

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Etablissement Des Familles de Courbes  
Des Surintensites Et Surtensions  
Accompant  
DIFFERENTS-Courts-Circuits

Proposé par :

W. MICHALAK

Etudié par :

Brihoum  
Ped ELAMINE

Dirigé par :

W. MICHALAK



PROMOTION: JANVIER 84.

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكتبة  
ECCLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

Filière : INGENIORAT EN ELECTRONIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDE

Etablissement des familles de courbes  
des Surintensités et Surtensions  
accompagnant  
Différents Courts-Circuits

Proposé par :

W. MICHALAK

Docteur en Sciences Techniques

Etudié par :

BRIHOUM Mohamed El-Amine

PROMOTION : JANVIER 1984

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانِي لِهَذَا وَمَا كُنْتُ لَأُتَدِي لَوْلَا أَنْ  
هَدَانِي اللَّهُ .. الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي شَقَّ سَمْعِي وَبَصَرِي بِحَوْلِهِ  
وَقَوَّيْتَهُ ، وَأَلْقَى فِي قَلْبِي حُبَّ التَّعَلُّمِ وَطَلِبِ الْعِلْمِ .  
لَأَجَلَ ذَلِكَ أَمَدِّي - عَزَّوَجَلَّ - بِعَقْلِ عَامِلٍ وَصِحَّةِ فِي الرِّوْحِ  
وَالْجَسَدِ ، وَصَبْرٍ عَلَى مَا لَقِيتُ مِنْ عَنَتٍ وَمَشَقَّةٍ  
مُنذُ أَنْ وَاجَهْتُ بَابَ التَّعَلُّمِ وَأَنَا ابْنُ خَمْسِ سِنِينَ إِلَى أَنْ  
وَصَلْتُ إِلَى مَا وَصَلْتُ إِلَيْهِ ..

أَشْكُرُهُ - سُبْحَانَهُ وَتَعَالَى - بِمَا يَلِيقُ بِعَظَمَتِهِ وَجَلَالِهِ  
وَجِهِهِ عَلَى أَبَوَيْنِ كَرِيمَيْنِ عَزِيزَيْنِ قَيَّضَهُمَا لِي  
فَرَعَانِي ، وَأَدْبَانِي ، وَبَدَلَا فِي سَبِيلِ مَا أَنَا عَلَيْهِ الْيَوْمَ كُلِّ  
غَالٍ وَنَفِيسٍ .

«... رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ  
وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ...»

اللَّهُمَّ إِنِّي أَسْتَخِيرُكَ بِعِلْمِكَ وَقَدْرَتِكَ أَنْ :  
إِنْ كُنْتَ تَعْلَمُ أَنَّ مَوَاصِلَةَ طَلِبِ الْعِلْمِ فِي الدِّيَارِ الْإِسْلَامِيَّةِ  
خَيْرٌ لِي فِي دِينِي وَمَعَاشِي وَعَاقِبَةِ أَمْرِي : فَأَقْدِرْهَا لِي  
وَيَسِّرْهَا لِي .. اللَّهُمَّ إِنْ كُنْتَ تَعْلَمُ أَنَّهَا تُشْرِي لِي فِي دِينِي  
وَمَعَاشِي وَعَاقِبَةِ أَمْرِي : فَأُضْرِفْهَا عَنِّي وَأُضْرِفْهَا عَنْهَا ،  
وَأَقْدِرْ لِي الْخَيْرَ حَيْثُ كَانَ ثُمَّ رَضِّنِي بِهِ .  
اللَّهُمَّ عَلِّمْنِي وَعَيِّرِي مَا يَنْفَعُنِي .. وَأَنْفَعِنَا مَا عَلَّمْتَنَا .. وَزِدْنَا  
عِلْمًا .

DE D I C A C E S

A U X

Etre<sup>s</sup> les plus Chers .

Avec toute ma tendresse et mon affection.

M E S P A R E N T S

A M E S F R E R E S

A M E S S O E U R S

A T O U S M E S A M I S

J E D E D I E C E T R A V A I L

M O H A M I E D E L A M I N E





# SOMMAIRE

- INTRODUCTION PAGE : 1

- CHAPITRE I PAGE : 2

- Défauts et courants de court circuit

- CHAPITRE II PAGE: 20

Court circuit triphasé

- CHAPITRE III PAGE: 23

Court circuit monophasé

- CHAPITRE IV PAGE: 51

Court circuit biphase isolé

- CHAPITRE V PAGE: 58

Court circuit biphase a la terre

- ANNEXE PAGE: 82

# INTRODUCTION

- Une exploitation journalière du réseau sûre et ininterrompue ne se limite pas uniquement au contrôle du régime normal, mais doit prendre aussi en considération, les surintensités ou surtensions transitoires qui apparaissent lors des régimes troublés

- L'une des causes des courts circuits et les surtensions consécutives à des manoeuvres sur le réseau, qui provoquent le contournement de l'isolation.

- Les conséquences inévitables d'un court circuit dans un réseau sont: surintensités et chutes de tensions élevées sur la ou les phases courtcircuitées.

- Des surtensions sur la ou les phases saines, ces surtensions qui sont dites statiques peuvent à leur tour provoquer le claquage de l'isolation.

- Le but de cette étude est:

- En premier lieu d'éclaircir la méthode de calcul des courants de court circuit pour différents défauts affectants un réseau maillé à HT et THT, ainsi que les tensions au point de court circuit.

- En second lieu d'effectuer les calculs, et d'établir les familles de courbes de surintensités et de surtensions accompagnant un défaut monophasé, biphasé isolé, biphasé à la terre, en fonction  $R_0 / X_1$ ;  $X_0 / X_1$ ;  $X_2 / X_2$ .

- Enfin, tirer des conclusions.



# 1<sup>er</sup> CHAPITRE

## DEFAUTS ET COURANTS

### DE COURT CIRCUIT

#### I - GENERALITE

- Leurs causes
- Caractères des défauts
- Leurs effets

#### II - METHODES DE LEURS CALCULS

- Rappels théoriques sur les composantes symétriques
- Application pratique des composantes symétriques
- Calcul des courants de court circuit
- Conduites des calculs
- Remarques sur les impédances
- Hypothèses de calcul.

DEFAUTS ET COURANTS

DE COURT CIRCUIT

I - GENERALITE

# T - GENERALITES

## - DEFINITION

Un court circuit est une liaison imprévue entre phase ( S ) et neutre ou entre phases  
Dans la presque totalité des cas, ce contact a lieu par l'intermédiaire d'un arc, tout au moins en ce qui concerne les ouvrages a HT.  
Ce contact se traduit par l'introduction d'un déséquilibre dans le fonctionnement normal des circuits électriques

## - LEURS CAUSES:

Les courts circuits ont des causes multiples, il peuvent être:

a) D'origine purement électrique, ils proviennent alors de l'alteration d'un isolant qui devient incapable de tenir la tension.

b) D'origine mécanique, ils sont dûs dans ces conditions à une rupture de conducteurs ou d'isolateurs, a la chute d'un corps étranger, tel qu'une branche d'arbre, sur une ligne aérienne, à un coup de pioche dans un câble souterrain, etc.

c) D'origine atmosphérique: ils sont alors causés soit par la foudre qui frappe les conducteurs d'une ligne ou d'un poste, ou qui tombe dans leurs voisinage immédiat, soit par la tempête, le brouillard, le givre, qui produisent des effets mécaniques, ( tels que des rapprochements de conducteurs ) ou électriques ( alteration des surfaces d'isolateurs ) etc .

d) Consécutives à un régime transitoire qui entraîne des surtensions élevées et qui provoque ainsi le claquage d'isolants.

## - CARACTERES DES DEFAUTS:

Du point de vue statistique ( FRANCAISE ) on peut classer les défauts dans les catégories suivantes:.

- Défauts auto extincteurs, disparaissant spontanément, sans provoquer de déclenchement 25 %.
- Défauts fugitifs, nécessitant pour disparaître, une coupure très brève du réseau 55 % au total, dont 36 % n'affectant qu'une phase et la terre, 7 % deux phases isolées, et 4 % environ deux phases et la terre, ou trois phases.
- Défauts semi permanents exigent pour disparaître une ou plusieurs coupures relativement longues, de l'ordre de quelques dizaines de secondes, mais ne nécessitant pas l'intervention du personnel pour la reprise du service: 10 à 12 % dont la moitié sont monophasés.
- Défauts permanents qui provoquent le déclenchement, et nécessitent l'intervention du personnel : 8 à 10 % près de la moitié sont monophasés

- LEURS EFFETS:

L'apparition d'un court circuit dans les réseaux se traduit par la circulation de courants très importants, et de surtensions statiques sur les phases saines; dont leurs connaissances sont indispensables pour l'étude de certains problèmes, telsque

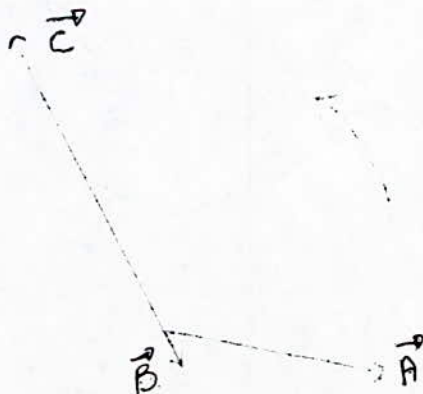
- L'échauffement des conducteurs, des transformateurs, des isolants, et des divers accessoires.
- Les efforts électrodynamiques dans les appareils les jeux de barres des postes, les dispositifs de fixation des conducteurs
- Pertes de synchronisme des alternateurs, qui intéressent l'étude de la stabilité de marche en parallèle des générateurs
- Tensions induites dans les circuits ou canalisations voisins des lignes, tels que les circuits de télécommunications

## II - METHODE DE CALCUL

- L'équilibrage symétrique des circuits, et l'équilibrage électrique des courants et des tensions permettent de traiter tous les problèmes des circuits triphasés comme si on avait affaire à des simples circuits monophasés, à la condition de donner à l'impédance de chaque phase une valeur effective spéciale qui tienne compte de l'action mutuelle des autres phases.
- Cette simplicité étant due à la symétrie des systèmes, mais le calcul du régime dissymétrique, provoqué dans un réseau par l'apparition d'un défaut réalisant un court circuit dissymétrique reste complexe.
- Si on raisonne sur le réseau triphasé, tel qu'il se présente, il faut tenir compte des couplages entre phases existants dans certains appareils, tels que les transformateurs, et même dans les lignes et câbles triphasés.
- La théorie des composantes symétriques permet alors de tourner la difficulté, et simplifie considérablement le problème d'analyse des régimes déséquilibrés dans un réseau.  
La méthode de calcul consiste alors à utiliser le principe de l'indépendance des trois systèmes de composantes symétriques pour remplacer un réseau affecté d'un défaut, par trois réseaux correspondant au trois composantes symétriques et totalement découplés entre eux.

### RAPPELS THEORIQUES SUR LES COMPOSANTES SYMETRIQUES

- Soit un système triphasé déséquilibré de grandeurs sinusoïdales qu'on représente pour 3 vecteurs  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{C}$  dans le plan de fresnel (par déséquilibré, on entend qu'il peut y avoir inégalité à la fois des amplitudes et des déphasages)

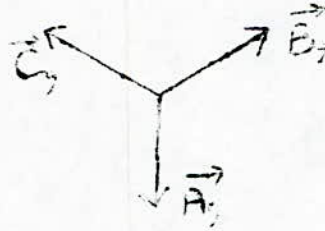


- On peut considérer ce système déséquilibré comme la superposition de trois systèmes équilibrés, l'un direct l'autre inverse le troisième homopolaire.

$$\begin{aligned}\vec{A} &= \vec{A}_0 + \vec{A}_1 + \vec{A}_2 \\ \vec{B} &= \vec{B}_0 + \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \\ \vec{C} &= \vec{C}_0 + \vec{C}_1 + \vec{C}_2\end{aligned}$$



Système direct



Système inverse



Système homopolaire

- Le système est direct car les 3 vecteurs tournent dans le sens antihoraire selon la succession  $A_1, B_1, C_1$ .  
Le système est inverse car les 3 vecteurs tournent dans le sens antihoraire selon la succession  $A_2, C_2, B_2$ .
- Les vecteurs équipollents  $\vec{A}_0, \vec{B}_0, \vec{C}_0$  constituent le système triphasé homopolaires.
- Si on désigne par (a) l'opérateur par lequel on multiplie l'expression analytique d'un vecteur pour désigner un autre vecteur de même module que le premier, mais décalé de  $2\pi/3$  dans le sens antihoraire.

$$\begin{aligned}a &= e^{j2\pi/3} = 0,5 + j\sqrt{3}/2 \\ a &= e^{-j2\pi/3} = 0,5 - j\sqrt{3}/2 \\ \text{avec } 1 + a + a^2 &= 0\end{aligned}$$

alors

$$\begin{aligned}\vec{A} &= \vec{A}_0 + \vec{A}_1 + \vec{A}_2 \\ \vec{B} &= \vec{A}_0 + a\vec{A}_1 + a^2\vec{A}_2 \\ \vec{C} &= \vec{A}_0 + a^2\vec{A}_1 + a\vec{A}_2\end{aligned}$$

- Les trois vecteurs  $\vec{A}_0, \vec{A}_1, \vec{A}_2$  sont appelés composantes symétriques des vecteurs  $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ .
- Les composantes symétriques sont définies par la transformation de Fortescue.

$$\begin{aligned}\vec{A}_1 &= \frac{1}{3} (\vec{A} + \lambda \vec{B} + \lambda^2 \vec{C}) \\ \vec{A}_2 &= \frac{1}{3} (\vec{A} + \lambda^2 \vec{B} + \lambda \vec{C}) \\ \vec{A}_0 &= \frac{1}{3} (\vec{A} + \vec{B} + \vec{C})\end{aligned}$$

On vérifie facilement que cette transformation est l'inverse de celle qui donne les vecteurs réels à partir de leurs composantes

- On peut calculer algébriquement les quantités complexes  $\vec{A}_0, \vec{A}_1, \vec{A}_2$  dès que l'on connaît les expressions algébriques des quantités  $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ . On peut aussi déterminer les vecteurs  $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$  par trois constructions géométriques traduisant chacune l'une des trois équations d'écrites ci dessus.

- APPLICATION PRACTIQUE DES COMPOSANTES SYMETRIQUES

- CE que l'on vient de dire a propos d'un système quelconque de vecteurs s'applique évidemment aux courants et aux tensions des systèmes triphasés déséquilibrés. Quelque soit le déséquilibre en un point du réseau, des courants  $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$  circulant dans les phases A; B; C, et le déséquilibre des tensions  $V_A, V_B, V_C$ . Ces courants et ces tensions peuvent toujours être considérés comme résultant de la superposition d'un système triphasé équilibré direct; d'un système triphasé équilibré inverse, et d'un système homopolaire. Cette décomposition en composantes symétriques n'est pas un artifice de calcul mathématique, elle correspond bien, en fait a une réalité physique.
- Vu que chacune de ces composantes symétriques se comporte différemment des autres, suivant la nature des appareils qui sont en jeu. La composante directe est celle qui engendre dans les armatures des moteurs, des champs tournant dans le sens direct, et par conséquent le couple utile.
- La composante inverse, au contraire engendre des champs tournant qui ne produisent que des couples de freinage.
- Et grâce à des montages ou de circuit filtrant appropriés on peut mesurer les composantes symétriques d'un système de tensions ou de courants déséquilibrés.

R EMARQUES

Dans toute l'étude qui va suivre, j'appellerai impédance directe du réseau  $Z_1 = R_1 + jX_1$  l'impédance cyclique par phase offerte au passage de courant ( $\underline{I}_1$ ) direct, les tensions directes seront notées ( $\underline{V}_1$ )

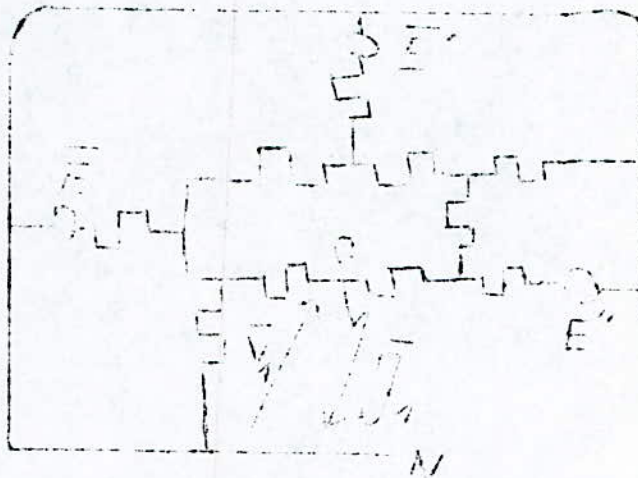
- Impédance inverse  $Z_2 = R_2 + jX_2$ , l'impédance cyclique offerte au passage des courants inverse ( $\underline{I}_2$ ), les tensions inverses seront notées ( $\underline{V}_2$ ).

- Et l'impédance homopolaire  $Z_0 = R_0 + jX_0$  l'impédance offerte au passage des courants constituant des systèmes homopolaire ( $\underline{I}_0$ ) et respectivement ( $\underline{V}_0$ ).



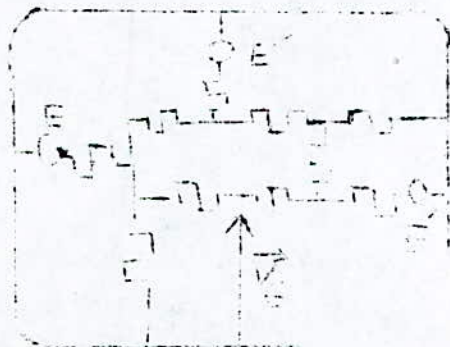


c) Régimes relatif au système direct Dans le schéma du réseau relatif au système direct interviennent les forces électromotrices  $E$ ,  $E'$ , ... des différentes machines tournantes. Et avant l'apparition du défaut, des courants normaux circulent dans les différentes branches du réseau, et le point G est soumis à une tension simple  $\bar{V}_G$ . Si les forces électromotrices se conservent, c'est à dire si elles gardent la même valeur après l'apparition du court circuit, le régime final ( représenté par le schéma suivant )

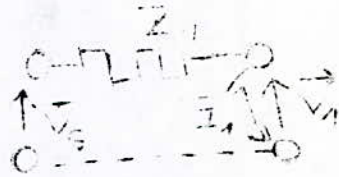
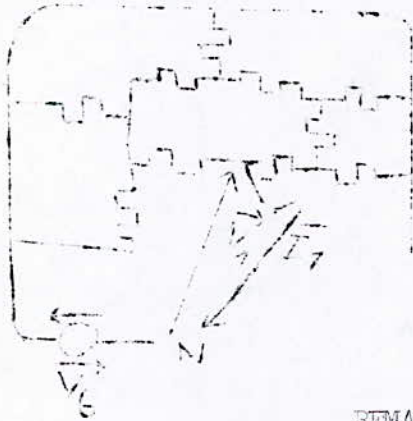


Correspondant à la présence des forces électromotrices  $E$ ,  $E'$ , ... et à celle de la tension directe  $\bar{V}_G$  au point  $G$ , peut être considéré comme la superposition des régimes suivantes

1°) Un premier régime, dans lequel les forces électromotrices ont leurs valeurs normales, et où le réseau n'est affecté d'aucun court circuit ( réseau avant l'apparition du court circuit, le courant dérivé à partir  $G$  est nul )



2°) Un deuxième régime dans lequel le réseau équivaut à une source de tension en série avec une impédance ( théorème de thévenin)  $V_G$  est la tension apparaissant en G quand on n'y a encore rien branché;  $Z_1$  est l'impédance du réseau vue de G, les générateurs étant supprimés et remplacés par leurs impédances internes.



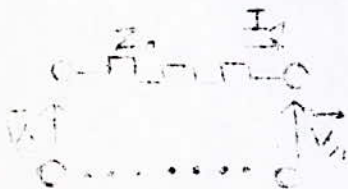
REMARQUES:

En pratique, ou bien on ne cherche à calculer que le courant dans le défaut, ou bien on a besoin de connaître certains courants et certaines tensions en d'autres points du réseau. Dans ce dernier cas il faut effectuer 4 Calculs de réseau relatifs au point a, b, et les deux régimes du point c.

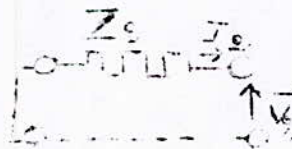
Cependant le premier régime du point C, ne sera pas pris en considération lors de cette étude, vu qu'on s'intéresse uniquement qu'à la valeur du courant de défaut, et ce régime n'introduit que les courants qui circulent dans le réseau avant l'apparition du court circuit et qui se superposent dans chaque branche au composantes du courant de défaut.

- CONDUITE DES CALCULS

1°) On établit les schémas monophasés équivalents du réseau vu de l'endroit G ou a eu lieu le défaut, pour le système direct, inverse, homopolaire.



Direct



Inverse



Homopolaire

A l'endroit du défaut on a les relations:

$$\begin{aligned}\bar{V}_0 &= Z_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_1 \\ 0 &= Z_2 \bar{I}_2 + \bar{V}_2 \\ 0 &= Z_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_0\end{aligned}$$

C'est un système de trois équations à six inconnues ( $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_0, \bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_0$ ).

