + \alpha - \theta_{cc}) - \sin(\alpha - \theta_{cc}) e^{-\frac{t}{Ta}} \right] \dots\dots\dots(2-6).$$

Pour les autres phases, il suffit de remplacer α par $\alpha - \frac{2\pi}{3}$ (phase B)

et $\alpha - \frac{4\pi}{3}$ (phase c)

Ce qui permet d'écrire :

$$i_{Bcc}(t) = \frac{u_m}{Z_{cc}} \left[\sin\left(\omega t + \alpha - \frac{2\pi}{3} - \theta_{cc}\right) - \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3} - \theta_{cc}\right) e^{-\frac{t}{Ta}} \right] \dots\dots(2-7).$$

$$i_{Ccc}(t) = \frac{u_m}{Z_{cc}} \left[\sin\left(\omega t + \alpha - \frac{4\pi}{3} - \theta_{cc}\right) - \sin\left(\alpha - \frac{4\pi}{3} - \theta_{cc}\right) e^{-\frac{t}{Ta}} \right] \dots\dots(2-8).$$

Donc on obtient deux composantes :

- composante périodique (forcée) qui dépend de l'amplitude

$$\frac{u_m}{Z_{cc}} ; i_f(t) = I_P(t) = f(V_{\max}, Z_{cc})$$

- composante apériodique (libre) qui dépend du déphasage :

$$(\alpha - \theta_{cc}) ; I_{aP}(t) = i_l(i) = f(\alpha, \theta_{cc}).$$

Du fait que le court-circuit est triphasé l'état initial défini ne peut avoir lieu pour les trois phases en même temps car leur tension sont déphasé fig.(2-4).

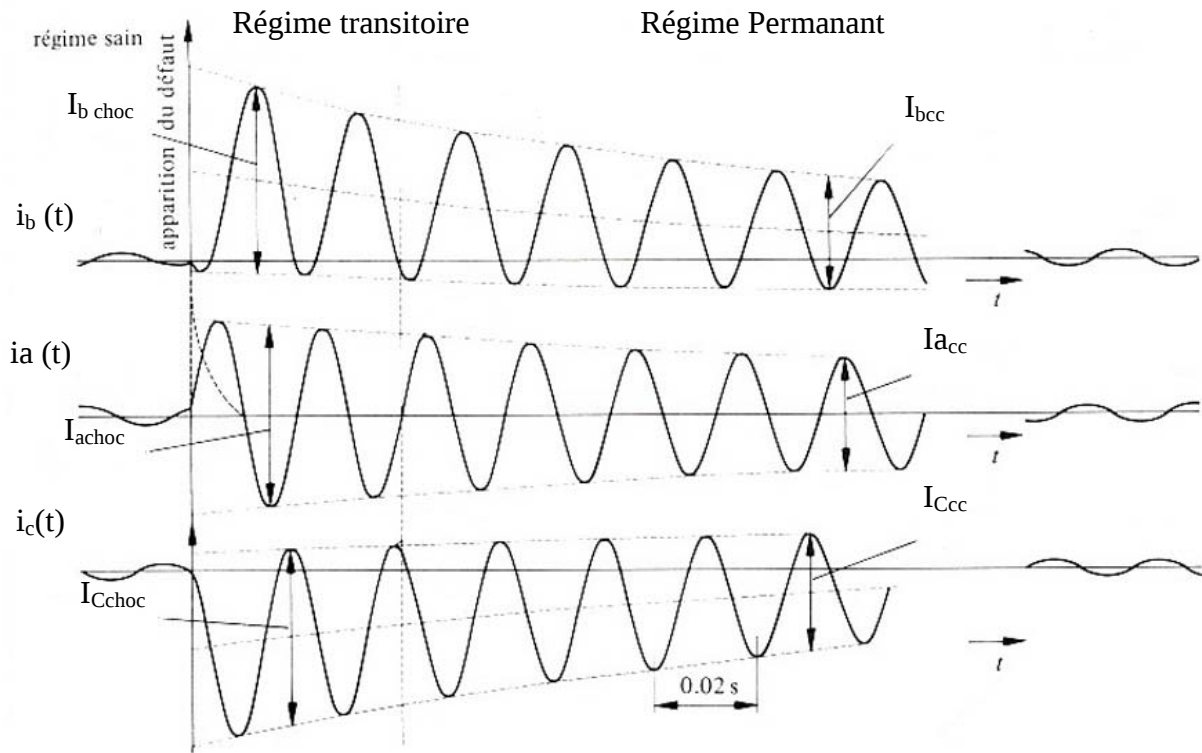


Fig .(2.4) Allure des trois courants de court circuit pour un défaut triphasé

Suivant l'instant du court- circuit , la valeur crête de la première onde du courant de court- circuit en régime transitoire atteint fréquemment plusieurs fois le courant nominal s'appel le courant de choc . On peut constater que le courant $i_a(t)$ atteint sa

valeur maximal quand : $t = \frac{T}{2}$ on aura donc :

$$I_{choc} = i\left(\frac{T}{2}\right) = I_{P,m} \left(1 + e^{\frac{-T}{2Ta}}\right) = K_{choc} \cdot I_{p.m} \dots\dots(2-9).$$

où :

$$I_{P,m} = \frac{Um}{Z_{CC}}.$$

K_{choc} : le coefficients de choc.

En générale , la durée du régime transitoire est de l'ordre de (4 ÷ 5)fois la période T.

2-4-2 : Court- circuit triphasé symétrique :

Ce type de court- circuit se comporte comme un récepteur triphasé très puissant installé au point de défaut , il entraîne tout comme une surcharge , une chute de

tension et une surintensité plus ou moins équilibré. Il y a toute fois des différences qui peuvent être importantes entre une sur charge et ceux d'un court- circuit .

1- le court- circuit à une impédance nulle dans le cas du contact directe et métallique entre les conducteurs , ou faible dans le cas d'un arc [3].

2- Les impédances qui déterminent l'intensité du courant sont les réactances du transformateur , des génératrices et des impédances propres des lignes qui alimentent le point de court- circuit .

2-4-2-1 : court- circuit triphasé à la terre

Ce défaut survient lorsque les trois phases se retrouvent accidentellement en contact avec une masse métallique reliée la terre .Cette liaison à la terre peut avoir une certaine impédance que nous modélisons par Z fig. (2-5)

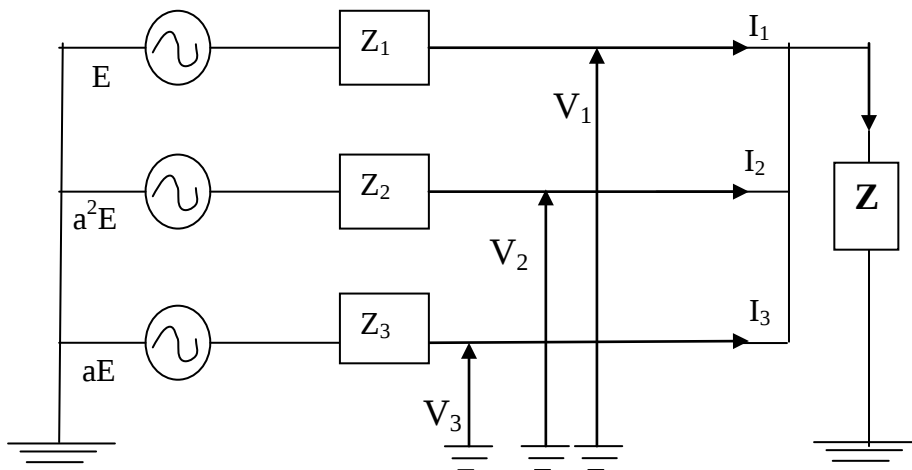


fig. (2-5) Court- circuit triphasé à la terre

L'analyse de court circuit consiste à déterminer les paramètres du régime au point du défaut on utilisant les composantes symétriques .

Les équations du défaut quand $Z=0$ sont :

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = V_2 = V_3 = 0 \\ V_d = V_i = V_h = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2-10).$$

Le court circuit provoque un système dissymétrique , les équations du système qui déterminent les composantes réelles en fonction des composante symétrique seront :

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_1 &= \mathbf{I}_h + \mathbf{I}_i + \mathbf{I}_d \\ \mathbf{I}_2 &= \mathbf{I}_h + a\mathbf{I}_i + a^2\mathbf{I}_d \\ \mathbf{I}_3 &= \mathbf{I}_h + a^2\mathbf{I}_i + \mathbf{I}_d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-11).$$

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{V}_1 &= \mathbf{V}_h + \mathbf{V}_i + \mathbf{V}_d \\ \mathbf{V}_2 &= \mathbf{V}_h + a\mathbf{V}_i + a^2\mathbf{V}_d \\ \mathbf{V}_3 &= \mathbf{V}_h + a^2\mathbf{V}_i + a\mathbf{V}_d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-12).$$

Les équations du système en composantes symétriques :

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{E} &= \mathbf{V}_d + \mathbf{Z}_d \mathbf{I}_d \\ 0 &= \mathbf{V}_i + \mathbf{Z}_i \mathbf{I}_i \\ 0 &= \mathbf{V}_h + \mathbf{Z}_h \mathbf{I}_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-13).$$

La source ne fournit pas de composantes inverse et homopolaire on aura donc .

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_h &= \mathbf{I}_i = 0 \\ \mathbf{I}_d &= \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-14).$$

Ces différents résultats peuvent être représenter sous forme du schéma tel que celui de la fig (2.6)

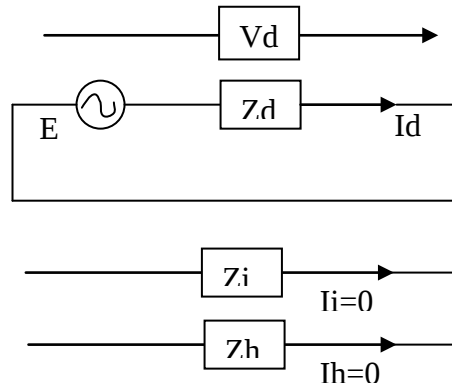


Fig.(2.6) Représentation complexe du défaut triphasé

Après avoir déterminé les composantes symétriques ; la détermination des composantes réelles seront comme suit :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E}{Z_d} \\ I_2 &= a^2 \frac{E}{Z_d} \\ I_3 &= a \frac{E}{Z_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-15).$$

$$I_{Terre} = I_1 + I_2 + I_3 = 0 \dots\dots\dots(2-16).$$

On constate que le défaut est indépendant des impédances Z_h et Z_i .

2-4-2-2 :Court circuit triphasé isolé de la terre .

Ce type de défaut est semblable au précédent , ils ont les mêmes effets . Dans ce cas, il est clair que les tensions de phases au point de court circuit sont égales et les tensions composées sont nulles fig. (2-7).

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_2 = V_3 \\ i_1 + i_2 + i_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-17).$$

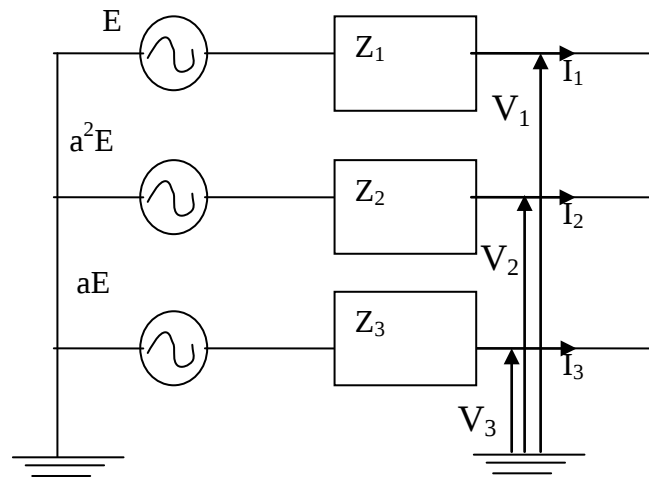


fig.(2.7) Court circuit triphasé non à la terre

Composantes symétriques :

$$\left. \begin{array}{l} U_d = 0 \\ U_i = 0 \\ U_h = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2-18).$$

Donc les court –circuits triphasés sont à l’origine de très forts courants , les chutes de tension sont considérables, elle peut chutes jusqu a zéro au point de défaut (court – circuits franc)ce qui provoque l’instabilité du réseau en l’absence des moyens de protection .

De ce point de vue, il est indispensable d’avoir des moyens de débranchement automatique rapide des éléments en défaut .

2-4-3. Puissance de court –circuit :

La puissance de court –circuit est trois fois le produit de la tension simple en régime sain et le courant de court –circuit , elle et donnée comme suit :

$$S_{cc} = 3U_{1n} \cdot I_{cc} \text{ (VA)} \dots\dots\dots(2-19).$$

2-5 : Court –circuit asymétrique.

L'importance de l'étude de ces régimes réside dans le fait que pour mieux contrôler les régimes déséquilibrés et les maintenir admissibles ; il est indispensable d'en définir et quantifier les paramètres descriptifs, ces derniers permettent de faire un choix adéquat et convenable des appareils et équipements de contrôle , de mesure ,de réglage et de protection [6].

2-5-2 : Court –circuit biphase Non à la terre.

Ce défaut survient lorsque deux phases se retrouvent accidentellement en contact, ou dans le cas d'une charge Z_c branchée entre deux phases .

Ce type de court –circuit crée une asymétrie, on peut immédiatement remarquer sur la fig.(2-8).

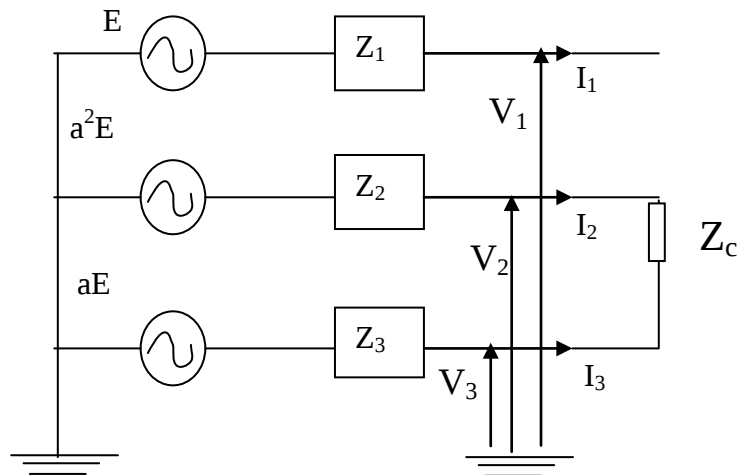


Fig.(2-8) Défaut Biphase

Les équations de défauts sont :

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = 0 \\ I_2 = -I_3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2-20).$$

$$u_{23} = Z_C I_2 = -Z_C I_3 \dots\dots\dots(2-21).$$

$$(V_2 = V_3 \text{ quand } Z_C = 0).$$

En utilisant les équations (2-11), (2-12) et (2-13)) nous obtenons

$$\mathbf{I}_h + \mathbf{I}_i + \mathbf{I}_d = 0 \dots\dots\dots(2-22).$$

Comme

$$\mathbf{I}_h + \mathbf{I}_i + \mathbf{I}_d = 0 \Rightarrow 3\mathbf{I}_h = 0 \Rightarrow \mathbf{I}_h = 0 \dots\dots\dots(2-23).$$

On aura donc $\mathbf{I}_d = -\mathbf{I}_i \dots\dots\dots(2-24).$

de l'équation (2-13) on tire la valeur du courant direct et inverse :

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_d &= \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_d} \\ \mathbf{I}_i &= -\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-25).$$

De l' équations (2-13)on déduit l'expression de la tension direct :

$$\mathbf{E} = \mathbf{V}_d + \mathbf{Z}_d \mathbf{I}_d \text{ et } \mathbf{I}_d = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_d}$$

Alors : $\mathbf{V}_d = \frac{(\mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_C)\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_d} \dots\dots\dots(2-26).$

Aussi pour la tension inverse :

$$0 = \mathbf{V}_i + \mathbf{I}_i \mathbf{Z}_i \text{ et } \mathbf{I}_i = -\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_d}$$

Alors : $\mathbf{V}_i = \frac{\mathbf{E} \mathbf{Z}_i}{\mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_i + \mathbf{Z}_d} \dots\dots\dots(2-27).$

Pour la tension homopolaire $\mathbf{V}_h=0$.

Les différents grandeurs complexes sont représentées sur le schéma de la fig (2-9).

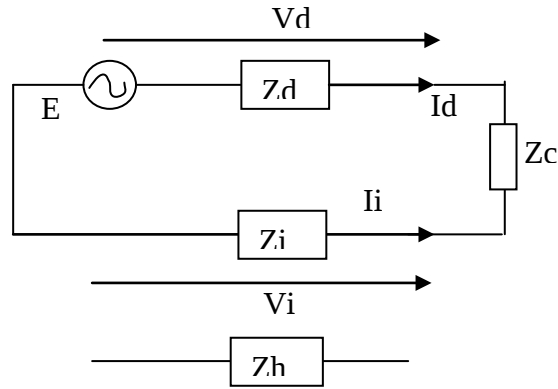


Fig (2-9) Représentation complexe du défaut biphase

Après avoir déterminer les composantes symétriques ; on déduit les composantes réelles.

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0 \\ I_2 &= -j\sqrt{3} \frac{E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \\ I_3 &= +j\sqrt{3} \frac{E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-28).$$

Ainsi pour les tensions.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{(Z_c + 2Z_i)E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \\ V_2 &= \frac{(a^2 Z_c - Z_i)E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \\ V_3 &= \frac{(a Z_c - Z_i)E}{Z_c + Z_i + Z_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-29).$$

2.5.2 court –circuit biphasé à la terre.

ce défaut a eu lieu lorsque deux phase se retrouvent accidentellement et simultanément en contact avec une masse métallique reliée à la terre . Cette liaison à la terre peut avoir une certaine impédance que nous appelons Z comme indiqué sur le fig. (2.10) .

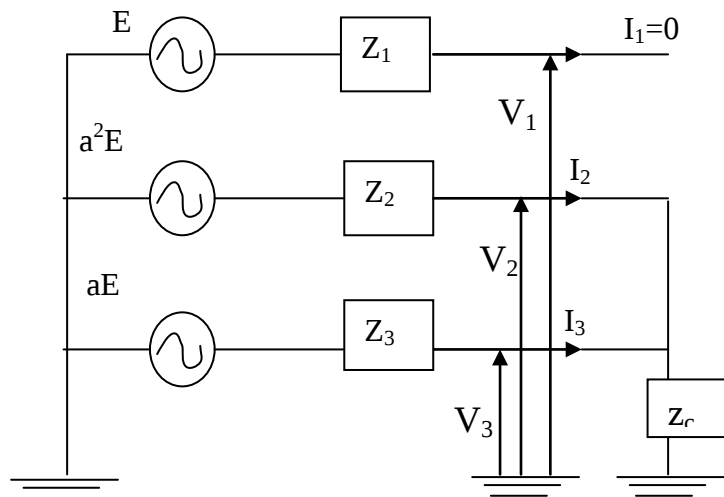


Fig (2-10) Défaut biphasé a la terre

Les équations de défauts sont :

$$I_1 = 0 \dots\dots\dots(2-30)$$

$$V_2 = V_3 = Z(I_2 + I_3) \dots\dots\dots(2-31)$$

les tensions de phase sont nulles quand : $Z=0$

$$(V_2 = 0 ; V_3 = 0).$$

en utilisant les équations (2-11) ,(2-12) et (2-13) on détermine les composantes symétrique des courant et tensions on aura :

$$I_d + I_i + I_h = 0 \dots\dots\dots(2-32)$$

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{-Z_i \cdot E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \\ I_i &= \frac{-(3Z_c + Z_h) \cdot E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \\ I_d &= \frac{(3Z_c + Z_h + Z_i)E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-33)$$

Ainsi pour les tensions

$$\left. \begin{aligned} V_h &= \frac{Z_h \cdot Z_i \cdot E}{Z_d \cdot (3Z_c + Z_h + Z_i) + Z_i(3Z_c + Z_h)} \\ V_i &= \frac{Z_i \cdot (3Z_c + Z_h) \cdot E}{Z_d \cdot (3Z_c + Z_h + Z_i) + Z_i(3Z_c + Z_h)} \\ V_d &= \frac{Z_i \cdot (3Z_c + Z_h) \cdot E}{Z_d \cdot (3Z_c + Z_h + Z_i) + Z_i(3Z_c + Z_h)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-34)$$

Ces différents grandeurs complexes sont représentées sur le schéma de le fig (2-11).

