

وزارة التعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - ELECTRIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES



SUJET

Etude du Court Circuit Triphasé
dans un Réseau d'Energie
rake équivalent

Proposé par :

MAHFOUDI D.

Etudié par :

FOULANI A.

LOUDJANI A.

Dirigé par :

MAHFOUDI D.

PROMOTION JANVIER 1988

Handwritten text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is faint and difficult to decipher but appears to include the words "The end of the world" and "is not what you think it is".

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - ELECTRIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

SUJET

Etude du Court Circuit Triphasé
dans un Réseau d'Energie

Proposé par :

MAHFOUDI D.

Etudié par :

FOULANI A.

LOUDJANI A.

Dirigé par :

MAHFOUDI D.

PROMOTION JANVIER 1988

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur
M^r D. MAHFOUDI qui a bien voulu assurer la direction de cette étude.

Nous remercions vivement D^r S. AHMED-ZAID spécialiste en réseaux
électriques auprès de la SONEGAS de nous avoir honorés par sa
présence.

Nous sommes également reconnaissants à tous les professeurs qui ont
contribué à notre formation ainsi que M^{rs} S. MAKLOUF pour ces aides
précieuses.

Je dédie cette thèse à :

- mon père
- ma mère
- mes frères , soeur , mes belles soeurs et mon oncle
- mes amis

abdelhamid FOULANI

Je dédie cette thèse à :

- à la mémoire de mon très cher père
- à ma mère
- mes frères , ma soeur, et ma belle soeur
- mes amis

abderezak Loudjani

-SOMMAIRE

- Introduction
- I-CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS DU RESEAU
- Presentation du reseau
 - Disposition des lignes
 - Caracteristiques des lignes, transformateurs et des alternateurs
 - Calcul des parametres des lignes
- II-PER-UNIT SYSTEM (valeurs reduites)
- Definition de la valeur reduite (pu)
 - Changement de base
- III-REGIME TRANSITOIRE DES ALTERNATEURS
- Introduction
 - Court circuit triphase aux bornes d'un alternateur
- IV-MODELISATION
- Modele d'un alternateur
 - Modele d'un transformateur
 - Modele d'une ligne courte, moyenne et longue
- V- ETUDE DU COURT CIRCUIT TRIPHASE PAR LA METHODE "RAKE EQUIVALENT"
- Formation de la matrice impendance de court circuit
- VI-RESOLUTION DU SYSTEME PAR LA METHODE NUMERIQUE
- Conclusion

Les différents types de court circuits qui peuvent apparaître dans un réseau d'énergie sont :

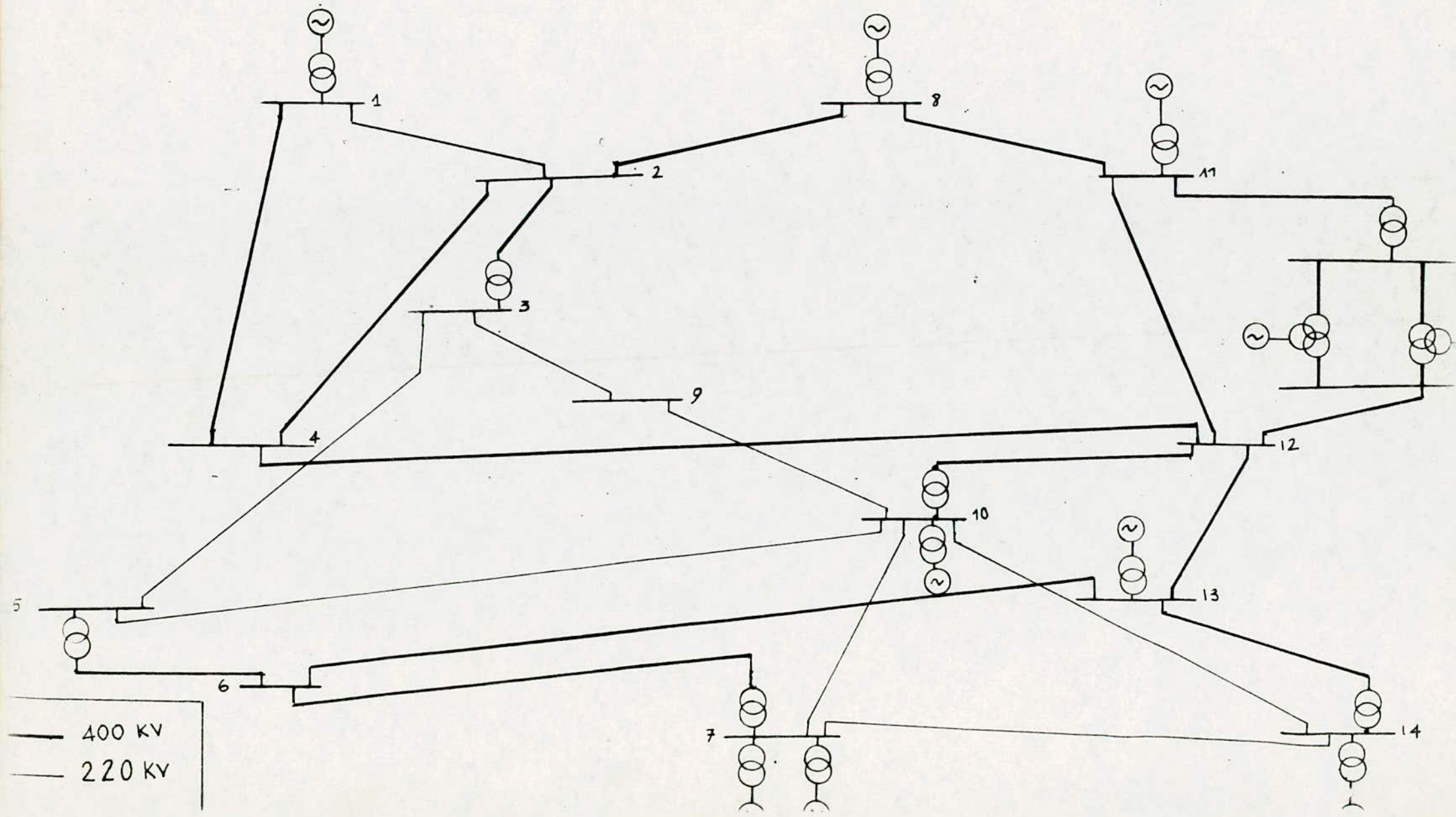
- " court circuit phase terre
- " biphasé terre
- " biphasé
- " triphasé

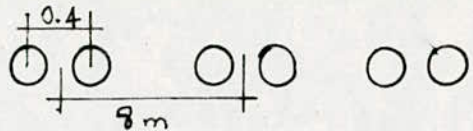
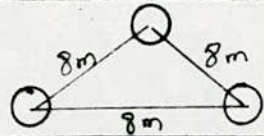
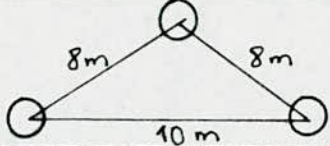
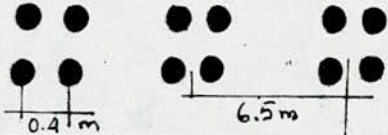
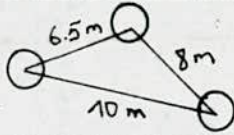
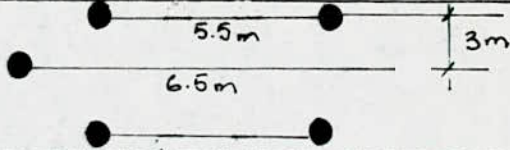

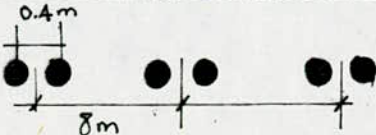
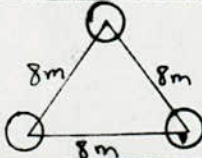
Environ trois court circuits sur quatre sont du type phase terre , la part résultent du contournement de l'isolateur dû au foudroiment de la ligne .

Les court circuits triphasés sont les plus rares , les plus coûteux et ils sont de l'ordre de 5% sur la totalité des court circuits qui se produisent.


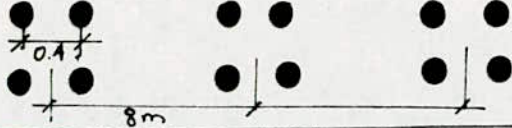
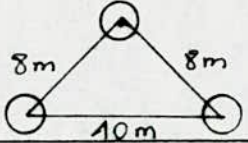

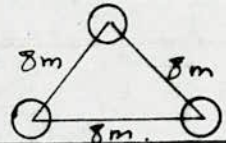
Dans notre projet on aura à étudier les court circuits triphasés équilibrés survenant dans plusieurs points du réseau (400, 220KV), leurs étude est plus commode du fait qu'il se ramène à un seul schéma unifilaire .

Si on est intéressé par ce rare type de court circuit , les relais doivent être calibrés à partir des courants de court circuits minimums, le temps de coupure et le pouvoir de coupure sont choisis de manière à satisfaire le plus grand courant de court circuit .



ligne	longueur en (km)	code word	nbre de couche	tension en (KV)	Al/st	GMR en (mm)	Disposition des lignes
I-2	70	OSTRICH	2	400	26/7	6,98	
I-4	100	MERLIN	2	400	18/1	6,76	
2-3	170	LINNET	2	400	26/7	7,40	
2-4	40	LINNET	2	400	26/7	7,40	
2-8	200	LINNET	2	400	26/7	7,40	
3-5	90	LINNET	2	220	26/7	7,40	
3-9	100	LINNET	2	220	26/7	7,40	
4-12	180	OSTRICH	2	400	26/7	6,98	
5-6	100	MERLIN	2	400	18/1	6,76	

Ligne	longueur en(km)	code word	nbre de couches	tension en(KV)	Al/st	GMR en(mm)	Disposition des lignes
5-10	100	OSTRICH	2	220	26/7	6,98	
6-7	50	MERLIN	2	400	18/1	6,76	
6-13	250	LINNET	2	400	26/7	7,40	
7-10	130	FLICKER	2	220	24/7	8,65	
7-14	210	LINNET	2	220	26/7	7,40	
8-11	40	CARDINAL	3	400	54/7	12,25	
9-10	150	FLICKER	2	220	24/7	8,65	
10-12	70	OSPREY	2	400	18/1	8,66	
10-14	125	BETTERN	3	400	54/7	13,29	

ligne	longueur en (km)	code word	nbre de couche	tension en (KV)	Al/st	GMR en (mm)	Disposition des lignes
II-12	150	CARDINAL	3	400	54/7	12,25	
II-15	50	PELICAN	2	400	18/1	8,05	
I2-13	200	BLUE BIRD	4	400	84/19	17,86	
I2-16	200	PLOVER	3	400	54/19	15,06	
I3-14	70	CARDINAL	3	400	54/7	12,25	

Avant, le transport d'énergie se faisait par des conducteurs en cuivre. L'apparition du conducteur en aluminium a remplacé complètement le cuivre. Pour une même résistance la section d'aluminium est plus grande que celle du cuivre et par conséquent elle diminue la tendance à l'ionisation de l'air autour du conducteur.

Les différents types de conducteurs :

AAC : 100% en aluminium (all-aluminum conductors)

AAAC : 100% alliage en aluminium (all-aluminum alloy reinforced)

ACSR : conducteur en aluminium renforcé par l'acier (aluminum conductors steel reinforced)

ACAR : conducteur en aluminium renforcé par un alliage (aluminum conductors alloy reinforced)

notre choix s'est basé sur des câbles en ACSR vu les avantages qu'ils donnent en haute tension et sa souplesse de transport.

ces câbles sont constitués par des brins centraux en acier entourés par des brins en aluminium. un papier imprégné sépare les deux types de brins pour diminuer l'effet couronne.

DETERMINATION DES PARAMETRES DES LIGNES :

INDUCTANCE DUE AU FLUX INTERNE :

En considérant l'effet de peau, les lignes de champs magnétique à l'intérieur du conducteur induisent une tension dans le circuit qui va influencer directement l'inductance.

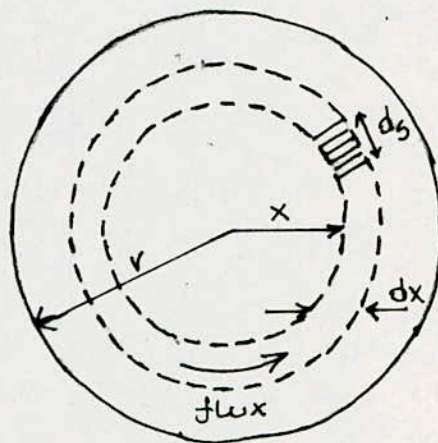
Soit un conducteur cylindrique long, la force magnetomotrice est égale à l'intégrale de la composante tangentielle de l'intensité du champs magnétique autour de la section choisie

$$F_{mm} = \oint H \cdot ds = I \quad (AT)$$

H : intensité du champs magnétique

ds : section élémentaire choisie

I : courant traversant la section



Section d'un conducteur cylindrique

On désigne par H_x l'intensité du champs à une distance x metre du centre du conducteur, comme le champs est symétrique le long du conducteur

on a :

$$\oint H_x \cdot ds = I$$

$$2\pi x \cdot H_x = Ix$$

la densité du courant est constante le long de la section alors :

$$J = I_x / 2\pi X^2 = I / \pi r^2 = \text{cte}$$

$$I_x = (\pi X^2 / \pi r^2) \cdot I$$

d'ou

$$H_x = (X / 2\pi r^2) \cdot I \quad \text{AT / m}$$

L'induction à la distance X du centre du conducteur est :

$$B_x = \mu H_x = I / 2\pi r^2 \quad \text{Wb / m}^2$$

ou μ : la perméabilité du conducteur

Le flux élémentaire par unité de longueur est :

$$d\phi = (\mu X I / 2\pi r^2) \cdot dx \quad \text{Wb / m}$$

on néglige la section devant la longueur du conducteur

le flux total devient :

$$d\psi = (\pi X^2 / \pi r^2) \cdot d\phi$$

$$= (\mu I X^3 / 2\pi r^4) \cdot dx \quad \text{Wb / m}$$

en intégrant du centre du conducteur jusqu'à r on obtient :

$$\psi_{\text{int}} = (\mu I X^3 / 2\pi r^4) \cdot dx$$

$$= \mu I / 8\pi \quad \text{Wb / m}$$

comme $\mu_r = 1$, $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ H / m}$

on suppose que le conducteur est creux et que le courant est distribué

à la surface du conducteur alors :

$$\psi_{\text{int}} = (1/2) 10^{-7} \cdot I$$

$$L_{\text{INT}} = 10^{-7} / 2 \quad \text{H/m}$$

Flux extérieur entre deux points :

soient deux points P_1, P_2 à des distances

respectivement D_1, D_2 du centre du conducteur .

la Fmm d'une section élémentaire est :

$$2\pi X H_x = I$$

$$\text{d'où } B_x = \mu H_x = \mu I / 2\pi X \text{ (Wb / m)}$$

Le flux $d\phi$ à l'intérieur du conducteur élémentaire pour une épaisseur dx

$$d\phi = (\mu I / 2\pi X) \cdot dx \text{ Wb/m}$$

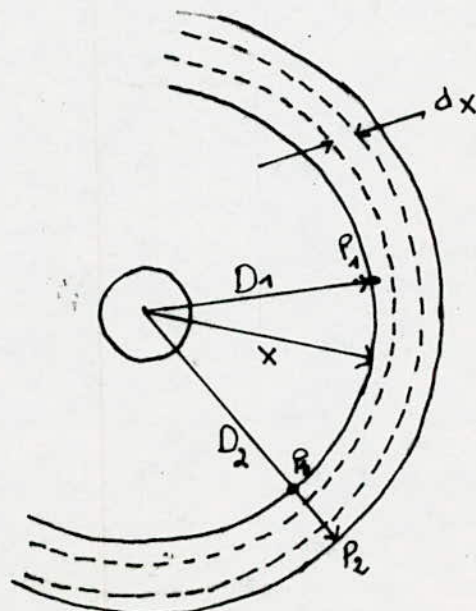
le flux total entre les deux points P_1, P_2 est :

$$\Psi_{12} = (\mu I / 2\pi X) \cdot dx$$

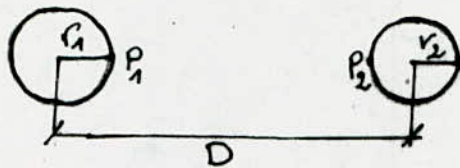
$$= (\mu I / 2\pi) \cdot \ln (D_1 / D_2)$$

$$\Psi_{12} = 2 \cdot 10^7 \cdot I \ln D_2 / D_1$$

$$L_{12} = 2 \cdot 10^7 \cdot \ln D_2 / D_1 \text{ Wb/m}$$



INDUCTANCE D'UNE LIGNE MONOPHASEE A DEUX CONDUCTEURS



Soit $L_{12} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln D_2/D_1$

en substituant D_2 par D et D_1 par r_1

d'ou $L_{1ext} = 2 \cdot 10^{-7} \ln D/r_1$ H/m

comme l'inductance due au flux interne est constante, l'inductance totale devient :

$$L_1 = (1/2 + 2 \ln(D/r_1)) \cdot 10^{-7} \quad \text{H/m}$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} (1/4 + \ln D/r_1) \quad \text{H/m}$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} (\ln e^{1/4} + \ln(D/r_1))$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} \ln(D/r_1')$$

on pose $r_1 e^{-1/4} = r_1'$

avec r_1' : represente le rayon du conducteur fictif qui ne possede pas de flux interne

$L_1 = 2 \cdot 10^{-7} \ln (D/r_1')$: represente l'inductance due seulement au courant du conducteur (1)

de la meme maniere l'inductance due seulement au courant du conducteur (2)

est :

$$L_2 = 2 \cdot 10^{-7} \ln(D/r_2') \quad \text{H/m}$$

finalement pour le circuit total on a :

$$L = L_1 + L_2$$

$$= 4 \cdot 10^{-7} \ln \left(D \sqrt{(r_1' \cdot r_2')} \right)$$

généralement $r_1' = r_2' = r'$

l'inductance devient :

$$L = 4 \cdot 10^{-7} \ln D / r'$$

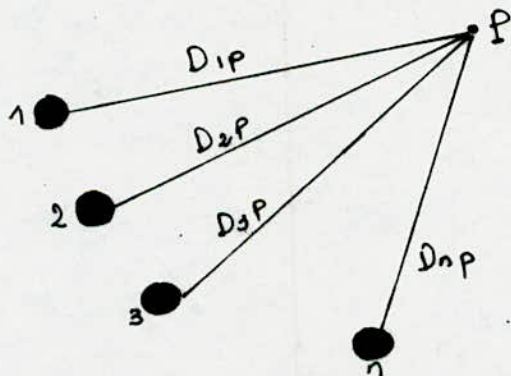
Determination du flux de plusieurs conducteurs en groupes :

le flux dû au courant I_1 entre le point P et le conducteur (1) est :

$$\Psi_{1P1} = \left(\frac{I_1}{2} + 2I_1 \cdot \ln \left(\frac{D_{1P}}{r_1'} \right) \right) \cdot 10^{-7}$$

$$\Psi_{1P1} = 2 \cdot 10^{-7} I_1 \cdot \ln \left(\frac{D_{1P}}{r_1'} \right) \quad \text{Wb/m}$$

en generalisant la formule pour n conducteurs on a aura :



$$\Psi_{1P} = 2 \cdot 10^{-7} \left(I_1 \ln \frac{D_{1P}}{r_1'} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{12}} + \dots + I_n \cdot \ln \frac{D_{nP}}{D_{1n}} \right)$$

puisque le système est équilibré :

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$$

résolvant l'équation pour I_n

$$I_n = -(I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1})$$

substituant I_n dans l'équation (I)

$$\Psi_{IP} = 2 \cdot 10^{-7} \left(I_1 \ln \frac{1}{r_1'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}} + \right. \\ \left. I_1 \ln \frac{D_{1P}}{D_{nP}} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{nP}} + \dots + I_{n-1} \ln \frac{D_{n-1}}{D_{nP}} \right)$$

quand le point P se déplace à l'infinie les rapports des distances

tendent vers 1

l'expression devient :

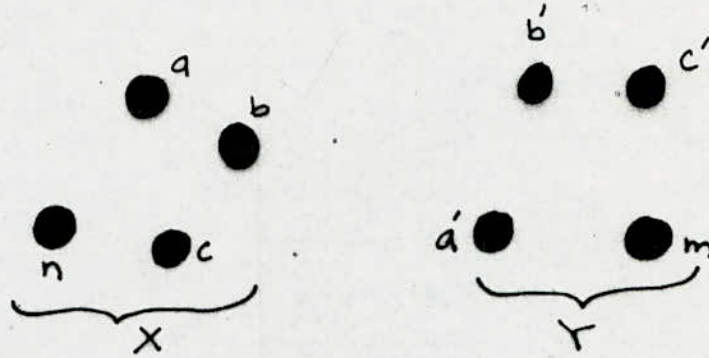
$$\Psi_1 = 2 \cdot 10^{-7} (I_1 \ln(1/r_1') + I_2 \ln(1/D_{12}) + \dots + I_n \ln(1/D_{1n}))$$

Inductance d'une ligne monophasée composée de deux conducteurs :

cas général :

la figure ci-contre montre une ligne monophasée

constituée par deux conducteurs l'un est composé de (n) brins et l'autre de (m) brins



le flux résultant d'un seul brin est :

$$\Psi_a = 2 \cdot 10^7 \frac{I}{n} (\ln 1/r'_a + \ln 1/D_{ab} + \dots + \ln 1/D_{an}) - 2 \cdot 10^7 \frac{I}{m} (\ln 1/D_{aa'} + \ln 1/D_{ab'} + \dots + \ln 1/a_m)$$

$$\Psi_a = 2 \cdot 10^7 I \ln \left(\frac{\sqrt{D_{aa'} \cdot D_{ab'} \cdot \dots \cdot D_{am'}}}{\sqrt{r'_a \cdot D_{ab} \cdot \dots \cdot D_{an}}} \right) \text{ W/m}$$

L'inductance devient :

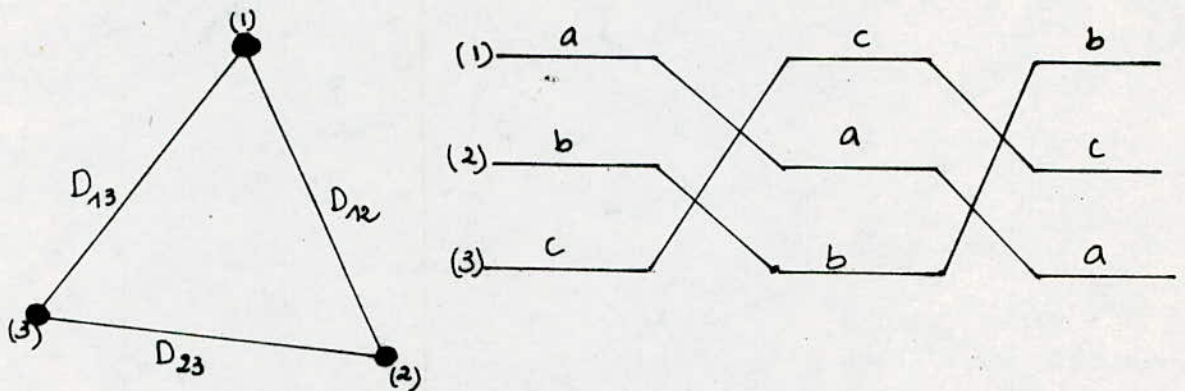
$$L_a = \Psi_a / (I/n) = 2n \cdot 10^7 I \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{D_{aa'} \cdot D_{ab'} \cdot \dots \cdot D_{am'}}}{\sqrt{r'_a \cdot D_{ab} \cdot \dots \cdot D_{an}}} \right)$$

de la même manière on calcul les autres inductances des autres brins

$$L_b = \Psi_b / (I/n) = 2n \cdot 10^7 \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{D_{aa'} \cdot D_{bb'} \cdot \dots \cdot D_{bm'}}}{\sqrt{r'_b \cdot D_{ba} \cdot \dots \cdot D_{bn}}} \right)$$

Inductance d'une ligne triphasée dissymétrique :

soit une ligne triphasée disposée en triangle quelconque



A cause de la dissymétrie de la ligne triphasée, le calcul de l'inductance devient plus compliqué, afin d'avoir la symétrie on interchange les phases sur des intervalles réguliers.

le flux résultant est la moyenne des flux calculés sur les trois tronçons.