2°) On écrit les relations établies par le défaut, qui sont au nombre de trois afin de pouvoir résoudre le système de 6 équations à 6 inconnues

3°) Des composantes des courants, et des tensions à l'endroit du défaut on passe aux composantes aux divers points du réseau et en les superposants on obtient les tensions et les courants réels

#### REMARQUES SUR LES IMPEDANCES:

- Il faut prendre garde que les impédances  $Z_0, Z_1, Z_2$  relations aux systèmes homopolaires, direct, inverse n'ont pas la même valeurs dans les différents éléments qui constituent un réseau (machines, transformateurs, lignes, câbles etc...), mais on peut retenir quelques résultats d'ordre général.

1°) Tous les éléments qui ne comptent pas de parties tournantes (et dont les phases sont géométriques équilibrées) présentent, au passage des courants **polyphasés** symétriques une impédance qui ne dépend pas de la succession de phases, des tensions appliquées à leurs bornes pour **tous les éléments statiques** (transformateurs, lignes ...). l'impédance directe  $Z_1$  est identique à  $Z_2$ .

2°) Les machines tournantes, au contraire présentent, aux passages des courants du système direct une impédance  $Z_1$ , généralement différente de l'impédance  $Z_2$  qui intervient dans le système inverse.

3°) Pour le système homopolaire, la configuration du schéma monophasé équivalent diffère généralement de celle présentée par les deux autres systèmes, l'impédance homopolaire n'ayant une valeur finie que pour les parties du réseau situées entre deux points neutre reliés par le sol ou un conducteur neutre

Même s'il y a des impédances dans le neutre, on utilise le schéma monophasé avec neutre d'impédance nulle comme pour les autres systèmes en remplaçant ces impédances par des impédances triples dans les fils de phase;

Pour la plupart des appareils, mêmes statiques, l'impédance homopolaire diffère des impédances directes et inverse car il s'agit d'un système de somme triple et non nulle, les effets de couplages inductifs ou capacitifs sont différents.

- VALEURS DES IMPEDANCES DES ELEMENTS DE RESEAU:

A) Impédances des machines synchrones

Les alternateurs, ont une réactance directe variable dans le temps, réactance subtransitoire  $X_d''$ , transitoire  $X_d'$ , et synchrone  $x_d$ , par contre la réactance inverse est constante, et elle est en pratique égale à la valeur de la réactance subtransitoire.

- La réactance homopolaire est évidemment infinie si les enroulements statoriques sont couplés en triangle ou en étoile avec neutre isolé. S'ils sont couplés en étoile avec neutre relié à la terre, la réactance homopolaire devient de l'ordre de la moitié de la réactance  $x_d''$ .
- Les ordres de grandeurs de ces réactances sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

REACTANCES EN % DE $U^2 / P_n$	MACHINES A POLES LISSE	MACHINES A POLES SAILLANT
Subtransitoire	10 à 20	15 à 25
Transitoire	15 à 25	25 à 35
Synchrone	150 à 230	70 à 100
Inverse	15 à 20	15 à 25
Homopolaire	5 à 10	7 à 15

- La résistance ohmique  $R$  de l'enroulement du stator est toujours très faible devant les réactances  $jx_d''$ ,  $jx_d'$  et a fortiori  $jx_d$ , on ne commet donc aucune erreur appréciable en la négligeant devant les réactances.

### B) Impédances des transformateurs

- Les impédances directes et inverses sont égales: les valeurs relatives sont généralement comprises entre:

- 4 % transformateur ( MT / BT )

- 7 à 13 % pour les transformateur ( THT/HT)

L'impédance monopolaire dépend de la position du neutre par rapport à la terre, du type d'enroulement et aussi de la nature du circuit magnétique.

Les différents cas de transformateurs à deux enroulements ou 3 enroulements sont rassemblés dans les tableaux I , II , III

- N.B. /

Le schéma électrique monophasé des transformateurs a trois enroulements et toujours représenté en étoile, et il est en plus ramené à la tension nominale et la puissance de l'enroulement HT.

Les relations liant les valeurs relatives des impédances de court circuit aux valeurs d'impédances de l'étoile équivalente sont:

$$\left. \begin{aligned} X_{12} &= X_{11} + X_{22} \\ X_{23} &= X_{22} + X_{33} \\ X_{31} &= X_{33} + X_{11} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} X_{11} &= \frac{1}{2} (X_{12} + X_{31} - X_{23}) \\ X_{22} &= \frac{1}{2} (X_{23} + X_{12} - X_{31}) \\ X_{33} &= \frac{1}{2} (X_{31} + X_{23} - X_{12}) \end{aligned}$$

$X_{12}$  est la valeur de la tension de court circuit relative entre l'enroulement 1 et 2, l'enroulement 3 étant ouvert

### C) Impédances des lignes aériennes

- Les impédances directes et inverses sont égales, les formules exactes qui expriment  $X_1$ ,  $X_2$  sont très compliquées, du fait du mode de fabrication et de pose:

Mais on peut retenir les valeurs suivantes pour les lignes de transport d et de repartition

$$X_1 = j 0,4 \Omega / \text{km}$$

$$X_0 = 3 X_1$$

- L'expérience montre que le terme réel peut être négligé pour toute ligne dont l'angle d'impédance ( $\arctg \frac{L\omega}{R}$ ) est supérieur à  $50^\circ$  ce qui conduit pratiquement à négliger la résistance des lignes HT et THT.

#### D) Impédances des charges:

- Pour l'étude du courant initial de court-circuit et du courant maximum, les charges ont une contribution notable à la valeur de ces courants

Mais dans la pratique c'est très délicat de prendre en considération l'influence des charges: si on les néglige on fausse les impédances réfléchies de chacun des dipôles correspondant au régime direct inverse et trompolaire.

On contourne cette difficulté, en augmentant la valeur du courant par des coefficients: par exemple on évalue la tension de Thevenin  $V_G$  comme étant égale à  $1,1 V_n$

$$V_G = 1,1 V_n$$

TABLEAU. I

Reactance homopolaire des transformateurs

Groupement		Schema Unifilaire equivalent	Valeur de la reactance homopolaire vue des transf.	
Primaire	secondaire		au bornes du primaire	au bornes du secondaire
			infinie	infinie
			infinie	infinie
			flux libre infinie	infinie
			flux force $X_H = 10 \text{ à } 15$ fois $X_{cc}$ .	infinie.
			$X_{12} = X_{cc}$	$X_{12} = X_{cc}$
			infinie	infinie
			$X_{12} = X_{cc}$ .	infinie

TABLEAU II

Reactance monopolaire des lignes formales.

Groupement		Schema Unifilaire equivalent	Valeur de la reactance	
Primaire	Secondaire		Primaire	Secondaire
			infinie	infinie.
			infinie	$X_{22} = 1\% \text{ de } S_m$
			flux libre. $\infty$	F. Libre. $\infty$
			flux force $X_{12} = 10 \text{ à } 15 \text{ fois } X_{ec}$	F. Force $\infty$
			infinie.	$X_{22} = 1\% \text{ } S_m$ .
			F. Libre. $\infty$	F. Libre $X_{22} = 1\% \text{ } S_m$ .
			F. Force $X_{12} = 10 \text{ à } 15 \text{ fois } X_{ec}$	F. F. $X_{22} = 1\% \text{ } S_m$ .
			infinie	infinie.



Primaire	secondaire	tertiaire	Schema Unifilaire	Primaire	secondaire	tertiaire
				$X_1 + \frac{(X_2 + X_3)(X_01 + X_03)}{X_2 + X_3 + X_01 + X_03}$	$X_2 + \frac{(X_1 + X_01)(X_3 + X_03)}{X_1 + X_3 + X_01 + X_03}$	$X_3 + \frac{(X_1 + X_01)(X_2 + X_02)}{X_1 + X_2 + X_01 + X_02}$
				flux libre: $\infty$ flux fixé $X_{11} = 10 \text{ à } 15$ fois $X_{12}$	$\infty$	$\infty$
				$X_0 = X_1 + X_2$	$\infty$	$\infty$
				$X_1 + \frac{X_2 X_3}{X_2 + X_3}$	$\infty$	$\infty$
				$X_1 + \frac{X_2 (X_3 + X_03)}{X_2 + X_3 + X_03}$	$\infty$	$X_3 + \frac{X_2 (X_1 + X_01)}{X_1 + X_2 + X_01}$
				$X_0 = X_1 + X_2$ $X_0 = X_{12}$	$\infty$	$X_{33} = 1\% S_m$



2<sup>ème</sup> CHAPITRE

COURT CIRCUIT

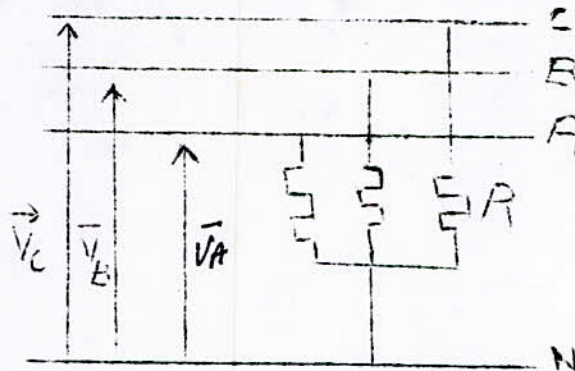
TRIPHASE

METHODE DE CALCUL

REPRESENTATION GRAPHIQUE

ALCUL DU COURANT DE COURT CIRCUIT TRIPHASE DANS UN RESEAU:

- Les cas de court circuit tripolaires sont relativement rares de l'ordre de 5 % des défauts qui peuvent affecter un réseau, on les symbolise par 3 PN. Malgré sa faible probabilité, il représente un élément essentiel dans l'étude de n'importe quel réseau, et on le fait toujours.



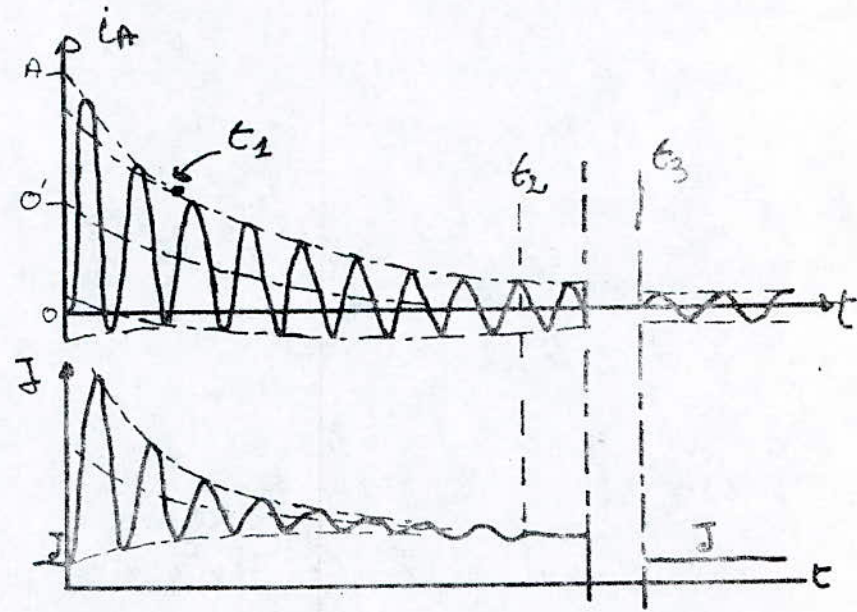
Par application du théorème de the~~v~~enin, le courant de court circuit triphasé aura pour valeur.

$$\bar{I}_{Tcc} = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + R}$$

Ou  $\bar{V}_G$  est la tension qui existait entre le point de court circuit G et le neutre avant le défaut.

$Z_1$  l'impédance directe du réseau vue entre ces 2 Borne, les générateurs étant remplacés par leurs impédances internes, R = résistance de court circuit.

- Si on met brusquement en court circuit triphasé un alternateur arotor lisse fonctionnant à vide, avec un courant d'excitation J on observe.



- 3)- T1 époque de l'extinction complète de la composante aperiodique de l'amortisseur, à laquelle correspond la réactance subtransitoire notée  $X_d''$ .
- T2 époque de l'extinction complète de la composante aperiodique du stator, à cet instant intervient la réactance transitoire  $X_d'$ .
- T3 époque de l'établissement du régime permanent à laquelle correspond la réactance synchrone  $X_d$ .

Le courant initial de court circuit correspond à  $i'A/\sqrt{2}$

ETUDE DU MODULE DU COURANT DE COURT CIRCUIT 3PN

La résistance directe du réseau est très petite devant  $X_1$  on peut la négliger on aura alors.

$$\overline{I_{tci}} = \frac{\overline{V_G}}{Z_1 + R} = \frac{\overline{V_G}}{(R_1 + R) + jX_1} \quad \text{comme} \quad R_1 + R \ll X_1$$

$$\overline{I_{tci}} = \frac{\overline{V_G}}{jX_1} \Rightarrow \boxed{\overline{I_{tci}} = \frac{V_G}{X_1}}$$

3<sup>em</sup> CHAPITRE

COURT CIRCUIT

MONOPHASE

- Analyse du courant total monophasé
- Analyse des tensions au point de court circuit
- Analyse du rapport courant monophasé /courant triphasé
- Tableaux de valeurs
- Courbes  $I_{mon}/I_{trip}$
- Analyse du rapport ( $V_c$ ) tension simple/ tension nominale
- Tableau de valeurs
- Courbes  $V_c/ V$  nominale
- Analyse du rapport  $U_{BC}/ U'$  nominale
- Tableau de valeurs
- Courbes  $U_{BC}/ U$  nominale



de la relation (6) on en déduit.

$$\bar{V}_A = R \bar{I}_A = (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_0)$$

Si on fait la somme des relations (1) + (2) + (3) on obtient

$$\bar{V}_G = Z_1 \bar{I}_1 + Z_2 \bar{I}_2 + Z_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_0$$

$$\bar{V}_G = (Z_1 + Z_2 + Z_0) \frac{1}{3} \bar{I}_A + R \bar{I}_A$$

$$\Rightarrow 3 \bar{V}_G = [Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R] \bar{I}_A$$

$$= \boxed{\bar{I}_A = \frac{3 \bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R}}$$

## 2°) /- ) ANALYSE DES TENSIONS AU POINT DE COURT CIRCUIT

de (1) on tire  $\bar{V}_1 = \bar{V}_G - Z_1 \bar{I}_1$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_G - Z_1 \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} = \frac{[Z_2 + Z_0 + 3R] \bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R}$$

de (2) on tire  $\bar{V}_2 = -Z_2 \bar{I}_2 = \frac{-Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \bar{V}_G$

de (3) on tire  $\bar{V}_0 = -Z_0 \bar{I}_0 = \frac{-Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \bar{V}_G$

Sachant  $\bar{V}_B = \bar{V}_0 + a^2 \bar{V}_1 + a \bar{V}_2$

$$\Rightarrow \bar{V}_B = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left( -Z_0 + a^2 (Z_2 + Z_0 + 3R) - a Z_2 \right)$$



$$\bar{V}_B = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left( Z_2(\alpha^2 - a) + Z_0(\alpha^2 - 1) + 3\alpha^2 R \right)$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Rightarrow \alpha^2 - a = -j\sqrt{3}, \quad \alpha^2 - 1 = -\frac{3}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

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

Alors

$$\bar{V}_B = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left[ Z_2(-j\sqrt{3}) + Z_0\left(-\frac{3}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + 3\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)R \right]$$

$$\bar{V}_B = -\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\bar{V}_G}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R)} \left[ \sqrt{3}(Z_0 + R) + j(Z_0 + 2Z_2 + 3R) \right]$$

de même

$$\bar{V}_C = \bar{V}_0 + a\bar{V}_1 + \alpha^2\bar{V}_2$$

$$\Rightarrow \bar{V}_C = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left[ -Z_0 + a(Z_2 + Z_0 + 3R) - \alpha^2 Z_2 \right]$$

$$\bar{V}_C = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left[ Z_2(a - \alpha^2) + Z_0(a - 1) + 3aR \right]$$

$$= \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left[ Z_2(j\sqrt{3}) + Z_0\left(-\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + 3\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)R \right]$$

$$\bar{V}_C = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \left[ -\frac{3}{2}Z_0 - \frac{3}{2}R + j\frac{\sqrt{3}}{2}(2Z_2 + Z_0 + 3R) \right]$$

$$\bar{V}_C = \frac{-V_G}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \left[ \sqrt{3}(Z_0 + R) - j(Z_0 + 2Z_2 + 3R) \right]$$

sachant  $\bar{V}_A = R\bar{I}_A = R \cdot \frac{3\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R}$

$$\Rightarrow \bar{V}_A = \bar{V}_G \frac{3R}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R}$$

3°) INTENSITÉ DE LA TENSION COMPOSÉE

- La différence de potentiel entre le point B et C est facile à déterminer car on connaît et

$$\bar{U}_{BC} = \bar{V}_B - \bar{V}_C = -\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} \cdot j(Z_0 + 2Z_2 + 3R)$$

$$\Rightarrow \bar{U}_{BC} = \frac{-\sqrt{3}\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} j(Z_0 + 2Z_2 + 3R)$$

(-) ANALYSE DU RAPPORT COURANT PN/3PN

-LE courant totale de court circuit monophasé a pour valeur

$$\bar{I}_A = \frac{3\bar{V}_G}{z_0 + z_1 + z_2 + 3R} = \frac{3\bar{V}_G}{(R_0 + R_1 + R_2 + 3R) + j(X_0 + X_1 + X_2)}$$

-Sachant que les resistances R et R sont très petites, on les neglige afin d'établir les courbes uniquement en fonction  $X_0, X_1, X_2/R_0$  ce qui permet d'avoir  $I_A$  en module

$$I_A = \frac{3V_G}{[R_0 + (X_0 + X_1 + X_2)^2]^{1/2}}$$

En posant

$$\frac{X_2}{X_1} = I \Rightarrow X_2 = IX_1, \quad \frac{X_0}{X_1} = J \Rightarrow X_0 = JX_1$$

$$\frac{R_0}{X_1} = K \Rightarrow R_0 = KX_1$$

En faisant le rapport I monophasé sur Itriphase j'obtiens

$$\frac{I_{PN}}{I_{3PN}} = \frac{\frac{3V_G}{X_1 [K^2 + (J+I+1)^2]^{1/2}}}{\frac{V_G}{X_1}} = \frac{3}{\sqrt{K^2 + (J+I+1)^2}}$$

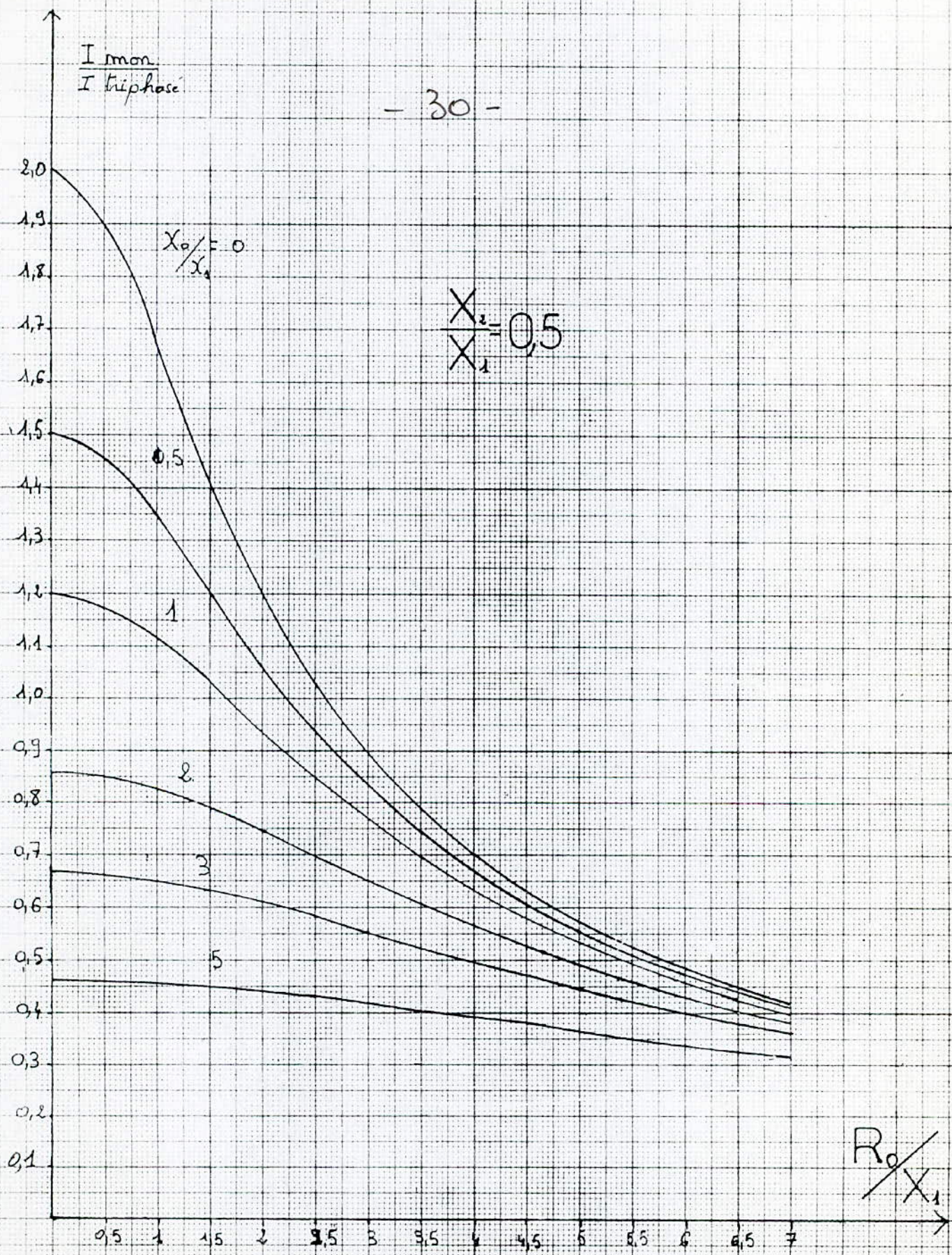
Pour  $\frac{X_2}{X_1} = 0,5$  et  $\frac{X_0}{X_1}$  variant comme parametre, on obtient le tableau (1)

et la famille de courbes lui correspondant de  $IPN/I3PN$  en fonction de  $R_0/X_1$   
c'est pareil pour  $\frac{X_2}{X_1} = 1$  et  $\frac{X_2}{X_1} = 1,5$