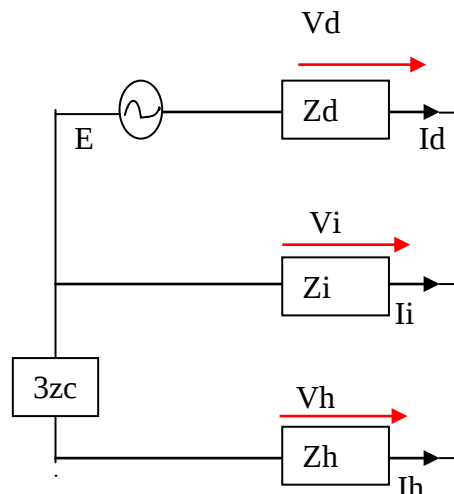


Fig (2-11) Représentation complexe du défaut biphasé terre

Détermination des composantes réelles des courants et tensions :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0 \\ I_2 &= \frac{-j\sqrt{3}(Z_c + Z_h - a Z_i)E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \\ I_3 &= \frac{j\sqrt{3}(3Z_c + Z_h - a^2 Z_i)E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \\ I_{\text{terre}} &= I_1 + I_2 = \frac{j3Z_i E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-35).$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{3Z_i(2Z_c + Z_h)E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \\ V_2 &= V_3 = \frac{-3Z_i(2Z_c + Z_h)E}{Z_i Z_d + (3Z_c + Z_h)(Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-36).$$

- si le défaut est franc ($Z_c=0$) le courant de défaut biphasé terre sera :

$$I_{cc} = \frac{3Z_i E}{Z_h Z_d + Z_h Z_i + Z_d Z_i} \dots\dots\dots(2-37).$$

. si le défaut est très résistif ($Z \rightarrow \infty$) le courant de défaut sera :

$$I_2 = -I_3 = -\frac{j\sqrt{3}E}{Z_d + Z_i} \dots\dots\dots(2-38).$$

2.5.3 : Court-circuit monophasé.

D'après les statistiques faites sur le taux d'apparition des courts- circuits , le défaut le plus fréquent est celui du type monophasés . Ce court- circuit peut- être l'origine pour le naissance des défauts biphasé et triphasé.

Un défaut de ce type engendre les mêmes conséquences que les autres types de court- circuit sur la phase atteinte [13].

2.5.3.1- Régimes du neutre .

La structure du schéma et les liaisons à la terre ont une influence directe sur les conditions de réalisation des protections , notamment la protection contre les surintensités.

La notion de schéma avec les liaisons à les terres apparaît clairement dans la norme NFC15-100 qui définit les désignations symbolique par lettres.

Un schéma de liaison à la terre est caractérisé par deux paramètres [1] et [4]

- situation du neutre par rapport à la terre.
- situation des masses métalliques par rapport a la terre.

a- Régime TT.

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses des installations sont aussi reliées à la terre.

Cette solution simple à l'étude et à l'installation est celle qui est employée par E.D.F [13] pour les réseaux basse tension ; aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure.

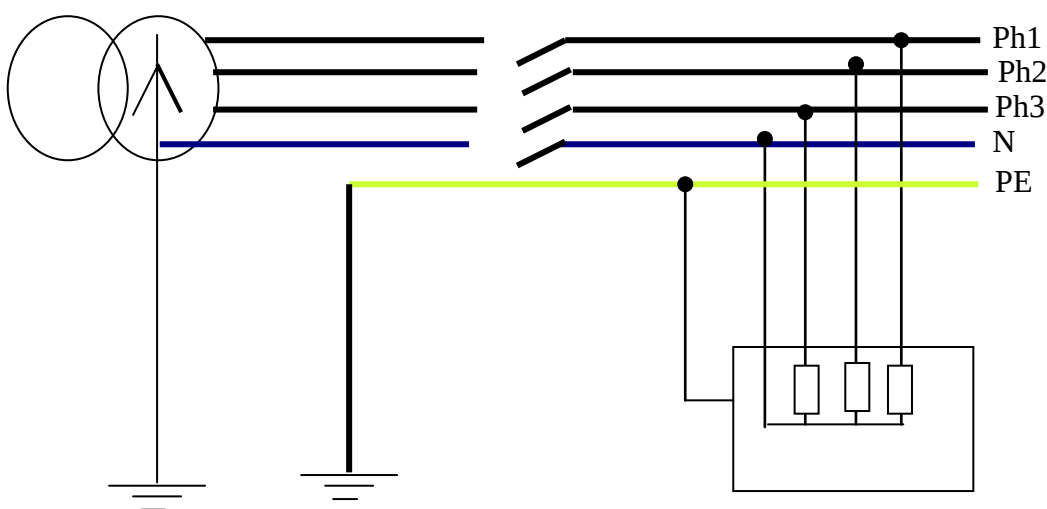
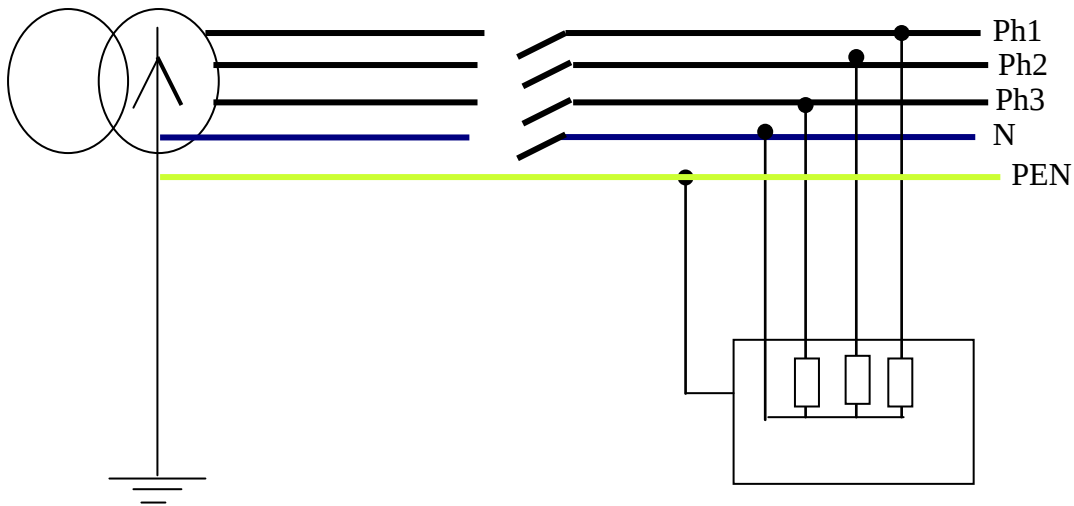


Fig (2.12) Régime TT

b : Régime TN

le neutre de l'alimentation est relié a la terre et les masses sont reliées au neutre
tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre .

**Fig (2-13) Régime TN**

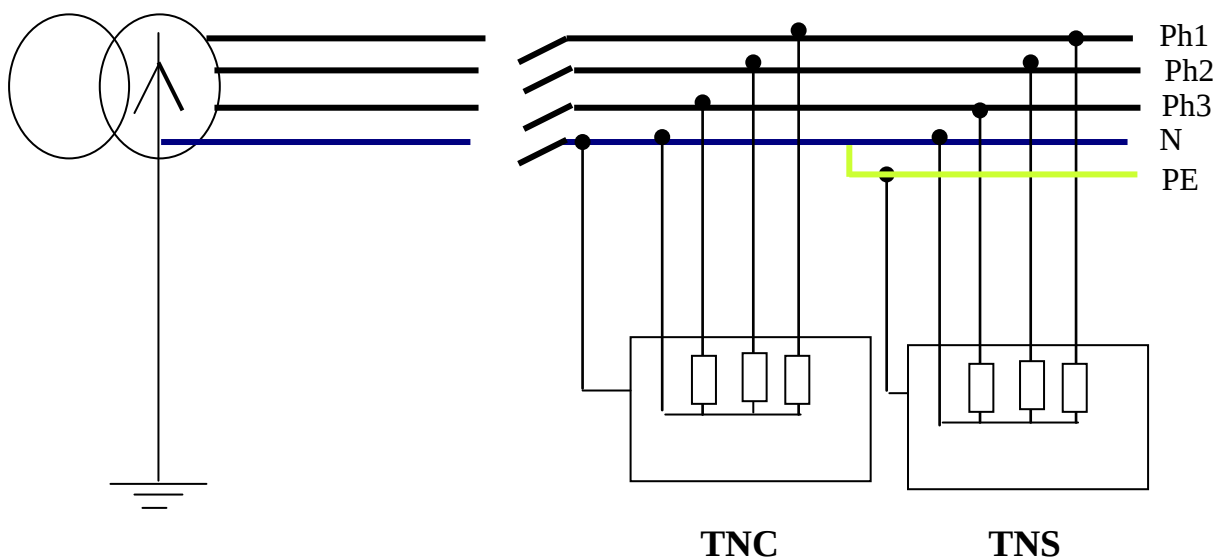
Ce Régime comporte deux variations sont .

- mise au neutre TNC.

Le conducteur de protection PE et le neutre N sont confondu

- mise au neutre TNS.

Le conducteur de protection PE est séparé du conducteur neutre N.

**Fig (2-14) Régime TNC et TNS**

C- Régime IT

Ce Régime présente le neutre isolé où relié à la terre par une forte impédance, les masses sont reliées à la terre [2]

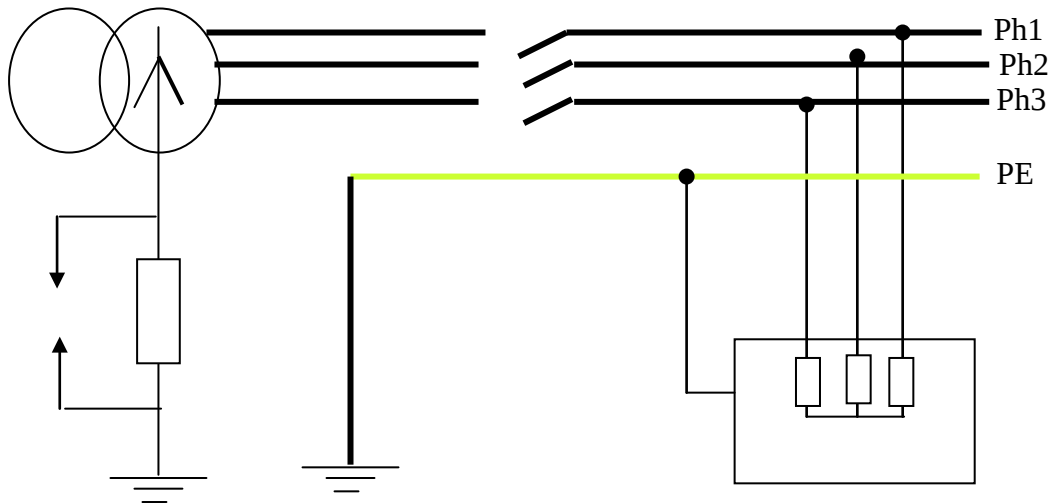


Fig (2-15) Régime IT

Les prises de terre du neutre et du conducteur de protection peuvent être confondues.

Ce régime offre la possibilité de maintenir l'exploitation malgré l'apparition d'un défaut.

3-5-4 Analyse d'un défaut phase – terre .

Ce défaut survient lorsque une phase se retrouve accidentellement en contact avec une masse métallique reliée à la terre. Cette liaison à la terre peut avoir une certaine impédance que nous modéliserons par Z comme représenté sur la Fig (2.15).

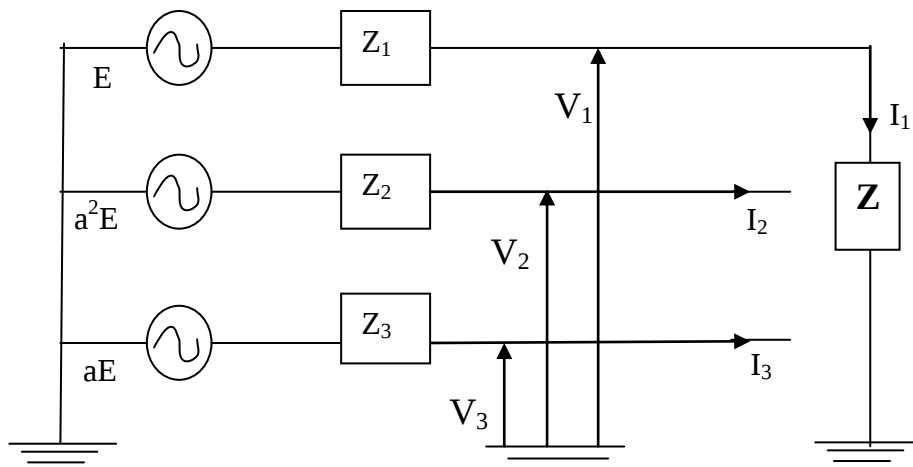


Fig (2-15) Défaut phase -terre

Pendant le défaut on a les équations suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{V_1}{Z} \\ I_2 = 0 \\ I_3 = 0 \\ (V_1=0 \text{ quand } Z=0) \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2-39)$$

En tenant compte des équations du système de composantes symétriques et celles des composantes réelles (2-11),(2-12),(2-13) on détermine les composantes symétriques des courants et tensions :

$$I_2=0 \text{ et } I_3=0 \Rightarrow I_h = I_i = I_d = \frac{I_1}{3} \dots\dots\dots(2-40)$$

$$\text{De même } I_1 = \frac{E}{Z + Z_1} \text{ avec } Z_1 = \frac{Z_h + Z_i + Z_d}{3}$$

$$\text{Donc : } I_1 = \frac{3.E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)} \dots\dots\dots(2-41)$$

$$\text{De la relation (2-40) on déduit } I_h = I_i = I_d = \frac{E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)} \dots\dots\dots(2-42)$$

De l'équation (2-13) on tire les expressions des tensions V_i , V_h et V_d

$$\left. \begin{array}{l} V_i = -\left(\frac{Z_i.E}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d}\right) \\ V_h = -\left(\frac{Z_h.E}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d}\right) \\ V_d = \left(\frac{(Z_h + Z_i + 3Z).E}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d}\right) \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2.43)$$

les résultats sont représentés sur le schéma de la fig (2-17).

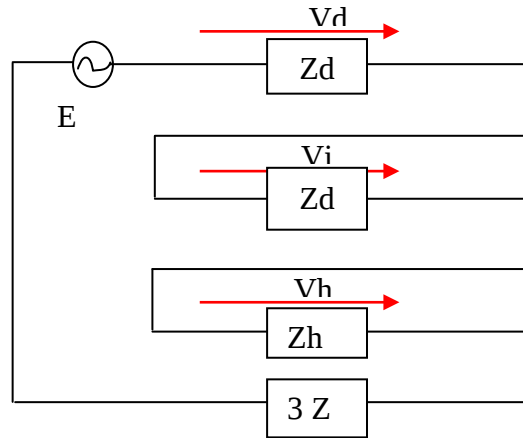


Fig (2-17) Représentation en composantes symétriques lors d'un défaut phase terre.

en fonctions de ses expression on déduit les valeurs réelles des courants et tensions :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{3.E}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d} \\
 I_2 &= I_h + a I_i + a^2 I_d = 0 \\
 I_3 &= I_h + a^2 I_i + a I_d = 0
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2-44)$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{3Z .E}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d} \\
 V_2 &= \frac{a^2 .E [1 - (a Z_h + a^2 Z_i + Z_d)]}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d} \\
 V_3 &= \frac{a .E [1 - (a^2 Z_h + a Z_i + Z_d)]}{3Z + Z_h + Z_i + Z_d}
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2-45)$$

Si le défaut est franc $\Rightarrow Z = 0$ on aura donc :

$$I_i = \frac{3.E}{Z_h + Z_i + Z_d} \dots\dots\dots (2-46)$$

$$V_1 = 0$$

Si le défaut est résistif $\Rightarrow 3Z \gg (Z_h + Z_i + Z_d)$ alors

$$I_1 = \frac{E}{Z} \dots\dots\dots (2-47)$$

2-6 : Force électrodynamique résultante lors d'un court- circuit :

Lors d'un court- circuit , les forces s'exercent sur les parties électriques des conducteurs de la ligne ces forces provoquent des mouvements violents qui peuvent contribuer à créer d'autres court- circuits [14] fig (2,18) .

La force électrodynamique exercée sur un élément du conducteur est donnée par la relation:

$$dF = i \, dl \, B \dots\dots\dots (2,47).$$

I : le courant parcouru dans l'élément de du conducteur.

B : Champ d'induction provenant d'autre courant.

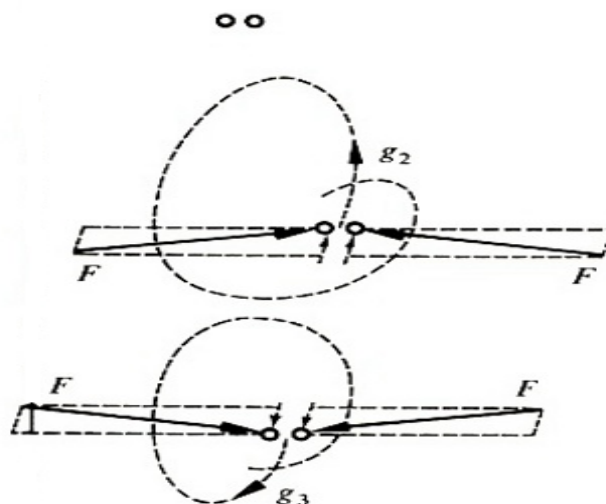


Fig. 2.18 .f.e.d lors d'un court circuit biphasé

g1,g2 galopes engendrées lors d'un défaut entre les phases .

2-7: Echauffement des conducteurs .

lors d'un court- circuit, le courant de défaut devient plus élevé qui peut atteindre dizaine de fois le courant nominal, ce phénomène est accompagné d'un échauffement considérable du conducteur , l'équation déterminant ce problème :

$$\Delta \theta_3 = \Delta \theta_2 + t_2 \int_{t_2}^{t_3} \frac{\rho i^2}{\gamma c S} dt (K) \dots \dots \dots (2-46)$$

s :section du conducteur (m²)

ρ : résistivité (Ωm)

γ :masse volumique (kg/m³)

c :chaleur massique (g/kg k)

t_3-t_2 : durée du court- circuit .(s)

2.8 Effet des arcs sur le réseau électrique :

les coups de foudre provoque un arc électrique entre deux conducteurs ou entre un conducteur et le support métallique , ils engendrent la fusion du métal, l'érosion.....etc.

