

11/83

2ca

ECOLE POLYTECHNIQUE

المكنية

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

Département d'Electrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Ingéniorat d'Etat en Electrotechnique

Analyse des courants de court-circuit  
Monophasé dans un réseau à neutre  
Isolé à L'aide des composantes symétriques

Proposé par :

W. MICHALAC

Professeur à l'ENPA

Etudié par :

DRIF REZKI

ZERGOUG Mourad

janvier 83



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER  
»O«

## ECOLE POLYTECHNIQUE

Département d'Electrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Ingéniorat d'Etat en Electrotechnique

*Analyse des courants de court-circuit  
Monophasé dans un réseau à neutre  
Isolé à L'aide des composants symetriques*

Proposé par :

W. MICHALAC

Professeur à l'ENPA

Etudié par :

DRIF REZKI

ZERGOUG Mourad



-§- DEDICACES -§-

Je dédie ce modeste travail

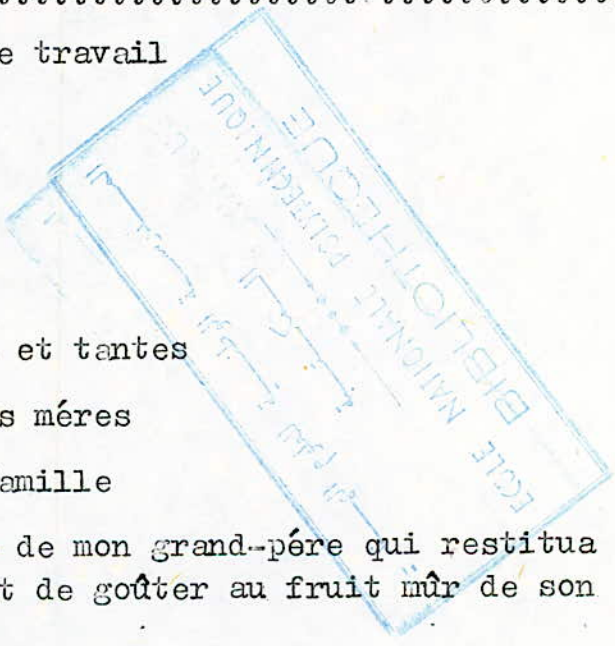
- §- A la mémoire de mon père
- §- A ma mère
- §- A mes frères et soeurs
- §- A toute la famille
- §- A mes amis

Rezki DRIF

Je dédie ce modeste travail

- §- A mon père
- §- A ma mère
- ±§- A mes frères
- §- A ma soeur
- §- A mes oncles et tantes
- §- A mes grandes mères
- ±§- A toute la famille
- §- A la mémoire de mon grand-père qui restitua son âme avant de goûter au fruit mûr de son arbre.
- §- A mes amis

Mourad ZERGOUG





REMERCIEMENTS

Nous tenons avant tout à exprimer nos plus vifs remerciements à Monsieur W.MICHALAC pour toute l'aide et les précieux conseils qu'il nous a prodigué.

Nous tenons aussi à remercier tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

## SOMMAIRE

CHAPITRE: I	INTRODUCTION	
I-1-	présentation du sujet .....	1
I-2-	description du réseau .....	1
I-3-	généralités.....	4
CHAPITRE: II	RAPPELS THEORIQUES SUR LES COMPOSANTES SYMETRIQUES	
II-1-	décomposition d'un système de trois vecteurs en ses composantes symétriques .....	7
II-2-	relation liant le système de vecteurs A B C à leurs composantes symétriques.....	8
II-3-	méthode graphique de décomposition.....	8
CHAPITRE: III	APPLICATION DE LA THEORIE DES C.S A L'ETUDE DES SYSTEMES TRIPHASES DESEQUILIBRES	
III-1-	relation liant les grandeurs sinusoidales à leurs composantes symétriques.....	10
III-2-	forces electromotrices desequilibrées app- liquées à un système symétrique.....	10
III-3-	forces electromotrices équilibrées appli- quées à un système asymétrique.....	12
CHAPITRE: IV	METHODE DES COMPOSANTES SYMETRIQUES ET SON APPLICATION AU CALCUL DES SYSTEMES ASYMETRIQUES	
IV-1-	procédé de la méthode.....	13
IV-2-	application... ..	14
IV-3-	application de la méthode des C.S au calcul des courants de c-c monophasés.....	18
IV-4-	méthode pratique pour le calcul du courant de c-c monophasé.....	21
CHAPITRE: V	ANALYSE DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT	
V-1-	calcul du courant de c-c monophasé.....	25
V-2-	calcul des courants dans les phases de toutes les lignes.....	40
V-3-	calcul des tensions en des points caracté- ristiques du réseau.....	56
CHAPITRE: VI	CONCLUSION !!.....	84



En régime de fonctionnement normal les réseaux triphasés constituent des ensembles de constitution symétrique.

Dans ces conditions l'étude théorique se limite à l'analyse d'un schéma équivalent monophasé correspondant à une phase du système triphasé, dont les tensions sont égales aux tensions simples du réseau, dont les courants sont égaux à ceux du réseau réel et dont les impédances sont équivalentes aux impédances des différents éléments du réseau réel.

Cette réduction à un schéma équivalent monophasé appliquée théoriquement pour les calculs ordinaires de chutes de tension ou de pertes devient inadmissible dès qu'apparaît une dissymétrie dans le réseau.

Le calcul d'un système triphasé asymétrique doit être alors effectué pour les trois phases ce qui devient très compliqué. La méthode des composantes symétriques qui va être décrite simplifie notablement ce genre de problème, car elle consiste à la décomposition du système déséquilibré en trois autres systèmes équilibrés ce qui nous permet l'analyse d'une phase comme auparavant, certes, elle rend nécessaire l'écriture d'autant d'équations qu'il y a de phases mais leur simplicité rend la méthode très avantageuse.



## 1-1-PRESENTATION DU SUJET.

Notre étude consiste ,à l'analyse des courants de court-circuit monophasés, dans le réseau à neutre isolé ,présenté par le schéma, de la fig:1-1, à l'aide de la méthode dite des "COMPOSANTES SYMETRIQUE".

Cette analyse va nous permettre ,de mieux comprendre le comportement du réseau lors d'un court-circuit monophasé (variation de la tension ou du courant le long d'une ligne ,par ex).

- Elle doit englober les quatres points essentiels suivants:
- calcul des courants de c-c en certains points du réseau.
  - calcul des courants dans les phases de toutes les lignes.
  - calcul des tensions en des points caractéristiques du réseau.
  - diagrammes des courants dans les lignes.

## 1-2 Description du réseau.

C'est un réseau de 30KV ,comprenant quatre transformateurs connectés entre eux par des cables souterrains.

Les cables sont isolés à leurs extremités par les transformateurs dont les points neutres sont isolés.

## 1-2-1 caractéristiques des éléments du réseau.

## a) transformateurs:

-le réseau est alimenté par le tranformateur I ayant les caracteristiques suivantes:

tension primaire: 110 KV

tension secondaire:30 KV

puissance apparente nominale: 25MVA

pertes dans le cuivre  $\Delta P_{Cu} = 0,4\%$

tension de c-c  $\Delta u_{CC} = 10\%$

puissance de c-c triphasée du coté primaire  $S_{CC} = 2000MVA$

## -transformateurs I II et III:

ils jouent le role de distributeurs dans le réseau , leurs caractéristiques n'ont pas etees données du fait qu'ils n'entre pas en considération dans les calculs.

b) cables:

le cable utilisé ,est tripolaire ,avec des ames en cuivre isolé au papier imprégné ,mis sous gaine en plomb.

paramètres du cable:

-tension 30 KV

-section:

$$S = 150 \text{ mm}^2$$

- résistance du cable:  $r = 0,13 \Omega/\text{KM}$

-réactance du cable :  $X = 0,12 \Omega/\text{KM}$

- capacité du cable :  $C = 0,2 \mu\text{F}/\text{KM}$

-pour ce qui est des longuers des cables elles sont mentionnés sur le schéma de la fig:1-1 .

Scéma du réseau

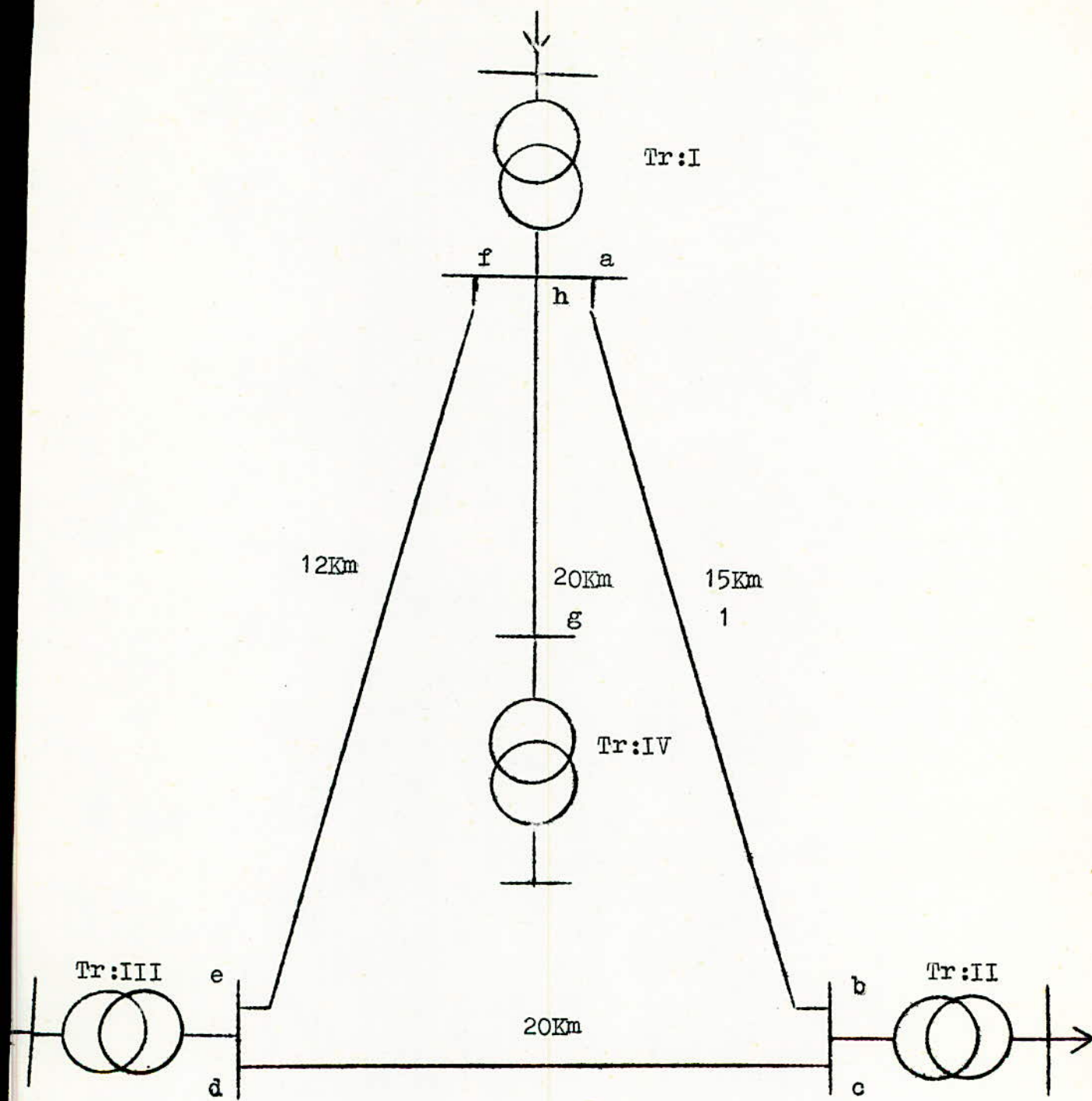


fig: 1-1



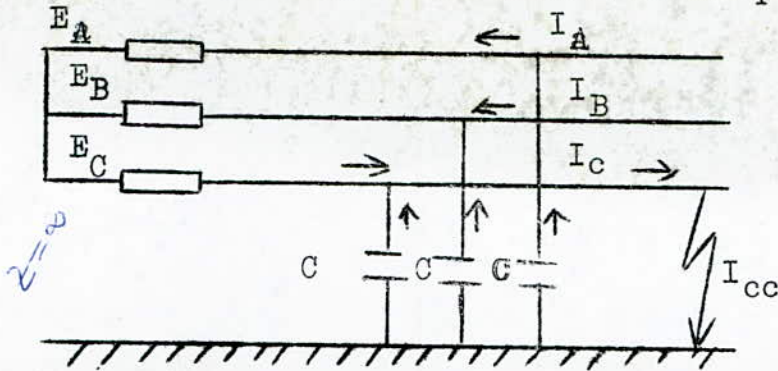
# 1-3- Généralités

## 1-3-1- Régime du neutre

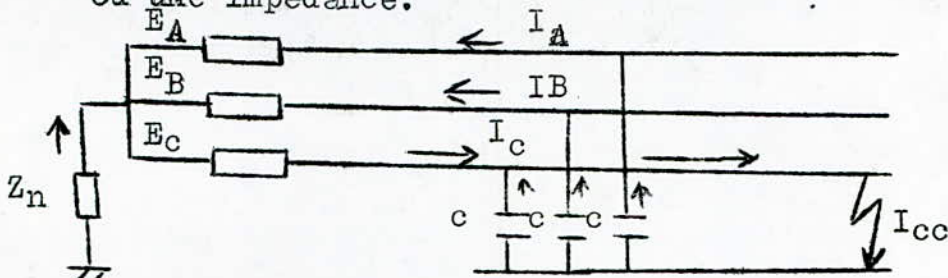
Le fonctionnement d'un réseau triphasé dépend de ce qu'on appelle le régime du neutre.

On entend par là que le point neutre (au potentiel zéro normalement) de l'enroulement des transformateurs reliés à ce réseau peut être :

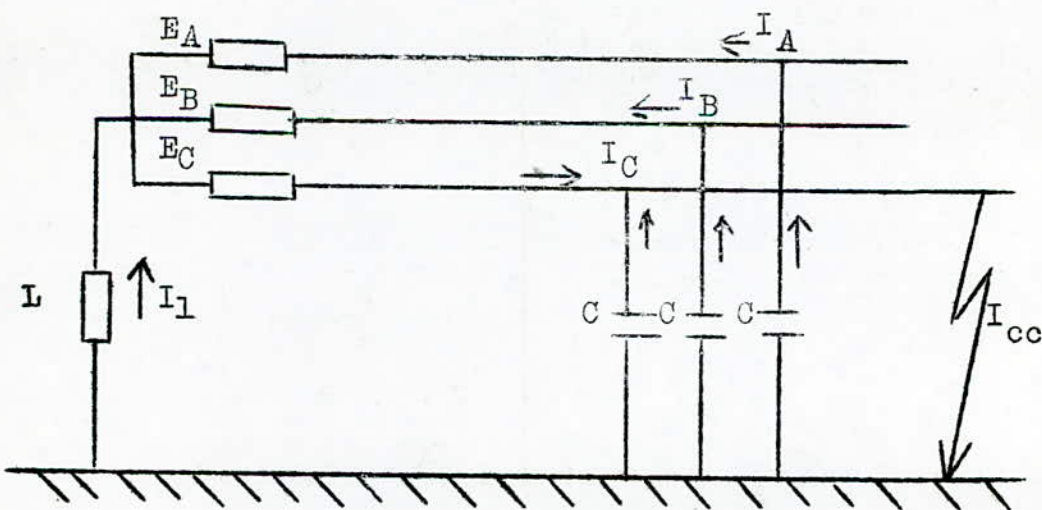
- isolé du sol et de toute masse métallique



- mis à la terre soit directement, soit à travers une résistance ou une impédance.



- à bobine d'extinction (PETERSEN) placée entre le neutre du transformateur et la terre.



### 1-3-2- court-circuit.

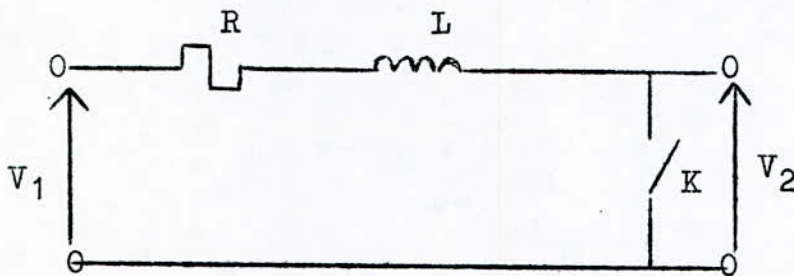
Un court-circuit est un contact qui s'établit, soit entre les phases du réseau, soit entre les phases et la terre.

Le plus souvent, un arc jaillit à travers le diélectrique, soit par suite d'un affaiblissement de celui-ci, soit sous l'effet d'une surélévation anormale de tension.

Le milieu où jaillit l'arc est rendu conducteur par un mécanisme d'ionisation, déclenché par la température élevée de l'arc.

### 2-2- étude du court-circuit

On considère la ligne représentée par le schéma suivant:



a) K ouvert on a :

$$V_1 = V_{1m} \sin(\omega t + \psi) \quad (1)$$

b) K fermé (pendant le court-circuit) on a:

$$V_1 = V_{1m} \sin(\omega t + \psi) = L \frac{di}{dt} + R \cdot i \quad (2)$$

la solution de cette équation différentielle est:

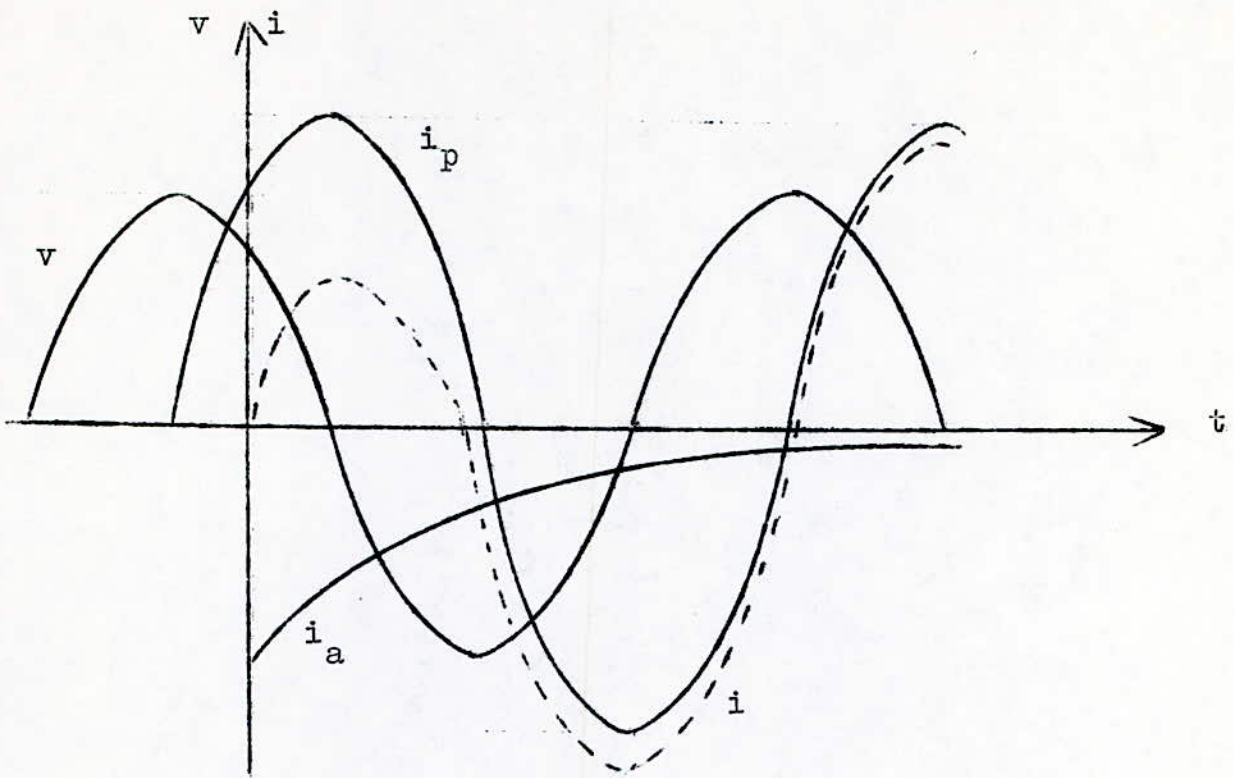
$$i = \frac{V_{1m}}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \left[ \sin(\omega t + \psi - \varphi) - e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin(\psi - \varphi) \right] \quad (3)$$

en analysant cette équation (3) on constate que le courant de c-c se décompose en deux composantes, l'une périodique et l'autre apériodique.

$$i = i_p + i_a$$

$$i_p = \frac{V_{1m}}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t + \psi - \varphi)$$

$$i_a = \frac{-V_{1m}}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin(\psi - \varphi)$$



$\psi$  est l'angle d'impédance tel que:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{L\omega}{R}$$

quand  $L\omega$  est très grand devant  $R$ :  $L\omega \gg R$

$$\psi = \pi/2$$

et si de plus  $\psi = \pi/2$  on aura  $i_a = 0$

$$\text{et } i = i_p = \frac{V_m}{X} \sin \omega t$$



## CHAPITRE II

### RAPPELS THEORIQUES SUR LES COMPOSANTES SYMETRIQUES:

Le procédé le plus commode pour étudier les régimes déséquilibrés des systèmes triphasés est la méthode dite des "COMPOSANTES SYMETRIQUE" connue aussi sous le nom de: méthode de "FORTESCUE".

Elle repose essentiellement sur la propriété géométrique suivante " tout système de trois vecteurs quelconques peut être considéré comme la résultante de trois systèmes symétriques de trois vecteurs

2-1-Décomposition d'un système de trois vecteurs en ses composantes symétriques.

Cette décomposition repose sur le théorème suivant:

**THEOREME** : un système de trois vecteurs quelconque peut être décomposé en trois systèmes de vecteurs symétriques:

- un système tripolaire symétrique à succession directe
- un système tripolaire symétrique à succession inverse
- un système homopolaire.

on a un système de trois vecteurs A, B, C que l'on peut décomposer de la manière suivante:

$$A = A_0 + A_1 + A_2$$

$$B = B_0 + B_1 + B_2$$

$$C = C_0 + C_1 + C_2$$

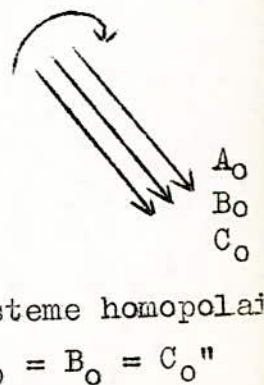
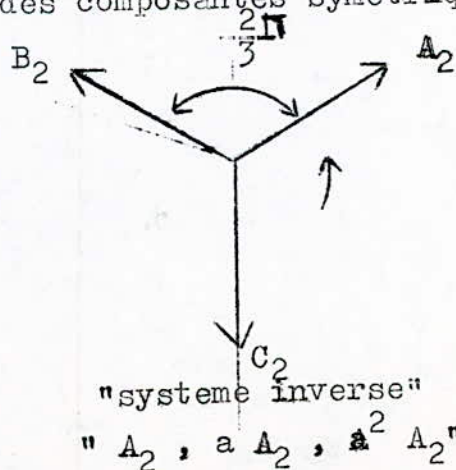
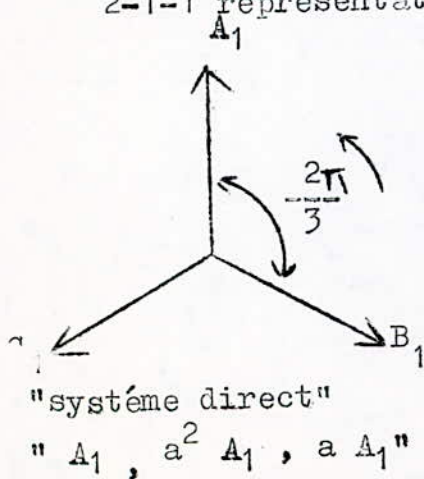
où les grandeurs suivantes représentent:

$A_0, B_0, C_0$  : système de composantes homopolaires

$A_1, B_1, C_1$  : système de composantes directes

$A_2, B_2, C_2$  : système de composantes inverses

2-1-1 représentation des composantes symétriques.



2- 2.- Relation liant le système de vecteur A, B, C à leurs composantes symétriques.

On a :

$$A = A_0 + A_1 + A_2$$

$$B = B_0 + B_1 + B_2$$

$$C = C_0 + C_1 + C_2$$

en remplaçant les vecteurs  $A_i$  par leurs expressions déjà trouvées on obtient :

$$A = A_0 + A_1 + A_2$$

$$B = B_0 + a^2 A_1 + a A_2 \quad (1)$$

$$C = A_0 + a A_1 + a^2 A_2$$

en utilisant la transformation inverse on peut exprimer les composantes  $A_0, A_1, A_2$  par rapport aux grandeurs A, B, C de la manière suivante.

$$A_0 = \frac{1}{3} (A + B + C)$$

$$A_1 = \frac{1}{3} (A + a B + a^2 C) \quad (2)$$

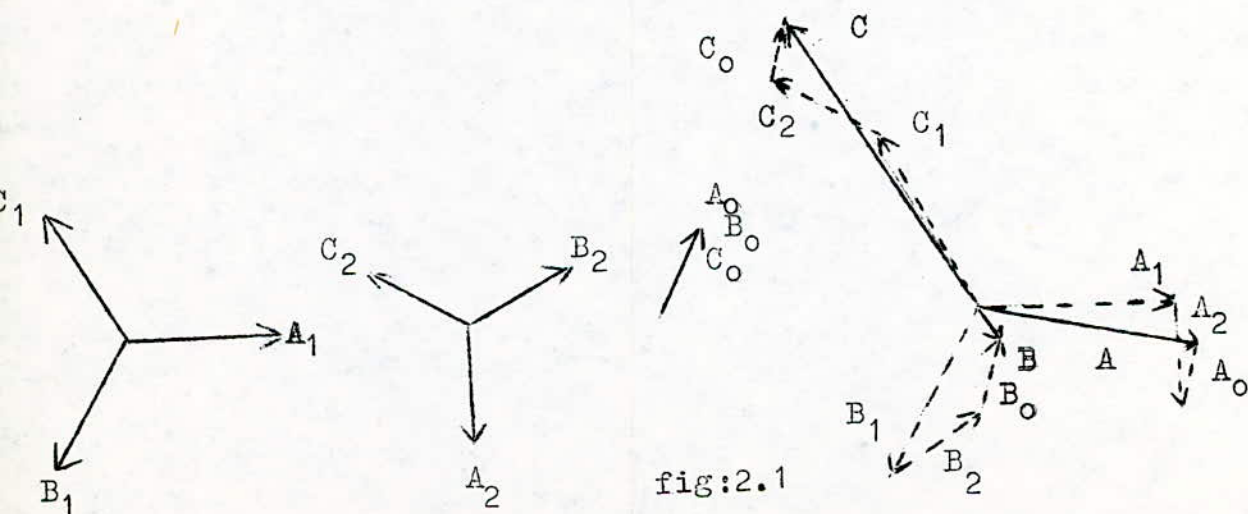
$$A_2 = \frac{1}{3} (A + a^2 B + a C)$$

2- 3.- Méthode graphique de décomposition.

Les deux problèmes suivants, inverse l'un de l'autre, peuvent être résolus graphiquement.

a).- Connaissant les composantes symétriques d'un système de trois vecteurs, déterminer le module et l'argument des trois vecteurs.

Il suffit pour cela, comme le montre la fig. (2.1) de traduire graphiquement les équations (1)





.../...

b).- Etant donné un système de trois vecteurs quelconques, déterminer leurs **composantes**.

Il suffit pour trouver les composantes symétriques, de traduire géométriquement fig. (2.2). leurs expressions analytiques (2).

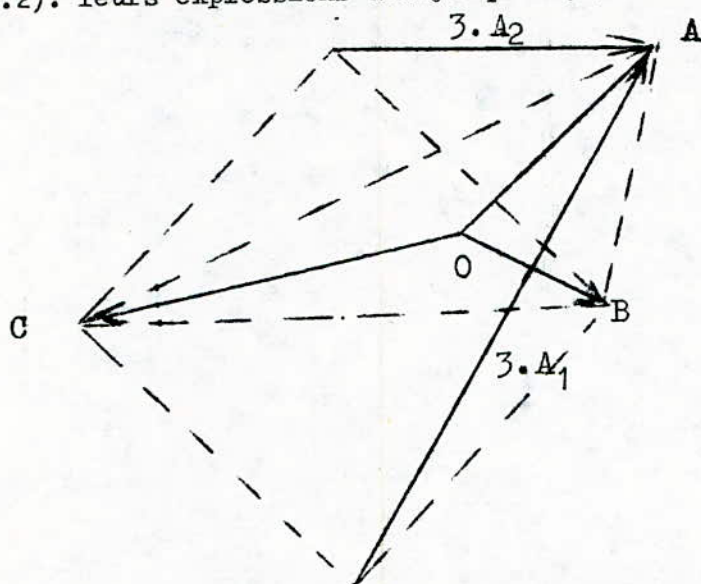


fig:2.2

il existe deux théorèmes qui peuvent nous permettre une simplification pour la détermination des composantes symétriques.

**Théorème I :** tous les systèmes de trois vecteurs en étoile ayant pour extrémités trois points donnés du plan, ont, quelle que soit la position du centre de l'étoile, les mêmes composantes directes et inverses.

**Théorème II:** dans un système de trois vecteurs en étoile dont le centre coïncide avec le point de concours des médianes (centre de gravité) du triangle formé par les extrémités des vecteurs, la composante homopolaire est nulle.



APPLICATION DE LA THÉORIE DES COMPOSANTES SYMÉTRIQUES  
 A L'ÉTUDE DES SYSTÈMES TRIPHASÉS DÉSEQUILIBRÉS

Le chapitre précédent a été traité sous un aspect purement géométrique, si maintenant le système de trois vecteurs représente plus particulièrement un système triphasé de grandeurs sinusoïdales quelconques, le théorème sur la décomposition de ce système s'énoncera comme suit:

" Un système triphasé quelconque peut être décomposé en trois systèmes triphasés équilibrés, un système triphasé symétrique direct un système triphasé symétrique inverse et un système triphasé homopolaire."

et le système de vecteurs A, B, C représentera alors un système triphasé de grandeurs sinusoïdales, où A, B, C sont des tensions ou des courants de phase.

3-1- relation liant les grandeurs sinusoïdales à leurs composantes symétriques et inversement.

3-1-1 tensions de phase.

$$V_A = V_1 + V_2 + V_0$$

$$V_B = a^2 \cdot V_1 + a \cdot V_2 + V_0$$

$$V_C = a \cdot V_1 + a^2 \cdot V_2 + V_0$$

$$V_0 = \frac{1}{3} (V_A + V_B + V_C)$$

$$V_1 = \frac{1}{3} (V_A + a \cdot V_B + a^2 \cdot V_C)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} (V_A + a^2 \cdot V_B + a \cdot V_C)$$

3-1-2 courants de phase.

$$I_A = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_B = a^2 \cdot I_1 + a \cdot I_2 + I_0$$

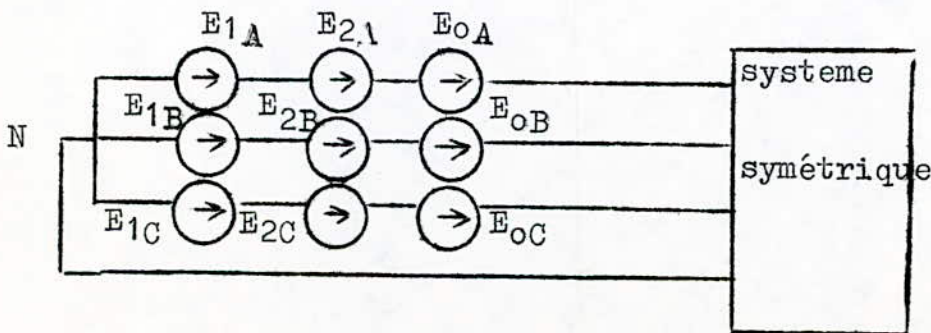
$$I_C = a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 + I_0$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C)$$

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_A + a \cdot I_B + a^2 \cdot I_C)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C)$$

3-2 -forces électromotrices déséquilibrées appliquées à un système symétrique.

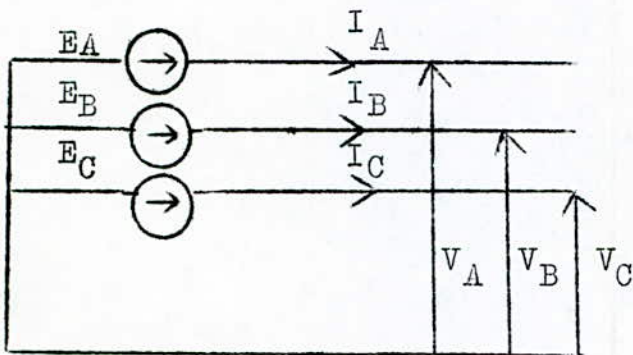


Si on applique simultanément en un point du réseau, entre le conducteur neutre et chaque phase, un système de f.e.m direct, un système de f.e.m inverse et un système de f.e.m homopolaire, en vertu du principe de superposition, le courant circulant dans une branche quelconque d'un circuit est la somme des courants dus aux différentes f.e.m agissant isolément dans le circuit. Il en est de même des tensions en un point quelconque du réseau.

Ainsi le régime du réseau s'obtiendra en superposant les régimes dus aux trois systèmes de f.e.m agissant séparément.

Ces régimes se déterminent par application des lois d'ohm et de kirchhoff, il suffit d'ailleurs d'appliquer celles-ci au schéma monophasé équivalent.

### 3-2-1- Loi d'ohm. impédances symétriques.



dans un réseau alimenté par un générateur de forces électromotrices déséquilibrées, la loi d'ohm appliquée à chacune des trois phases s'écrit comme suit.

-phase A:

$$E_1 = V_1 + Z_1 \cdot I_1$$

$$E_2 = V_2 + Z_2 \cdot I_2$$

$$E_0 = V_0 + Z_0 \cdot I_0$$

phase B:

$$a^2 \cdot E_1 = a^2 \cdot (V_1 + Z_1 \cdot I_1)$$

$$a \cdot E_2 = a \cdot (V_2 + Z_2 \cdot I_2)$$

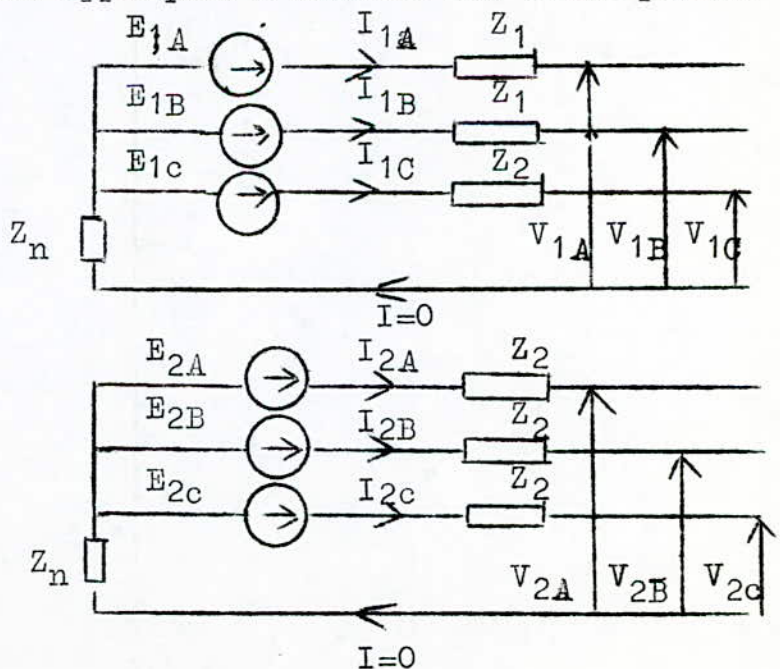
$$E_0 = V_0 + Z_0 \cdot I_0$$

phase C:

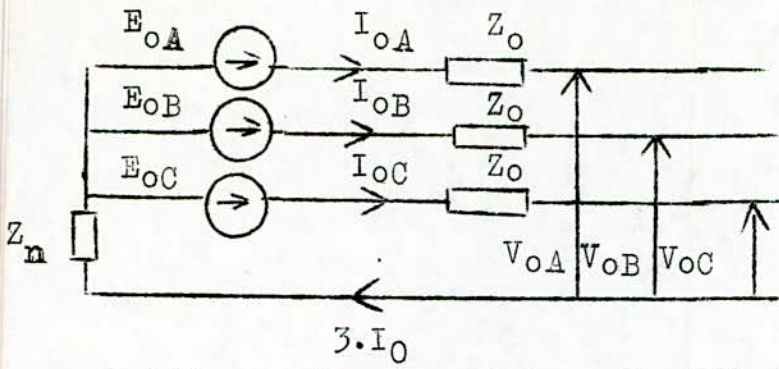
$$a \cdot E_1 = a \cdot (V_1 + Z_1 \cdot I_1)$$

$$a^2 \cdot E_2 = a^2 \cdot (V_2 + Z_2 \cdot I_2)$$

$$E_0 = V_0 + Z_0 \cdot I_0$$







3-3-Forces électromotrices équilibrées appliquées à un système triphasé symétrique.