TABLE A.1  
IPN/ I3PN

$$\frac{X_2}{X_1} = 0,5$$

$\frac{X_2}{X_1}$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	2,00000	1,50000	1,20000	0,85714	0,66667	0,46154
0,5	1,89737	1,45521	1,17670	0,84853	0,66259	0,46018
1	1,66410	1,34164	1,11417	0,82416	0,65079	0,45617
1,5	1,41421	1,20000	1,02899	0,78784	0,63246	0,44972
2	1,20000	1,06066	0,93704	0,74421	0,60921	0,44113
2,5	1,02899	0,93704	0,84853	0,69749	0,58277	0,43078
3	0,89443	0,83205	0,76822	0,65079	0,55470	0,41906
3,5	0,78784	0,74421	0,69749	0,60609	0,52624	0,40637
4	0,70225	0,67082	0,63600	0,56443	0,49827	0,39307
4,5	0,63246	0,60921	0,58277	0,52624	0,47140	0,37947
5	0,57470	0,55709	0,53666	0,49154	0,44598	0,36583
5,5	0,52624	0,52621	0,49656	0,46018	0,42216	0,35233
6	0,48507	0,47434	0,46154	0,43189	0,40000	0,33914
6,5	0,44972	0,44113	0,43078	0,40637	0,37947	0,32636
7	0,41906	0,41208	0,40360	0,38333	0,36051	0,31405
7,5	0,39223	0,38649	0,37947	0,36247	0,34300	0,30228
8	0,36858	0,36380	0,35793	0,34356	0,32684	0,29104



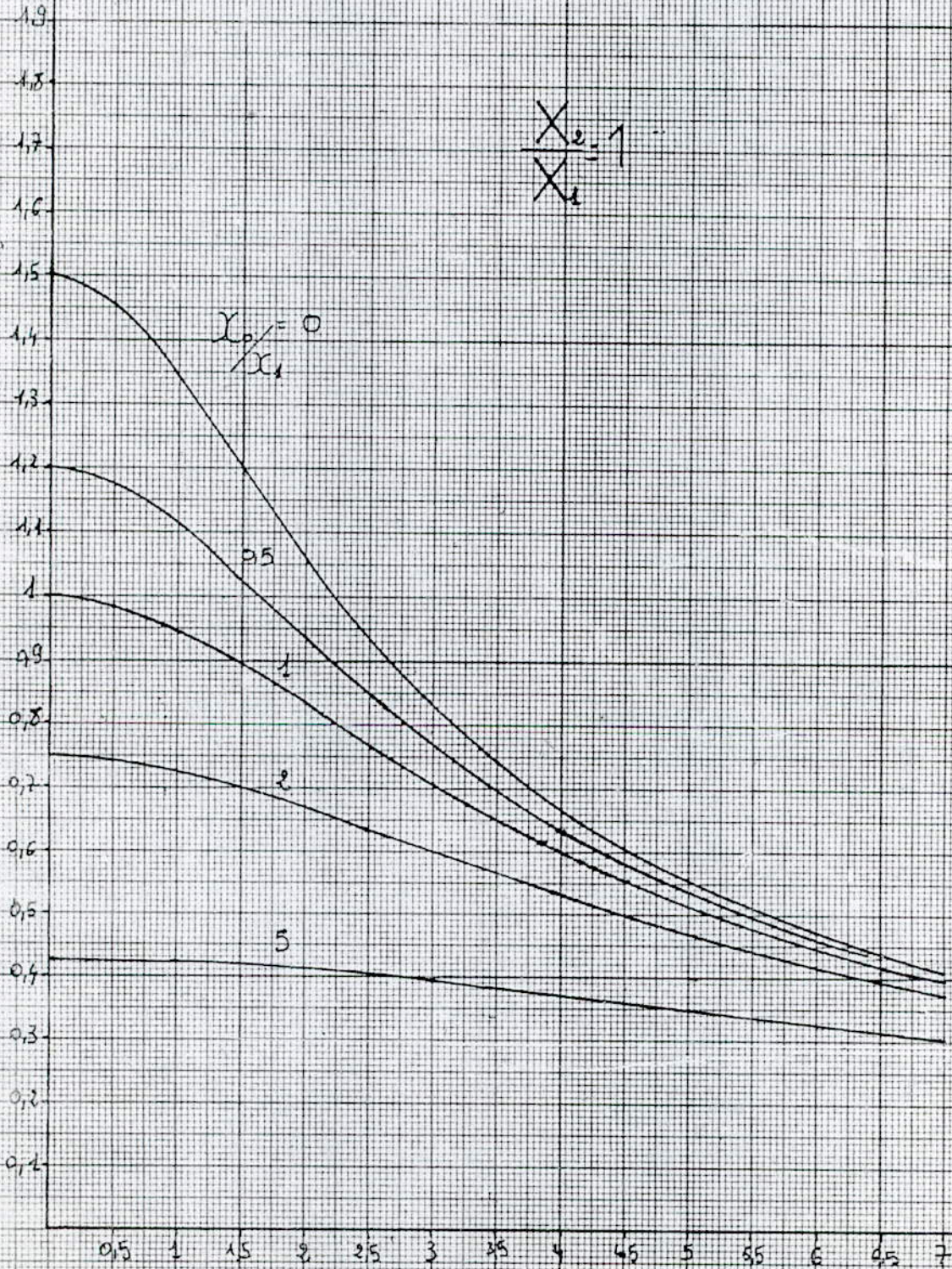
~~Π Α Β Γ Δ Ε Ζ Η~~  
~~Θ Ι Κ Λ Μ Ν Ξ~~  
~~Ο Π ρ σ τ υ φ χ ψ ω~~  
III° 2

$$\frac{X_2}{X_1} = 1$$

$R_0 / X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	1,5	1,2	1,00000	0,75	0,42857
0,5	1,45521	1,17670	0,98639	0,74421	0,42748
1	1,34164	1,11417	0,94868	0,72761	0,42426
1,5	1,2	1,02899	0,89443	0,70225	0,41906
2	1,06066	0,93704	0,83205	0,67082	0,41208
2,5	0,93704	0,84853	0,76822	0,63600	0,40360
3	0,83205	0,76822	0,70711	0,6	0,39392
3,5	0,74421	0,69749	0,65079	0,56443	0,38333
4	0,67082	0,63600	0,60000	0,53033	0,37210
4,5	0,60921	0,58277	0,55470	0,49827	0,36051
5	0,55709	0,53666	0,51450	0,46852	0,34874
5,5	0,51261	0,49656	0,47885	0,44113	0,33699
6	0,47434	0,46154	0,44721	0,41603	0,32543
6,5	0,44113	0,43078	0,41906	0,39307	0,31405
7	0,41208	0,40360	0,39392	0,37210	0,30305
7,5	0,38649	0,37947	0,37139	0,35294	0,29242
8	0,36380	0,35793	0,35112	0,33541	0,28222

$I_{mono}$   
 $I_{triphasic}$

32



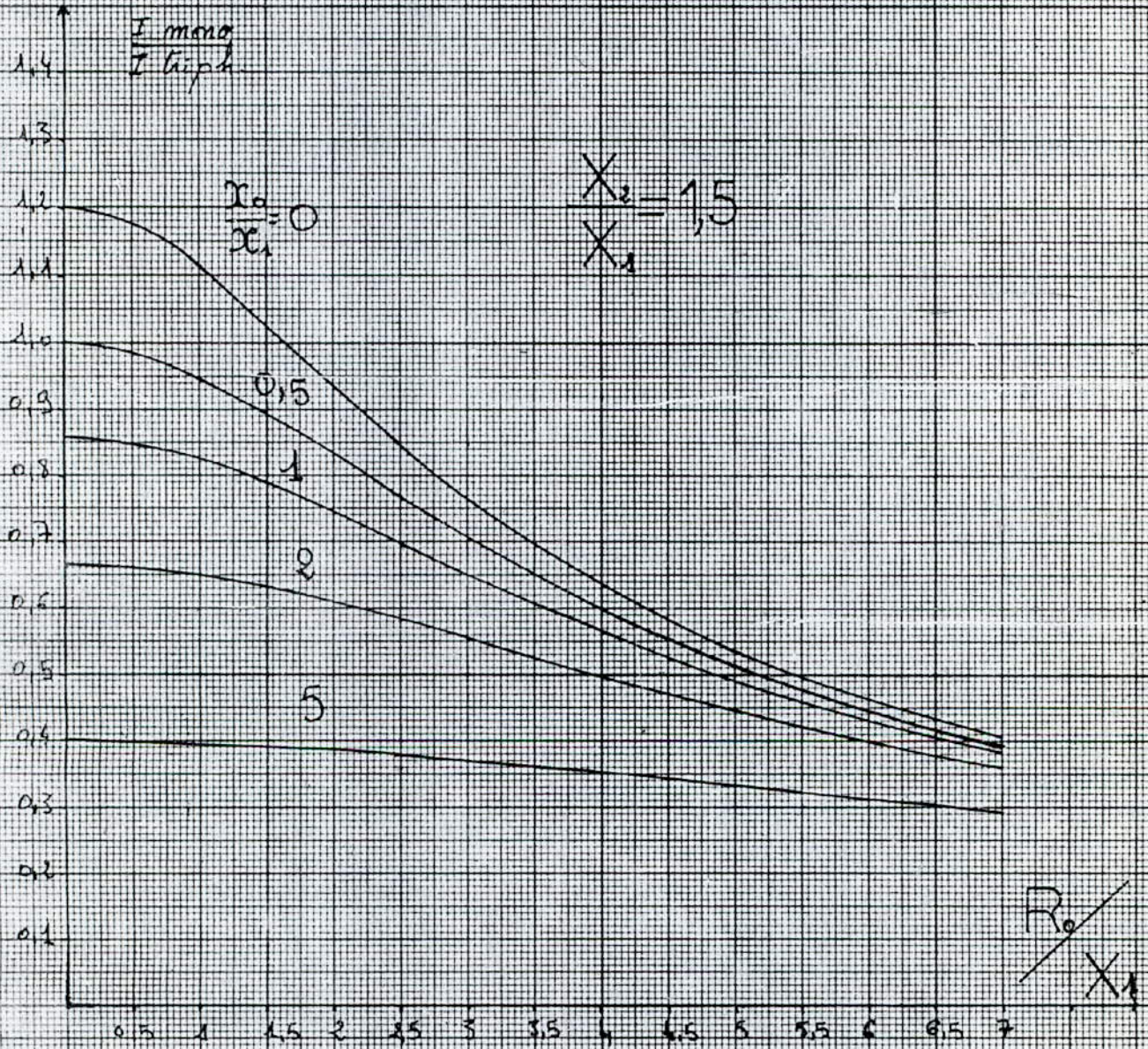
$R_0 / X_1$

~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~  
 -----  
III° 3

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$

$R_0 / X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	1,2	1,00000	0,85714	0,66667	0,4
0,5	1,17670	0,98639	0,84853	0,66259	0,39911
1	1,11417	0,94868	0,82416	0,65079	0,39649
1,5	1,02899	0,89443	0,78784	0,63246	0,39223
2	0,93704	0,83205	0,74421	0,60921	0,38649
2,5	0,84853	0,76822	0,69749	0,58277	0,37947
3	0,76822	0,70711	0,65079	0,55470	0,37139
3,5	0,69749	0,65079	0,60609	0,52624	0,36247
4	0,63600	0,6	0,56443	0,49827	0,35294
4,5	0,58277	0,55470	0,52624	0,47140	0,34300
5	0,53666	0,51450	0,49154	0,44598	0,33282
5,5	0,49656	0,47885	0,46018	0,42216	0,32256
6	0,46154	0,44721	0,43189	0,4	0,31235
6,5	0,43078	0,41906	0,40637	0,37947	0,30228
7	0,40360	0,39392	0,38333	0,36051	0,29242





(-1) ANALYSE EN RAPPORT (Vc) TENSION SEULE/TENSION NOMINALE

La tension au point de court circuit de la phase saine a pour expression

$$\bar{V}_c = -\frac{\sqrt{3}}{2} \bar{V}_G \left[ \frac{\sqrt{3}(Z_0+R) - j(Z_0+2Z_2+3R)}{Z_1+Z_2+Z_0+3R} \right]$$

Sous la forme plus développée on aura

$$\bar{V}_c = -\frac{\sqrt{3}}{2} \bar{V}_G \left[ \frac{\sqrt{3}(R_0+R+jX_0) - j(R_0+2R_2+3R+j(X_0+2X_2))}{(R_0+R_1+R_2+3R)+j(X_0+X_1+X_2)} \right]$$

Après simplification des résistances ohmiques directes et inverses on aura  $V_c$  en module

$$\bar{V}_c = \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{V}_c \left[ \frac{(\sqrt{3}K + j + 2I)^2 + (\sqrt{3}j - K)^2}{K^2 + (j + I + 1)^2} \right]^{1/2}$$

AV20

$$I = \frac{X_2}{X_1} ; J = \frac{X_0}{X_1} ; K = \frac{R_0}{X_1}$$

Sachant que la tension de thévenin  $V_G = 1,1 V_m$ , le rapport  $V_c/V_m$  a pour expression

$$\frac{V_c}{V_m} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1,1 \left[ \frac{(\sqrt{3}K + j + 2I)^2 + (\sqrt{3}j - K)^2}{K^2 + (j + I + 1)^2} \right]$$

Pour  $I = 0,5$  et  $J$  variant comme paramètre, on obtient le tableau (4) et la famille de courbes lui correspondant de  $V_c/V_m$  en fonction  $K = R_0/X_1$

cela et pareil pour  $I = 1$ ;  $I = 1,5$

tableau(5) et (6)

TABLE I

Fig 4

$$\frac{X_2}{X_1} = 0,5$$

$R_0 / X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$
0	0,63508
0,5	1,16393
1	1,53735
1,5	1,75059
2	1,86396
2,5	1,92366
3	1,95524
3,5	1,97183
4	1,98020
4,5	1,98395
5	1,98504
5,1	1,98505
5,2	1,98500
5,5	1,98459
6	1,98326
6,5	1,98142
7	1,97932

$R_0 / X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$
0	0,82500
0,5	1,10633
1	1,37813
1,5	1,58015
2	1,71500
2,5	1,80160
3	1,85687
3,5	1,89238
4	1,91542
4,5	1,93051
5	1,94041
5,5	1,94688
6	1,95105
6,5	1,95364
7	1,95515
7,5	1,95589
8	1,95610

~~IIII~~  $\bar{P}_2$  L E F A ~~IIII~~  
 -----  
~~IIII~~  $\bar{P}_4$

$$\frac{X_2}{X_1} = 0,5$$

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	1,00817	1,24728	1,38818	1,54408
0,5	1,16565	1,31261	1,42284	1,55837
1	1,34555	1,39625	1,46803	1,57661
1,5	1,50432	1,48418	1,51885	1,59786
2	1,62780	1,56627	1,57073	1,62108
2,5	1,71812	1,63747	1,62026	1,64523
3	1,78249	1,69648	1,66537	1,66943
3,5	1,82805	1,74412	1,70513	1,69296
4	1,86037	1,78203	1,73942	1,71530
4,5	1,88346	1,81202	1,76856	1,73614
5	1,90007	1,83571	1,79311	1,75529
5,5	1,91211	1,85444	1,81370	1,77270
6	1,92088	1,86930	1,83091	1,78840
6,5	1,92731	1,88114	1,84531	1,80247
7	1,93200	1,89061	1,85736	1,81503
7,5	1,93542	1,89822	1,86746	1,82619
8	1,93790	1,90435	1,87595	1,83611

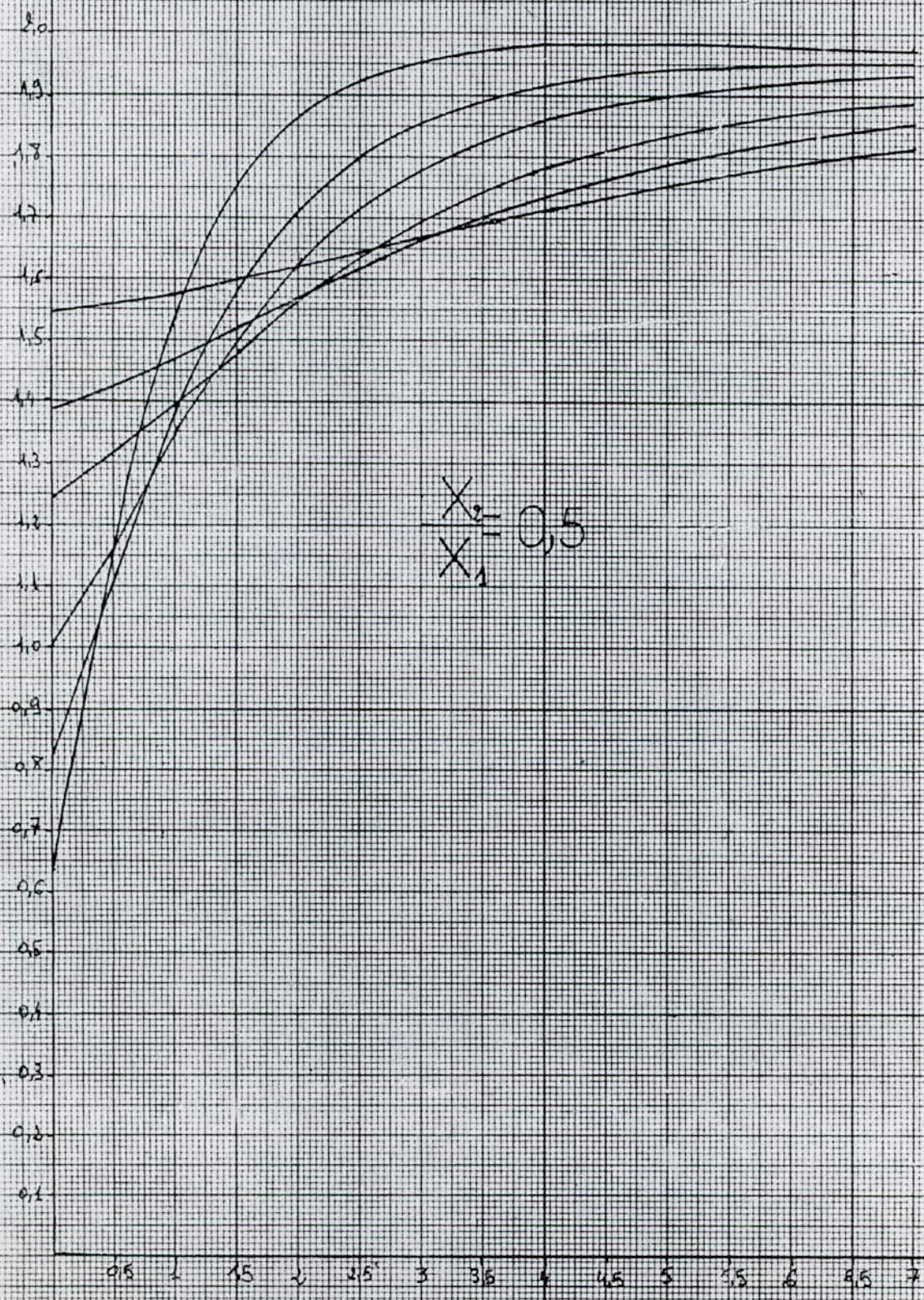
- 38 -

$$\frac{V_c}{V_m}$$

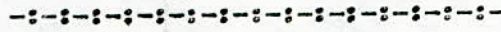
$\frac{x_0}{x_i}$   
0  
0,5  
1  
2  
3  
5

$$\frac{x_2}{x_1} = 0,5$$

$$\frac{R_0}{X_0}$$



# TABLE III



MP 5

$$\frac{X_2}{X_1} = 1$$

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_2}{X_1} = 0$
0	0,95263
0,5	1,34437
1	1,64604
1,5	1,84297
2	1,95974
2,5	2,02510
3	2,05991
3,5	2,07702
4	2,08398
4,3	2,08516
4,4	2,08520
4,5	2,08510
5	2,08291
5,5	2,07887
6	2,07385
6,5	2,06837
7	2,06275

