

U.S.T.H.B.

lex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

département d'électronique et d'électrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
BIBLIOTHÈQUE
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

CONCEPTION D'UN POSTE
10kv. ■ 225kv.
D'UNE CENTRALE THERMIQUE

Proposé par :

M. GHEZAILI
Responsable à la SONELGAZ

Dirigé par :

M. GHEZAILI
M. KOURGLI

Etudié par :

L. ZIZI
A. GADOUM

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U.S.T.H.B.

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

département d'électronique et d'électrotechnique

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

CONCEPTION D'UN POSTE
10 kv. ■ 225 kv.
D'UNE CENTRALE THERMIQUE

Proposé par :

M. GHEZAILI
Responsable à la SONELGAZ

Dirigé par :

M. GHEZAILI
M. KOURGLI

Étudié par :

L. ZIZI
A. GADOUM

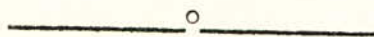
JUIN 1981

DEDICASSES

A MES PARENTS . A MES FRERES ET SOEURS.

A MES AMIS .

LOUIZA



A MA MERE

A MON PERE

A MES AUTRES PARENTS

A TOUS MES AMIS EN PARTICULIER BENRAMEANE .

AKLI

R E M E R C I E M E N T S

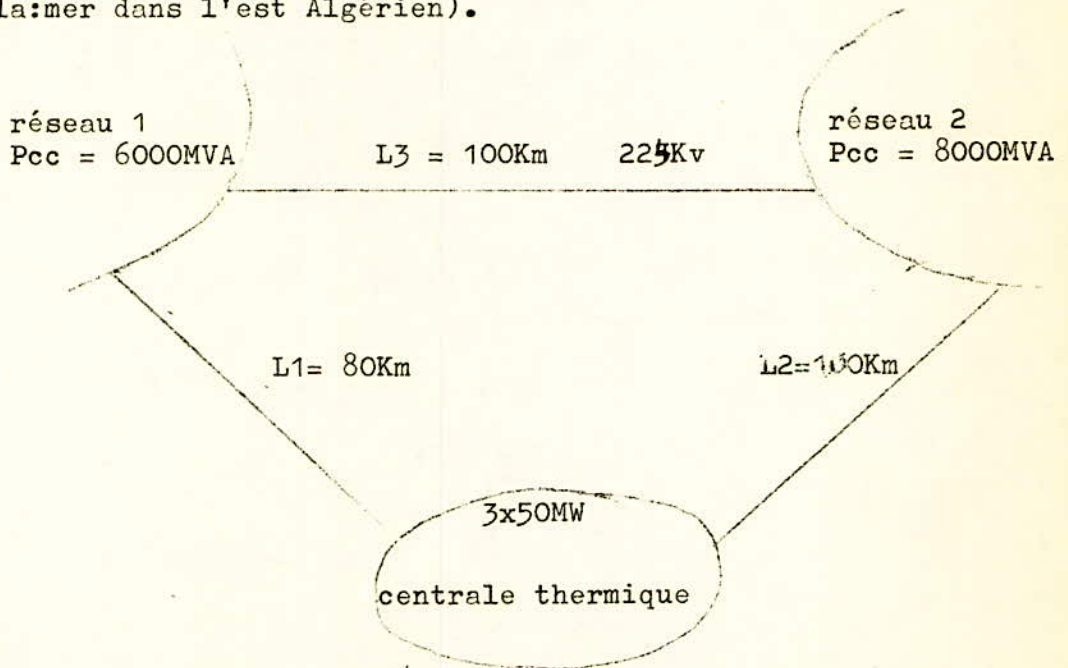
Qu'il nous soit permis d'exprimer toute notre reconnaissance à Mr M. GHEZAILI qui a suivi avec une bienveillante attention tout notre travail, ainsi qu'a Mr KOURGLI notre promoteur. Nous remercions par la même occasion tous les professeurs qui ont contribué à notre formation, et toutes les personnes qui directement ou indirectement, nous ont aidé à l'élaboration de ce projet.

A K L I E T L O U I Z A

..

- INTRODUCTION -

Nous proposons comme objectif d'étude, la conception d'un poste de centrale thermique (combustible au gaz naturel) qui permettra d'évacuer une puissance de 350 MW sur un réseau interconnecté de 225 Kv (cette centrale se situera près de la mer dans l'est Algérien).



Cette l'avènement de réseaux interconnectés pallient jusqu'à un certain point aux défaillances d'une ou plusieurs centrales mais cela impose une surcharge au reste du réseau.

La question des courants de court circuit est certainement une des celles qui fait l'objet des préoccupations les plus constantes car ils provoquent en effet des accidents par les efforts électrodynamiques qu'ils développent entre les conducteurs, par les échauffements anormaux qu'ils peuvent déterminer dans les machines et dans les câbles, et par le fonctionnement defectueux des appareils d'interruption.

Le dimensionnement de tous les éléments qui constituent un réseau, surtout celui des disjoncteurs nécessite donc la connaissance aussi exacte que possible des courants de court circuit qui peuvent se développer dans l'installation, le choix et le réglage des dispositifs de protection selective sont conditionnés eux aussi par une détermination rationnelle de la valeur des courants de défauts.