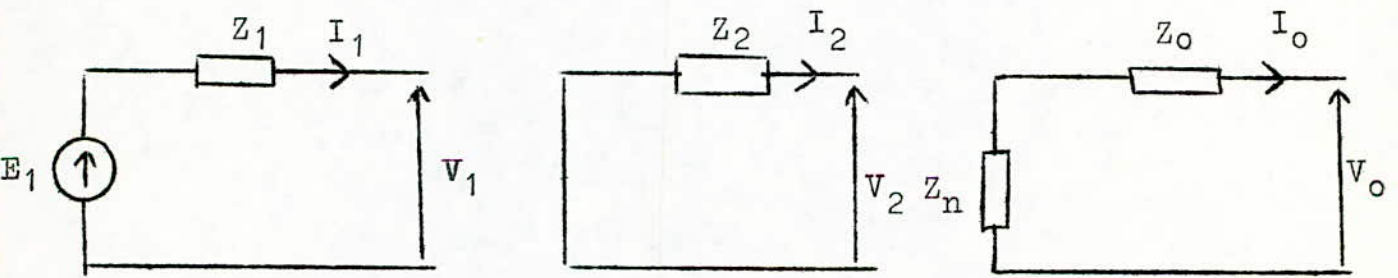
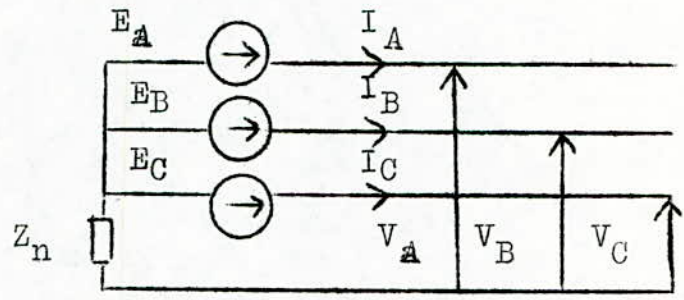
Ce cas est beaucoup plus fréquent que le précédent est l'application de la théorie des composantes symétriques est justifiée si l'on peut transfigurer le schéma équivalent de ce système de manière à ce qu'il soit possible de le décomposer en trois systèmes symétriques.

Dans ce cas la loi d'ohm pour une phase du réseau s'écrit:

$$E_1 = V_1 + Z_1 \cdot I_1$$

$$0 = V_2 + Z_2 \cdot I_2$$

$$0 = V_0 + Z_0 \cdot I_0$$



ici les f.e.m directe et inverse n'interviennent pas car la source est symétrique ( $E_2 = E_0 = 0$ )

REMARQUE: il existe un autre cas ou les fem sont asymétriques et les impédances du circuit alimenté sont asymétriques, dans ce cas l'application de la théorie des composantes symétriques est pratiquement exclue.



## CHAPITRE IV

### METHODE DES COMPOSANTES SYMETRIQUES ET SON APPLICATION AU CALCUL DES SYSTEMES ASYMETRIQUES.

L'application de la méthode des composantes symétriques dans le calcul des systèmes asymétriques, est avantageuse, si ce n'est que les tensions d'alimentation qui sont asymétriques (les impédances sont symétriques). Dans ce cas les composantes symétriques du courant, ne dépendent que des composantes de tensions.

Si les impédances d'un circuit triphasé sont asymétriques, les composantes symétriques des tensions produisant des courants asymétriques comprenant dans le cas général les composantes directes, inverses et homopolaires.

à l'inverse les composantes symétriques de courants, produisent des chutes de tension asymétriques contenant des composantes symétriques.

Ce fait, rend difficile, l'application de la méthode au calcul des systèmes asymétriques (charges asymétriques, court circuits asymétriques).

Afin de tirer profit de tous les avantages de la méthode des composantes symétriques il faut réduire le système asymétrique, à un système symétrique.

#### 4.1.- Procédé de la méthode.

- a.- On élimine du système triphasé la charge asymétrique en la remplaçant par des sources idéales de tensions.  
Les sources seront traitées comme des inconnues.
- b.- Ces tensions peuvent être décomposées par conséquent on obtient un système ou les impédances sont symétriques.
- c.- A partir de ce système on établit ses schémas équivalents direct, inverse et homopolaire qu'on essayera de réduire sous une forme plus simple.
- d.- Maintenant il nous restera qu'à ~~composer~~ les trois schémas équivalents afin d'obtenir un schéma équivalent global sur lequel vont s'effectuer les calculs.

.../...

.../...

4.2.- Application :

Soit le schéma de la fig. (1) à qui on va applique la méthode :

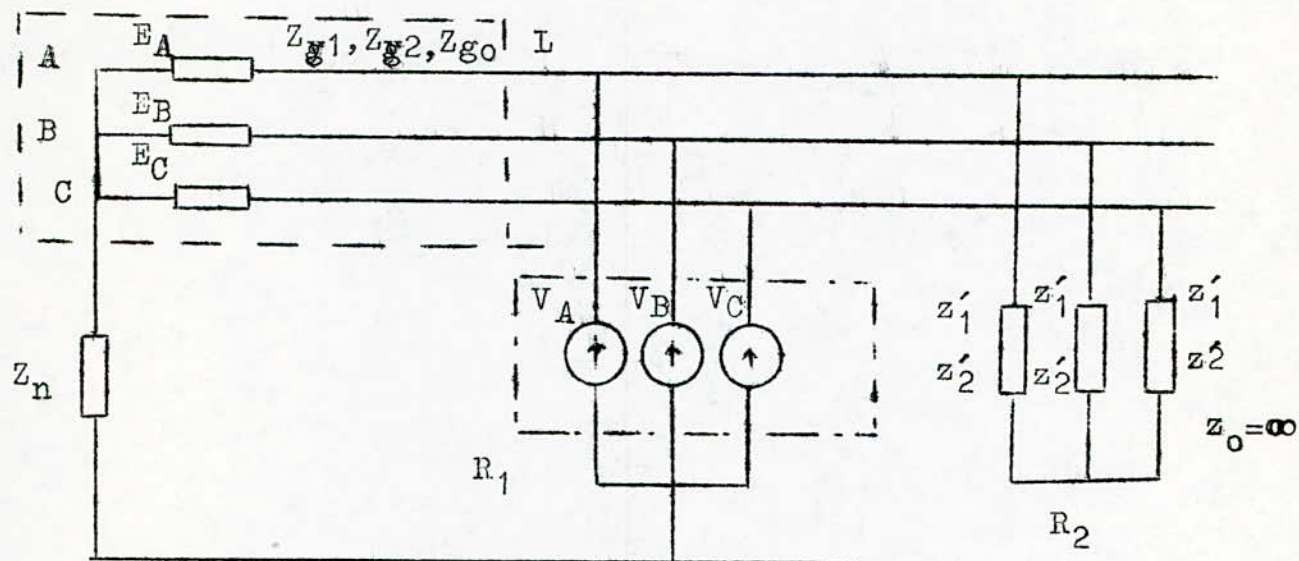
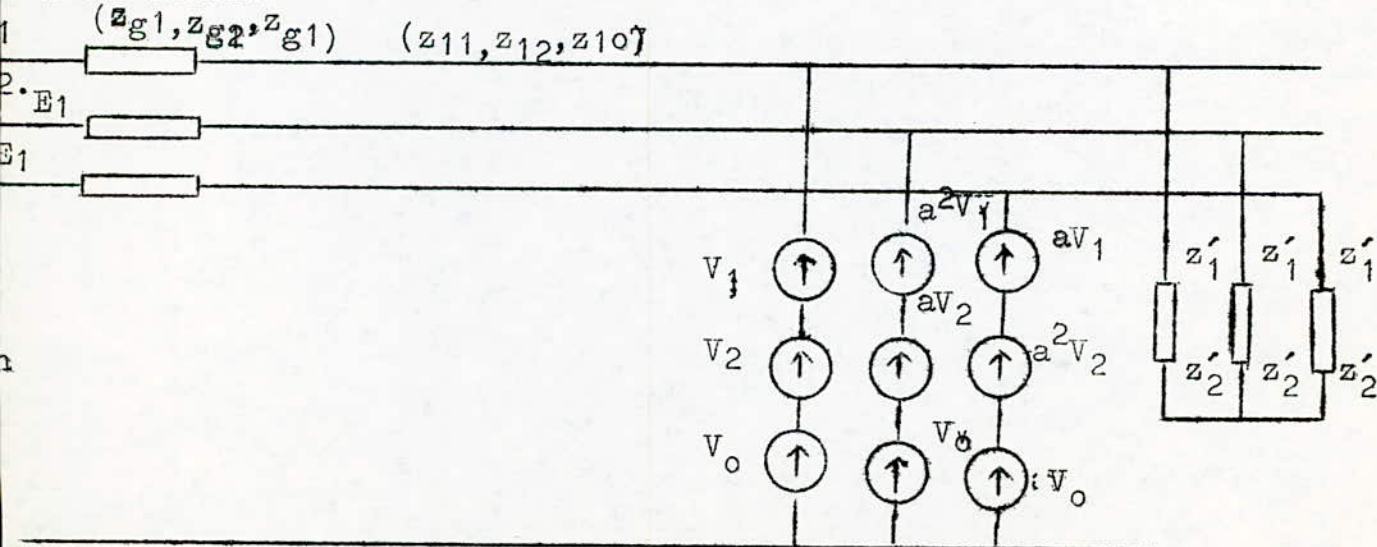


fig:1

sur le schéma de la fig :

- S : représente la source (d'habitude les f.e.m et les impédances internes sont symétriques)
- $R_1$  : représente la charge asymétrique (ses impédances ont été remplacées par trois tensions de source asymétrique)
- $R_2$  : représente un récepteur (Réseau) symétrique.
- L : représente la ligne considérée comme symétrique.

Après avoir décomposé les tensions  $V_A, V_B, V_C$  en composantes symétriques on reçoit le schéma suivant





./...

si les f.e.m de la source étaient asymétriques, elles aussi devraient être décomposées.

maintenant le problème se réduit au calcul des courants dus aux composantes de f.e.m  $E_A, E_B, E_C$  et de tensions  $V_A, V_B, V_C$ , et ensuite à l'application du principe de superposition, afin de calculer les composantes de courants (il faut établir les schémas équivalents monophasés pour chaque composante).

schémas équivalents monophasés.

les schémas ci-dessous sont établis sous l'hypothèse que la source est symétrique.

Schéma direct :

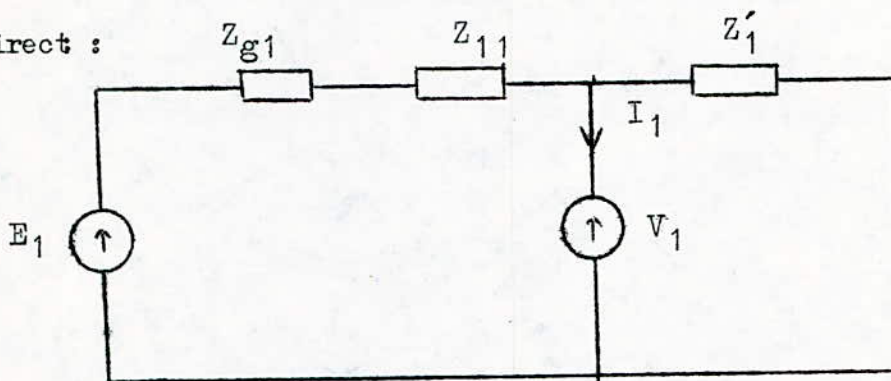


Schéma inverse

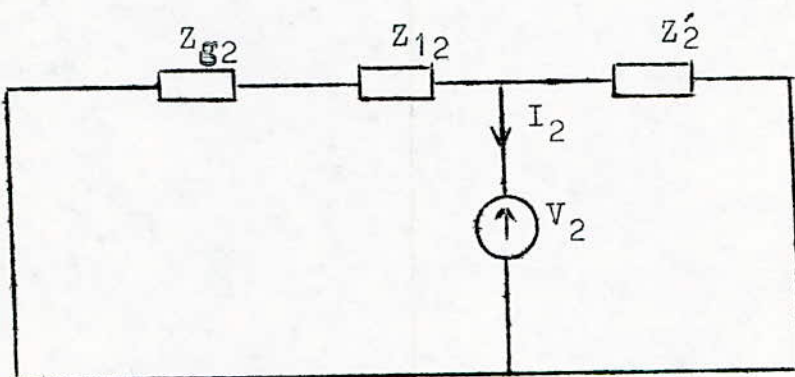
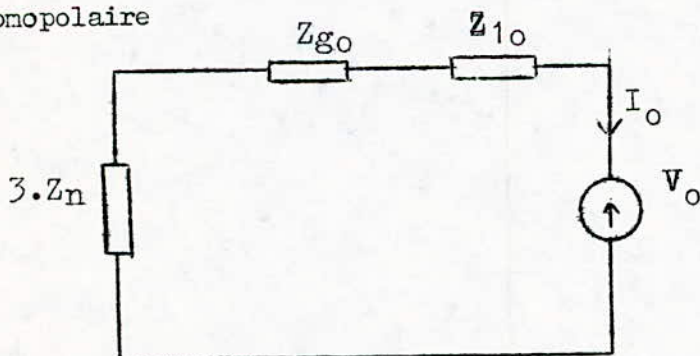


Schéma homopolaire



pour pouvoir exploiter ces schémas équivalents il faut essayer de les réduire à leur forme la plus simple.

.../...

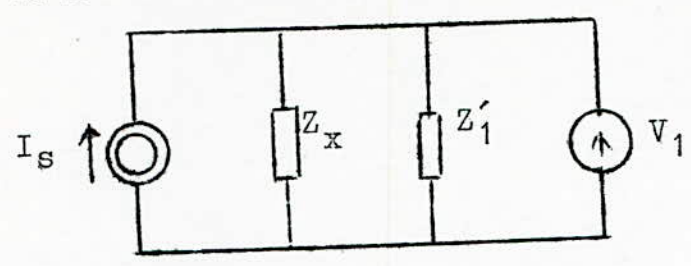


./...

### Réduction des schémas.

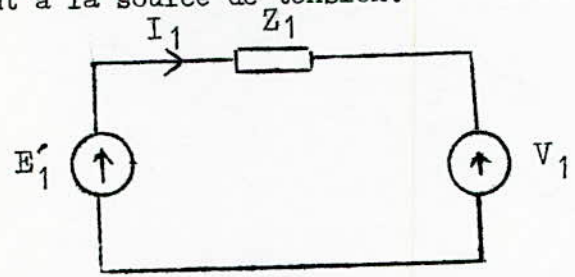
- Réduction du schéma direct.

en remplaçant la source de tension par une source de courant on obtient :



$$I_S = \frac{E_1}{Z_x} \text{ avec } Z_x = Z_{g1} + Z_{II}$$

puis on revient à la source de tension.

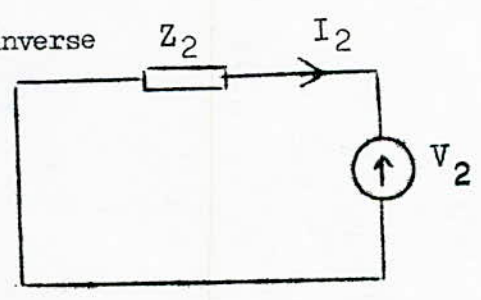


$$\text{avec : } Z_1 = \frac{Z_x Z_1}{Z_x + Z_1} = \frac{(Z_{g1} + Z_{II}) Z_1}{Z_{g1} + Z_{II} + Z_1}$$

$$E_1 = Z_1 I_S = \frac{(Z_{g1} + Z_{II}) Z_1}{Z_{g1} + Z_{II} + Z_1} \frac{E_1}{Z_{g1} + Z_{II}}$$

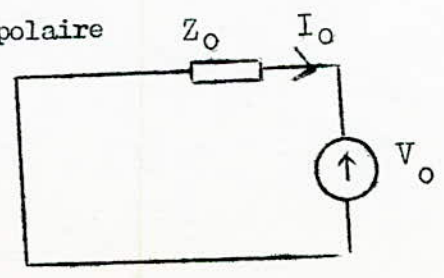
$$E_1 = \frac{Z_1 E_1}{Z_{g1} + Z_{II} + Z_1}$$

- Réduction du schéma inverse



$$Z_2 = \frac{(Z_{g2} + Z_{12}) Z_2}{Z_{g2} + Z_{12} + Z_2}$$

- Réduction du Schéma homopolaire



$$Z_0 = Z_{g0} + Z_{10} + 3 Z_n$$

.../...

.../...

a partir des schémas équivalents obtenus on écrit les équations suivantes:

$$E_1' = V_1 + Z_1 \cdot I_1$$

$$0 = V_2 + Z_2 \cdot I_2$$

$$0 = V_0 + Z_0 \cdot I_0$$

contenant six inconnues ,les trois équations qui manquent resulteront de la determination de l'asymétrie analysée.

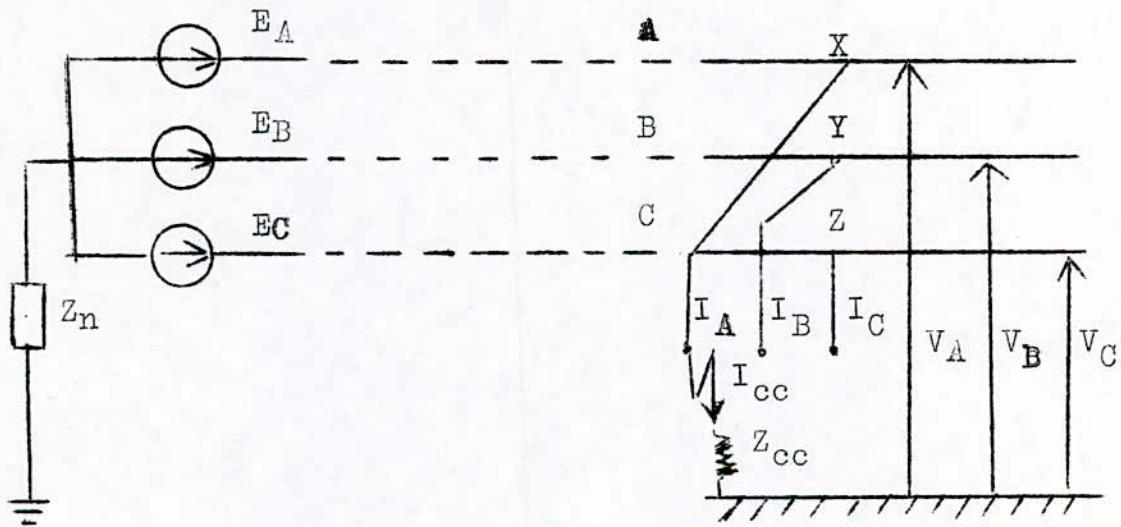
4-3- Application de la méthode des composantes symétriques , au calcul des courants de c-c monophasés.

Le calcul repose sur l'application de la méthode des composantes symétriques.

On suppose avoir affaire à un réseau triphasé de constitution symétrique, soumis à l'action d'un ou plusieurs systèmes de f.e.m triphasées équilibrées.

Les phases seront notées de telle sorte que les f.e.m appliquées constituent des systèmes à succession de phases directe .  
Seule l'apparition d'un défaut provoquera l'asymétrie des impédances. On se bornera, dans ce qui suit, au calcul du court-circuit monophasé dans un réseau triphasé équilibré.

4-3-1 court-circuit monophasé dans un réseau à neutre mis directement a la terre , ou à travers une impédance  $Z_n$  relativement faible.



On considère que le court-circuit est situé sur la phase A, et qu'il est impédant .

on écrit tout d'abord les conditions posées par le c-c:

au point de c-c la tension  $V_A$  est:

$$V_A = Z_{cc} \cdot I_A$$

ET les courants dans les phases saines sont:

$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$

Le courant de c-c est égal au courant dans la phase A:

$$I_A = I_{cc}$$

.../...



En utilisant les relations données par la théorie des composantes symétriques, on a:

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C) = \frac{1}{3} I_A$$

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_A + aI_B + a^2 I_C) = \frac{1}{3} I_A$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_A + a^2 I_B + a I_C) = \frac{1}{3} I_A$$

Donc:  $I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{3} I_A$

Et on a:

$$V_A = V_1 + V_2 + V_0 = Z_{cc} \cdot I_A$$

Et en remplaçant  $V_1, V_2, V_0$  par leurs expressions données par la loi d'ohm on obtient:

$$E'_1 - Z_1 \cdot I_1 - Z_2 \cdot I_2 - Z_0 \cdot I_0 - Z_{cc} \cdot I_A = 0$$

D'où l'on tire.

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E'_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}}$$

Donc le courant dans la phase A au point de c.c est:

$$I_A = 3 \cdot I_1 = \frac{3 \cdot E'_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}} = I_{cc}$$

Les composantes de tensions au point de c-c .

$$V_1 = E'_1 - Z_1 \cdot I_1 = \frac{E'_1 (Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc})}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}}$$

$$V_2 = - Z_2 \cdot I_2 = \frac{- Z_2 \cdot E'_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}}$$

$$V_0 = - Z_0 \cdot I_0 = \frac{- Z_0 \cdot E'_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}}$$

EN composant ces tensions, on déterminera les tensions réelles au point de c-c.

$$V_A = V_1 + V_2 + V_0 \quad \dots \quad V_B = a^2 \cdot V_1 + a \cdot V_2 + V_0$$

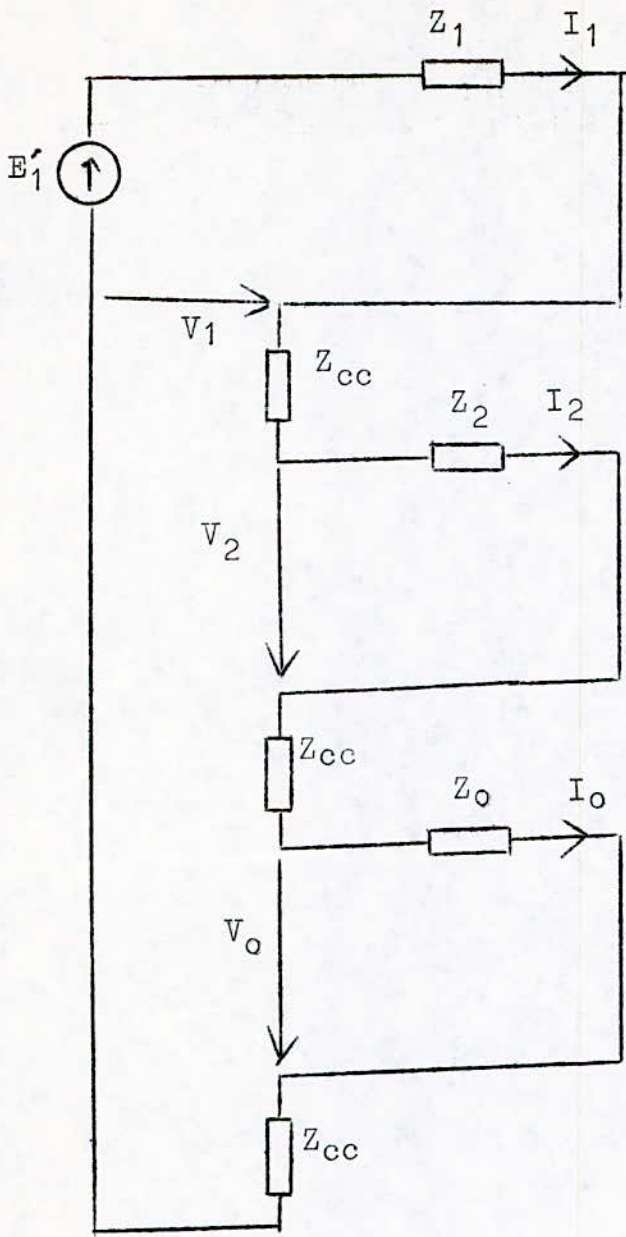
$$V_C = a \cdot V_1 + a^2 \cdot V_2 + V_0$$

$$V_A = Z_{cc} \cdot I_A$$

$$V_B = \frac{a^2 (Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}) + a \cdot Z_2 - Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}} E'_1$$

$$V_C = \frac{a (Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}) - a^2 \cdot Z_2 - Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_{cc}} E'_1$$

Schéma équivalent coposé :



4-4- Méthode pratique pour le calcul du courant de c-c mono-  
-phasé.

Dans le cas des réseaux dont le neutre est mis direct-  
-ement à la terre, le circuit du courant de court-circuit  
monophasé, est fermé, par les impédances longitudinales, et  
la terre ( éventuellement par les cables de garde et les conducteurs  
neutres).

D'habitude , dans ces réseaux , on néglige les impédances  
latérales.

Généralisons le problème en prenant en considération ces  
impédances.

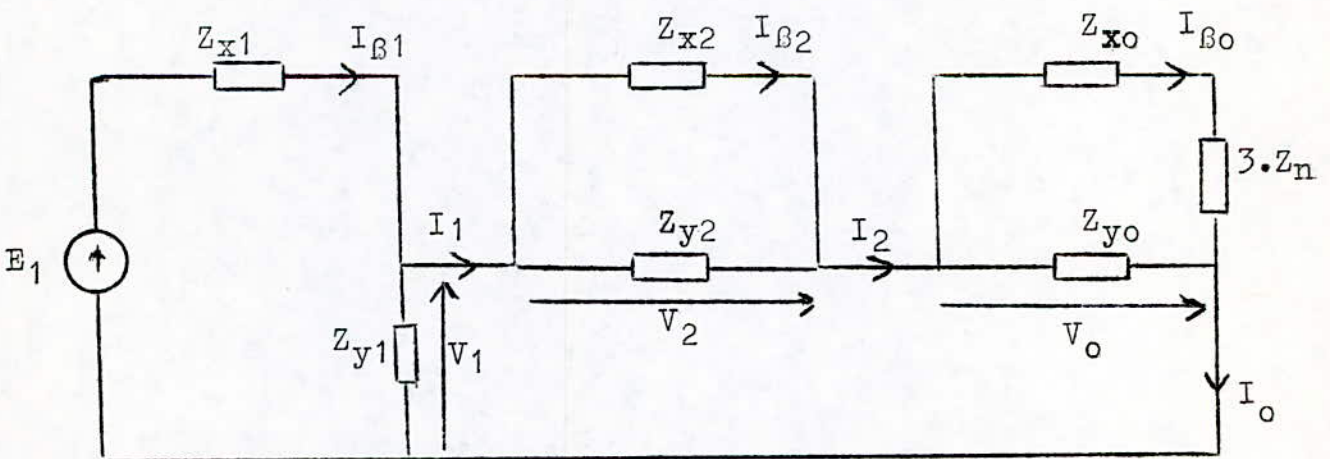
Désignons les impédances longitudinales par:

$$Z_{X1} \qquad Z_{X2} \qquad Z_{X0}$$

Et les impédances latérales par:

$$Z_{Y1} \qquad Z_{Y2} \qquad Z_{Y0}$$

4-4-1-Schéma équivalent composé du réseau.





4-4-1-1- Réduction du schéma équivalent.

a- réduction du schéma équivalent direct.

- l'impédance équivalente  $Z_1$

$$Z_1 = \frac{Z_{X1} \cdot Z_{Y1}}{Z_{X1} + Z_{Y1}} = \frac{Z_{X1}}{\frac{Z_{X1}}{Z_{Y1}} + 1} \approx Z_{X1}$$

du fait que :  $Z_{Y1} \gg Z_{X1}$

- la f.e.m équivalente d'alimentation  $E'_1$

$$E'_1 = \frac{E_1 \cdot \frac{1}{Z_{X1}}}{\frac{1}{Z_{X1}} + \frac{1}{Z_{Y1}}} \approx E_1$$

car  $Z_{X1} \ll Z_{Y1}$

b) réduction du schéma inverse

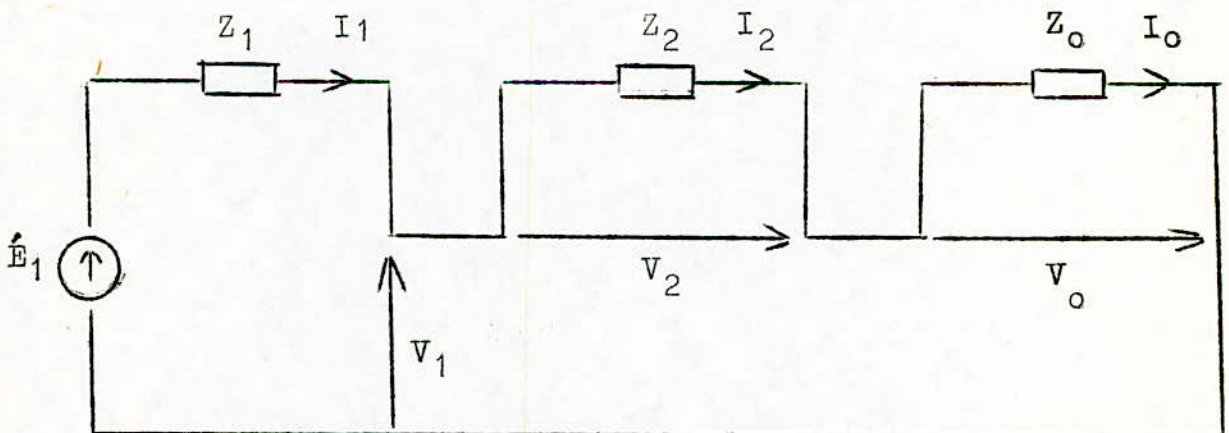
$$Z_2 = \frac{Z_{X2} \cdot Z_{Y2}}{Z_{X2} + Z_{Y2}} = \frac{Z_{X2}}{\frac{Z_{X2}}{Z_{Y2}} + 1} \approx Z_{X2}$$

car  $Z_{Y2} \gg Z_{X2}$

c) réduction du schéma homopolaire.

$$Z_0 = \frac{(Z_{X0} + 3 \cdot Z_n) Z_{Y0}}{Z_{X0} + Z_{Y0} + 3 \cdot Z_n}$$

d) schéma équivalent réduit.



4-4-2-composantes symétriques du courant au point de c-c.

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_{X1} + Z_{X2} + \frac{(Z_{X0} + 3 \cdot Z_n) Z_{Y0}}{Z_{X0} + Z_{Y0} + 3 \cdot Z_n}}$$

1) cas ou  $Z_{Y0} = \infty$

Dans ce cas, on obtient les composantes symétriques du courant, pour un réseau avec neutre mis à la terre.

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_{X1} + Z_{X2} + Z_{X0} + 3 \cdot Z_n}$$

2) cas ou  $Z_n = \infty$

Ce cas nous donne les composantes symétriques du courant, pour un réseau dont le neutre est isolé.

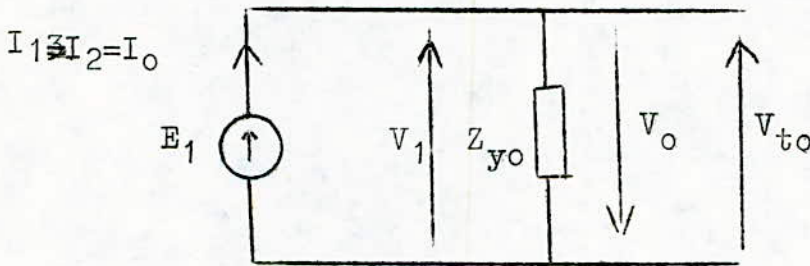
alors:  $I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_{X1} + Z_{X2} + Z_{Y0}}$

on a:

$$Z_{Y0} \gg Z_{X1} \quad \text{et} \quad Z_{Y0} \gg Z_{X2}$$

alors on ne commet pas une grande erreur en négligeant  $Z_{X1}$  et  $Z_{X2}$  devant  $Z_{Y0}$ .

Donc le schéma équivalent se réduit au schéma suivant:



Et la formule donnant les composantes du courant devient:

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_{Y0}}$$

avec

$$Z_{Y0} = Z_0 = 1/jC_0\omega$$

donc  $I_1 = I_2 = I_0 = jC_0\omega E_1$

d'où le courant de c-c monophasé sur la phase A:

$$I_{cc} = I_A = 3 \cdot I_0 = 3 \cdot jC_0\omega E_1$$

- Composantes symétriques de tensions au point de c-c.

$$\begin{aligned} \text{on a: } V_1 &= E_1 - Z_1 I_1 \\ V_2 &= -Z_2 \cdot I_2 \\ V_0 &= -Z_0 \cdot I_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{avec } Z_1 &= Z_{X1} \approx 0 \\ Z_2 &= Z_{X2} \approx 0 \end{aligned}$$

les équations données par la loi d'OHM deviennent dans ce cas:

$$\begin{aligned} V_1 &\approx E_1 \\ V_2 &\approx 0 \\ V_0 &= -Z_0 \cdot I_0 = \frac{-1}{jC_0 \omega} \cdot jC_0 \omega E_1 = + E_1 \end{aligned}$$

- Tensions au point de c-c

$$\begin{aligned} V_A &= V_1 + V_2 + V_0 = E_1 - E_1 = 0 \\ V_B &= a^2 \cdot V_1 + a \cdot V_2 + V_0 = a^2 \cdot E_1 - E_1 = (a^2 - 1) E_1 \\ V_C &= a \cdot V_1 + a^2 \cdot V_2 + V_0 = a \cdot E_1 - E_1 = (a - 1) E_1 \end{aligned}$$

ici  $E_1$  est prise comme référence

- La somme des tensions de phases saines.

$$V_B + V_C = (a^2 - 1) E_1 + (a - 1) E_1 = -3 \cdot E_1 = 3 \cdot V_0$$

d'où la tension du point neutre par rapport à la terre:

$$V_{t_0} = -V_0 = E_1$$

- le module des tensions de phase

$$\begin{aligned} V_A &= |a^2 - 1| E_1 = \sqrt{3} \cdot E_1 \\ V_B &= |a - 1| E_1 = \sqrt{3} \cdot E_1 \end{aligned}$$



ANALYSE DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT MONOPHASÉS

Pour l'analyse des courants de court-circuit monophasés, on a considéré le réseau dans son régime de fonctionnement à vide.

Donc, seuls les courants dus aux impédances et capacités du cable, qui circulent dans le réseau.

Pour l'ensemble des calculs qu'on aura à effectuer, on a choisit deux points (X et Y) sur le schéma de la fig ( ) à partir desquels, vont se faire les calculs.

A-5-1. Calcul du courant de court-circuit monophasé au point X.

Le calcul du courant de court-circuit nécessite en premier lieu, l'établissement des schémas équivalents de c-c (direct, inverse et homopolaire).

UNE fois ces schémas établis, il faut essayer de les réduire à leur forme la plus simple, à l'aide de la méthode de transfiguration.

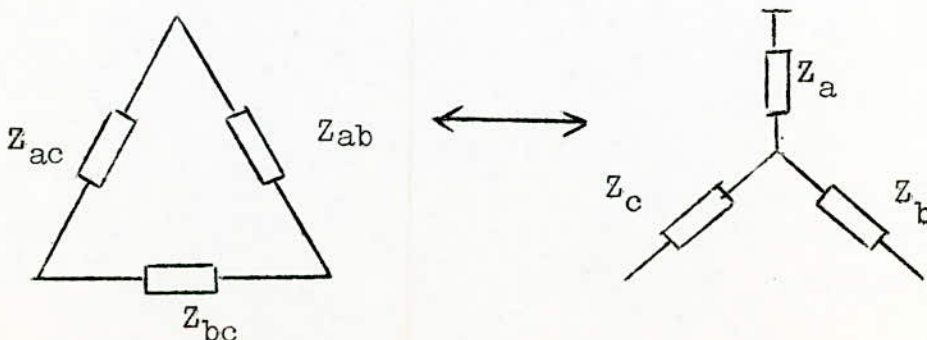
METHODE DE TRANSFIGURATION.

La méthode de transfiguration, est basée sur le principe de conservation des potentiels des noeuds du réseau transfiguré.

Ainsi quoique les courants, dans les différentes branches transfigurées peuvent changer temporairement, les tensions entre les noeuds restent les même.

Cette méthode permet, d'effectuer graduellement, une simplification du schéma équivalent du réseau, jusqu'à aboutir à un schéma simple (une seule maille), où le courant de source peut être déterminé facilement.

a) Formules de transfiguration, Étoile-Triangle.