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_2}{X_1} = 0,5$
0	1,00817
0,5	1,26513
1	1,49803
1,5	1,67862
2	1,80641
2,5	1,89226
3	1,94825
3,5	1,98407
4	2,00652
4,5	2,02021
5	2,02811
5,5	2,03221
6,1	2,03387
6,2	2,03390
6,5	2,03367
7	2,03247
7,5	2,03055

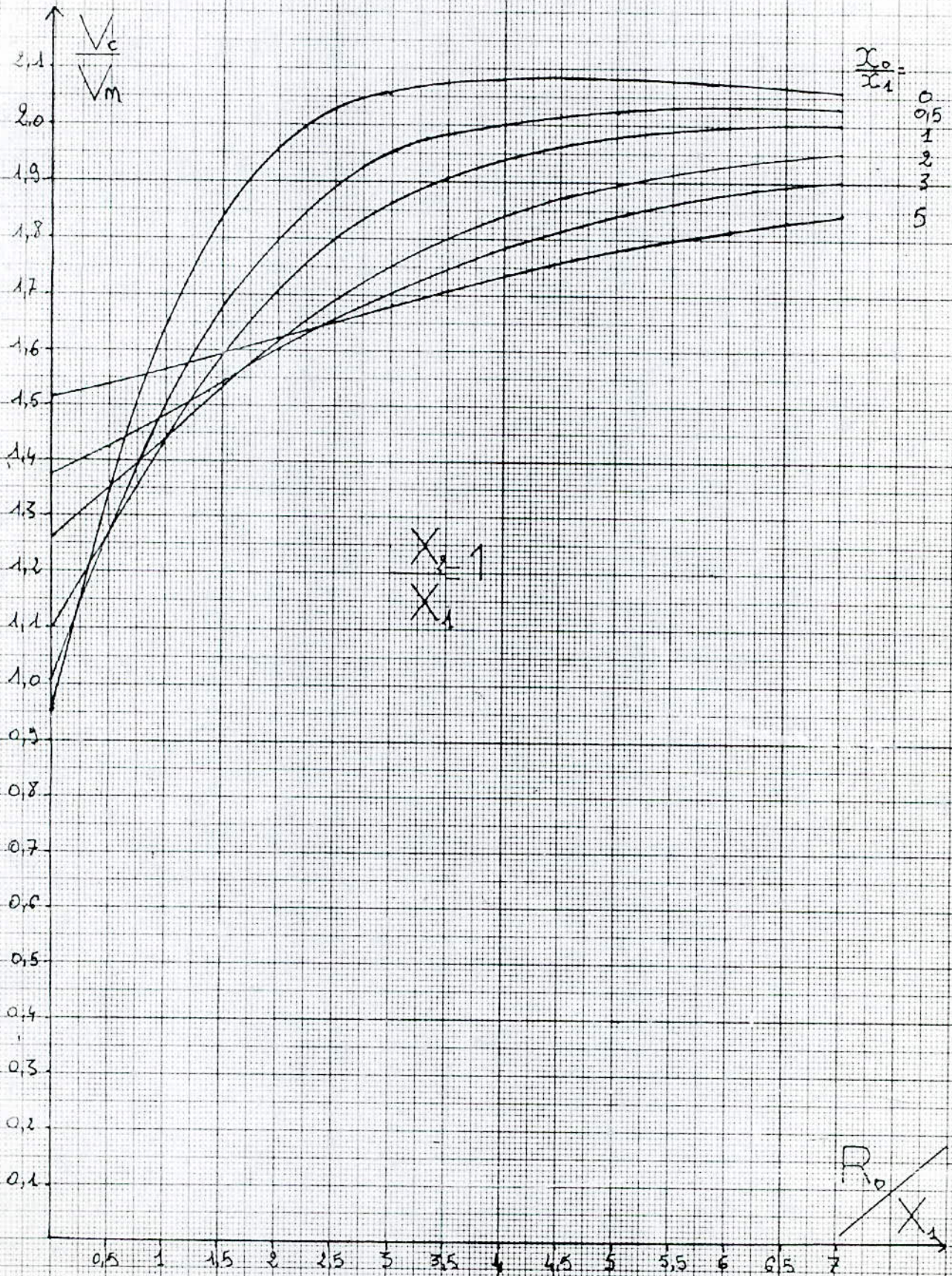
Таблица

-----

№ 5

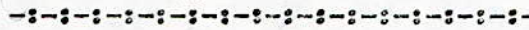
$\frac{X_2}{X_1} = 1$				
$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_1}{X_1} = 2$	$\frac{X_2}{X_1} = 3$	$\frac{X_3}{X_1} = 5$
0	1,1	1,26021	1,37390	1,51543
0,5	1,27093	1,34647	1,42455	1,53855
1	1,44247	1,44155	1,48204	1,56491
1,5	1,59132	1,53513	1,54193	1,59345
2	1,70935	1,62026	1,60048	1,62309
2,5	1,79792	1,69355	1,65501	1,65284
3	1,86223	1,75433	1,70399	1,68186
3,5	1,90804	1,80347	1,74681	1,70953
4	1,94030	1,84255	1,78352	1,73542
4,5	1,96282	1,87330	1,81455	1,75927
5	1,97839	1,89734	1,84052	1,78097
5,5	1,98900	1,91606	1,86211	1,80051
6	1,99607	1,93059	1,87998	1,81799
6,5	2,00061	1,94184	1,89472	1,83352
7	2,00332	1,95051	1,90685	1,84725
7,5	2,00472	1,95716	1,91683	1,85936
8	2,00516	1,96223	1,92502	1,86999

- 41 -





# TABLE I



MF 6

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$

$R_0$ \ $X_1$	
0	1,14315
0,5	1,45658
1	1,71116
1,5	1,89369
2	2,01336
2,5	2,08677
3	2,12912
3,5	2,15160
4	2,16168
4,5	2,16415
4,6	2,16402
4,7	2,16373
5	2,16201
5,5	2,15715
6	2,15073
6,5	2,14349
7	2,13590

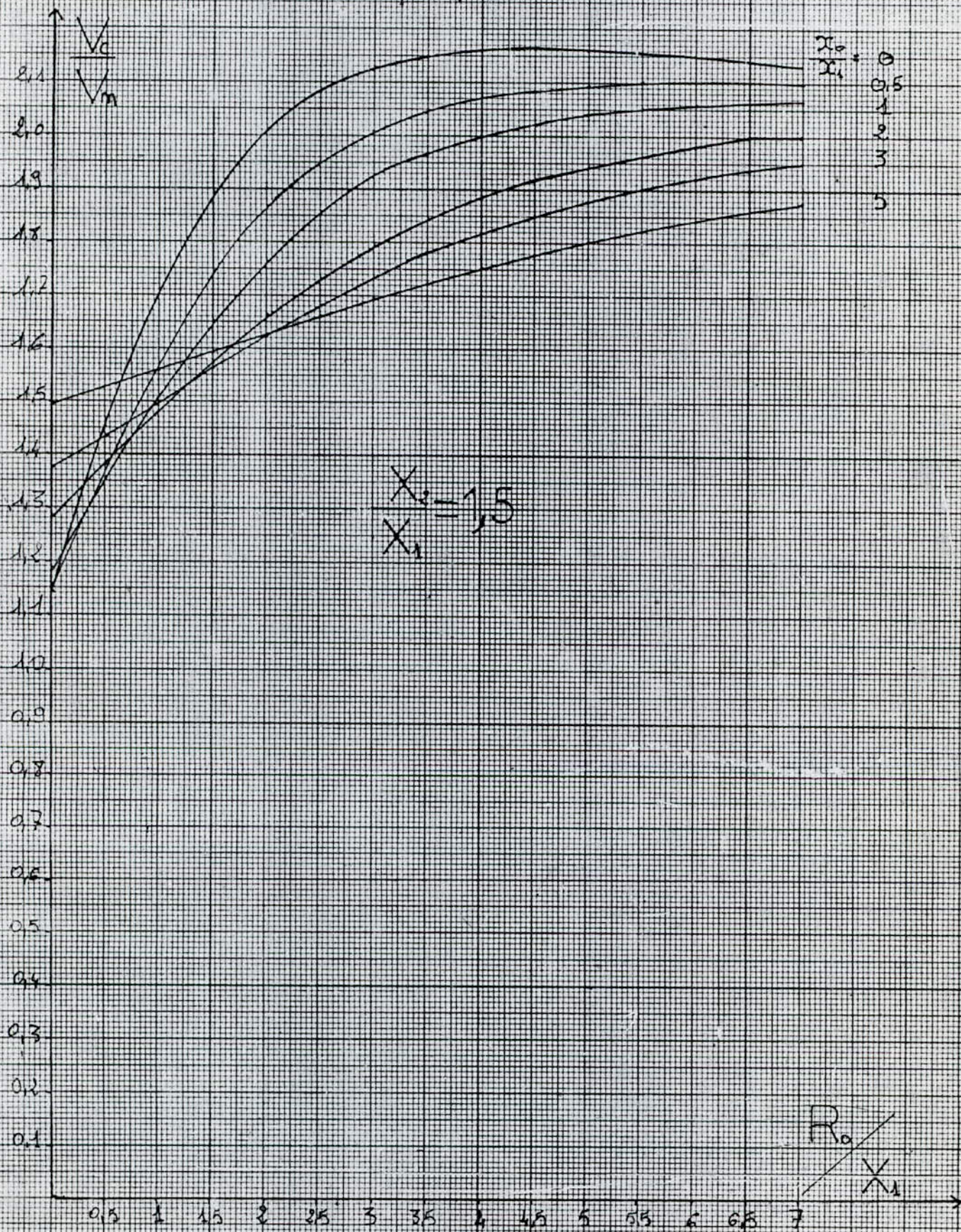
$R_0$ \ $X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$
0	1,14491
0,5	1,37233
1	1,57666
1,5	1,74130
2	1,86423
2,5	1,95125
3	2,01053
3,5	2,04966
4	2,07462
4,5	2,08982
5	2,09833
5,5	2,10232
5,8	2,10317
5,9	2,10325
6	2,10324
6,5	2,10211
7	2,09960

$\overline{IIA} \overline{P}_2 \quad \underline{L} \quad \underline{E} \quad \underline{A} \quad \underline{II}$   
 -----  
III° 6

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$

$\begin{array}{l} F_0 \\ \diagdown \\ X_1 \end{array}$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	1,18640	1,28769	1,37477	1,49751
0,5	1,35249	1,38283	1,43487	1,52713
1	1,51230	1,48147	1,49916	1,55933
1,5	1,65167	1,57609	1,56388	1,59302
2	1,76504	1,66169	1,62601	1,62718
2,5	1,85279	1,73578	1,68342	1,66088
3	1,91840	1,79782	1,73488	1,69337
3,5	1,96623	1,84852	1,77994	1,72410
4	2,00041	1,88922	1,81868	1,75269
4,5	2,02438	1,92145	1,85151	1,77892
5	2,04084	1,94671	1,87904	1,80272
5,5	2,05180	1,96633	1,90194	1,82411
6	2,05876	1,98144	1,92084	1,84320
6,5	2,06283	1,99297	1,93637	1,86011
7	2,06478	2,00167	1,94906	1,87502
7,5	2,06522	2,00814	1,95939	1,88812
8	2,06456	2,01285	1,96775	1,89958

- 9 9 -



$$\frac{X_0}{X_1} = 1,5$$

$$\frac{R_0}{X_1}$$

// → ANALYSE DU /- / APPORT  $U_{BC}$  / // / NOMINALE



La tension entre la phase B et C au point de court circuit à pour valeur.

$$\bar{U}_{BC} = -\sqrt{3} \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R} j(Z_0 + 2Z_2 + 3R)$$

Sachant

$$\bar{V}_G = 1,1 \bar{V}_m \quad \text{et que} \quad \bar{U}_{BCm} = \sqrt{3} \bar{V}_m$$

$$\Rightarrow \bar{V}_G = \frac{1,1}{\sqrt{3}} \bar{U}_{BCm}$$

En utilisant le changement de variable.

$$\frac{X_2}{X_1} = I; \quad \frac{X_0}{X_1} = J; \quad \frac{R_0}{X_1} = K$$

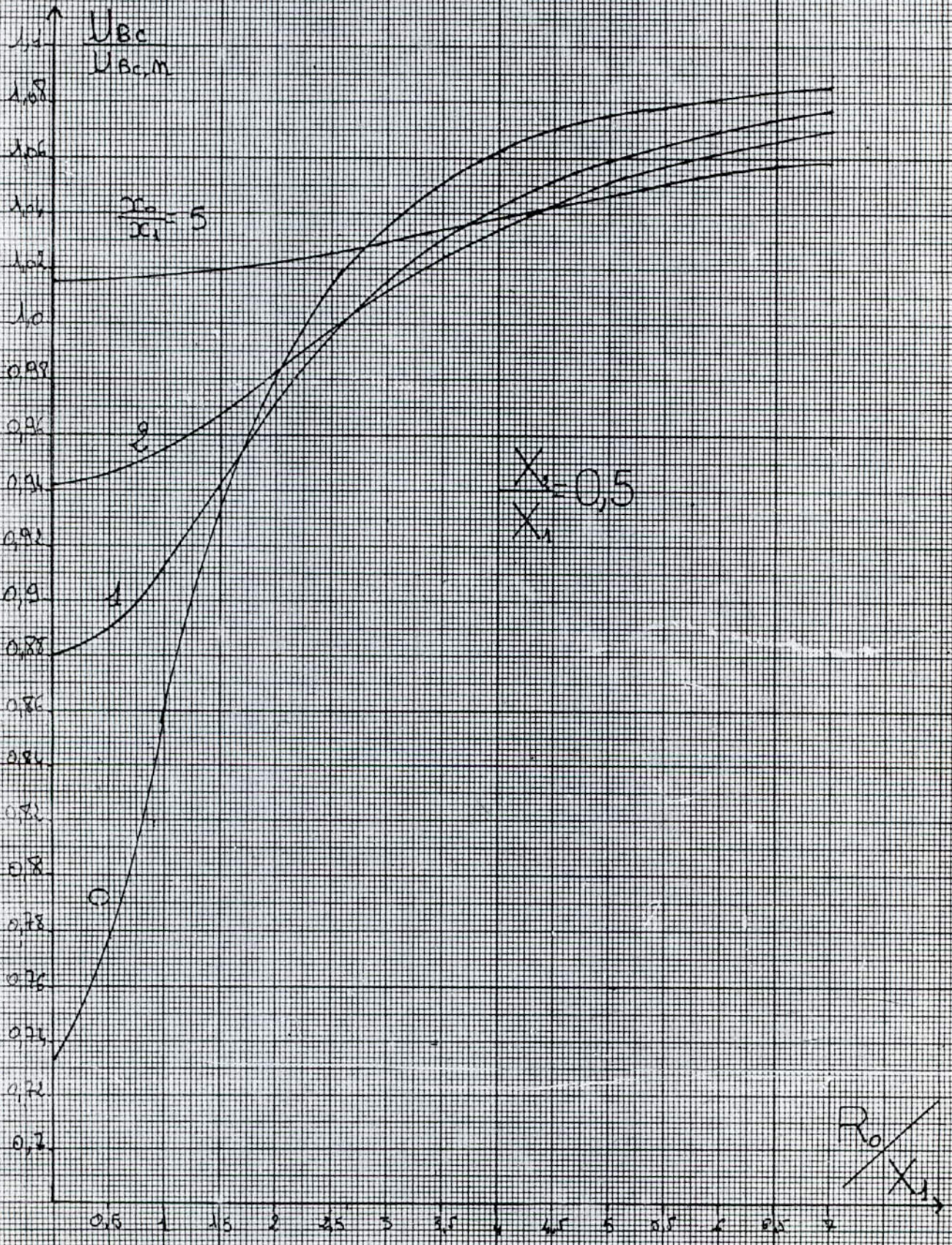
On aura:

$$\frac{U_{BC}}{U_{BCm}} = 1,1 \left[ \frac{(J+2I)^2 + K^2}{K^2 + (J+I+1)^2} \right]$$

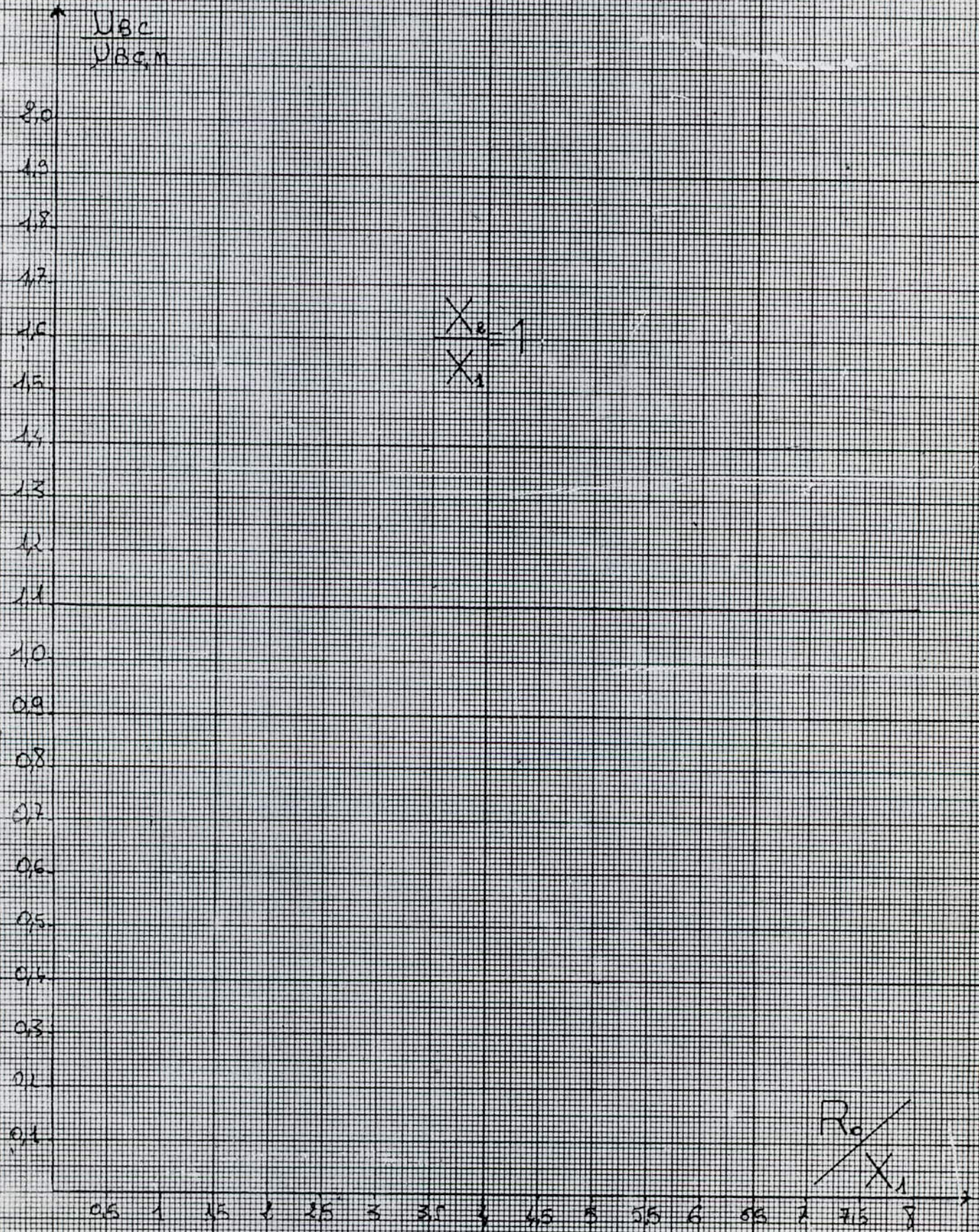
Les tableaux 7, 8 donnent les valeurs  $U_{BC} / U_{BCm}$  en fonction de  $R_0 / X_1$

Pour  $\frac{X_2}{X_1} = 1$ , on a quelque soit la valeur de  $\frac{R_0}{X_1}$  et  $\frac{X_0}{X_1}$   $\frac{U_{BC}}{U_{BCm}} = 1,1$ .