2.8.1. Perturbations électromagnétiques des arcs

les arcs électriques ont un aspect non linéaire ; ils s'éteignent à chaque passage du courant d'arc par zéro et se réamorcent à une tension relativement élevée qui décroît avec rétablissement du courant Fig (2.19)

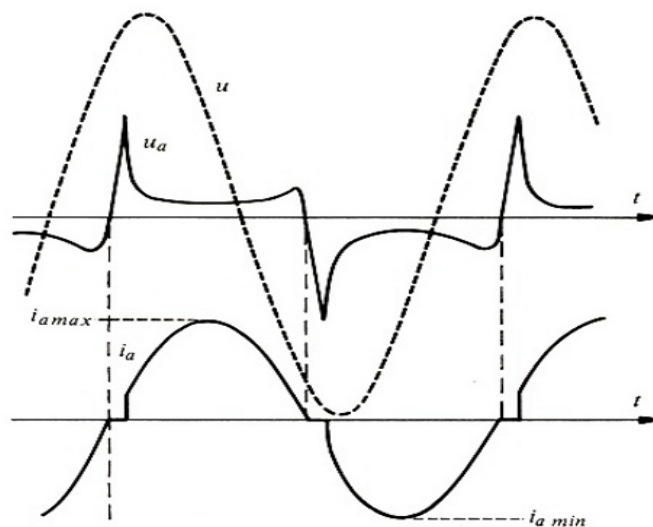


Fig.(2.19) Tension et courant d'arc en fonction du temps

2-9 : Avantage du courant de court –circuit.

Malgré tout les préoccupations des chercheurs sur le danger que cause ce phénomène, ils ont pu utiliser le court –circuit comme un moyen où une technique pour la protection des réseaux électriques , sur tout dans les pays ou il neige et ceci pour faire fondre la glace [7].

Conclusion:

L'étude des différents type de court –circuit nous a permet de conclure ce qui suit :

- **le court –circuit est un phénomène très fréquent ,n'importe quel réseau électrique , station ou sous-station peut être à n'importe quel moment exposé à un défaut de court –circuit .**
- **-tout court –circuit s'accompagne par une surintensité dont la valeur dépend de plusieurs facteurs allant des point de son apparition jusqu' a la source .**
- **L'étude a montré que cette augmentation n'a pas seulement des conséquences néfastes sur le matériel, mais aussi elle peut mettre en péril la vie des usagers .**
- **pour déterminer le courant de court –circuit il est impératif de connaître les paramètres du réseau, et essentiellement les impédances du neutre.**
- **-les courants de court –circuit s'annulent lorsque l' impédances de la boucle de défauts est infinies.**

Méthode D'identification Du Court -Circuit

3.1 Introduction :

La connaissance des courants de court –circuit aux différents points d'une installation électrique est indispensable pour la conception d'un réseau électrique.

Le choix de la méthode de calcul se base sur l'efficacité de la méthode et de sa simplicité d'application.

Le But de ce chapitre est le choix adéquat d'une méthode de calcul , qui nous permet de simplifier l'analyse des défauts dans les réseaux électriques.

Ce choix ne sera possible qu'après une comparaison des différentes méthodes.

3.2 Méthode des unités relatives de base :

Les calculs des régimes de court circuit peut s'effectuer en utilisant les unités relatives.

Cette méthode offre des commodités de calcul et d'analyse très pratiques.

Une première étape pour le calcul , elle permet d'évalué les différentes grandeurs de chaque élément du système par rapport à leur valeurs nominale.

L'utilisation des unités relatives s'explique de la manière suivante:

Supposons qu'on a un élément quelconque d'un circuit électrique triphasé , exemple (un transformateur).

Les paramètres nominaux de cet élément sont :

$U_{nom}(KV)$; $I_{nom}(KA)$; $S_{nom}(KVA)$; $X_{nom}(\Omega)$.

Il est clair que ces paramètres sont lies entre eux par les relations suivantes:

$$\left. \begin{aligned} S_{nom} &= \sqrt{3} U_{nom} I_{nom} \\ X_{nom} &= \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} I_{nom}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.1)$$

N'importe quel autre régime de travail de cet élément y compris le régime de court –circuit se caractérise par d'autre paramètres tels que U, I, S

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt{3} U I \\ X &= \frac{U}{\sqrt{3} I} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.2)$$

Donc ces paramètres peuvent être définies relativement aux valeurs nominales comme suit:

$$\left. \begin{aligned} S_{nom}^* &= \frac{S}{S_{nom}} & ; & & U_{nom}^* &= \frac{U}{U_{nom}} \\ I_{nom}^* &= \frac{I}{I_{nom}} & ; & & X_{nom}^* &= \frac{X}{X_{nom}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.3)$$

Les paramètres qu'on obtient de cette façon sont des valeurs relatives caractérisant l'élément du réseau dans les conditions de travail déterminées (26) , L'indice (*) montre que la valeur est exprimée en unité relative.

Mais en principe ces grandeurs peuvent être évalué par rapport a n'importe quelles autres valeurs de base S_b , I_b , U_b et X_b dont les relations restent les mêmes.

$$\left. \begin{aligned} S_b &= \sqrt{3} I_b U_b \\ X_b &= \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.4)$$

Une fois les grandeurs de base sont connus, les valeurs des unités relatives de base peut être exprimer comme suit :

$$\left. \begin{aligned} S^* &= \frac{S}{S_b} & ; & & I^* &= \frac{I}{I_b} \\ U^* &= \frac{U}{U_b} & ; & & X^* &= \frac{X}{X_b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.5)$$

D'où on peut écrire:

$$\left. \begin{aligned} S^* &= \frac{S}{S_b} = \frac{\sqrt{3}UI}{\sqrt{3}U_b I_b} = U^* \cdot I^* \\ U^* &= \frac{U}{U_b} = \frac{\sqrt{3}IX}{\sqrt{3}I_b X_b} = I^* \cdot X^* \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.6)$$

3.2 1 : Détermination des paramètres des éléments du réseau :

Pour réaliser le calcul en unité relative on doit choisir d'abord la puissance de base (S_b) et la tension de base (U_b) .

Les grandeurs S_b , U_b peuvent être choisies arbitrairement , mais dans la pratique , on choisi des valeurs égales a celle du système énergétique :

$S_b = 100, 1000, 10000 \dots$

U_b = tension moyenne du système électrique au niveau point de défaut elle est déterminée par la formule suivante:

$$U_b = 1,05 U_N \dots\dots\dots (3.7)$$

Ainsi le courant de base :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} \dots\dots\dots (3.8)$$

a- Système électrique:

La réactance du système
Sera déterminé par
L'expression

$$X_{s(m)} = \frac{U_m}{\sqrt{3}I_{cc}} = \frac{U_m^2}{S_{cc}}$$

Ou

U_m : Tension moyenne du nœud pour lequel est donné la puissance de court –circuit
Le passage aux niveau de base, l' expression des réactances sera donnée comme suit:

$$X_{s(b)} = X_{s(m)} / k_t^2 = \frac{U_m^2}{S_{cc}} \cdot \frac{U_b^2}{U_m^2} = \frac{U_b^2}{S_{cc}} \dots\dots\dots (3.9)$$

Donc en unité relative de base

$$X_{s(b)}^* = \frac{X_{s(b)}}{X_b} = \frac{S_b}{S_{cc}} \dots\dots\dots (3.10).$$

b- transformateur

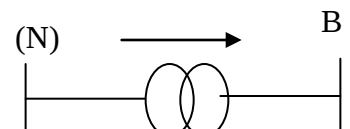
La réactance du transformateur et définie par les paramètres nominaux comme suit:

$$X_{T(N)} = \frac{\Delta U_{cc} \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \dots\dots\dots (3.11)$$

On unité relative on peut écrire:

$$X_{T(N)}^* = \frac{X_{T(N)}}{X_N} = \frac{\Delta U_{cc} \%}{100} = \Delta U_{cc}^* \dots\dots\dots (3.12).$$

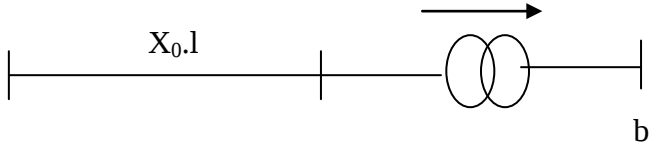
Le passage au unité de base on peut définir:



$$\left. \begin{aligned} X_{T(b)} &= X_{T(N)} \frac{U_b^2}{U_N^2} = \Delta u_{cc}^* \cdot \frac{U_b^2}{S_n} \\ X_{T(b)}^* &= \frac{X_{T(b)}}{X_b} = \Delta u_{cc}^* \cdot \frac{S_b}{S_N} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.13)$$

c- Ligne aérienne :

Les lignes aériennes sont données par leur réactance linéique et leur longueur . ainsi on peut écrire:

$$\begin{aligned} X_l &= X_0 \cdot l \\ X_{l(b)} &= X_l \cdot \frac{U_b^2}{U_m^2} = X_0 \cdot l \cdot \frac{U_b^2}{U_m^2} \\ X_{l(b)}^* &= X_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_m^2} \dots\dots\dots(3.14). \end{aligned}$$


d- Charges (moteur électriques , Compensateur synchrone)

En régime de court –circuit les moteurs électriques se transforment en générateurs dans ce cas il est nécessaire d'en tenir compte dans les schémas de calcul , ils sont définies par leur paramètres subtransitoires ($E_{(N)}^*$, $X_{d(N)}^*$) En unité relative par rapport aux valeurs nominales , dans ce cas elles doivent être réduites au niveau de base :

$$X_{d(b)}^* = \frac{X_{d(N)}^*}{k_T^2} = X_{d(N)}^* \cdot \frac{S_b}{S_N} \dots\dots\dots(3.15)$$

D'où

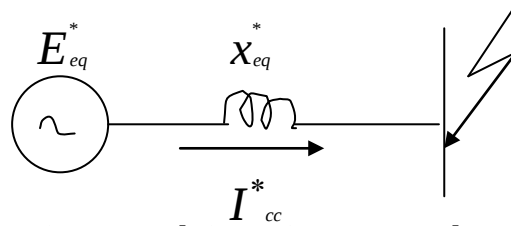
$$k_T = \frac{U_N^2}{U_b^2}$$

$$X_{d(N)}^* = \frac{X_{dn}^*}{X_N}$$

3.3 .2 : Etape de calcul :

L'utilisation de la méthode des unités relatives nous oblige de suivre les étapes suivantes:

- Détermination de l'impédance relative de base équivalente depuis le point de court –circuit jusqu'à la source afin d'obtenir un schéma équivalent simple composé d'une source équivalente et réactance équivalente



- Pendant les transformations on doit tenir compte des connections (étoiles , triangles , séries , Parallèles).
- En exprimant les courants en unité relative par rapport à I_{cc} ,

On obtient :
$$I_{cc}^* = \frac{E_{eq}^*}{X_{eq}^*} \cdot I_b \dots\dots\dots (3.16).$$

3-3 Utilisation des impédances:

Pour calculer le courant de court-circuit en différents points d'une installation électrique, il est nécessaire de calculer l'impédance totale z du réseau en amont du point de défaut.

3.3.1 Principe

Un réseau de distribution de moyenne ou basse tension peut être représenté sous forme d'un schéma (fig.3-1) dans lequel on retrouve toujours les éléments suivants:

- le réseau amont
- les transformateurs
- les disjoncteurs
- les câbles
- les jeux de barres

L'utilisation des impédances consiste à décomposer le réseau en tronçons, caractérisé chacun par une impédance Z [10] composé d'un élément résistant R et un élément inductif x .

On calcul pour chaque tronçon R et X , puis les additionner arithmétiquement.

Réseau amont

$$R_a, X_a$$

.....

Transformateur

$$R_{tr}, X_{tr}$$

.....

Disjoncteur

$$R_{dj}, X_{dj}$$

.....

Jeux de Barre

$$R_j, X_j$$

.....

Câble

$$R_c, X_c$$

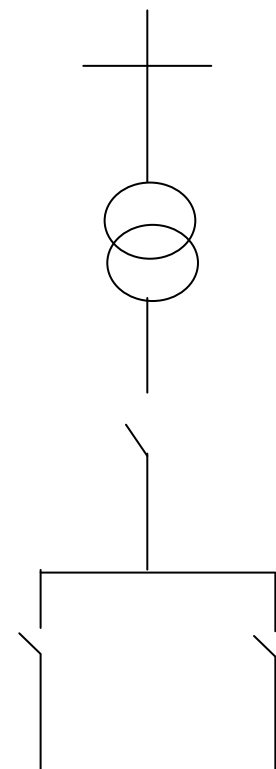


Fig (3.1) Modèle d'une installation électrique.

Le courant de court- circuit est maximum dans le cas d'un court circuit triphasé et est calculé à partir de la relation .

$$I_{cc} = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{\sum r^2 + \sum X^2}} \dots\dots\dots (3.17)$$

U: tension de la source d'alimentation à vide

Z: impédance de la boucle de défaut. Somme vectorielle des résistances et des réactances .

3.3.2 Détermination des Résistances et réactances d'une installation

a- Réseau amont .

Le réseau amont est caractérisé par sa puissance de court- circuit qui définit l'impédance Z_a ; pour la détermination de la résistance et de la réactance , il est nécessaire de considérer que les réseaux à haute tension sont 7 fois plus inductifs que résistif (R_a : négligeable devant X_a) . Donc l'impédance du réseau amont Z_a ramenée au secondaire du transformateur est donnée par la relation suivante:

$$Z_a = \frac{U_0^2}{S_{cc}} \dots\dots\dots (3.18)$$

Tension composée entre phase a vide. U_0 :

:puissance de court -circuit S_{cc}

Z_a : impédance

$$\dots\dots(3.19) \quad \frac{r_a}{X_a} = 0,15 \text{ Pour un calcul précis on prend}$$

b- Transformateur:

L'impédance du transformateur Z_{tr} vue du secondaire est donnée par la relation:

$$Z_{tr} = \frac{U_{cc} \%}{\sqrt{3} I_n} \dots\dots\dots (3.20)$$

$$\text{Avec : } I_n = \frac{\sqrt{3} U_n}{S} \dots\dots\dots (3.21)$$

U_{cc} : tension de court- circuit en %

S : puissance du transformateur

Z_{tr} : impédance du transformateur

pour calculer la résistance r_{tr} du transformateur c'est à partir des pertes de cuivre P_{cu} .

$$P_{cu} = 3 r_{tr} I_n^2 \quad \text{D'où} \quad r_{tr} = \frac{P_{cu}}{3 I_n^2} \dots\dots\dots (3.22) .$$

donc la réactance X_{tr} se déduit de la relation .

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - r_{tr}^2} \dots\dots\dots(3.23)$$

c/ Conducteur et appareillage

❖ câble

La résistance du câble peut être calculée à l'aide de la formule suivante .

$$R_c = \frac{\rho}{s} . l \dots\dots\dots(3.24)$$

ρ : Résistivité du câble

l : longueur

S : section .

Mais en générale la réactance est donnée par le fabricant, elle est négligeable pour les sections inférieure à 25 mm².

En l'absence d'indication , la réactance est prise égale à 0.08 Ω/Km .

La Résistivité normalisée est :

Pour le cuivre : $\rho = 21,983 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}$.

Pour l'aluminium : $\rho = 36,232 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}$.

❖ Jeux de barre

La résistance du jeu de barre est supposée négligeable sauf pour les faibles sections ; la réactance est supposée égale à 0,15 Ω /km.

❖ Disjoncteur :

La résistance d'un Disjoncteur négligeable est sa réactance est supposée égale à 0,15 Ω /km.

3-3-3 Différent type de court-circuit

a: Court-circuit triphasé

C'est le défaut qui correspond à la réunion des trois phases, l'intensité du court circuit I_{cc3} est:

$$I_{cc3} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc}} \dots\dots\dots (3.26).$$

U: Tension composée entre phase

Z_{cc} : l'impédance équivalente

de la source jusqu'au point de défaut

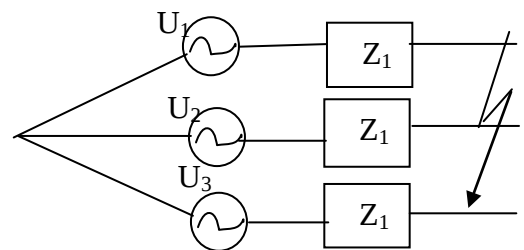


Fig. 3.2 . Représentation d'un réseau en impédance
(cc. triphasé)

b: Court- circuit . biphasé:

Il correspond à un défaut entre deux phases, l'intensité du court- circuit I_{cc2} est:

$$I_{cc2} = \frac{U}{2Z_1} \dots\dots\dots (3.27)$$

donc on à:

$$I_{cc2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{cc3} \dots\dots\dots (3.28)$$

($I_{cc3} > I_{cc2}$).

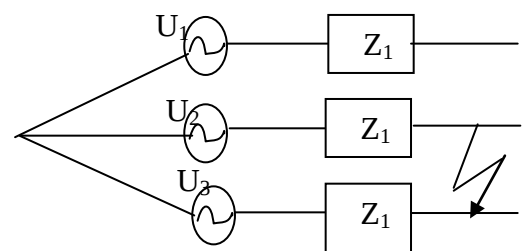


Fig. 3.3 . Représentation d'un réseau en impédance
(cc. biphasé)

c: Court- circuit monophasé isolé

Il correspond à un défaut entre une phase et le neutre, l'intensité du court-circuit est:

$$I_{cc1} = \frac{V}{Z_{cc} + Z_n} \dots\dots\dots(3.29)$$

V: tension simple

Z_n : impédance du neutre

Z_{pe} : impédance du conducteur de protection

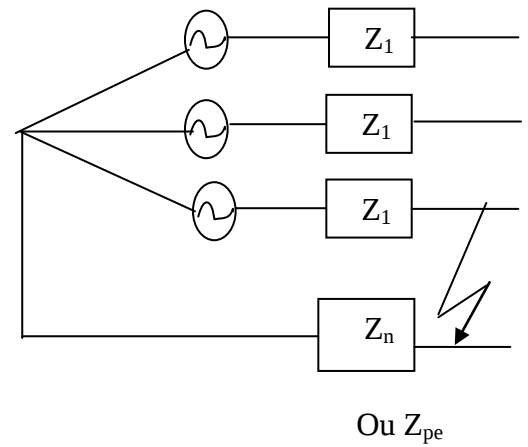


Fig (3.4) réseau en impédance (cc. monophasé isolé)

d: court- circuit monophasé à la terre:

L'intensité du court- circuit est:

$$I_{cc1} = \frac{V}{Z_{cc} + Z_0}$$

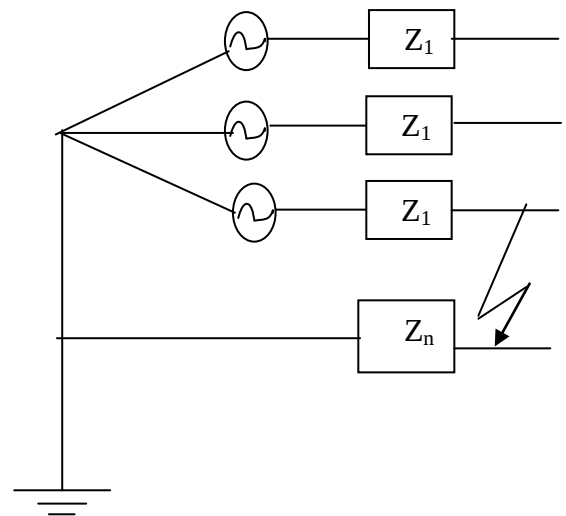


Fig (3.5) réseau en impédance (cc. monophasé à la terre)

3-3-4 détermination de l'impédance homopolaire

- pour un transformateur

$$Z_h \approx |Z_{htr} + Z_{hl}| \dots\dots\dots(3.30)$$

$$Z_{htr} = Z_{itr} = Z_{dtr} \dots\dots\dots(3.31)$$

Z_{hl} : impédance de liaison liant la source au point de défaut

$$Z_h = 3 Z_{dl} \dots\dots\dots(3.32)$$

Si nous avons plusieurs points de court - circuits, la valeur du courant de défaut varie selon l'impédance équivalente des différentes parties du réseau juste avant le point étudié.