1^{ère} phase (1^{er} tronçon):

$$\Psi_{a1} = 2 \cdot 10^7 (I_a \ln 1/D_s + I_b \ln 1/D_{12} + I_c \ln 1/D_{13}) \quad \text{Wb/m}$$

(2^{ème} tronçon):

$$\Psi_{a2} = 2 \cdot 10^7 (I_a \ln 1/D_s + I_b \ln 1/D_{23} + I_c \ln 1/D_{12}) \quad \text{Wb/m}$$

(3^{ème} tronçon):

$$\Psi_{a3} = 2 \cdot 10^7 (I_a \ln 1/D_s + I_b \ln 1/D_{13} + I_c \ln 1/D_{23}) \quad \text{Wb/m}$$

Le flux moyen par phase est :

$$\Psi_a = (\Psi_{a1} + \Psi_{a2} + \Psi_{a3})/3 = 2 \cdot 10^7 (3I_a \ln 1/D_s + I_b \ln 1/(D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}) + I_c \ln 1/(D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}))$$

L'inductance moyenne pour les différents brins est :

$$L_{\text{moy}} = (L_a + L_b + \dots + L_n) / n$$

Comme le conducteur X est composé de n brins en parallèle alors l'inductance du conducteur X est :

$$L_X = L_{\text{moy}} / n = (L_a + L_b + \dots + L_n) / n^2$$

substituant dans l'expression logarithmique:

$$L_X = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{\sqrt{(D_{aa} \cdot D_{ab} \cdot \dots \cdot D_{an})(D_{ba} \cdot \dots \cdot D_{bn}) \dots (D_{na} \cdot \dots \cdot D_{nn})}}{\sqrt{(D_{aa} \cdot D_{ab} \cdot \dots \cdot D_{an})(D_{ba} \cdot D_{bb} \cdot \dots \cdot D_{bn}) \dots (D_{na} \cdot D_{nb} \cdot \dots \cdot D_{nn})}}$$

Avec r'_a, r'_b, \dots, r'_n sont remplacés par $D_{aa}, D_{bb}, \dots, D_{nn}$

L'expression du numérateur du terme logarithmique appelé GMD (geometric diameter mean) représente la distance des brins du conducteur X par rapport aux brins du conducteur Y.

L'expression du dénominateur représente le GMR (geometric mean radius) c'est à dire la distance entre les brins du même conducteur X

$$L_X = 2 \cdot 10^{-7} \ln(\text{GMD}/\text{GMR})$$

L_Y : est déterminée de la même manière que L_X

L'inductance totale d'une ligne monophasée est donnée par la formule suivante :

$$L = L_X + L_Y$$

Comme $I_a + I_b + I_c = 0$

$$I_a = -(I_b + I_c)$$

remplaçons I_a dans l'expression précédente on trouve:

$$\Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} I_a (3I_a \ln 1/D_S - I_a \ln 1/(D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}))$$

$$\Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} I_a (\ln \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} / D_S)$$

L'inductance moyenne par phase est :

$$L_A = \frac{\Psi_a}{I_a} \quad \text{d'où} \quad L_A = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}}$$

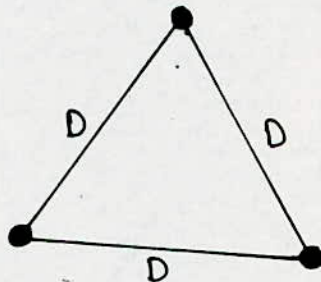
$$\text{avec } \text{GMD} = \sqrt{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}}$$

$$\text{GMR} = D_S$$

CAS PARTICULIERS

Ligne triphasée disposée en triangle équilatérale :

$$\text{GMD} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot D} = \sqrt[3]{D^3} = D$$



Ligne triphasée disposée en nappe horizontale:

$$\text{GMD} = \sqrt{D \cdot D \cdot 2D} = \sqrt{2D^3} = D \sqrt[3]{2}$$



Conducteur en faisceau:

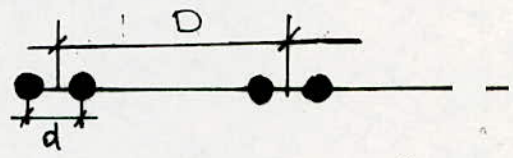
En tres haute tension (au dela de 230 KV) l'effet couronne apparait nettement sur les lignes de transport ,pour remedier à cet inconvenient il est preferable d'utiliser des conducteurs en faisceaux qui ont tendance à diminuer :

- _ la reactance de la ligne
- _ le gradient du potentiel
- les pertes par effet couronne
- l'impedance caracteristique
- interferences radio-electriques

Cas de deux conducteurs par phase :

$$GMD = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} \quad \text{reste inchangé}$$

$$GMR_1 = \sqrt{GMR \cdot d}$$



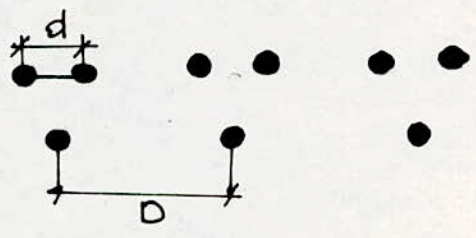
GMR_1 : rayon geometrique moyen corrigé

GMR : " " " " " " donné

Cas de trois conducteurs par phase :

$$GMD = \sqrt{D \cdot D \cdot 2D} = D \sqrt[3]{2}$$

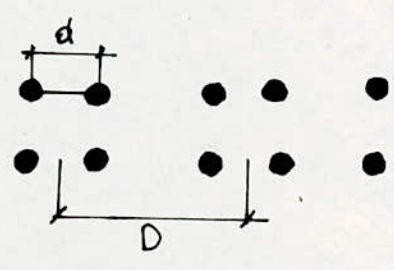
$$GMR_1 = \sqrt{GMR \cdot d^2}$$



Cas de quatres conducteurs par phase :

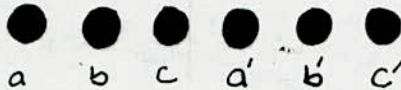
$$GMD = \sqrt{D \cdot D \cdot 2D} = D \sqrt[3]{2}$$

$$GMR_1 = 1,09 \sqrt{GMR \cdot d^3}$$

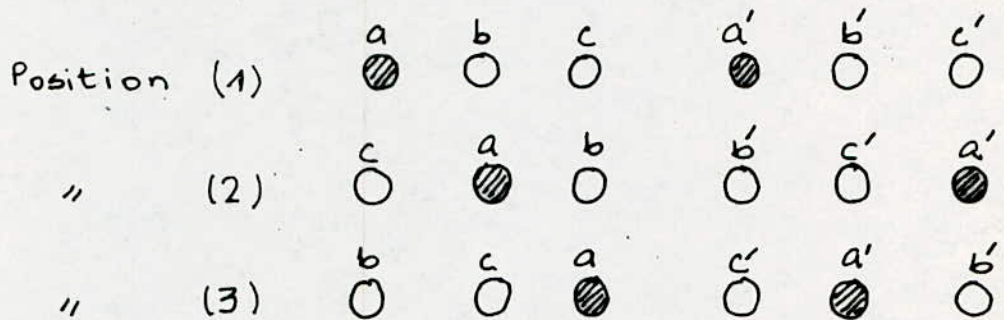


DOUBLE LIGNE TRIPHASEE /

Une double ligne triphasée est constituée de six conducteurs (a,b,c; a',b',c') disposés de telle manière à avoir deux conducteurs parallèles par phase comme l'indique la figure.



Cependant ces conducteurs ne présentent pas de symétrie, pour le calcul d'inductance on procède à la transposition voir schéma:



Calcul du (GMD):

Position -1)

$$GMD_1 = \sqrt{d \cdot 2d \cdot 4d \cdot 5d} = d \sqrt[4]{40}$$

Position- 2)

$$GMD_2 = \sqrt{d \cdot d \cdot 2d \cdot 3d} = d \sqrt[4]{6}$$

Position -3')

$$GMD_3 = \sqrt{d \cdot 2d \cdot d \cdot 3d} = d \sqrt[4]{6}$$

la distance géométrique moyenne est :

$$GMD = \sqrt[3]{GMD_1 + GMD_2 + GMD_3}$$

Determination du rayon geometrique moyen:

Le rayon geometrique moyen est donné par la formule suivante :

$$\text{Position -1) } GMR_1 = \sqrt{r' \cdot 3d}$$

$$GMR_2 = \sqrt{r' \cdot 4d}$$

$$GMR_3 = \sqrt{r' \cdot 2d}$$

avec $r' = D_{\text{ext}} / 2$

CAPACITES DES LIGNES DE TRANSPORT:

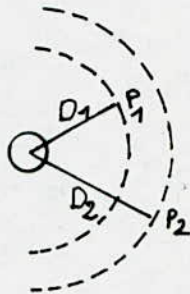
La capacité d'une ligne de transport

résulte de la différence de potentielle entre les conducteurs, elle dépend essentiellement des dimensions du conducteur et de la distance entre les lignes.

Différence de potentielle entre deux points dû à une charge:

La différence de potentielle entre deux points est le travail nécessaire pour faire déplacer une charge entre deux points

$$V_{I2} = \int_{D_1}^{D_2} E dx = (q / 2\pi\epsilon_0) \cdot dx = (q / 2\pi\epsilon_0) \cdot \ln D_2 / D_1$$



Capacité d'une ligne triphasée dissymétrique:

Quand les conducteurs présentent une dissymétrie le calcul de la capacitance devient plus difficile pour cela on procède par la transposition des lignes sur un cycle.

$$V_{ab} = I / 2\pi\epsilon_0 \left(q_a \ln D_{I2} / r + q_b \ln r / D_{I2} + q_c \ln D_{23} / D_{3I} \right)$$

avec phase (a) en position (1), (b) en position et (c) en position (3)

$$3V_{an} = I/2\pi K(2q_a \ln D_{eq}/r + q_b \ln r/D_{eq} + q_c \ln r/D_{eq})$$

$$3V_{an} = 3/2\pi K(q_a \ln D_{eq}/r) \quad V$$

$$d'OU \quad C_n = q_a / V_{an}$$

$$= 2\pi K / \ln D_{eq} / r \quad F/m$$

avec r: rayon du conducteur

$$K = 8,85 \cdot 10^{-12}$$

Cas d'une ligne triphasee a deux conducteurs par phase

$$C = 2\pi K / \ln D_{eq} / D_s$$



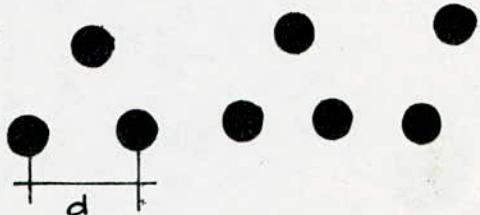
$$\text{avec } D_s = \sqrt{r \cdot d}$$

rayon du conducteur corrige

Cas d'une ligne triphasee a trois conducteurs par phase

$$C = 2\pi K / \ln D_{eq} / D_s$$

$$D_s = \sqrt[3]{r \cdot d^2}$$

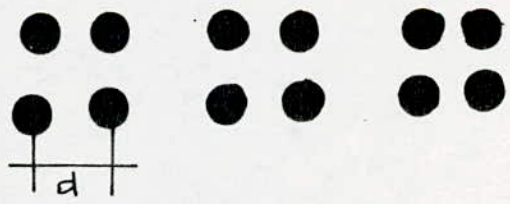


Cas d'une ligne triphasee a quatre conducteurs par phase

$$C = 2\pi K / \ln D_{eq} / D_s$$

$$D_s = \sqrt[16]{(r \cdot d \cdot d \cdot d \cdot 2^{1/2})^4}$$

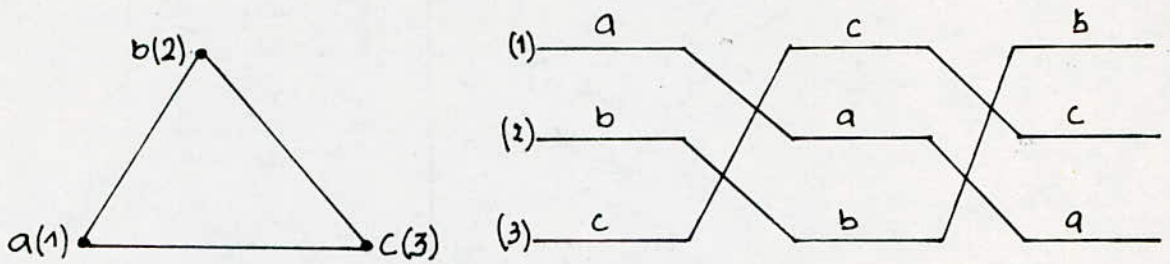
$$D_s = 1,09 \sqrt[4]{r \cdot d^3}$$



CORRECTION DES LIGNES/ :

La correction des lignes se fait généralement pour

les lignes longues (au delà de 160km)



$$V_{ab} = 1/2\pi K (q_a \ln D_{23}/r + q_b \ln r/D_{23} + q_c \ln D_{13}/D_{12})$$

avec phase (a) en position (2) , b) en position (3) et (c) en position (1)

$$V_{ab} = 1/2\pi K (q_a \ln D_{13}/r + q_b \ln r/D_{13} + q_c \ln D_{12}/D_{23})$$

avec phase (a) en position (3) ,(b) en position (1) et (c) en position (2)

La tension moyenne entre les conducteurs (a,b) pour ce cycle est :

$$V_{ab} = 1/6\pi K (q_a \ln(D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31})/r^3 + q_b \ln r^3/D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31} + q_c \ln(D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31})/D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31})$$

$$V_{ab} = 1/2\pi K (q_a \ln D_{eq}/r + q_b \ln r/D_{eq}) \quad V$$

$$\text{avec } D_{eq} = \sqrt{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \text{GMD}$$

de la même manière on calcul la tension entre les conducteurs (a,c)

on trouve :

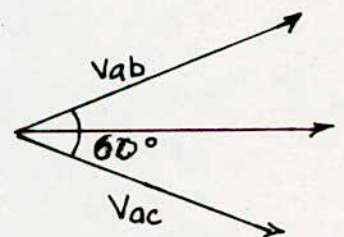
$$V_{ac} = 1/2\pi K (q_a \ln D_{eq}/r + q_c \ln r/D_{eq}) \quad V$$

comme le système est équilibré :

$$V_{ab} = 3V_n (\cos \pi/6 + j \sin \pi/6)$$

$$V_{ac} = 3V_n (\cos -\pi/6 + j \sin -\pi/6)$$

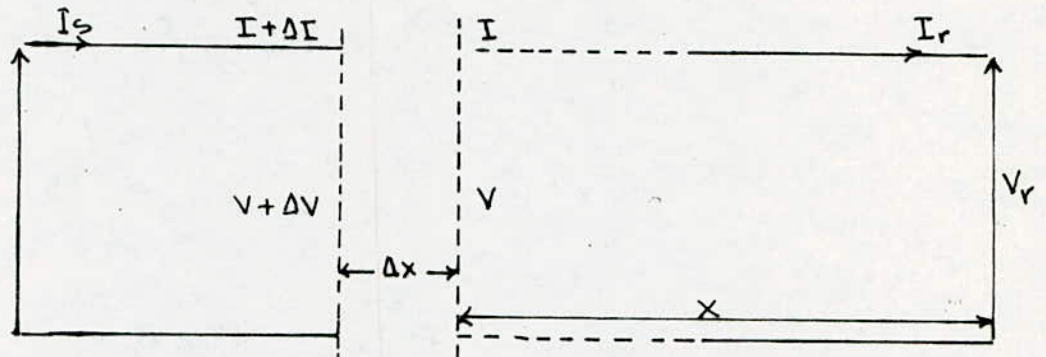
$$V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$$



correction d'une ligne longue

les parametres des lignes sont distribuées
uniformément le long de la ligne par contre les tensions et les courants
varient.

considerant une ligne:



prenons une longueur elementaire dx a la distance x de l'arrivee.

la tension et le courant a cette distance valent respectivement (V, I)

pour une distance $x+dx$ on a $V + \Delta V, I + \Delta I$

$$\Delta V = I \cdot z \cdot \Delta x$$

$$\Delta I = V \cdot y \cdot \Delta x$$

$$\text{d'ou} \quad \Delta V / \Delta x = I \cdot z$$

$$\Delta I / \Delta x = V \cdot y$$

quand Δx tend vers zero :

les equations se deduisent

$$dV / dx = I \cdot z \quad ; \quad dI / dx = V \cdot y$$

on derive deux fois nous obtenons une equation differentielle :

$$d^2V / dx^2 = z \cdot dI / dx = z \cdot y \cdot V$$

d'ou

$$d^2V / dx^2 - z \cdot y \cdot V = 0$$

la solution de l'equation differentielle est :

$$V = A \exp(\sqrt{y \cdot z} \cdot x) + B \exp(-\sqrt{y \cdot z} \cdot x)$$

Avec z : impédance série par unité de longueur

y : shunt admittance 2 " "

l : longueur de la ligne

$Z = z.l$: impédance totale

$Y = y.l$: admittance shunt totale

on prend comme référence l'arrière de la ligne

soit Z_c : l'impédance caractéristique

γ : constante de propagation

$$Z_c = \sqrt{z/y} \quad ; \quad \gamma = \sqrt{y.z} = \alpha + j\beta$$

les équations deviennent :

$$V = A \exp(\gamma x) + B \exp(-\gamma x)$$

$$I = I/Z_c (A \exp(\gamma x) - B \exp(-\gamma x))$$

les constantes A, B sont déterminées à partir des conditions initiales

à $x=0$ on a :

$$V = V_r$$

$$I = I_r$$

substituant ces valeurs dans les équations

$$V_r = A + B$$

$$I_r = 1/Z_c (A - B)$$

on trouve : $A = (V_r + I_r \cdot Z_c)/2$; $B = (V_r - I_r \cdot Z_c)/2$

et $V = (V_r + I_r \cdot Z_c)/2 \cdot \exp(\gamma x) + (V_r - I_r \cdot Z_c)/2 \cdot \exp(-\gamma x)$

$$I = 1/Z_c (V_r + I_r \cdot Z_c)/2 \cdot \exp(\gamma x) - (V_r - I_r \cdot Z_c)/2 \cdot \exp(-\gamma x)$$

D'après ces équations, on remarque que la tension et le courant sont fonction de la distance de la ligne.