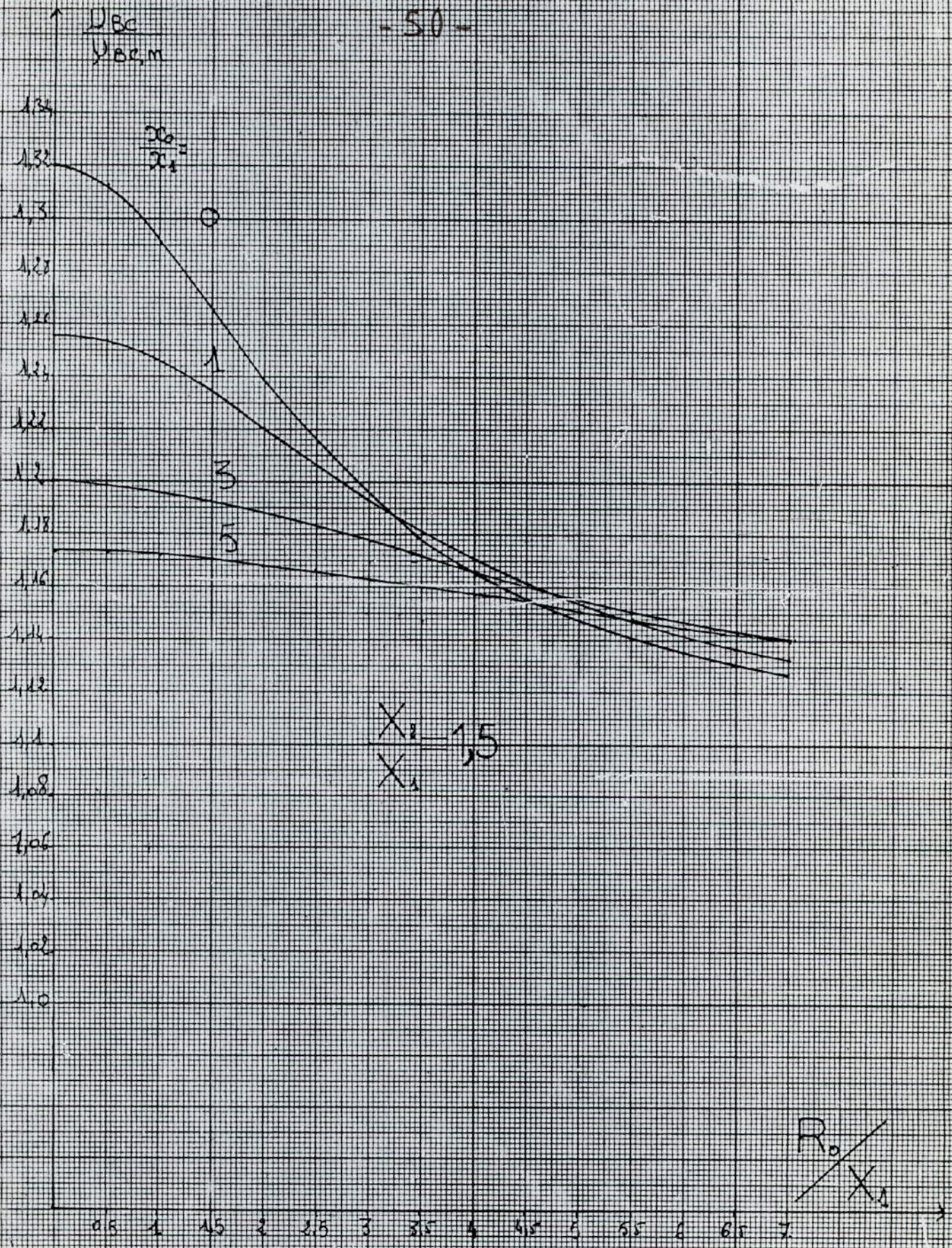
- 0.8



~~IIA P, L EFA II~~  
 -----  
~~III° {}~~

		$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$					
$R_0$	$X_1$	$\frac{X_0}{X} = 0$	$\frac{X_0}{X} = 1$	$\frac{X_0}{X} = 2$	$\frac{X_0}{X} = 3$	$\frac{X_0}{X} = 4$	$\frac{X_0}{X} = 5$
0		1,32000	1,25714	1,22222	1,20000	1,18461	1,17333
0,5		1,31222	1,25419	1,22081	1,19921	1,18414	1,17302
1		1,29188	1,24597	1,21675	1,19693	1,18273	1,17209
1,5		1,26549	1,23407	1,21055	1,19335	1,18048	1,17060
2		1,23880	1,22034	1,20292	1,18876	1,17754	1,16861
2,5		1,21499	1,20635	1,19452	1,18348	1,17405	1,16621
3		1,19507	1,19312	1,18596	1,17782	1,17020	1,16349
3,5		1,17893	1,18119	1,17764	1,17205	1,16613	1,16056
4		1,16600	1,17073	1,16985	1,16638	1,16199	1,15749
4,5		1,15567	1,16173	1,16272	1,16094	1,15788	1,15438
5		1,14738	1,15404	1,15629	1,15582	1,15388	1,15127
5,5		1,14069	1,14750	1,15057	1,15109	1,15007	1,14822
6		1,13523	1,14195	1,14550	1,14674	1,14646	1,14527
6,5		1,13076	1,13721	1,14103	1,14279	1,14309	1,14246
7		1,12704	1,13317	1,13710	1,13921	1,13996	1,13978
7,5		1,12394	1,12971	1,13364	1,13597	1,13707	1,13726
8		1,12132	1,12672	1,13058	1,13306	1,13440	1,13489



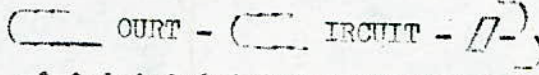



4 CHAPITRE

COURT CIRCUIT

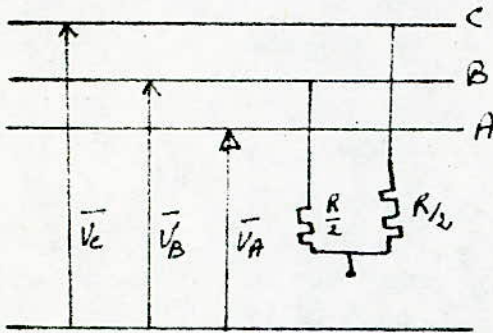
BIPHASE ISOLE

- Analyse du courant total Biphassé
- Analyse des tensions au point de court circuit
- Analyse du rapport courant Biphassé /courant triphasé
- Courbes I<sub>2P</sub> / I<sub>3PN</sub>


 COURT - (  ) CIRCUIT - // - PHASE  
 -----

Le symbole d'un tel défaut est - 2P- il a une probabilité de 10 %, comme il n'y a pas un contact avec le neutre, il n'y a pas l'apparition des composantes homopolaires.

1°)  ANALYSE DU COURANT BIPHASE



A l'endroit du défaut on a les relations  $\bar{V}_0 = Z_1 \bar{I}_1 + \bar{V}_1$  (1)

$$0 = Z_2 \bar{I}_2 + \bar{V}_2 \quad (2)$$

$$0 = Z_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_0 \quad (3)$$

Les relations établies par le défaut

$$\bar{I}_A = 0 \quad (4)$$

$$\bar{I}_B = -\bar{I}_C \quad (5)$$

$$\bar{V}_B - \bar{V}_C = R \bar{I}_B \quad (6)$$

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

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C) = \frac{1}{3} \bar{I}_A = 0$$

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{3} (\bar{I}_A + a \bar{I}_B + a^2 \bar{I}_C) = \frac{1}{3} [\bar{I}_A + (a - a^2) \bar{I}_B] = \frac{1}{3} (a - a^2) \bar{I}_B$$

$$\bar{I}_2 = \frac{1}{3} [\bar{I}_A + a^2 \bar{I}_B + a \bar{I}_C] = \frac{1}{3} [\bar{I}_A + (a^2 - a) \bar{I}_B] = \frac{1}{3} (a^2 - a) \bar{I}_B = -\bar{I}_1$$

du resultat  $\bar{I}_0 = 0$ , on trouve que  $\bar{V}_0 = 0$  car  $Z_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_0 = 0$

comme 
$$\bar{V}_0 = \frac{1}{3} [\bar{V}_A + \bar{V}_B + \bar{V}_C] = 0$$

en déduit que 
$$\bar{V}_A + \bar{V}_B + \bar{V}_C = 0 \Rightarrow \bar{V}_A = -(\bar{V}_B + \bar{V}_C)$$

et sachant que

$$\bar{V}_2 = \frac{1}{3} [\bar{V}_A + \alpha^2 \bar{V}_B + \alpha \bar{V}_C]$$

$$\bar{V}_1 = \frac{1}{3} [\bar{V}_A + \alpha \bar{V}_B + \alpha^2 \bar{V}_C]$$

en peut tirer

$$\bar{V}_1 = \frac{1}{3} [\bar{V}_B (\alpha - 1) + \bar{V}_C (\alpha^2 - 1)]$$

$$\bar{V}_2 = \frac{1}{3} [\bar{V}_B (\alpha^2 - 1) + \bar{V}_C (\alpha - 1)]$$

en remplaçant ces expressions dans les relations (1) - (2) on trouve

$$\bar{V}_G = Z_1 \bar{I}_1 + \frac{1}{3} [\bar{V}_B (\alpha - 1) + \bar{V}_C (\alpha^2 - 1)]$$

$$0 = -Z_2 \bar{I}_1 + \frac{1}{3} [\bar{V}_B (\alpha^2 - 1) + \bar{V}_C (\alpha - 1)]$$

si on fait la différence de ces 2 expressions:

$$\Rightarrow \bar{V}_G = (Z_1 + Z_2) \bar{I}_1 + \frac{1}{3} [\bar{V}_B (\alpha - \alpha^2) + \bar{V}_C (\alpha^2 - \alpha)]$$

$$= (Z_1 + Z_2) \bar{I}_1 + \frac{1}{3} (\bar{V}_B - \bar{V}_C) (\alpha - \alpha^2)$$

$$= (Z_1 + Z_2) \bar{I}_1 + \frac{1}{3} R \bar{I}_B (\alpha - \alpha^2)$$

comme

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{3} (\alpha - \alpha^2) \bar{I}_B = j \frac{\sqrt{3}}{3} \bar{I}_B$$

$$\Rightarrow \bar{V}_G = (Z_1 + Z_2 + R) \bar{I}_1$$

d'où

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + R}$$

$$\bar{I}_B = \frac{-j \sqrt{3} \bar{V}_G}{Z_1 + Z_2 + R} = -\bar{I}_C$$

2°) A) ANALYSE DES TENSIONS AU POINT DE COURT CIRCUIT

De la relation (1) et (2) on tire

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_G - z_1 \bar{I}_1$$

$$\bar{V}_2 = -z_2 \bar{I}_2 = z_2 \bar{I}_1$$

En utilisant les relations obtenues par les composantes symétriques

$$\begin{aligned} \bar{V}_A &= \bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2 = \bar{V}_1 + \bar{V}_2 \\ &= \bar{V}_G - z_1 \bar{I}_1 + z_2 \bar{I}_1 = \bar{V}_G + (z_2 - z_1) \bar{I}_1 \\ &= \bar{V}_G + \frac{(z_2 - z_1)}{z_2 + z_1 + R} \cdot \bar{V}_G \end{aligned}$$

$$\boxed{\bar{V}_A = \bar{V}_G \frac{2z_2 + R}{z_1 + z_2 + R}}$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_B &= a^2 \bar{V}_1 + a \bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_G - a^2 z_1 \bar{I}_1 + a z_2 \bar{I}_1 \\ &= a^2 \bar{V}_G + \bar{I}_1 (a z_2 - a^2 z_1) \\ &= a^2 \bar{V}_G + \frac{\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} (a z_2 - a^2 z_1) \end{aligned}$$

$$= \frac{\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} \left[ z_2 (a^2 + a) + a^2 R \right] \quad \text{comme}$$

$$= \frac{\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} \left[ -z_2 + a^2 R \right] \quad \text{et } a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\boxed{\bar{V}_B = \frac{-\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} \left[ \frac{R}{2} + z_2 + j \frac{\sqrt{3}}{2} R \right]}$$

$$\begin{aligned} - \bar{V}_C &= a \bar{V}_1 + a^2 \bar{V}_2 \\ &= a \bar{V}_G - a z_1 \bar{I}_1 + a^2 z_2 \bar{I}_1 \\ &= a \bar{V}_G + \bar{I}_1 (a^2 z_2 - a z_1) \\ &= a \bar{V}_G + \frac{\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} (a^2 z_2 - a z_1) \\ &= \frac{\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} [a(z_1 + z_2 + R) + a^2 z_2 - a z_1] \\ &= \frac{\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} [z_2 (a + a^2) + aR] \end{aligned}$$

$$\bar{V}_C = \frac{-\bar{V}_G}{z_1 + z_2 + R} \left[ \frac{R}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} R + z_2 \right]$$

II - TITRE DU COURT CIRCUIT BI-PHASE ISOLE

Sachant que  $R_1, R_2$  sont tres petites, on aura

$$|I_B| = \frac{\sqrt{3} V_G}{X_1 + X_2} \quad (\text{Court circuit biphasé isolé.})$$

$$|I_{tri\phi}| = \frac{V_G}{X_1} \quad (\text{Court circuit triphasé})$$

Le rapport  $\left| \frac{I_B}{I_{tri\phi}} \right| = \frac{\frac{\sqrt{3} V_G}{X_1 + X_2}}{\frac{V_G}{X_1}} = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{X_2}{X_1}}$

On remarque  $R_0, X_0$  n'interviennent pas dans ce rapport

$$\text{Pour } \frac{X_2}{X_1} = 0,5 \Rightarrow \frac{I_B}{I_{tri\phi}} = \frac{\sqrt{3}}{1+0,5} = 1,15470$$

$$\text{Pour } \frac{X_2}{X_1} = 1 \Rightarrow \frac{I_B}{I_{tri\phi}} = \frac{\sqrt{3}}{1+1} = 0,86602$$

$$\text{Pour } \frac{X_2}{X_1} = 1,5 \Rightarrow \frac{I_B}{I_{tri\phi}} = \frac{\sqrt{3}}{1+1,5} = 0,69282$$

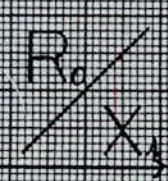
$\Delta I_{SP} / I_{SP}$

1.8  
1.6  
1.4  
1.2  
1.1  
1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1  
0

$$\frac{X_2}{X_1} = 0,5$$

$$\frac{X_2}{X_1} = 1$$

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$





5<sup>ème</sup>

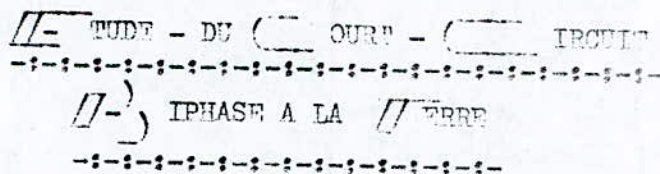
CHAPITRE

COURT

CIRCUIT

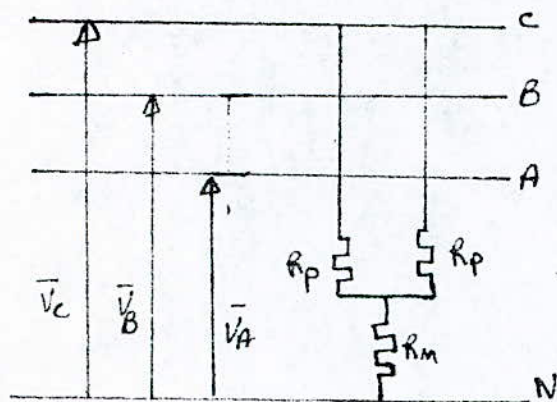
BIPHASE A LA TERRE

- Analyse du courant total
- Analyse des tensions au point de court circuit
- Analyse du courant biphase a la terre/ Courant triphase
- Tableaux de valeurs
- Courbes IB. terre / Itriphase
- Analyse du rapport ( VA ) tension ~~simple~~ / tension nominale
- Tableaux de valeurs
- Courbes VA / V nominale.



C'est un défaut entre 2 phases et la terre, c'est le cas de contournement de 2 isolateurs de phases voisines, ou dans les câbles pour l'amorçage de 2 conducteurs et l'enveloppe, il a comme symbole 2PN, et une probabilité de 20 %.

1°)  $\parallel$  - ) ANALYSE DU COURANT TOTAL



A l'endroit du défaut on a les relations

$$\bar{V}_G = Z_1 \bar{I}_1 + \bar{V}_1 \quad (1)$$

$$0 = Z_2 \bar{I}_2 + \bar{V}_2 \quad (2)$$

$$0 = Z_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_0 \quad (3)$$

Les relations établies par le défaut

$$\bar{I}_A = 0 \quad (4)$$

$$\bar{V}_B = R_p \bar{I}_B + R_m (\bar{I}_B + \bar{I}_C) \quad (5)$$

$$\bar{V}_C = R_p \bar{I}_C + R_m (\bar{I}_B + \bar{I}_C) \quad (6)$$

En utilisant les relations établies par les coordonnées symétriques

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C) = \frac{1}{3} (\bar{I}_B + \bar{I}_C)$$

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{3} (a \bar{I}_B + a^2 \bar{I}_C)$$

$$\bar{I}_2 = \frac{1}{3} (a^2 \bar{I}_B + a \bar{I}_C)$$

$$\begin{aligned}
 \bar{V}_1 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + a\bar{V}_B + a^2\bar{V}_C) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + a [R_p\bar{I}_B + R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)] + a^2 [R_p\bar{I}_C + R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)]) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)(a + a^2) + R_p(a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C)) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + R_p(a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C) - R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{V}_2 &= (\bar{V}_A + a^2\bar{V}_B + a\bar{V}_C) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + a^2 [R_p\bar{I}_B + R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)] + a [R_p\bar{I}_C + R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)]) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)(a + a^2) + R_p(a^2\bar{I}_B + a\bar{I}_C)) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + R_p(a^2\bar{I}_B + a\bar{I}_C) - R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{V}_0 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + \bar{V}_B + \bar{V}_C) \\
 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_A + (R_p + 2R_m)(\bar{I}_B + \bar{I}_C))
 \end{aligned}$$

Ce qui permet d'écrire les relations (1), (2), (3) sous la forme

$$\begin{aligned}
 \text{I} \quad \bar{V}_G &= \frac{Z_1}{3} (a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C) + \frac{1}{3} [\bar{V}_A + R_p(a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C) - R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)] \\
 \text{II} \quad 0 &= \frac{Z_2}{3} (a^2\bar{I}_B + a\bar{I}_C) + \frac{1}{3} [\bar{V}_A + R_p(a^2\bar{I}_B + a\bar{I}_C) - R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C)] \\
 \text{III} \quad 0 &= \frac{Z_0}{3} (\bar{I}_B + \bar{I}_C) + \frac{1}{3} [\bar{V}_A + (R_p + 2R_m)(\bar{I}_B + \bar{I}_C)]
 \end{aligned}$$

la relation III donne  $\bar{V}_A = -(Z_0 + R_p + 2R_m)(\bar{I}_B + \bar{I}_C)$   
 en remplaçant la valeur de  $\bar{V}_A$  dans les équations I et II et en réarrangeant ceux-ci on obtient :

$$\begin{aligned}
 3\bar{V}_G &= (a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C)(Z_1 + R_p) - R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C) - (Z_0 + R_p + 2R_m)(\bar{I}_B + \bar{I}_C) \\
 0 &= (a^2\bar{I}_B + a\bar{I}_C)(Z_2 + R_p) - R_m(\bar{I}_B + \bar{I}_C) - (Z_0 + R_p + 2R_m)(\bar{I}_B + \bar{I}_C)
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 3\bar{V}_G = (a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C)(z_1 + R_p) - (\bar{I}_B + \bar{I}_C)(z_0 + R_p + 3R_m) \quad (I)$$

$$0 = (a^2\bar{I}_B + a\bar{I}_C)(z_2 + R_p) - (\bar{I}_B + \bar{I}_C)(z_0 + R_p + 3R_m) \quad (II)$$

C'est un système de 2 équations à 2 inconnues  $\bar{I}_B, \bar{I}_C$  qui est simple à résoudre.

de l'équation II on tire

$$0 = \bar{I}_B [a^2(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)] + \bar{I}_C [a(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)]$$

$$\bar{I}_C = - \frac{[a^2(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)]}{[a(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)]} \bar{I}_B$$

en posant  $z_1 + R_p = \alpha$  ;  $z_0 + R_p + 3R_m = \gamma$  ;  $z_2 + R_p = \beta$   
la relation (I) peut s'écrire

$$\begin{aligned} 3\bar{V}_G &= (a\bar{I}_B + a^2\bar{I}_C)\alpha - (\bar{I}_B + \bar{I}_C)\gamma \\ &= \bar{I}_B(a\alpha - \gamma) + \bar{I}_C(a^2\alpha - \gamma) \\ &= \bar{I}_B(a\alpha - \gamma) + \frac{[(a^2\beta - \gamma)(a^2\alpha - \gamma)]}{a\beta - \gamma} \bar{I}_B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3\bar{V}_G(a\beta - \gamma) &= \bar{I}_B [(a\alpha - \gamma)(a\beta - \gamma) - (a^2\beta - \gamma)(a^2\alpha - \gamma)] \\ &= [a(a-1)(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma)] \bar{I}_B \\ &= [(a^2 - a)(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma)] \bar{I}_B \\ &= [-j\sqrt{3}(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma)] \bar{I}_B \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \bar{I}_B = \frac{3(a\beta - \gamma)}{-j\sqrt{3}(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma)} \bar{V}_G$$

$$\bar{I}_B = \frac{j\sqrt{3}(a\beta - \gamma)}{(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma)} \bar{V}_G$$