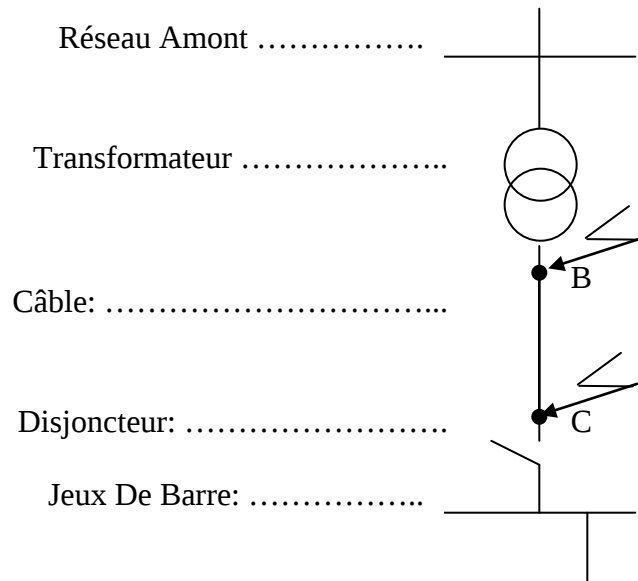


fig. 3.6 Double défauts dans une installation électrique

Donc le court circuit au point B est limité par l'impédance du transformateur et celle du réseau amont, par contre le court -circuit au point C (I_{cc}) est limité par l'impédance du transformateur, du réseau amont et celle du câble, on aura donc:

$$I_{ccB} \geq I_{Cc} \dots\dots\dots(3.34)$$

En déduit que plus le point de défaut est plus proche de la source plus le courant du court -circuit est important.

Et a partir des formules qu'on à vue avant, on remarque que le courant du court-circuit est maximum dans le cas d'un court -circuit triphasé.

3-4 Méthode des composantes symétriques:

Parmi les méthodes utilisées dans l'analyse et le calcul des courants de court – circuit il y a la méthode des composantes symétriques.

les systèmes de production et de transport d'énergie électrique même à l'échelle internationale comme (EDF) de France ils sont soumis à des forces électromotrices triphasés équilibrée et direct .

l'ensemble des appareils consommant de l'énergie électrique telle que les consommateurs puissants (moteurs.....) sont également soumis à un système triphasé équilibrées directs quant aux consommateurs de faible puissance (lampes d'éclairages, les appareils électroménagersetc) qui sont branchés entre une phase et le neutre leur ensemble constitue, statiquement un système équilibré. par conséquent l'ensemble formé par les circuits de production, de transport et de consommation de l'énergie électrique forment un système symétrique [11].

Ce pendant des dissymétries importantes(du à un défaut ou à des charges) peuvent se produire ; Cela explique la nécessité d'utiliser la méthode des composantes symétriques pour déterminer les valeurs des courants et tensions dans le réseau déséquilibré .

3-4-1 Condition d'utilisation des composantes symétriques :

l'emploi des composantes symétriques à un système générateur récepteur Exige un système de tension triphasé sinusoïdales, c'est à dire que les relations doivent être linéaires ($R = Cte$, $L = Cte$) .

Pour étudier un système dans les conditions de fonctionnement non équilibrés (amplitudes différentes , déphasages différents) .

Dans ce cas on se ramène à l'utilisation de la méthode de FORTEscue qui se repose sur le principe de superposition de trois systèmes symétriques (direct , inverse et homopolaire) [1] et [16].

3-4-2 : Principe de la méthode :

La méthode des composantes symétriques consiste à substituer un système initial déséquilibré de "q" grandeur complexe cette transformation est assurée par un opérateur matriciel complexe appelé matrice de FORTEscue noté par $[F_q]$, dont les coefficients sont formés à partir de la Résolution de l'équation Complexe:

$$Z^q - 1 = 0 \dots\dots\dots (3.35)$$

cette équation peut s'écrire :

$$Z^q - 1 = (Z - Z_1)(Z - Z_2) \dots\dots\dots (Z - Z_q) \dots\dots\dots (3.36)$$

ou $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ sont les racines complexe de l'équation..

$$Z_1 = 1$$

$$Z_2 = e^{j\frac{2\pi}{q}} = a$$

$$Z_3 = e^{j\frac{4\pi}{q}} = a^2$$

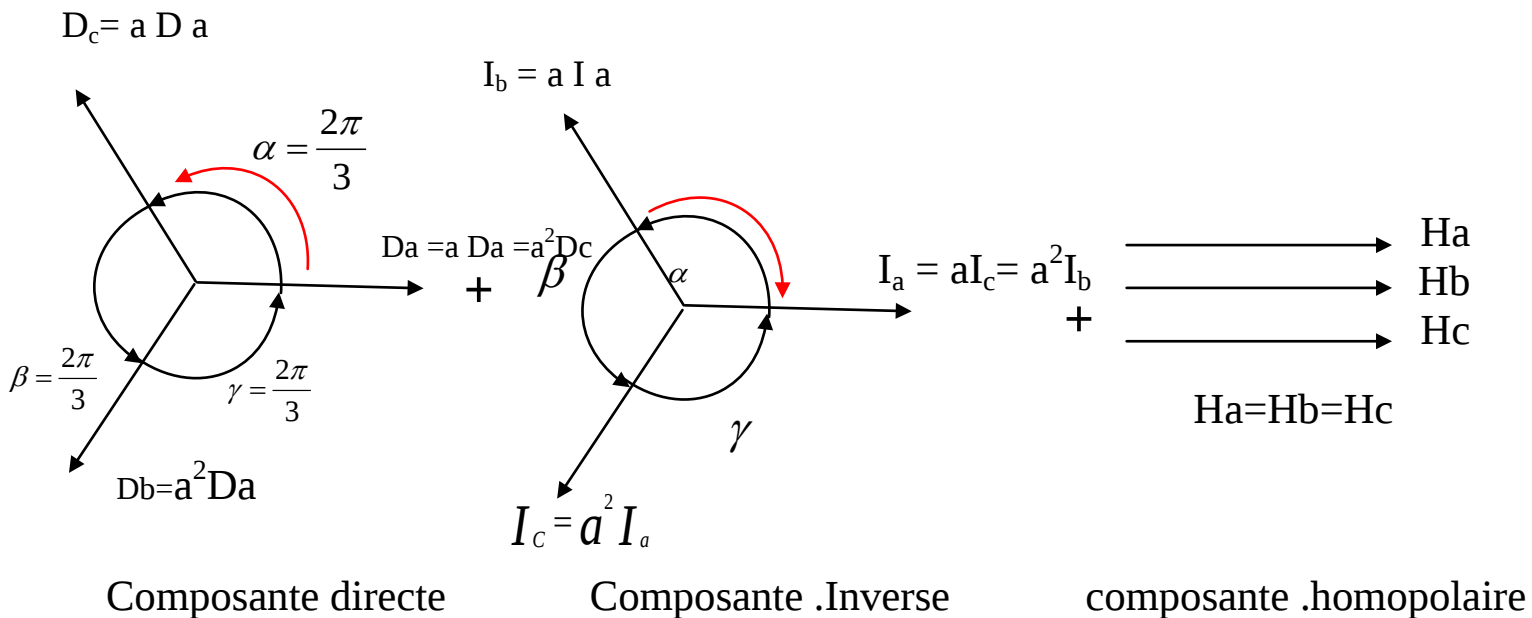
.....

$$Z_q = e^{j\frac{2(q-1)\pi}{q}} = a^{q-1}$$

3.4.3 : Détermination des Composantes Symétriques.

Il y'a trois types différents de système équilibré de trois vecteurs :

- Système direct (d), chaque vecteur est déphasé de $\frac{2\pi}{3}$ en arrière du précédent.
- Système inverse (I), chaque vecteur est déphasé de $\frac{2\pi}{3}$ en avant du précédent.
- Système homopolaire (h) les trois vecteurs équipollents.



Fig(3.7) . Systèmes symétriques équilibrés

L'opérateur " a " = $e^{\frac{j2\pi}{3}}$ signifie : « qui tourne d'un angle $\frac{2\pi}{3}$ »

on a :

$$a^2 = e^{\frac{j4\pi}{3}} = e^{-\frac{j2\pi}{3}}$$

$$a^3 = 1$$

Donc: $a^3 D_A = D_A \Rightarrow a^3 = 1$

$$D_A + D_B + D_C = 0 \Rightarrow D_A(1 + a + a^2) \dots\dots\dots(3.37).$$

C'est à dire : $1 + a + a^2 = 0$

on peut effectivement décomposer au système (A,B ,C)de trois vecteurs déséquilibrés en trois systèmes équilibré (D .I .H) les équations seront :

$$\left. \begin{aligned} A &= D_A + I_A + H_A \\ B &= D_B + I_B + H_B \\ C &= D_C + I_C + H_C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.38).$$

les valeurs portées sur la fig (3.7) permet d'écrire les trois vecteurs A,B et C comme suit :

$$\left. \begin{aligned} A &= D_A + I_A + H_A \\ B &= a^2 D_B + a I_B + H_B \\ C &= a D_C + a^2 I_C + H_C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.39).$$

C'est un système de trois équations du premier degré à trois inconnues , en faisant la somme on aura :

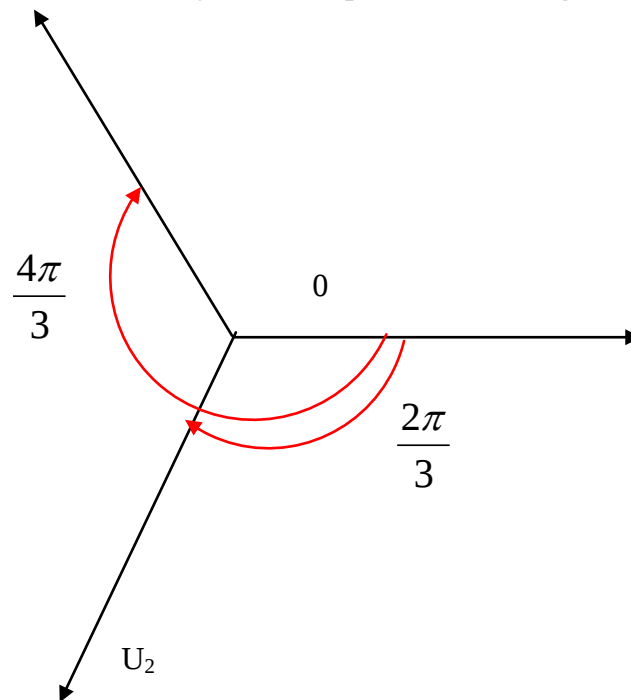
$$\left. \begin{aligned} 3H_A &= A + B + C \\ 3D_A &= A + aB + a^2 C \\ 3I_A &= A + a^2 B + aC \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.40).$$

à savoir que : $a^3=1$: $a^4=a$: et $1+a+a^2=0$.

Ces formules fondamentales donnent les composantes symétriques des trois vecteurs A,B et C à conditions de les associer avec celles de la fig(3.7).

3-4-4 : Application a un système triphasé :

Considérons un Réseau ou un système triphasé direct fig (3.8)



Fig(3.8) . Représentation des tensions d'un système direct

En prenant le vecteur U_1 Comme référence (origine)il vient alors.

$$\overline{U}_1 = \overline{U}_1 \quad ; \quad \overline{U}_2 = a^2 \overline{U}_1 \quad ; \quad \overline{U}_3 = a \overline{U}_1$$

Dans un système équilibré direct :

$$\overline{U}_1 + \overline{U}_2 + \overline{U}_3 = \overline{U}_1 (1 + a^2 + a) = \overline{U}_1 (1 + e^{j\frac{4\pi}{3}} + e^{j\frac{2\pi}{3}}) = 0 \dots \dots \dots (3.41)$$

Dans le cas d'un système triphasé asymétrique de grandeurs sinusoïdales , de tensions simples U_1, U_2, U_3 , on peut considérer ce systèmes comme la superposition de trois systèmes équilibrés .Le théorème de FORtescue s'énonce ainsi :

Un système de grandeurs complexe U_1, U_2, U_3 se décompose en trois systèmes symétriques.

- système direct définit par $\overline{U}_d$ constitue de trois grandeurs ayant le même amplitude et d'argument différents.

$$\overline{U}_d \quad a^2 \overline{U}_d \quad a \overline{U}_d$$

- Système inverse définit par $\overline{U}_i$ constitue de trois grandeurs ayant même amplitudes et d'arguments différents

$$\overline{U}_i \quad a \overline{U}_i \quad a^2 \overline{U}_i$$

- Système homopolaire définit par U_h constitue de trois grandeurs ayant le même module et le même argument $\overline{U}_h \quad \overline{U}_h \quad \overline{U}_h$

Les coefficients de la matrice de Fortescue sont alors formés pour la résolution de l'équation :

$$Z_1 = 1 \quad Z_2 = e^{\frac{j2\pi}{3}} \quad Z_3 = e^{\frac{j4\pi}{3}}$$

On a alors :

$$\begin{bmatrix} \overline{U}_1 \\ \overline{U}_2 \\ \overline{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{U}_h \\ \overline{U}_d \\ \overline{U}_I \end{bmatrix} = [F_3] \cdot \begin{bmatrix} \overline{U}_h \\ \overline{U}_d \\ \overline{U}_I \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3.42)$$

$$\text{Avec } a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

D'où on définit la matrice de Fortescue F_3 .

$$F_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \text{ et son inverse } F_3^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3.43)$$

Il suffit de multiplier par F_3 les composantes réelles du système triphasé pour obtenir les composantes symétriques et de multiplier les composantes symétriques par F_3^{-1} pour revenir au système réel..

3-4-3-1 Cas d'une charge équilibrée (Régime saint)

Si nous avons un système électrique équilibré en régime de fonctionnement normal (saint) les paramètres de système seront définis de la manière suivante :

$$\overline{E}_h = (\overline{Z}_{hg} + \overline{Z}_{hc}) \overline{I}_h \quad \dots\dots\dots(3.44)$$

$$\overline{E}_d = (\overline{Z}_{dg} + \overline{Z}_{dc}) \overline{I}_d = \overline{E}_1 \Rightarrow \overline{I}_d = \frac{\overline{E}_1}{\overline{Z}_{dg} + \overline{Z}_{dc}} \quad \dots\dots\dots(3.45)$$

$$\overline{E}_i = (\overline{Z}_{ig} + \overline{Z}_{ic}) \overline{I}_i \quad \dots\dots\dots(3.46)$$

Ou :

Z_{hg} , Z_{dg} , Z_{cg} : les impédances symétriques du générateur

Z_{hc} , Z_{dc} , Z_{ic} : les impédances symétriques de la charge .

3-4-3-2 cas d'apparition du défaut.

si un défaut de court –circuit apparaît dans le système, les composantes symétriques seront déterminées par les équations suivantes :

- la composante homopolaire .

$$\overline{U}_{hc} = -\overline{Z}_{hc} \cdot \overline{I}_{hc} \dots\dots\dots (3.47).$$

$$\text{ou } \overline{I}_{hc} = \frac{\overline{U}_{hc}}{\overline{Z}_{hcc}} \dots\dots\dots (3.48).$$

$$\overline{Z}_{hcc} = \overline{Z}_{hg} \parallel \overline{Z}_{hc} = \frac{\overline{Z}_{hg} \cdot \overline{Z}_{hc}}{\overline{Z}_{hg} + \overline{Z}_{hc}}$$

- composante direct , le courant de défaut directe :

$$\overline{I}_{dcc} = \frac{E_1 \overline{Z}_{dc}}{\overline{Z}_{dg} + \overline{Z}_{dc}} - \frac{\overline{Z}_{dg} \overline{Z}_{dc}}{\overline{Z}_{dg} + \overline{Z}_{dc}} U_d \dots\dots\dots (3.49).$$

- Composante inverse, Le courant de défaut sera calculé de la manière suivante:

$$\overline{I}_{icc} = \frac{\overline{U}_i}{\overline{Z}_{icc}} \dots\dots\dots (3.50)$$

$$\overline{Z}_{icc} = \overline{Z}_{ig} \parallel \overline{Z}_{ic} = \frac{\overline{Z}_{ig} \cdot \overline{Z}_{ic}}{\overline{Z}_{ig} + \overline{Z}_{ic}} \dots\dots\dots (3.51)$$

3-4-4 Détermination des impédances directes , inverse et homopolaire pour différents éléments d'un réseaux électrique.

a/ les générateurs .

les générateurs génèrent la composante direct du système symétriques, la réactance inverse est inférieure à la réactance directe transitoire , la réactance homopolaire n'est prise en considération que lorsque le point neutre de l'alternateur est relié à la terre, sa valeur est de l'ordre de la moitié de la réactance Subtransitoire directe .

l'ordre de grandeur de la réactance directe lors d'un court -circuit varie de sa valeur Subtransitoire à sa valeur synchrone sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Type de la réactance	Réactance (machine à pôle saillant)	Réactance (machine a pôle lisse)
Subtransitoire X''	30 %	20%
transitoire X'	40%	25%
Synchrone X	120%	200%

6)Les transformateurs:

Type de Transformateur	Réactance homopolaire
Transformateur sans neutre	∞
Y,yn ou Z,yn avec flux libre	∞
Y,yn ou Z,yn avec flux forcé	(10à15) X_d
D,yn ou YN,yn	x_d
Primaire / Zn	(0,1 à 0,2) X_d

Les impédances directe, et inverse, sont égales, l'impédance homopolaire n'est prise en compte que lorsque le point neutre est relié à la terre et sa valeur dépend du couplage des enroulements. Le tableau ci-dessous montre les valeurs de la réactance homopolaire pour différent couplage.

c/ Lignes:

Pour les lignes à un conducteur par phase la réactance directe et inverse sont égaux (cas des lignes à haute tension)nous avons

$$R_d = R_i = 0.16 \Omega / Km, X_d = X_i = 0.4 \Omega / Km.$$

Pour les lignes à 2,3 ou 4 conducteurs par phase nous avons:

$$R_d = R_i = 0,04 \Omega / Km, X_d = X_i = 0.32 \Omega / Km$$

L'impédance homopolaire vaut environs trois fois l'impédance direct

Conclusion:

L'analyse des différentes méthodes de calcul ou de détermination des paramètres du réseau pour le calcul du courant de court- circuit nous à permet de déduire ce qui suit:

- ⚡ L'utilisation des unités relatives de bases est une méthode simple est facile à appliquer mais parfois les résultats obtenus ne sont pas exactes d'une part, d'autre part vu la complexité des réseaux d'alimentation et de transport d'énergie électrique son domaine d'application devient plus au moins réduit à cause du manque de données nécessaires au calculs.
- ⚡ La méthode des composantes symétriques est une méthode particulièrement utile pour le calcul lorsqu'il s'agit d'un réseau électrique déséquilibré. elle donne des résultats exacts mais elle demande beaucoup de données et beaucoup de temps.
- ⚡ Quand à l'utilisation des impédances on peut dire que c'est la méthode la plus facile et la plus simple à appliquer surtout avec le développement de l'outil informatique.

Mais il est très important de souligner qu'il est parfois impératif d'utiliser la combinaison de ces méthodes à la fois pour avoir des résultats très exactes.

Introduction:

Traditionnellement , les simulateurs des réseaux électriques étaient montés à partir de composantes de taille réduite et complètement analogique pour modéliser les lignes de transports, les transformateurs et les charges.

Les efforts n'ont-ils guère arrêté de réaliser une meilleure simulation des réseaux, car la simulation est devenue actuellement la technique la plus adoptée par la plus part des chercheurs.