Tout au long de cette étude nous allons passer en revue :

- dans une première partie de faire un choix de schéma optimal du poste.
- dans une deuxième partie de faire un choix de l'équipement suivant les conditions de fonctionnement les plus sévères (disjoncteurs, sectionneurs, barre, cables...)
- dans une troisième partie nous avons abordé le problème de la protection et les différents types à adopter.



CHAPITRE ICHOIX DU SCHEMA DU POSTE DE LA CENTRALE

Les réseaux sont conçus pour remplir les exigences actuelles et futures prévus pour une durée d'exploitation moyenne de 30 années. Pour cela leur planification et conception doivent répondre à un certain nombre de critères.

A/ CRITERES :a) Sécurité générale d'exploitation

quels que soient leurs natures et leurs origines, les défauts doivent être éliminés le plus rapidement possible et sans répercussion sur la marche du réseau.

La topologie du schéma d'exploitation et la fiabilité du matériel en service doivent donc répondre à ce critère.

b) Souplesse d'exploitation

Pour satisfaire cette exigence le choix du couplage doit être en harmonie avec la structure du réseau connecté. La souplesse est caractérisée par la constitution de tranches autonomes associées à chacun des groupes, cette indépendance permet d'isoler facilement un défaut et en conséquence d'assurer l'entretien avec plus de sécurité.

c) Simplicité du schéma

On notera que ce critère est en partie un corollaire du critère "b"

d) Possibilité de modifier les installations existantes

Pour une probable extension dans le futur, il est nécessaire de prévoir des surfaces supplémentaires pour la création de nouveau départ, ces possibilités dans le sens de l'augmentation de la quantité d'énergie transmise.

e) Fisabilité

Ce critère permet d'apprécier le schéma à choisir et de donner une grandeur de l'énergie défaillante pour une situation du réseau donnée.

f) Economie

De nos jours ce critère occupe un rang important dans la planification et doit justifier toute décision prise quant à l'approbation de tout projet. Notons que dans ce cas, le coût de l'installation a été évalué uniquement sur le prix de chaque équipement juste pour décider du schéma à adapter.

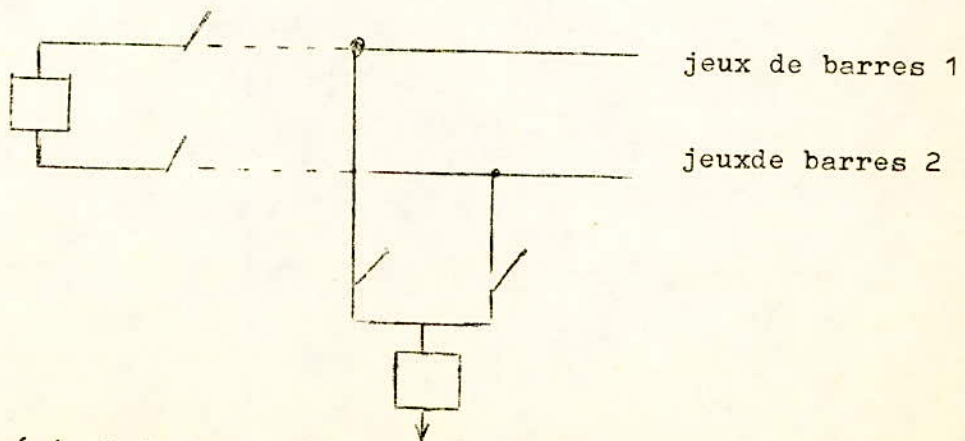
B/ CHOIX DU SCHEMA DU POSTE :

On proposera trois variantes et on en retiendra qu'une seule suivant les critères ci-dessus énumérés.

a) comparaison des trois variantes suivant les caractéristiques a, b, c, d, de la partie A.

Pour les trois variantes on adoptera le schéma classique utilisé en Algérie à toutes les tensions de 63 Kv à 225 Kv qui comporte :

- deux jeux de barres qui peuvent être mises en série par un disjoncteur de couplage
- deux sectionneurs d'aiguillage par départ
- un disjoncteur par départ



L'inconvénient de ce couplage réside dans le fait qu'en cas de défaut sur les systèmes de barres la fourniture d'énergie peut être interrompue en partie.

La variante I est constituée de tranches autonomes, et est desservie par ses propres auxiliaires, en cas de défaillance d'un soutirage d'alimentation des barres auxiliaires, la variante I sera assurée grâce aux disjoncteurs de couplage. Par contre pour les variantes II et III leur interdépendance causera un asservissement nécessaire pouvant aller jusqu'à l'arrêt d'un groupe.

Pour ce qui est de la simplicité, les variantes possèdent des schémas simples, mais moins commodes dans le cas des variantes II et III, car l'indisponibilité d'un transformateur entraînera l'indisponibilité d'un groupe et demi.