Le numérateur de cette expression peut se développer en :

$$\begin{aligned}
 N &= j\sqrt{3}(aB - \gamma') = j\sqrt{3}(a(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m))\sqrt{V_G} \\
 &= j\sqrt{3}\left[\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)\right]\sqrt{V_G} \\
 N &= -\frac{\sqrt{3}}{2}\left[\sqrt{3}(z_2 + R_p) + j(2z_0 + z_2 + 3R_p + 6R_m)\right]\sqrt{V_G}.
 \end{aligned}$$

le dénominateur  $= \alpha B + \alpha\gamma' + B\gamma' = \alpha B + \gamma'(\alpha + B)$ .

$$= (z_1 + R_p)(z_2 + R_p) + (z_0 + R_p + 3R_m)(z_2 + z_1 + 2R_p)$$

$$\Rightarrow \bar{I}_B = \frac{-\sqrt{3}\sqrt{V_G}\left[\sqrt{3}(z_2 + R_p) + j(2z_0 + z_2 + 3R_p + 6R_m)\right]}{2\left[(z_1 + R_p)(z_2 + R_p) + (z_0 + R_p + 3R_m)(z_2 + z_1 + 2R_p)\right]}$$

si je pose  $\Delta V = (z_1 + R_p)(z_2 + R_p) + (z_1 + z_2 + 2R_p)(z_0 + R_p + 3R_m)$

$$\Rightarrow \bar{I}_B = -\frac{\left[\sqrt{3}(z_2 + R_p) + j(2z_0 + z_2 + 3R_p + 6R_m)\right] \cdot \sqrt{3}\sqrt{V_G}}{2\Delta V}$$

de la relation  $\bar{I}_c = -\frac{[a^2(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)]}{[a(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m)]} \cdot \bar{I}_B$

on tire :

$$\bar{I}_c = \frac{(a^2B - \gamma')}{(aB - \gamma')} \cdot \frac{j\sqrt{3}(aB - \gamma')}{(\alpha B + \alpha\gamma' + B\gamma')} \cdot \sqrt{V_G}$$

$$\bar{I}_c = \frac{(a^2B - \gamma') j\sqrt{3}\sqrt{V_G}}{(\alpha B + \alpha\gamma' + B\gamma')} = -j\frac{\sqrt{3}}{\Delta V} (a^2B - \gamma')$$

La valeur  $j(\alpha^2\beta - \gamma) = j \left[ \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(z_2 + R_p) - (z_0 + R_p + 3R_m) \right]$   
 $= \frac{1}{2} \left[ \sqrt{3}(z_2 + R_p) - j(2z_0 + 3R_p + 6R_m + z_2) \right]$

$$\Rightarrow \bar{I}_c = \frac{-\sqrt{3} \bar{V}_G}{2 \Delta V} \left[ \sqrt{3}(z_2 + R_p) - j(2z_0 + z_2 + 3R_p + 6R_m) \right]$$

La valeur du courant qui passe par le neutre sera

$$\bar{I}_N = \bar{I}_B + \bar{I}_c = 3\bar{I}_0 = - \frac{3\sqrt{3} \bar{V}_G}{\Delta V} (z_2 + R_p)$$

$$\bar{I}_N = - \frac{3\sqrt{3} \bar{V}_G}{\Delta V} (z_2 + R_p)$$

2°) ANALYSE DES TENSIONS AU POINT DE COURT CIRCUIT.

La relation III donne  $\bar{V}_A = -(z_0 + R_p + 2R_m)(\bar{I}_B + \bar{I}_c)$   
 $= + \frac{3\sqrt{3} \bar{V}_G}{\Delta V} (z_2 + R_p)(z_0 + R_p + 2R_m)$

$$\Rightarrow \bar{V}_A = \frac{3\sqrt{3} \bar{V}_G}{\Delta V} (z_2 + R_p)(z_0 + R_p + 2R_m)$$

la relation (5) donne  $\bar{V}_B = R_p \bar{I}_B + R_m (\bar{I}_B + \bar{I}_c)$   
 $\bar{V}_B = R_p \bar{I}_B + R_m \bar{I}_N$

$$\bar{V}_B = -R_p \frac{\sqrt{3} \bar{V}_G [(Z_2 + R_p)\sqrt{3} - j(2Z_0 + Z_2 + 3R_p + 6R_m)]}{\Delta V} - \frac{3R_m \bar{V}_G (Z_2 + R_p)}{\Delta V}$$

$$\bar{V}_B = -\frac{\sqrt{3}}{2\Delta V} \bar{V}_G \left[ \sqrt{3}(Z_2 + R_p)(R_p + 2R_m) + jR_p(2Z_0 + Z_2 + 3R_p + 6R_m) \right]$$

La relation 6 donne :

$$\bar{V}_C = R_p \bar{I}_c + R_m (\bar{I}_B + \bar{I}_c) = R_p \bar{I}_c + R_m \bar{I}_m$$

$$\bar{V}_C = \frac{-\sqrt{3} \bar{V}_G}{2\Delta V} \left[ \sqrt{3}(Z_2 + R_p)(R_p + 2R_m) - jR_p(2Z_0 + Z_2 + 3R_p + 6R_m) \right]$$

// → ANALYSE DU /- } APPORT ( ) COURANT 2PN / COURANT 3PN  
 -----

- Le courant total de court circuit biphasé à la terre, a pour valeur:

$$\overline{I}_{2PN} = \frac{-\sqrt{3}}{2} \overline{V}_G \left[ \frac{\sqrt{3}(Z_2 + R_p) + j(2Z_0 + Z_2 + 3R_p + 6R_m)}{\Delta V} \right]$$

avec  $\Delta V = (Z_1 + R_p)(Z_2 + R_p) + (Z_1 + Z_2 + 2R_p)(Z_0 + R_p + 3R_m)$   
 ce qui donne en module,

$$\overline{I}_{2PN} = \frac{\sqrt{3}}{2} \overline{V}_G \left[ \frac{(2X_0 + X_2)^2 + (\sqrt{3}X_2 + 2R_0)^2}{(X_1X_2 + X_0X_1 + X_0X_2)^2 + R_0(X_1 + X_2)^2} \right]^{1/2}$$

avec les conventions  $\frac{X_2}{X_1} = I$  et  $\frac{X_0}{X_1} = J$ ,  $\frac{R_0}{X_1} = K$ .

Le rapport I biphasé à la terre sur I triphasé donne

$$\frac{\overline{I}_{2PN}}{\overline{I}_{3PN}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[ \frac{(2J + I)^2 + (\sqrt{3}I + 2K)^2}{(I + J + IJ)^2 + K^2(1 + I)^2} \right]^{1/2}$$

Pour  $I = \frac{X_2}{X_1} = 0,5$  et  $\frac{X_0}{X_1}$  variant comme paramètre de 0 à 5 on obtient le tableau 9 et la famille de courbes lui correspondant de

$\overline{I}_{2PN} / \overline{I}_{3PN}$  en fonction de  $X_0 / X_1$

c'est pareil pour  $\frac{X_2}{X_1} = 1$ ;  $\frac{X_2}{X_1} = 1,5$



TABLE III

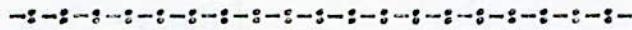


III 9

$$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$$

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 4$	$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	1,13578	0	1,13836	0	1,14052
0,5	1,15835	0,5	1,15182	0,5	1,14543
1	1,17852	1	1,16453	1	1,15806
1,5	1,19454	1,5	1,17568	1,5	1,16602
2	1,20594	2	1,18483	2	1,17302
2,5	1,21321	2,5	1,19187	2,5	1,17892
3	1,21723	3	1,19696	3	1,18369
3,7	1,21909	3,5	1,20038	3,5	1,18739
3,83	1,21910	4	1,20246	4	1,19013
3,9	1,21907	4,5	1,20351	4,5	1,19207
4	1,21899	4,9	1,20379	5	1,19333
4,5	1,21806	5	1,20380	5,5	1,19405
5	1,21650	5,1	1,20379	6	1,19435
5,5	1,21459	5,5	1,20354	6,1	1,19437
6	1,21251	6	1,20290	6,2	1,19437
6,5	1,21036	6,5	1,20199	6,5	1,19432
7	1,20822	7	1,20092	7	1,19405

IIA P, L E A U



III 9

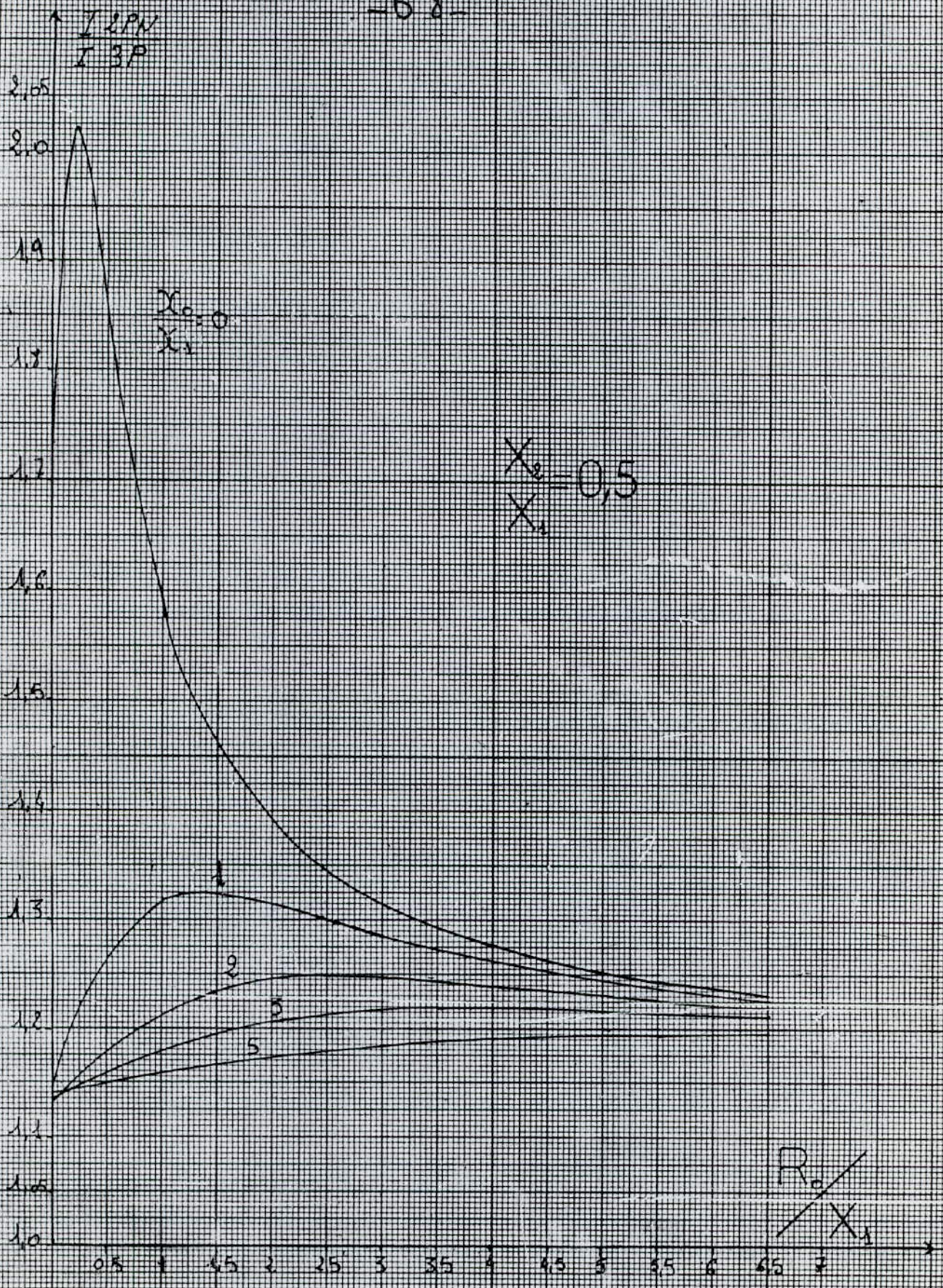
$$\frac{X_2}{X_1} = 0,5$$

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X}{X} = 0$
0	1,73205
0,1	1,95341
0,2	2,02166
0,3	1,99414
0,5	1,85606
1	1,59349
1,5	1,46470
2	1,39288
2,5	1,34768
3	1,31676
3,5	1,29432
4	1,27731
4,5	1,26397
5	1,25324
5,5	1,24443
6	1,23706
6,5	1,23081

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X}{X} = 1$
0	1,14564
0,5	1,26483
1	1,31746
1,3	1,32496
1,4	1,32511
1,5	1,32445
2	1,31401
2,5	1,29935
3	1,28503
3,5	1,27232
4	1,26137
4,5	1,25201
5	1,24401
5,5	1,23712
6	1,23116
6,5	1,22595
7	1,22139

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X}{X} = 2$
0	1,13389
0,5	1,17864
1	1,21337
1,5	1,23480
2	1,24515
2,5	1,24820
2,6	1,24823
2,7	1,24812
3	1,24708
3,5	1,24382
4	1,23961
4,5	1,23510
5	1,23063
5,5	1,22637
6	1,22239
6,5	1,21871
7	1,21533

-68-



# # A P, L E A III

-----

MM° 10

$$\frac{X_2}{X_1} = 1$$

$F_0$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$R_0$	$\frac{X_0}{X_1} = 0.5$	$R_0$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$
$X_1$		$X_1$		$X_1$	
0	1,73205	0	1,14564	0	1
0.1	1,84745	0,5	1,31134	0,5	1,11122
0.2	1,89355	0,6	1,31784	1	1,15012
0.3	1,88431	0,7	1,31826	1,1	1,15133
0,5	1,78158	0,8	1,31402	1,2	1,15104
1	1,49640	1	1,29644	1,5	1,14368
1,5	1,32454	1,5	1,23395	2	1,12058
2	1,22215	2	1,17563	2,5	1,09464
2,5	1,15593	2,5	1,12939	3	1,07070
3	1,11001	3	1,09360	3,5	1,04993
3,5	1,07644	3,5	1,06564	4	1,03225
4	1,05089	4	1,04343	4,5	1,01725
4,5	1,03082	4,5	1,02546	5	1,00449
5	1,01465	5	1,01067	5,5	0,99355
5,5	1,00135	5,5	0,99831	6	0,98411
6	0,99022	6	0,98785	6,5	0,97590
6,5	0,98077	6,5	0,97890	7	0,96871

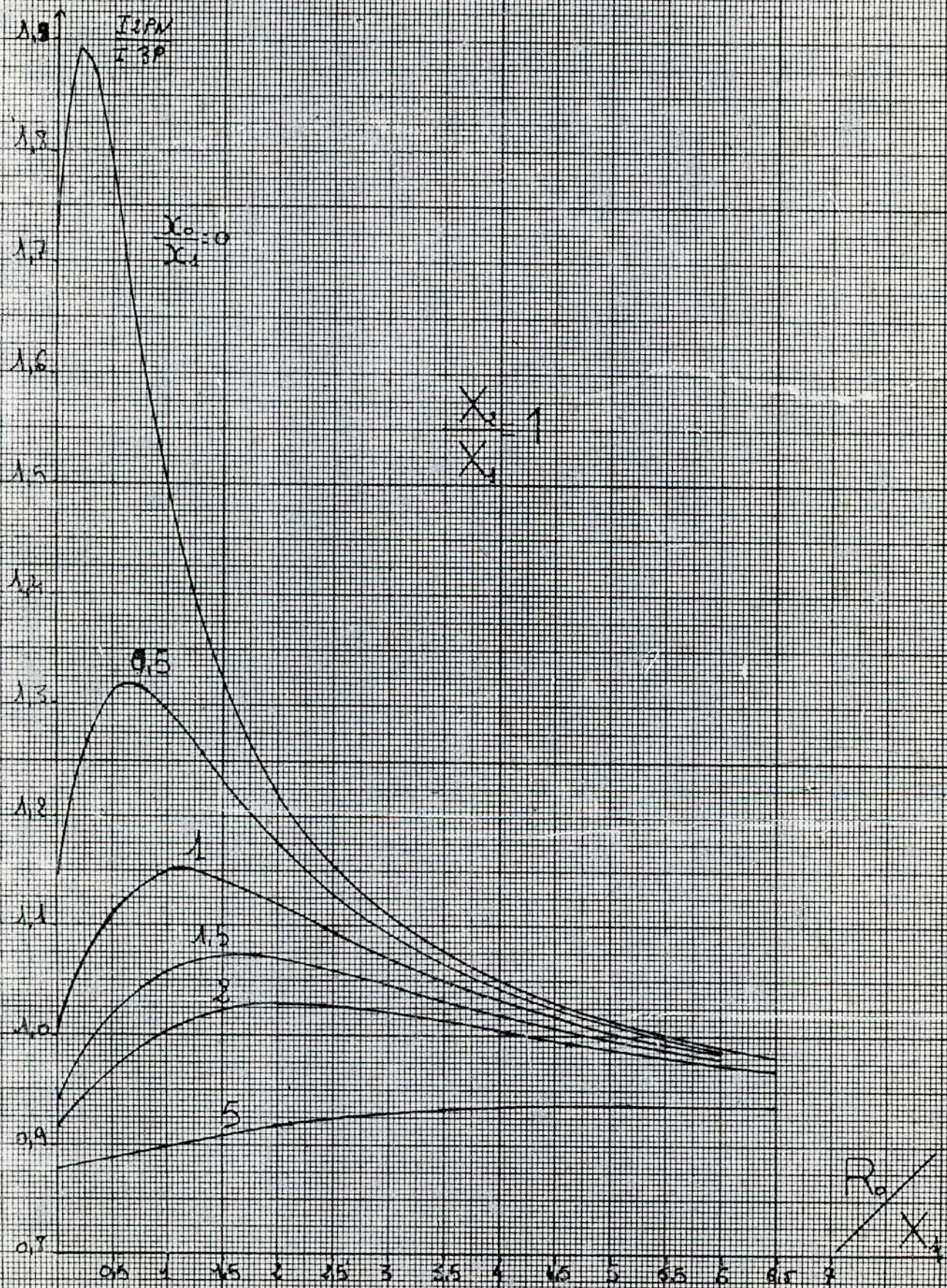
TABLE III

MP 10

		$\frac{X_2}{X_1} = 1$			
$R_0$	$X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 1,5$	$R_0$	$X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$
0		0,94373	0		0,91651
0,5		1,01744	0,5		0,96771
1		1,05939	1		1,00338
1,5		1,07320	1,5		1,02246
1,6		1,07358	2		1,02876
1,7		1,07338	2,1		1,02892
2		1,07008	2,2		1,02879
2,5		1,05911	2,5		1,02701
3		1,04549	3		1,02100
3,5		1,03170	3,5		1,01300
4		1,01879	4		1,00410
4,5		1,00710	4,5		0,99590
5		0,99668	5		0,98785
5,5		0,98743	5,5		0,98039
6		0,97924	6		0,97355
6,5		0,97197	6,5		0,96731
7		0,96550	7		0,96165

$R_0$	$X_0$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0		0,87669
0,5		0,88867
1		0,89976
1,5		0,90954
2		0,91776
2,5		0,92433
3		0,92931
3,5		0,93285
4		0,93515
4,5		0,93643
5		0,93688
5,1		0,93689
5,2		0,93687
5,5		0,93669
6		0,93602
6,5		0,93500
7		0,93372



# T A B L E A U



№ 11

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$

$R_0 \backslash X_1 \quad \frac{X_2}{X_1} = 0$		$R_0 \backslash X_1 \quad \frac{X_2}{X_1} = 0,5$		$R_0 \backslash X_1 \quad \frac{X_2}{X_1} = 1$	
0	1,73205	0	1,13545	0	0,94373
0,1	1,80802	0,5	1,25609	0,5	1,03730
0,2	1,83617	0,6	1,25709	0,9	1,06065
0,3	1,82411	0,7	1,25280	1	1,06093
0,5	1,72899	1	1,21957	1,1	1,05958
1	1,43667	1,5	1,14177	1,5	1,04281
1,5	1,24270	2	1,07083	2	1,01017
2	1,12255	2,5	1,01448	2,5	0,97632
2,5	1,04351	3	0,97074	3	0,94582
3	0,98824	3,5	0,93650	3,5	0,91962
3,5	0,94767	4	0,90925	4	0,89744
4	0,91671	4,5	0,88720	4,5	0,87870
4,5	0,89236	5	0,86906	5	0,86278
5	0,87272	5,5	0,85390	5,5	0,84917
5,5	0,85657	6	0,84107	6	0,83744
6	0,84305	6,5	0,83009	6,5	0,82726
6,5	0,83153	7	0,82059	7	0,81835