les quantités Z_c, γ sont complexes

$$Z_c = \sqrt{z/y} = \sqrt{(r + jL\omega)/g + jC\omega}$$

ou g : conductance due à la pollution de l'isolateur

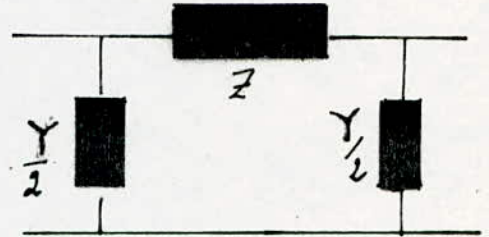
Pour des lignes sans pertes on a : $r=0, g=0$

l'impédance caractéristique se réduit à : $Z_c = \sqrt{L/C}$

Le facteur de correction est :

$$\frac{\sinh \gamma l}{\gamma l}$$

l'impédance de la ligne devient :



$$Z' = \frac{Z \sinh \gamma l}{\gamma l}$$

γ : la constante de propagation

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad , \alpha : \text{cte d'atténuation}, \beta : \text{cte de phase}$$

$$\gamma = \sqrt{Y \cdot Z} \quad , \quad Z = jL\omega, \quad Y = 1/I / jC\omega = -jC\omega$$

$$= \sqrt{jLC\omega^2} = j\sqrt{LC\omega^2} = j\beta$$

Dans notre cas $\alpha = 0$ car on néglige les résistances des lignes et les conductance des isolateurs

$$\sinh(\alpha l + j\beta l) = \sinh \alpha l \cdot \cos \beta l + j \cosh \alpha l \cdot \sin \beta l$$

$$\sinh(j\beta l) = j \sin \beta l$$

$$Z' = \frac{Z \cdot j \sin \beta l}{j \beta l} = \frac{Z \cdot \sin \beta l}{\beta l}$$

$$Z' = \frac{Z \sin \beta l}{\beta l}$$

$$\text{avec } \beta = \sqrt{LC\omega^2}$$

l : longueur de la ligne

D'après le schéma équivalent : $I_s = I'_c + I_c + I_r$

$$I'_c = V_s \cdot Y/2 = Y'/2 (V_r (1 + Z' \cdot Y'/2) + Z' \cdot I_r)$$

$$I_s = Y' (1 + Z' \cdot Y'/4) V_r + (1 + Z' \cdot Y'/2) \cdot I_r$$

finalement on trouve : $V_s = (1 + Z' \cdot Y'/2) \cdot V_r + Z' \cdot I_r$

$$I_s = Y' (1 + Z' \cdot Y'/4) \cdot V_r + (1 + Z' \cdot Y'/2) \cdot I_r$$

Par identification :

$$1 + Y' \cdot Z'/2 = \cosh \gamma l, \quad Z' = Z_c \sinh \gamma l$$

$$Y' (1 + Y' \cdot Z'/4) = \sinh \gamma l / Z_c$$

$$Z' = \sqrt{z/y} \cdot l (\sinh \gamma l / \gamma l) \cdot \sqrt{y} \cdot \sqrt{z}$$

$$Z' = z \cdot l \sinh \gamma l / \gamma l$$

$z \cdot l = Z$: impédance de la ligne non corrigée

Z' : impédance de la ligne corrigée

Correction de l'impédance shunt :

$$1 + Y' \cdot Z'/2 = \cosh \gamma l$$

substituant Z' :

$$1 + (Y'/2) \cdot Z_c \cdot \sinh \gamma l = \cosh \gamma l$$

$$Y'/2 = (1/Z_c) (\cosh \gamma l - 1) / (\sinh \gamma l)$$

comme $\tanh(\gamma l/2) = (\cosh \gamma l - 1) / \sinh \gamma l$

alors $Y'/2 = (1/Z_c) \cdot \tanh(\gamma l/2)$

$$= (Y/2) \cdot \tanh(\gamma l/2) / (\gamma l/2) !$$

La constante de propagation: $\gamma = \alpha + j\beta$

α : constante d'atténuation

β : constante de phase mesurée en radian par unité de longueur

$$V = \frac{(V_r + I_r \cdot Z_c) \cdot \exp(\alpha x) \cdot \exp(j\beta x)}{2} + \frac{(V_r - I_r \cdot Z_c) \cdot \exp(-\alpha x) \cdot \exp(-j\beta x)}{2}$$

Le premier terme représente l'onde incidente de tension

le deuxième " " " réfléchi "

arrangeant les équations:

$$V = V_r (\exp(\gamma x) + \exp(-\gamma x)) / 2 + I_r \cdot Z_c (\exp(\gamma x) - \exp(-\gamma x)) / 2$$

$$V = V_r \cdot \cosh \gamma x + I_r Z_c \sinh \gamma x$$

$$I = \left(\frac{1}{Z_c} \right) \left[V_r (\exp(\gamma x) - \exp(-\gamma x)) / 2 + I_r \cdot Z_c (\exp(\gamma x) + \exp(-\gamma x)) \right]$$

$$I = V_r / Z_c \sinh \gamma x + I_r \cdot \cosh \gamma x$$

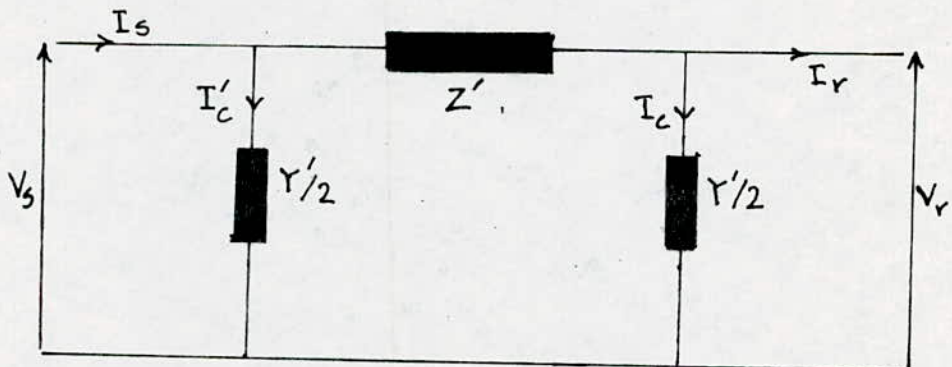
pour $x = l$, $V = V_s$, $I = I_s$

$$V_s = V_r \cosh \gamma l + I_r \cdot Z_c \sinh \gamma l$$

$$I_s = V_r / Z_c \sinh \gamma l + I_r \cdot \cosh \gamma l$$

Le schéma équivalent en π d'une ligne longue ne représente pas exactement

la ligne parcequ'il ne tient pas compte des paramètres des lignes



$$V_s = Z' (I_c + I_r) + V_r, \quad I_c = V_r \cdot Y' / 2$$

d'où
$$V_s = (1 + Z' \cdot Y' / 2) \cdot V_r + Z' \cdot I_r$$


Tableau des impedances des lignes calculees

Ligne	GMR ⁻³ en x10 (m)	GMD (m)	L(H)	⁻⁶ C.I.O.F	Z(Ω)	Z'(Ω)
I-2	53	10,08	0,073	-	23,09	-
I-4	6,8	8,00	0,141	-	41,45	-
2-3	7,4	8,618	0,240	1,38	75,40	75,25
2-4	160	8,19	0,314	-	9,88	-
2-8	7,40	8,04	0,279	1,64	87,84	87,66
3-5	240	4,89	0,055	-	17,13	-
3-9	7,40	8,19	0,140	-	44,05	-
4-12	53	10,08	0,189	1,59	59,38	58,26
5-6	6,80	8,000	0,142	-	44,45	-
5-10	100	8,19	0,087	-	27,61	-
6-7	6,80	8,00	0,071	-	22,23	-
6-13	7,40	8,04	0,349	1,53	109,80	109,58
7-10	8,70	6,00	0,170	-	53,44	-
7-14	7,40	8,19	0,294	1,28	92,46	92,28
8-11	12	8,00	0,052	-	16,29	-
9-10	110	8,19	0,128	-	40,50	-
10-12	8,70	8,04	0,096	-	30,06	-
10-14	73	8,19	0,118	-	37,05	-
11-12	276	3,20	0,074	-	23,08	-
11-15	160	10,08	0,041	-	12,93	-
12-13	18	8,62	0,247	1,35	77,66	77,50
12-16	190	10,08	0,158	2,44	49,88	49,78
13-14	12	8,00	0,090	-	28,51	-

Caracteristiques des transformateurs:

transformateur	S(MVA)	X%(PU)	couplage
1	60	10	Y/ Δ
3	40	11	Δ / Δ
5	30	12	Δ / Δ
7	50	15	Δ / Δ
7'	60	14	Y/ Δ
8	60	10	Y/ Δ
10	60	13	Y/ Δ
10'	65	12	Y/ Δ
11'	60	10	Y/ Δ
13	50	20	Y/ Δ
14	60	18	Y/ Δ
14'	75	18	Y/ Δ

Caractéristique des alternateurs :

Alternateur	S(MVA)	X_d'' %	Couplage	E(KV)
1	60	17		13.8
7	60	17	"	13.8
7	60	17	"	13.8
8	60	18	"	13.8
10	60	15	"	13.8
11	60	17	"	13.8
13	45	16	"	13.8
14	75	15	"	13.8
15-16	15	11	"	13.8
15-16	15	11	"	13.8

PER UNIT SYSTEME

Vu l'interconnexion du reseau électrique , les différents niveaux de tensions et les équipements électriques , le per unit système simplifie considerablement le reseau ainsi que les parametres électriques a savoir la puissance , la tension le courant , l'impedance .

On definie la quantite en(PU) comme étant le rapport de la quantité actuel sur la quantité de base.

Généralement en génie électrique on choisit deux parametres parmi les quatres sus-cité et les deux autres seront deduites des deux premieres.

$$V(PU) = V_{\text{actuel}} / V_{\text{base}}$$

$$I(PU) = I_{\text{actuel}} / I_{\text{base}}$$

$$Z(PU) = Z_{\text{actuel}} / Z_{\text{base}}$$

EN MONOPHASE :

$$S_B = V_B \cdot I_B , \quad Z_B = V_B / I_B$$

D'ou

$$Z(PU) = Z_{\text{ac}} \cdot S_B / V_B^2$$

EN TRIPHASE :

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

V_B : Tension composee

D'ou $I_B = S_B / \sqrt{3} \cdot V_B$

$$V_B = \sqrt{3} \cdot I_B \cdot Z_B$$

$$\begin{aligned} Z_B &= V_B / \sqrt{3} \cdot I_B = V_B / \sqrt{3} \cdot S_B / \sqrt{3} V_B \\ &= V^2 / S_B \end{aligned}$$

$$Z(\text{PU}) = (S_B \cdot Z_{ac}) / V_B^2$$

CHANGEMENT DE BASE :

Lors d'un changement de base, les grandeurs en (PU) des impedances, lignes, transformateurs et alternateurs changent de base suivant la formule:

$$Z(\text{PU})_I = Z \cdot S_{b_I} / V_{b_I} \quad ; \quad Z(\text{PU})_2 = Z \cdot S_{b_I} / V_{b_I}$$

indice 1: ancienne base

indice 2: nouvelle base

En faisant le rapport on trouve:

$$Z(\text{pu})_2 = Z(\text{pu}) (S_{b_2} / S_{b_I}) (V_{b_I} / V_{b_2})^2$$

L'expression de la puissance de court circuit en (MVA)

$$S_{cc}(\text{MVA}) = \sqrt{3} V_b \cdot I_{cc}(\text{reel})$$

comme $I_{cc}(\text{reel}) = I_{cc}(\text{pu}) \cdot I_b$

d'ou : $S_{cc}(\text{MVA}) = \sqrt{3} \cdot V_b \cdot I_{cc}(\text{pu}) \cdot I_b$

$$S_{cc}(\text{MVA}) = I_{cc}(\text{pu}) \cdot S_b$$

Introduction :

le phénomène transitoire est une fonction aperiodique du temps qui ne dure pas longtemps. Dans les réseaux électriques on considère que les impedances des éléments résistance, inductance, capacitance sont lineaires. Au court du régime transitoire, le réseau aura une nouvelle distribution du courant et de tension.

La redistribution d'énergie s'accompagne généralement avec une période de transition, laquelle le courant et la tension auront momentanément des valeurs élevées, il est très important de signaler que la redistribution du courant et de la tension ne peuvent se stabiliser instantanément pour des raisons suivantes.

- L'énergie électromagnétique emmagasinée dans l'inductance (L) est $(1/2).Li^2$ avec i: valeur instantanée du courant

nous assumons que l'inductance est constante, la variation de l'énergie magnétique qui est due à la variation du courant, lequel dans la bobine sera opposé par la f.e.m : Ldi/dt

Si nous considérons que la variation est instantanée c'est à dire à $t=0$ nous aurons $Ldi/0 = \infty$ qui est impossible en pratique .

- L'énergie électrostatique emmagasinée dans la capacité (C) est $(1/2).Cv^2$ avec v: valeur instantanée de tension

on suppose que la capacité est constante , la variation instantanée de l'énergie à $t=0$ donne $dv/0 = I/C = \infty$, le courant ne peut avoir lieu

en pratique .

-La résistance consomme de l' énergie en importe quel point , en appliquant le principe de conservation de l' énergie on trouve que l' énergie fournie est égale à l' énergie accumulée par la résistance plus l' énergie consommée

de ces trois raisons on peut conclure :

-Le courant ne peut pas varier instantanément à travers une bobine.

-La tension appliquée à une capacité ne varie pas instantanément.

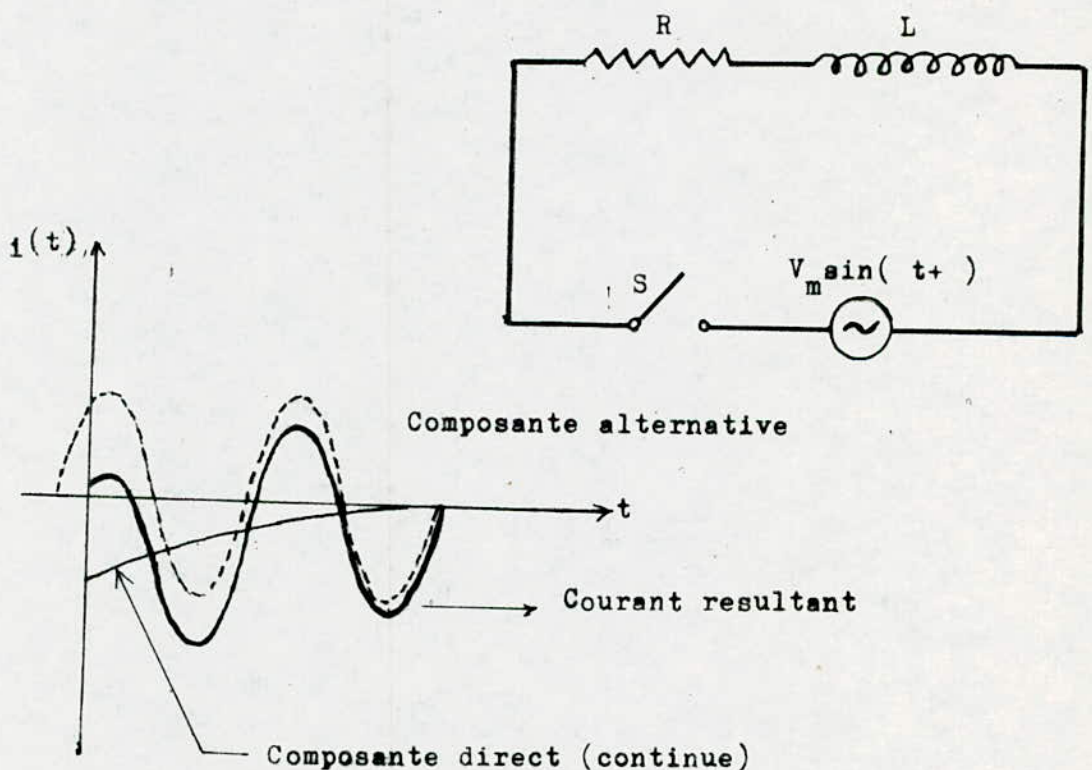
-La loi de conservation d' énergie est vérifiée.

Une source de tension alternative appliquée à un circuit (R,L)

Le courant en fonction du temps dans un circuit alternatif est donné par :

$$i(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2}} \cdot (\sin(\omega t + \phi) - \sin(\phi)) \cdot e^{-(R/L) \cdot t}$$

avec $\phi = \tan^{-1} L/R$



Variation du courant alternatif

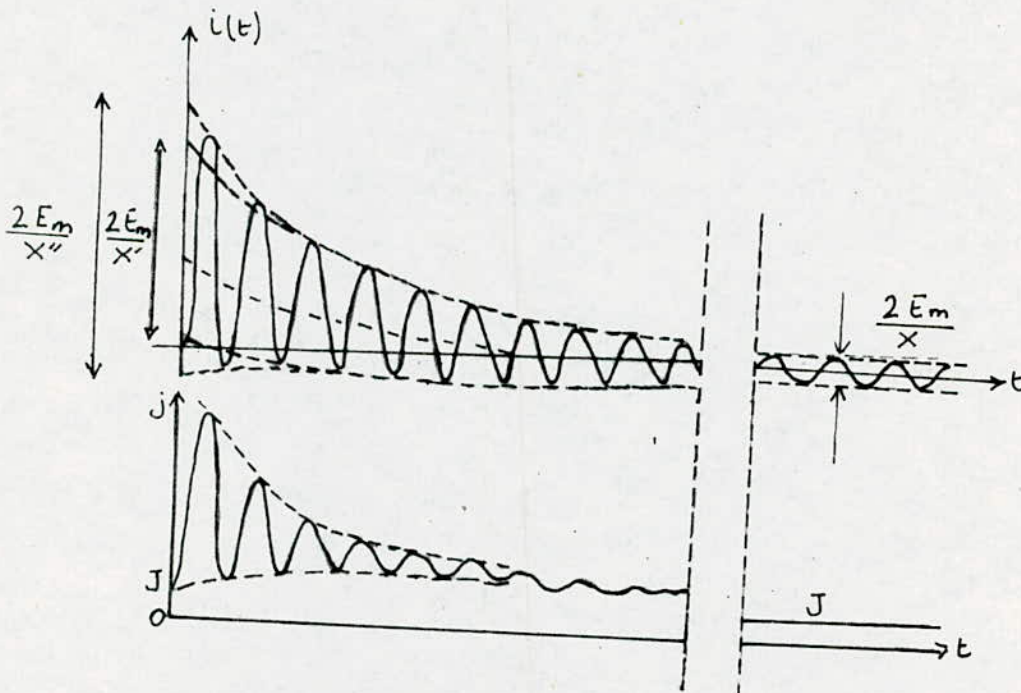
le premier terme dans l'expression $i(t)$ représente la variation sinusoidale en régime permanent, le second terme est la partie transitoire qui varie théoriquement après un temps infini mais en pratique il varie très rapidement puis il s'annule au bout de 2 ou 3 cycles

Court circuit triphasé d'un alternateur:

L'étude du court circuit triphasé

d'un alternateur est similaire à celle déjà étudiée pour une source alternative, sauf que la tension dans les alternateurs varie.

Quand un court circuit apparaît aux bornes d'un alternateur, le courant statorique croît rapidement pour atteindre une valeur élevée. La résistance du circuit est négligeable devant la réactance, alors le courant va être très déphasé par rapport à la tension (circuit inductif).

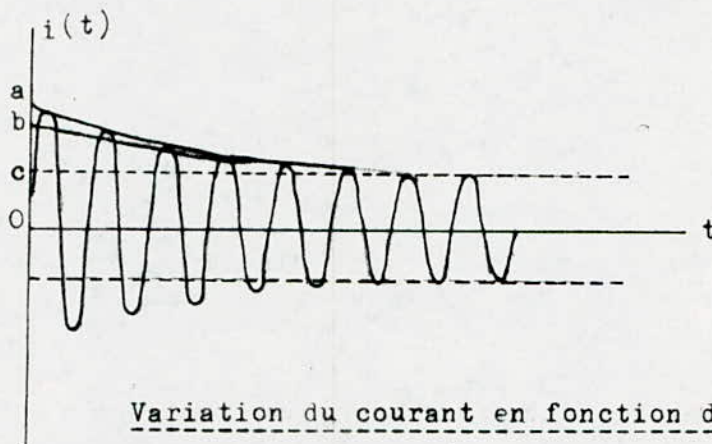


Variation du courant en fonction du temps

en tenant compte de la composante directe (continue)

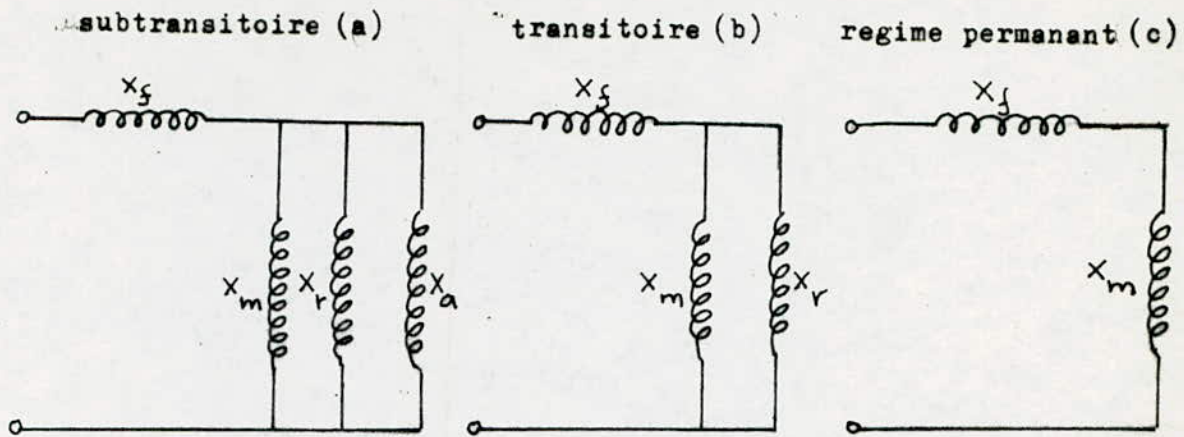
Le rotor tourne à la vitesse nulle par rapport au champ dû à la composante alternative et à la vitesse du synchronisme par rapport au champ dû à la composante directe .

L'enroulement rotorique et l'enroulement de l'amortisseur peuvent être considérés comme le secondaire d'un transformateur lequel son primaire est l'enroulement statorique . Il est à noter que le fonctionnement de transformateur est causé par la composante directe , par contre la composante alternative démagnétise le flux dans l'entrefer , cette réduction du flux ne peut pas être instantanée au moment du court circuit vu la grande quantité d'énergie emmagasinée dans l'inductance du système , elle dépend seulement de la constante de temps.



Variation du courant en fonction du temps
en tenant pas compte de la composante directe

L'augmentation soudaine de la F.m.m démagnétisante du courant statorique et l'excitation va engendrer des courants induits dans les amortisseurs et dans les parties métalliques qui, à leurs tours vont s'opposer à l'augmentation du courant qui l'aura donné naissance, à l'instant du court circuit le couplage mutuel entre l'enroulement statorique , rotorique et l'enroulement amortisseur est schématisé par le circuit équivalent ramené au stator comme l'indique la figure :



- X_f : reactance de fuite
 X_m : " magnetique d'induit
 X_r : " due au champs rotorique
 X_a : " des amortisseurs

Cependant la resistance equivalente de l'amortisseur est negligible devant celle de l'enroulement rotorique, la constante de temps de l'enroulement amortisseur est plus faible que celle du rotor. L'effet d'amortisseur et les courants dans les parties metalliques disparaissent apres les premiers quelques cycles ainsi le schema se reduit a la fig(b) Apres plusieurs cycles qui vont dependre seulement de la constante de temps du champs de l'enroulement du systeme, l'effet de la composante alternative s'attenuent pour prendre place en regime permanent. La reactance subtransitoire reactance transitoire reactance synchrone.