-Transfiguration  $\Delta \rightarrow \text{Y}$

$$Z_{ab} = Z_a + Z_b + \frac{Z_a \cdot Z_b}{Z_c}$$

$$Z_{bc} = Z_c + Z_b + \frac{Z_b \cdot Z_c}{Z_a}$$

$$Z_{ac} = Z_a + Z_c + \frac{Z_a \cdot Z_c}{Z_b}$$

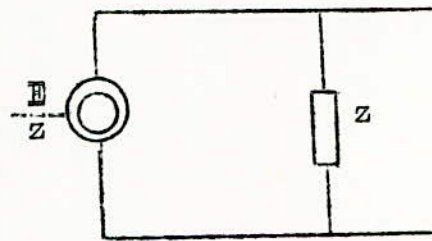
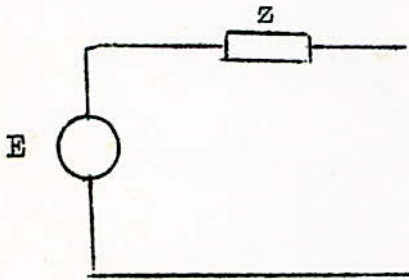
Transfiguration  $\Delta \rightarrow \text{Y}$

$$Z_a = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{ac}}{Z_{ab} + Z_{ac} + Z_{bc}}$$

$$Z_b = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{ac} + Z_{bc}}$$

$$Z_c = \frac{Z_{ac} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{ac} + Z_{bc}}$$

b) Equivalence de sources.



A-5-1-1-Schémas équivalents de court-circuit.

Pour établir les schémas équivalent de c-c, il faut avoir les les impédances, des éléments constituant le réseau.

a) Impédance du la système.

l'impédance du la système ramenée du côté 30KV:

on a:

$$X_s = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{cc}} \left( \frac{30}{110} \right)^2 = 0,495 \Omega$$

avec  $S_{cc} = 2000 \text{ MVA}$

$$Z_s = j0,495$$

et  $Z_{s1} = Z_{s2} \quad Z_{s0} = \infty$

b) Impédances des transformateurs.

-transformateur I :

Tensions: 110/30 KV

$$S_n = 25 \text{ MVA}$$

$$\Delta U_{cc} = 10\%$$

$$\Delta P_{cu} = 0,4 \%$$

$$X_{tI} = \frac{\Delta U_{cc}}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = 3,6 \ \Omega$$

$$R_{tI} = \frac{\Delta P_{cu}}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = 0,144 \ \Omega$$

$$Z_{tI1} = Z_{tI2} = 0,144 + j 3,6$$

$$Z_{tIo} = \infty$$

- Transformateurs : II-III-IV.

ils n'interviennent pas dans les calculs

c) Impédances des cables .

c'est un cable de 30 KV à champ radial , avec ames en cuivre, isolé au papier imprégné, et mis sous gaine de plomb.

Du fait que le cable est à champ radial, il n'y a pas d'influence entre conducteurs, c'est à dire qu'il y a apparition seulement de capacités entre conducteur et terre.

caractéristiques du cable:

-capacité:  $C_0 = C_1 = C_2 = 0,2 \ \mu\text{F}/\text{KM}$

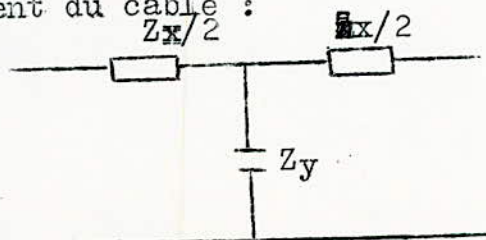
-réactance:  $X_0 = X_1 = X_2 = 0,12 \ \Omega/\text{KM}$

-résistance:  $r = 0,13 \ \Omega/\text{KM}$

-section:  $s = 150 \text{ mm}^2$

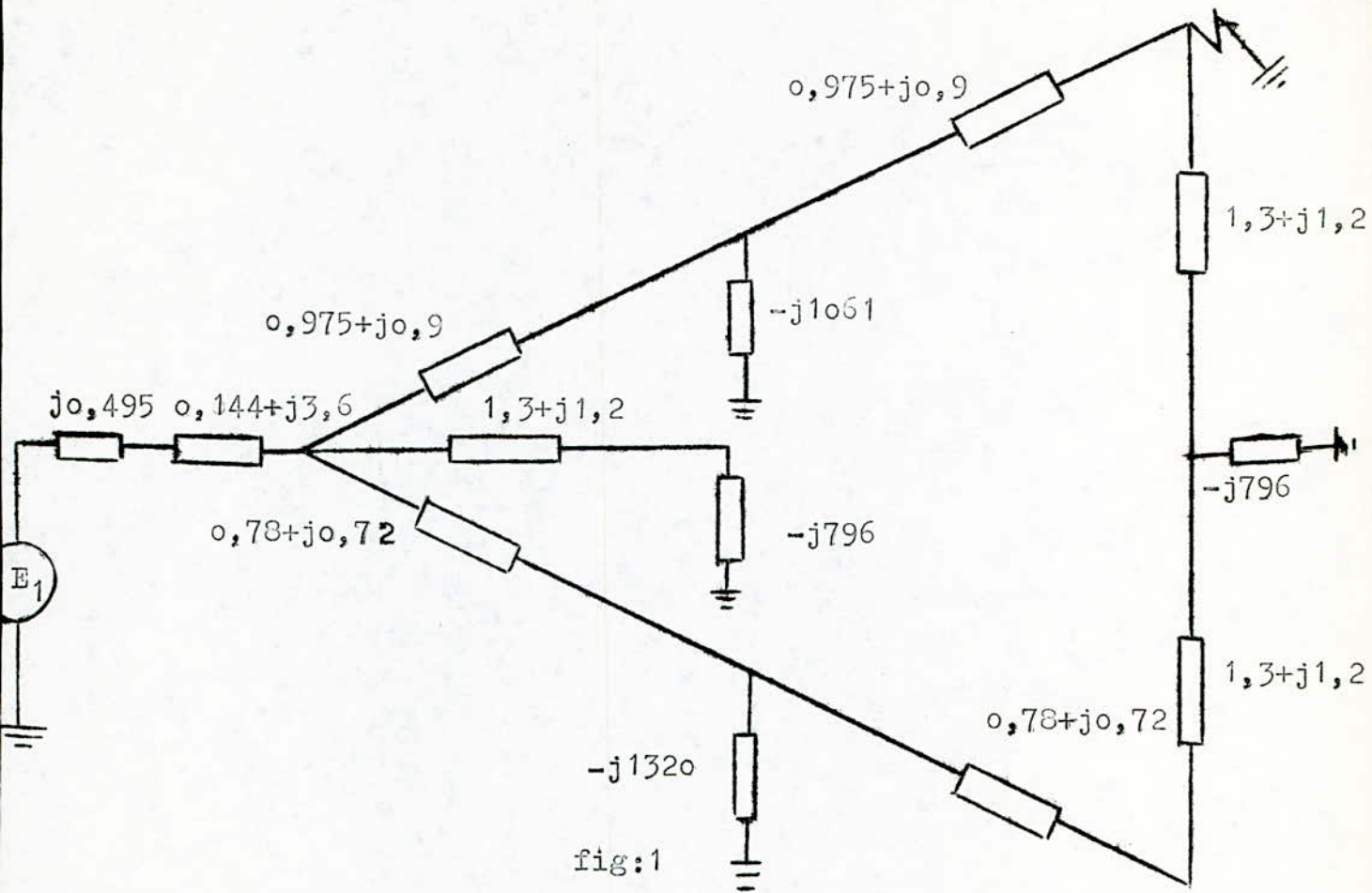
NOTA: les valeurs des impédances de chaque tronçon de cable sont données par le tab ( )

-Schéma équivalent du cable :

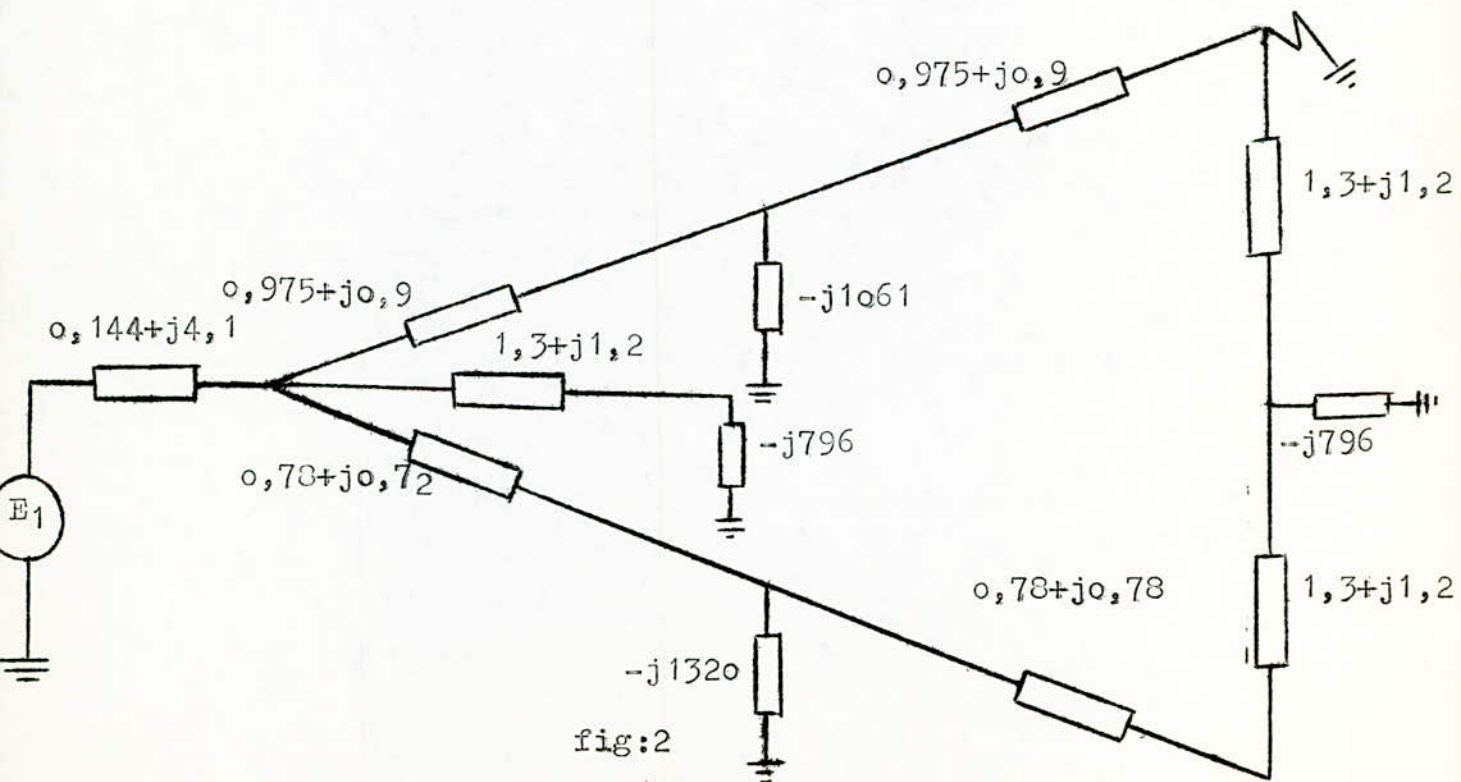




A-5-1-1-1 Schéma équivalent direct



Réduction du schéma direct



après avoir regroupé les impédances en serie on obtient le schéma suivant :

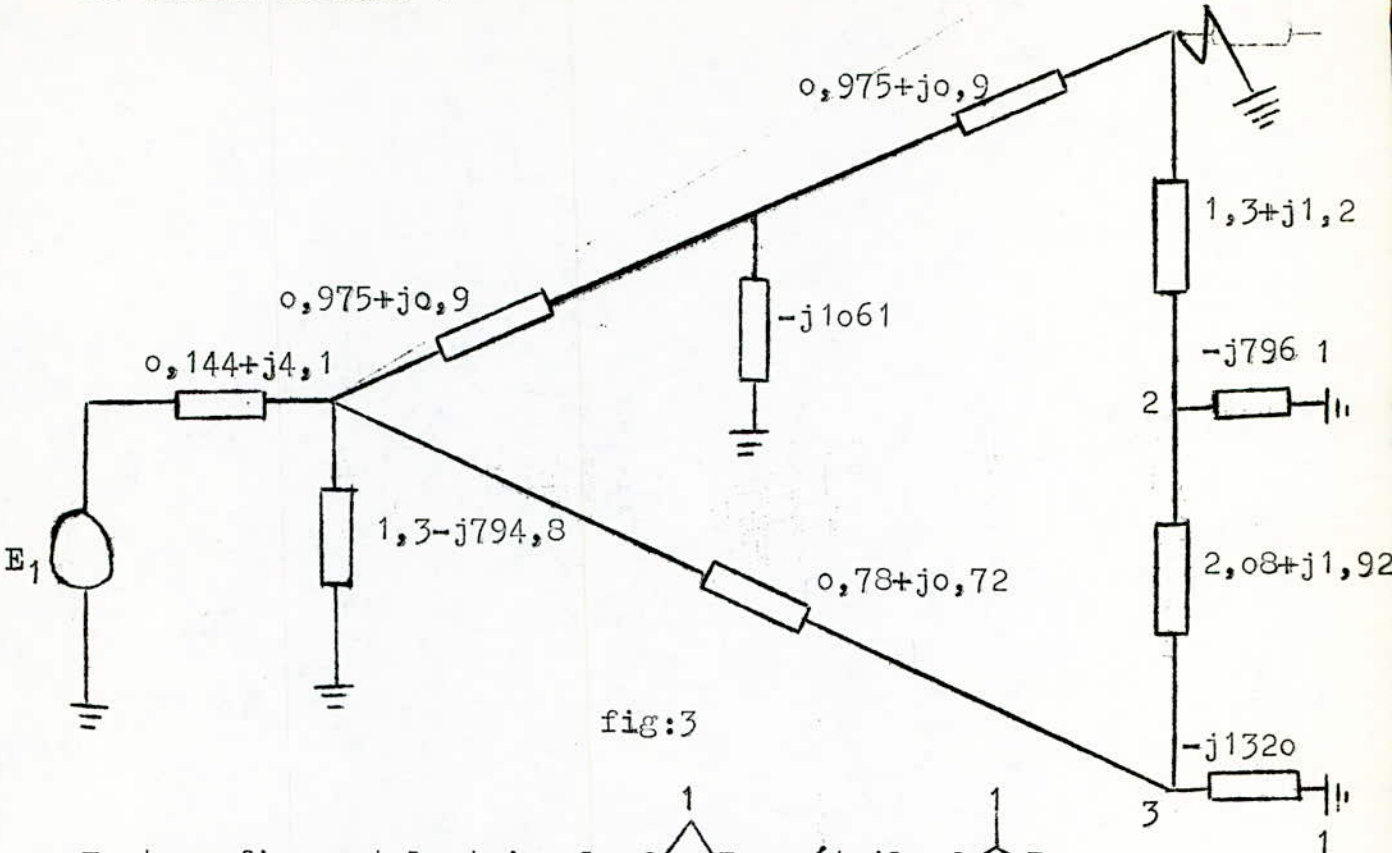


fig:3

En transfigurant le triangle 2-1-3 en étoile 2-1-3 on obtient le schéma suivant:

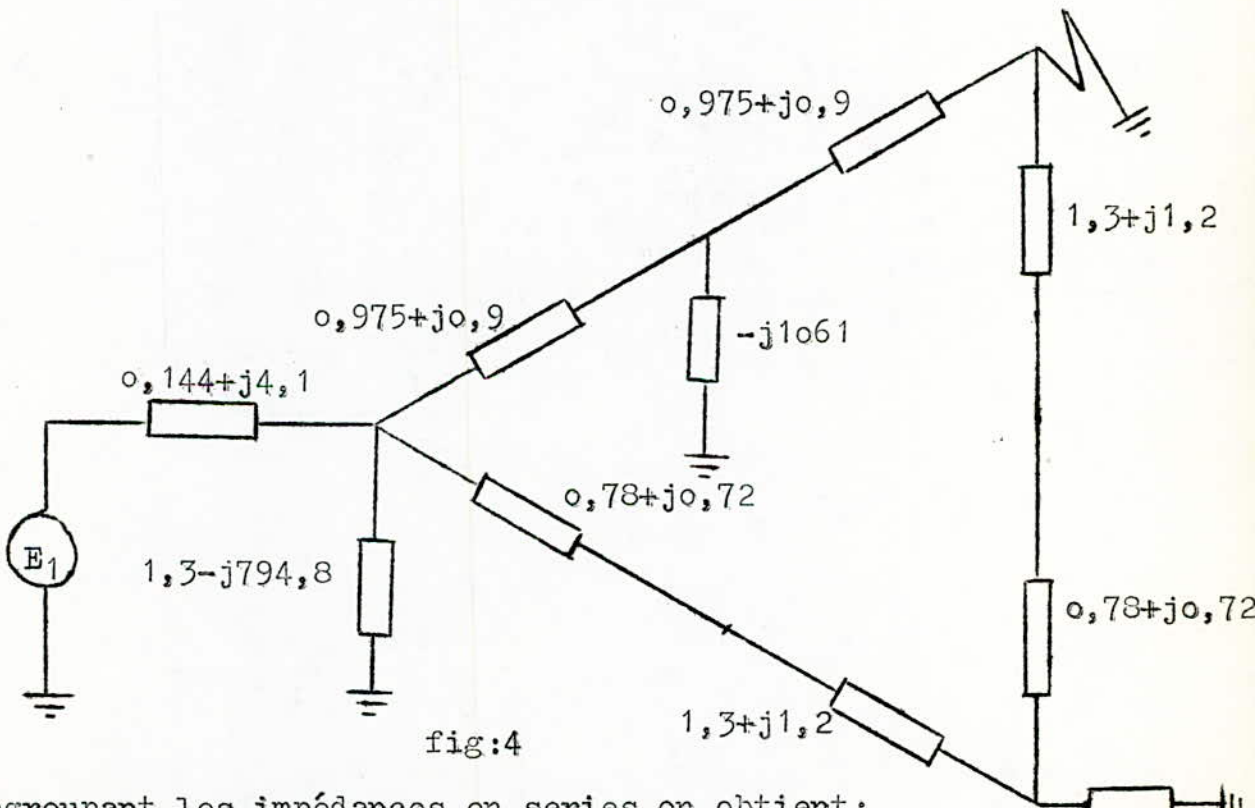


fig:4

en regroupant les impédances en series on obtient:

.../...

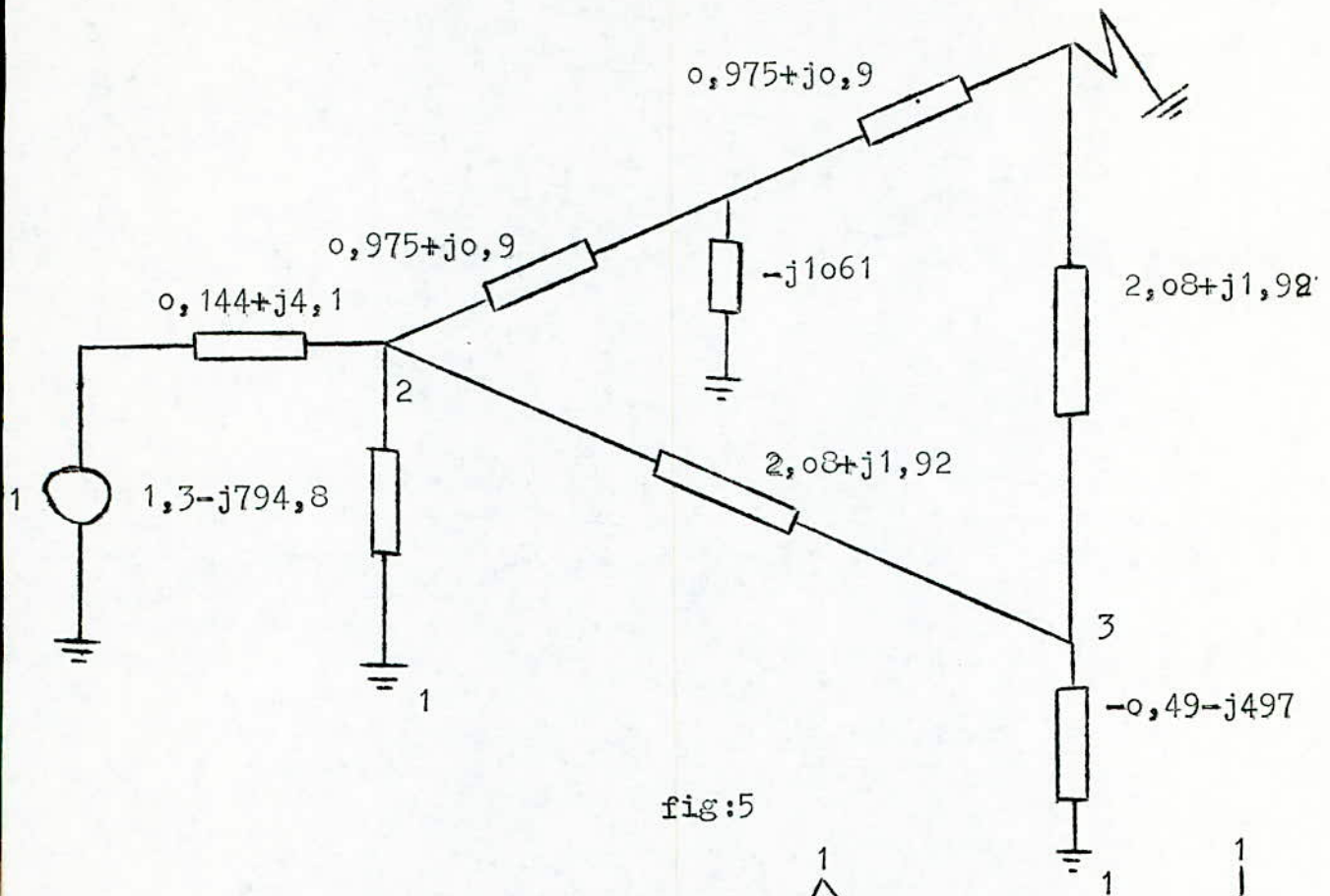


fig:5

En transfigurant le triangle 2-3 en étoile on reçoit le schéma suivant:

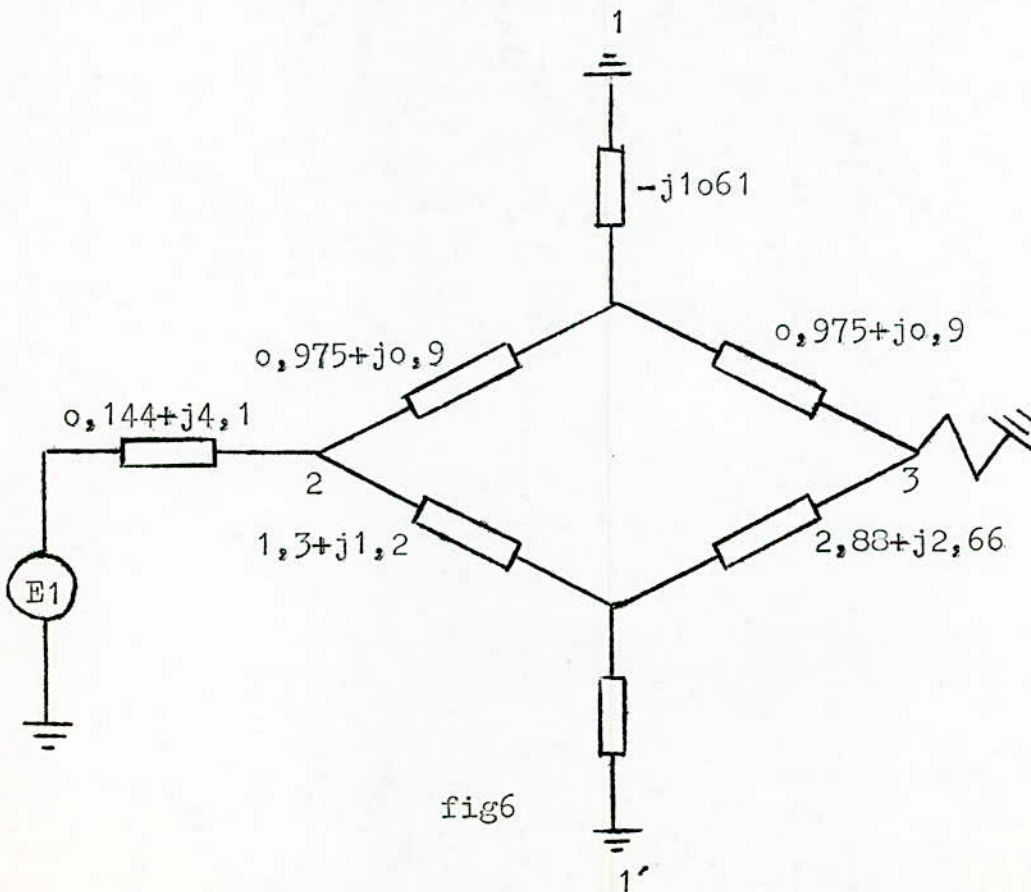
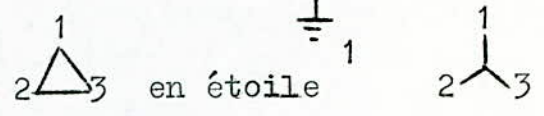


fig6

.../...



Après avoir transfiguré l'étoile 2-1-3 en triangle 2-1'-3' et l'étoile 2-1-3 en triangle 2-1'-3' on obtient:

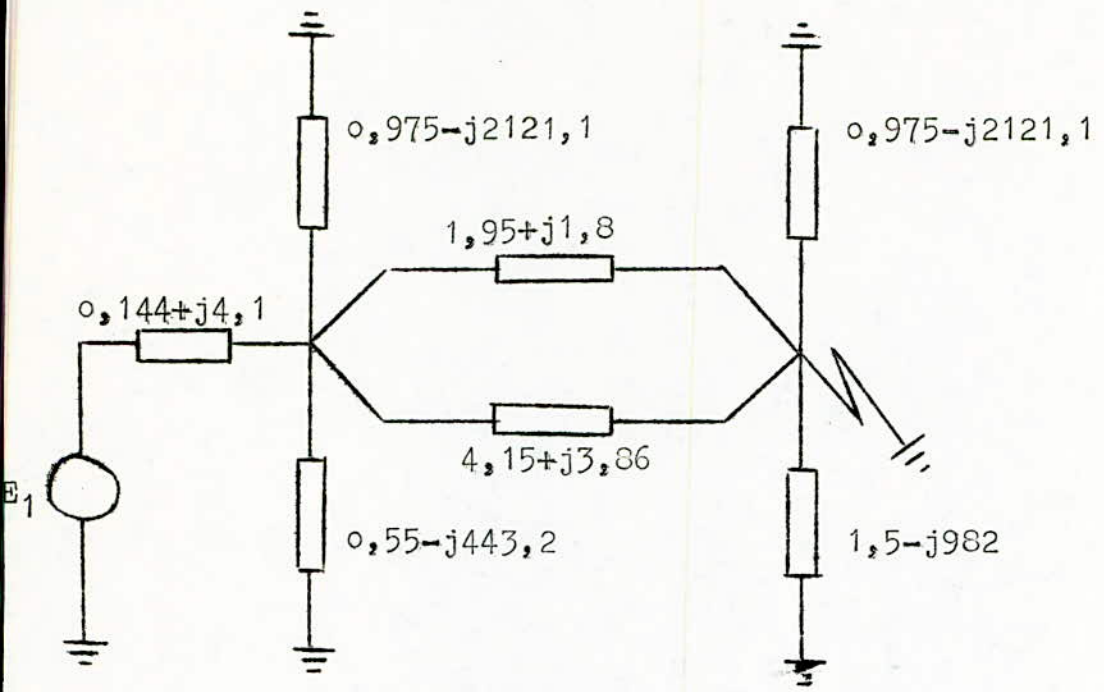


fig:7

On regroupe les impédances en parallèles ,on recoit:

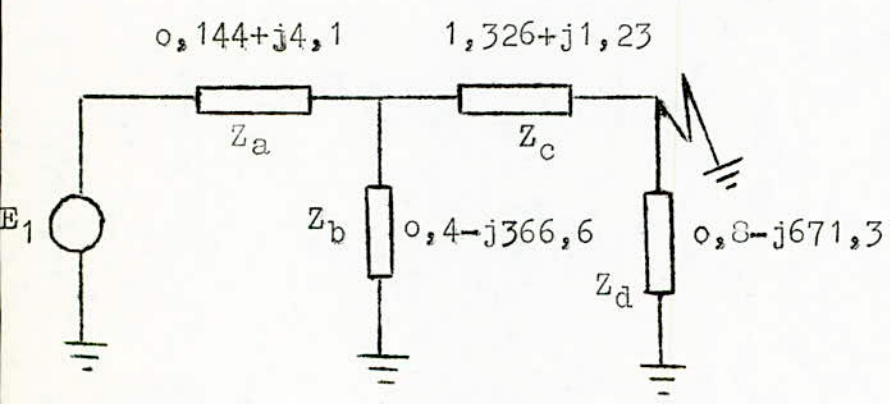


fig:8

on transforme la source de  ~~tension~~ en une source de courant:

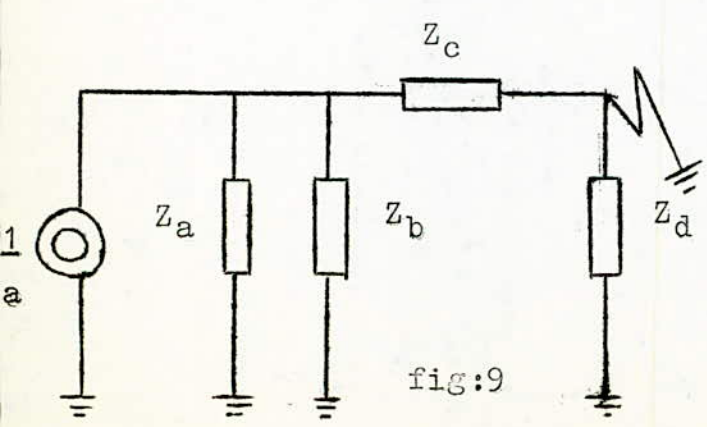


fig:9

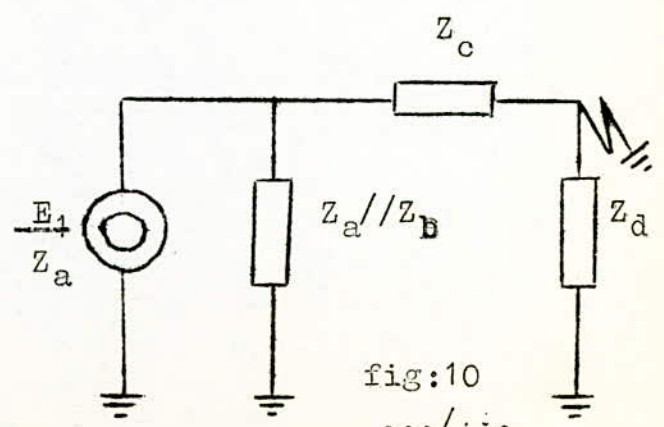


fig:10

.../...

En revnant à la source de tension on obtient:

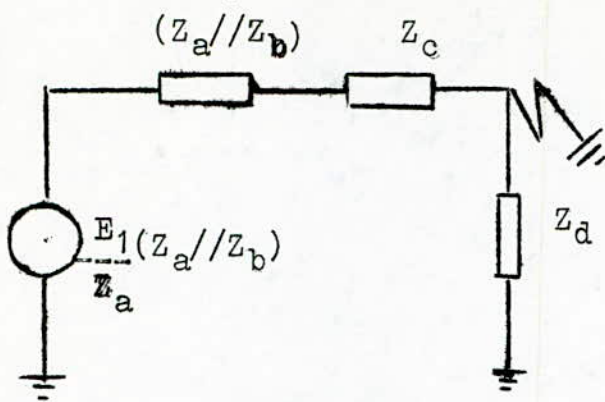


fig:11

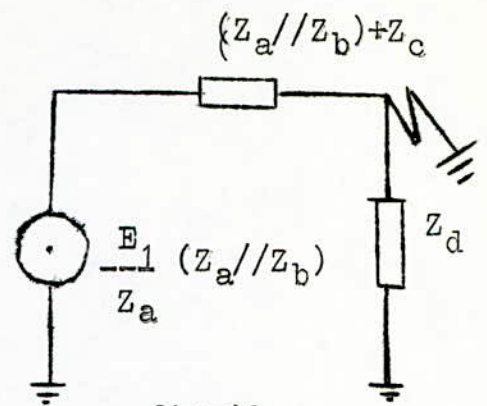


fig:12

en transformant la source de tension en source de courant:

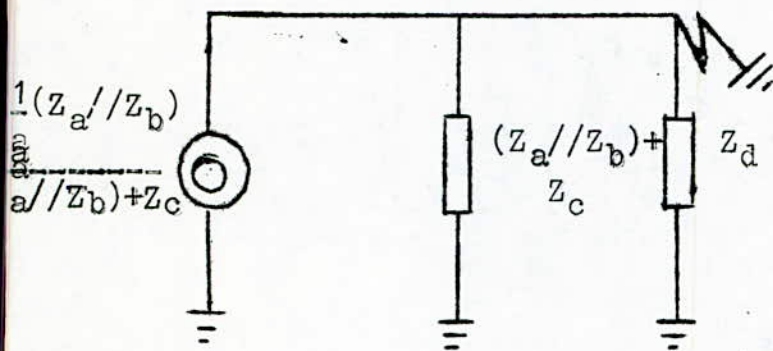


fig:13

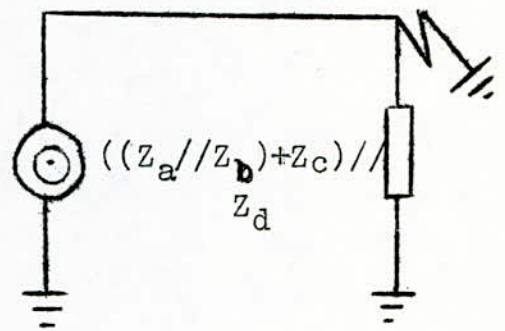


fig:14

en revenant a la source de tension on obtient le schéma equivalent direct simplifié.

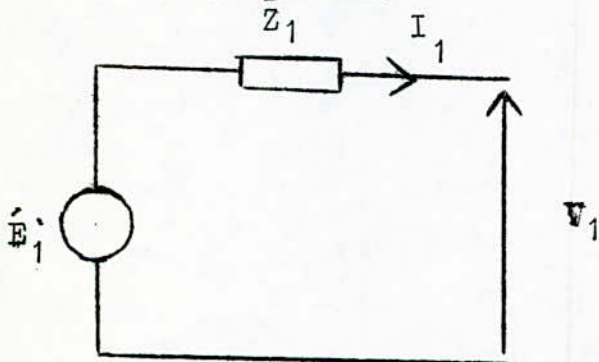


fig:15

avec:

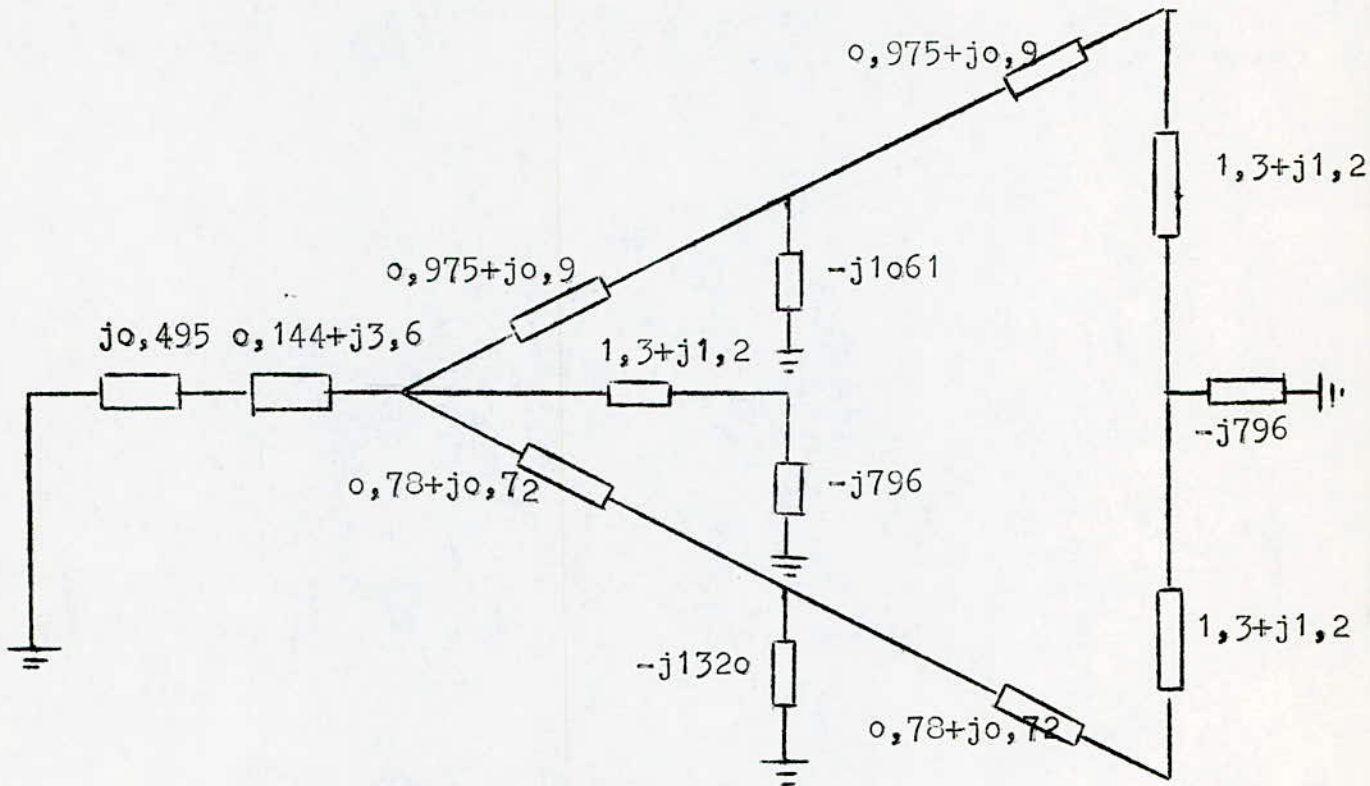
$$E_1' = \frac{Z_b \cdot Z_d}{Z_a(Z_b + Z_c + Z_d) + Z_b(Z_c + Z_d)} E_1$$

$$E_1' = 17658,95 - j46,5 \text{ (V)}$$

$$Z_1 = 1,49 + j5,42$$

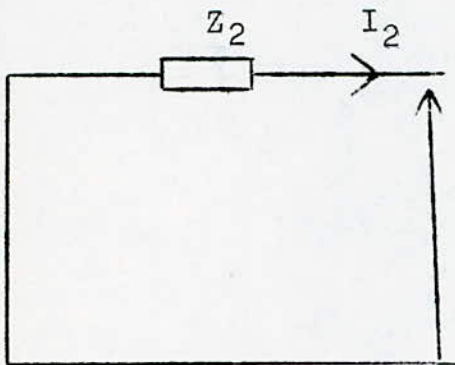
A-5-1-1-2 Schéma équivalent inverse

Le schéma inverse se déduit du schéma , en éliminant la f.e.m du fait que la source est symétrique ( $E_2=0$ ).



réduction du schéma inverse.