La simulation nous permet de connaître d'une manière générale le comportement du réseau, et de déterminer la valeur de tension, courant et courant de court circuit à chaque point du système électrique.

4-1 Présentation de l'entreprise:

Le complexe d'el hadjar a été créé le 04 septembre 1964 , suite à l'exécution d'une politique définie et exprimée par le gouvernement algérien de l'époque.

Le complexe sidérurgique d'el hadjar situé à 15 km sud de la ville d'Annaba , occupe une superficie de 800 Hectars, qui se réparties approximativement en trois (03) zones:

- Les ateliers de productions 300 H.
- Zones de stockages 300 H.
- Surface de services 200 H.

Le complexe a pour mission de valoriser le minerai de fer national et de fabriquer les semi-produits sidérurgiques; il est structuré en 04 zones de productions.

- Zone matière première (cokerie , PMA, HF).
- Zone produit plat (LAC, LAF).
- Zone produit long (ACO1, ACO2, LFR).
- Zone tuberie (TSS, parachèvement, ACE, TUS).

Dans le cadre de la politique de privatisation qui a été optée par le gouvernement ; le 18 octobre 2001 le LNM a signé un protocole d'accord avec sider pour transformer à ISPAT ANNABA, cette entreprise privée qui est 2ème sidérurgique mondiale , cette acquisition a pour but de devenir le leader dans l'industrie sidérurgique et de concurrencer le marché européen.

4-2 Schéma du réseau de distribution du complexe:

La distribution de l'énergie électrique dans le complexe sidérurgique est réalisée par quatre(04) postes de 63 KV chacun et qui sont réparties comme indiqué sur le schéma de la figure (4.1).

Le réseau spécifié pour l'étude est celui du réseau d'alimentation de l'aciérie à oxygène N°1 (ACO1) à partir du poste N°1, on indiquant la partie la plus exposée au défaut de court circuit.

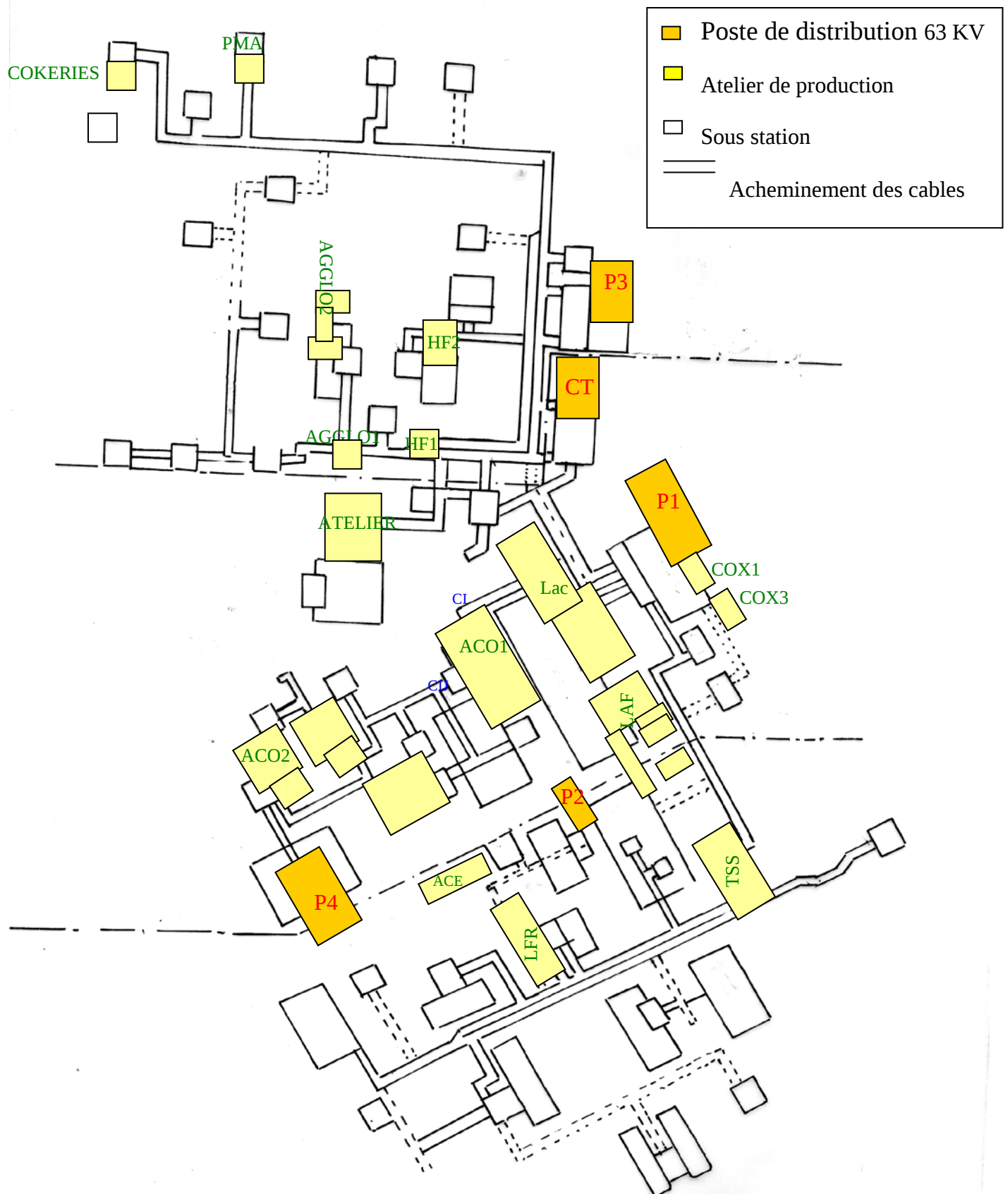


FIG (4.1) IMPLANTATION DES POSTES DE DISTRIBUTIONS 63KW

L'aciérie à oxygène N°1 constitue une partie intégrante du complexe sidérurgique. Elle est planté au centre du complexe, au sud du laminoir à chaud dont elle assure l'alimentation en brames .

L'ACO1 contient des installations et des équipements requis pour la production de 1400000t de brames par an. Elle comprend deux zones stratégiques:

4-3-1 Zone Elaboration De L'acier:

Le centre d'élaboration d'acier se subdivise en plusieurs zones de production dont les activités se rejoignent pour alimenter la machine à coulée continué en acier liquide.

a- Manutention de ferraille (PAF):

Le poids de ferraille (20t) chargé dans le convertisseur par le pont.

b- Manutention de la fonte liquide (VF):

La fonte arrive des hauts fourneaux dans des poches tonneaux d'une capacité de 300t (à 400°C) . elle déversé dans une poche à fonte , manutentionnée par le pont; avant le chargement du convertisseurs elle passera par le poste de décarasse.

c- Convertisseurs(zone affinage: AFF)

L'installation comporte trois (03) convertisseurs dont deux (02) en services, le troisième étant en réserve. Pour chaque convertisseur , sont prévues de deux lances à oxygènes reliées à un flexible à oxygène et deux à eaux pour le refroidissement des lances.

La fonte liquide est convertie en acier liquide à 1680°C.

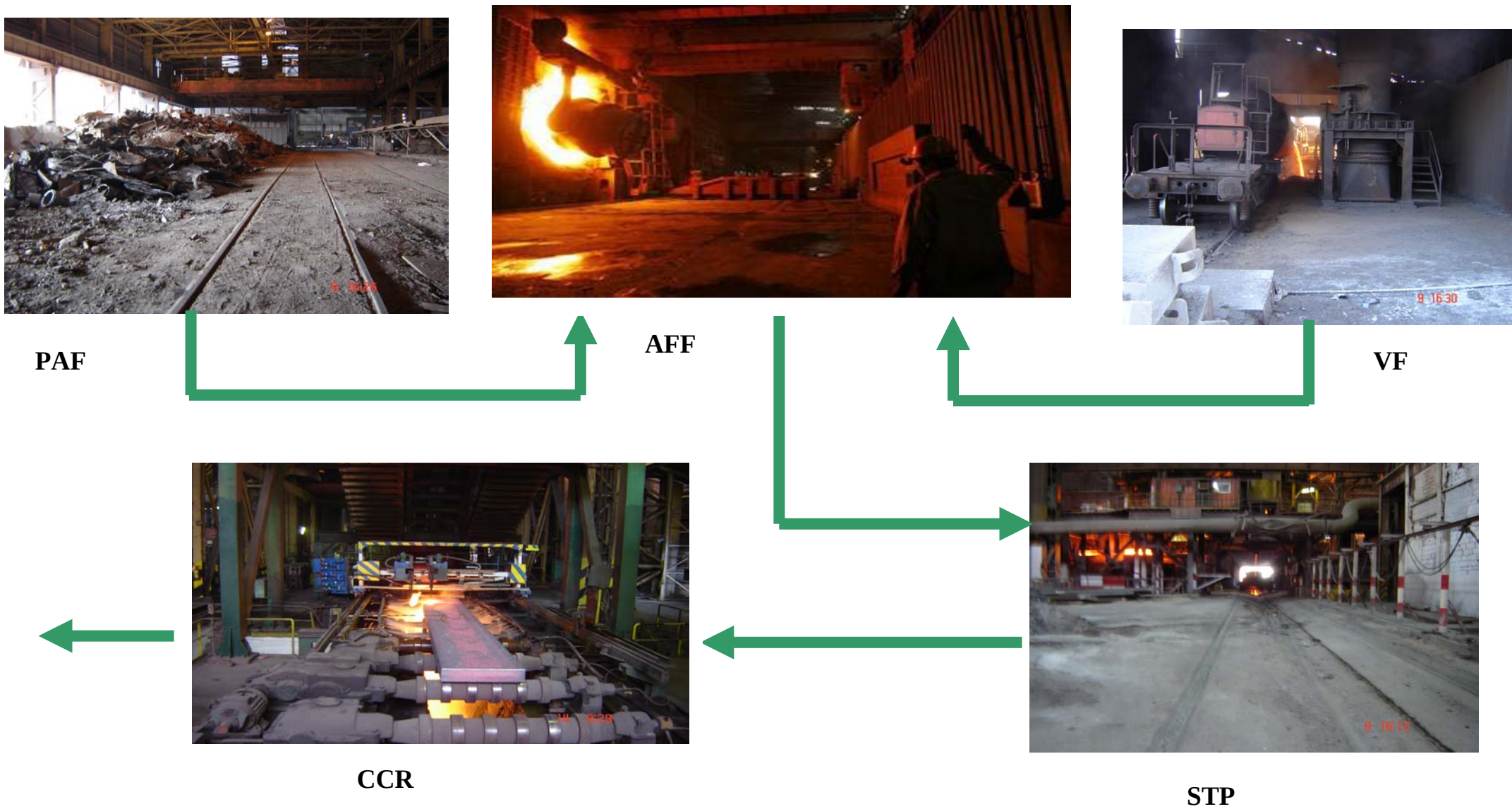
d- Station De Traitement(STP)

Manutention de l'acier liquide par le chariot à acier vers la station de traitement pour homogénéiser le liquide ensuite la dirigé vers la machine à coulée continue.

4-3-2 Machine à coulée continue (MCC):

L'installation comporte deux(02) machines en parallèle; la poche pleine est soulevée du chariot à acier au moyen d'un pont et dirigé sur les machines qui font la transformation de l'acier liquide en brames.

Les brames sortant des machines , évacuées vers un parc de stockage par l'intermédiaire d'une ligne à rouleau et d'un pont comme le montre la figure (4.2).



Fig(4.2) Fonctionnement de l'aciérie à oxygène N°01

4-4 Schéma du réseau à étudier :

L'alimentation s'effectue en courant triphasé 63 KV provenant du sonelgaz , l'énergie évacuée sur le réseau moyen tension à travers trois (03) transformateurs identiques abaisseurs montés en parallèles (63/15)KV ; de puissances 22,5 MVA chacun , deux disjoncteurs de départs 15KV , deux câbles souterrains en parallèles de 300mm² chacun sur une longueur de 0,74 KM vers la sous-station I (15 KV) .

La basse tension 400V alimente le jeux de barre CIJD à travers un transformateur abaisseur (15/0,4)KV. De puissance 1,6 MVA débite sur un disjoncteur (3200 A) alimentant les trolleyes des ponts roulants zone affinage comme le montre la figure (4.3)

Poste N° 1

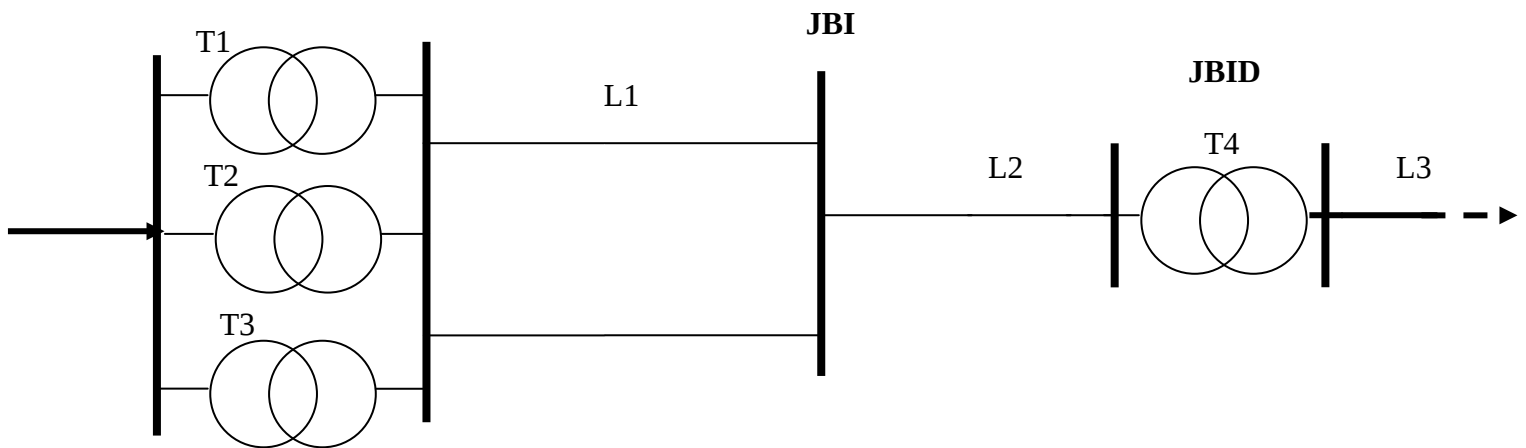


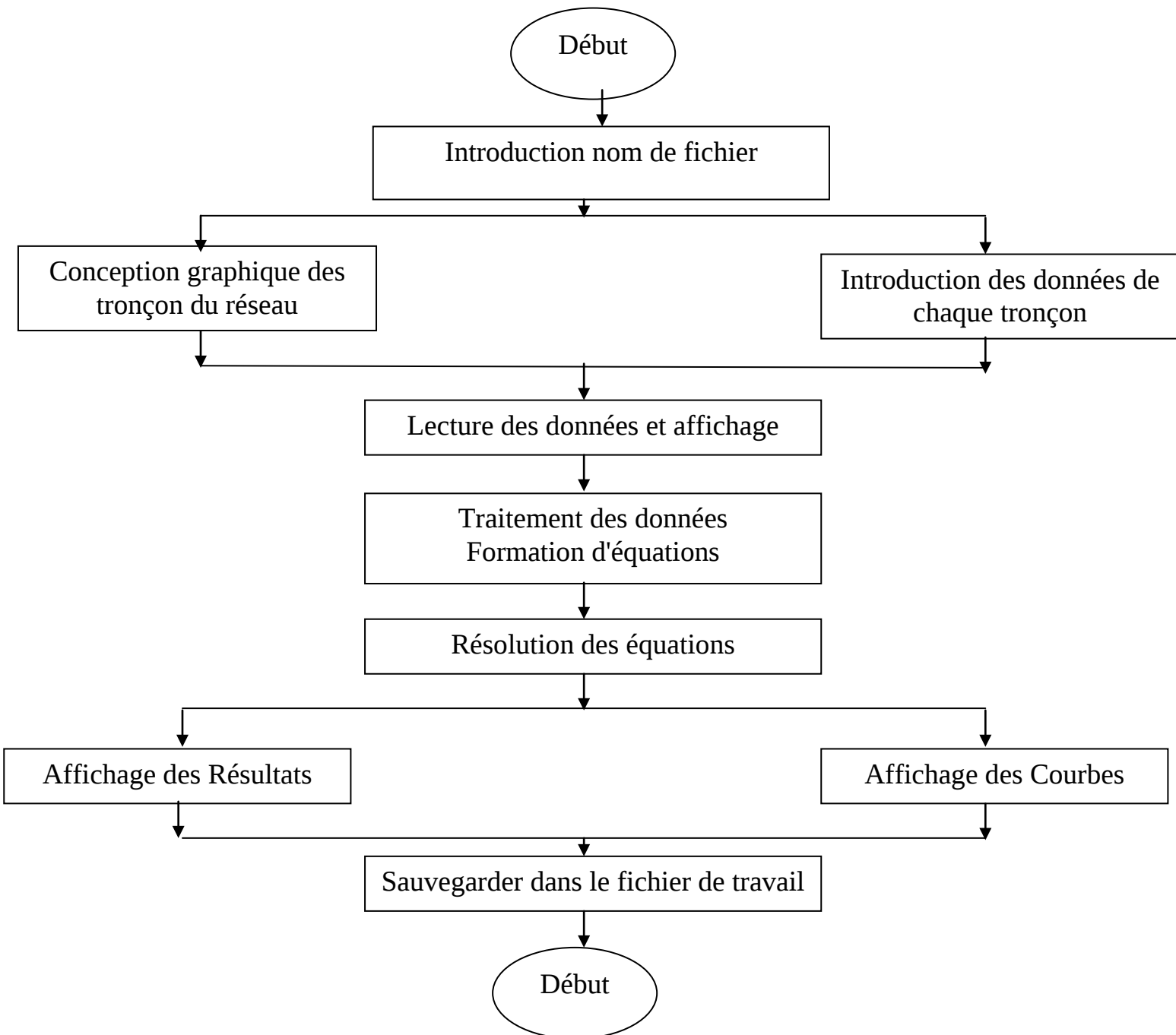
Fig. 4.3 . Schéma du réseau

4-5 Méthode de calcul des courants de court –circuit:

Pour la modélisation et le calcul des paramètres du réseau lors de l'apparition d'un défaut de court circuit, nous proposons d'abord une méthode qui se repose sur la combinaison de toutes les méthodes déjà vue, l'utilisation de ses méthodes est définie de la manière suivante :

Le modèle des unités relatifs pour le calcul des paramètres des différentes parties du réseau étudié, la méthode des composantes symétriques pour la détermination des composantes symétriques lors du défaut essentiellement la composante homopolaire des courants et la méthode des impédances constitue la technique de base pour la modélisation des différents tronçons de l'installation .

Actuellement ils utilisent un logiciel de calcul dont l'organigramme fonctionnel est représenté ci-dessous.



Organigramme fonctionnel du logiciel de simulation

4-5-1 Présentation du problème :

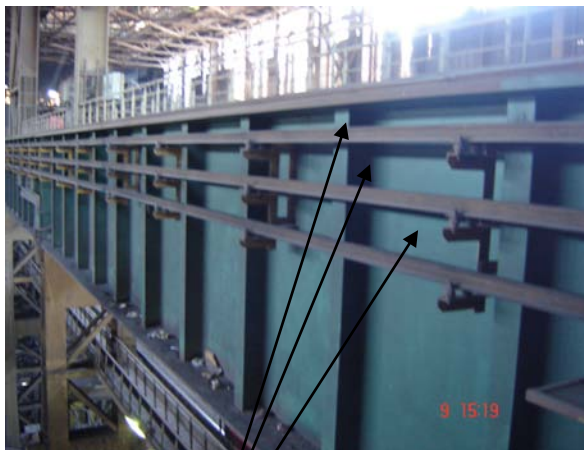
Le secteur affinage c'est l'un des secteurs stratégique de l'aciérie à oxygène (ACO1), qui est liée directement à la HF2, un arrêt non programmé de ce secteur peut provoquer l'arrêt total du complexe, car 80% de la fonte produite est consommée par l'ACO1.