IIA P, I E A II

MF 11

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_2}{X_1} = 2$	$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_2}{X_1} = 3$	$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_2}{X_1} = 5$
0	0,81043	0	0,76376	0	0,72931
0,5	0,85991	0,5	0,79283	0,5	0,74243
1	0,89147	1	0,81564	1	0,75420
1,5	0,90569	1,5	0,83128	1,5	0,76424
1,7	0,90749	2	0,84025	2	0,77237
1,83	0,90774	2,6	0,84400	2,5	0,77856
1,9	0,90760	2,7	0,84404	3	0,78295
2	0,90712	2,83	0,84395	3,5	0,78575
2,5	0,90084	3	0,84341	4,3	0,78754
3	0,89063	3,5	0,84039	4,4	0,78757
3,5	0,87891	4	0,83376	4,5	0,78757
4	0,86700	4,5	0,83024	4,6	0,78753
4,5	0,85550	5	0,82434	5	0,78709
5	0,84496	5,5	0,81837	5,5	0,78596
5,5	0,83524	6	0,81251	6	0,78437
6	0,82640	6,5	0,80689	6,5	0,78245
6,5	0,81840	7	0,80156	7	0,78031

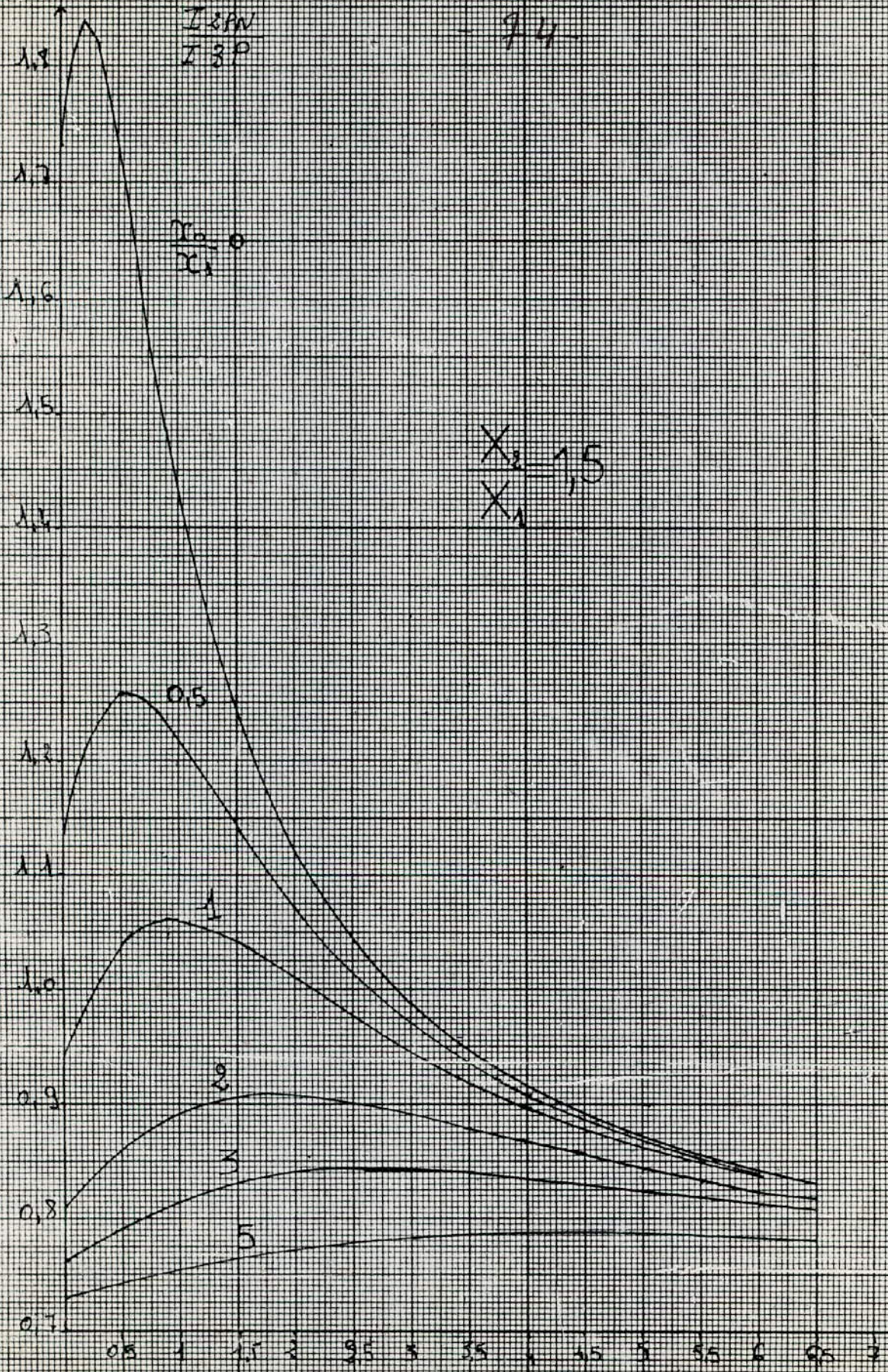


74

$\frac{I_{SN}}{I_{SP}}$

$\frac{X_0}{X_1}$

$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$



$\frac{R_0}{X_1}$

---) ANALYSE DU ---) APPORT  $V_A / V_A$  NOMINALE  
 -----

La tension au point de court circuit de la phase saine  $V_A$  a pour valeur:

$$\bar{V}_A = 3\bar{V}_G \frac{(Z_2 + R_P)(Z_0 + R_P + 2R_m)}{(Z_1 + R_P)(Z_2 + R_P) + (Z_0 + R_P + 3R_m)(Z_2 + Z_1 + 2R_P)}$$

ce qui donne en module :

$$V_A = 3V_G \left[ \frac{(X_0 X_2)^2 + (R_0 X_2)^2}{(X_1 X_2 + X_0 X_1 + X_0 X_2)^2 + R_0^2 (X_1 + X_2)^2} \right]^{1/2}$$

sachant que

$$\bar{V}_G = 1,1 \bar{V}_m$$

$$\Rightarrow \frac{V_A}{V_m} = \left[ \frac{J^2 + K^2}{(I + J + IJ)^2 + K^2(1+I)^2} \right]^{1/2} \cdot 3,3I$$

avec  $\frac{X_2}{X_1} = I ; \frac{X_0}{X_1} = J , \frac{R_0}{X_1} = K$

pour  $I = \frac{X_2}{X_1} = 0,5$  et  $\frac{X_0}{X_1}$  variant comme paramètre de 0 à 5 on obtient le tableau ( 12 ), et la famille de courbes lui correspondant de  $\frac{V_A}{V_{Am}}$  en fonction de  $\frac{R_0}{X_1}$

c'est pareil pour  $\frac{X_2}{X_1} = 1 ; \frac{X_2}{X_1} = 1,5$

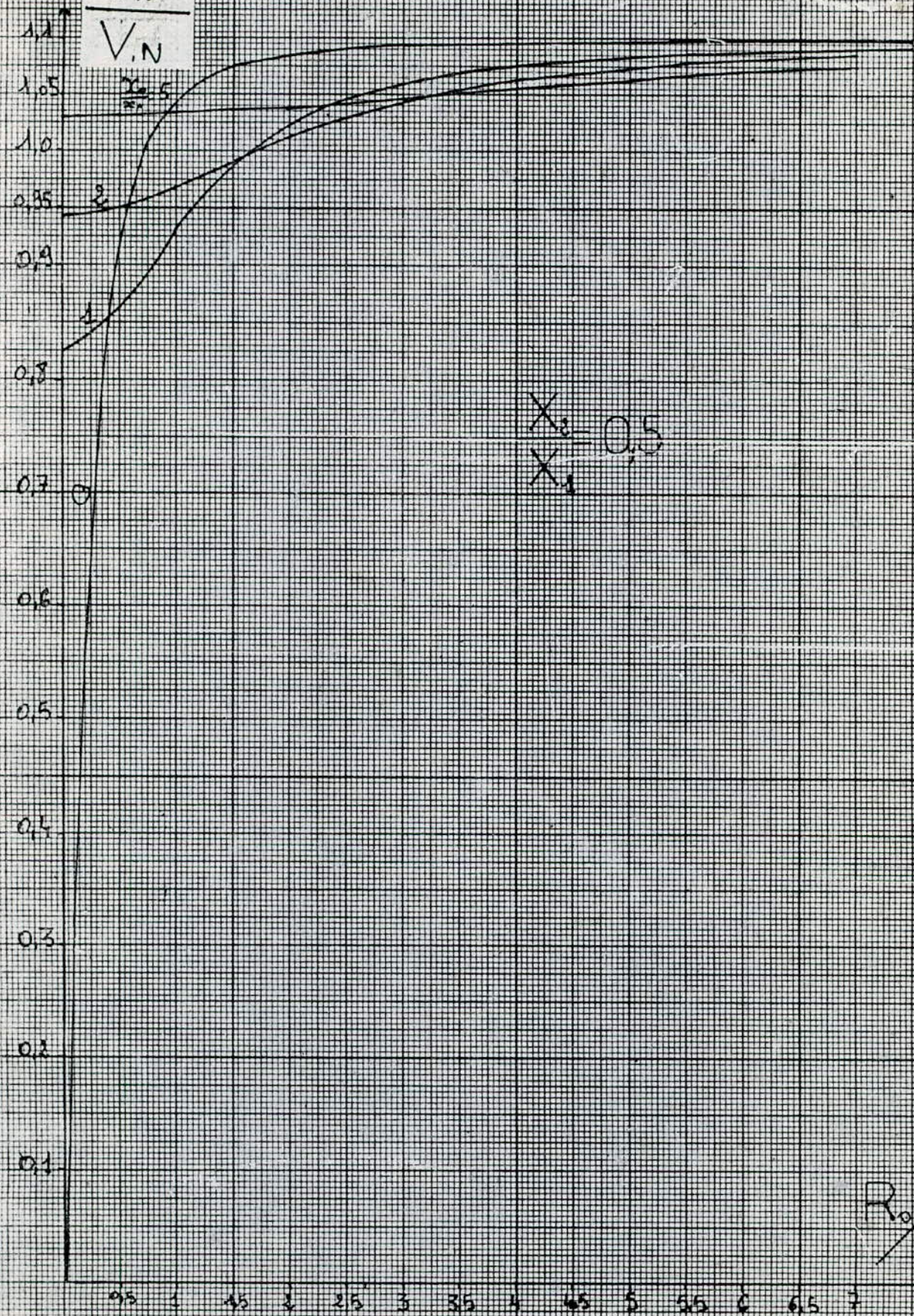
TABLE III

TABLE 12

$$\frac{X_0}{X_1} = 0,5$$

$R_0 \backslash X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$\frac{X_0}{X_1} = 4$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	0,00000	0,82500	0,94286	0,99000	1,01530	1,03125
0,5	0,91526	0,86365	0,95030	0,99255	1,01654	1,03187
1	1,04355	0,93338	0,96891	0,99954	1,01983	1,03366
1,5	1,07381	0,98810	0,99139	1,00936	1,02477	1,03644
2	1,08503	1,02329	1,01239	1,02027	1,03075	1,03997
2,5	1,09035	1,4535	1,02983	1,03095	1,03716	1,04397
3	1,09327	1,05957	1,04355	1,04066	1,04355	1,04819
3,5	1,09505	1,06907	1,05415	1,04912	1,04961	1,05242
4	1,09620	1,07567	1,06231	1,05630	1,05516	1,05651
4,5	1,09699	1,08041	1,06863	1,06233	1,06013	1,06038
5	1,09756	1,08391	1,07359	1,06736	1,06453	1,06396
5,5	1,09798	1,08656	1,07751	1,07156	1,06838	1,06723
6	1,09831	1,08862	1,08066	1,07507	1,07175	1,07020
6,5	1,09856	1,09024	1,08321	1,07802	1,07467	1,07287
7	1,09876	1,09154	1,08531	1,08051	1,07722	1,07526
7,5	1,09892	1,09260	1,08705	1,08263	1,07944	1,07740
8	1,09905	1,09348	1,08850	1,08443	1,08139	1,07931

$$\frac{V_A}{V_{iN}}$$



~~$R_0$~~   
 ~~$X_1$~~

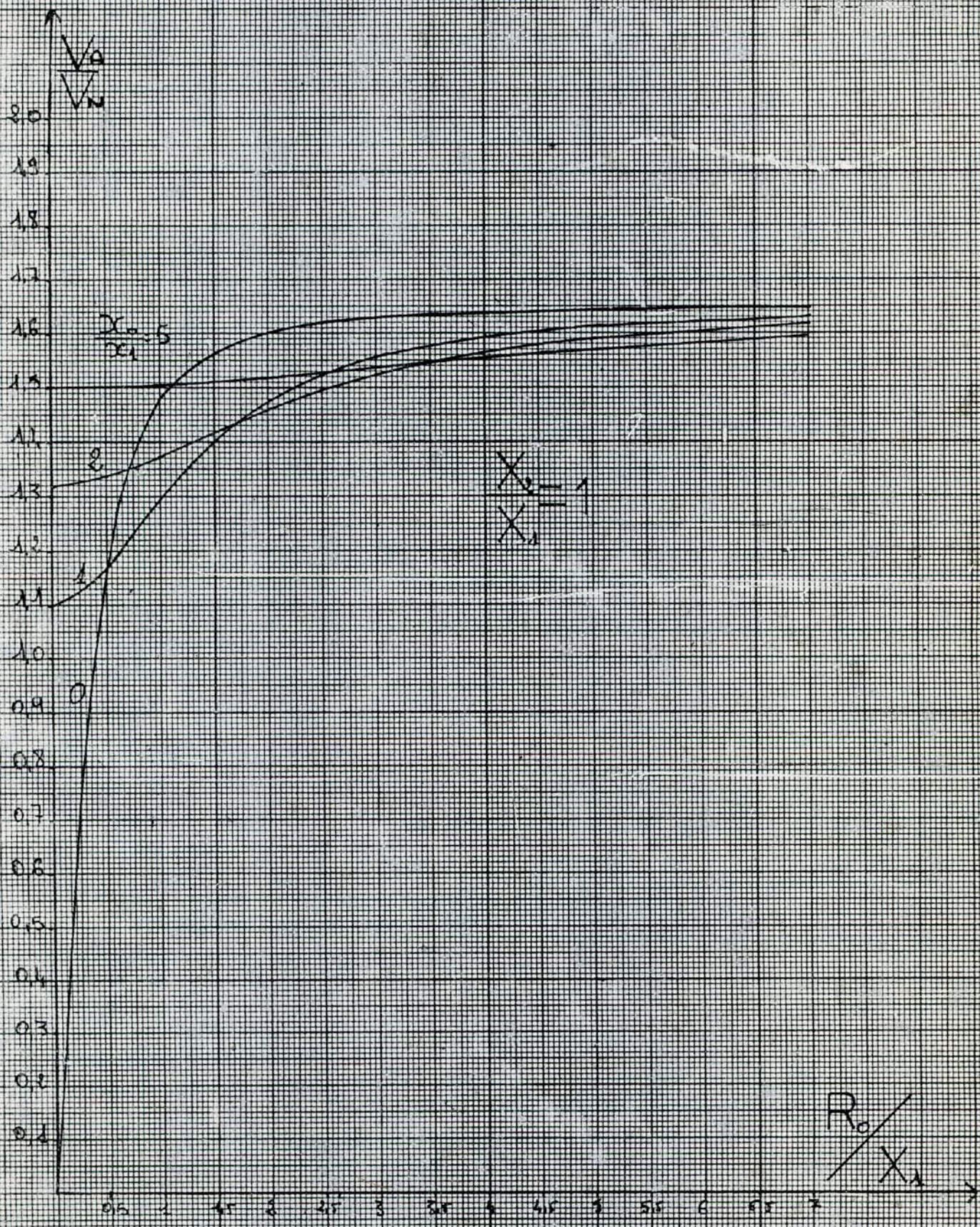
# И. А. И. Л. Е. А. И.

-----

И. А. И. 13

		$\frac{X_2}{X_1} = 1$				
$R_0$ $X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$\frac{X_0}{X_1} = 4$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	0,00000	1,10000	1,32000	1,41429	1,46667	1,5
0,5	1,16673	1,16673	1,33420	1,41938	1,46904	1,50129
1	1,47501	1,29437	1,37025	1,43343	1,47580	1,50503
1,5	1,56533	1,40223	1,41486	1,45337	1,48602	1,51086
2	1,60074	1,47580	1,45770	1,47580	1,49845	1,51828
2,5	1,61796	1,52385	1,49414	1,49807	1,51191	1,52673
3	1,62755	1,55563	1,52342	1,51859	1,52543	1,53569
3,5	1,63342	1,57728	1,54641	1,53667	1,53834	1,54473
4	1,63726	1,59249	1,56435	1,55219	1,55026	1,55353
4,5	1,63991	1,60351	1,57840	1,56533	1,56103	1,56188
5	1,64181	1,61171	1,58949	1,57638	1,57060	1,56965
5,5	1,64322	1,61796	1,59833	1,58566	1,57904	1,57678
6	1,64430	1,62281	1,60546	1,59346	1,58644	1,58327
6,5	1,64514	1,62666	1,61127	1,60005	1,59291	1,58914
7	1,64581	1,62975	1,61605	1,60563	1,59857	1,59441
7,5	1,64635	1,63228	1,62003	1,61038	1,60351	1,59914
8	1,64679	1,63436	1,62336	1,61445	1,60784	1,60339

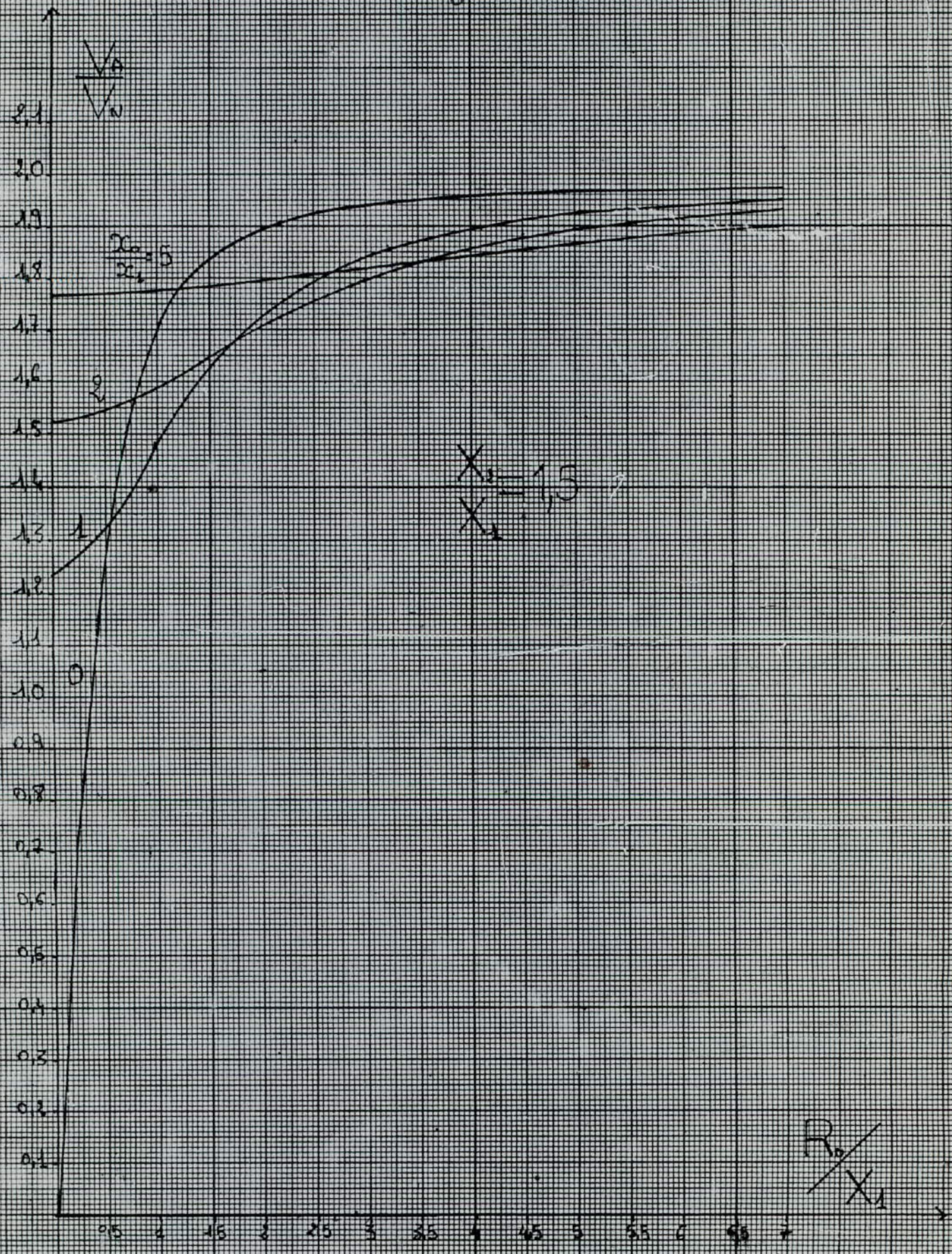
79



IIA B, L E A II  
-----  
III° 14

$$\frac{X_2}{X_1} = 1,5$$

$R_0 / X_1$	$\frac{X_0}{X_1} = 0$	$\frac{X_0}{X_1} = 1$	$\frac{X_0}{X_1} = 2$	$\frac{X_0}{X_1} = 3$	$\frac{X_0}{X_1} = 4$	$\frac{X_0}{X_1} = 5$
0	0,00000	1,23750	1,52308	1,65000	1,72174	1,76786
0,5	1,26756	1,32059	1,54170	1,65685	1,72498	1,76963
1	1,69784	1,48407	1,58935	1,67580	1,73422	1,77479
1,5	1,83838	1,62755	1,64908	1,70285	1,74822	1,78285
2	1,89650	1,72861	1,70728	1,73350	1,76532	1,79311
2,5	1,92533	1,79616	1,75747	1,76415	1,78392	1,80484
3	1,94155	1,84156	1,79829	1,79261	1,80268	1,81731
3,5	1,95153	1,87282	1,83063	1,81735	1,82069	1,82993
4	1,95809	1,89496	1,85607	1,83965	1,83739	1,84226
4,5	1,96263	1,91109	1,87611	1,85820	1,85253	1,85399
5	1,96590	1,92314	1,89201	1,87388	1,86605	1,86494
5,5	1,96832	1,93236	1,90474	1,88709	1,87801	1,87502
6	1,97017	1,93953	1,91503	1,89824	1,88852	1,88421
6,5	1,97162	1,94523	1,92344	1,90767	1,89773	1,89253
7	1,97277	1,94982	1,93037	1,91568	1,90580	1,90003
7,5	1,97369	1,95356	1,93615	1,92252	1,91287	1,90678
8	1,97445	1,95666	1,94100	1,92839	1,91908	1,91283





## ANNEXE

- 1°) But d'étude des courts circuits, et utilisation pratique des familles de courbes.
- 2°) Effet des courts circuits sur la coordination d'isolement
- 3°) Conclusion
- 4°) Organigramme de calcul des courts circuits
- 5°) Bibliographie

BUT D'ETUDE DES COURTS CIRCUIT ET UTILISATION PRATIQUE DES FAMILLES DE COURBES:

Le raccordement sur le reseau, dans le cadre d'une interconnexion<sup>n</sup> généralisée de sources de productions de plus en plus puissantes, entraîne l'élévation régulière des niveaux de tensions et une augmentation continue des puissances, mais en contre partie les contraintes techniques sont de plus en plus difficiles à surmonter d'une façon économique.