Le schéma inverse se réduit de la même façon , que le schéma direct.



$$Z_2 = 1,49 + j5,42$$

A-5-1-1-3 Schéma équivalent homopolaire.

pour ce schéma l'impédance du transformateur I , n'interviendra pas du fait de son neutre qui est isolé ( $Z_{t0}=\infty$ )

.../!!!.



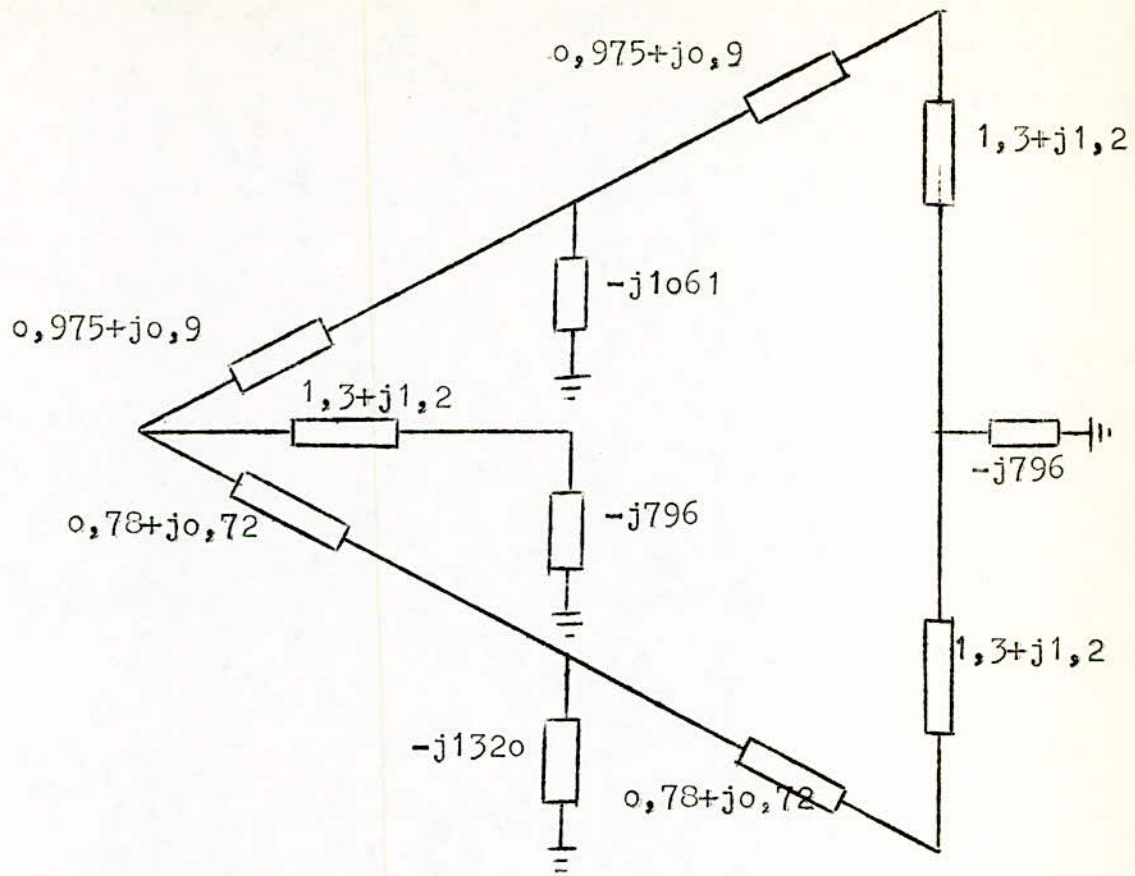
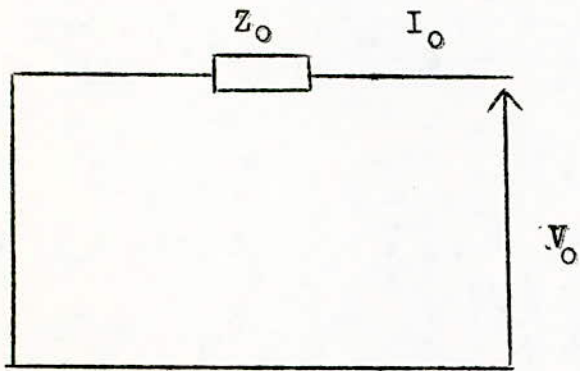
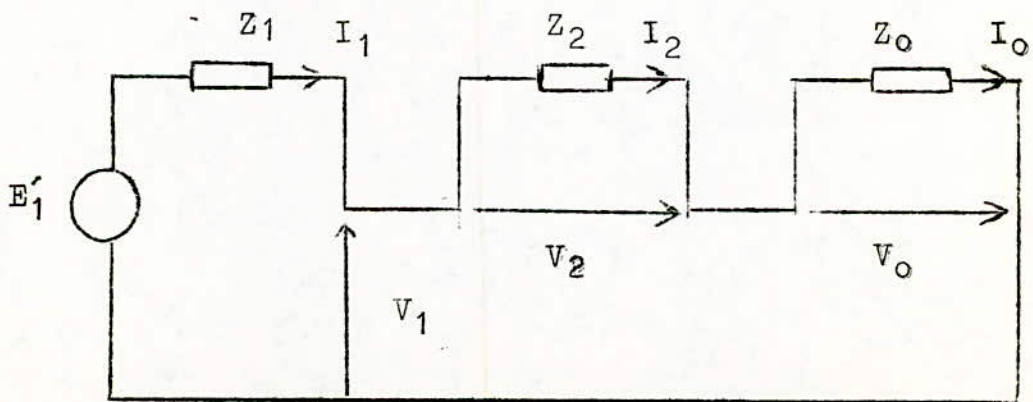


Schéma . . équivalent réduit :



$$Z_0 = 0,82 - j236,8 \quad ( \quad )$$

A-5-1-14 Schéma équivalent global:



A-5-1-2- Courant de court-circuit monophasé.

En utilisant la relation donnée, par la méthode des composantes symétriques pour le calcul du courant de c-c monophasé, on a:

$$I_{cc} = \frac{3 E_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

avec:

$$E_1' = 17658,95 + j46,5 \text{ (V)}$$

$$Z_1 = 1,49 + j5,42$$

$$Z_2 = 1,49 + j5,42$$

$$Z_0 = 0,82 - j236,6$$

$$I_{cc} = 4,59 + j 234,6 \text{ (A)}$$

A-5-1-2-1- diagramme vectoriel des courants au point de c-c.

a) courants au point de c-c.

$$I_A = I_{cc} = 4,59 + j234,6 \text{ (A)}$$

$$I_B = I_C = 0$$

b) composantes symétriques du courant au point de cc.

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{1}{3} I_A = 1,53 + j78,2 \text{ (A)}$$

$$I_1 = 78,2 \text{ (A)} \quad \varphi = 88,8$$

NOTA: Le diagramme est donné par la fig:5-1

A-5-1-2-2- diagramme vectoriel des tensions au point de c-c.

a) composantes symétriques de tensions au point de c-c.

d'après la loi d'ohm d'impédances symétriques on a:

$$V_1 = E_1' - Z_1 \cdot I_1$$

$$V_2 = - Z_2 \cdot I_2$$

$$V_0 = - Z_0 \cdot I_0$$

$$V_1 = 18078,8 - j172,06 \text{ (V)}$$

$$V_2 = 419,985 - j125,56 \text{ (V)}$$

$$V_0 = -18503,36 + j297,87 \text{ (V)}$$

ce qui fait en module:

$$\begin{aligned} V_1 &= 18079,6 \text{ V} & = 0 \\ V_2 &= 438,35 \text{ V} & = 16,6 \\ V_0 &= 18505,75 \text{ V} & = 0 \end{aligned}$$

b) tensions au point de c-c .

en utilisant les relations suivantes données par la théorie des composantes symétriques:

$$V_A = V_1 + V_2 + V_0$$

$$V_B = a^2 \cdot V_1 + a \cdot V_2 + V_0$$

$$V_C = a \cdot V_1 + a^2 \cdot V_2 + V_0$$

on a:  $\bar{V}_A = 0$

$$\bar{V}_B = -27793 - j14845,85 \text{ (V)}$$

$$\bar{V}_C = -27712,5 + j15739 \text{ (V)}$$

$$V_A = 0$$

$$V_B = 31509 \text{ V}$$

$$V_C = 31870 \text{ V}$$

le diagramme vectoriel est donné par la fig:5-2 (A)

### A-5-1-3- Application de la méthode pratique pour le calcul du courant de c-c .

dans cette méthode on ne va pas tenir compte des impédances équivalentes directes et inverse du fait qu'elles sont négligeables devant  $Z_0$ .

a) courant de c-c monophasé, sur la phase A.

$$\text{on a: } I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_0} = \frac{17320}{-j237,38} = j72,96 \text{ (A)}$$

d'où

$$I_{cc} = 3 \cdot I_0 = 219 \text{ (A)}$$

b) tensions au point de c-c.

-composantes des tensions au point de cc.

on a:

$$V_1 = E_1 = 17320 \text{ V}$$

$$V_2 = 0$$

$$V_0 = -E_1 = -17320 \text{ V}$$

en composant ces tensions, on obtient les tensions réelles au point de c-c.

$$V_A = 0$$

$$V_B = -25980 - j14999 \text{ (V)}$$

$$V_C = -25980 - j14999 \text{ (V)}$$



DIAGRAMME VECTORIEL DES COURANTS AU POINT DE C-7.

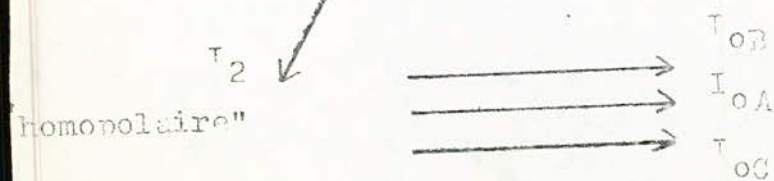
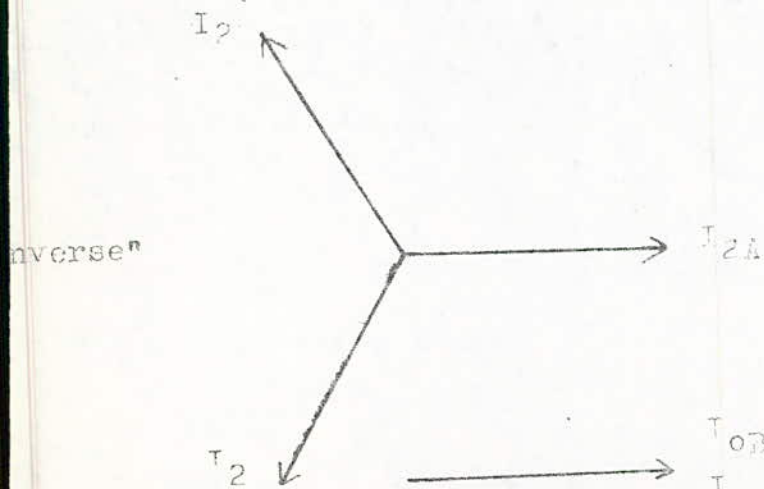
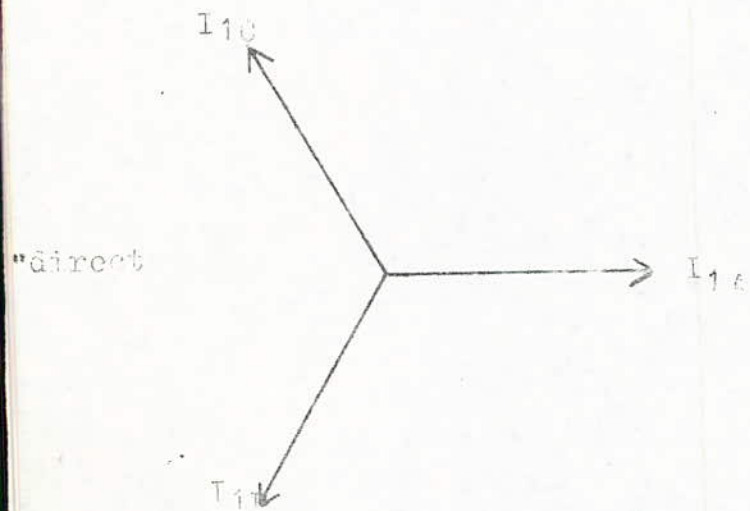
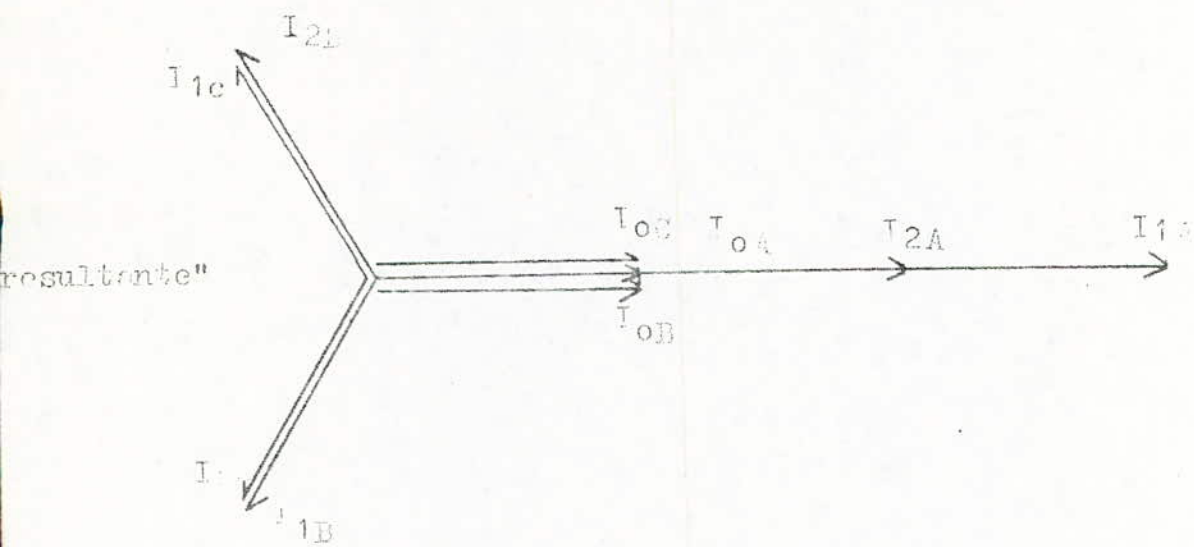


FIG:5-1-(A)

DIAGRAMME VECTORIEL DES TENSIONS AU POINT DE C-C:

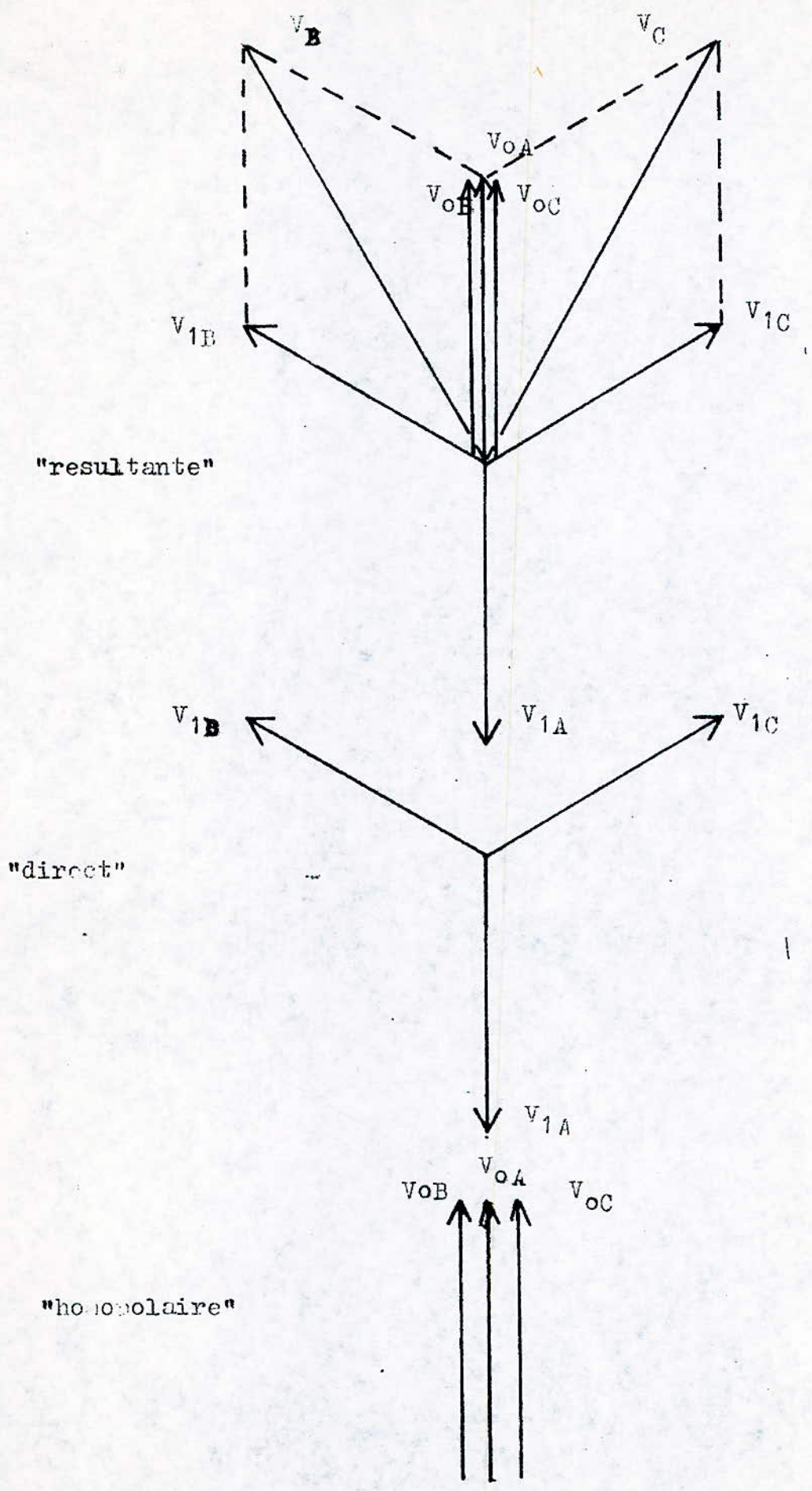


fig:5-2 (A)

en module

$$V_B = 3 \cdot E_1 = 29998 \text{ V}$$

$$V_C = 3 \cdot E_1 = 29998 \text{ V}$$

conclusion :

Le courant de court-circuit est capacitif car cela est du au circuit lui même qui est capacitif.

si on comparé les valeurs du courant de court-circuit obtenues a l'aide des deux formules suivantes:

$$I_{cc} = \frac{3 \cdot E_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (a)$$

$$I_{cc} = \frac{3 \cdot E_1}{Z_{yo}} \quad (b)$$

l'erreur comise en utilisant la formule (b) est de l'ordre de 5% et cela provient de la simplification effectuée en négligeant les valeurs des impédances équivalentes  $Z_1$  et  $Z_2$  devant  $Z_0$ .

l'application de cette formule est avantageuse dans le cas ou l'on s'intéresse à la connaissance de la valeur du courant de court-circuit car il suffit d'avoir la valeur de la capacité homopolaire présentée par l'ensemble du réseau pour déterminer la valeur de ce courant.

mais dans notre cas on a opté pour la formule (a) qui tient compte de toutes les impédances équivalentes du réseau car pour la suite on aura besoin des resultats obtenus à l'aide de cette formule pour le calcul des courants dans les différentes branches du réseau.

Pour ce qui est des tensions de phase au point de court-circuit, la tension de la phase court-circuitée est nulle tandis que celles des deux phases saines augmentent de 3 fois leurs valeurs avant l'apparition du defaut.

remarque:

Le triangle des tensions obtenu à l'aide du diagramme vectoriel est en réalité déformé mais vue que l'échelle est très réduite on n'a pas pu représenter d'une façon convenable ce diagramme.



A-5-2- Calcul des courants dans les phases de toutes les lignes.

Le calcul qui vient d'être développé permet la détermination des composantes symétriques du courant dans le court-circuit et par suite, du courant de défaut lui-même.

Dans certains problèmes (étude des protections), il est utile de connaître en outre le courant dans certains points autres que celui du défaut. On y parvient en déterminant les composantes symétriques de ce courant.

Si l'on se reporte aux figures représentant les schémas équivalents (direct, inverse et homopolaire), on remarque que la connaissance des tensions à leurs bornes, nous permet de déterminer le courant dans différents points, de chacun des schémas correspondants durant le court-circuit. On peut donc, en appliquant les lois classiques, calculer dans chacun d'eux le courant traversant une branche quelconque, la composition de ces trois courants permet la reconstitution du courant réel de cette branche.

POUR la détermination des composantes de ce courant, il n'y a aucune difficulté lorsqu'il s'agit des schémas inverse et homopolaire, car il suffit de connaître les tensions à leurs bornes, de calculer la répartition des courants entre leurs différentes branches.

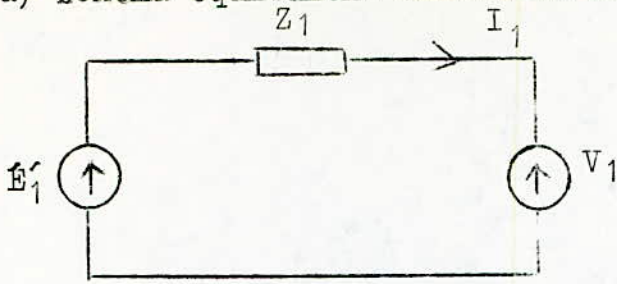
Pour le schéma direct, le calcul faisant intervenir la f.e.m interne  $E_1$  et la tension  $V_1$  est un peu plus compliqué, pour cela on doit utiliser la méthode de "SUPERPOSITION"

#### METHODE EDE SUPERPOSITION.

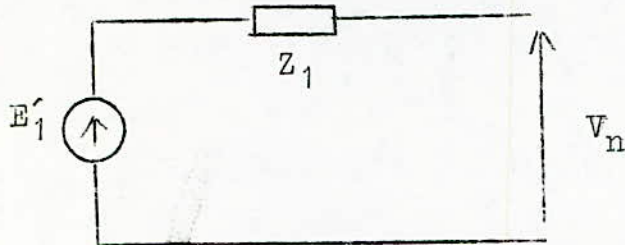
Le régime de fonctionnement représenté par le schéma direct peut être considéré comme la superposition de deux régimes:

- un régime  $R_n$  correspondant au fonctionnement avant court-circuit
- un régime  $R_{cc}$  dans lequel le défaut existe, mais où la fem est court-circuitée.

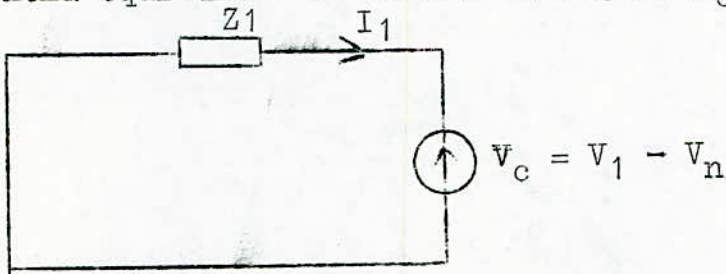
a) schema equivalent direct du reseau.



b) schema equivalent du reseau en regime  $R_n$ .



c) schema equivalent du reseau en regime  $R_{cc}$ .



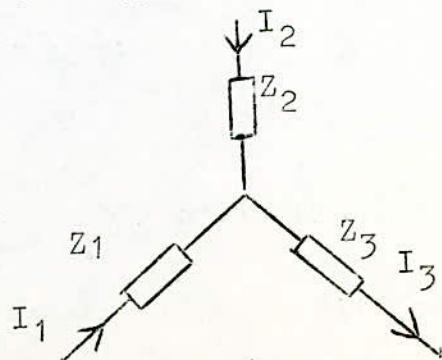
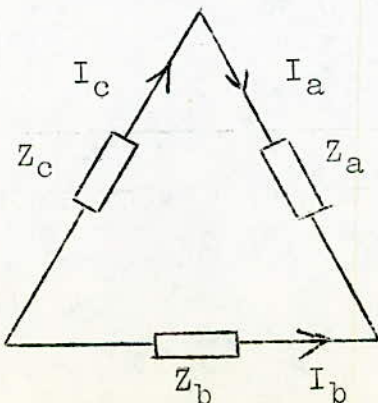
A-5-2-1-calcul des courants directs dans les différentes branches du schema equivalent du reseau.

Pour le calcul des courants directs dans les différentes branches, on utilisera la methode de superposition. Pour cela on calculera les courants en regime  $R_n$ , puis les courants en regime  $R_{cc}$  ensuite il suffit de superposer les deux regimes ( $R_n + R_{cc}$ ) Pour obtenir les courants directs.

A-5-2-1-1- Calcul des courants en regime  $R_n$ .

On utilisera pour le calcul de ces courants la methode de transfiguration retrograde a celle qui nous a permis de determiner le courant de c.c.

-Formules de transfiguration.  $\Delta - Y$





$$I_a = \frac{Z_2 \cdot I_2 + Z_3 \cdot I_3}{Z_3 \cdot I_3 + Z_1 \cdot I_1}$$

$$I_b = \frac{Z_b \cdot I_2}{Z_1 \cdot I_1 + Z_2 \cdot I_2}$$

$$I_c = \frac{Z_1 \cdot I_1 - Z_2 \cdot I_2}{Z_c}$$

$$I_1 = I_b + I_c$$

$$I_2 = I_a + I_b$$

$$I_3 = I_a + I_b$$

A-5-2-1-1- calcul des courants en régime normal.

$$E_1 = 17320 \text{ V}$$

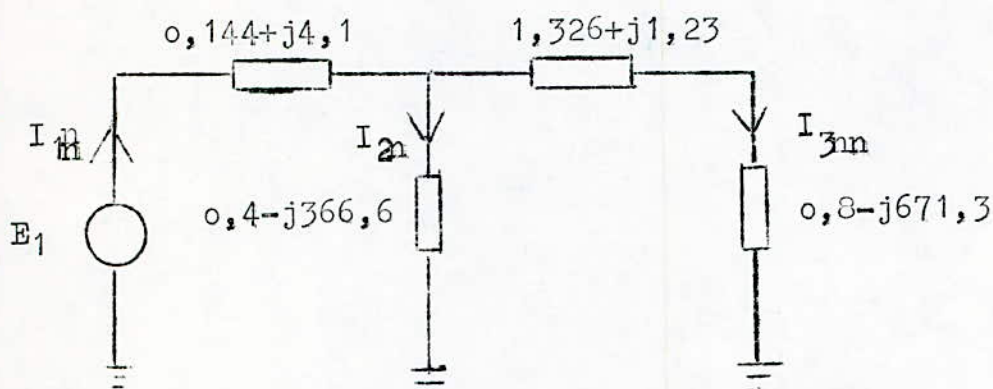


fig:1

$$E_1 = 17320 \text{ V}$$

$$I_{1n} = 0,18 + j74,38$$

$$I_{2n} = 0,08 + j48,08$$

$$I_{3n} = 0,1 + j26,3$$

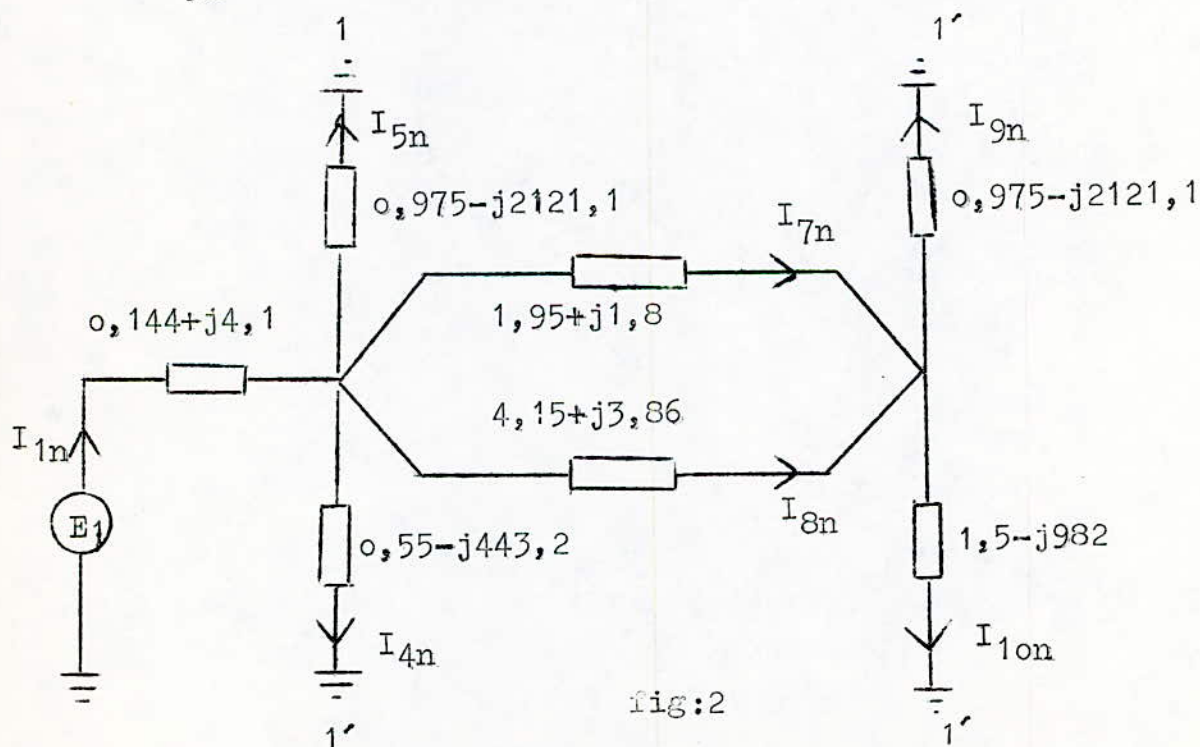


fig:2

$$I_{4n} = 0,075 + j39,77$$

$$I_{8n} = 0,053 + j8,38$$

$$I_{5n} = 0,009 + j8,31$$

$$I_{9n} = 0,025 + j8,32$$

$$I_{7n} = 0,046 + j17,91$$

$$I_{10n} = 0,074 + j17,98$$



En transfigurant le triangle  $2 \begin{matrix} 1 \\ \triangle \\ 3 \end{matrix}$  en  $2 \begin{matrix} 1 \\ \cdot \\ 3 \end{matrix}$   
 et le triangle  $2 \begin{matrix} 1 \\ \triangle \\ 3 \end{matrix}$  en  $2 \begin{matrix} 1 \\ \cdot \\ 3 \end{matrix}$ , on obtient.