A ce point de vue tous le personnels (cadre, maîtrise et ouvrier) sont mobilisés pour que le secteur affinage soit entièrement pris en charge; malgré cette

préoccupation on a enregistré des arrêts de 15 mn jusqu'à 30 mn de ce secteur a cause des défauts de court –circuit survenus sur les trolleys d'alimentation ponts -roulants.

Ces défauts sont à l'origine soit à la déformation du pontographe (utilisation non-conforme du pont), soit à une chute de barre de ferraille sur les trolleys.

Ces arrêts causes une perte économique qui est évaluée à environ 15360 \$ soit (2 t/mn ; 1t $\approx$ 256\$.)



Trolleys



Pontographes

Fig. 4.4. Représentation des trolleys et pontographes

4-5-2 Méthodologie de calcul des courts –circuits:

Pour le calcul et la simulation du court –circuit dans le réseau , on adopte les principes qui sont proposés comme convention mathématique afin de donner la légitimité de combiner entre les méthodes revues dans le chapitre précédent et de passer de la méthode des unités relatifs de bases à celles des composantes symétriques et celle des impédances ; ces conventions sont:

- L'impédance du câble
- L'impédance directe est toujours utilisée pour le calcul des défauts .
- L'impédance homopolaire est seulement utile pour le défaut de type (phase terre, phase neutre , deux phases terre).
- L'impédance du neutre est utile pour le calcul du défaut phase terre.

a- Défaut triphasé:

Soit Z_c l'impédance de contact , lors de la simulation d'un court –circuit triphasé, les composantes du courant seront définies comme suite:

$$I_d = \frac{V_s}{Z_d + Z_c}$$

$$I_i = 0$$

$$I_h = 0$$

b- Défaut biphase:

Pour la simulation et le calcul du défaut biphase on utilise les équations suivantes:

$$I_d = \frac{V_s}{Z_d + Z_i + 2Z_c}$$

$$I_i = -I_d$$

$$I_h = 0$$

c- Défaut monophasé:

Soit Z_c l'impédance de contact et Z_t l'impédance reliée à la terre, un court – circuit monophasé sera déterminé comme suite :

$$I_h = \frac{V_s}{Z_d + Z_i + Z_h + 3(Z_c + Z_t)}$$

$$I_d = I_h$$

$$I_i = I_h$$

Données**1-La Source**

Nom de la source	Tension (KV)	Puissance Du Court – Circuit (MVA)
Arrivé sonelgaz	63	1500

2- Transformateurs

	T1,T2,T3	T4
Puissance (MVA)	22,5	1,6
Tension d'entrée (KV)	63	15
Tension de sortie (KV)	15	0,4
couplage		
Tension de court – circuit (%)	14	06
Puissance de Court – Circuit (MVA)	500	28

3- Lignes

	L1	L2	L3
Section (mm²)	300	150	95
Longueur (m)	740	250	50

Calcul Du Courant Nominal Au Niveau Trolley

Le courant nominal I_{2n} disponible au niveau trolley sera calculer de la manière suivante:

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = 2919A$$

Calcul Des Courants De Courts –Circuits

Les résultats de calcul des différents courants de courts –circuits sont représenter sur le tableau ci-dessous.

Valeur Du Courant Type De Défaut	I (KA)
Triphasé	11,42
Biphasé isolé	9,89
Biphasé à la terre	7,69
Monophasé terre	10,62
Monophasé neutre	8,89
Impédance Z	0,014 + j 0,015
Impédance Zn	0,012 + j 0,04

Les valeurs des courant de défaut varient en fonction de la résistance de contact entre les phases du réseau, ainsi que le type du mise à la terre.

Dans notre simulation pour la réalisation d'un court circuit métallique; nous avons introduit trois types différents de résistance de contact identiques à celle rencontré lors du défaut comme le montre

la figure (4.5) qui pèse au moyenne 2 KG.



R=2 Ω



R=8Ω



R=48Ω

Fir(4.5) Représentation des résistances de contacts

Les valeurs obtenues sont indiquées sur les tableaux ci-dessous:

Pour R= 2 Ω .

Type De Défaut Valeur Du Courant	Triphasé	Biphasé isolé	Biphasé à la terre	Monophasé neutre
Icc (KA)	5,71	4,945	3,845	4,445

Tableau N°1

Pour $R = 8 \Omega$.

Type De Défaut \ Valeur Du Courant	Triphasé	Biphasé isolé	Biphasé à la terre	Monophasé neutre
Icc (KA)	1,427	0,961	1,236	1,112

Tableau N°2

Pour $R = 48 \Omega$.

Type De Défaut \ Valeur Du Courant	Triphasé	Biphasé isolé	Biphasé à la terre	Monophasé neutre
Icc (KA)	0,237	0,185	0,206	0,161

Tableau N°3

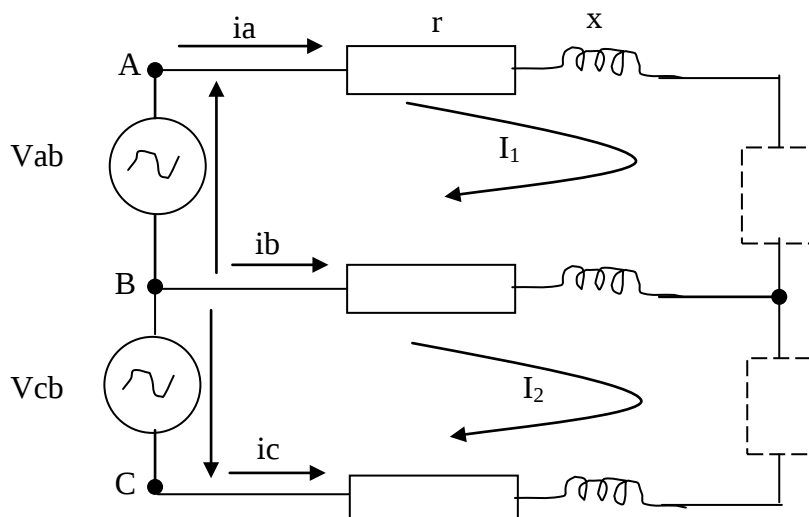
Les valeurs des courants de courts –circuits sont obtenus en variant les résistances de contact, ces valeurs deviennent moins importantes avec l'augmentation de la résistance de contact.

En comparant les résultats des trois tableaux, on voit que les valeurs des courants de défaut varient aussi, cette décroissance est due à l'augmentation de l'impédance du circuit de défaut.

Détermination des paramètres : ($I_{ccchoc}, K_{choc} = f(\alpha), I_{cc} = f(\alpha), P, W$)

1^{er} Cas: Court Circuit Triphasé

Le schéma équivalent lors d'un court circuit triphasé est celui représenté sur le schéma ci- dessous:



On appliquant la loi des mailles pour déterminer le courant avant court- circuit:

$$\begin{cases} V_{ab}(t) = (r+jlw)i_a + (r+jlw)(I_1-I_2).....(4.1) \\ V_{cb}(t) = (r+jlw)i_c + (r+jlw)(I_1-I_2).....(4.2) \\ i_a+i_b+i_c = 0.....(4.3) \end{cases}$$

La solution du système sera comme suit:

$$\begin{cases} i_a(0) = \frac{V_{cb}(t) + 2V_{ab}(t)}{3(r+jlw)}(4.4) \\ i_b(0) = \frac{V_{cb}(t) - 3V_{ab}(t)}{3(r+jlw)}(4.5) \\ i_c(0) = \frac{-2V_{cb}(t) + V_{ab}(t)}{3(r+jlw)}(4.6) \end{cases}$$

• **Régime transitoire (Pendant le court- circuit):**

Ce régime correspond à la naissance de défaut, les équations qui déterminent le courant de choc sont:

$$\begin{cases} V_{ab} = rI_a + l \frac{dI_a}{dt} - rI_b - l \frac{dI_b}{dt}(4.7) \\ V_{cb} = rI_c + l \frac{dI_c}{dt} - rI_b - l \frac{dI_b}{dt}(4.8) \\ I_a + I_b + I_c = 0(4.9) \end{cases}$$

Sous forme de la place les équations (4.7) , (4.8) deviennent:

$$V_{ab}(p) = rI_a(p) + LP I_a(p) - rI_b(p) - LP I_b(p) - L(i_a(0) - i_b(0)).....(4.10)$$

$$V_{cb}(p) = rI_c(p) + LP I_c(p) - rI_b(p) - LP I_b(p) - L(i_c(0) - i_b(0)).....(4.11).$$

La solution du système d'équation sera comme suit:

$$\begin{cases} I_a(p) = \frac{1}{r+LP} \left[\frac{V_{cb}(p) + 2V_{ab}(p)}{3} + L i_a(0) \right](4.12) \\ I_b(p) = \frac{-1}{r+LP} \left[\frac{2V_{cb}(p) + V_{ab}(p)}{3} + L(i_a(0) + i_c(0)) \right](4.13) \\ I_c(p) = \frac{1}{r+LP} \left[\frac{V_{cb}(p) - V_{ab}(p)}{3} + L i_c(0) \right](4.14). \end{cases}$$

Les résultats de calcul sont représentés sur la fig (4.6) qui illustre les variations des courants lors d'un court- circuit triphasé..

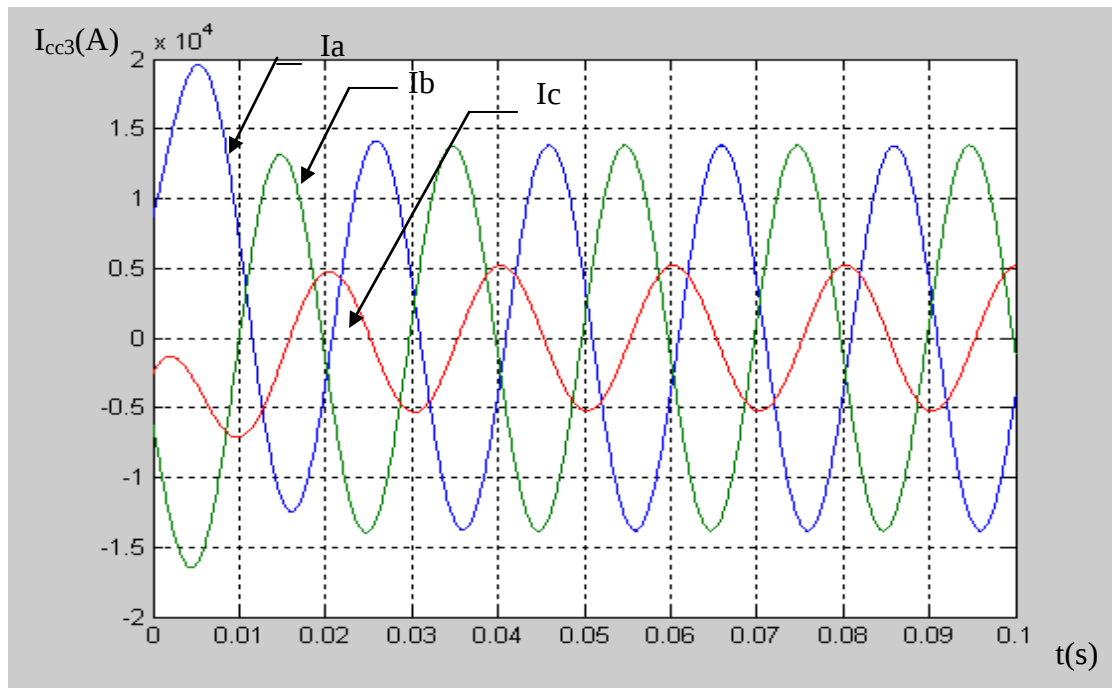
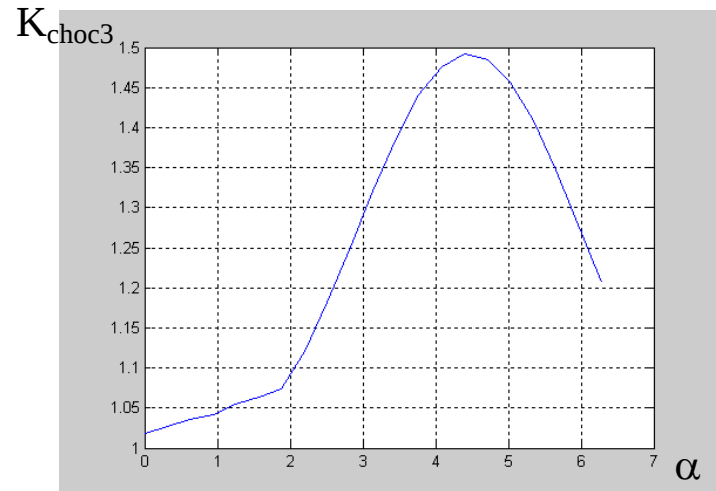
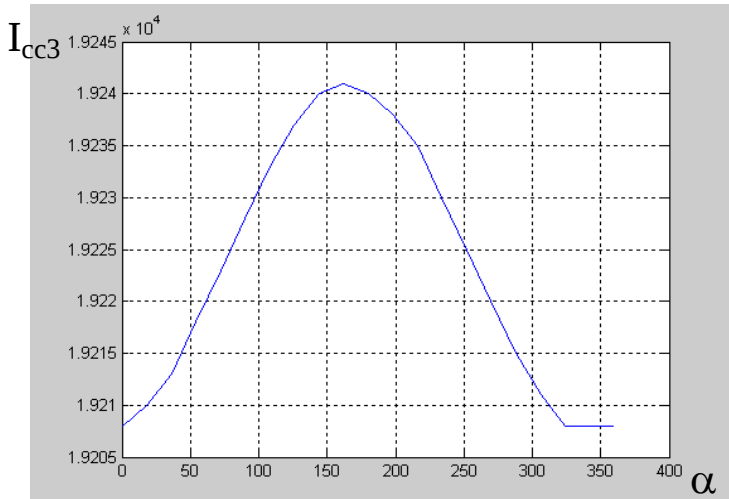


Fig (4.6) Régime transitoire lors d'un court- circuit triphasé

Ainsi on détermine la courant de court circuit en régime permanent I_{cc} et le coefficient de choc K_{choc} en fonction de l'angle α sur une période de 2π avec un pas de $\pi/10$; les résultats de calcul sont représentés sur le tableau ci –dessous:

L'angle α	I_{cc3}	K_{choc3}
0	$1,9608 e^{+004}$	1,2073
$\pi/10$	$1,9610 e^{+004}$	1,1425
$\pi/5$	$1,9613 e^{+004}$	1,0900
$3\pi/10$	$1,9618 e^{+004}$	1,0545
$2\pi/5$	$1,9623 e^{+004}$	1,0394
$\pi/2$	$1,9628 e^{+004}$	1,0641
$3\pi/5$	$1,9633 e^{+004}$	1,0741
$7\pi/10$	$1,9637 e^{+004}$	1,1206
$4\pi/5$	$1,9640 e^{+004}$	1,1814
$9\pi/10$	$1,9641 e^{+004}$	1,2503
π	$1,9640 e^{+004}$	1,1814
$11\pi/10$	$1,9638 e^{+004}$	1,3865
$6\pi/5$	$1,9635 e^{+004}$	1,4402
$13\pi/10$	$1,9630 e^{+004}$	1,4766
$7\pi/5$	$1,9625 e^{+004}$	1,4921
$15\pi/10$	$1,9620 e^{+004}$	1,4851
$8\pi/5$	$1,9615 e^{+004}$	1,4565
$17\pi/10$	$1,9611 e^{+004}$	1,4089
$9\pi/5$	$1,9608 e^{+004}$	1,3473
2π	$1,9608 e^{+004}$	1,2073

Le schéma de la fig(4.7) illustre l'évolution du courant $I_{cc3} = f(\alpha)$ et $K_{ch3} = f(\alpha)$.

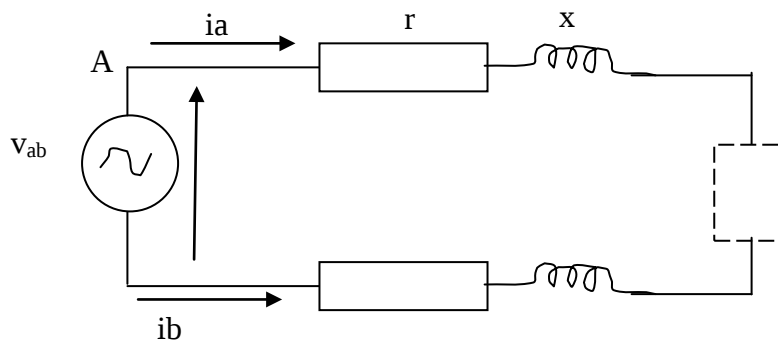


Fig(4.7) Représentation de I_{cc3} et K_{choc3} en fonction de l'angle α

2^{ème} Cas: Court Circuit biphasé

* Régime avant court- circuit

Détermination du courant avant l'apparition du défaut, On considère le schéma ci- dessous:



$$\begin{cases} v_{ab} = 2(r + jL\omega)ia \\ ia + ib = 0 \end{cases}$$

Donc:

$$\begin{cases} i_a(0) = \frac{V_{ab}}{2(r + jL\omega)} = \frac{V_{\max} \sqrt{3} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right)}{2(r + jL\omega)} \dots\dots\dots(4.15) \\ i_b(0) = -\frac{V_{ab}}{2(r + jL\omega)} = -\frac{V_{\max} \sqrt{3} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right)}{2(r + jL\omega)} \dots\dots\dots(4.16) \end{cases}$$

* **Régime transitoire:** On détermine les courants pendant le défaut :

$$V_{ab}(t) = 2r i_a(t) + 2l \frac{d i_a(t)}{dt} \dots\dots\dots(4.17)$$

Sous forme de laplace :

$$V_{ab}(p) = 2r I_a(p) + 2LP I_a(p) - L i_a(0)$$

$$V_{ab}(p) = 2(r + LP) I_a(p) - L i_a(0)$$

donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_a(p) = \frac{V_{ab}(p)}{2(r + LP)} + \frac{L i_a(0)}{2(r + LP)} \dots\dots\dots(4.18) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_b(p) = -\frac{V_{ab}(p)}{2(r + LP)} - \frac{L i_a(0)}{2(r + LP)} \dots\dots\dots(4.19) \end{array} \right.$$

La Courbe de le fig (4.8) montre l'évolution du courant de phase a et de la phase b lors d'un court-circuit biphasé .