Notre choix doit etre baser sur la reactance qui limite le plus grand courant qui passe pendant le court circuit a savoir (X_d'') ainsi le disjoncteur sera dimensionne a partir du courant de court circuit subtransitoire (I''_{cc}) .

MODELISATIONS

Modele d'un alternateur:

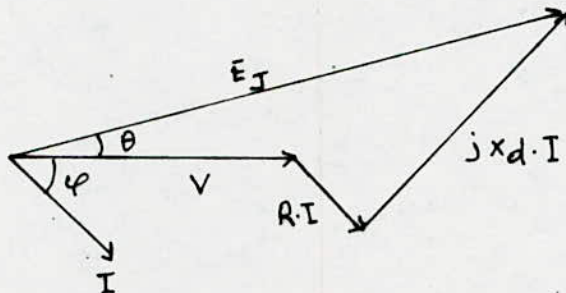
diagramme a reactance synchrone

si on neglige la saturation , les f.e.m

seront proportionnelles aux flux et aux F.m.m .

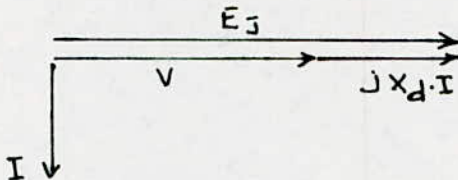
la f.e.m resultante a travers une phase du stator est egale:

$$E_J = V + RI + jX_d \cdot I$$

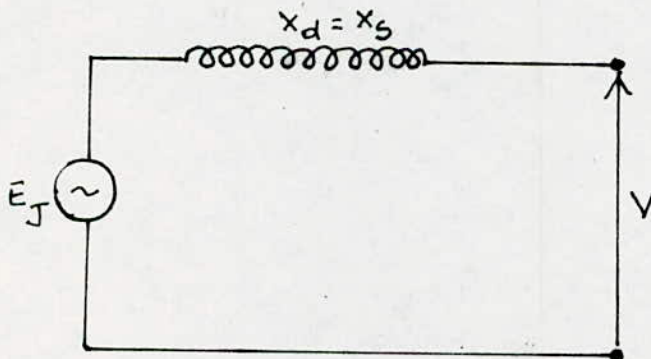


Dans le calcul des court circuits on neglige la resistance du stator devant la reactance synchrone.

le diagramme vectoriel devient :



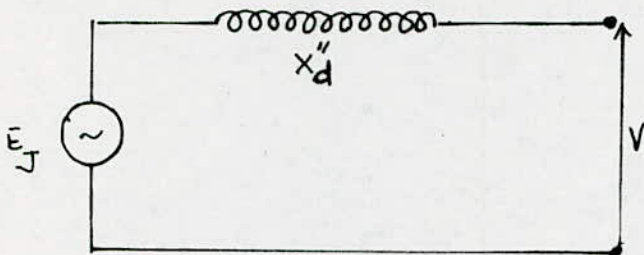
le modele de l'alternateur en regime permanent :



X_d : la reactance synchrone

Tout au debut du court circuit la reactance qui limite la composante alternative du courant statosique est la reactance subtransitoire .

le modele de l'alternateur au moment du court circuit est :



X''_d : la reactance subtransitoire

E_J : la f.e.m de l'alternateur au moment du C-C

Les reactances subtransitoires ramenees a $S_b = 100$ MVA :

$$X''_{d1}(PU) = X''_{d1} \cdot S_{b1} / V_{b1}^2$$

$$X''_{d2}(PU) = X''_{d1} \cdot S_{b2} / V_{b2}^2$$

$$X''_{d2}(PU) = (S_{b2} / S_{b1}) \cdot (V_{b1}^2 / V_{b2}^2) \cdot X''_{d1}(PU)$$

puisque $V_{b1} = V_{b2} = E$ (f.e.m de l'alternateur)

alors :

$$X''_{d2}(PU) = (S_{b2} / S_{b1}) \cdot X''_{d1}(PU)$$

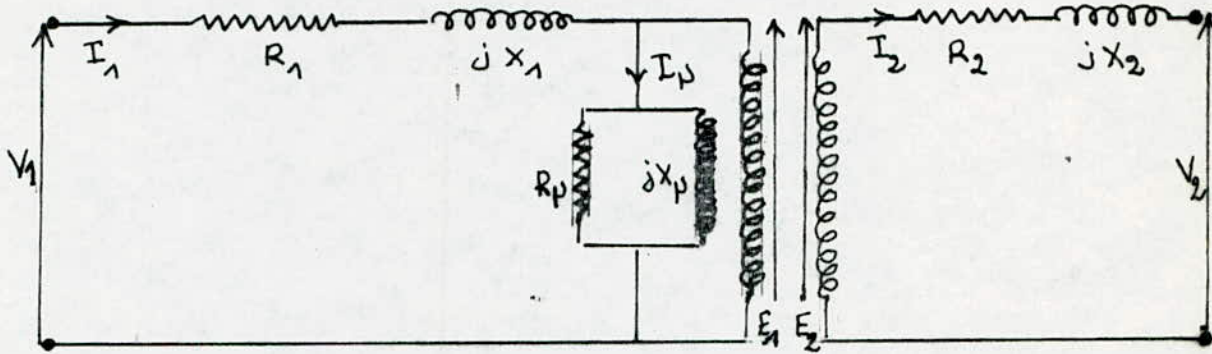
Tableau des resultats:

$X''_{d1}(PU)$	$X''_{d7}(PU)$	$X''_{d8}(PU)$	$X''_{d13}(PU)$	$X''_{d14}(PU)$	$X''_{d10}(PU)$	$X''_{d15}(PU)$	$X''_{d11}(PU)$
0,283	0,283	0,300	0,355	0,200	0,250	0,733	0,173

MODELISATION DES TRANSFORMATEURS:

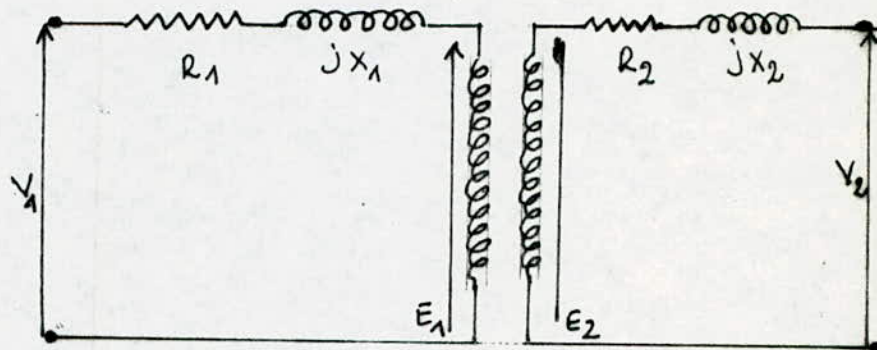
Le schéma équivalent d'un transformateur

triphase est donné par le schéma suivant :



Dans les réseaux électriques, on néglige toujours le courant magnétisant devant le courant primaire.

le schéma devient :



Nous avons:

$$E_1 \cdot N_2 = E_2 \cdot N_1 \quad (\text{transformateur idéal})$$

d'après KAPP:

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$$

$$I_2 / I_1 = N_1 / N_2$$

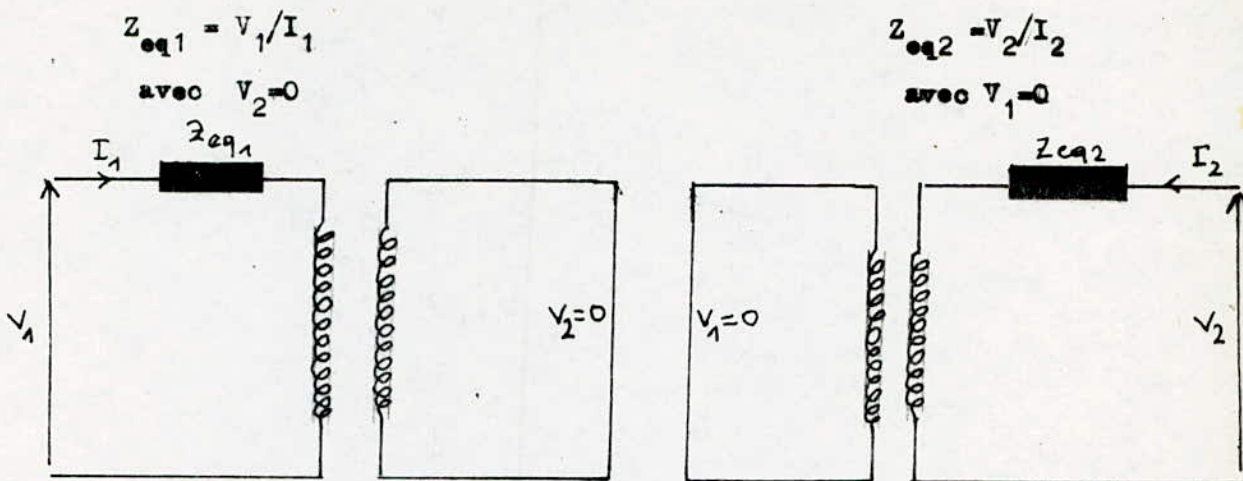
approximativement dans les transformateurs on a :

$$V_1 \approx E_1, \quad V_2 \approx E_2$$

$$E_1 / E_2 = N_1 / N_2 = V_1 / V_2 = n \quad (n: \text{rapport de transformation})$$

soit : Z_{eq1} l'impédance équivalente ramenée au primaire avec le secondaire court circuité.

Z_{eq2} l'impédance " " " " secondaire avec le primaire court circuité .



d'où $Z_{eq1} / Z_{eq2} = (V_1 / V_2) \cdot (I_2 / I_1) = n^2$

$$Z_{eq1} = n^2 \cdot Z_{eq2}$$

Nous avons :

$$Z_{eq1}(PU) = Z_{eq1} / Z_{b1}$$

et $Z_{b1} = V_{b1}^2 / S_b$

$$Z_{eq1}(PU) = Z_{eq1} \cdot S_b / V_b^2$$

$$Z_{eq2}(PU) = Z_{eq2} \cdot S_b / V_b^2$$

$$Z_{eq1}(PU) = n^2 \cdot Z_{eq2} \cdot S_b / (nV_{b2})^2$$

$$= Z_{eq2} \cdot S_b / V_b^2$$

$$Z_{eq1}(PU) = Z_{eq2}(PU)$$

$$I_1(\text{PU}) = I_1 / I_{b1} \quad (1)$$

$$I_2(\text{PU}) = I_2 / I_{b2} \quad (2)$$

$$I_{b1} = S_b / \sqrt{3} V_{b1} \quad (3) ;$$

$$I_{b2} = S_b / \sqrt{3} V_{b2} \quad (4)$$

remplaçons les équations (3), (4) dans (1), (2) on trouve :

$$I_1(\text{PU}) = I_1 \cdot \sqrt{3} V_{b1} / S_b$$

$$I_2(\text{PU}) = I_2 \cdot \sqrt{3} V_{b2} / S_b$$

comme $I_1 = I_2 / n$ et $V_{b1} = n V_{b2}$ on aura :

$$I_1(\text{PU}) = (I_2 / n) \cdot (n \cdot \sqrt{3} V_{b2}) / S_b = I_2 \cdot \sqrt{3} V_{b2} / S_b$$

d'où :

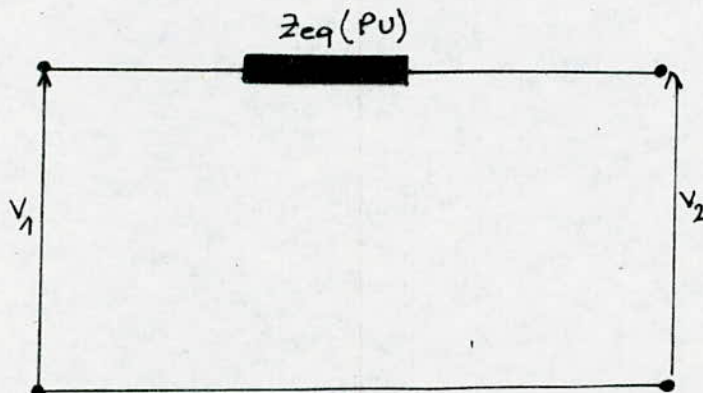
$$I_1(\text{PU}) = I_2(\text{pu})$$

le schéma équivalent du transformateur triphasé se réduit à une seule reactance en négligeant la résistance.

puisque :

$$Z_{eq1}(\text{PU}) = Z_{eq2}(\text{PU}) \quad \text{et} \quad I_1(\text{PU}) = I_2(\text{PU})$$

$$\text{alors} \quad V_1(\text{PU}) = V_2(\text{PU}) + Z_{eq}(\text{PU}) \cdot I(\text{PU})$$



Calcul des impédances des transformateurs ramenees a (100MVA)

$$Z_{t2}(\text{pu}) = (S_{b1}/S_{b2}) \cdot (V_{b1}/V_{b2})^2 \cdot Z_{t1}$$

comme $V_{b1} = V_{b2}$; $Z_{t2}(\text{pu}) = (S_{b2}/S_{b1}) \cdot Z_{t1}$

Z_{t1}' : transformateur relie a l'alternateur

Z_{t1} : " " au jeu de barre

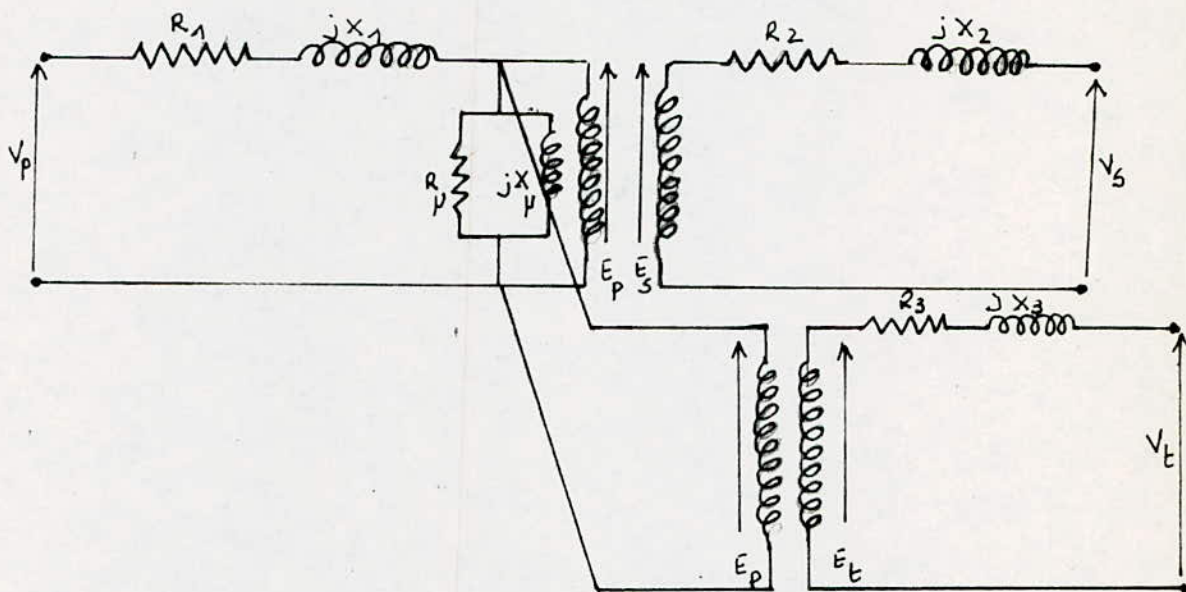
Tableau des resultats

Transformateur	Valeurs en (pu)
Z_{t1}'	0.166
Z_{t3}'	0.275
Z_{t5}	0.400
Z_{t7}	0.300
Z_{t7}'	0.253
Z_{t8}'	0.300
Z_{t10}	0.216
Z_{t10}'	0.184
Z_{t11}'	0.166
Z_{t13}'	0.400
Z_{t14}	0.300
Z_{t14}'	0.240
Z_{t15}	0.283

Transformateur à trois enroulements :

le transformateur à trois enroulements est conçu de telle manière à ce que l'enroulement secondaire soit négligeable devant l'enroulement primaire et tertiaire.

il permet d'avoir deux niveaux de tensions à partir d'un seul niveau de tension, les impédances des enroulements sont données généralement en pour cent ou bien en (pu) valeur relative.



Le calcul des impédances des enroulements est basé sur des tests de court circuit.

Z_{ps} : l'impédance mesurée au primaire avec le secondaire court circuité et le tertiaire ouvert

Z_{pt} : l'impédance mesurée au primaire avec le tertiaire court circuité et le secondaire ouvert

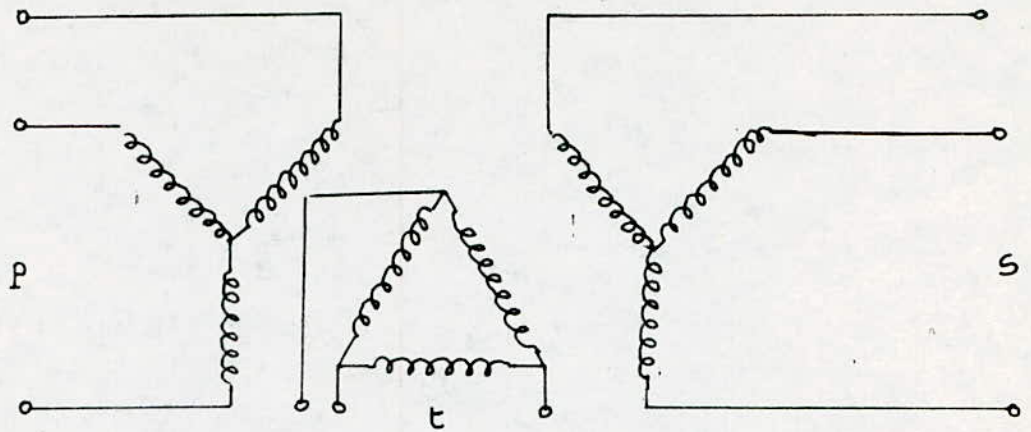
Z_{st} : l'impédance mesurée au secondaire avec le tertiaire court circuité et primaire ouvert

d'où $Z_{ps} = Z_p + Z_s$

$$Z_{pt} = Z_p + Z_t$$

$$Z_{st} = Z_s + Z_t$$

Z_p, Z_s, Z_t sont respectivement impédance primaire, secondaire, tertiaire



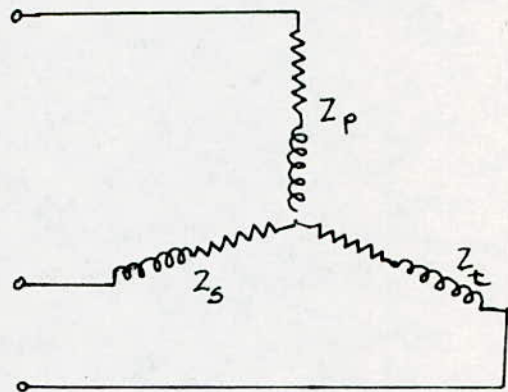
en résolvant le système d'équation on obtient :

$$Z_p = (1/2) \cdot (Z_{ps} + Z_{pt} - Z_{st})$$

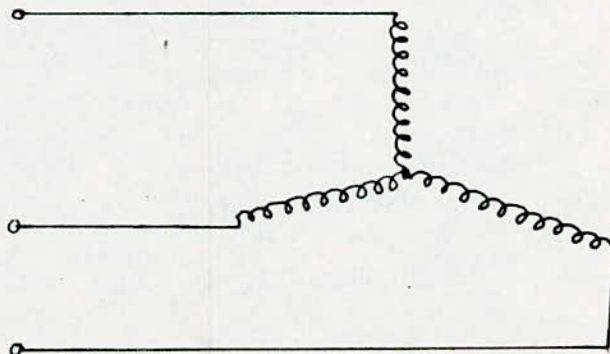
$$Z_s = (1/2) \cdot (Z_{ps} + Z_{st} - Z_{pt})$$

$$Z_t = (1/2) \cdot (Z_{pt} + Z_{st} - Z_{ps})$$

Le schéma devient:



on néglige les résistances (généralement inférieure à 0.01pu) des transformateurs devant les reactances et comme le système est équilibré l'étude se fait sur une seule phase qui sera représentée par une reactance



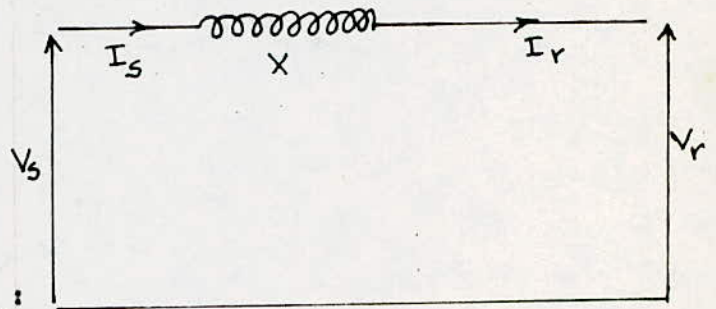
Modelisation des lignes :

Dans les reseaux electriques nous distinguons trois types de lignes.