Les principaux problèmes qui amènent la technique des très hautes tensions sont :

- Effet couronne
- La croissance des courants de court circuit
- La tenue diélectrique

C'est la connaissance des valeurs de courant de court circuit et leurs influences sur la tenue diélectrique par les surtensions qu'il peuvent engendrer qui impose leurs études, et en même temps pour définir les caractéristiques à imposer.

- Aux jeux de barres, aux connexions de raccordement, qui doivent résister aux efforts électrodynamiques en court circuit.
- Aux liaisons éventuelles entre neutre et sol, quelles soient directes ou comprennent une impédance de limitation.
- Aux disjoncteurs qui doivent être capables de couper le courant.
- De définir la configuration du réseau.
- De fixer la sensibilité des relais chargés d'assurer la protection du réseau.
- De calculer les courants dans le sol, et les surélévations de tension que ces courants peuvent provoquer.
- De prévoir les troubles éventuels induit dans les réseaux de télécommunication voisins.

A cause de la perpétuelle évolution du réseau, ainsi que du changement de sa configuration du fait de l'accroissement des charges, on sent la nécessité d'avoir des familles de courbes qui donnent un ordre de grandeur des rapports de courant de court circuit, et de surelévation de tension pour éviter de reprendre périodiquement sinon constamment les études sur le réseau.

Un coup d'oeil rapide sur ces courbes permet de constater que les défauts à la terre, monophasés ou biphasés peuvent dépasser pour certaines valeurs de  $X_0 / X_1$ , et  $R_0 / X_1$  le courant triphasé.

Comme généralement tous les disjoncteurs sont dimensionnés sur le court circuit triphasé à cause de la contrainte élevée de la tension transitoire de retablissement, on essaye d'éviter d'avoir une configuration du réseau dans lequel les courants de court circuit à la terre peuvent dépasser les courts circuits triphasés.

La méthode consiste alors à choisir un schéma d'interconnexion de telle façon que les impédances résultantes soit suffisamment élevées, et en même temps on procède à la mise à la terre, de certains transformateurs afin d'influencer le comportement du réseau en cas de défaut à la terre.

Mais cette politique de limitation des courants de court circuit à la terre en dessous de la valeur du courant triphasé, représente en fait un compromis, car aller plus loin dans la limitation conduirait à supporter des surtensions temporaires plus importantes pendant les régimes transitoires des défauts, qu'il est facile de constater sur les familles de courbes représentant la variation  $\frac{V_C}{V_n}$  et  $\frac{V_A}{V_n}$  en fonction

$$\text{de } \frac{X_0}{X_1} \quad , \quad \frac{R_0}{X_1}$$

Malgré leurs faibles valeurs, ces surtensions sont très importantes pour le dimensionnement du matériel car la tenue à fréquence industrielle est fortement réduite par la pollution.

Comme dans les réseaux HT ( ou THT ) il n'est pas justifiables économiquement de choisir un niveau disolent ~~mais~~ réalisant toutes les surtensions possibles, mais celles ci doivent être limitées à un niveau donné; on procède alors à une mise à la terre effective du réseau.

Le journal de l'AIEE ( American institute of electrical en gineers ) donne la définition suivante des systèmes mis effectivement à la terre, dans son numéro de Mai 1947, définition qui a été adoptée internationalement par la suite.

" On peut dire qu'un système, ou parti ~~de~~ un système, est effectivement mis à la terre lorsque le rapport de la réactance monopolaire à la réactance directes vues du point de court circuit, est inférieur à 3 et lorsque le rapport de la résistance monopolaire à la réactance directe n'est pas supérieure à 1 dans n'importe quelles conditions de fonctionnement, et quelque soit la puissance du générateur.

Cette mise à la terre ne nécessite l'utilisation d'aucun élément intermédiaire, du type résistance, réactance, etc....

Du point de vue économique elle est très avantageuse

Généralement pour les réseaux HT avec neutre mis à la terre on a

$\frac{X_0}{X_1} = 2$  et dépasse rarement 3, cependant il peut arriver que  $\frac{X_0}{X_1}$  soit inférieur à 2, on admet alors comme valeur limite à  $\frac{X_0}{X_1}$

la valeur 0,6 ce qui correspond à  $\frac{I_{mono}}{I_{triph}} = 1,15$

Lorsque  $X_0 \leq X_1$  on a une mise à la terre parfaite

Lorsque  $X_0 > 3 X_1$  on dit que le réseau a cet emplacement et a neutre non effectivement à la terre

Lorsque  $X_0 \gg X_1$  On dit que le réseau et a neutre isolé

// - EFFET DES COURTS CIRCUITS SUR LA COORDINATION D'ISOLEMENT :

Comme on l'avue ultérieurement, le second problème qui domine la technique des HT est la tenue diélectrique des ouvrages, c'est à dire en fait de l'optimisation de leur dimensionnement diélectrique en fonction des surtensions possibles.

Les contraintes de tensions dans le réseau sont:

- Surtensions de foudre dues à des conditions atmosphériques.
- Surtensions de manoeuvres surtout dues à l'enclenchement et le déclenchement des appareils de coupure de courants.

- Surtensions temporaires:

- Se sont des surtensions oscillatoires entre phase et terre ou entre phase apparaissant en des points donnés du réseau, elles ont des durées longues et sont faiblement amorties, on les caractérise par leurs amplitudes, leurs fréquences d'oscillations et leurs durées totales.
- Les causes des surtensions temporaires qui peuvent apparaitre aussi bien à fréquence industrielle, qu'à des fréquences non industrielles, sont les suivantes:

- Delestages

- A partir de la tranche alternateur transformateur surtension de 1,15 à 1,4 Pu durée 1 S
- A partir du réseau, surtension de 1,1 pu durée 30 S.

- Défaut à la terre

- Surtensions sur les phases saines, leurs amplitudes dépendent de la mise à la terre du neutre.

- Effet feranti

- Oscillations de relaxation ( ~~ferroresonance~~ )

- En effet un brusque changement de l'état du réseau, qu'il soit provoqué par des manoeuvres de couplage ou par l'apparition d'un défaut, permet aux énergies électriques ou électromagnétiques emmagasinées dans les différentes parties du réseau de varier. Il apparait alors des phénomènes d'oscillations transitoires qui déforment l'allure des tensions et des courants, ces phénomènes transitoires ne durent qu'un court instant, dans les premières périodes de la fréquence du réseau.

Il est à noter que les courts circuits provoquent deux types de surtensions temporaires.

1) Les surtensions à des fréquences non industrielles qui sont caractérisées par les amplitudes maximales correspondant à des fréquences discretes. En générale c'est la fréquence la plus basse qui a la plus grande amplitude.

Ces surtensions apparaissent immédiatement au début du court circuit au maximum de la tension, à cause de la décharge des capacités des lignes à travers les impédances du court circuit, et de l'alimentation.

- Dans les cas où le défaut apparaît au passage de la tension par zéro: ces phénomènes de décharges capacitatives n'ont pas lieu. Ces surtensions apparaissent quelque soit la nature du défaut et leur étude est importante pour le réglage des dispositifs de protection sensibles à la fréquence: ( Relais électronique ), afin d'éviter des déclenchements intempestifs.

2°) Les surelevations de tensions à des fréquences industrielles, elles apparaissent lorsque un défaut met à la terre une des phases d'un réseau triphasé, les deux autres phases subissent une variation de tension par rapport à la terre, on caractérise celle ci par le facteur de défaut à la terre

Les recommandations de la CEI dans son édition 1976 n° 71 définissent le facteur de défaut à la terre comme suit

" En un emplacement défini d'un réseau triphasé ( qui sera le point d'installation du matériel ) et pour un schéma d'exploitation donnée de ce réseau, le facteur de défaut à la terre est le rapport entre la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre phase saine et la terre pendant un défaut à la terre, et la tension efficace entre phase et terre à la fréquence du réseau qui serait obtenue à l'emplacement considéré en l'absence du défaut."

Ce facteur est un rapport numérique qui caractérise, d'une façon générale, les conditions de mise à la terre du neutre d'un réseau  $v_n$  de l'emplacement considéré, indépendamment de la valeur particulière actuelle de la tension.

Les facteurs de défaut à la terre sont calculable à partir des valeurs des impédances du réseau dans le système de composantes symétriques telles qu'elles sont vues de l'emplacement considéré, en adoptant pour les machines tournantes la réactance subtransitoire

Les spécialistes de la coordination d'isolement classent les réseaux selon 3 Domaines A, B, C.

- Le Domaine A, les tensions varient de 1KV — 52KV

- Le domaine B, les tensions varient de 52KV — 300

- Le domaine C, les tensions varient de 300KV et plus

Dans les gammes A, et B on admet que l'essai traditionnel de 1 minute a fréquence industrielle réserve généralement une marge de sécurité convenable à l'égard des surtensions de manoeuvres et des surtensions temporaires les plus élevées ( dont la durée est bien inférieure a 1minu)

Cependant dans la gamme C, l'importance des surtensions temporaires en ce qui concerne la coordination d'isolement est double.

- La répétition des crêtes de surtensions succesives de polarités opposées, même si ces crêtes n'atteignent pas l'amplitudes de certaines autres surtensions, peut être déterminante pour la conception tant de l'isolation interne du matériel que de leurs isolements externes ( surfaces exposées à la pollution).
- Les caractéristiques des surtensions temporaires la où est installé un parafoudre présente une grande importance pour son choix.

A cause du cout élevé du matériel , les conséquences d'un défaut exigent une approche plus précise des surtensions prévisibles, et obligent a prendre particulièrement garde au facteur de défaut a la terre lors des études sur la coordination d'isolement, on a recours dans ce cas a des essais a fréquence industrielles de longues durées visant à démontrer l'aptitude du matériel a supporter le vieillissement ou la pollution.

#### - CHOIX DES PARAFONDRES

Au fur et a mesure que la tension nominale des réseaux croissait le désir de réaliser des économies sur les dépenses a automatiquement conduit à réduire les marges de sécurité entre niveaux de contraintes dielectriques et niveaux de tenues, et d'autre part de limiter autant que possible les surtensions.

Le parafoudre permet de résoudre les problèmes de protection, lorsque l'apparition de surtensions sur du matériel particulièrement menacé ne peuvent être évitées, car il a comme rôle de limiter les amplitudes des surtensions.

Utilisé au début pour la protection de l'isolement interne des appareils contre les surtensions de foudre, le parafoudre moderne ( avec éclateur a soufflage magnétique) est en mesure actuellement de limiter les surtensions de manoeuvres.

Ce qui conduit à abaisser leur niveau de protection, par la réduction de leurs tensions d'amorçage, toutefois pour empêcher l'amorçage permanent du parafoudre, sa tension nominale doit être définie par les surtensions temporaires les plus élevées qui risquent d'apparaître au point d'installation des parafoudres.

Il est en effet indispensable que la tension nominale de ceux-ci soit supérieure à ces surtensions temporaires, car l'amorçage d'un parafoudre dans ces conditions entraîne sa destruction certaine.

Il est alors impératif de prendre garde à deux paramètres fondamentaux pour le choix d'un parafoudre.

- Le premier est le niveau de protection, qui représente la tension aux bornes du parafoudre qui ne doit pas être dépassée ni lors de l'amorçage de ce dernier, ni lors de l'écoulement de décharge

- Le second paramètre, est la tension nominale du parafoudre ou sa tension d'extinction.

C'est la tension alternative maximale admissible aux bornes du parafoudre à laquelle la coupure du courant de suite traversant le parafoudre amorcé est encore possible.

#### - EXEMPLE DE COORDINATION

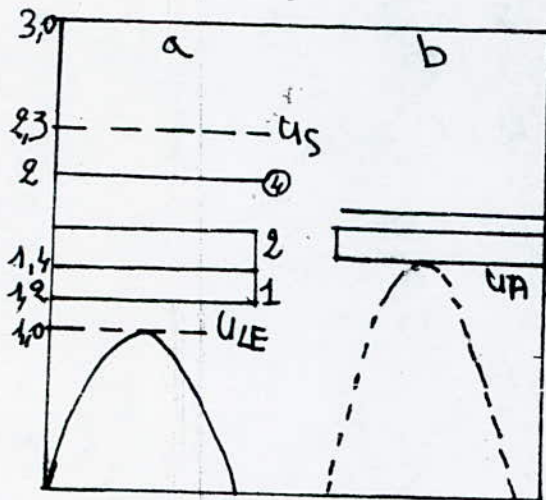
- Pour un réseau à très hautes tensions, on estime que les surtensions de manoeuvres varient entre 1,8 pu à 2,3 pu.

Lorsque la mise à la terre est soigneusement réalisée, la tension simple croît de 20 à 45 %; c'est à dire 1,20 à 1,45 pu, alors on peut limiter à un facteur de 1,5 pu les surtensions dites temporaires.

Autrement dit le parafoudre ne doit pas s'amorcer pour des tensions inférieures à 1,5 pu, mais doit limiter les surtensions dont les valeurs de crête dépassent 1,6 jusqu'à 2,3.

D'autre part il doit pouvoir éteindre après s'être amorcé pour limiter une surtension de manoeuvre, même lorsque une surtension à fréquence industrielle fait son apparition.





- a) Réseau
- b) Parafoudre
- 1) Défaut à la terre monophasé
- 2) Surtensions temporaires
- 4) Surtensions de manoeuvres
- $U_S$ ) Surtensions de manoeuvres maximales
- $U_A$ ) Tension d'extinction
- $U_{LE}$ ) Valeur de crête de la tension nominale entre phase et terre

1 PU ( un pour un ) =

: valeur efficace de la tension entre phases la plus haute qui apparaît à un instant quelconque en un point quelconque du réseau dans les conditions d'exploitation normale, cette valeur ne tient pas compte des variations transitoires ( manoeuvres, défauts ).

ORGANIGRAMME - ES - CALCULS  
-----

- Sachant que les calculs que j'avais a faire, comportaient plusieurs itérations, et en même temps 3 Boucles Il a été plus rapide, et avantageux d'utiliser un ordinateur pour réaliser ce travail.

Je suis très satatisfait de cette initiative, car elle m'a permis d'approfondir mes connaissances sur la programmation, et l'utilisation du FORTRAN IV comme langage de communication avec la machine.

L'ordinateur qui a réaliser ces calculs et du type MITRA 15

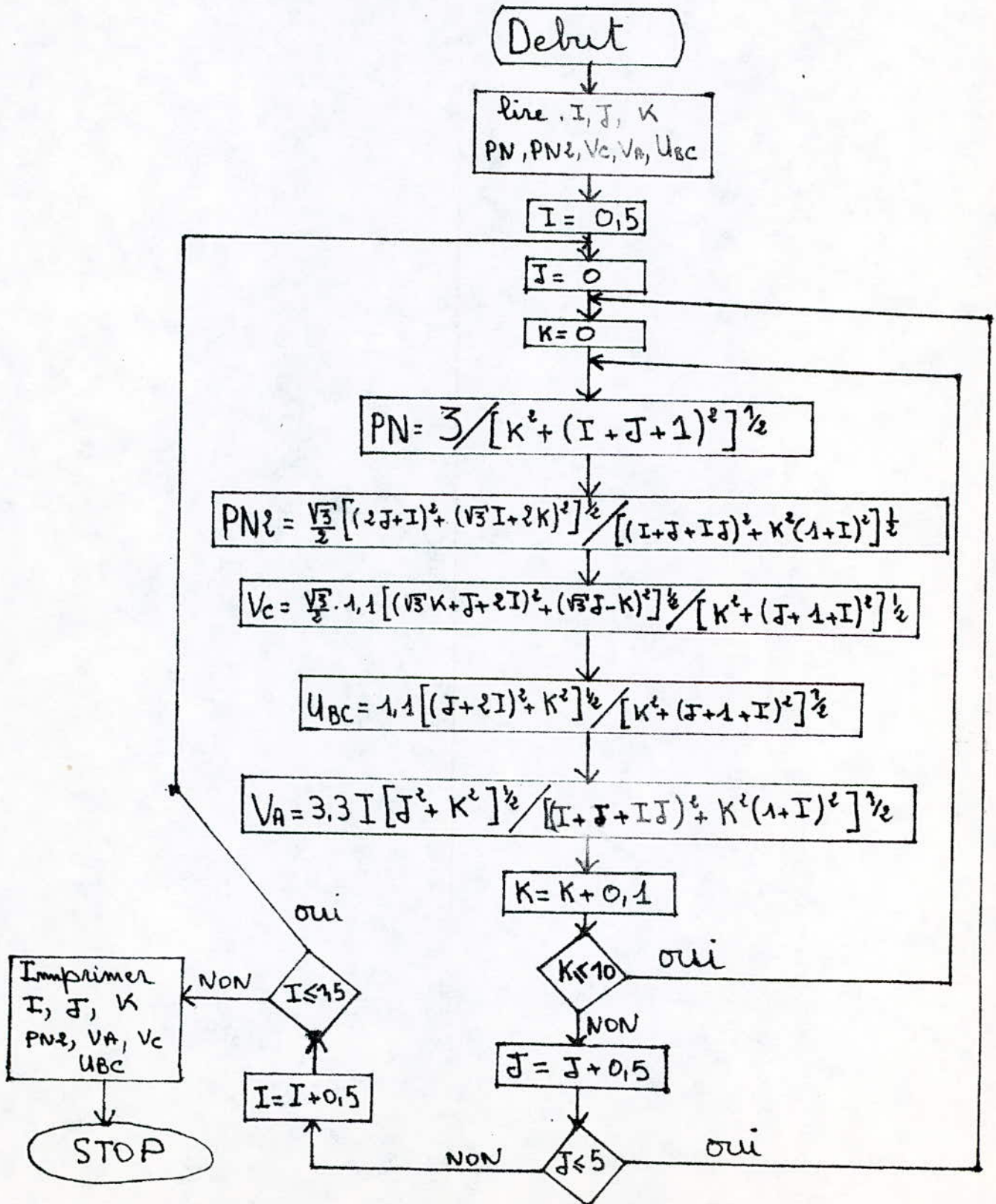
- La première boucle correspond à la variation de  $R_0/X_0 = K$  de 0 à 10 avec un pas de 0,1

- La deuxième boucle correspond à la variation de  $X_0/X_1 = J$  de 0 à 5 avec un pas de 0,5.

- La troisième boucle correspond à la variation de  $\frac{X_2}{X_1} = I$  de 0,5 à 1,5 avec un pas de 0,5

L'organigramme de calcul est le suivant.

# Organigramme





## BIBLIOGRAPHIE

- W MICHALAK : Notes du cours FEN 220
- R. PELLISSIER: Les réseaux d'énergie électriques Tome n° 2
- P. HENRIET : Fonctionnement et protection des réseaux
- HEINY et NAUDY: Technologie d'électricité Tome 3
- G. SEGUIER : Electrotechnique industrielle
- J. FALLOU : Leçons d'électrotechnique
- Revue BROWN BOVERI: N° 60 1973  
63 1976  
62 1975  
65 1978  
66 1979
- Revue générale et électricité : 1977
- C F I. N° 71 6 éditions 1976
- Techniques de l'ingénieur D620W  
D670  
D678  
D679
- Projet de fin d'étude : Analyse de la mise à la terre.