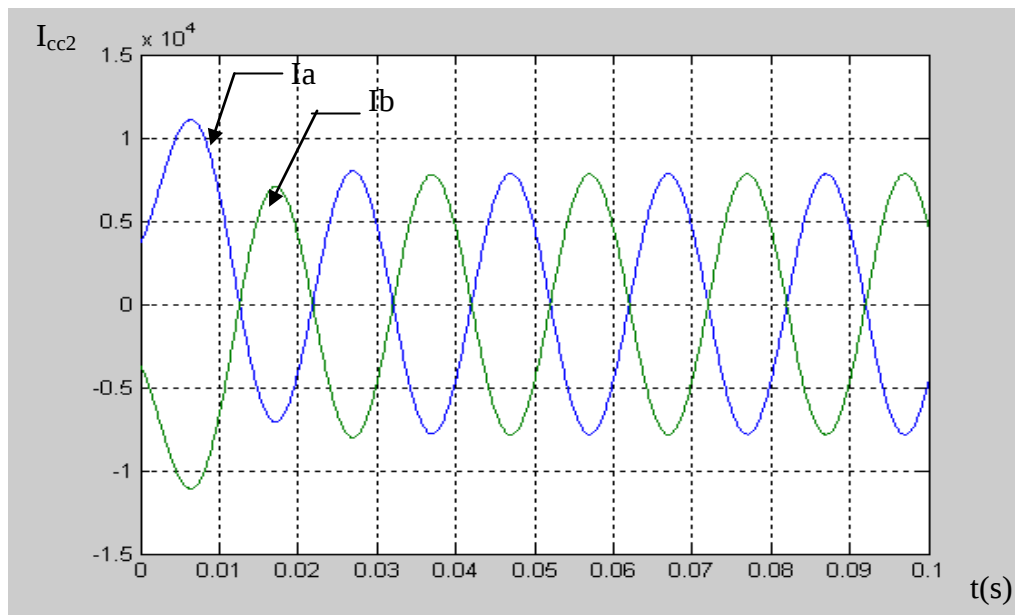


Fig (4.8) Régime transitoire lors d'un court- circuit biphasé

de la même manière que précédemment On détermine le courant de court-circuit en régime permanent Icc2 et le Coefficient Kchoc2 en fonction de l'angle α Sur une période de 2π avec un pas de $\frac{\pi}{10}$, les résultats sont représentés sur le tableau ci dessous

L'angle α	Icc2	Kchoc2
0	7,8370 e ⁺⁰⁰³	1,1939
$\pi/10$	7,8372 e ⁺⁰⁰³	1,2631
$\pi/5$	7,8374 e ⁺⁰⁰³	1,3449
$3\pi/10$	7,8377 e ⁺⁰⁰³	1,4316
$2\pi/5$	7,8380 e ⁺⁰⁰³	1,5149
$\pi/2$	7,8382 e ⁺⁰⁰³	1,5863
$3\pi/5$	7,8383 e ⁺⁰⁰³	1,6387
$7\pi/10$	7,8384 e ⁺⁰⁰³	1,6666
$4\pi/5$	7,8384 e ⁺⁰⁰³	1,6673
$9\pi/10$	7,8383 e ⁺⁰⁰³	1,6407
π	7,8382 e ⁺⁰⁰³	1,5895
$11\pi/10$	7,8380 e ⁺⁰⁰³	1,5189
$6\pi/5$	7,8377 e ⁺⁰⁰³	1,4360
$13\pi/10$	7,8375 e ⁺⁰⁰³	1,3493
$7\pi/5$	7,8372 e ⁺⁰⁰³	1,2670
$15\pi/10$	7,8370 e ⁺⁰⁰³	1,1970
$8\pi/5$	7,8368 e ⁺⁰⁰³	1,1463
$17\pi/10$	7,8368 e ⁺⁰⁰³	1,1192
$9\pi/5$	7,8368 e ⁺⁰⁰³	1,1185
2π	7,8370 e ⁺⁰⁰³	1,1939

Le schéma de la fig(4.9) illustre l'évolution du courant $I_{cc} = f(\alpha)$ et $K_{ch} = f(\alpha)$.

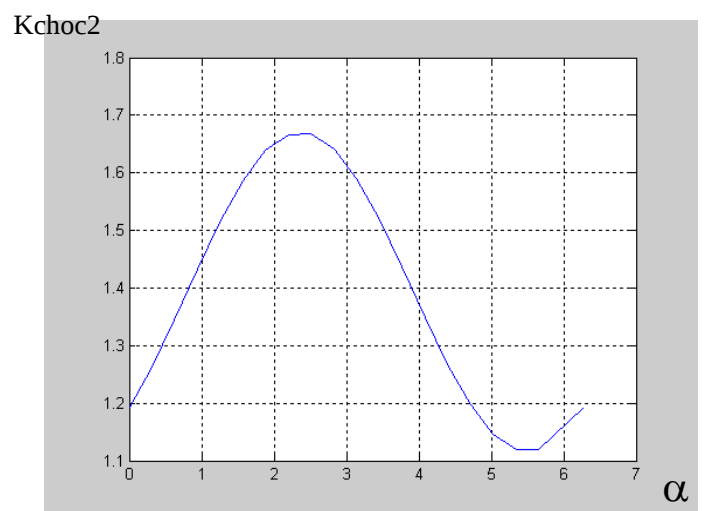
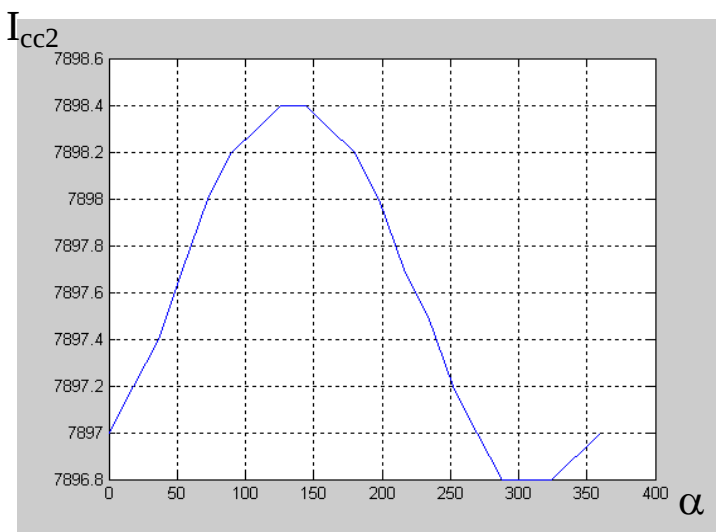


Fig (4.9) Représentation de Icc2 et Kchoc2 en fonction de l'angle α

3^{ème} Cas: Court Circuit monophasé

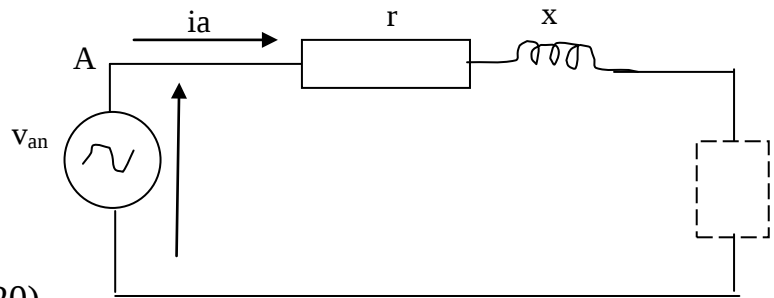
* Régime normal (avant court- circuit)

on considère le schéma ci-dessous:

$$V_{an} = (r + jlw) i_a$$

donc :

$$i_a = \frac{V_{an}(t)}{(r + jlw)} = \frac{V_{\max} \sin wt}{(r + jlw)} \dots\dots\dots(4.20)$$



* Régime transitoire (pendant le Court- Circuit)

$$V_{an}(t) = r i_a(t) + L \frac{d i_a(t)}{dt}$$

sous forme Laplace :

$$V_{an}(p) = r I_a(p) + LP I_a(p) - L i_a(0)$$

donc :

$$I_a(p) = \frac{V_{an}(p) + L i_a(0)}{(r + LP)} \dots\dots\dots(4.21)$$

Le courbe de le fig (4.10) montre l'évolution du courant de le phase A lors d'un court circuit monophasé.

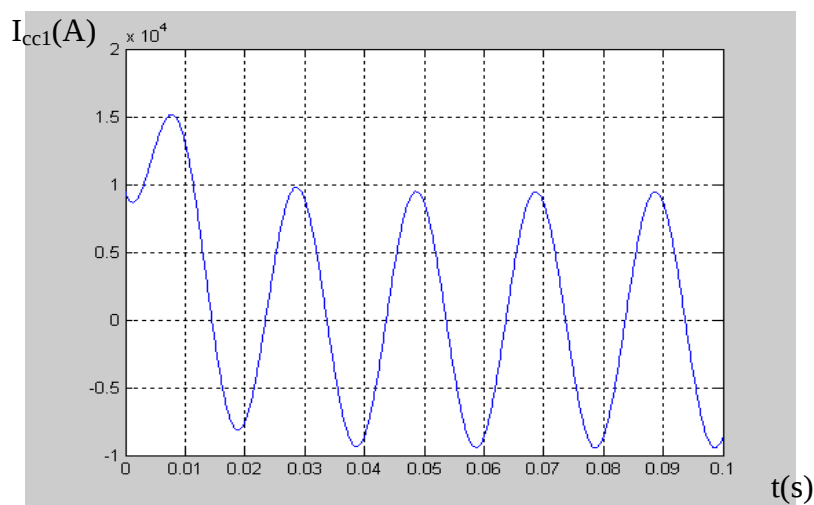


Fig (4.10) Régime transitoire lors d'un court circuit monophasé

Détermination du courant de court circuit en régime permanent de court circuit I_{cc1} et le coefficient de choc K_{choc1} en fonction de l'angle α sur une période de 2π avec un pas de $\pi/10$

Les résultats de calcul sont représentés sur le tableau Ci-dessous :

L'angle α	I_{cc1}	K_{choc1}
0	$9,4208 e^{+003}$	1,0000
$\pi/10$	$9,4210 e^{+003}$	1,0590
$\pi/5$	$9,4213 e^{+003}$	1,1577
$3\pi/10$	$9,4218 e^{+003}$	1,2868
$2\pi/5$	$9,4223 e^{+003}$	1,4346
$\pi/2$	$9,4228 e^{+003}$	1,5867
$3\pi/5$	$9,4233 e^{+003}$	1,7282
$7\pi/10$	$9,4237 e^{+003}$	1,8447
$4\pi/5$	$9,4240 e^{+003}$	1,9243
$9\pi/10$	$9,4241 e^{+003}$	1,9582
π	$9,4240 e^{+003}$	1,9430
$11\pi/10$	$9,4238 e^{+003}$	1,8802
$6\pi/5$	$9,4235 e^{+003}$	1,7767
$13\pi/10$	$9,4230 e^{+003}$	1,6431
$7\pi/5$	$9,4225 e^{+003}$	1,4934
$15\pi/10$	$9,4220 e^{+003}$	1,3423
$8\pi/5$	$9,4215 e^{+003}$	1,2044
$17\pi/10$	$9,4211 e^{+003}$	1,0928
$9\pi/5$	$9,4208 e^{+003}$	1,0176
2π	$9,4208 e^{+003}$	1,0000

Le schéma de la fig(4.11) illustre l'évolution du courant $I_{cc1} = f(\alpha)$ et $K_{ch1} = f(\alpha)$.

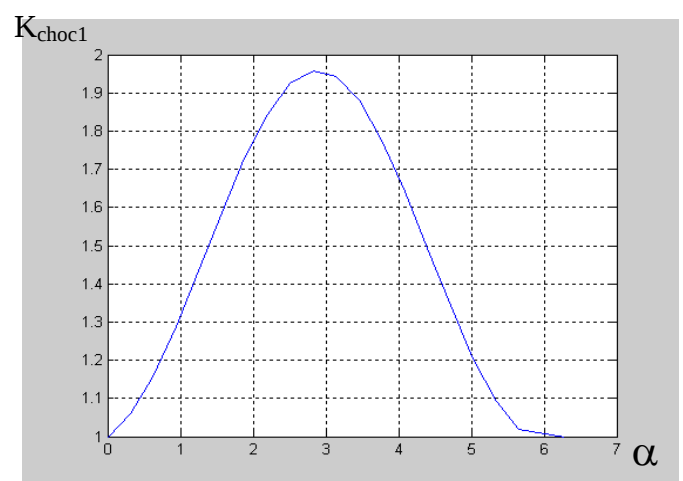
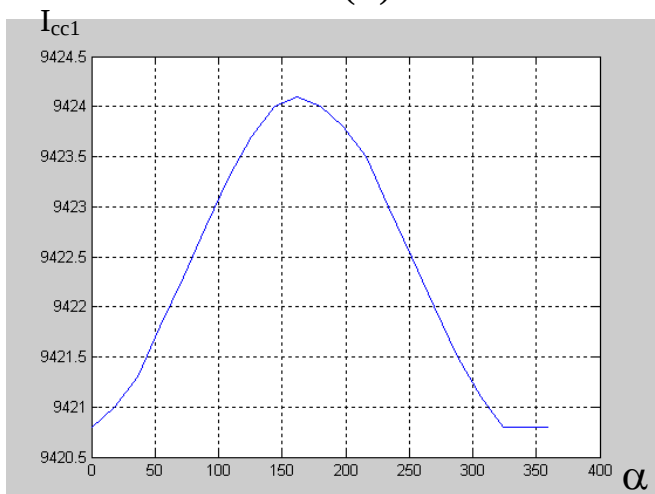


Fig (4.11) Représentation de I_{cc1} et K_{choc1} en fonction de l'angle α

Puissance et énergie

tout milieu conducteur parcouru par un courant assure la conversion d'une énergie électrique en énergie thermique .

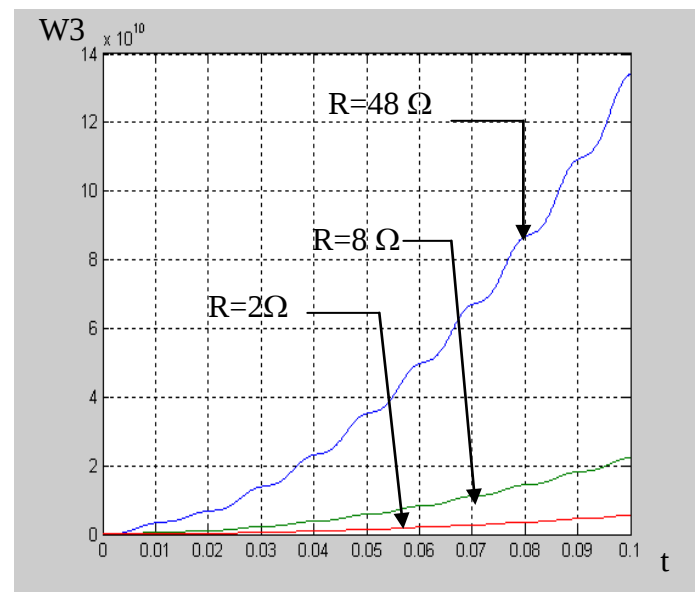
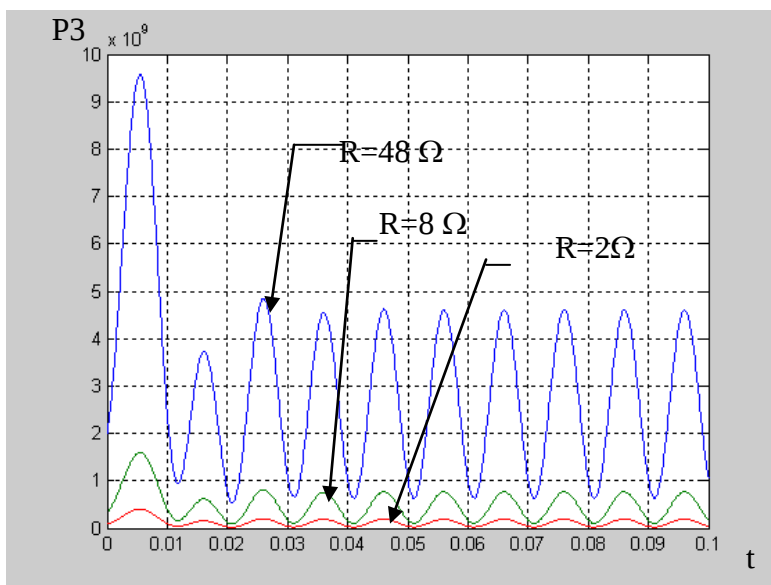
on examinera donc l'influence des résistances de contact Vue précédemment ($R_c = 2\Omega$, $R_c = 8\Omega$ et $R_c = 48\Omega$), la puissance dissipée est proportionnelle au carré du courant de court-circuit :

$$P = R_c I_{cc}^2 \quad (\text{W}) \dots\dots\dots(4.22)$$

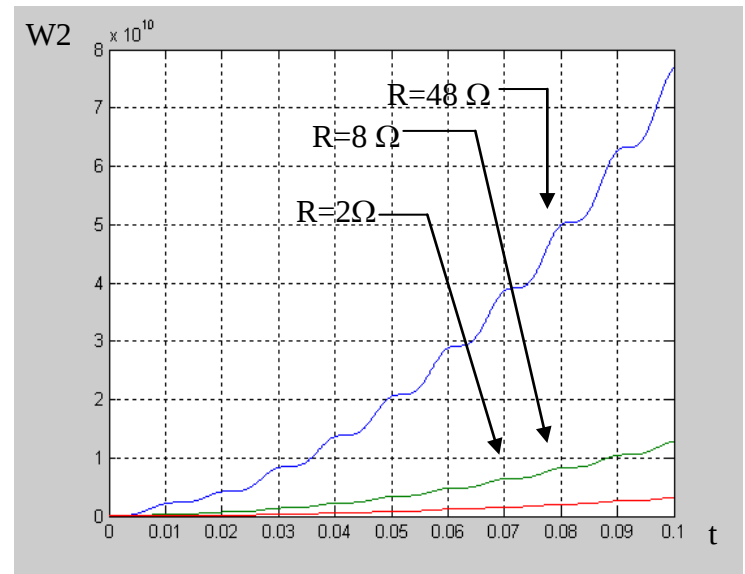
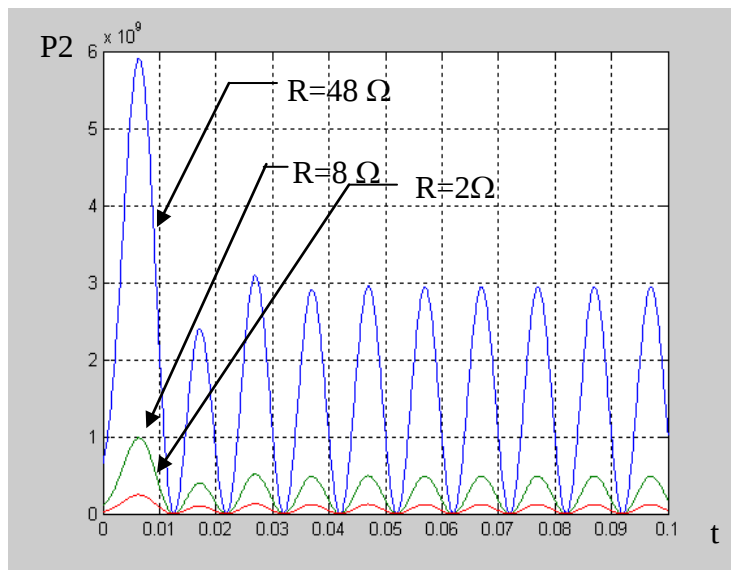
L'énergie thermique correspondante vaut :

$$W = \int_t R_c I_{cc}^2 dt \quad (\text{J}) \dots\dots\dots(4.23)$$

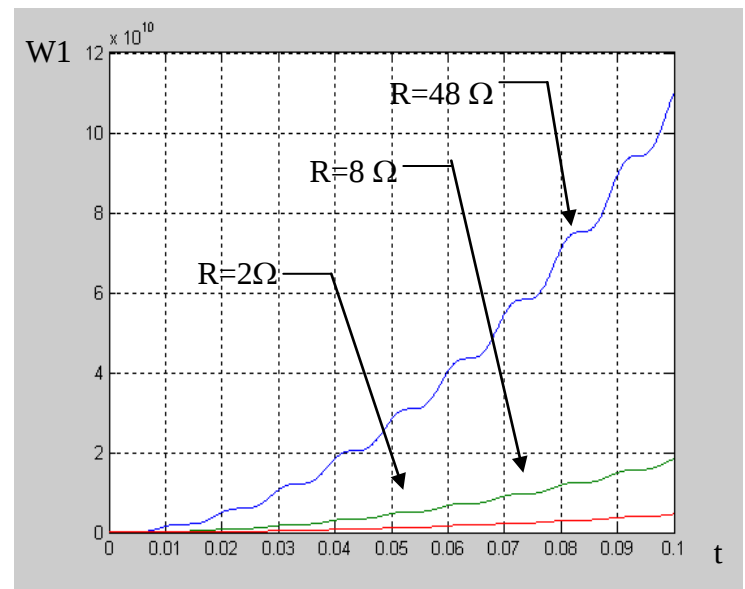
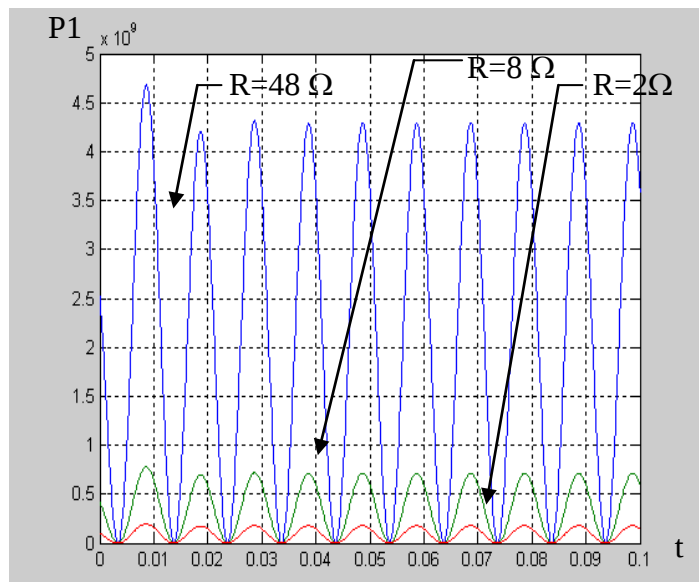
les variations de la puissance et énergie en fonction des différents résistances de contact pour les trois types de court circuit sont représentées sur les figures ci-dessous.