- ligne courte (1 80km)
- ligne moyenne (80 km 1 160 km)
- ligne longue (1 160 km)

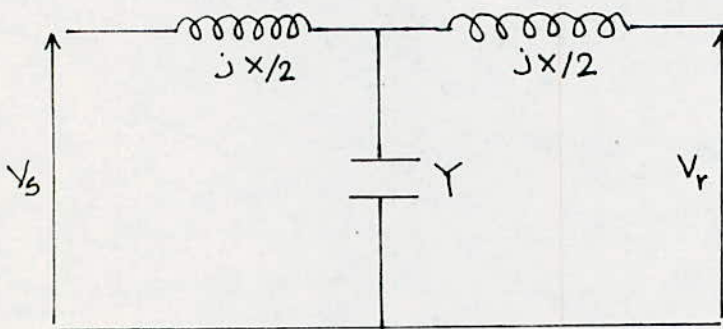
Modele d'une ligne courte :

en general la capacitance est negligee devant la resistance et la reactance , le schem equivalent devient :

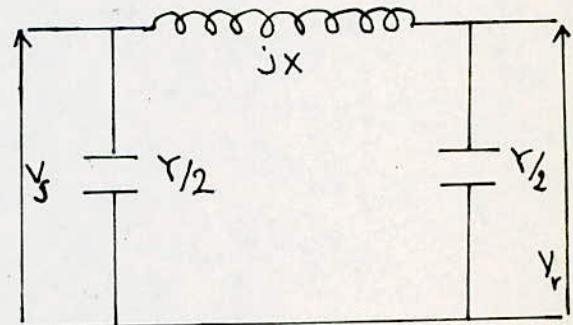


Modele d'une ligne moyenne :

la ligne moyenne peut etre representee par deux facons, schema en T ou bien en π



schema en T

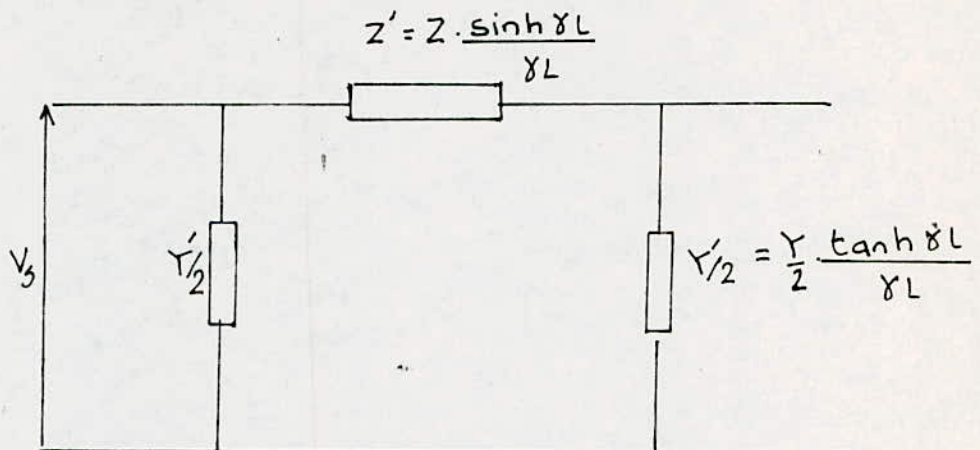


schema en π

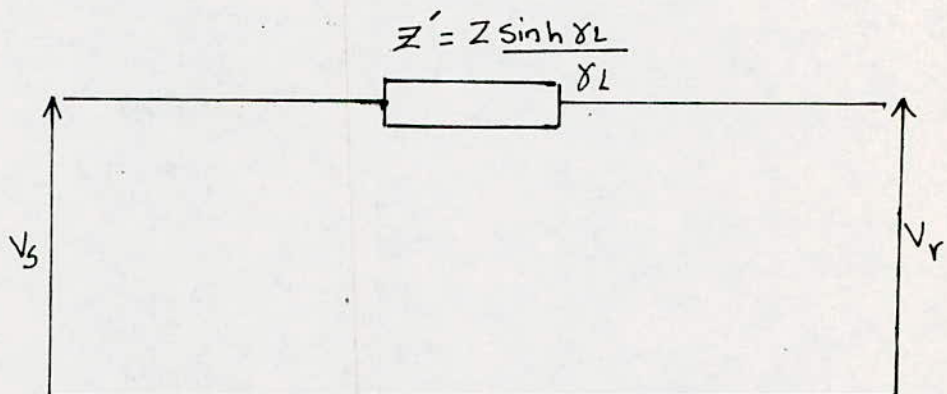
dans notre cas on travaille avec le schema en π qui a l'avantage d'eliminer un noeud en plus

Le modèle d'une ligne longue est donné par le schéma suivant:

schéma en ()



En court circuit le schéma équivalent de la ligne longue, le schéma devient :



Dans le calcul du court circuit les résistances et les capacités sont négligées devant les inductances des lignes.

Le schéma équivalent d'une ligne quelconque sera représenté seulement par sa réactance.

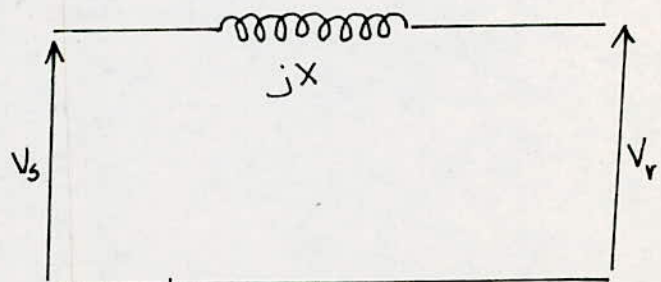


Tableau des reactances des lignes en (pu) :

$$X(\text{PU}) = X \cdot S_b / V_b^2$$

Ligne	1-2	1-4	2-3	2-4	2-8	3-5	3-9
X(PU)	0,0144	0,0276	0,0474	0,0061	0,0552	0,0356	0,0275

Ligne	4-12	5-6	5-10	6-7	6-13	7-10	7-14
X(PU)	0,0355	0,0284	0,0564	0,0138	0,0694	0,1103	0,1792

Ligne	8-11	9-10	10-12	10-14	11-12	11-15	12-13
X(PU)	0,0100	0,0836	0,0187	0,0765	0,0240	0,008	0,050

Ligne	12-16	13-14	
X(PU)	0,0313	0,0178	

ETUDE DU COURT CIRCUIT TRIPHASÉ EQUILIBRÉ PAR

LA METHODE DU SCHEMA EQUIVALENT

"RAKE EQUIVALENT"

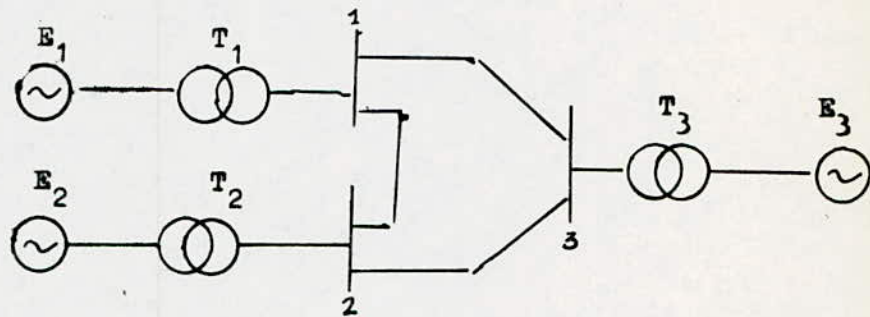
Introduction:

Le problème du calcul de court circuit dans les réseaux électriques a été considérablement simplifié par des méthodes de calcul parmi ces méthodes, la méthode de la matrice impédance court circuitée.

Matrice impédance court circuitée

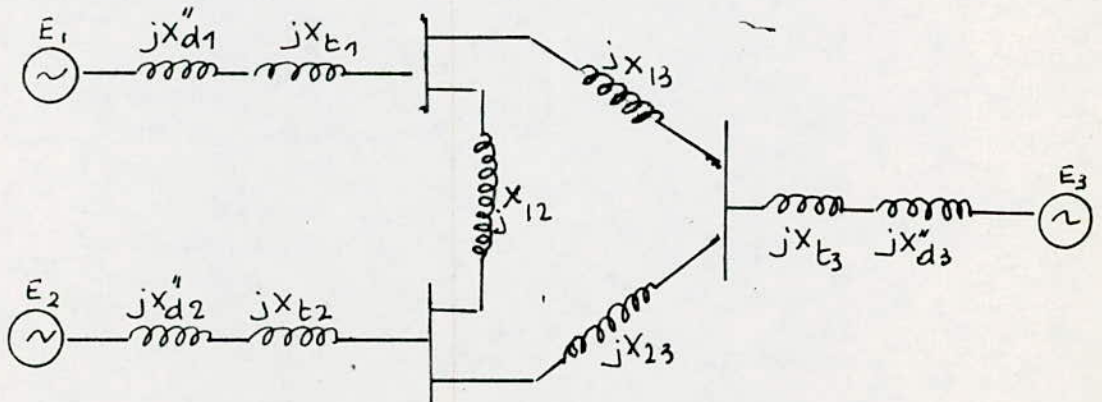
méthode de résolution:

soit le schéma du réseau électrique à trois jeux de barres d'un système triphasé équilibré.

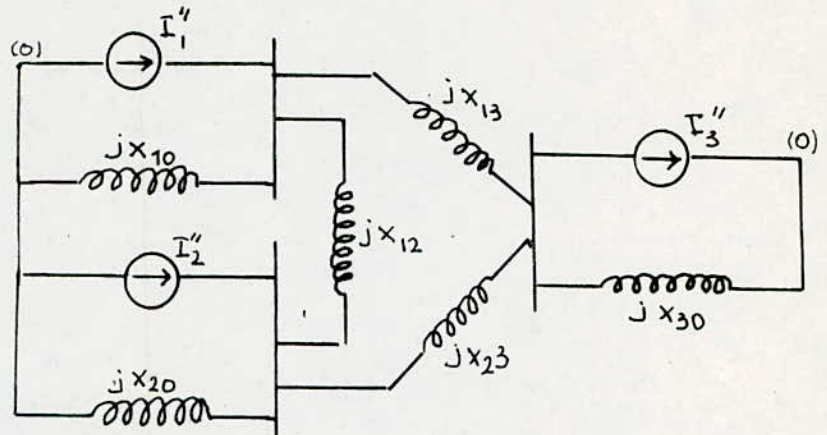


on néglige les résistances, les charges au moment de court circuit les générateurs seront représentés par leurs reactances subtransitoires et les transformateurs, les lignes par leurs propres reactances.

Le schéma devient :



Appliquons le théorème de NORTHON pour ce circuit, les générateurs de courant seront montés en parallèle avec leurs propres reactances comme l'indique le schéma suivant :



$$\text{avec } X_{10} = j(X_{d1}'' + X_{t1})$$

$$X_{20} = j(X_{d2}'' + X_{t2})$$

$$X_{30} = j(X_{d3}'' + X_{t3})$$

d'après la loi des courants (Kirchoff) on a :

$$I_1 = V_1 \cdot y_{10} + (V_1 - V_2) y_{12} + (V_1 - V_3) y_{13}$$

$$I_2 = V_2 \cdot y_{20} + (V_2 - V_1) y_{21} + (V_2 - V_3) y_{23} \quad y_{ij} = 1/X_{ij} \quad ; \quad y_{ij} = -y_{ji}$$

$$I_3 = V_3 \cdot y_{30} + (V_3 - V_1) y_{31} + (V_3 - V_2) y_{32}$$

$$I_1 = (y_{10} + y_{12} + y_{13}) \cdot V_1 - y_{12} \cdot V_2 - y_{13} \cdot V_3$$

$$I_2 = -y_{21} \cdot V_1 + (y_{20} + y_{21} + y_{23}) \cdot V_2 - y_{23} \cdot V_3$$

$$I_3 = -y_{31} \cdot V_1 - y_{32} \cdot V_2 + (y_{30} + y_{31} + y_{32}) \cdot V_3$$

$$\text{On pose : } Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{21} + y_{23}$$

$$Y_{33} = y_{30} + y_{31} + y_{32}$$

les équations deviennent :

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 + Y_{13} \cdot V_3$$

$$I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 + Y_{23} \cdot V_3$$

$$I_3 = Y_{31} \cdot V_1 + Y_{32} \cdot V_2 + Y_{33} \cdot V_3$$

récrivons le système d'équations sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

Y_{ii} : représente self admittance

Y_{ij} : " mutuelle admittance

en généralisant le système pour (k) noeuds et (N) jeux de barres on trouve :

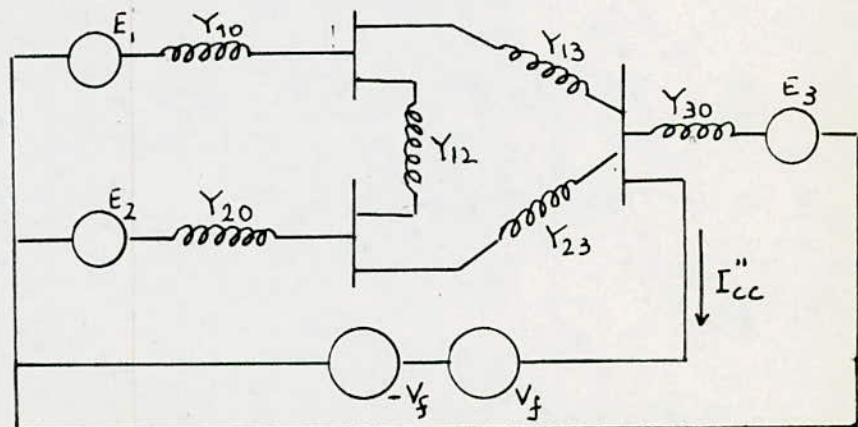
$$I_k = Y_{kn} \cdot V_n$$

Formation de la matrice impédance court circuitée:

Principe de superposition:

on procède avec le même circuit déjà traité pour une seule phase. Supposons qu'un court circuit à eu lieu au jeu de barre N° 3

le schéma du réseau est simulé par le circuit ci-dessous :



Les sources de tensions (V_f), ($-V_f$) représentent le court circuit

Premier cas : on court circuite les f.e.m et la tension (V_f) , les tensions et le courant dans le réseau seront dus seulement à ($-V_f$).

Le courant de court circuit dans le jeu de barre N°3 est donné par ($-I''_{cc}$)

la matrice devient :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -I''_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ -V_f \end{bmatrix}$$

V_1 : la variation de tension due seulement à ($-V_f$) au moment du court circuit

On inverse la matrice admittance nous obtenons :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ -V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -I''_{cc} \end{bmatrix}$$

d'ou

$$I''_{cc} = V_f / Z_{33}$$

$$V_1 = -I''_{cc} \cdot Z_{13} = -Z_{13} \cdot (V_f / Z_{33})$$

$$V_2 = -Z_{23} \cdot (V_f / Z_{33})$$

Deuxieme cas : les f.e.m et la tension (V_f) existent déjà dans le réseau et qui sont au même potentiel puis on court circuite ($-V_f$). Par la méthode de superposition on obtient :

$$V_1 = V_f + V_1 = V_f - I''_{cc} \cdot Z_{13}$$

$$V_2 = V_f + V_2 = V_f - I''_{cc} \cdot Z_{23}$$

$$V_3 = V_f - V_f = 0$$

avec (V_1, V_2, V_3) les tensions au moment du court circuit en régime subtransitoire.

Généralisant le système pour k jeu de barre , on trouve :

$$I_{cc} = V_f / Z_{kk} \quad (1)$$

$$V_n = V_f - (Z_{nk} / Z_{kk}) \cdot V_f \quad (2)$$

Usuellement on assume V_f à 1pu avec l'angle de charge = 0

la formule devient :

$$V_n = 1 - Z_{nk} / Z_{kk} \quad (3)$$

Calcul des courants de lignes : les courants de lignes sont donnés par les formules suivantes

$$I_{12} = (V_1 - V_2) \cdot Y_{12}$$

$$I_{13} = (V_1 - 0) \cdot Y_{13}$$

$$I_{23} = (V_2 - 0) \cdot Y_{23}$$

Les courants allant des générateurs vers les jeux de barres sont :

$$I_{g1} = (E_1 - V_1) \cdot Y_{10}$$

$$I_{g2} = (E_2 - V_2) \cdot Y_{20}$$

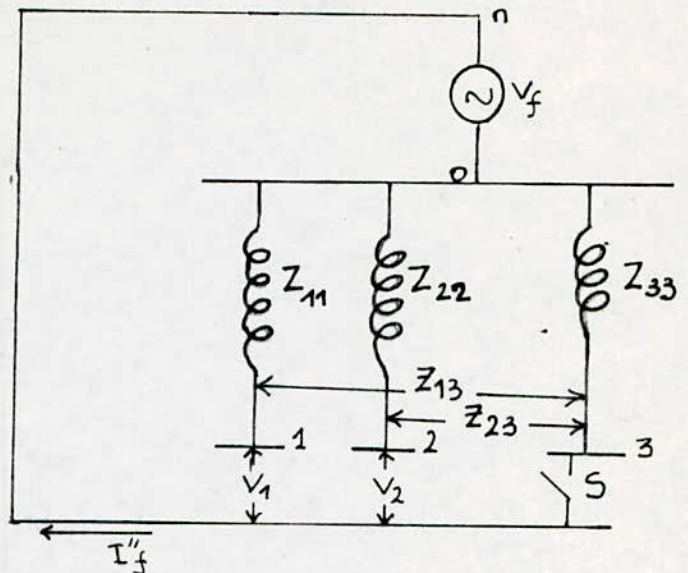
$$I_{g3} = (E_3 - 0) \cdot Y_{30}$$

D'après l'équation (1) la diagonale de la matrice impédance représente les impédances de thévenin dans les différents jeux de barres .

Schéma équivalent de la matrice impédance:

La méthode du schéma équivalent de la matrice impédance consiste à réaliser un circuit simplifié d'un réseau électrique qui sera représenté par un générateur et des impédances de thévenin reliées entre eux par des impédances de transferts

Comme l'indique la figure



Si l'interrupteur (S) est ouvert, aucun courant ne passera dans le circuit.

Si l'interrupteur (S) est fermé, le courant passera par le jeu de barre N°3 qui va engendrer des tensions au niveau des branches reliées respectivement aux nœuds (1), (2).

De la même manière on peut simuler le court circuit en n'importe quel jeu de barre.

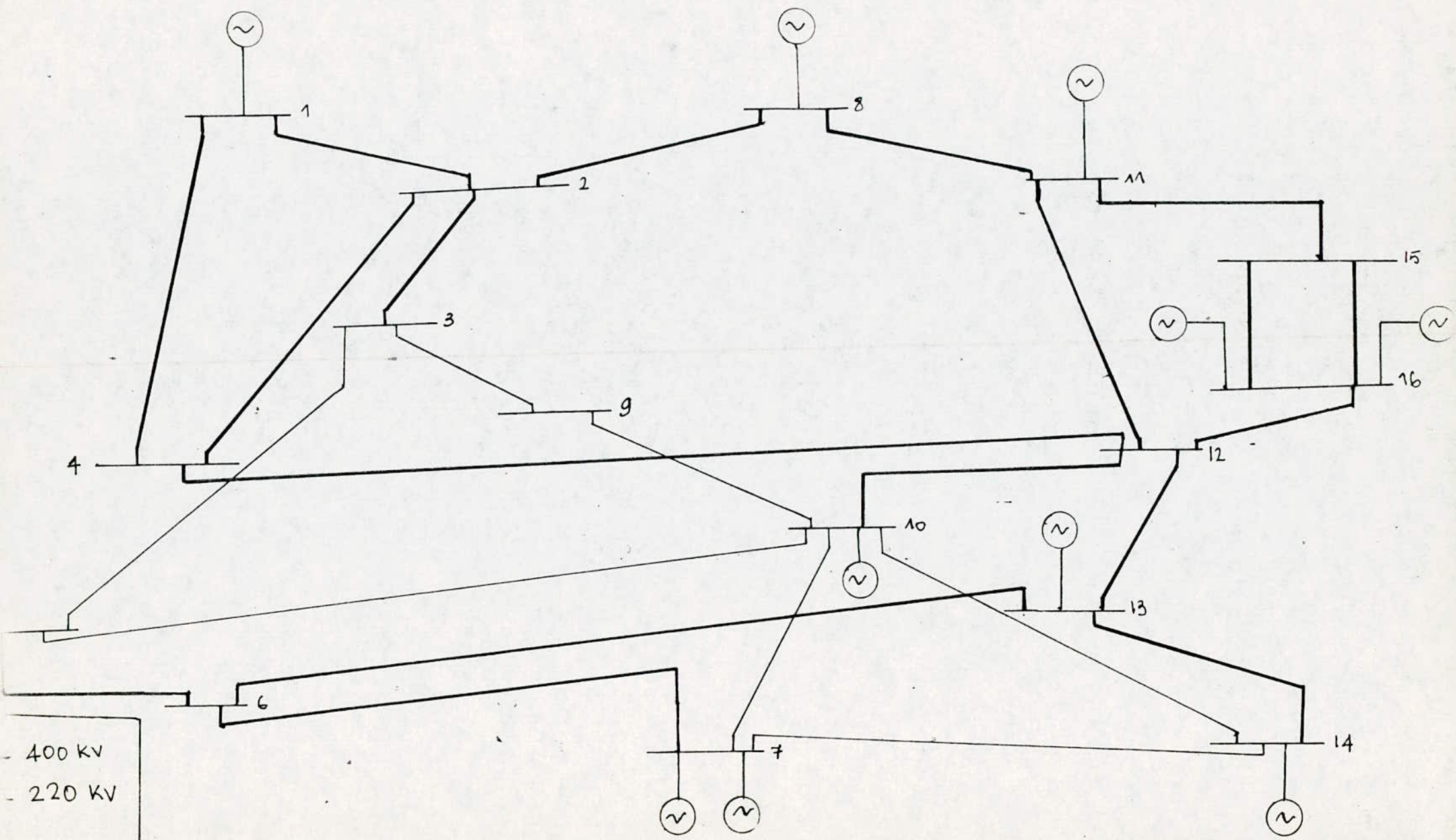
Calcul de puissance de court circuit :

la puissance de court circuit est donnée par la formule suivante :

$$S(\text{MVA}) = \sqrt{3} V_n (\text{KV}) \cdot I_{\text{CC}} (\text{A}) \cdot 10^{-3}$$

Dans notre étude, le réseau présenté par l'E.D.F comporte (16) jeux de barre, (10) centrales électriques et transformateurs

Vu le nombre de jeux barres utilisés un calcul numérique a été nécessaire.