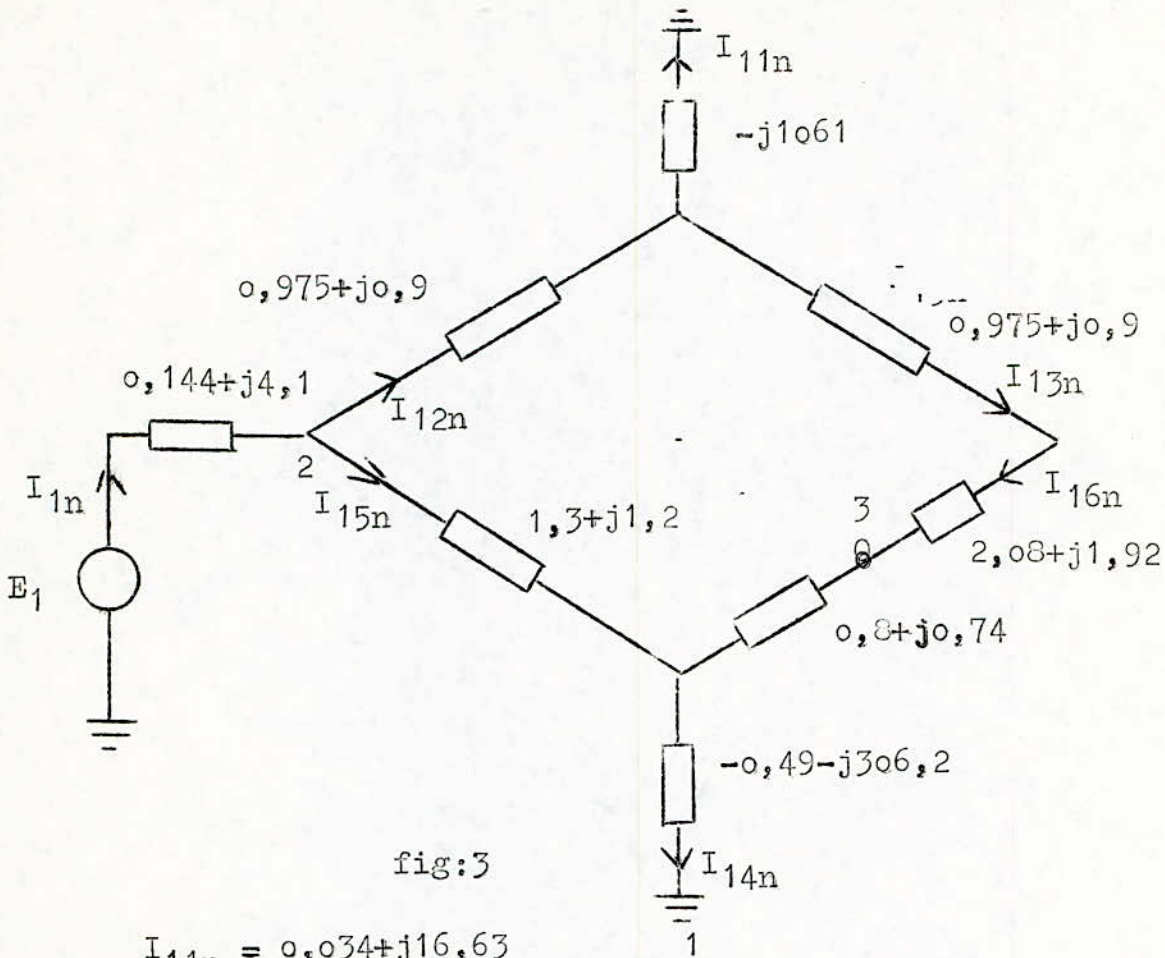


fig:3

$$I_{11n} = 0,034+j16,63$$

$$I_{12n} = 0,055+j26,22$$

$$I_{13n} = I_{16n} = 0,021+j9,58$$

$$I_{14n} = 0,15+j57,75$$

$$I_{15n} = 0,128+j48,15$$

En transfigurant l'étoile  $2 \begin{matrix} 1 \\ \cdot \\ 3 \end{matrix}$  en  $2 \begin{matrix} 1 \\ \triangle \\ 3 \end{matrix}$  on recoit:

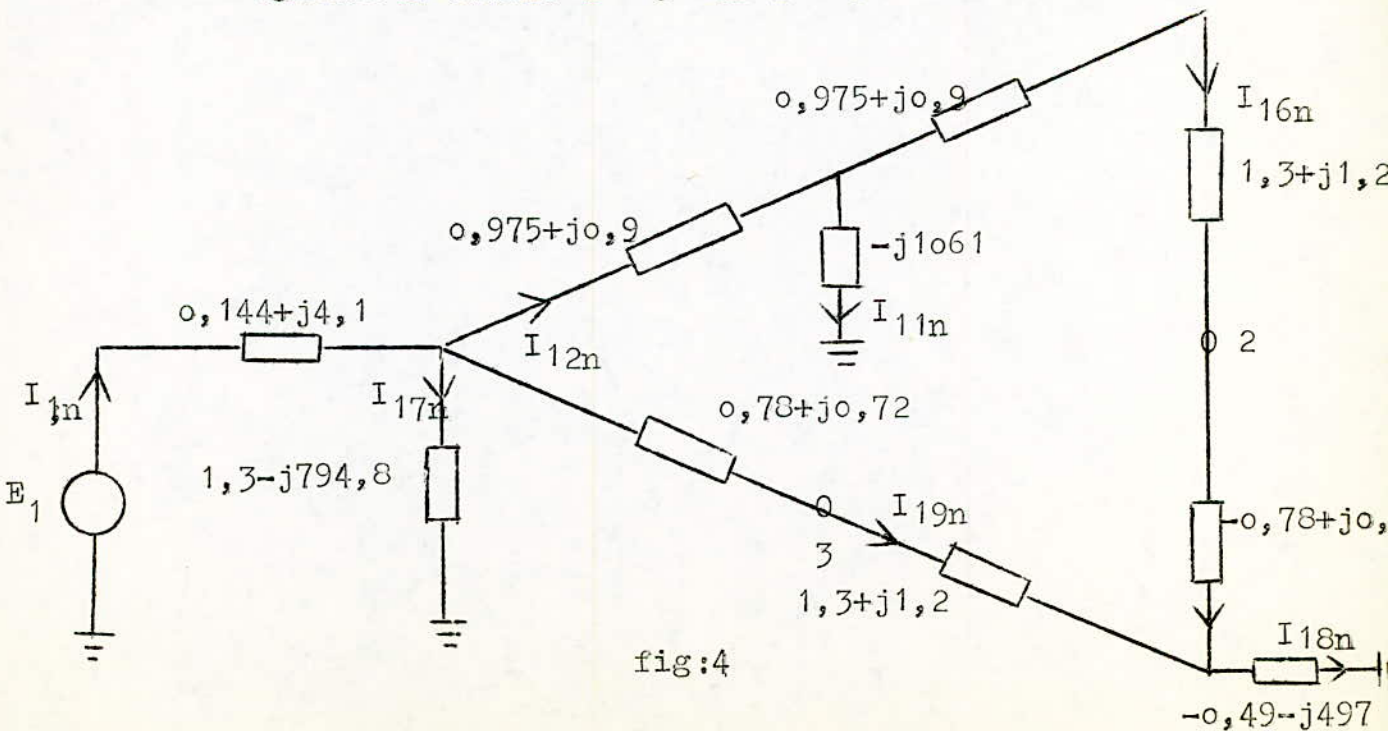
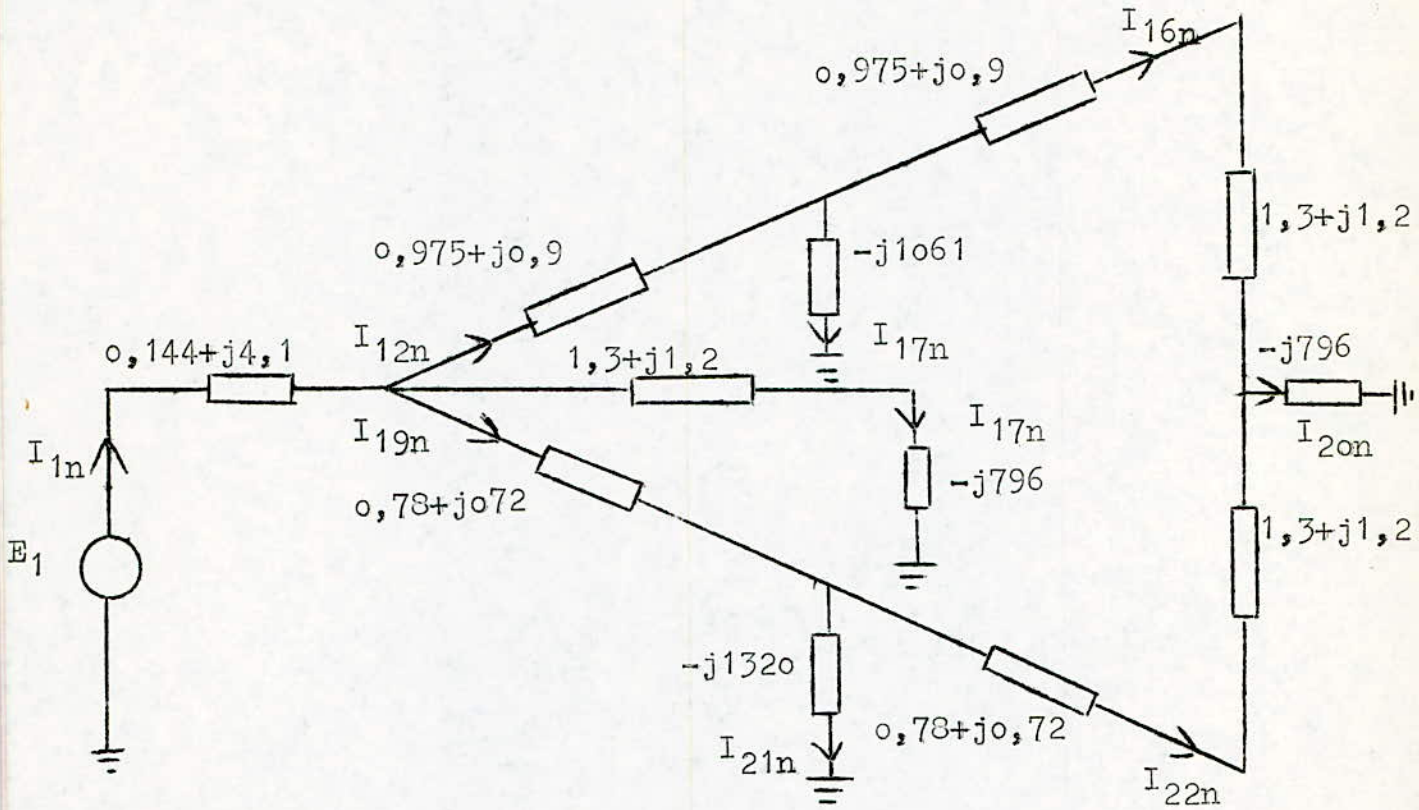


fig:4

Après transfiguration de l'étoile  $2 \begin{matrix} 1 \\ \diagup \\ 3 \end{matrix}$  en triangle  $2 \begin{matrix} 1 \\ \triangle \\ 3 \end{matrix}$ , on obtient enfin les courants dans le schéma équivalent du réseau en régime  $R_N$ .



TAB: I

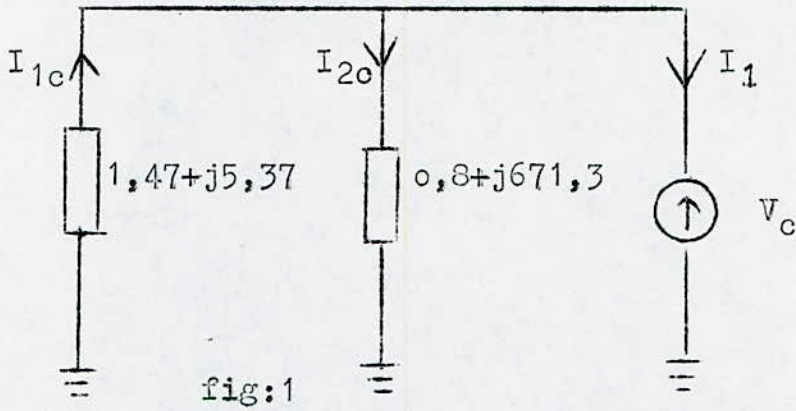
	courants dans les différentes branches, régime $R_N$
$I_{1n}$	$0,18 + j74,38$ (A)
$I_{12n}$	$0,055 + j 26,22$ (A)
$I_{17n}$	$0,05 + j 22,17$ (A)
$I_{19n}$	$0,078 + j25,98$ (A)
$I_{21n}$	$0,024 + j13,37$ (A)
$I_{22n}$	$0,053 + j12,61$ (A)
$I_{20n}$	$0,074 + j22,19$ (A)
$I_{16n}$	$0,021 + j9,58$ (A)
$I_{11n}$	$0,034 + j16,63$ (A)



A-5-2-1-2-Calcul des courants dans les différentes branches du schéma équivalent du réseau en régime Rcc.

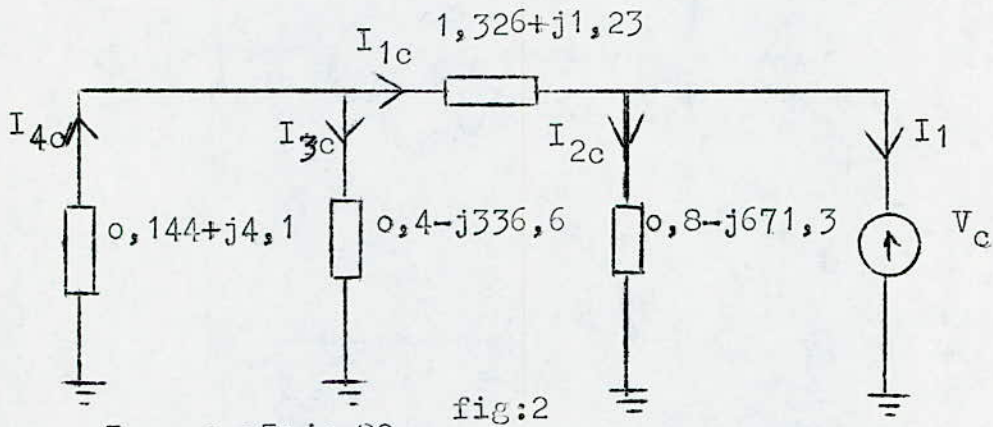
on a:  $V_1 - V_n = 419,985 - j 125,56$  (V)

$I_1 = 1,53 + j78,2$  (A)



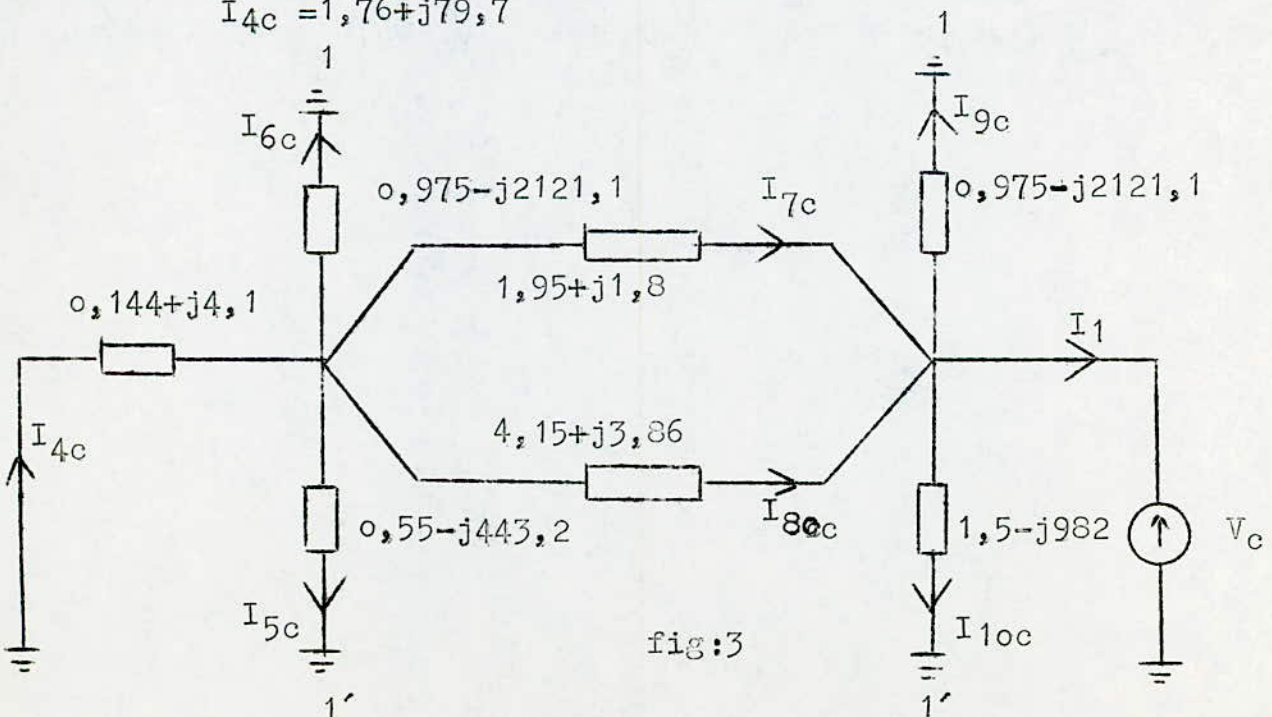
$I_{1c} = 1,71 + j78,82$

$I_{2c} = 0,18 + j1,63$



$I_{3c} = 0,05 + j0,89$

$I_{4c} = 1,76 + j79,7$





a partir du schéma de la fig:3 on tire les valeurs des courants suivantes:

$$I_{5c} = 0,04 + j0,73$$

$$I_{8c} = 0,67 + j25,13$$

$$I_{6c} = 0,009 + j0,15$$

$$I_{9c} = 0,06 + j0,19$$

$$I_{7c} = 1,1 + j53,68$$

$$I_{10c} = 0,13 + j0,43$$

en transfigurant le triangle 2 3 en étoile 2 3

et le triangle 2 3 en étoile 2 3 de la fig:3 on reçoit:

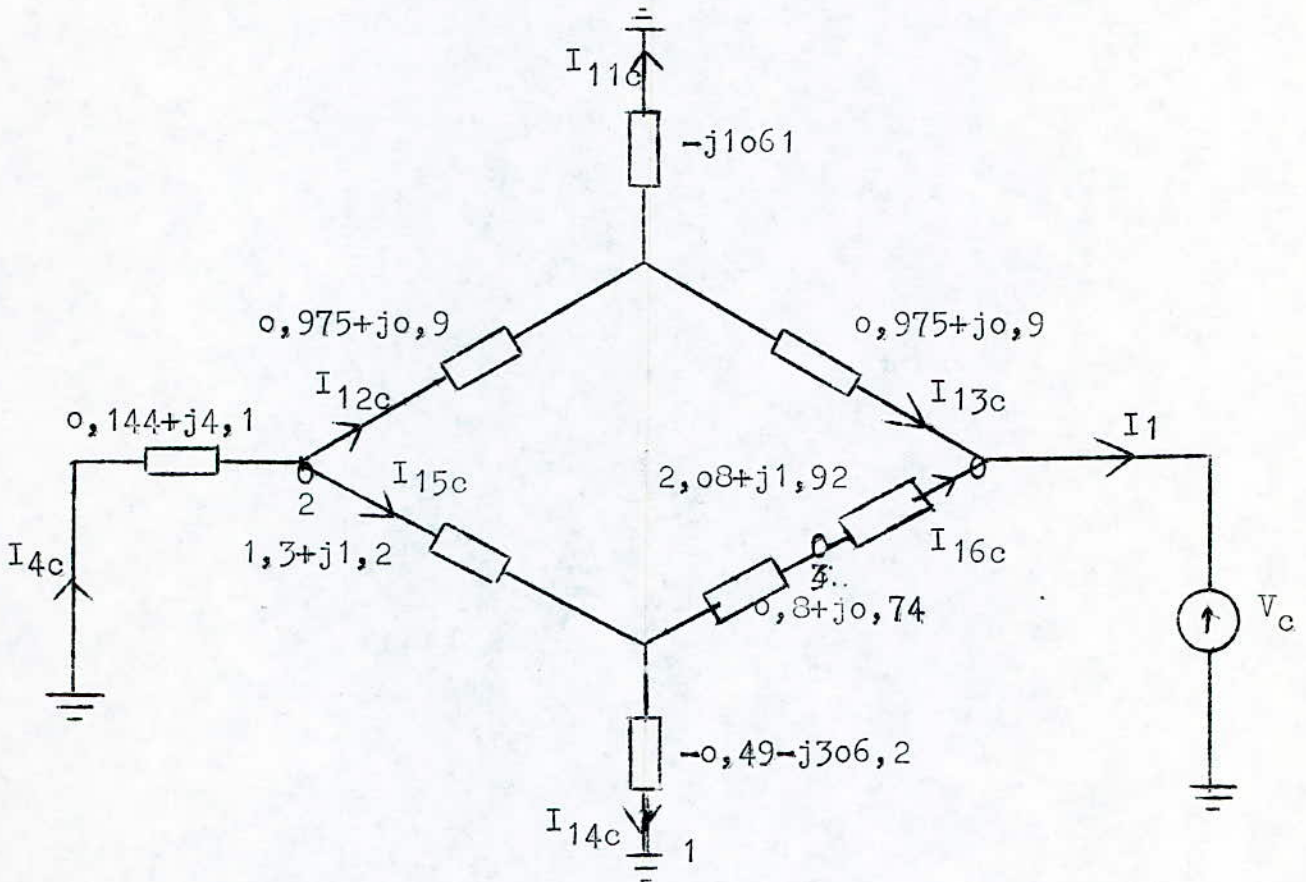


fig:4

$$I_{11c} = 0,068 + j0,35$$

$$I_{12c} = 1,1 + j53,83$$

$$I_{13c} = 1,09 + j53,48$$

$$I_{14c} = 0,17 + j1,16$$

$$I_{15c} = 0,73 + j25,87$$

$$I_{16c} = 0,56 + j24,70$$

en transfigurant l'étoile 2 3 en triangle 2 3 on obtient:

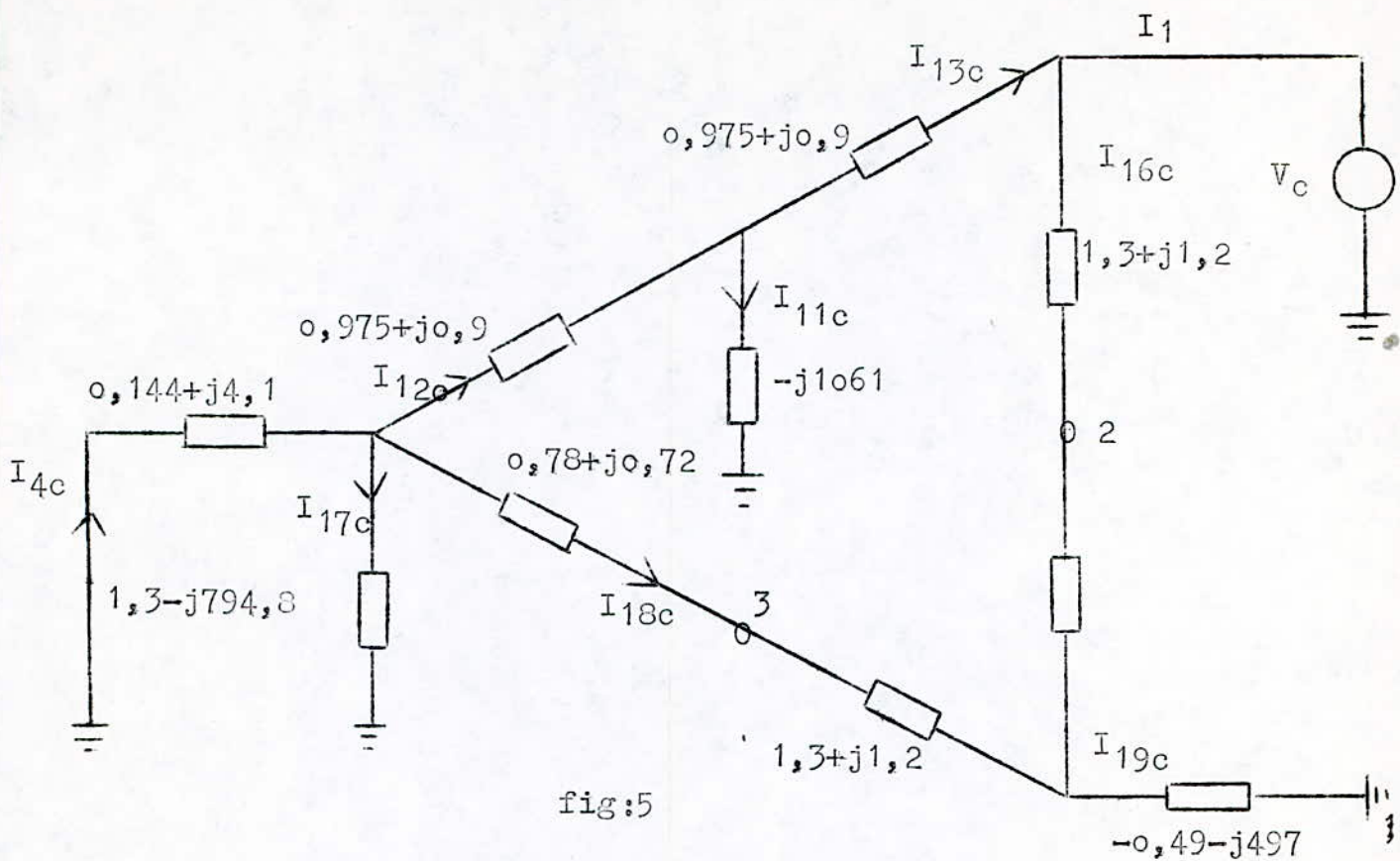


fig:5

$$I_{17c} = 0,003 + j0,41$$

$$I_{18c} = 0,73 + j 25,46$$

$$I_{19c} = 0,16 + j 0,75$$

en transfigurant l'étoile 2 3 de la fig:5 en triangle 2 3 on obtient:

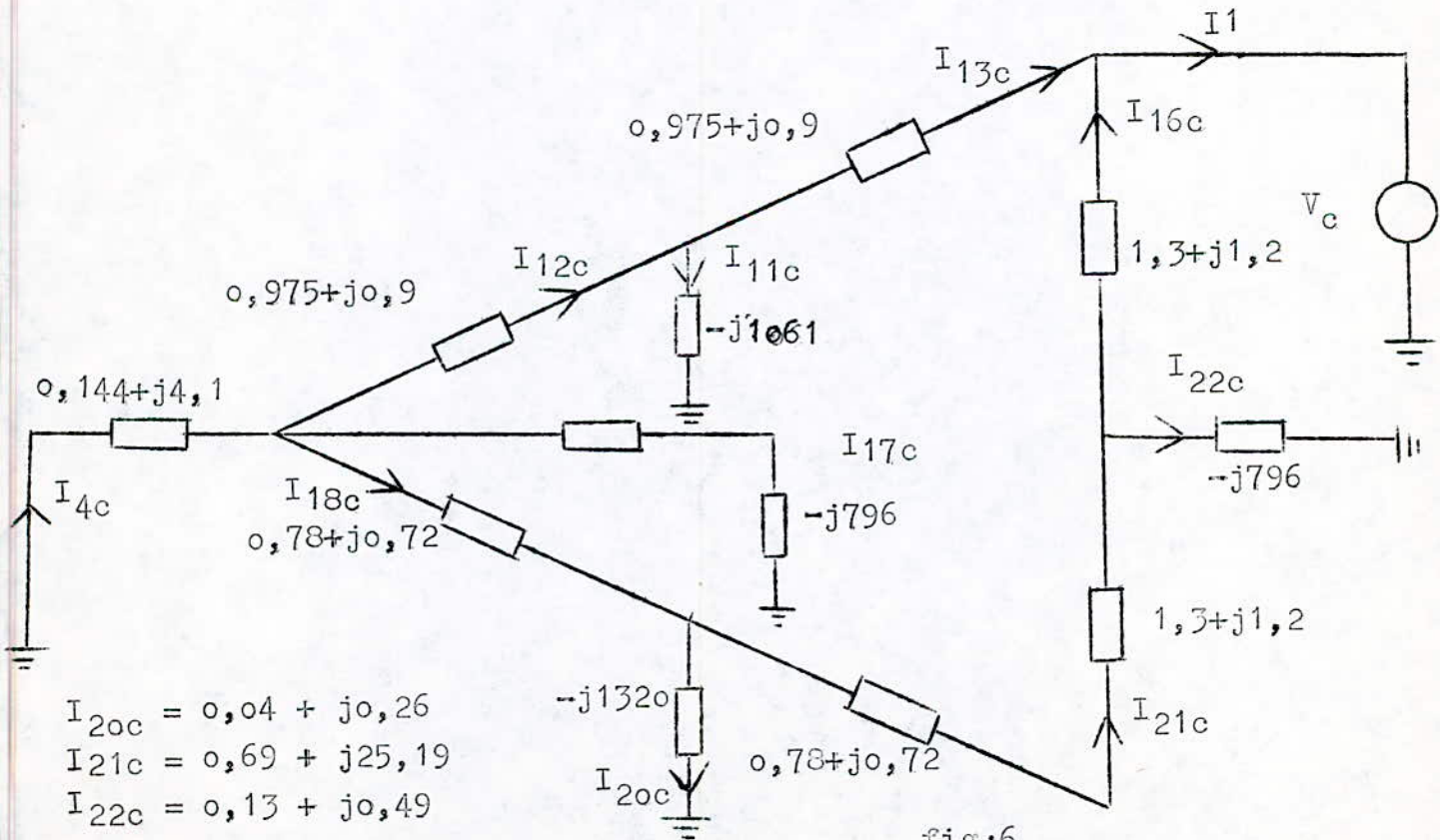


fig:6

$$I_{20c} = 0,04 + j0,26$$

$$I_{21c} = 0,69 + j25,19$$

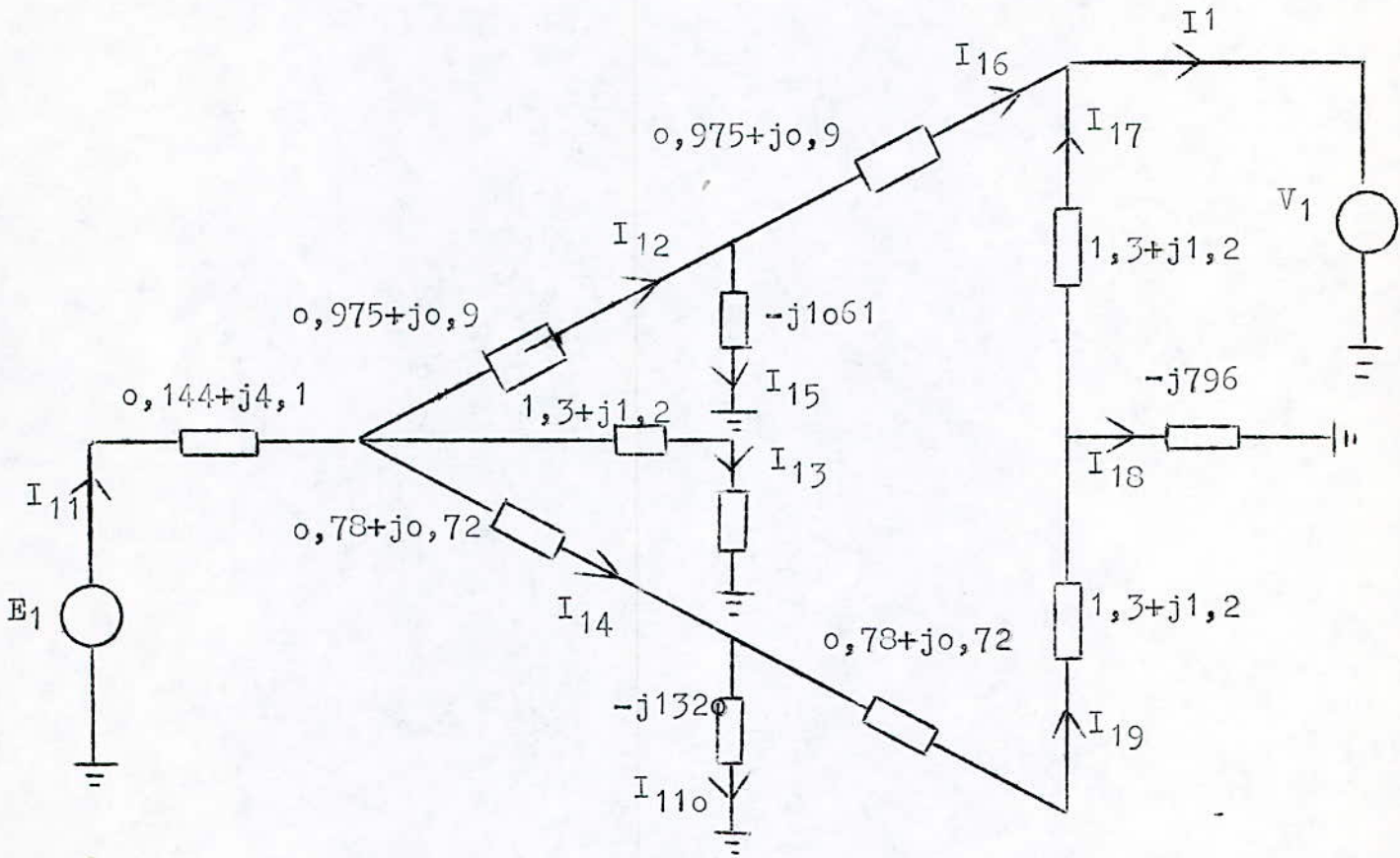
$$I_{22c} = 0,13 + j0,49$$



A-5-2-1-3- courants directs dans les différentes branches.

Après avoir calculé les courants dans les schémas équivalents en régime  $R_n$  et  $R_{cc}$ , il nous reste maintenant qu'à faire la superposition des deux régimes pour déterminer les courants directs.

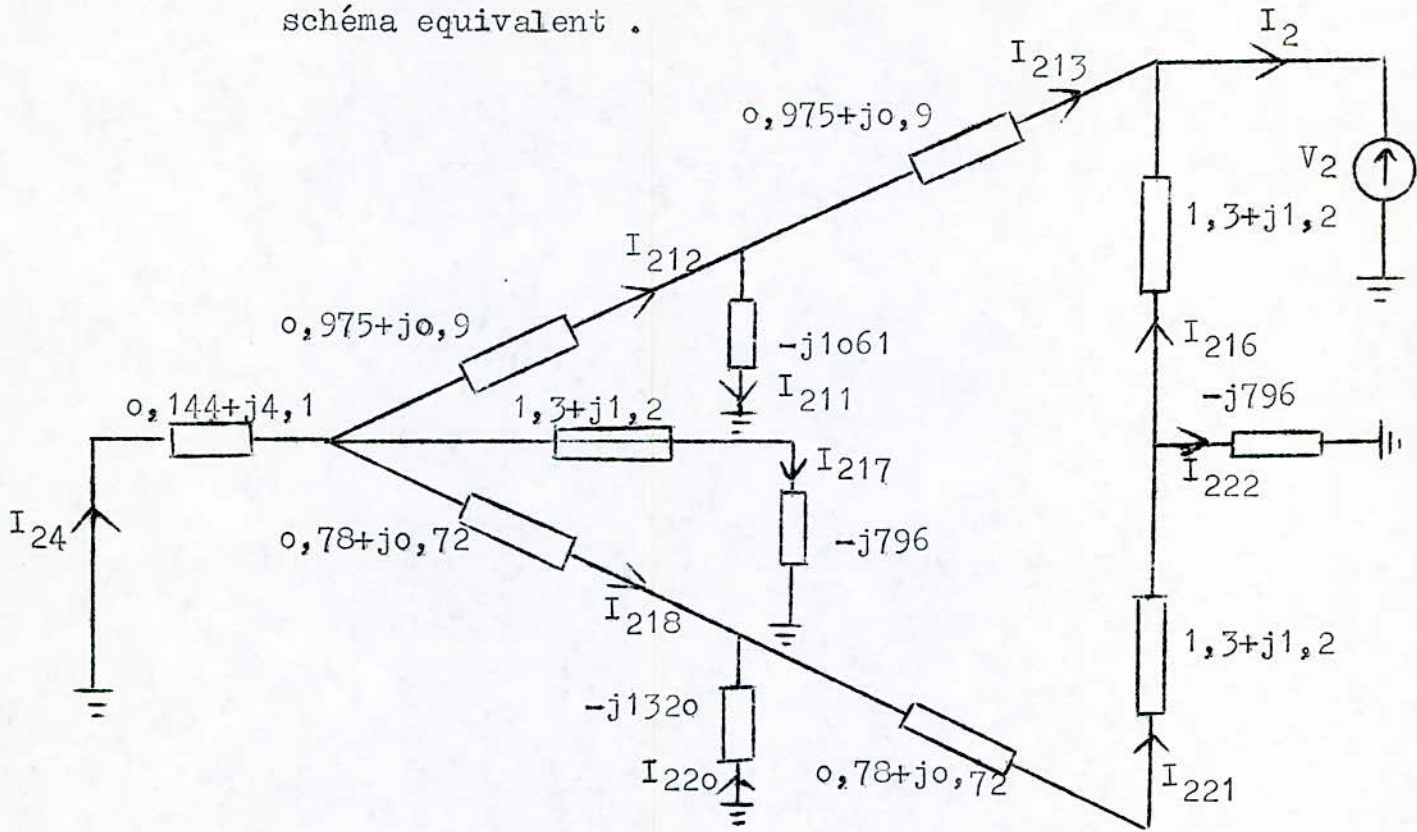
a) schéma équivalent direct.



	COURANTS DIRECTS (A)
$I_{11}$	$1,95 + j154,08$
$I_{12}$	$1,16 + j80,06$
$I_{13}$	$0,05 + j22,58$
$I_{14}$	$0,81 + j51,44$
$I_{15}$	$0,1 + j16,98$
$I_{16}$	$1,12 + j63,07$
$I_{17}$	$0,54 + j15,12$
$I_{18}$	$0,20 + j22,69$
$I_{19}$	$0,74 + j37,81$
$I_{110}$	$0,06 + j13,63$



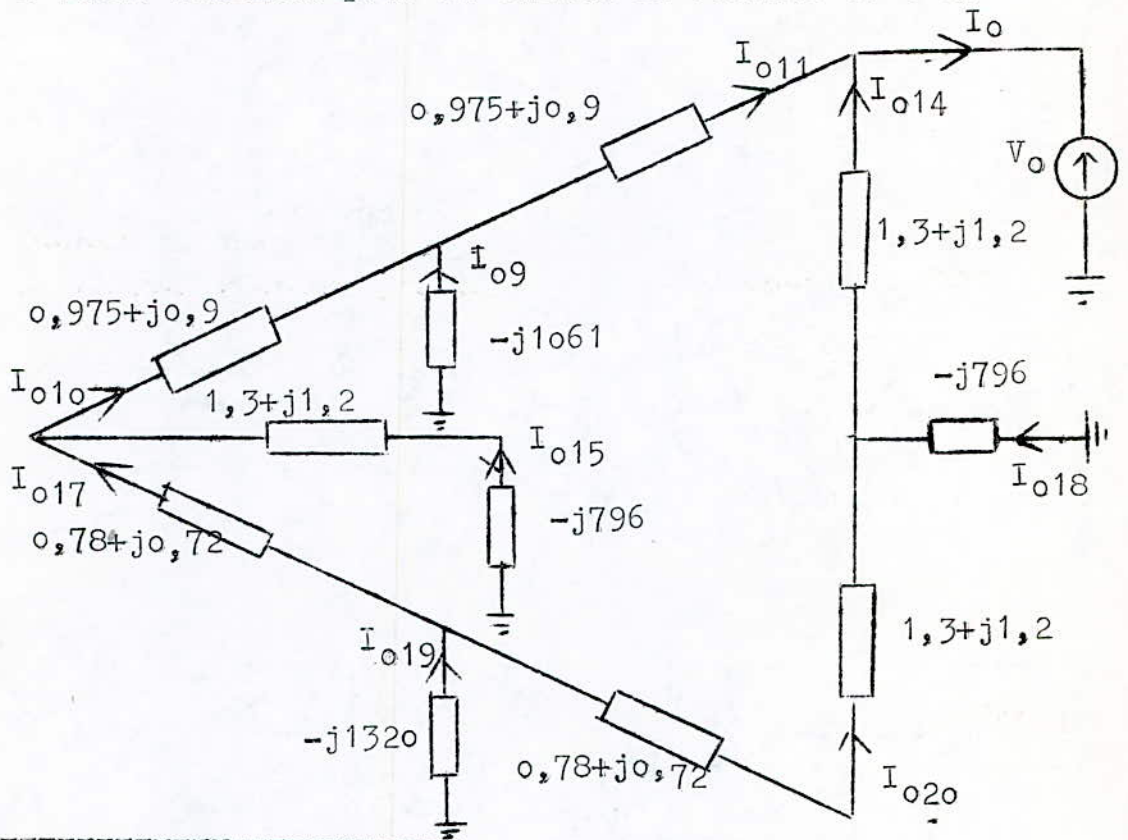
A-5-2-2- Calcul des courants inverses dans les différentes branches  
 De la même façon que pour les courants directs, on calculera les  
 les courants inverses dans les différentes branches du  
 schéma équivalent .



	courants inverses (A)
$I_{24}$	$1,76 + j 79,7$
$I_{212}$	$1,11 + j 53,83$
$I_{218}$	$0,73 + j 25,46$
$I_{217}$	$0,003 + j 0,41$
$I_{220}$	$0,04 + j 0,26$
$I_{221}$	$0,69 + j 25,19$
$I_{222}$	$0,13 + j 0,49$
$I_{216}$	$0,56 + j 24,70$
$I_{211}$	$0,068 + j 0,35$
$I_{213}$	$1,09 + j 53,48$

A-5-2-3- Calcul des courants homopolaires.