Lors d'un circuit- triphasé



Lors d'un circuit- biphasé



Lors d'un circuit- monophasé

Conclusion :

- ✧ Le réseau pris Comme model pour notre travail est celui du réseau d'alimentation trolley pont -roulant , c'est un réseau de distribution interne de l'unité aciérie à oxygène N°= 1.
il est de type moyenne tension basse tension , tout nos Calculs sont faits sur cette partie du réseau ainsi que la modélisation et la simulation.
- ✧ L'outil de simulation et de modélisation et le logiciel "Matlab" avec la Version dans sa Catégorie 6.5, on peut le classer parmi les interfaces les plus fiable dans le domaine de la simulation et la modélisation des réseaux électriques .
- ✧ nous avons utilisé cet outil pour la détermination des Courants de Court-circuit en régime transitoire, en régime permanent des différents type de défaut , l'allure des courants de Court-circuit à Chaque point en fonction de l'angle α ainsi que la modélisation des éléments du système étudié qui est basé sur l'application des différents méthodes vue dans le chapitre 3.
- ✧ Les valeurs des courants de court – circuit , particulièrement ceux du défaut triphasé sont les plus grands et dépassent plusieurs fois les voleurs du courant nominal , ceci explique que l'apparition d'un court –circuit triphasé dans cette partie du réseau , surtout au niveau de la basse tension 'trolley' provoquera des surintensités qui peuvent endommager l'installation et seront très dangereuses pour les individus.
- ✧ L'énergie dégagée au moment du contact est importante qui peut engendrée la fusion du jeux de barre et les contacts.

Discussion des résultats

Lorsque le réseau est perturbé (naissance de défaut), on remarque d'après les résultats obtenus ainsi que les courbes des courants de court –circuit des différents types de défauts, la valeur maximale du courant (courant de choc) atteint dizaine fois le courant en régime normal.

Si un défaut apparaît à un point quelconque, le courant de court circuit dans ce point soit limité par l'impédance équivalente en amont du point de défaut.

C'est-à-dire:

$$Z_{eq1} < Z_{eq2} \longrightarrow I_1 > I_2$$

Pour rendre l'utilisation du dispositif de protection contre les défauts plus utiles et de manière à ne pas perturbé le bon fonctionnement du réseau, il est impératif de séparer le conducteur neutre car ce dispositif est très sensible qui peut détecter un courant de défaut de 10mA.

Les valeurs des courants de défauts varient en fonction de la résistance de contact entre les phases du réseau, ainsi que le type de mise à la terre.

Dans notre simulation pour la réalisation d'un court circuit métallique, nous avons introduit trois types de résistances de contact identique à celle rencontrée lors du défaut.

Nous avons obtenus les valeurs indiquées sur les tableaux 1, 2 et 3.

En comparons les résultats des trois tableaux, on voit que les valeurs des courants de court circuit ont varié, cette décroissance est due à l'augmentation de l'impédance du circuit de défaut.

Selon les résultats obtenus par notre simulation du réseau électrique, on peut dire d'une manière générale que le courant de défaut le plus dangereux sur l'installation est celui du triphasé $I_{cc3max} = 19,6 \text{ KA}$.

On peut donc intervenir pour limiter cette surintensité en variant l'impédance du neutre reliée à la terre avant de proposer les dispositifs de protections (disjoncteur, fusible).

Par contre l'énergie dissipée au moment du défaut métallique est importante car l'énergie moyenne nécessaire pour la fusion est de l'ordre de 380 KWh/t soit (1.36 MWs/K); donc dans notre simulation au bout de 0,1S correspond à une énergie importante qui provoque la fusion du barre de ferraille, c'est un avantage qui nous permet d'insérer un circuit auxiliaire relié avec le disjoncteur pour lui informer la disparition du défaut.

Ces résultats nous permet de faire un bon choix des appareils de protection ainsi que leur réglage.

ANALYSE DE LA PROTECTION EXISTANTE:

Dans les différents branches du réseau, les disjoncteurs sont placés en amont de chaque jeu de barres.

Les résultats de ce travail nous aides à analyser leur efficacité de protéger l'installation, comme le montre la figure ci- dessous.

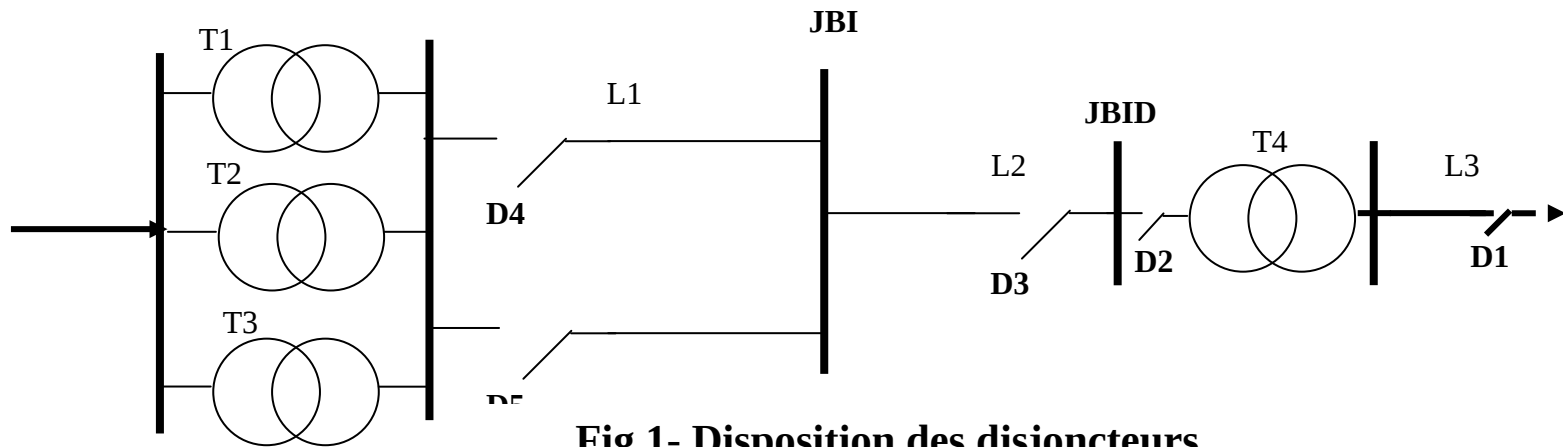


Fig 1- Disposition des disjoncteurs

En conformité avec les lois de protection, un dispositif de protection (disjoncteur), assure correctement sa fonction si:

-Il répond à la règle du pouvoir de coupure.

$I_{ccmax} < P_{dc}$

I_{ccmax} : courant de court circuit maximal

P_{dc} : pouvoir de coupure de l'appareil de protection

- Le temps de coupure doit être inférieur ou temps de passage du courant de court circuit pour que la température du conducteur ne dépasse pas la valeur limite maximale.

ANALYSE DE LA SELECTIVITE ENTRE LES DISJONCTEURS:

La sélectivité vise à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée par un défaut, et uniquement cette partie, en laissant sous tension les parties saines.

1-1 Sélectivité ampéremétrique

Dans un réseau, le courant qui circule entre la source et le point de défaut diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source.

Un relais de courant est placé au départ de chaque tronçon, la sélectivité ampéremétrique consiste à régler le seuil de chaque relais à une valeur inférieure à la valeur du courant de court circuit minimal provoqué par un défaut situé sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut en aval, au-delà de la zone surveillée.

Les principaux avantages de la sélectivité ampérométrique sont:

- son extrême simplicité
- son coût réduit
- Sa rapidité.

1-2 Sélectivité par le temps (chronométrique)

Elle consiste à retarder l'instant d'ouverture des disjoncteurs en jouant sur les temporisations des relais. Ces retards sont d'autant plus longs que le relais est proche de la source.

Elle demande:

- l'introduction des retardateurs pour les systèmes de déclenchement des disjoncteurs
- des disjoncteurs capables de supporter les effets thermique et électrodynamique du courant pendant le temps de retardement.

Ce système de sélectivité présente l'avantage d'assurer sa propre sécurité et aussi de sa simplicité. Il est limité par le grand nombre de relais en cascade que comporte le réseau, mais il est intéressant de voir la possibilité de combinaison entre les deux types de sélectivité.

1-3 Sélectivité logique:

Cette sélectivité est basée sur un relais logique qui contrôle l'état du réseau à chaque niveau, il est programmé pour donner l'ordre de couper le circuit sous certaines conditions de temps, de courant. Dans ce cas tous les disjoncteurs en cascade sont reliés par une liaison logique.

Selon les caractéristiques de notre système de protection électrique nous définissons les trois courbes de déclenchement comme le montre la figure 2

a- Courbe B

Plage de réglage de 3 à 5 I_n

b- Courbe C

Plage de réglage de 5 à 10 I_n

c- Courbe D

Plage de réglage de 10 à 20 I_n

-Pour D1 ($I_{2n}=2919$ A, $I_{n1} = 3200$ A)

-Pour D2 ($I_{1n}=574,6$ A, $I_{n2} = 630$ A)

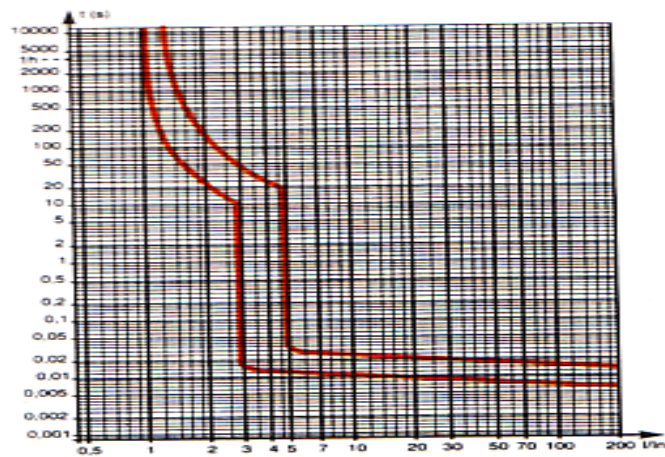
La sélectivité entre deux appareils D1, D2

Au point de court circuit; $I_{ccmax} = 19,6$ KA

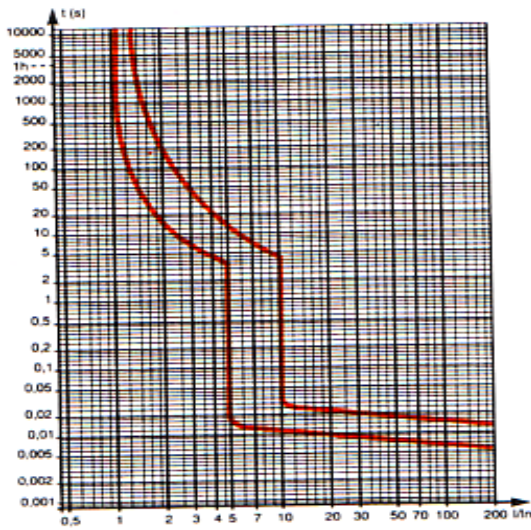
Donc I_{ccmax}/I_{2n} (D1) = $19,6/2919 \cong 7$ courbe C avec un $P_{dc} = 20$ KA déclenchement en 0,01 s

I_{ccmax}/I_{1n} (D2) = $19,6 / 574,6 = 34$ courbe D avec un $P_{dc} = 20$ KA déclenchement en 0.02s

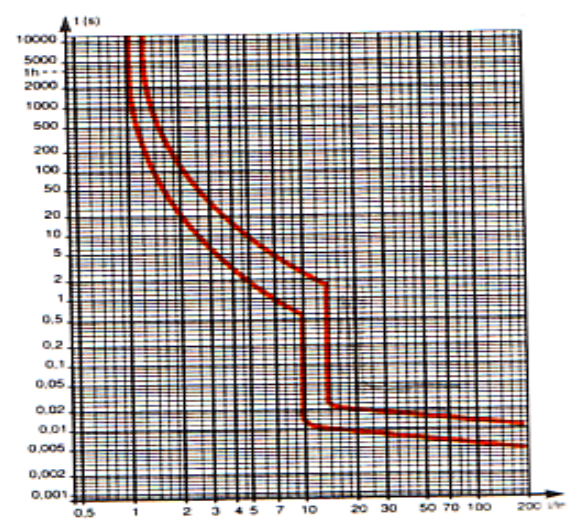
Donc une bonne sélectivité, car en cas de défaut seul D1 déclenchera



1 – courbe de déclenchement B



1 – courbe de déclenchement C



1 – courbe de déclenchement D

Fig 2 Les courbes de déclenchement des disjoncteurs

Conclusion Générale

A l'issue de ce travail qui consiste à l'étude du phénomène de court circuit, on a aboutit à démontré la gravité d'apparition d'un tel problème dans un réseau électrique en général. Pour plus d'intérêt nous avons pris comme échantillon le réseau de distribution de l'énergie électrique de l'aciérie à oxygène n°1.

L'étude bibliographique nous à permet de déterminer l'avantage du système triphasé dans le transport et l'exploitation de l'énergie électrique, ainsi que l'influence du courant sur les différents organes du corps humain, de cerner les différents paramètres qui influent sur l'issue d'électrocution et par conséquent montrer que le courant de court –circuit qui dépasse de loin les valeurs inoffensives du courant.

Cette conclusion met en relief l'énorme danger que peut constituer un courant de court- circuit pour les usagers.

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

Dans notre travail nous nous somme penchés sur la détermination du courant des différents types de court –circuit, car ces valeurs jouent un rôle déterminant dans le choix de seuil de fonctionnement des appareils de protections et dans l'amélioration de leur sensibilité.

L'étude correcte du comportement du réseau électrique et particulièrement celui de l'aciérie à oxygène n°1 doit se basé sans doute sur la détermination des valeurs exactes des différents courant de court- circuit. cette nécessité nous à obligé à faire une étude comparative des différents méthodes de calcul des courants de courts-circuits dans le but de choisir une méthode fiable.

Cette analyse nous à permet de souligner les avantages et les inconvénients des différents méthodes et conclure que la manière la plus juste et de faire recoure à une méthode combiné qui profite des avantages de chaque méthode dans les étapes de calcul de courant de court- circuit.

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

Dans notre travail nous avons utilisé le logiciel "**MATLAB**" dans sa version 6.5, ce dernier nous a permis de faire une simulation du réseau réel et d'obtenir en conséquence des résultats assez convaincantes qui reflètent l'image réelle du comportement de notre réseau lors du régime d'avarié.

Les résultats obtenus confirment également l'obligation d'augmenter les paramètres d'isolement et de revoir le système de protection existant.

Références Bibliographiques

- [1] Patrick Lagonotte " les installations électriques"
France "Janvier 2000"
- [2] Henri Ney " Technologie d'électricité"
France "Juillet en 1999"
- [3] Frédéric de coulou et marcel jufer " traité d'électricité: Introduction à
l'électrotechnique"
Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne
Vol,1 1995.
- [4] M.VIAL " électricité professionnels: protection des personnes et des
matériels"
Tome,1 France"Février 1996"
- [5] Michel Aguet et Jean- Jacques Morf "traité d'électricité: énergie
électrique"
Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne
Vol,XII 1990.
- [6] H.Boyer; M.Norbert; R.Philippe " construction du matériel électrique"
Tome,2 "Février 1973"
- [7] R.Beauchemin: "Déglaçage des lignes électriques à l'aide d'un courant"
Transénergie, division hydro- Québec 2001.
- [8] E.F.Salinko: "les courts- circuits à la terre dans les réseaux 6- 35 KV"
Moscou en 1986
- [9] A.MRJDA : " Philosophie des protections (E.P.I.C Sonelgaz)".
Sonelgaz Juin 1997
- [10] M.V.Klyoutchenovitch; M.A.Paliy " Calcul des courants de courts-
circuits dans les installations électriques"
Brochure Université d'ANNABA 1985.
- [11] B.Demetz-Noblet; F.Dumas; C.Poulin " Calcul des courants de courts-
circuits"
Cahier technique Schneider électrique N° 158
Septembre 2005
- [12] R.Auber;I.Richard "Prévention des accidents électriques"
Technique de l'ingénieur 12/1983.
- [13] M.Pétard: "Généralité sur la protection d'énergie électrique; EDF"
France 1979.

- [14] L.Robert; Larocca " Personnel protection devices for us appliances"
IEEE Transaction on industrie application
Vol,1-2 1992
- [15] A.Benaida:"Exploitation des réseaux électriques de la centrale"
Centrale thermique d'ANNABA 1996.
- [16] J.Lesenne; F.Notelel; G. Segulier: " Introduction à l'électrotechnique
approfondie"
Edition Technique et documentation 1980

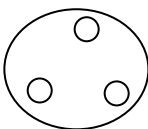
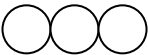
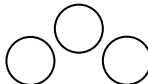
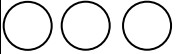
Caractéristique des Transformateurs

Nom du transformateur	T1,T2,T3	T4
Caractéristique		
Puissance (MVA)	22,5	1,6
Tension d'entrée (KV)	63	15
Tension de sortie (KV)	15	0,4
couplage		
Tension de court – circuit (%)	14	06
Puissance de Court – Circuit (MVA)	500	28

Caractéristique des Câbles

Nom du câble	L1	L2	L3
Caractéristique			
Section (mm ²)	300	150	95
Longueur (m)	740	250	50

Tableau indiquant les valeurs des réactances des Câbles

Mode de pose	Jeux de barre	Câble triphasé	Câbles unipolaires espacés	Câbles unipolaires serrés en triangle	3 Câbles en nappe serrée	3 Câbles en nappe espacée de " d "	
Réactance linéique						 D=2r d=4r	
Valeur moyenne	0.15	0.08	0.15	0.085	0.095	0.14	0.19