- 400 kV
- 220 kV

Selection des disjoncteurs

Le choix des disjoncteurs est base essentiellement sur trois parametre a savoir :

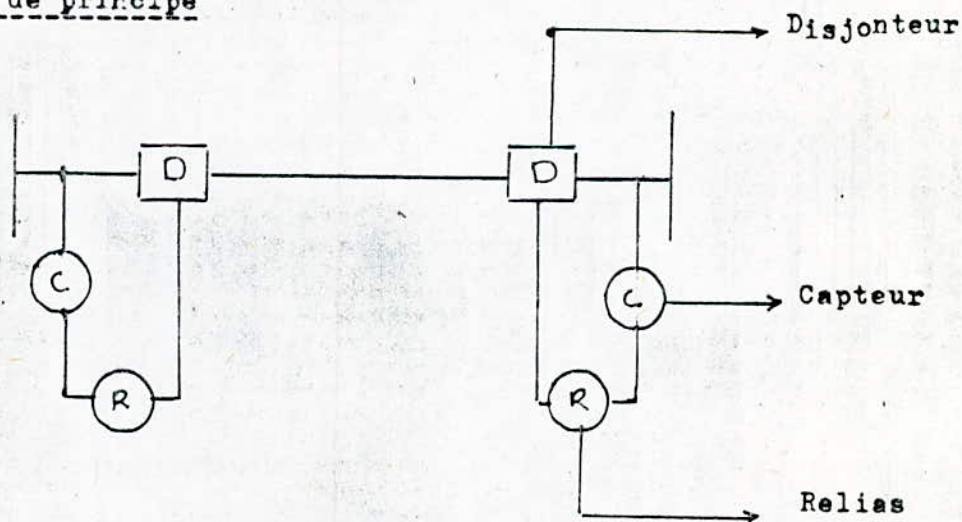
- le courant de court circuit
- le temps de reponse du disjoncteur
- la tension nominale

Generalement les disjoncteurs repondent a 8, 3 et 2 cycles, du fait qu'on a pas tenu compte de la composante directe(continue) du courant de court circuit , il a ete necessaire d'introduire des facteurs correctifs qui sont respectivement 1 , 1.2 et 1.4 .

Calibrage des relais

Les relais sont calibres a partir des courants minimums de court circuit , ces courants vont etre detecter par des capteurs .

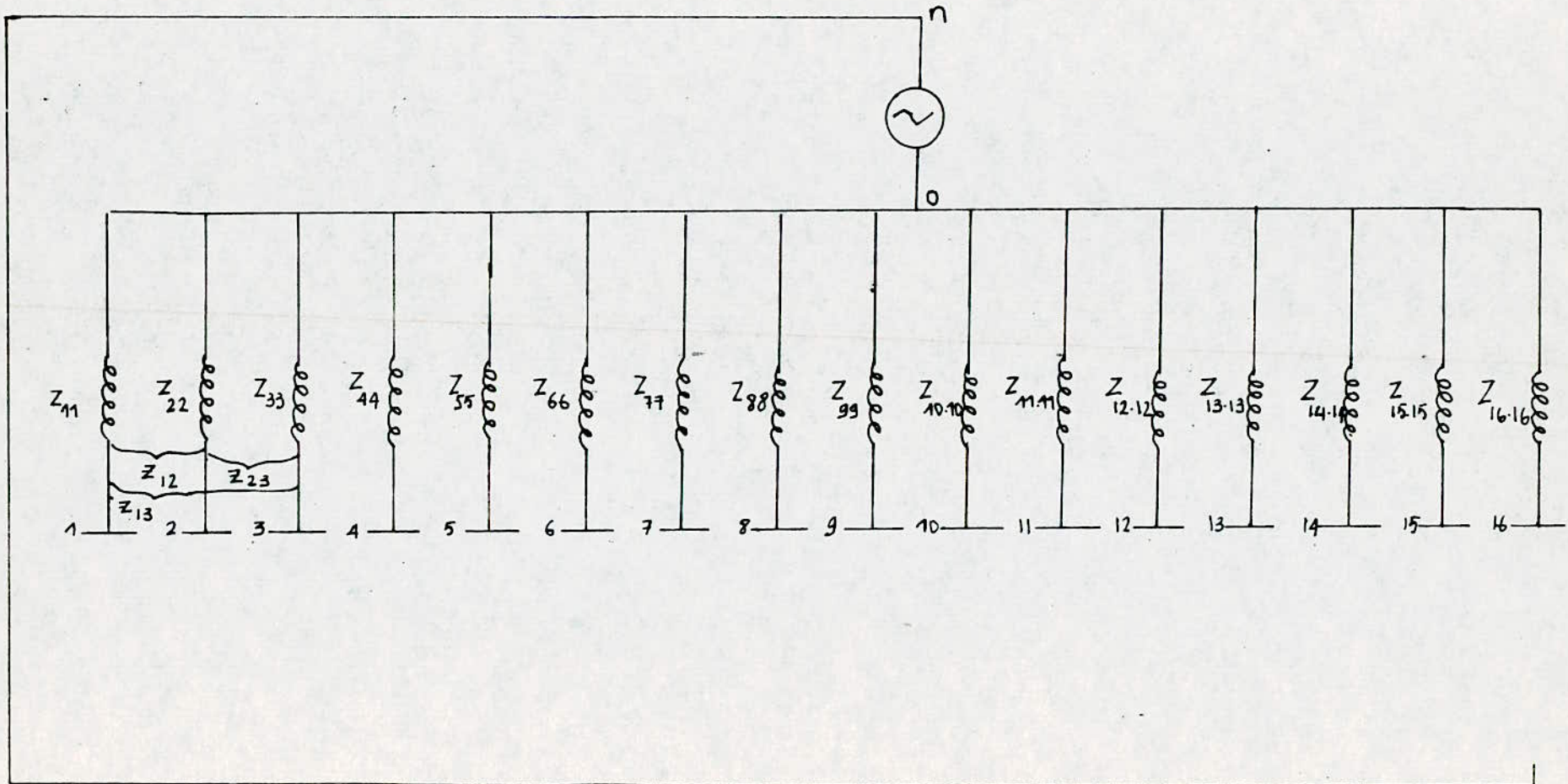
Schema de principe

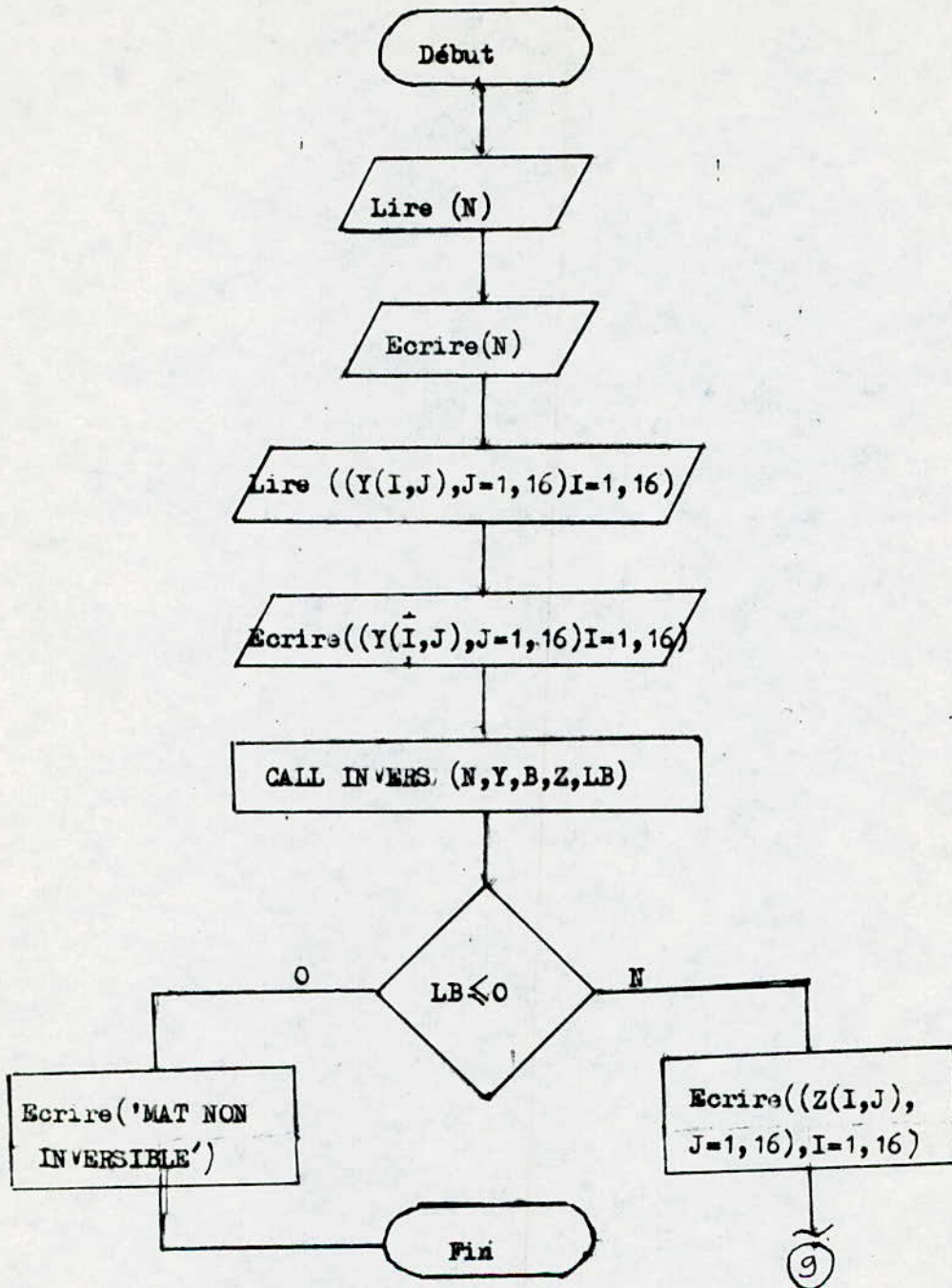


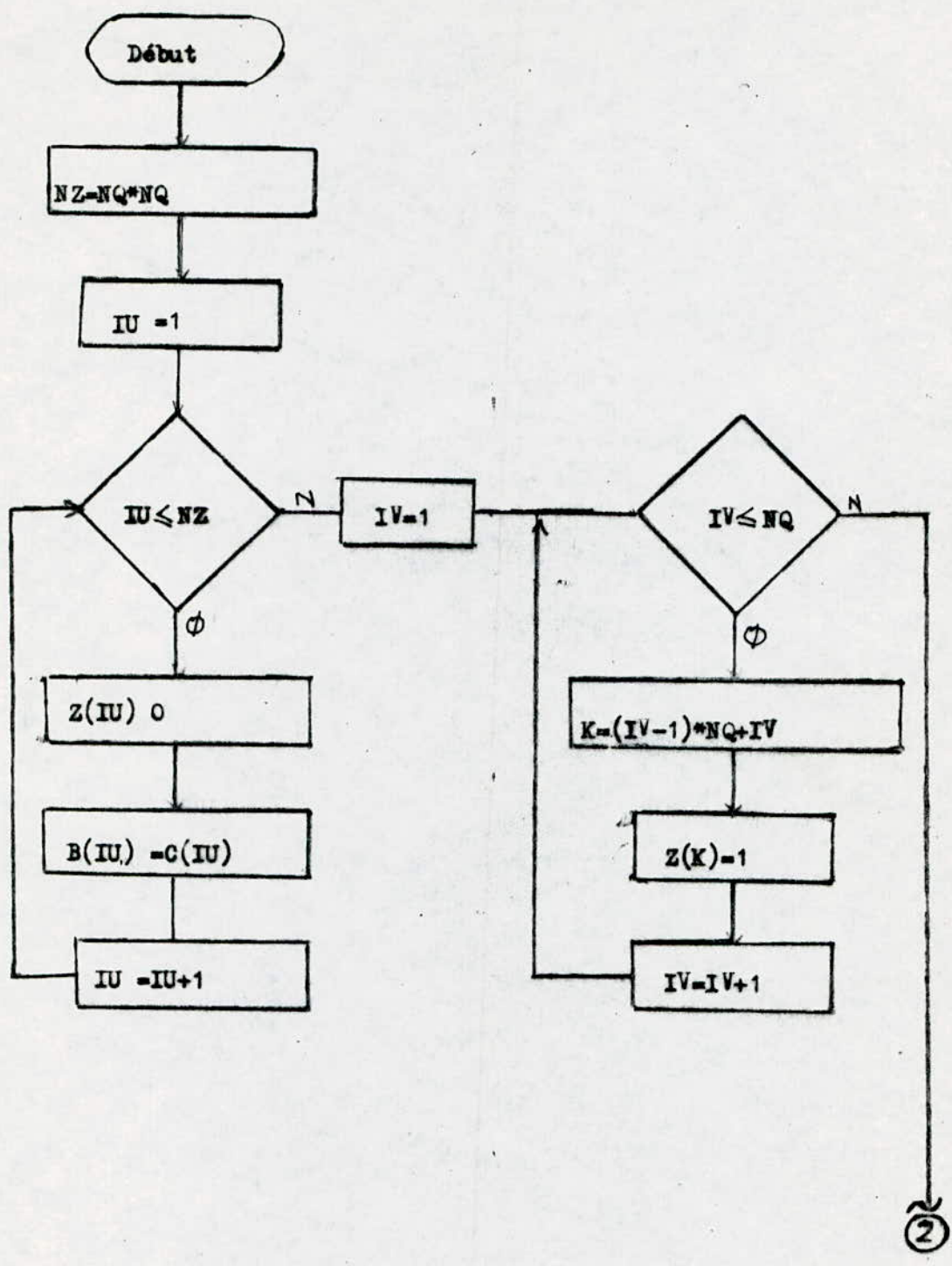
$Y = j$

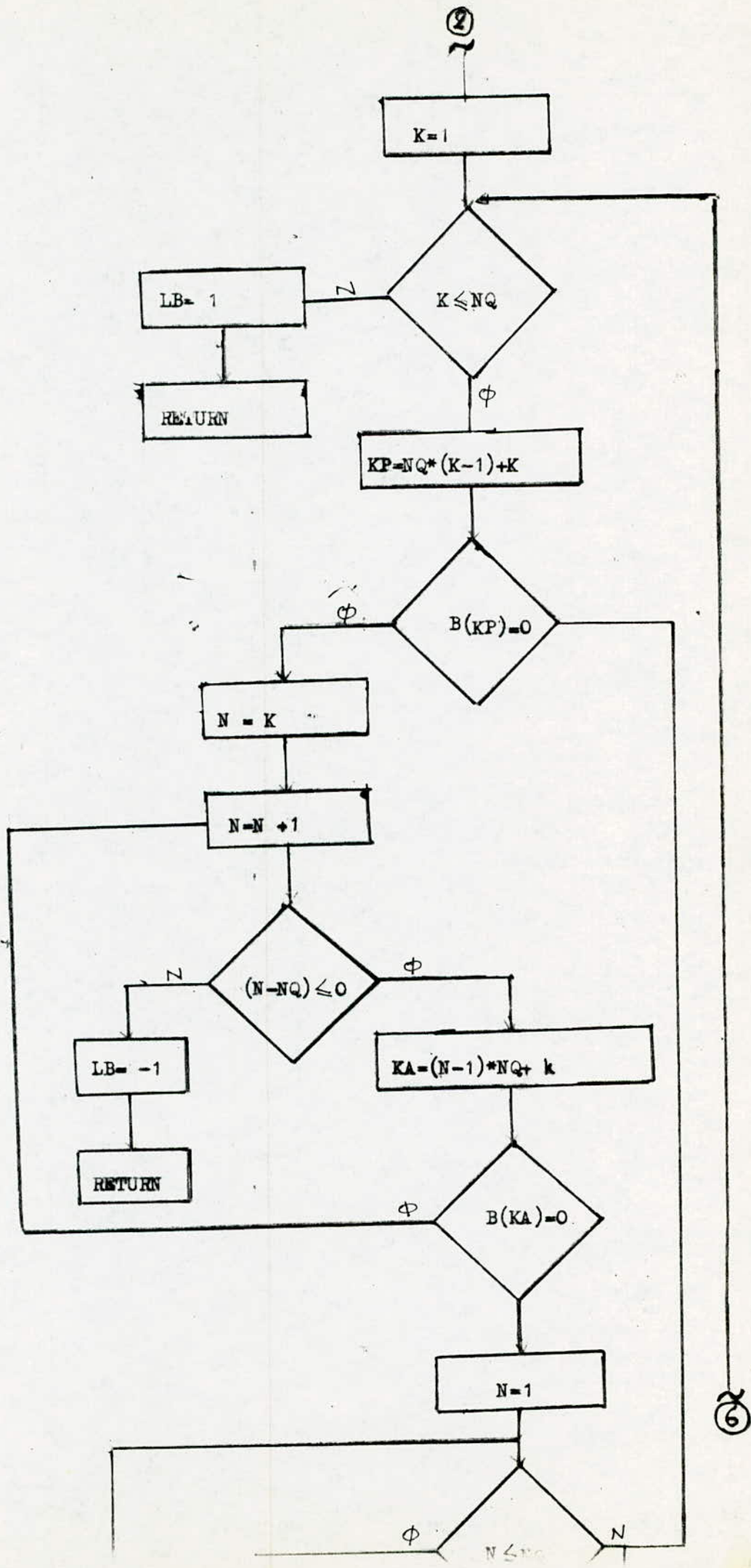
1	-107.5	69.3	0	35.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	69.3	-252.6	3.11	161.9	0	0	0	18.25	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	3.11	-42.35	0	28.25	0	0	0	10.99	0	0	0	0	0	0	0
4	35.97	161.94	0	-224.9	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	0	0
5	0	0	28.25	0	-48.12	2.34	0	0	0	17.53	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	2.34	-20.13	3.19	0	0	0	0	0	14.6	0	0	0
7	0	0	0	0	0	3.19	-21.4	0	0	9.06	0	0	0	5.25	0	0
8	0	18.25	0	0	0	0	0	-118.7	0	0	98.22	0	0	0	0	0
9	0	0	10.99	0	0	0	0	0	-22.94	11.95	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	17.53	0	9.06	0	11.95	-58.2	0	4.26	0	13.08	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	98.22	0	0	-173.9	69.32	0	0	3.44	0
12	0	0	0	2.7	0	0	0	0	0	4.26	69.32	-153.4	20.6	0	0	32.14
13	0	0	0	0	0	14.6	0	0	0	0	0	20.64	-39.7	3.15	0	0
14	0	0	0	0	0	0	5.25	0	0	13.08	0	0	3.15	-23.7	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.44	0	0	0	-28.4	25
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.14	0	0	25	-59.5

RAKE EQUIVALENT









5

3

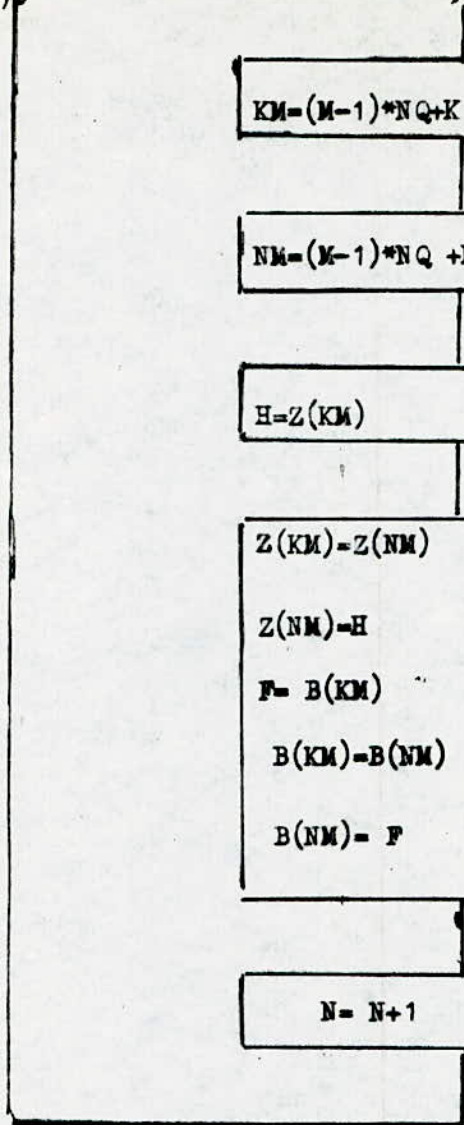
$$KM = (M-1) * NQ + K$$

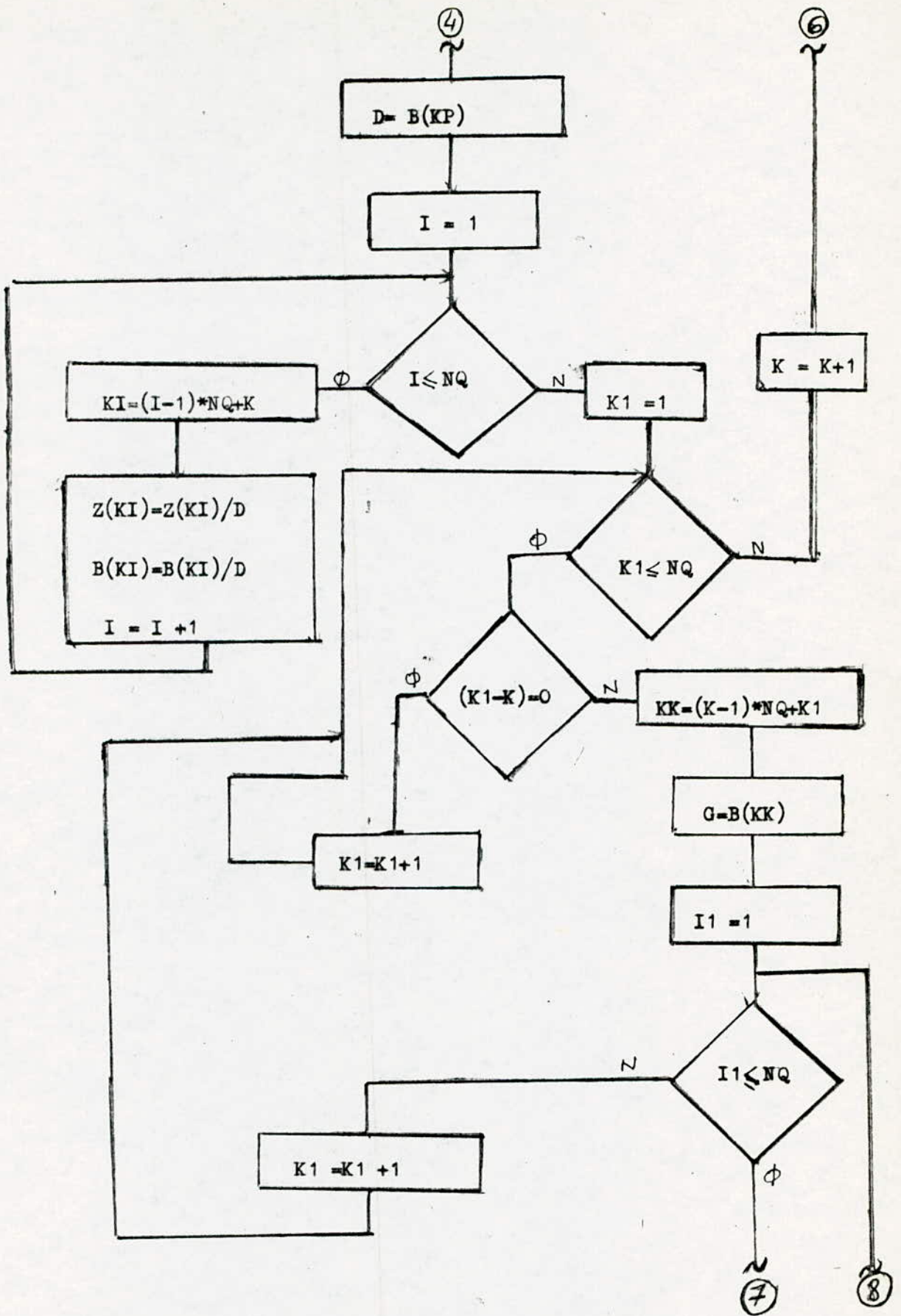
$$NM = (M-1) * NQ + N$$

$$H = Z(KM)$$

$$\begin{aligned} Z(KM) &= Z(NM) \\ Z(NM) &= H \\ F &= B(KM) \\ B(KM) &= B(NM) \\ B(NM) &= F \end{aligned}$$