Le calcul des courants homopolaires s'effectue de la même manière que celle du calcul des courants directs et inverses, c'est à dire qu'on doit utiliser la méthode de transfiguration retrograde à celle utilisée pour le calcul du courant de c-c.



courants homopolaires (A)	
$I_{o9}$	$0,32 + j17,47$
$I_{o10}$	$0,49 + j 25,73$
$I_{o11}$	$0,81 + j 43,20$
$I_{o14}$	$0,71 + j 34,98$
$I_{o15}$	$0,49 + j 23,35$
$I_{o17}$	$0 \quad + j 2,38$
$I_{o18}$	$0,43 + j 23,29$
$I_{o19}$	$0,27 + j 14,06$
$I_{o20}$	$0,27 + j 11,68$



A-5-2-4-Courants dans les phases de toutes les lignes.

maintenant que les composantes symétriques des courants sont calculées on pourra déterminer facilement les courants réels dans les phases de toutes les lignes du réseau, en utilisant les formules données par la théorie des composantes symétriques:

$$I_A = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_B = a^2 I_1 + a I_2 + I_0$$

$$I_C = a I_1 + a^2 I_2 + I_0$$

a) composantes symétriques des courants:

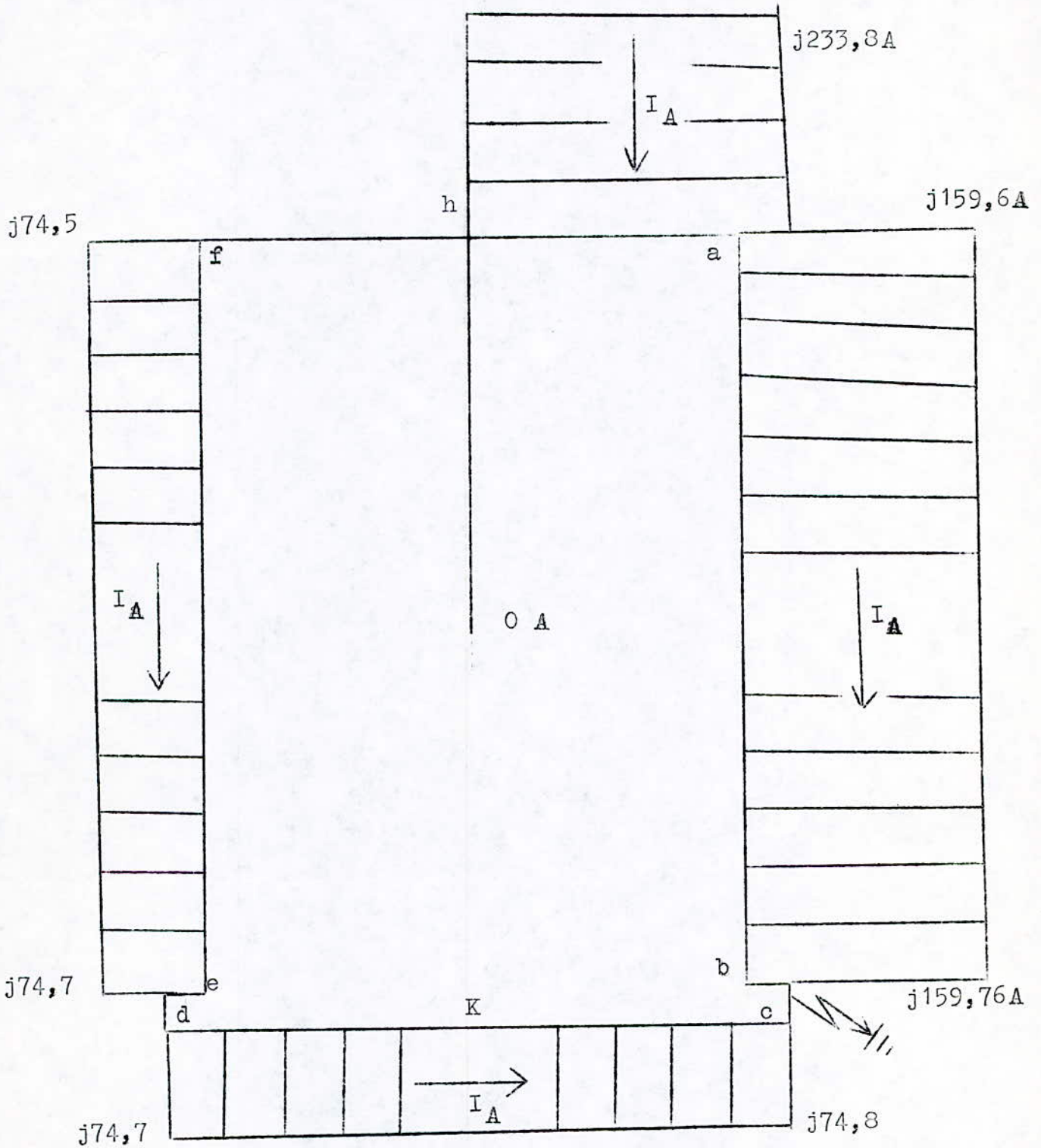
	$I_0$	$I_2$	$I_1$
a	0,49+j25,73	1,11+j53,83	1,16+j80,06
b	0,81+j43,20	1,09+j53,48	1,11+j63,07
c	0,70+j34,98	0,56+j24,70	0,53+j15,11
d	0,27+j11,68	0,69+j25,19	0,74+j37,81
e	0,27+j11,68	0,69+j25,19	0,74+j37,81
f	0 +j2,38	0,72+j25,45	0,80+j51,44
g	0,49+j23,35	0,003+j0,41	0,20+j22,69
h	0	1,76+j79,70	1,95+j154,08
L	0,32+j17,47	0,07+j0,35	0,10+j16,98
K	0,43+j23,30	0,13+j0,49	0,20+j22,68
M	0,27+j14,06	0,04+j0,26	0,06+j13,63

b) courants dans les phases de toutes les lignes.

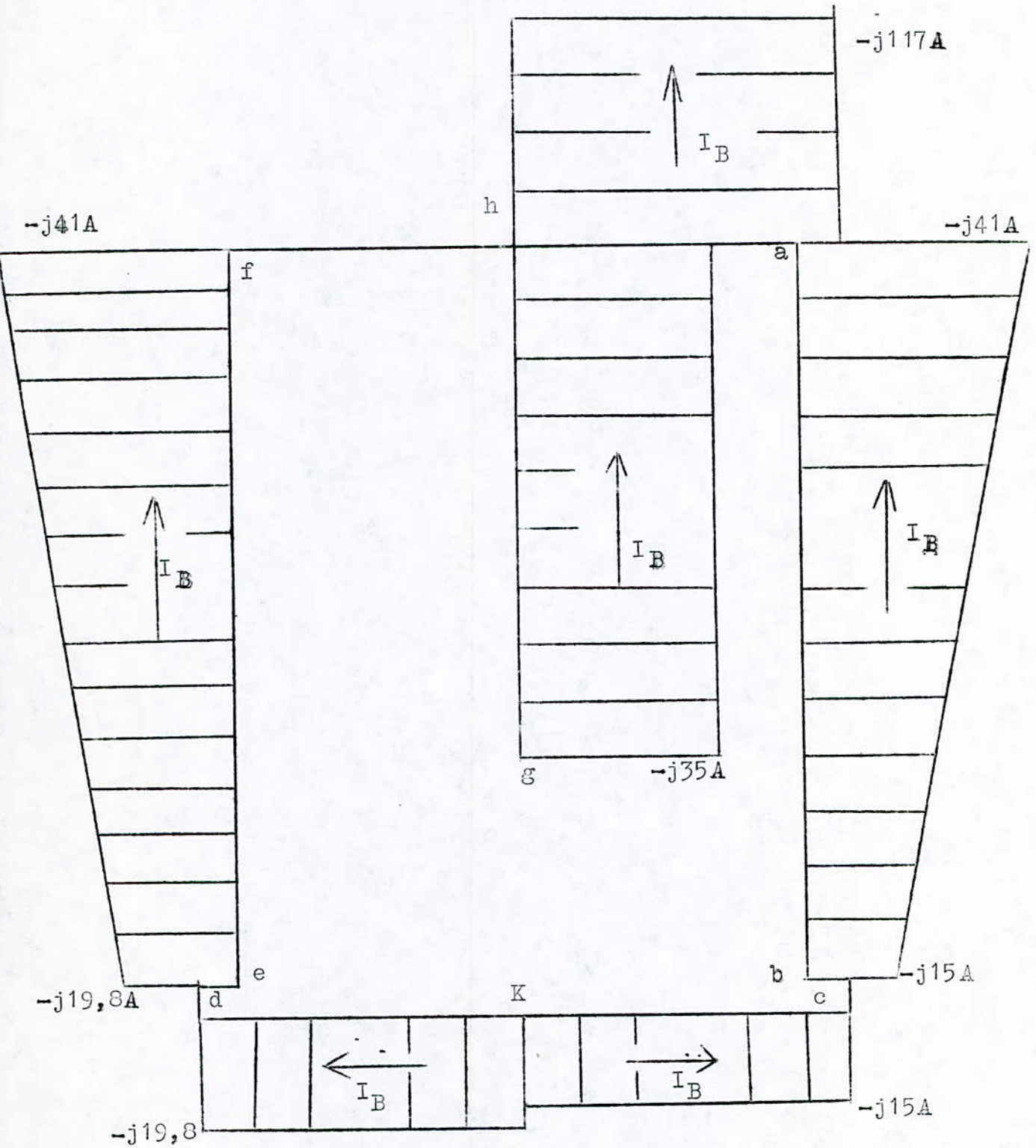
	$I_A$	$I_B$	$I_C$
a	2,77+j159,63	22,06-j41,26	-23,35-j41,16
b	3,03+j159,76	8,01-j15,09	-8,59-j15,05
c	1,81+j74,81	8,14-j15,09	-8,46-j15,05
d	1,71+j74,69	10,48-j19,86	-11,36-j19,77
e	1,71+j74,69	10,48-j19,86	-11,36-j19,77
f	1,53+j74,51	21,73-j40,89	-23,27-j40,76
g	0	18,69-j35,08	-19,89-j34,73
h	3,71+j233,79	62,55-j117,05	-66,27-j116,74
L	0	13,69-j26,30	-14,81-j26,11
K	0	18,63-j34,97	-19,81-j34,82
M	0	11,17-j21,03	-11,91-j21,00



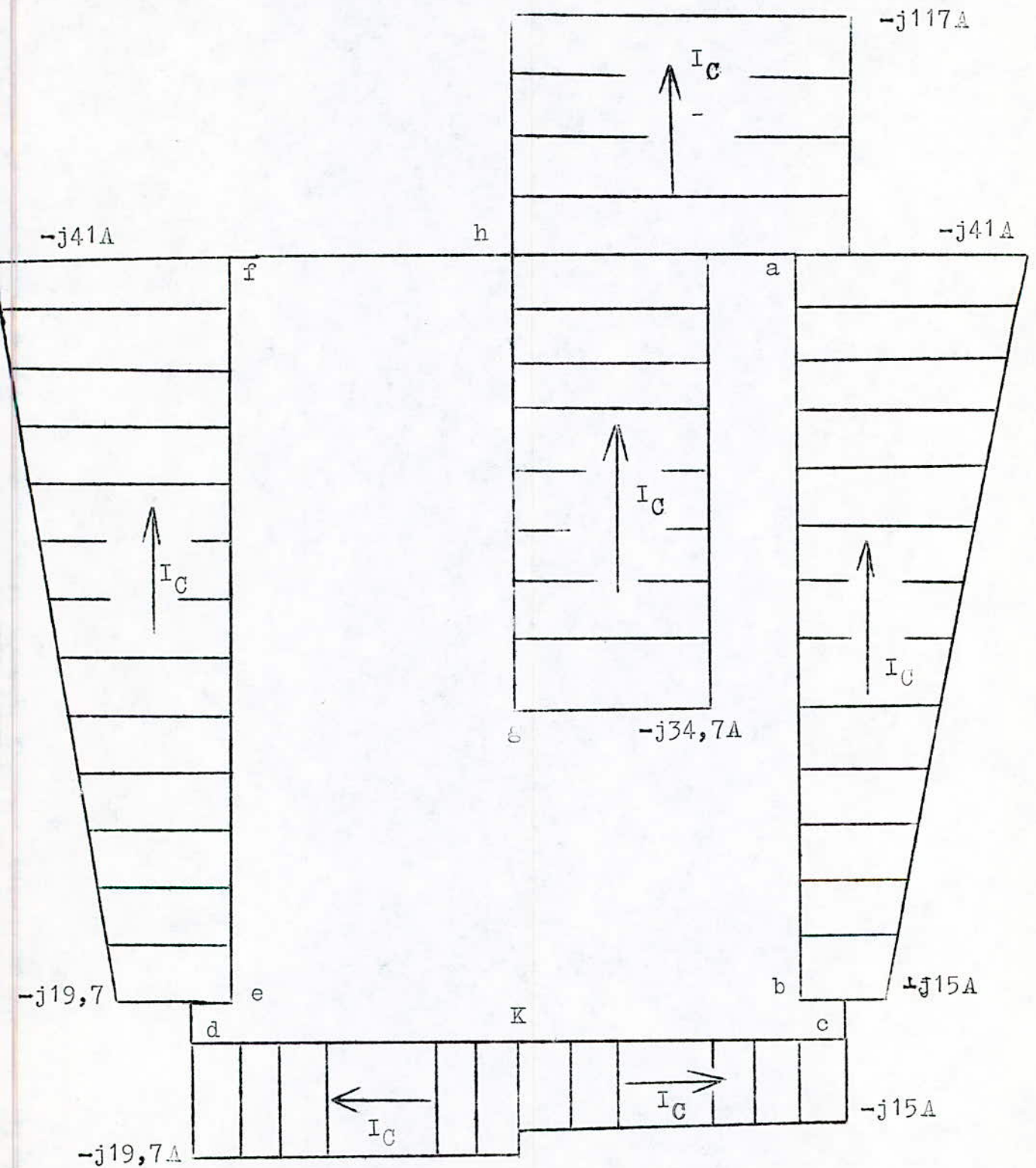
A-5-2-4-1- diagramme des courants ,phase A (phase c-c )



A-5-2-4-2-- diagramme des courants, phase B (phase saine)



A-5-2-4-3-diagramme des courants ,phase C (phase saine)





conclusion:

Lors du court-circuit les courants de la phase A (phase c-c) se dirigent vers le point de défaut en gardant des valeurs constantes le long des lignes.

Sur les deux autres phases saines les courants remontent de la terre à travers les capacités et reviennent vers la source on remarque que les courants sur ces deux phases augmentent d'une façon linéaire tout en s'éloignant du point de défaut.

A-5-3 Calcul des tensions en des points caractéristiques du réseau.

Dans certains problèmes (relais de protection directionnels, étude des chutes de tension occasionnées par les courts-circuits) on peut avoir besoin de connaître les tensions en des points du réseau autres que celui du court-circuit.

Pour cela on <sup>doit</sup> d'abord calculer les composantes symétriques des tensions aux points considérés.

A-5-3-1- composantes symétriques des tensions en différents points.

Pour le calcul des composantes symétriques des tensions en différents points, on doit considérer chaque schéma équivalent a part (schéma direct, inverse et homopolaire) et pour chacun d'eux on doit calculer les tensions en différents points.

La méthode utilisée est celle des chutes de tension, c'est à dire connaissant la tension en un certain point, pour connaître la tension en un autre il s'agit d'ajouter ou de retrancher la chute de tension correspondante.

	$V_1$ (V)	$V_2$ (V)	$V_0$ (V)
a	17953-j30	325,5-j19	-18564+j366
b	18079-j172	420-j125,5	-18503+j298
c	18079-j172	420-j125,5	-18503+j298
d	18017-j102	362-j59	-18558+j360
e	18017-j102	362-j59	-18558+j360
f	17953-j30	325,5-j19	-18564+j366
g	17979-j42	327-j2	-18600+j396
h	17953-j30	325,5-j19	-18564+j366



A-5-3-2- Tensions en différents points caractéristiques du réseau.

Maintenant que les composantes symétriques des tensions sont calculées, il nous <sup>reste</sup> qu'a les composer a l'aide des formules données par la théorie des composantes symétriques, pour déterminer les tensions réelles aux points considérés.

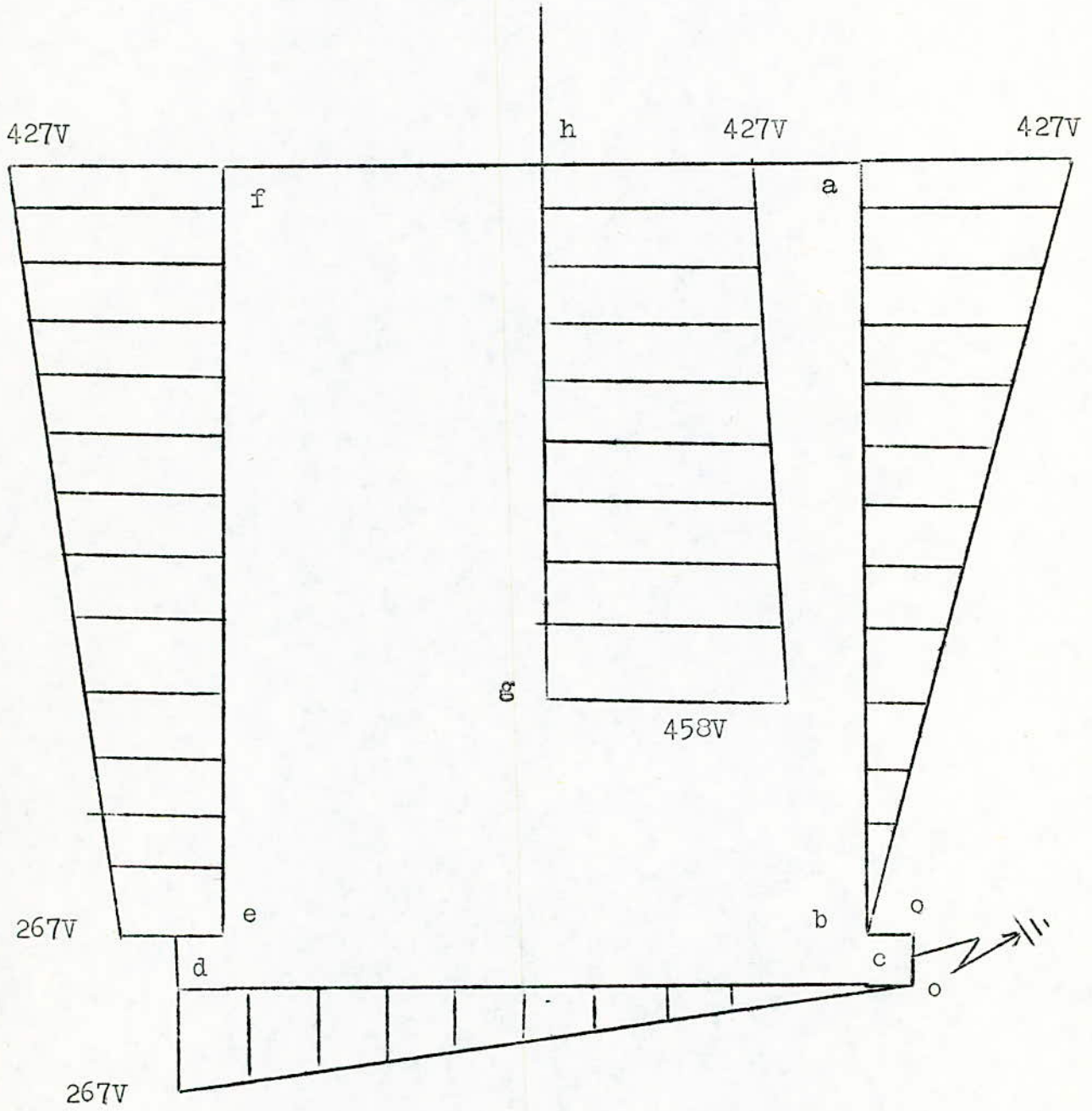
$$V_A = V_1 + V_2 + V_0 \quad V_B = a^2 \cdot V_1 + a \cdot V_2 + V_0 \quad V_C = a \cdot V_1 + a^2 \cdot V_2 + V_0$$

le tableau suivant donne les valeurs des tensions pour chaque phase:

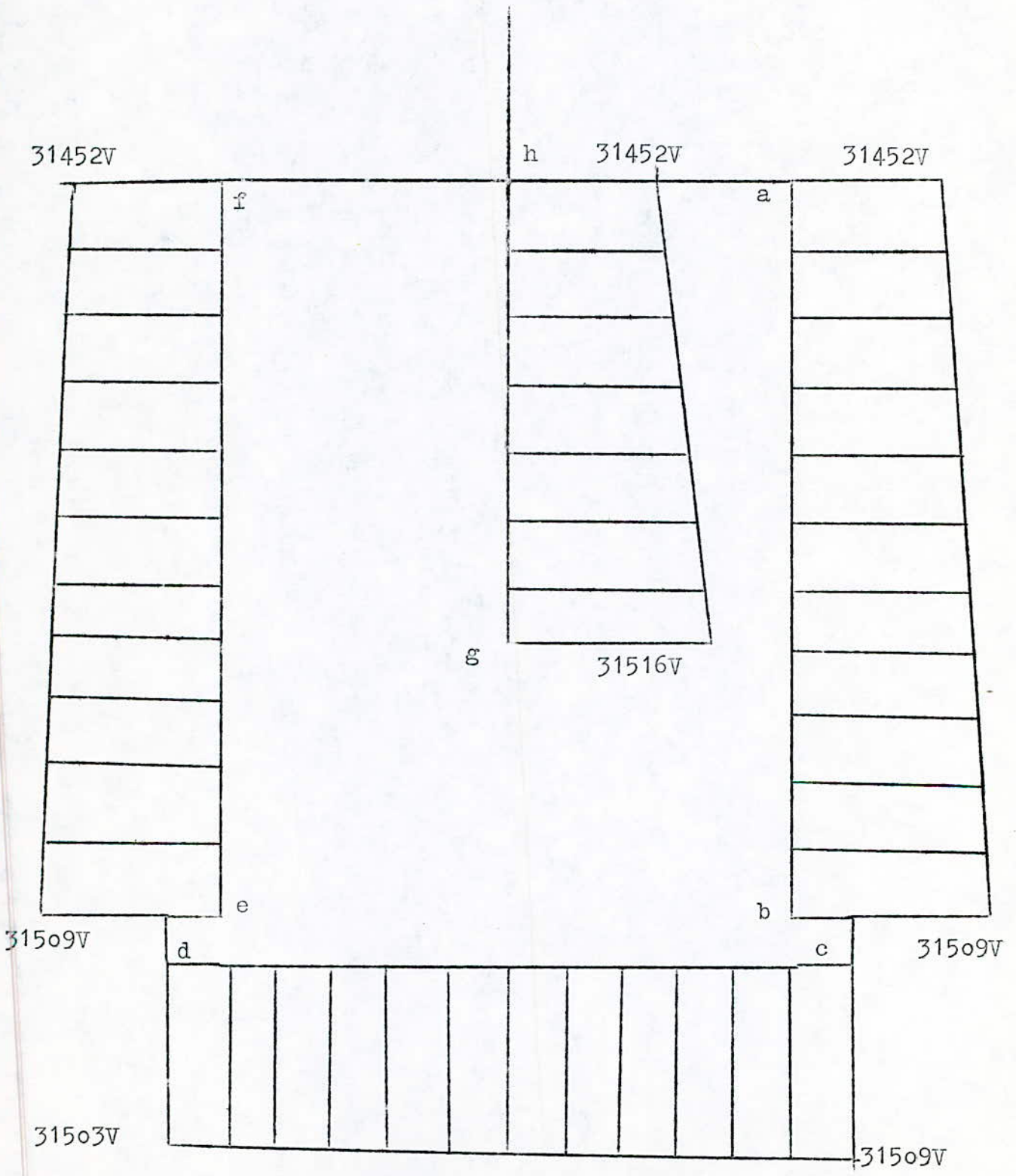
	$V_A$ (V)	$V_B$ (V)	$V_C$ (V)
a	$-286 + j317$	$-27713 - j14874$	$-27694 + j15656$
b	0	$-27793 - j14846$	$-27712 + j15739$
c	0	$-27793 - j14846$	$-27712 + j15739$
d	$-179 + j199$	$-27784 - j14849$	$-27710 + j15729$
e	$-179 + j199$	$-27784 - j14849$	$-27710 + j15729$
f	$-286 + j317$	$-27713 - j14874$	$-27694 + j15656$
g	$-294 + j351$	$-27788 - j14868$	$-27718 + j15705$
h	$-286 + j317$	$-27713 - j14874$	$-27694 + j15656$



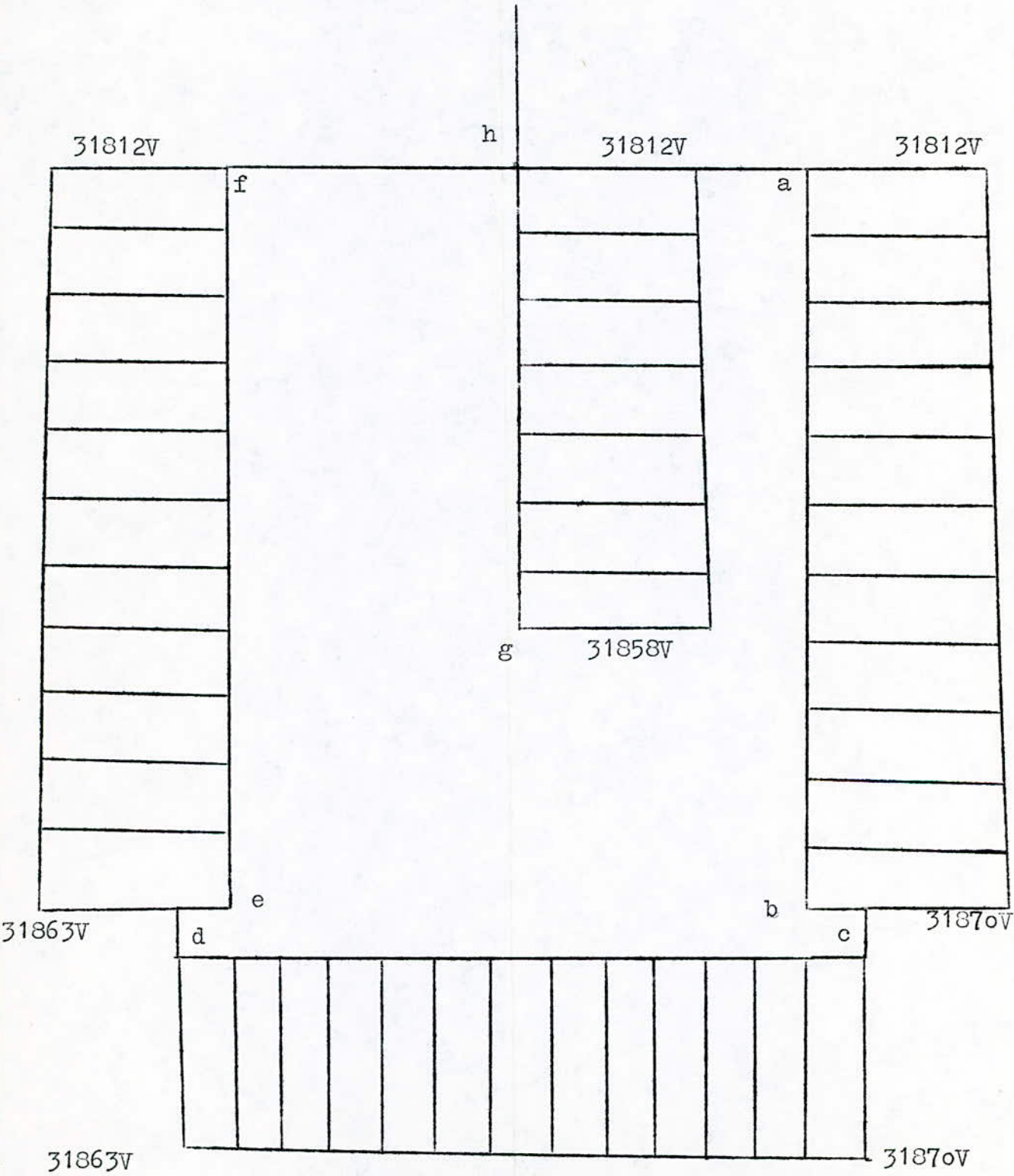
A-5-3-2-1- diagramme des tensions sur la phase A (phase c-c)



A-5-3-2-2- diagramme des tensions sur la phase B (phase saine)



A-5-3-2-3- diagramme des tensions sur la phase C (phase saine)





conclusion:

Pour la phase court-circuitée la tension est nulle au point de défaut , puis augmente linéairement le long des lignes tout en s'approchant du côté de la source.

Pour ce qui est des deux autres phases saines (phases B et C) la tension reste presque constante le long des lignes.

B-1 -- -- ANALYSE DU COURANT DE COURT-CIRCUIT AU POINT Y

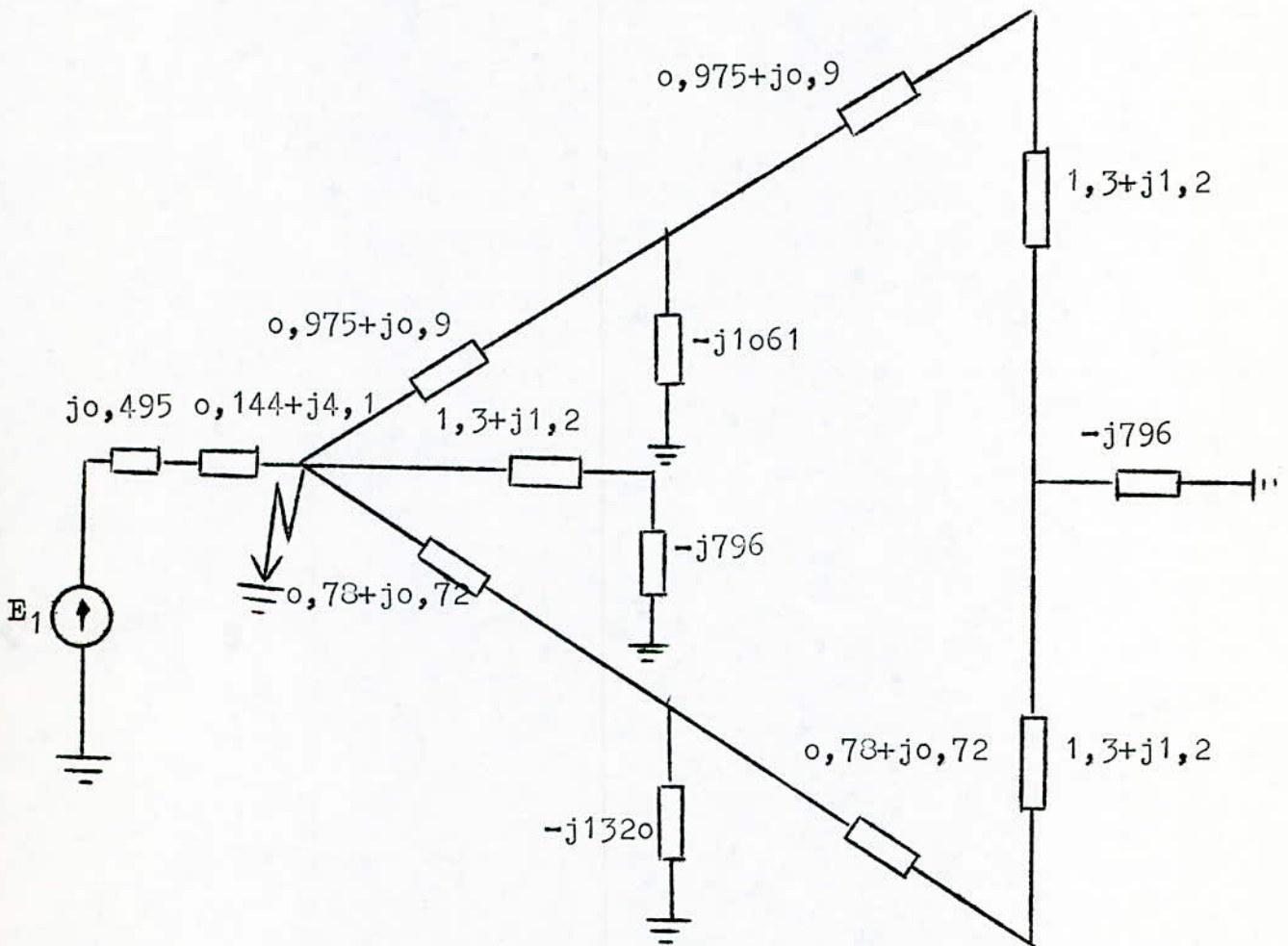
Cette deuxième partie de calcul va être traitée de la même manière que la précédente, et du fait de la longivité de ces calculs on a préféré donner que les résultats des calculs effectués.

B-5-1- calcul du courant de court-circuit au point Y.

Le calcul du courant de court-circuit nécessite en premier lieu l'établissement des schémas de c-c.

B-5-1-1- Schémas équivalents de court-circuit.