$$N = N + 1$$





⑦

$$KI1 = (I1 - 1) * NQ + K$$

$$KI = (I1 - 1) * NQ + KI1$$

$$Z(KI) = Z(KI) - Z(KI1) * G$$

$$B(KI) = B(KI) - B(KI1) * G$$

$$I1 = I1 + 1$$

⑧

9

$V_f = 1$

$I = 1$

$ZI(I) = V_f / z(I, I)$

$J = 1$

$ZV(I, J) = V_f (1 - z(I, J) / z(I, I))$

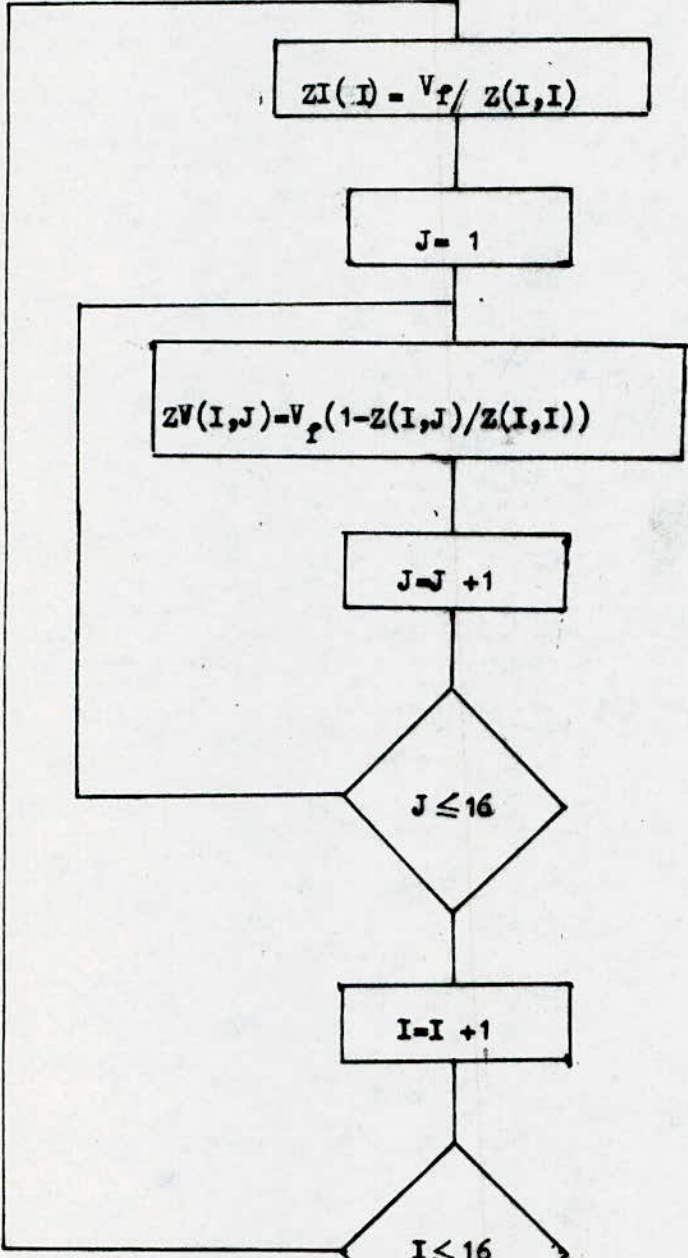
$J = J + 1$

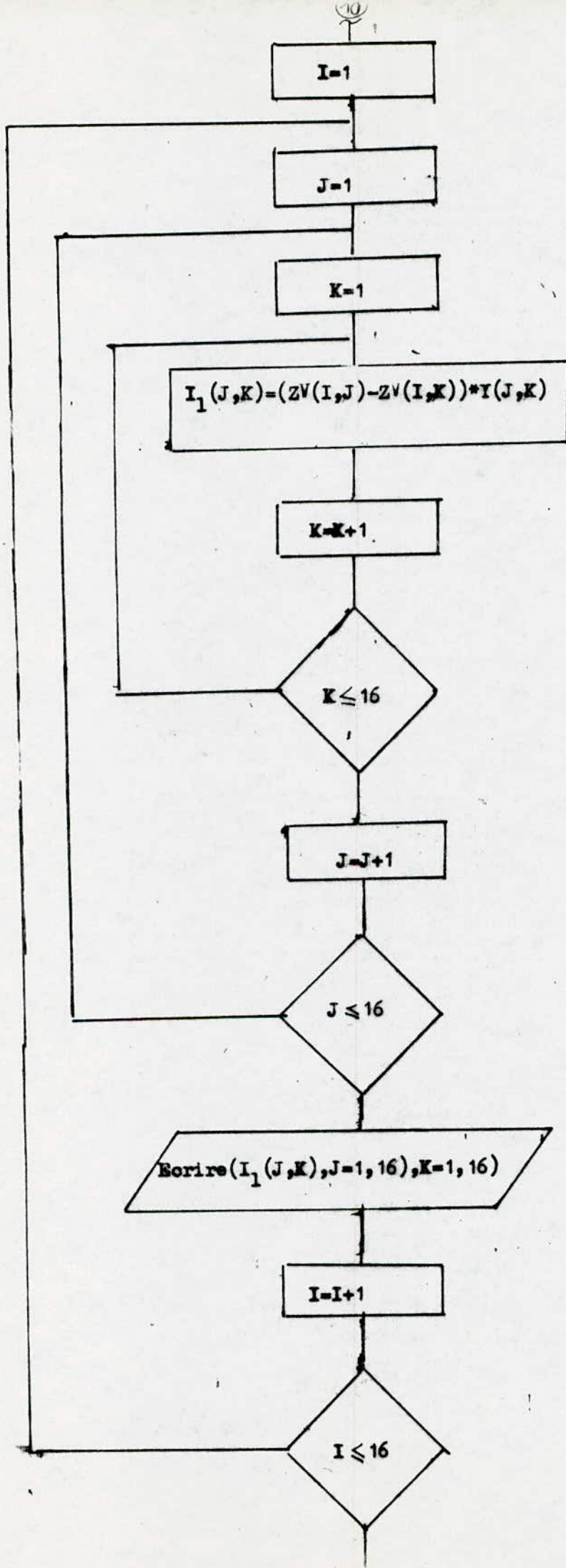
$J \leq 16$

$I = I + 1$

$I \leq 16$

10





LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(1)- 11.56711

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(1 , 1)- 0
ZV(1 , 2)- 6.516374E-02
ZV(1 , 3)- .4566304
ZV(1 , 4)- 8.465372E-02
ZV(1 , 5)- .4626401
ZV(1 , 6)- .4292566
ZV(1 , 7)- .6116285
ZV(1 , 8)- .261241
ZV(1 , 9)- .4856543
ZV(1 , 10)- .5313586
ZV(1 , 11)- .2613931
ZV(1 , 12)- .2775529
ZV(1 , 13)- .3606541
ZV(1 , 14)- .5738335
ZV(1 , 15)- .3179126
ZV(1 , 16)- .3229366

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(2)- 12.24447

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(2 , 1)- 3.161261E-02
ZV(2 , 2)- 0
ZV(2 , 3)- .4109233
ZV(2 , 4)- 3.166664E-02
ZV(2 , 5)- .4335264
ZV(2 , 6)- .3641961
ZV(2 , 7)- .5601635
ZV(2 , 8)- .1996637
ZV(2 , 9)- .4536635
ZV(2 , 10)- .4630076
ZV(2 , 11)- .2234166
ZV(2 , 12)- .2216703
ZV(2 , 13)- .3325046
ZV(2 , 14)- .5394466
ZV(2 , 15)- .2646949
ZV(2 , 16)- .2703739

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 3)- 6.425736

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(3 , 1)-	.6043435
ZV(3 , 2)-	.5946412
ZV(3 , 3)-	0
ZV(3 , 4)-	.5981735
ZV(3 , 5)-	.1587325
ZV(3 , 6)-	.5266608
ZV(3 , 7)-	.5356979
ZV(3 , 8)-	.6277931
ZV(3 , 9)-	.1903584
ZV(3 , 10)-	.3805939
ZV(3 , 11)-	.6276246
ZV(3 , 12)-	.6111422
ZV(3 , 13)-	.583612
ZV(3 , 14)-	.4827008
ZV(3 , 15)-	.6356316
ZV(3 , 16)-	.6367328

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 4)- 12.2522

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(4 , 1)-	4.103267E-02
ZV(4 , 2)-	3.105569E-02
ZV(4 , 3)-	.4156878
ZV(4 , 4)-	0
ZV(4 , 5)-	.4422751
ZV(4 , 6)-	.3799052
ZV(4 , 7)-	.5735511
ZV(4 , 8)-	.2032027
ZV(4 , 9)-	.4561935
ZV(4 , 10)-	.4934439
ZV(4 , 11)-	.2216423
ZV(4 , 12)-	.2128539
ZV(4 , 13)-	.3282864
ZV(4 , 14)-	.5387243
ZV(4 , 15)-	.2577115
ZV(4 , 16)-	.2626749

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 5)- 9.060761

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZIK 5 , 1)-	.5947411
ZIK 5 , 2)-	.5652563
ZIK 5 , 3)-	9.532627E-02
ZIK 5 , 4)-	.5675505
ZIK 5 , 5)-	0
ZIK 5 , 6)-	.477166
ZIK 5 , 7)-	.4680452
ZIK 5 , 8)-	.6123616
ZIK 5 , 9)-	.2017196
ZIK 5 , 10)-	.2995642
ZIK 5 , 11)-	.6106303
ZIK 5 , 12)-	.5917267
ZIK 5 , 13)-	.5512656
ZIK 5 , 14)-	.441559
ZIK 5 , 15)-	.6177645
ZIK 5 , 16)-	.6167404

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 6)- 8.335

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZIK 6 , 1)-	.5667353
ZIK 6 , 2)-	.5606126
ZIK 6 , 3)-	.5317561
ZIK 6 , 4)-	.5761561
ZIK 6 , 5)-	.5130447
ZIK 6 , 6)-	0
ZIK 6 , 7)-	.564696
ZIK 6 , 8)-	.5626423
ZIK 6 , 9)-	.5505551
ZIK 6 , 10)-	.5676426
ZIK 6 , 11)-	.575666
ZIK 6 , 12)-	.546146
ZIK 6 , 13)-	.3642795
ZIK 6 , 14)-	.561496
ZIK 6 , 15)-	.5762662
ZIK 6 , 16)-	.5765766

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(7)- 10.61107

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(7 , 1)	-	.643728
ZV(7 , 2)	-	.6361666
ZV(7 , 3)	-	.4155263
ZV(7 , 4)	-	.6356665
ZV(7 , 5)	-	.4004491
ZV(7 , 6)	-	.4460631
ZV(7 , 7)	-	0
ZV(7 , 8)	-	.6475663
ZV(7 , 9)	-	.3916414
ZV(7 , 10)	-	.370059
ZV(7 , 11)	-	.644196
ZV(7 , 12)	-	.6234675
ZV(7 , 13)	-	.6506643
ZV(7 , 14)	-	.3724454
ZV(7 , 15)	-	.6481104
ZV(7 , 16)	-	.6466435

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(6)- 12.93069

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(6 , 1)	-	.1741404
ZV(6 , 2)	-	.1550296
ZV(6 , 3)	-	.426776
ZV(6 , 4)	-	.1590654
ZV(6 , 5)	-	.4466179
ZV(6 , 6)	-	.3525129
ZV(6 , 7)	-	.5710307
ZV(6 , 8)	-	0
ZV(6 , 9)	-	.4596766
ZV(6 , 10)	-	.4664761
ZV(6 , 11)	-	6.564434E-02
ZV(6 , 12)	-	.1631957
ZV(6 , 13)	-	.2696546
ZV(6 , 14)	-	.5292459
ZV(6 , 15)	-	.194253
ZV(6 , 16)	-	.2091701

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(9)- 7.622356

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(9 , 1)-	.6676523
ZV(9 , 2)-	.6599102
ZV(9 , 3)-	.2675562
ZV(9 , 4)-	.6616862
ZV(9 , 5)-	.3284474
ZV(9 , 6)-	.5669626
ZV(9 , 7)-	.5631353
ZV(9 , 8)-	.6616141
ZV(9 , 9)-	0
ZV(9 , 10)-	.3917983
ZV(9 , 11)-	.6602329
ZV(9 , 12)-	.6643906
ZV(9 , 13)-	.6363676
ZV(9 , 14)-	.5202443
ZV(9 , 15)-	.665637
ZV(9 , 16)-	.6666063

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(10)- 11.91749

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(10 , 1)-	.5171642
ZV(10 , 2)-	.5065469
ZV(10 , 3)-	.1024511
ZV(10 , 4)-	.5072822
ZV(10 , 5)-	7.872669E-02
ZV(10 , 6)-	.3820961
ZV(10 , 7)-	.2925016
ZV(10 , 8)-	.5265645
ZV(10 , 9)-	4.906222E-02
ZV(10 , 10)-	0
ZV(10 , 11)-	.52464
ZV(10 , 12)-	.4965312
ZV(10 , 13)-	.450294
ZV(10 , 14)-	.2199599
ZV(10 , 15)-	.5310433
ZV(10 , 16)-	.5319251

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 11)- 13.6521

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZVK 11 , 1)-	.1516633
ZVK 11 , 2)-	.1341429
ZVK 11 , 3)-	.3966454
ZVK 11 , 4)-	.1327094
ZVK 11 , 5)-	.4136273
ZVK 11 , 6)-	.3053333
ZVK 11 , 7)-	.542226
ZVK 11 , 8)-	3.485799E-02
ZVK 11 , 9)-	.427278
ZVK 11 , 10)-	.4554503
ZVK 11 , 11)-	0
ZVK 11 , 12)-	9.859002E-02
ZVK 11 , 13)-	.2362162
ZVK 11 , 14)-	.4976027
ZVK 11 , 15)-	.1291161
ZVK 11 , 16)-	.146863

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 12)- 14.14363

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZVK 12 , 1)-	.1166313
ZVK 12 , 2)-	.1009488
ZVK 12 , 3)-	.3472545
ZVK 12 , 4)-	9.133622E-02
ZVK 12 , 5)-	.3626951
ZVK 12 , 6)-	.233254
ZVK 12 , 7)-	.4981416
ZVK 12 , 8)-	6.471477E-02
ZVK 12 , 9)-	.3772616
ZVK 12 , 10)-	.4048587
ZVK 12 , 11)-	6.613559E-02
ZVK 12 , 12)-	0
ZVK 12 , 13)-	.1546309
ZVK 12 , 14)-	.4491735
ZVK 12 , 15)-	6.753439E-02
ZVK 12 , 16)-	6.772536E-02

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 13)- 11.36693

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZVK 13 , 1)-	.3915692
ZVK 13 , 2)-	.3603443
ZVK 13 , 3)-	.4362623
ZVK 13 , 4)-	.3749667
ZVK 13 , 5)-	.4370526
ZVK 13 , 6)-	.1330307
ZVK 13 , 7)-	.5166697
ZVK 13 , 8)-	.3755691
ZVK 13 , 9)-	.4577588
ZVK 13 , 10)-	.4756413
ZVK 13 , 11)-	.3640646
ZVK 13 , 12)-	.3205952
ZVK 13 , 13)-	0
ZVK 13 , 14)-	.4722562
ZVK 13 , 15)-	.3661971
ZVK 13 , 16)-	.3664903

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZIK 14)- 10.26662

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZVK 14 , 1)-	.6217627
ZVK 14 , 2)-	.6137666
ZVK 14 , 3)-	.3617441
ZVK 14 , 4)-	.613403
ZVK 14 , 5)-	.3671154
ZVK 14 , 6)-	.4644107
ZVK 14 , 7)-	.3926966
ZVK 14 , 8)-	.626167
ZVK 14 , 9)-	.3536672
ZVK 14 , 10)-	.3276642
ZVK 14 , 11)-	.6221149
ZVK 14 , 12)-	.6000667
ZVK 14 , 13)-	.5232467
ZVK 14 , 14)-	0
ZVK 14 , 15)-	.6262471
ZVK 14 , 16)-	.6266146

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(15)- 8.498488

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(15 , 1)-	.4986629
ZV(15 , 2)-	.4836489
ZV(15 , 3)-	.6324855
ZV(15 , 4)-	.4851266
ZV(15 , 5)-	.6415032
ZV(15 , 6)-	.5699791
ZV(15 , 7)-	.718169
ZV(15 , 8)-	.470444
ZV(15 , 9)-	.6487264
ZV(15 , 10)-	.665562
ZV(15 , 11)-	.4578713
ZV(15 , 12)-	.4397056
ZV(15 , 13)-	.5281371
ZV(15 , 14)-	.6306755
ZV(15 , 15)-	0
ZV(15 , 16)-	.2789366

LA VALEUR DU COURANT DE C-C EST-ZI(16)- 11.33918

LES VALEURS DES TENSIONS CORRESPONDANTES.

ZV(16 , 1)-	.3382804
ZV(16 , 2)-	.3243187
ZV(16 , 3)-	.5111226
ZV(16 , 4)-	.3178196
ZV(16 , 5)-	.5228689
ZV(16 , 6)-	.4286632
ZV(16 , 7)-	.6245405
ZV(16 , 8)-	.3085162
ZV(16 , 9)-	.5337919
ZV(16 , 10)-	.554639
ZV(16 , 11)-	.291417
ZV(16 , 12)-	.2525802
ZV(16 , 13)-	.3880369
ZV(16 , 14)-	.5679081
ZV(16 , 15)-	3.524906E-02
ZV(16 , 16)-	0

----- 1 EME MATRICE

0 -5.902362 0 -3.404695 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 5.902362 0 -1.155621 -1.53357 0 0 0 -3.213044 0 0 0 0 0 0 0
 0 1.155621 0 0 -0.7291242 0 0 0 -0.426674 0 0 0 0 0 0
 3.404695 1.53357 0 0 0 0 0 0 0 -4.936277 0 0 0 0
 0 0 .7291242 0 0 .124917 0 0 0 -0.8540522 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 -0.124917 0 -0.5617656 0 0 0 .706679 0 0 0
 0 0 0 0 .5617656 0 0 0 .727236 0 0 0 .1978964 0 0
 0 3.213044 0 0 0 0 0 0 -1.979344 0 0 0 0 0
 0 0 .426674 0 0 0 0 0 -0.4266767 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 .8540522 0 -0.727236 0 .4266767 0 0 1.061217 0 -0.556667 0
 0
 0 0 0 0 0 0 0 1.979344 0 0 0 .2662073 0 0 -0.1256276 0
 0 0 0 4.936277 0 0 0 0 0 -1.061217 -0.2662073 0 -2.132137 0 0
 -1.456703
 0 0 0 0 0 0 -0.706679 0 0 0 0 2.132137 0 -0.6062002 0 0
 0 0 0 0 0 0 -0.1978964 0 0 .556667 0 0 .6062002 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .1256276 0 0 0 -0.1256461
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.456703 0 0 .1256461 0

FIN DE LA 1 EME MATRICE

----- 2 EME MATRICE

0 2.190452 0 -1.936013E-03 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 -2.190452 0 -1.277971 -5.126095 0 0 0 -3.647676 0 0 0 0 0 0
 0 1.277971 0 0 -0.606037 0 0 0 -0.4699339 0 0 0 0 0
 1.936013E-03 5.126095 0 0 0 0 0 0 0 -5.1301 0 0 0 0
 0 0 .606037 0 0 .1294726 0 0 0 -0.9375269 0 0 0 0
 0 0 0 0 -0.1294726 0 -0.6251996 0 0 0 .754693 0 0 0
 0 0 0 0 .6251996 0 0 0 .7896121 0 0 0 .2138562 0 0
 0 3.647676 0 0 0 0 0 0 -2.311615 0 0 0 0 0
 0 0 .4699339 0 0 0 0 0 -0.4699259 0 0 0 0 0
 0 0 0 .9375269 0 -0.7896121 0 .4699259 0 0 1.155696 0 -0.6074462 0
 0
 0 0 0 0 0 0 2.311615 0 0 0 .1212021 0 0 -0.14195 0
 0 0 0 5.1301 0 0 0 0 -1.155696 -0.1212021 0 -2.287624 0 0
 -1.565332
 0 0 0 0 0 -0.754693 0 0 0 0 2.287624 0 -0.651673 0 0
 0 0 0 0 0 -0.2138562 0 0 .6074462 0 0 .651673 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 .14195 0 0 0 -0.1419736
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.565332 0 0 .1419736 0

FIN DE LA 2 EME MATRICE

----- 3 EME MATRICE

```

0 .67227 0 .2213404 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.67227 0 1.849334 -.5719901 0 0 0 -.6050226 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -1.849334 0 0 -4.484193 0 0 0 -2.092039 0 0 0 0 0 0 0
-.2213404 .5719901 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -.3501603 0 0 0 0
0 0 4.484193 0 0 -.8609521 0 0 0 -3.889231 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .8609521 0 -2.946638E-02 0 0 0 0 0 -.6314879 0 0 0
0 0 0 0 0 2.946638E-02 0 0 0 1.407054 0 0 0 .2267845 0 0
0 .6050226 0 0 0 0 0 0 0 .0165503 0 0 0 0 0 0
0 0 2.092039 0 0 0 0 0 0 -2.273314 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 3.889231 0 -1.407054 0 2.273314 0 0 -.9821359 0 -1.466356 0
0
0 0 0 0 0 0 -.0165503 0 0 0 1.142561 0 0 -2.754364E-02 0
0 0 0 .3501603 0 0 0 0 .9821359 -1.142561 0 .5682245 0 0
-.6224616
0 0 0 0 0 .6314879 0 0 0 0 0 -.5682245 0 .2663701 0 0
0 0 0 0 0 0 -.2267845 0 0 1.466356 0 0 -.2663701 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.754364E-02 0 0 0 0 -2.753139E-02
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .6224616 0 0 2.753139E-02 0

```

FIN DE LA 3 EME MATRICE

----- 4 EME MATRICE

```

0 .6913052 0 1.475945 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.6913052 0 -1.196206 5.029156 0 0 0 -3.141663 0 0 0 0 0 0 0
0 1.196206 0 0 -.7510915 0 0 0 -.4451584 0 0 0 0 0 0 0
-1.475945 -5.029156 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -5.747054 0 0 0
0 0 .7510915 0 0 .1459454 0 0 0 -.8969901 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.1459454 0 -.6368704 0 0 0 .7826065 0 0 0
0 0 0 0 0 .6368704 0 0 0 .7801313 0 0 0 .2143407 0 0
0 3.141663 0 0 0 0 0 0 0 -1.811137 0 0 0 0 0 0
0 0 .4451584 0 0 0 0 0 0 -.4451423 0 0 0 0 0 0
0 0 0 .8969901 0 -.7801313 0 .4451423 0 0 1.195314 0 -1.5922676 0
0
0 0 0 0 0 0 1.811137 0 0 0 .6092165 0 0 -.1240781 0
0 0 0 5.747054 0 0 0 0 -1.195314 -.6092165 0 -2.341266 0 0
-1.60125
0 0 0 0 0 0 -.7826065 0 0 0 0 2.341266 0 -.6691733 0 0
0 0 0 0 0 0 -.2143407 0 0 .5922676 0 0 .6691733 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .1240781 0 0 0 0 -.124065
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.60125 0 0 .124065 0

```

FIN DE LA 4 EME MATRICE

----- 5 EME MATRICE

```

0 .6571996 0 .2586454 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.6571996 0 1.523676 -.37152 0 0 0 -.4950356 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -1.523676 0 0 2.693024 0 0 0 -1.169242 0 0 0 0 0 0 0
-.2586454 .37152 0 0 0 0 0 0 0 -1.127558 0 0 0 0 0 0
0 0 -2.693024 0 0 -1.116568 0 0 0 -5.251361 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1.116568 0 -3.470471E-02 0 0 0 0 0 -1.081858 0 0 0
0 0 0 0 0 3.470471E-02 0 0 0 1.707638 0 0 0 .2440526 0 0
0 .4950356 0 0 0 0 0 0 0 .1523658 0 0 0 0 0 0
0 0 1.169242 0 0 0 0 0 -1.169241 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 5.251361 0 -1.707638 0 1.169241 0 0 -1.244612 0 -1.857292 0
0
0 0 0 0 0 0 -.1523658 0 0 0 1.324265 0 0 -2.392243E-02 0
0 0 0 .1127558 0 0 0 0 0 1.244612 -1.324265 0 .8351114 0 0
-.8682209
0 0 0 0 0 1.081858 0 0 0 0 0 -.8351114 0 .3455765 0 0
0 0 0 0 0 0 -.2440526 0 0 1.857292 0 0 -.3455765 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.392243E-02 0 0 0 0 -2.389699E-02
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .8682209 0 0 2.389699E-02 0

```

FIN DE LA 5 EME MATRICE

----- 6 EME MATRICE

```

0 .5489439 0 .3804577 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.5489439 0 .1525602 .4298976 0 0 0 -3.338847E-02 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -.1525602 0 0 .3591545 0 0 0 -.2065795 0 0 0 0 0 0 0
-.3804577 -.4298976 0 0 0 0 0 0 0 .8102761 0 0 0 0 0 0
0 0 -.3591545 0 0 1.214565 0 0 0 -.8554304 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -1.214565 0 -1.802025 0 0 0 0 0 -5.318481 0 0 0
0 0 0 0 0 1.802025 0 0 0 -2.667906E-02 0 0 0 -8.714976E-02 0 0
0 3.338847E-02 0 0 0 0 0 0 0 .6636044 0 0 0 0 0 0
0 0 .2065795 0 0 0 0 0 -2.06587 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .8554304 0 2.667906E-02 0 .206587 0 0 8.389987E-02 0
-.1786106 0 0
0 0 0 0 0 0 -.6636044 0 0 0 1.922805 0 0 -8.194628E-03 0
0 0 0 -.8102761 0 0 0 0 0 -8.389987E-02 -1.922805 0 3.795044 0 0
-.9779768
0 0 0 0 0 5.318481 0 0 0 0 -3.795044 0 -.6842381 0 0
0 0 0 0 0 0 8.714976E-02 0 0 .1786106 0 0 .6842381 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 8.194628E-03 0 0 0 0 -7.709861E-03
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .9779768 0 0 7.709861E-03 0

```

FIN DE LA 6 EME MATRICE

----- 7 EME MATRICE

```

0 .5225366 0 .2627094 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-5225366 0 .6662536 5.154369E-02 0 0 0 -2153792 0 0 0 0 0 0 0
0 -.6662536 0 .4259336 0 0 0 .2602973 0 0 0 0 0 0 0
-.2627094 -5.154369E-02 0 0 0 0 0 0 0 .3342675 0 0 0 0
0 0 -.4259336 0 0 -.1067836 0 0 0 .5327362 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .1067836 0 1.423005 0 0 0 0 -1.529605 0 0 0
0 0 0 0 -1.423005 0 0 0 -3.352734 0 0 0 -1.955336 0 0
0 .2153792 0 0 0 0 0 0 0 .3724901 0 0 0 0 0
0 0 -.2602973 0 0 0 0 0 0 .2603004 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.5327362 0 3.352734 0 -.2603004 0 0 -1.079605 0
-3.121476E-02 0 0
0 0 0 0 0 0 -.3724901 0 0 0 1.435513 0 0 -.0134656 0
0 0 0 -.3342675 0 0 0 0 0 1.079605 -1.435513 0 1.498943 0 0
-.606706
0 0 0 0 0 1.529605 0 0 0 0 -1.498943 0 .5620193 0 0
0 0 0 0 0 0 1.955336 0 0 3.121476E-02 0 0 -.5620193 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .0134656 0 0 0 0 -1.347661E-02
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .606706 0 0 1.347661E-02 0

```

FIN DE LA 7 EME MATRICE

----- 8 EME MATRICE

```

0 1.324175 0 .5422466 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1.324175 0 -.6513569 -.6535335 0 0 0 2.629293 0 0 0 0 0 0 0
0 .6513569 0 0 -.5096267 0 0 0 -.3417756 0 0 0 0 0 0 0
-.5422466 .6535335 0 0 0 0 0 0 0 0 -.1115166 0 0 0 0
0 0 .5096267 0 0 .2206736 0 0 0 -.7302676 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.2206736 0 -.6970716 0 0 0 0 .9177316 0 0 0
0 0 0 0 .6970716 0 0 0 .7479451 0 0 0 .2193703 0 0
0 -2.629293 0 0 0 0 0 0 0 -8.431631 0 0 0 0 0
0 0 .3417756 0 0 0 0 0 -.3417612 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .7302676 0 -.7479451 0 .3417612 0 0 1.385694 0 -.5332692 0
0
0 0 0 0 0 0 8.431631 0 0 0 -5.361995 0 0 -.3729259 0
0 0 0 .1115166 0 0 0 0 0 -1.385694 5.361995 0 -2.610111 0 0
-1.477616
0 0 0 0 0 0 -.9177316 0 0 0 0 2.610111 0 -.7547126 0 0
0 0 0 0 0 0 -.2193703 0 0 .5332692 0 0 .7547126 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .3729259 0 0 0 0 -.3729269
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.477616 0 0 .3729269 0

```

FIN DE LA 8 EME MATRICE

----- 9 EME MATRICE

```

0 .5364465 0 .2145995 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
- .5364465 0 1.220221 - .2676022 0 0 0 - .3960962 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -1.220221 0 0 -1.720177 0 0 0 2.940443 0 0 0 0 0 0 0
- .2145995 .2676022 0 0 0 0 0 0 0 0 -7.301992E-02 0 0 0 0
0 0 1.720177 0 0 - .6096525 0 0 0 -1.110542 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .6096525 0 6.245313E-02 0 0 0 0 - .6921122 0 0 0
0 0 0 0 -6.245313E-02 0 0 0 1.552313 0 0 0 .2251779 0 0
0 .3960962 0 0 0 0 0 0 0 .1356633 0 0 0 0 0 0
0 0 -2.940443 0 0 0 0 0 -4.66199 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1.110542 0 -1.552313 0 4.66199 0 0 -1.161243 0 -1.660073 0
0
0 0 0 0 0 0 - .1356633 0 0 0 1.096165 0 0 -1.927786E-02 0
0 0 0 7.301992E-02 0 0 0 0 1.161243 -1.096165 0 .5779627 0 0
- .7140766
0 0 0 0 0 .6921122 0 0 0 0 - .5779627 0 .3656516 0 0
0 0 0 0 0 0 - .2251779 0 0 1.660073 0 0 - .3656516 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.927786E-02 0 0 0 0 -1.926506E-02
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .7140766 0 0 1.926506E-02 0

```

FIN DE LA 9 EME MATRICE

----- 10 EME MATRICE

```

0 .7356697 0 .3554525 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
- .7356697 0 1.256736 - .1190614 0 0 0 - .4016212 0 0 0 0 0 0 0
0 -1.256736 0 0 .6702066 0 0 0 .5665236 0 0 0 0 0 0 0
- .3554525 .1190614 0 0 0 0 0 0 0 0 .2362763 0 0 0 0
0 0 - .6702066 0 0 - .709664 0 0 0 1.360062 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .709664 0 .2650064 0 0 0 0 - .9956171 0 0 0
0 0 0 0 - .2650064 0 0 0 2.650065 0 0 0 .3606443 0 0
0 .4016212 0 0 0 0 0 0 0 .3654575 0 0 0 0 0
0 0 - .5665236 0 0 0 0 0 .5665326 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -1.360062 0 -2.650065 0 - .5665326 0 0 -2.123743 0 -2.677075 0
0
0 0 0 0 0 0 - .3654575 0 0 0 1.609662 0 0 -2.202724E-02 0
0 0 0 - .2362763 0 0 0 0 2.123743 -1.609662 0 .9956171 0 0
-1.073261
0 0 0 0 0 .9956171 0 0 0 0 - .9956171 0 .7255525 0 0
0 0 0 0 0 - .3606443 0 0 2.677075 0 0 - .7255525 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.202724E-02 0 0 0 0 -2.204627E-02
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.073261 0 0 2.204627E-02 0

```

FIN DE LA 10 EME MATRICE

11 EME MATRICE

```
0 1.227647 0 .6889656 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
-1.227647 0 -.6163829 .2321397 0 0 0 1.611949 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 .6163829 0 0 -.479737 0 0 0 -.3366518 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.6889656 -.2321397 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .9212229 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 .479737 0 0 .2534076 0 0 0 -.7331609 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.2534076 0 -.7556876 0 0 0 0 1.009081 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 .7556876 0 0 0 .786166 0 0 0 .2342721 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -1.611949 0 0 0 0 0 0 0 0 3.423752 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 .3366518 0 0 0 0 0 0 0 -.3366613 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .7331609 0 -.786166 0 .3366613 0 0 1.520226 0 -.5513511 0
0
0 0 0 0 0 0 0 -3.423752 0 0 0 -6.63426 0 0 -.4441595 0
0 0 0 -.9212229 0 0 0 0 0 -1.520226 6.63426 0 -2.640646 0 0
-1.552137
0 0 0 0 0 -1.009081 0 0 0 0 0 2.640646 0 -.6233612 0 0
0 0 0 0 0 0 -.2342721 0 0 .5513511 0 0 .6233612 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 .4441595 0 0 0 0 -.4441723
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.552137 0 0 .4441723 0
```

FIN DE LA 11 EME MATRICE

12 EME MATRICE

```
0 1.066636 0 .9097911 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-1.066636 0 -.7660105 1.55634 0 0 0 .2962712 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 .7660105 0 0 -.4361962 0 0 0 -.3297763 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.9097911 -1.55634 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.466132 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 .4361962 0 0 .3026923 0 0 0 -.7391271 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.3026923 0 -.8449914 0 0 0 0 1.147697 0 0 0 0
0 0 0 0 0 .8449914 0 0 0 .8451429 0 0 0 .2570624 0 0
0 -.2962712 0 0 0 0 0 0 0 0 1.624646 0 0 0 0 0 0
0 0 .3297763 0 0 0 0 0 -.329765 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .7391271 0 -.8451429 0 .329765 0 0 1.724696 0 -.5796376 0
0
0 0 0 0 0 0 0 -1.624646 0 0 0 4.564519 0 0 -4.611679E-03 0
0 0 0 -2.466132 0 0 0 0 0 -1.724696 -4.564519 0 -3.191562 0 0
-2.176693
0 0 0 0 0 -1.147697 0 0 0 0 0 3.191562 0 -.9276061 0 0
0 0 0 0 0 0 -.2570624 0 0 .5796376 0 0 .9276061 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.611679E-03 0 0 0 0 -4.774332E-03
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.176693 0 0 4.774332E-03 0
```

FIN DE LA 12 EME MATRICE

----- 13 EME MATRICE

```

0 .7777666 0 .5871304 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.7777666 0 -.1601248 .8708567 0 0 0 8.714788E-02 0 0 0 0 0 0 0 0
0 .1601248 0 0 .0341683 0 0 0 -.2142666 0 0 0 0 0 0 0 0
-.5871304 -.8708567 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.46803 0 0 0 0
0 0 -.0341683 0 0 .7114118 0 0 0 -.6798624 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.7114118 0 -1.230827 0 0 0 0 0 1.942248 0 0 0
0 0 0 0 0 1.230827 0 0 0 .3898375 0 0 0 .244721 0 0
0 -8.714788E-02 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.129868 0 0 0 0
0 0 .2142666 0 0 0 0 0 0 -.2160659 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .6798624 0 -.3898375 0 .2160659 0 0 .6613483 0
4.689311E-02 0 0
0 0 0 0 0 0 0 -1.129868 0 0 0 3.013301 0 0 -7.33551E-03 0
0 0 0 -1.46803 0 0 0 0 0 -0.6613483 -3.013301 0 6.617085 0 0
-1.475069
0 0 0 0 0 -1.942248 0 0 0 0 0 -6.617085 0 -1.467807 0 0
0 0 0 0 0 0 -.244721 0 0 -4.689311E-02 0 0 1.467807 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.33551E-03 0 0 0 -7.331372E-03
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.475069 0 0 7.331372E-03 0

```

FIN DE LA 13 EME MATRICE

----- 14 EME MATRICE

```

0 .5540526 0 .3006974 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-.5540526 0 .7215898 5.886984E-02 0 0 0 -.2263071 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -.7215898 0 0 .413261 0 0 0 .3083455 0 0 0 0 0 0 0
-.3006974 -5.886984E-02 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .359541 0 0 0 0
0 0 -.413261 0 0 -.2744711 0 0 0 .6877237 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 .2744711 0 .2925617 0 0 0 0 0 -0.5670344 0 0 0
0 0 0 0 0 -.2925617 0 0 0 .567219 0 0 0 2.061668 0 0
0 .2263071 0 0 0 0 0 0 0 .3979917 0 0 0 0 0 0
0 0 -.3083455 0 0 0 0 0 0 .3083462 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -.6877237 0 -.567219 0 -.3083462 0 0 -1.159583 0 4.268725 0
0
0 0 0 0 0 0 0 -.3979917 0 0 0 1.526995 0 0 -.0142146 0
0 0 0 -.359541 0 0 0 0 0 1.159583 -1.526995 0 1.585937 0 0
-0.8590426
0 0 0 0 0 .5670344 0 0 0 0 0 -1.585937 0 1.648233 0 0
0 0 0 0 0 0 -2.061668 0 0 -4.268725 0 0 -1.648233 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .0142146 0 0 0 0 -1.419485E-02
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 .8590426 0 0 1.419485E-02 0

```

FIN DE LA 14 EME MATRICE

----- 15 EME MATRICE

0 .6384411 0 .4340886 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 -.6384411 0 -.4442218 .7323065 0 0 0 .3504637 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 .4442218 0 0 -.2547502 0 0 0 -.1894773 0 0 0 0 0 0 0 0
 -.4340886 -.7323065 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.226367 0 0 0 0
 0 0 .2547502 0 0 .1873665 0 0 0 -.4221001 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 -.1873665 0 -.4727256 0 0 0 0 0 .6400326 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 .4727256 0 0 0 .476438 0 0 0 .1443404 0 0
 0 -.3504637 0 0 0 0 0 0 0 0 1.234885 0 0 0 0 0
 0 0 .1894773 0 0 0 0 0 0 -.1894738 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 .4221001 0 -.476438 0 .1894738 0 0 .5622325 0 -.3282237 0
 0
 0 0 0 0 0 0 0 -1.234885 0 0 0 1.259234 0 0 1.575077 0
 0 0 0 -1.226367 0 0 0 0 0 -.5622325 -1.259234 0 -1.763943 0 0
 5.231338
 0 0 0 0 0 -.6400326 0 0 0 0 0 1.763943 0 -.518286 0 0
 0 0 0 0 0 0 -.1443404 0 0 .3282237 0 0 .518286 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1.575077 0 0 0 0 -6.923484
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -5.231338 0 0 6.923484 0

FIN DE LA 15 EME MATRICE

----- 16 EME MATRICE

0 .6288261 0 .6712306 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 -.6288261 0 -.5808601 1.08488 0 0 0 .3248952 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 .5808601 0 0 -.3318328 0 0 0 -.2491358 0 0 0 0 0 0 0 0
 -.6712306 -1.08488 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.756062 0 0 0 0
 0 0 .3318328 0 0 .2250746 0 0 0 -.5569301 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 -.2250746 0 -.631165 0 0 0 0 0 .8562346 0 0 0
 0 0 0 0 0 .631165 0 0 0 .6333079 0 0 0 .1923199 0 0
 0 -.3248952 0 0 0 0 0 0 0 1.483052 0 0 0 0 0
 0 0 .2491358 0 0 0 0 0 0 -.2491226 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 .5569301 0 -.6333079 0 .2491226 0 0 1.28677 0 -.4351607 0
 0
 0 0 0 0 0 0 0 -1.483052 0 0 0 2.692161 0 0 .6612176 0
 0 0 0 -1.756062 0 0 0 0 0 -1.28677 -2.692161 0 -2.383026 0 0
 6.117929
 0 0 0 0 0 -.8562346 0 0 0 0 0 2.383026 0 -.6925944 0 0
 0 0 0 0 0 0 -.1923199 0 0 .4351607 0 0 .6925944 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -.6612176 0 0 0 0 .6612264
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -6.117929 0 0 -.6612264 0

FIN DE LA 16 EME MATRICE

Ligne	I (pu)	I (kA)	S _{co} (MVA)
1-2	5.90	0.85	990
1-4	3.40	0.49	340
2-3	1.85	0.27	185
2-4	5.13	0.74	513
2-8	3.65	0.53	365
3-5	4.48	1.17	448
3-9	2.94	0.77	294
4-12	5.75	0.83	575
5-6	1.22	0.18	122
5-10	5.25	1.38	525
6-7	1.80	0.26	180
6-13	5.32	0.77	532
7-10	3.35	0.88	335
7-14	2.10	0.55	210
8-11	8.43	1.22	843
9-10	4.68	1.23	468
10-12	2.12	0.31	212
10-14	4.29	1.12	429
11-12	6.83	0.985	683
11-15	1.57	0.23	157
12-13	6.62	0.95	662
12-16	8.12	1.17	812
13-14	1.65	0.24	165
15-16	6.92	0.99	692

Les courants max des alternateurs

Alternateur	I_{\max} (pu)	I_{\max} (KA)
I	2.26	0.325
7	1.93	0.506
7	1.93	0.506
8	1.67	0.241
11	3.03	0.437
13	1.32	0.109
10	2.30	0.603
14	2.27	0.596
15	1.17	0.169
16	1.17	0.169

Les courants de lignes minimums

Ligne	I_{\min} (pu)	I_{\min} (reel) (A)
I-2	0.522	75
I-4	0.0022	0.3
2-3	0.152	22
2-4	0.051	7
2-6	0.032	4.6
3-5	0.034	10
3-9	0.190	49.86
4-12	0.074	10.7
5-6	0.107	15.5
5-10	0.423	111
6-7	0.03	4.3
6-13	0.707	102
7-10	0.028	7.35
7-14	0.088	23
8-11	0.014	2
9-10	0.19	49.86
10-12	0.085	12.3
10-14	0.032	8.40
11-12	0.117	17
11-15	0.005	0.7
12-13	0.565	81.5
12-16	0.714	103
13-14	0.286	41.3

CONCLUSION

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances dans les réseaux électriques en générale , de dimensionner les disjoncteurs et de calibrer les relais dans le but de protéger les équipements du réseau .

la méthode utilisée nous a donné un aperçu sur un nouveau concept de calcul des courants de court circuits qu'est la méthode du schéma équivalent " RAKE EQUIVALENT"

Vu le nombre important des jeux de barres que comporte notre réseau , il a été nécessaire d'introduire des méthodes numériques pour la résolution .

BIBLIOGRAPHIE

- Elements of power system analysisWilliam D.Stevensen, Jr
- Electric power systemB.M.Weedy
- Electrical power systemsC.L.Wadhwa
- Modern power systemsJohn R.Neuenswander
- Electrotechnique industrielleGuy Seghier
- Installation électrique à haute et à basse tensionA.Mauduit
- Modern methods of engineering computation.....Robert L.Ketter
- /Sherwood P.Prawel, Jr
- Fortran (IV) ProgrammingPaul W.Murrill/Cecil L.Smith

Handwritten notes in a cursive script, possibly including the word "Landscape" and some illegible scribbles.