B-5-1-1-1 schéma équivalent direct



Reduction du schéma direct

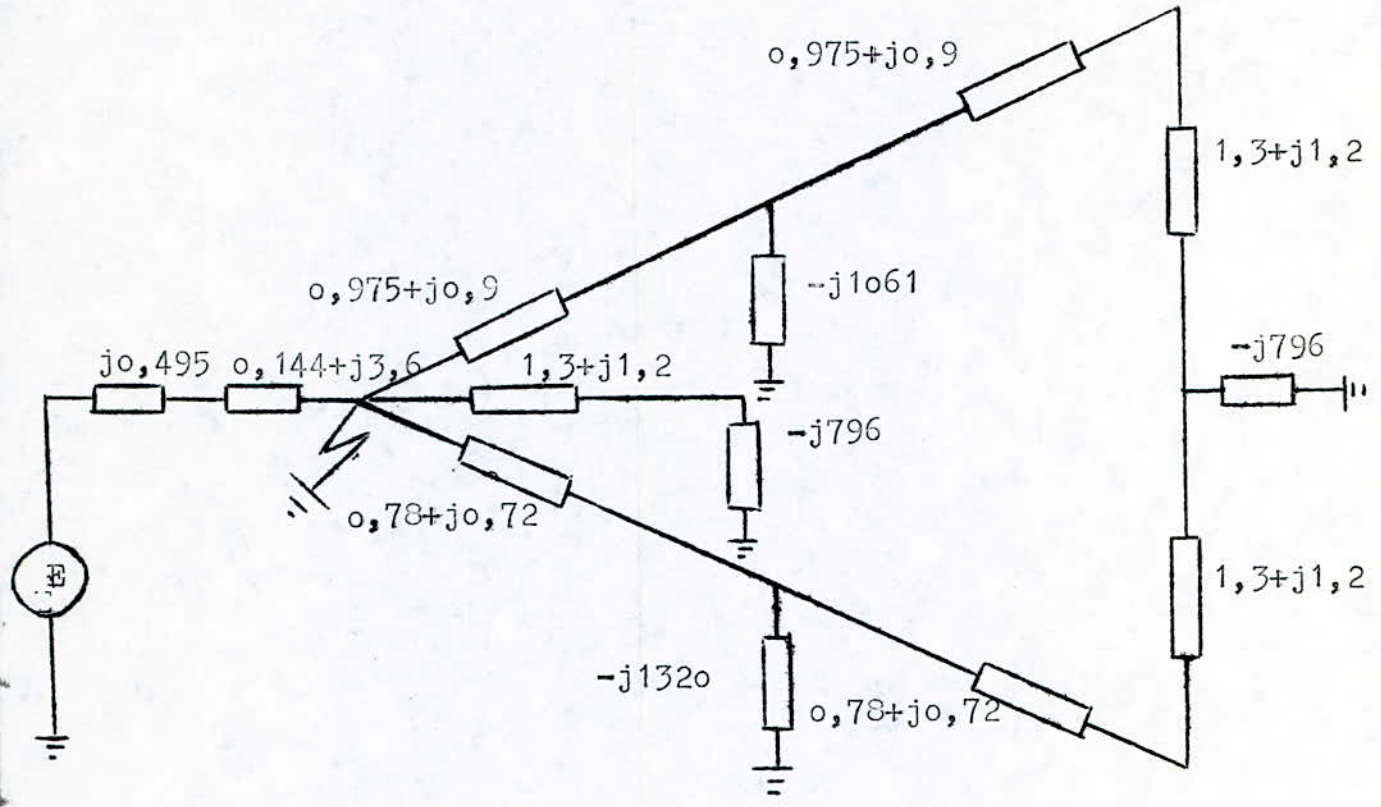


fig: 1

en regroupant les impédances en serie on obtient le schéma suivant

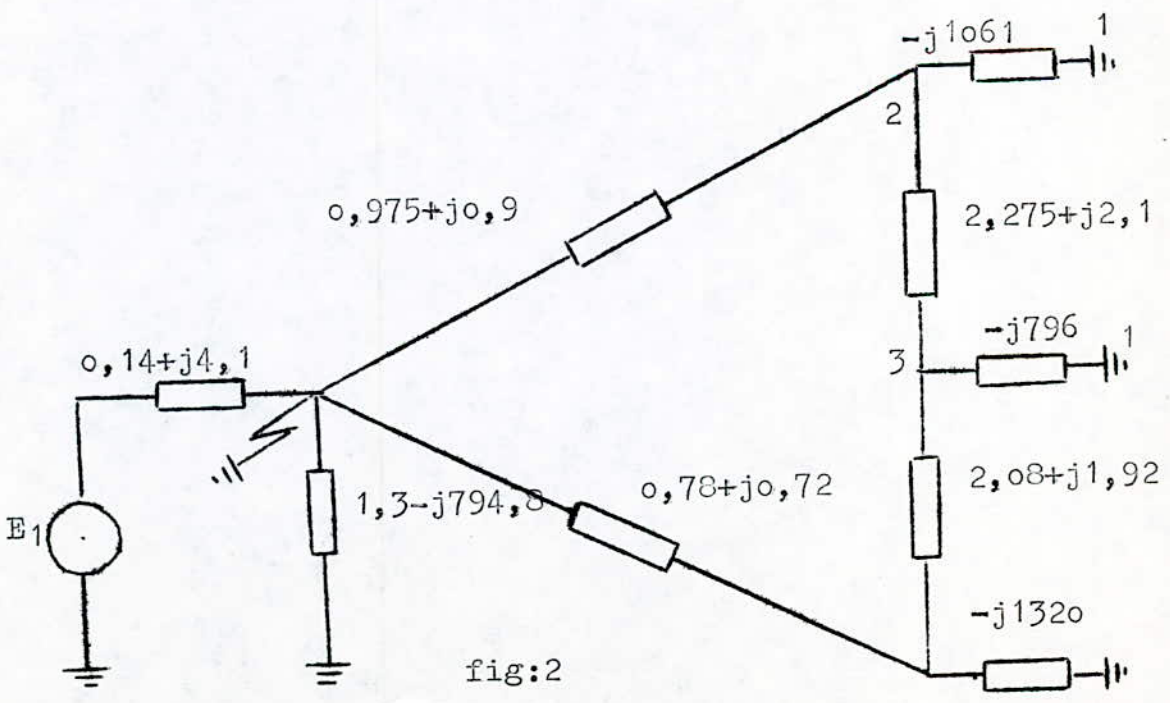


fig: 2



en transfigurant le triangle 2<sup>1</sup>3 en étoile 2<sup>1</sup>3 on obtient le schéma suivant:

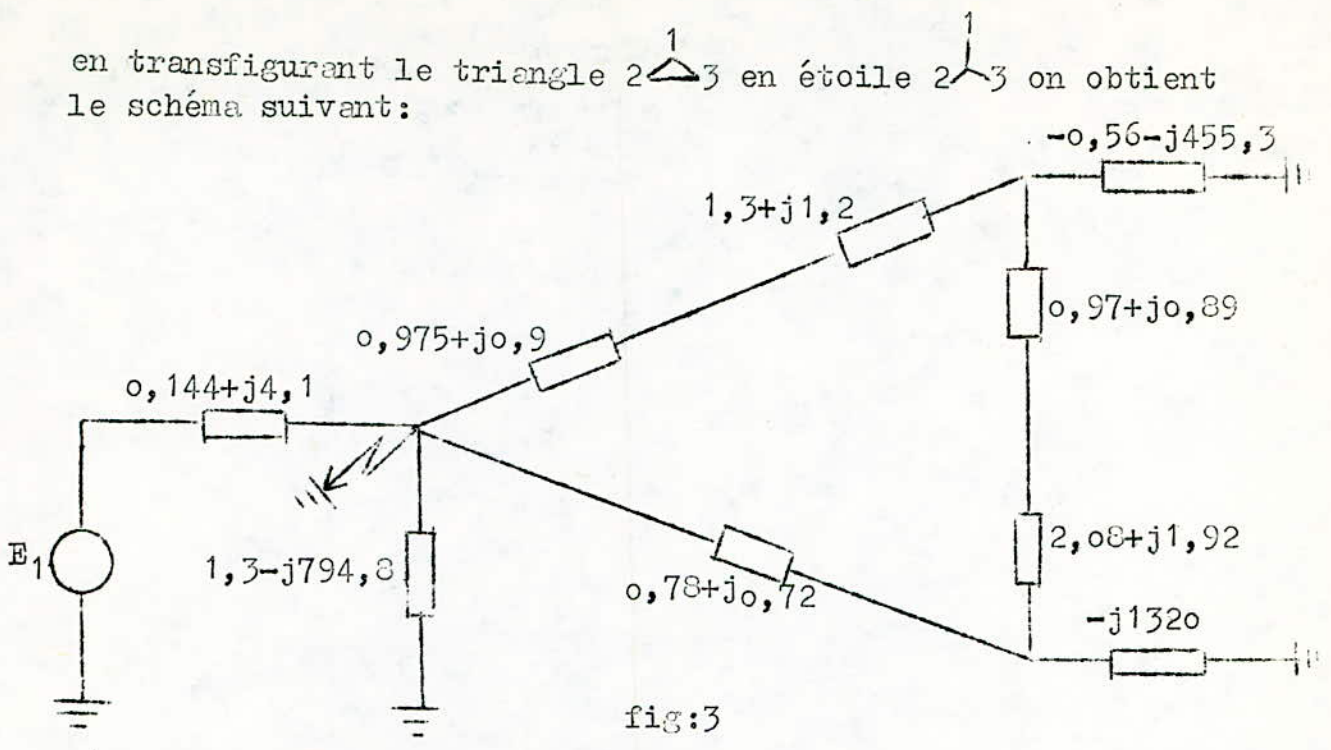


fig:3

et en regroupant les impédances en series on a:

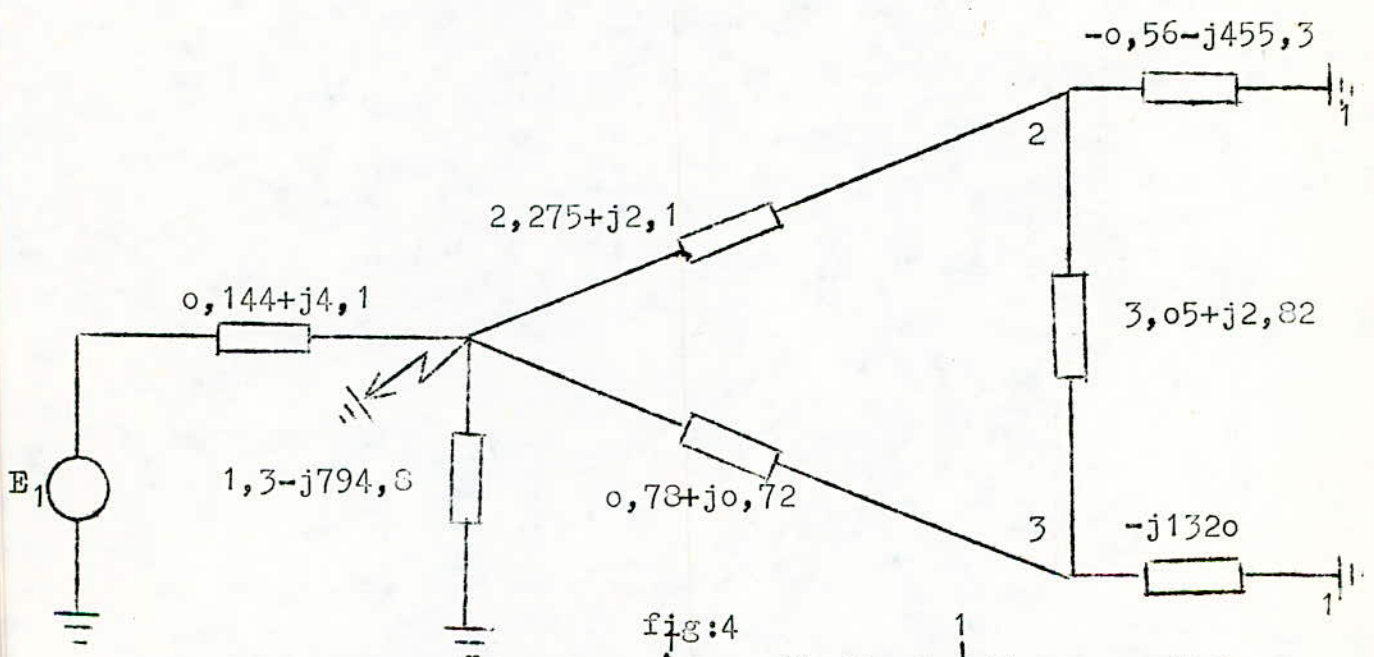


fig:4

en transfigurant le triangle 2<sup>1</sup>3 en étoile 2<sup>1</sup>3 on recoit le schéma suivant.

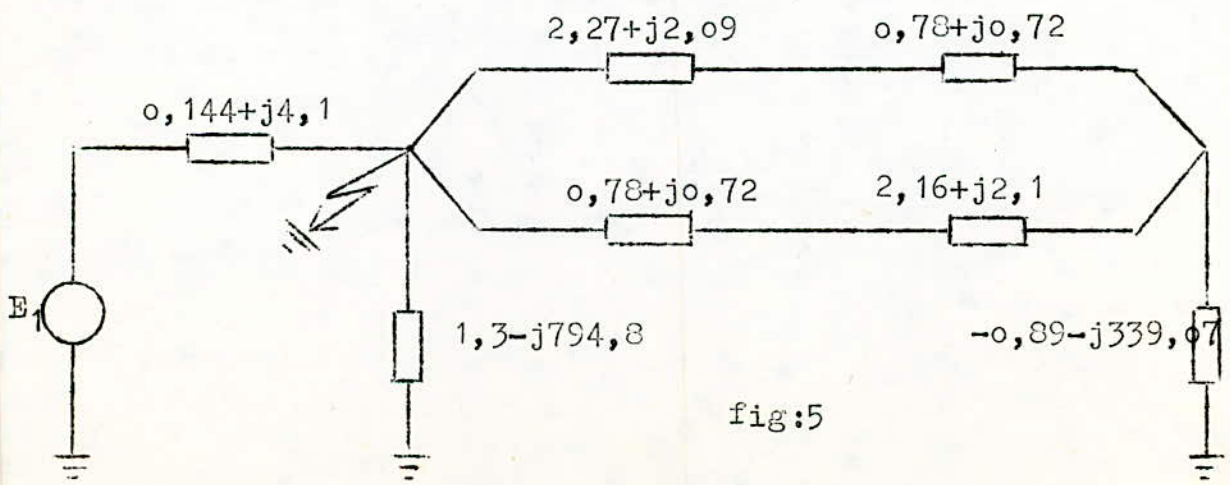


fig:5

on regroupe les impédances en paralleles

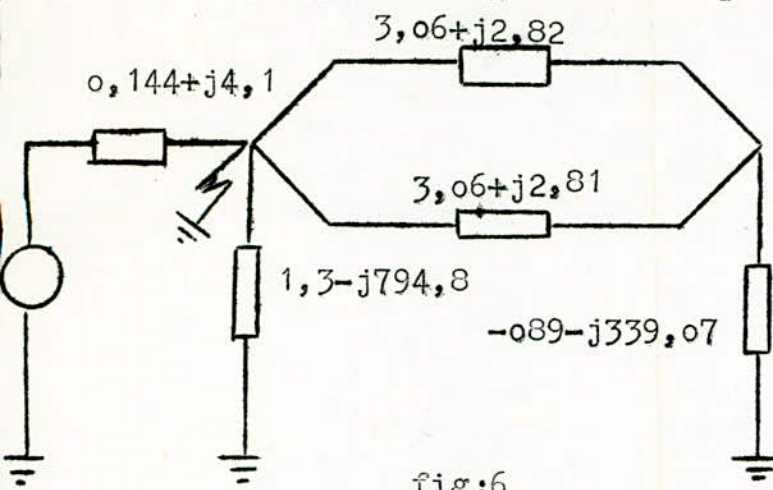


fig:6

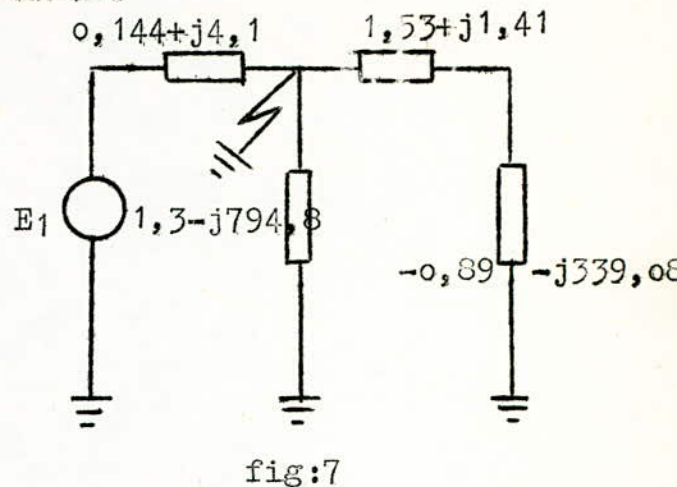


fig:7

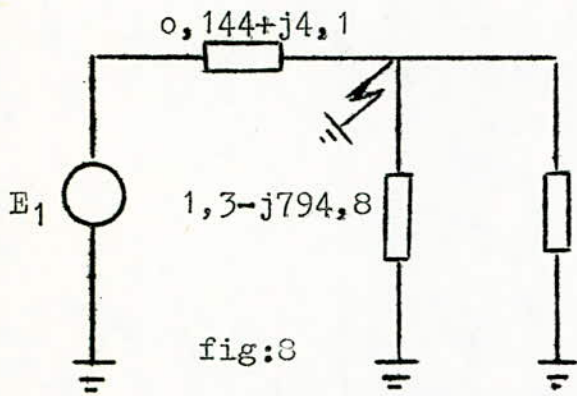


fig:8

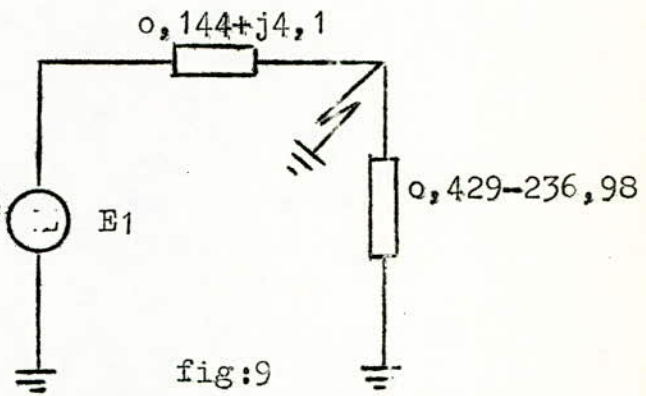


fig:9

entransformant la source de tension en source de courant on recoit

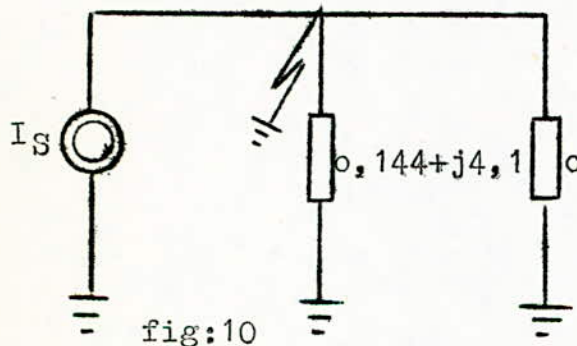


fig:10

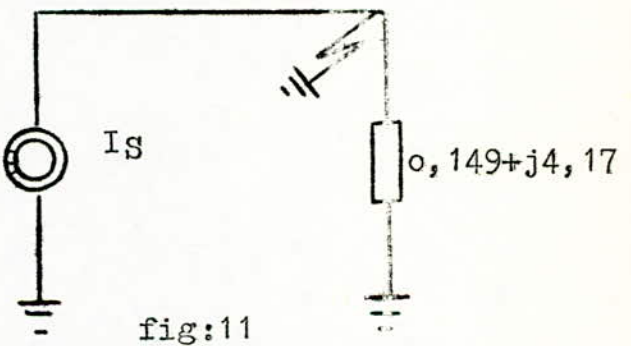


fig:11

en revenant a la source de courant on obtient le schéma équivalent direct simplifié

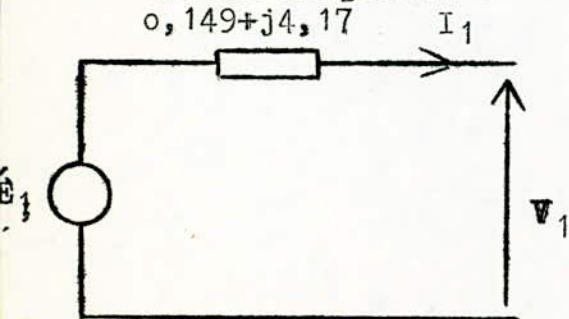
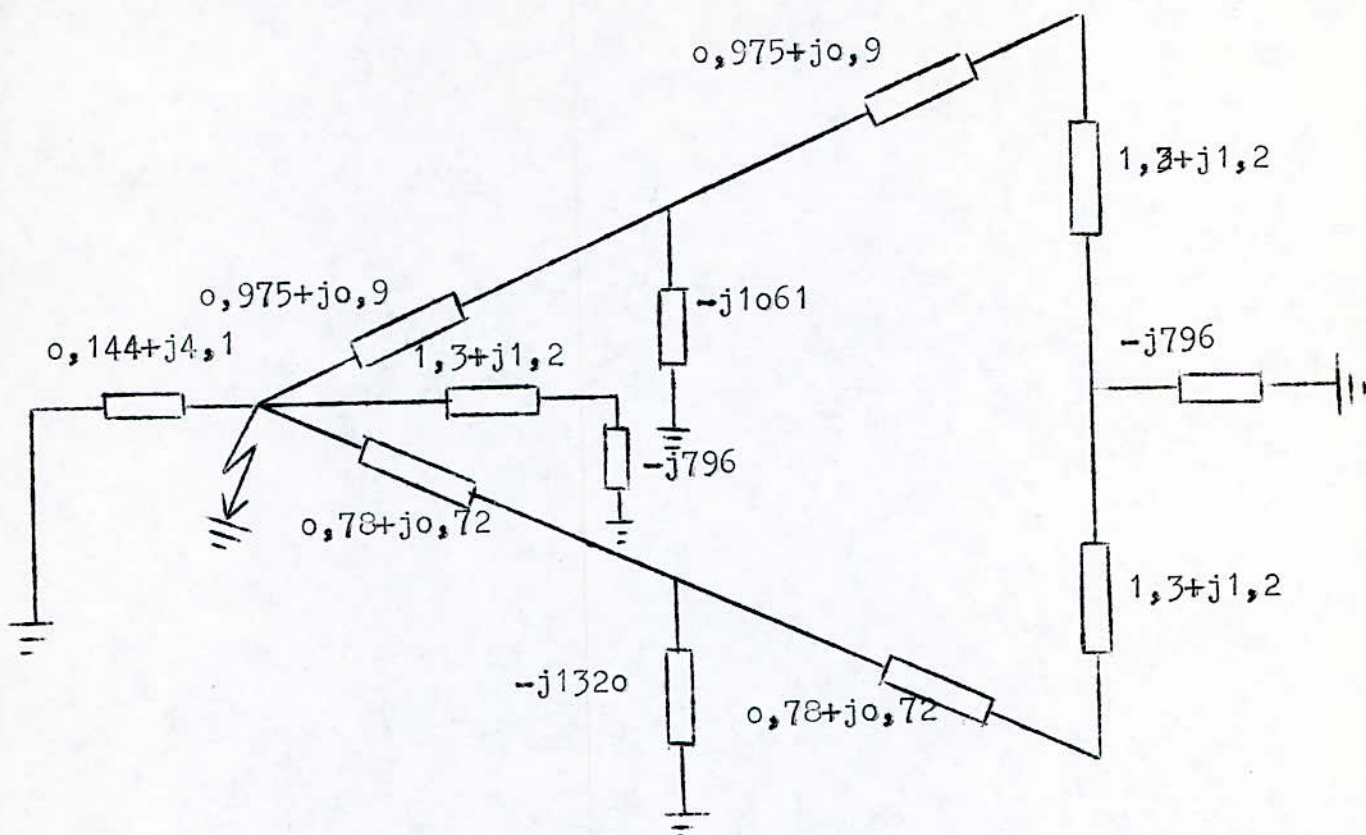


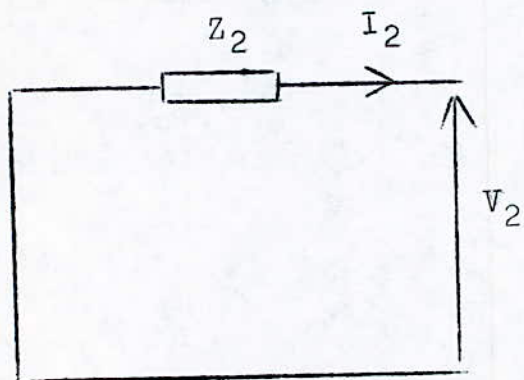
fig:12

B-5-1-1-2-schéma équivalent inverse.



-schéma équivalent inverse réduit:

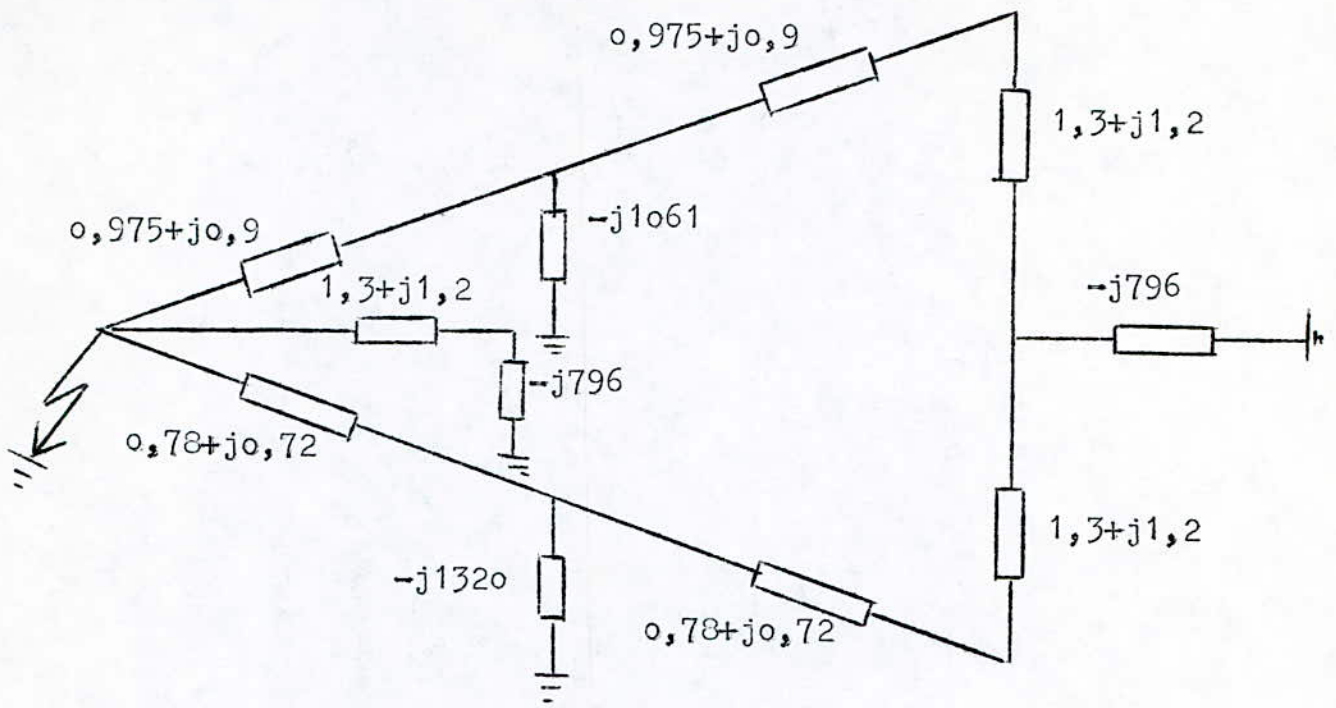
Les schéma inverse se réduit de la même façon que le schéma équivalent direct.



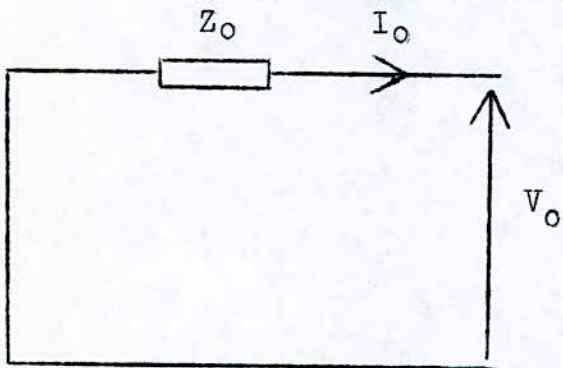
$$Z_2 = 0,15 + j4,2$$

B-5-141-3-schéma équivalent homopolaire.





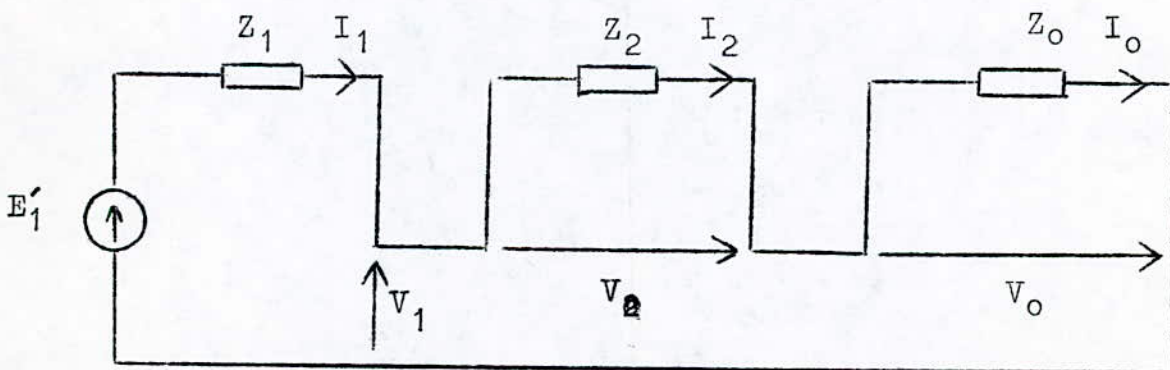
-schéma équivalent **homopolaire** réduit.



$$Z_0 = 0,43 - j236,98$$

B-5-1-1-4.. schéma équivalent composé.

en composant les trois schémas équivalents (direct, inverse, homopolaire) on obtient le schéma suivant:



B-5-1-2-courants de court-circuit.

en utilisant la formule donnée par la méthode des composantes symétriques on a :

$$I_{cc} = \frac{3 \cdot E_1'}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

avec :

$$Z_1 = Z_2 = 0,15 + j4,2$$

$$Z_0 = 0,43 + j236,98$$

$$E_1' = 17624,6 + j11$$

$$\text{d'où } I_{cc} = 0,88 + j231,35 \quad (\text{A})$$

courants

B-5-1-3-diagramme vectoriel des au point de c-c.

a) composantes symétriques du courant au point de c-c.

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{3} I_{cc}$$

$$I_0 = 0,29 + j77,12 \quad (\text{A})$$

$$I_0 = 77,12 \quad (\text{A})$$

$$\beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 89,8$$

b) courants au point de c-c.

$$I_A = I_{cc} = 0,88 + j231,35 \quad (\text{A})$$

$$I_B = I_C = 0$$

B-5-1-4- diagramme vectoriel des tensions au point de c-c.

a) composantes symétriques des tensions au point de c-c.

d'après la loi d'ohm d'impédances symétriques on a :

$$V_1 = E_1' - Z_1 \cdot I_1$$

$$V_2 = -Z_2 \cdot I_2$$

$$V_0 = -Z_0 \cdot I_0$$

après calcul on a :

$$V_1 = 17946 - j23 \quad (\text{V})$$

$$V_2 = 322 - j13 \quad (\text{V})$$

$$V_0 = -18276 - j37 \quad (\text{V})$$

b) tension sur chacune des trois phases , au point de c-c.

en utilisant les formules données par la théorie des c.s on obtient la tension sur chaque phase du réseau, au point de c.c

$$V_A = V_1 + V_2 + V_0$$

$$V_B = a^2 \cdot V_1 + a \cdot V_2 + V_0$$

$$V_C = a \cdot V_1 + a^2 \cdot V_2 + V_0$$

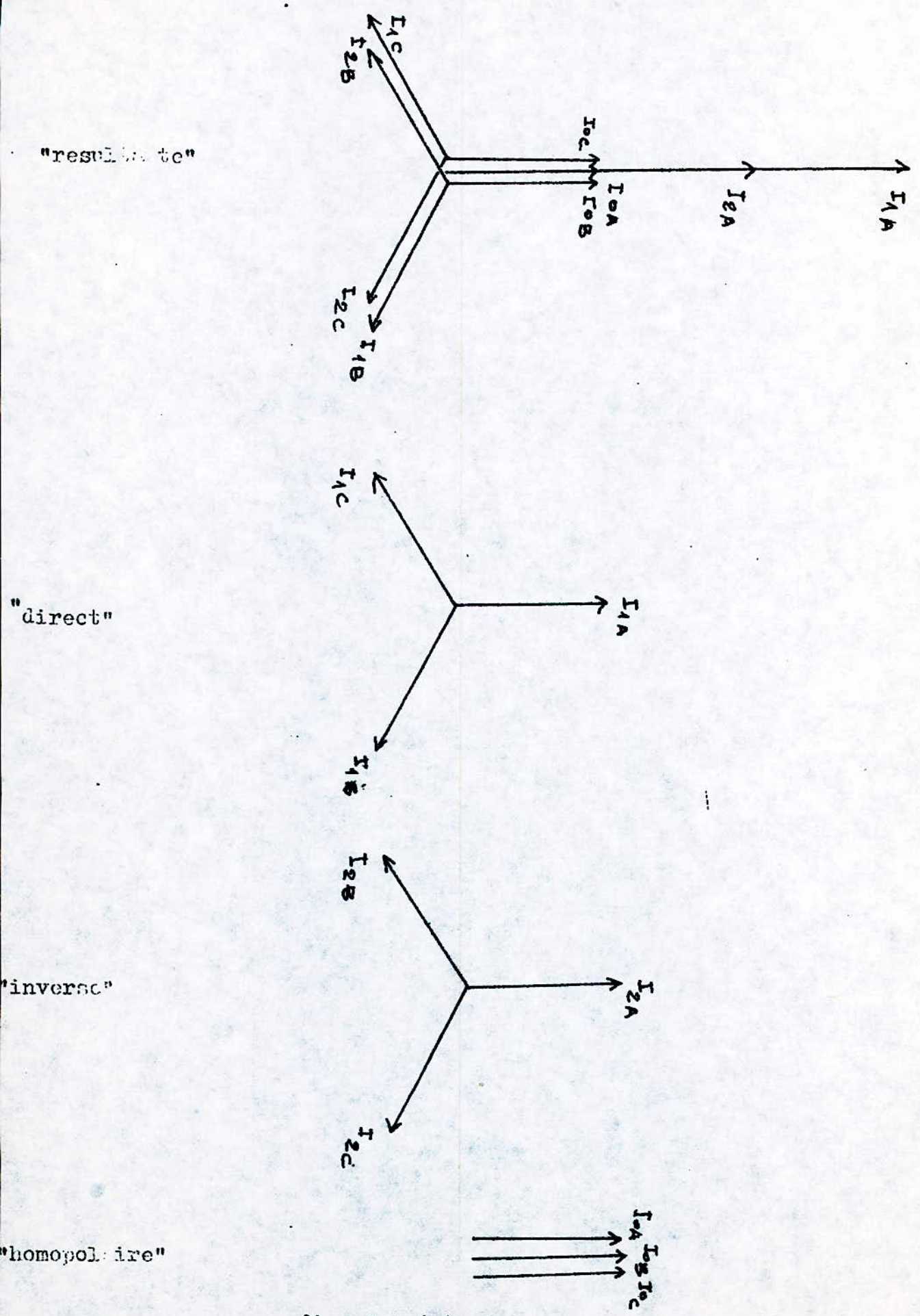


fig :5-1 (B)



DIAGRAMME VECTORIEL DES TENSIONS AU POINT DE C-C.

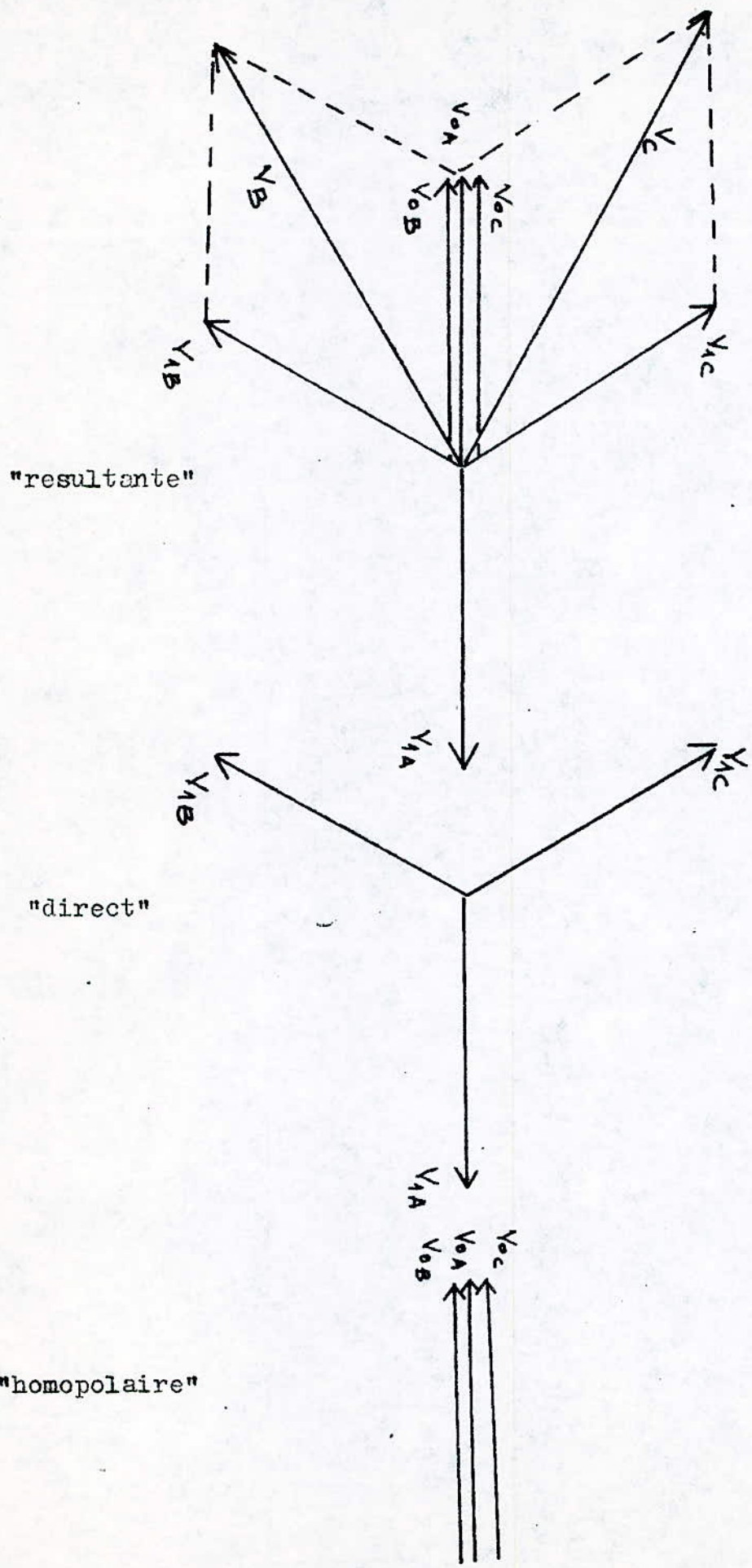


fig:5-2 (B)

donc les tensions au point de c-c sont:

$$V_A = 0$$

$$V_B = - 27419 - j15208 \text{ (V)}$$

$$V_C = - 27400 + j15317 \text{ (V)}$$

en module

$$V_A = 0$$

$$V_B = 31354 \text{ V}$$

$$V_C = 31391 \text{ V}$$

conclusion: la valeur du courant de court-circuit obtenue pour ce deuxième point est presque la même que celle déjà trouvée pour le point X, donc on peut dire que la valeurs du courant de court-circuit ne depend pas de la position du point de defaut.

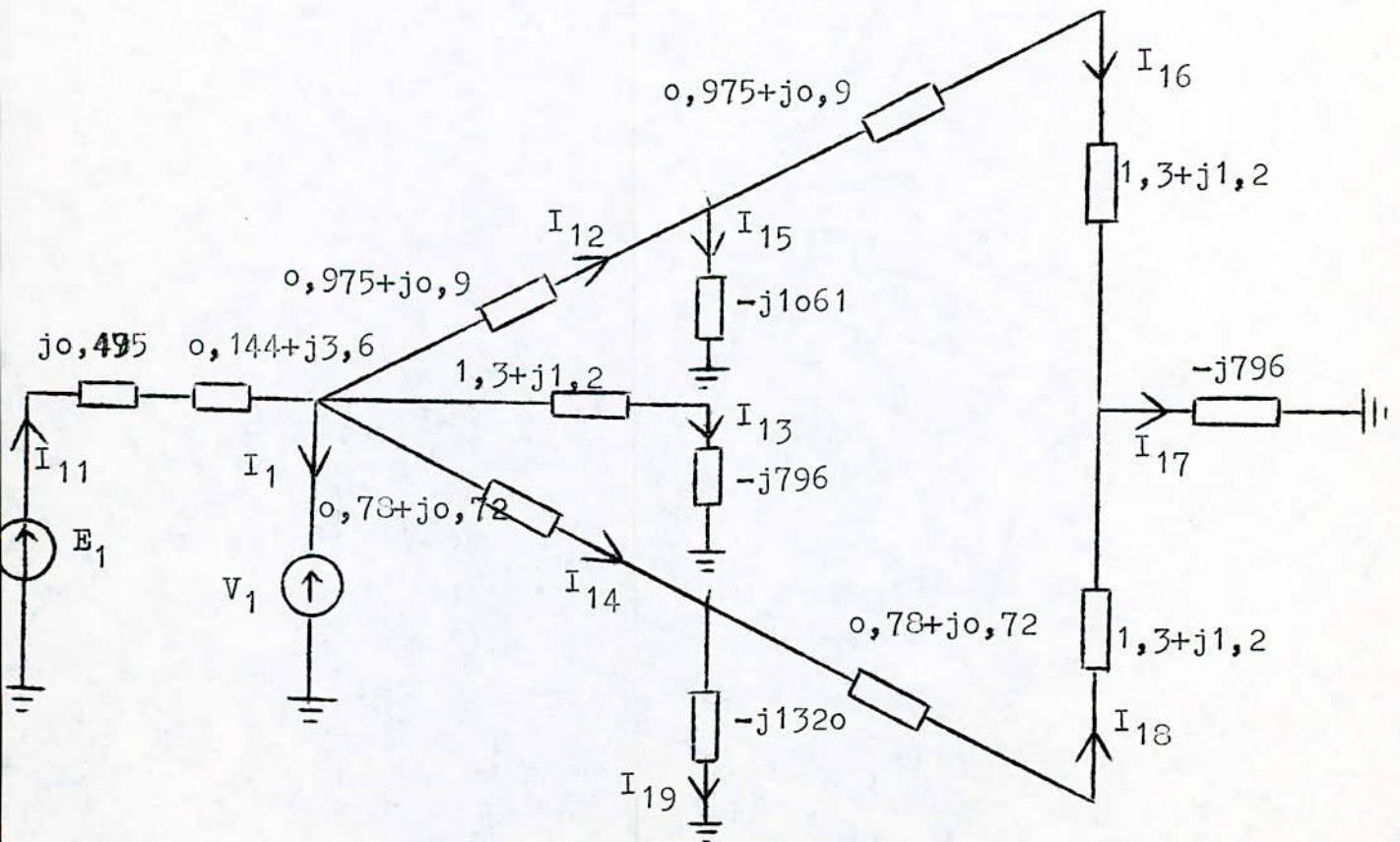
B-5-2-calcul des courants dans les phases de toutes les lignes du réseau.

Le calcul de ces courants s'effectuera de la même manière que ceux du premier point, il faut d'abord calculer les composantes symétriques de ces courants aux différents points considérés puis les composer afin de déterminer les courants dans toutes les lignes du réseau.

B-5-2-1- calcul des courants directs

on utilisera dans ce cas la méthode de transfiguration retrograde a celle deja utilisée pour le calcul du courant de court-circuit.

on tchera dans ce cas de donner les resultats des calculs seulement , car c'est le même procédé de calcul déjà utilisé pour le premier point qu'on a jugé inutile de répéter.



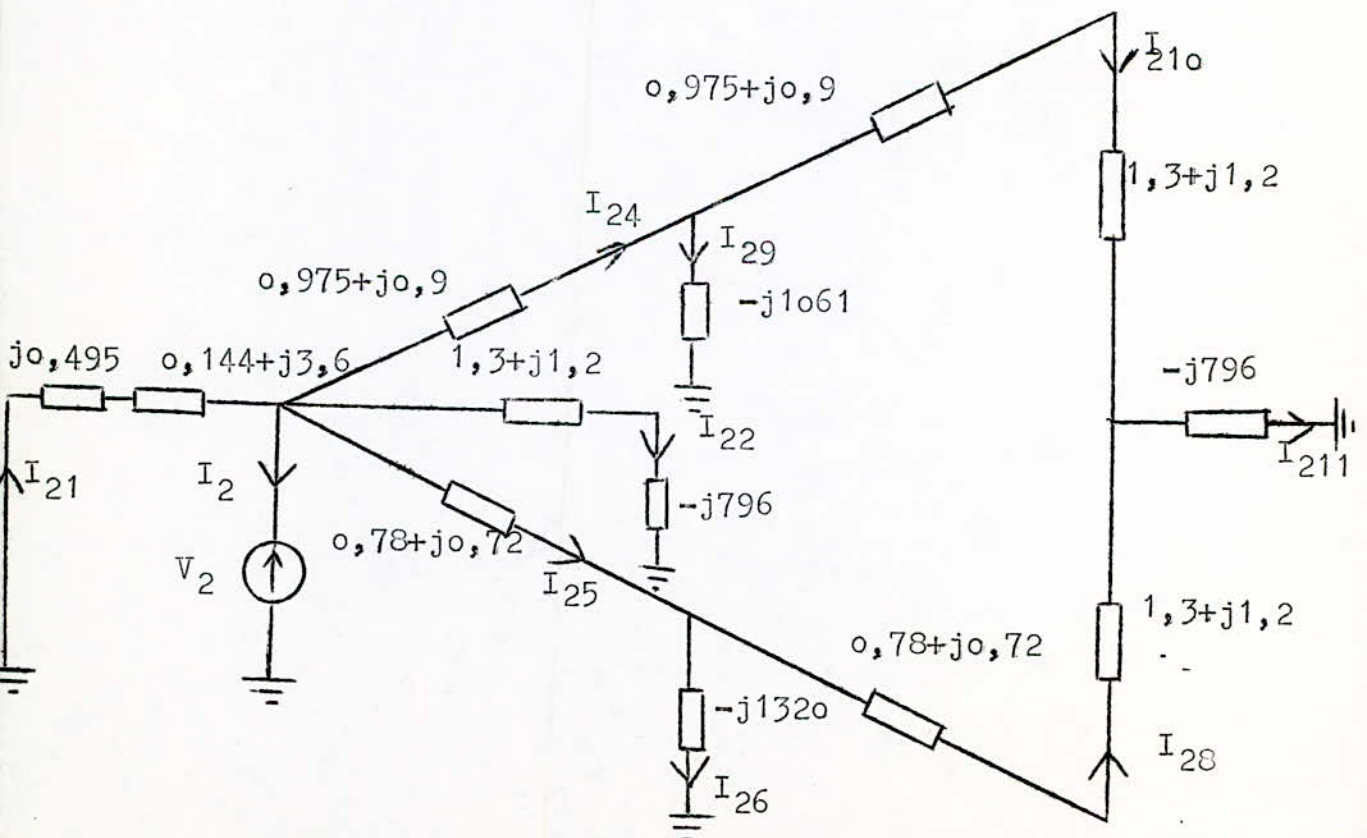


	courants directs (A)
$I_{11}$	$0,53 + j 152,85$
$I_{12}$	$0,08 + j 26,55$
$I_{13}$	$0,06 + j 22,58$
$I_{14}$	$0,08 + j 26,59$
$I_{15}$	$0,04 + j 16,94$
$I_{16}$	$0,04 + j 9,60$
$I_{17}$	$0,09 + j 22,59$
$I_{18}$	$0,05 + j 12,99$
$I_{19}$	$0,04 + j 13,61$

B-5-2-2- calcul des courants inverses.

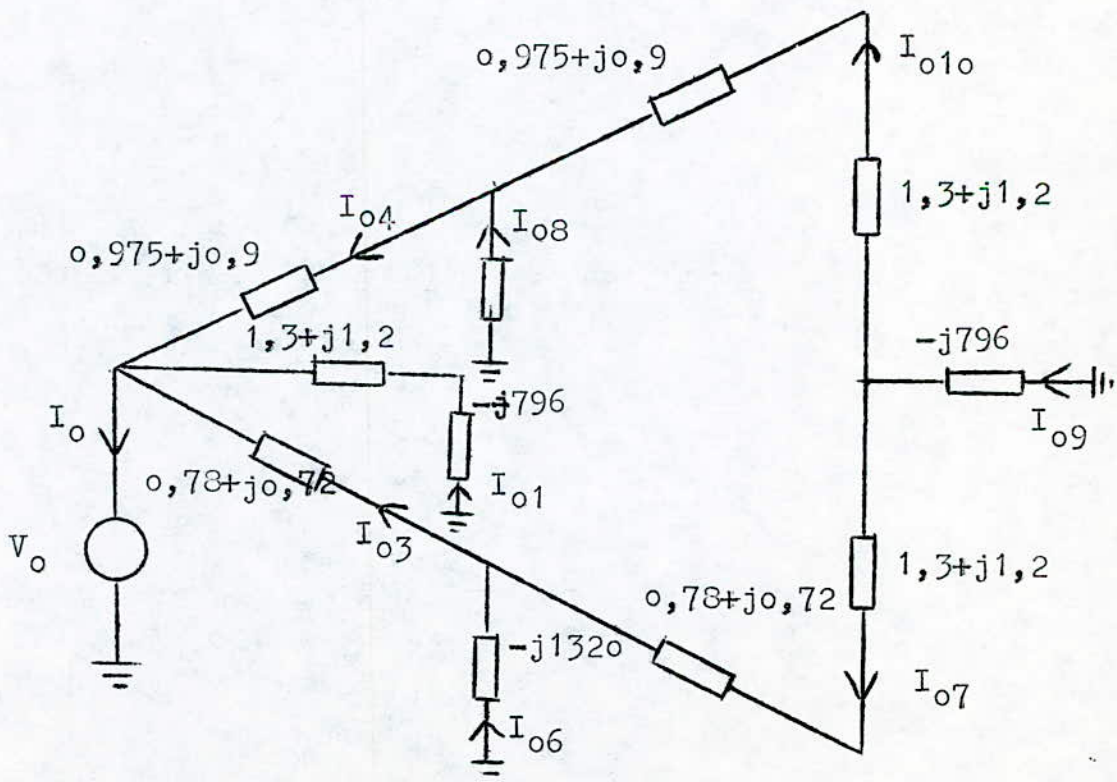
en utilisant la méthode de transfiguration, on ~~obtient~~ les courants inverses, dont les résultats sont donnés sous forme de tableau.

-schéma équivalent inverse, avec le sens des courants:



	courants inverses (A)
$I_{21}$	$0,35 + j 78,47$
$I_{22}$	$0,02 + j 0,40$
$I_{24}$	$0,02 + j 0,47$
$I_{29}$	$0,01 + j 0,31$
$I_{210}$	$0,01 + j 0,16$
$I_{211}$	$0,02 + j 0,39$
$I_{26}$	$0,01 + j 0,24$
$I_{28}$	$0,01 + j 0,23$
$I_{25}$	$0,02 + j 0,47$

B-5-2-3-calcul des courants homopolaires





	courants homopolaires (A)
$I_{03}$	$0,10 + j 27,08$
$I_{04}$	$0,10 + j 27,04$
$I_{01}$	$0,08 + j 22,99$
$I_{06}$	$0,04 + j 13,86$
$I_{05}$	$0,16 + j 40,26$
$I_{09}$	$0,41 + j 23,01$
$I_{07}$	$0,06 + j 13,17$
$I_{08}$	$0,06 + j 17,24$
$I_{010}$	$0,04 + j 9,84$

B-5-2-4- Courants dans les phases de toutes les lignes.

Après avoir calculé les courants directs, inverses et homopolaires il ne reste qu'à les composer pour déterminer les courants dans les phases de toutes les lignes du réseau.

$$I_A = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_B = a^2 \cdot I_1 + a \cdot I_2 + I_0$$

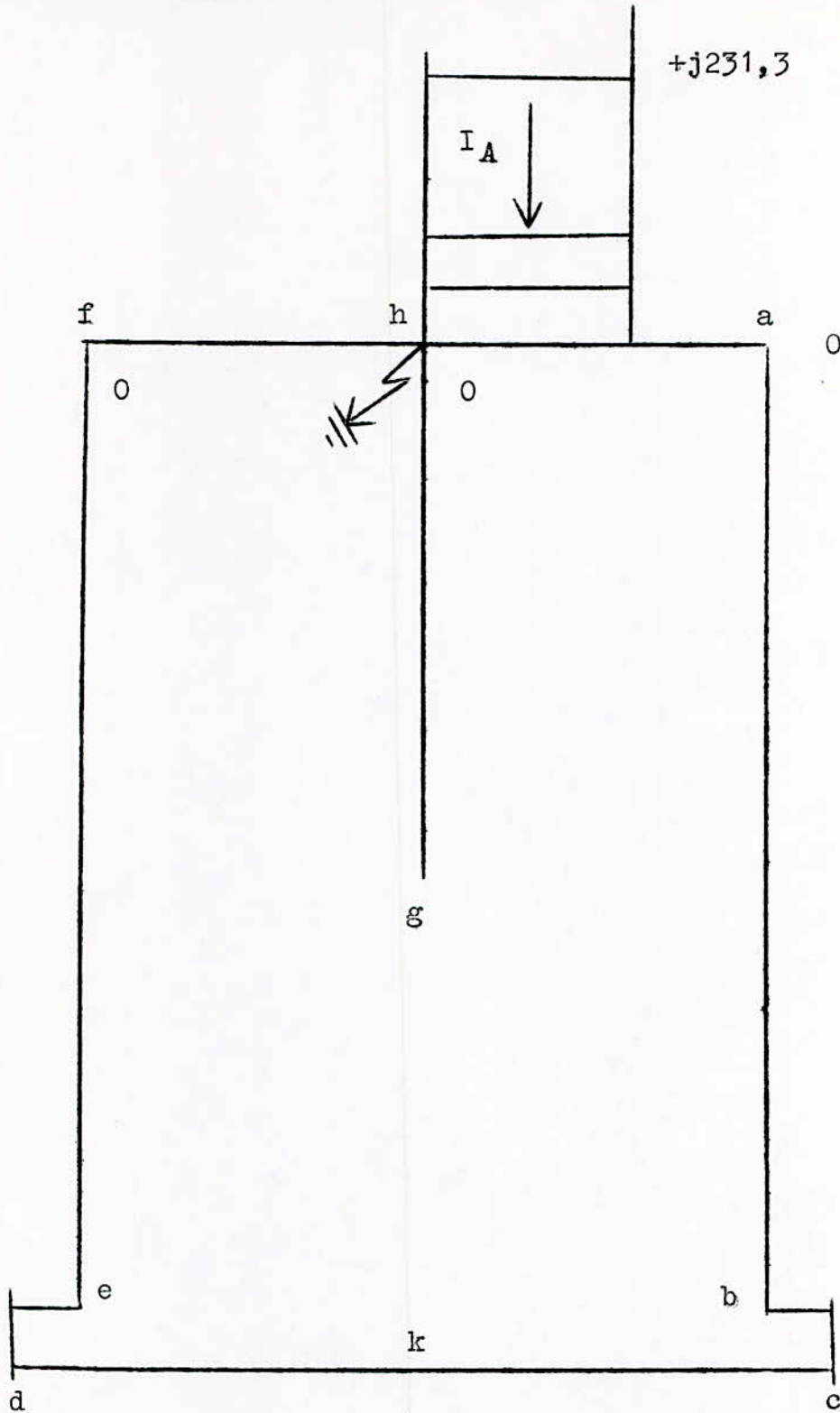
$$I_C = a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 + I_0$$

	$I_A$	$I_B$	$I_C$
$I_a$	0	$22,42 - j 40,60$	$-22,72 - j 40,50$
$I_b$	0	$7,92 - j 14,75$	$-8,25 - j 14,69$
$I_c$	0	$7,91 - j 14,75$	$-8,25 - j 14,69$
$I_d$	0	$10,96 - j 20,20$	$-11,13 - j 19,76$
$I_e$	0	$10,96 - j 20,20$	$-11,13 - j 19,76$
$I_f$	0	$22,46 - j 40,69$	$-22,79 - j 40,55$
$I_g$	0	$19,11 - j 34,53$	$-19,16 - j 34,44$
$I_h$	$0,88 + j 231,31$	$63,95 - j 115,81$	$-64,8 - j 115,50$

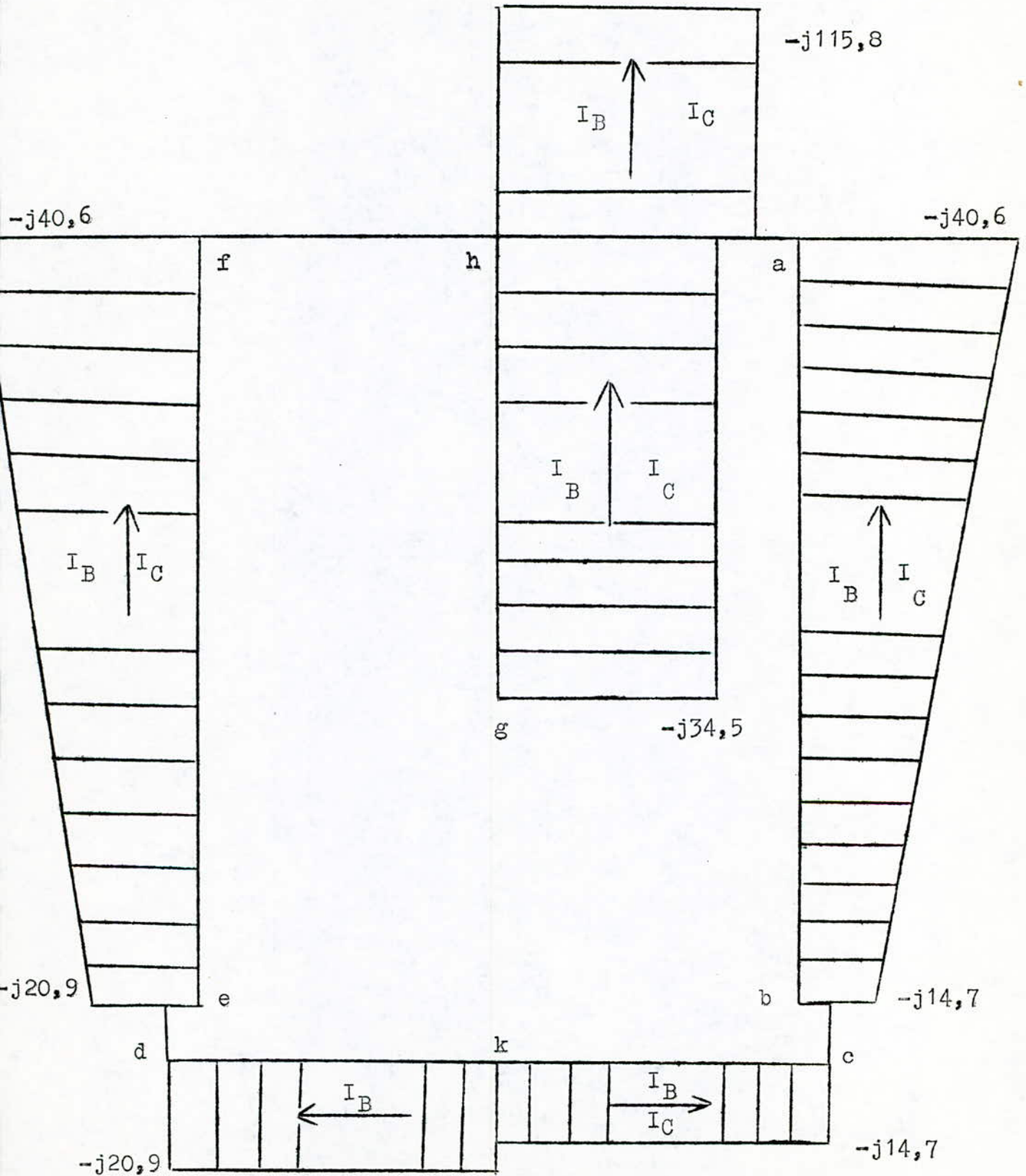


des courants

B-5-2-4. Diagramme dans les différentes branches du réseau , phase court-circuitée ( phase A )



B-5-2-4-2 Diagramme des courants dans les différentes branches du réseau, se rapportant aux phases saines B et C.



conclusion:

Comme on le voit sur le diagramme des courants de la phase (A) (phase court-circuitée), la totalité du courant provenant de la source passe directement à la terre, c'est ce qui explique l'inexistence d'aucun courant dans les différentes lignes.

Tandis que pour les deux autres phases saines (B et C), les courants remontent de la terre à travers les capacités des câbles et reviennent vers la source.



B-5-3-calcul des tensions en des points caracteristiques du reseau.

En premier lieu il faut calculer les composantes symetriques des tensions dans ces differents points.

B-5-3-1- composantes symétriques des tensions.

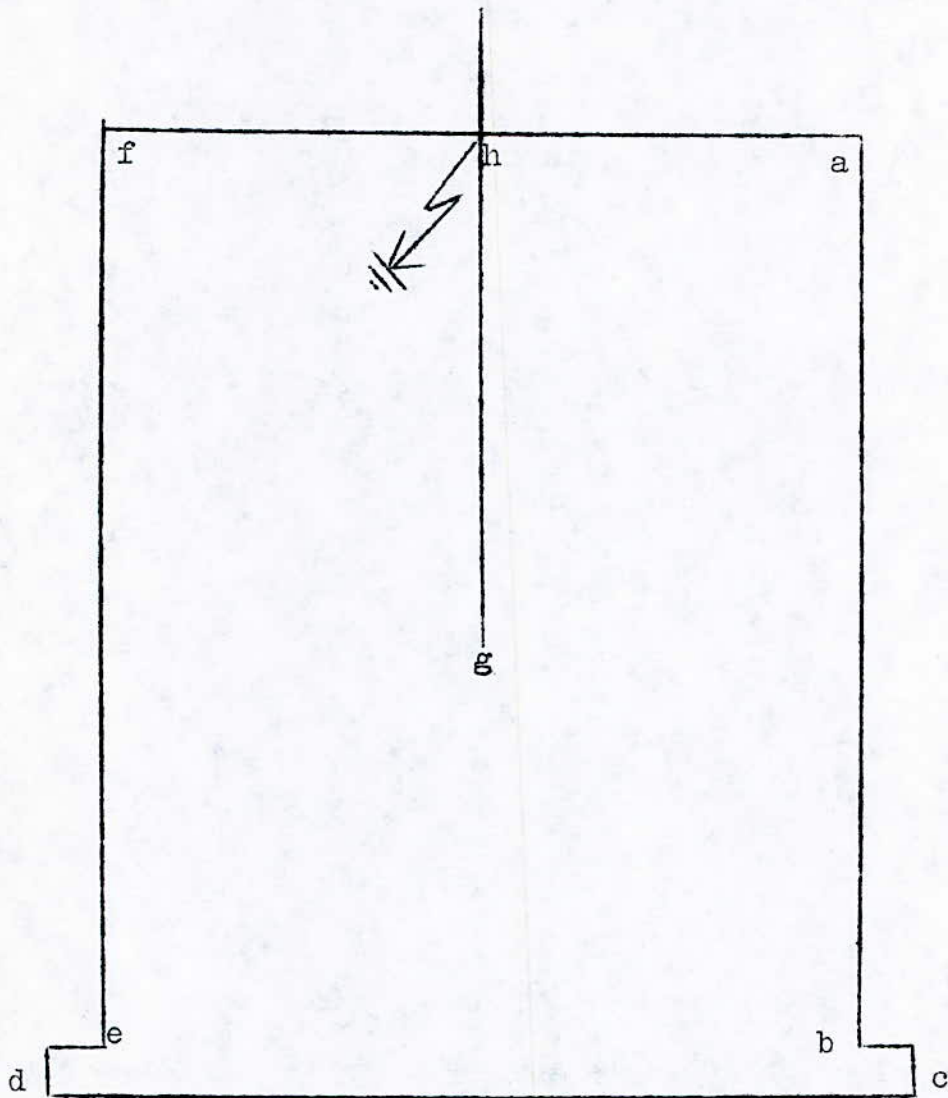
	$V_1$	$V_2$	$V_0$
a	17946-j23,4	321,7-j12,7	-18276+j36,70
b	17978-j58,75	"	-18309+j72,70
c	17978-j58,75	"	-18309+j72,70
d	17974-j54,00	"	-18304+j68,00
e	17974-j54,00	"	-18304+j68,00
f	17946-j23,40	"	-18276+j36,70
g	17973-j53,50	"	-18304+j66,80
h	17946-j23,40	"	-18276+j36,70

B-5-3-2- tensions en differents points caracteristiques du reseau

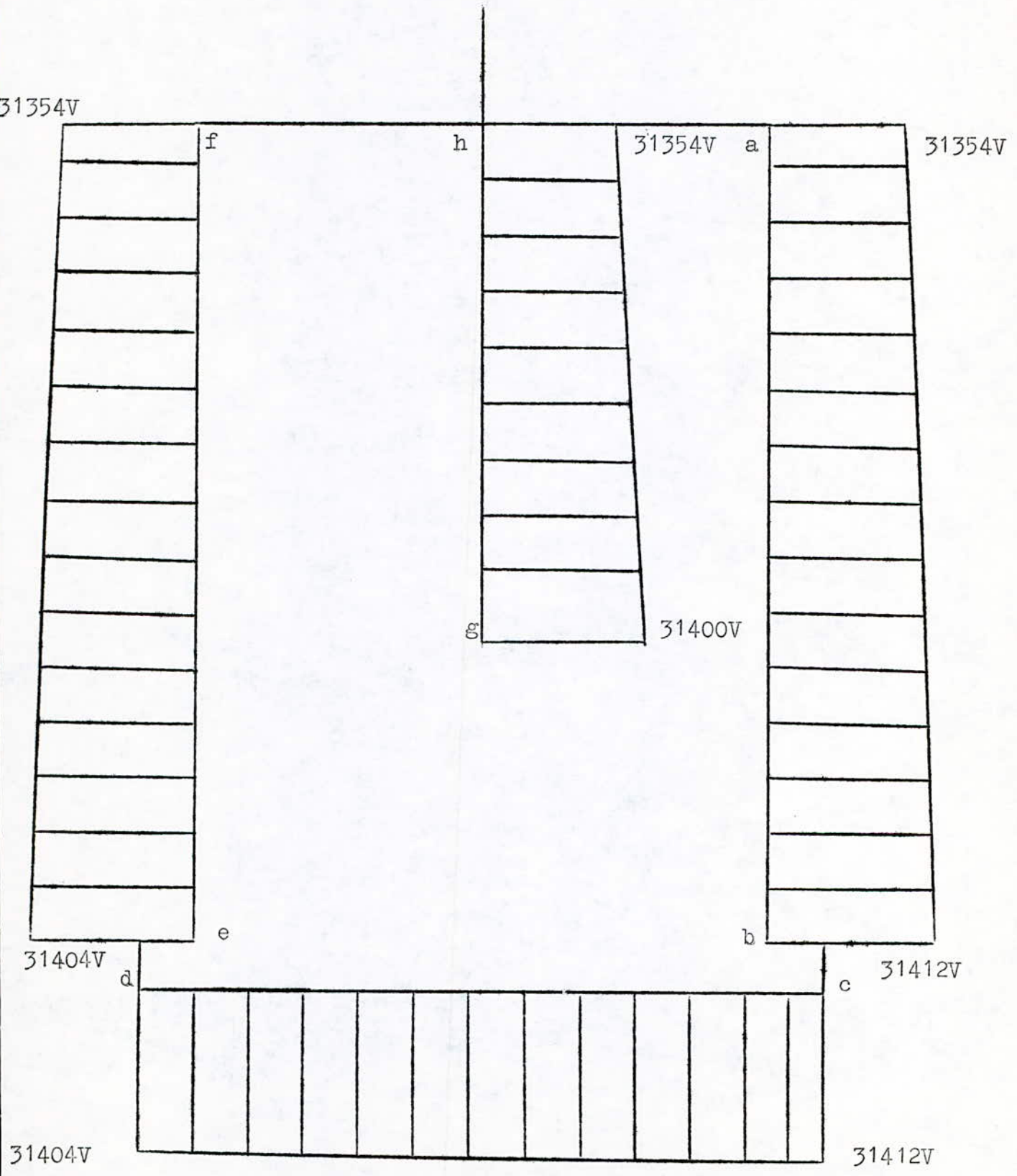
pour determiner ces tensions ,il suffit de composer les tensions  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_0$  en chacun des points consideres.

	$V_A$	$V_B$	$V_C$
a	0	-27419-j15208	-27400+j15317
b	0	-27499-j15182	-27420+j15399
c	0	-27499-j15182	-27420+j15399
d	0	-27489-j15185	-27417+j15389
e	0	-27489-j15185	-27417+j15389
f	0	-27419-j15208	-27400+j15317
g	0	-27487-j15180	-27417+j15386
h	0	-27419-j15208	-27400+j15317

B-5-3-2-1-Diagramme des tensions en différents points du reseau,  
sur la phase A (phase court-circuitée)

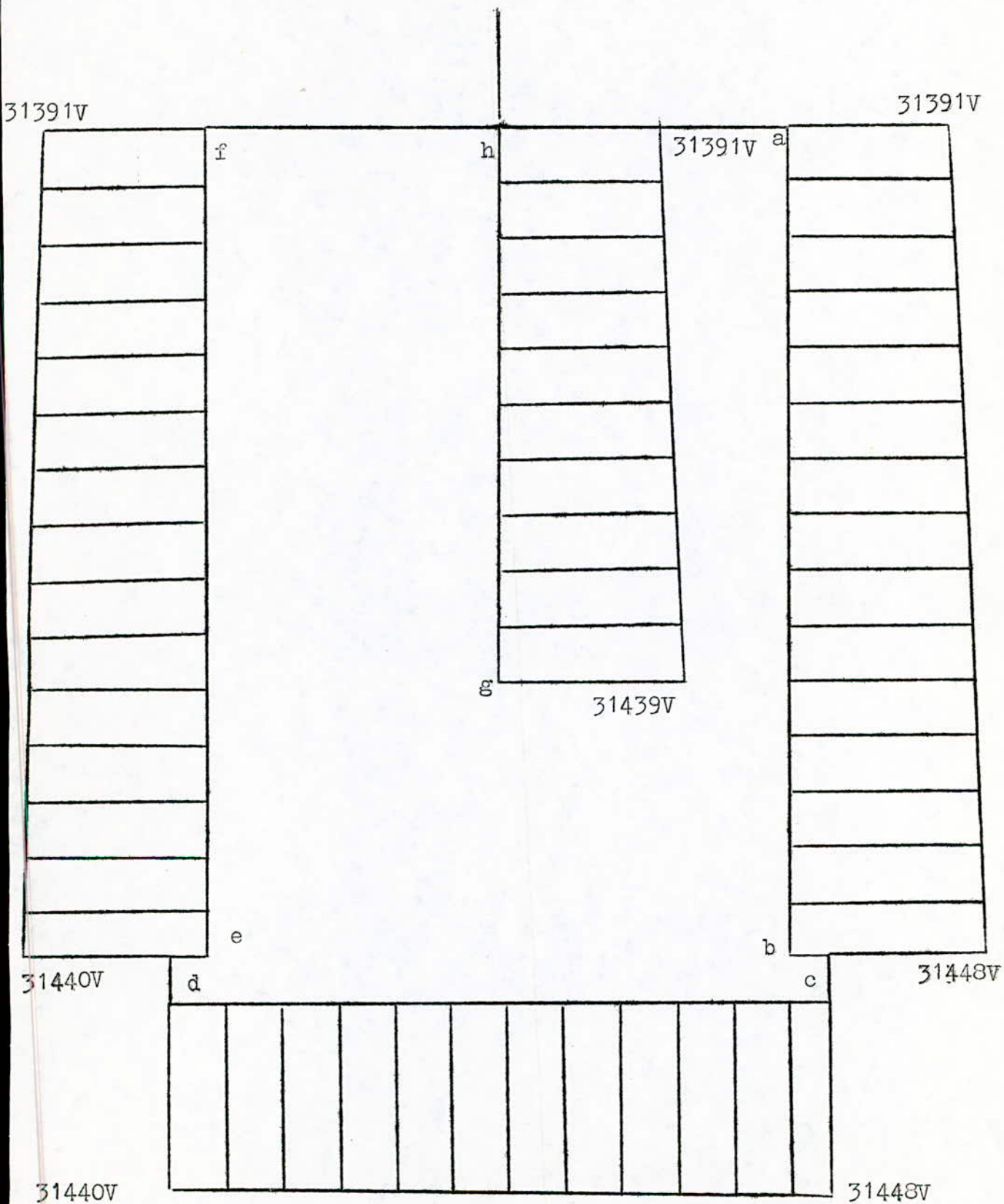


B-5-3-2-2 Diagramme des tensions dans différents points du réseau sur la phase saine (phase B)





B-5-3-2-3- Diagramme des tensions dans différents points du réseau sur la phase saine (phase: C)



conclusion:

la tension de la phase court-circuitée garde une valeur nulle sur l'ensemble de toutes les lignes. tandis que sur les deux autres phases saines la tension reste presque constante le long de toute les lignes.

Dans le cadre de nos études on se limitait juste au calcul des courants de court-circuit sans jamais se soucier de l'influence qu'ils peuvent avoir sur le comportement des réseaux électriques (variation des courants et tensions dans les phases de toutes les lignes du réseau ).

L'étude qui vient d'être faite , nous a <sup>permis</sup> de mieux percevoir le comportement du réseau à neutre isolé lors d'un court-circuit monophasé.

Les résultats obtenus, concernant les tensions et courants sur toutes les lignes , ainsi que leurs composantes symétriques peuvent servir de base pour une étude sur la protection de ce réseau.

Vue la simplicité concernant son application , la méthode des composantes symétriques a été pour nous un très grand avantage dans l'ensemble des calculs effectués.



§ BIBLIOGRAPHIE §  
~~~~~

Note de cours FEN 220 de W.MICHALAC

Analyse et fonctionnement des reseaux de G.CIRTINA

Circuits et reseaux en regime permanent de F.CAHEN

Les reseaux d'energie electrique de R.PELISSIER Tome II

Elements of power system analysis de W.D.STEVENSON