Pour le présent, cette étude a l'impression d'être arrivée à poser en termes clairs le problème des schémas de postes, et à trouver une solution assez satisfaisante permettant dans chaque cas particulier le compromis "souplesse - Sécurité", indispensable, pour cela, nous éliminons la variante III qui possède le plus d'inconvénients, et nous faisons le calcul de coût et de fiabilité seulement pour les variantes I et II. (voir fig: (4.1), (4.2), (4.3)).

b) Etude de la fiabilité

Depuis plusieurs années, les études sur la fiabilité des éléments sont devenues nécessaires tant pour améliorer le service de la clientèle que pour planifier le plus économiquement possible le développement du système énergétique.

1/ Définitions :

- La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans les conditions d'emploi données et pendant une durée donnée.
- On dit que n éléments du système sont reliés en série du point de vue de la fiabilité si la défaillance de n'importe quel élément provoque la panne de tout le système.
- On dit que n éléments du système sont reliés en parallèle si la défaillance du système ne se produit que si tous les éléments constituant ce système tombent en panne.

2/ Paramètres utilisés dans l'étude de la fiabilité

- Taux de défaillance : $\lambda(t)$.

Variante № I

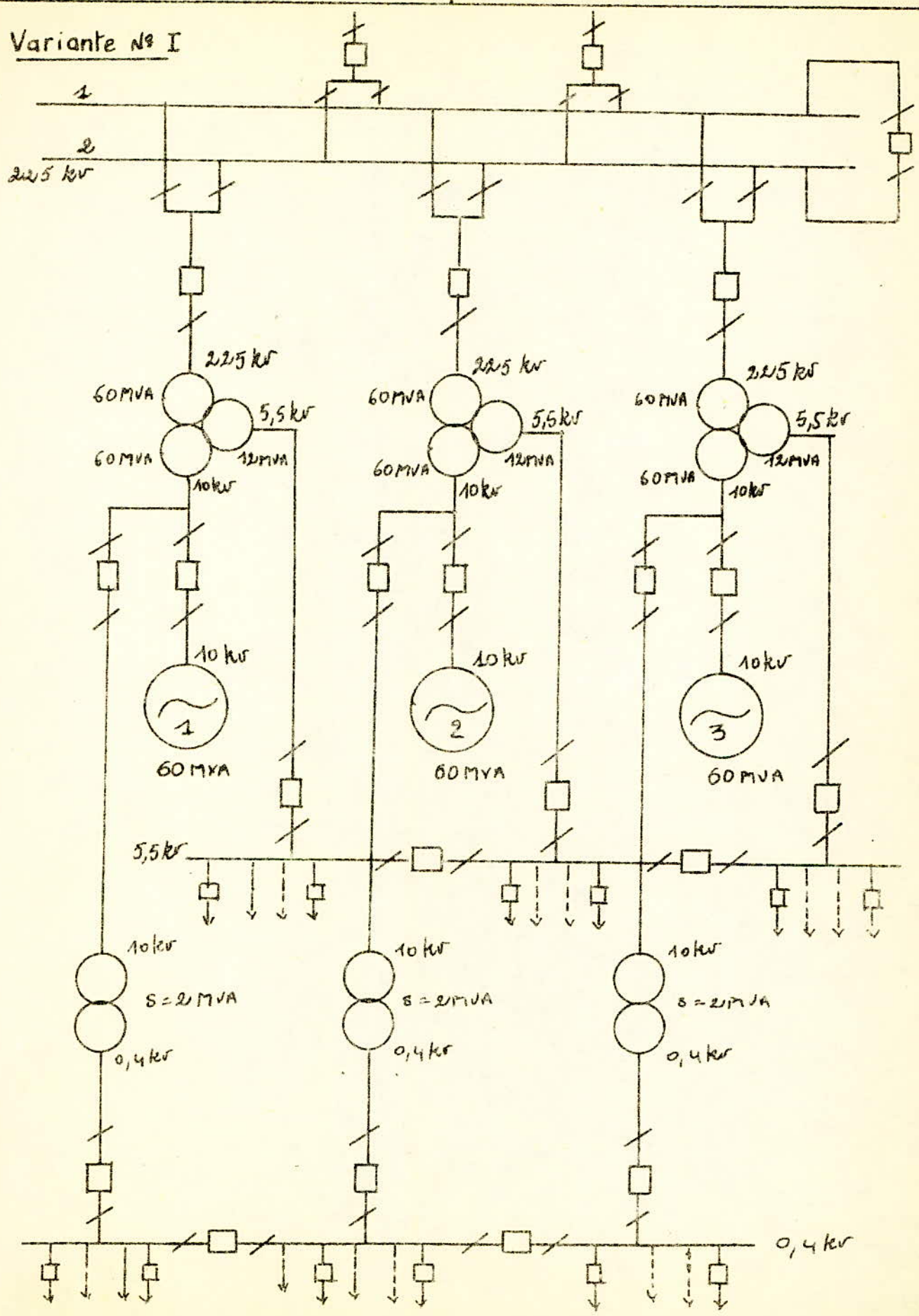


Fig. (1-1)

Variante № II

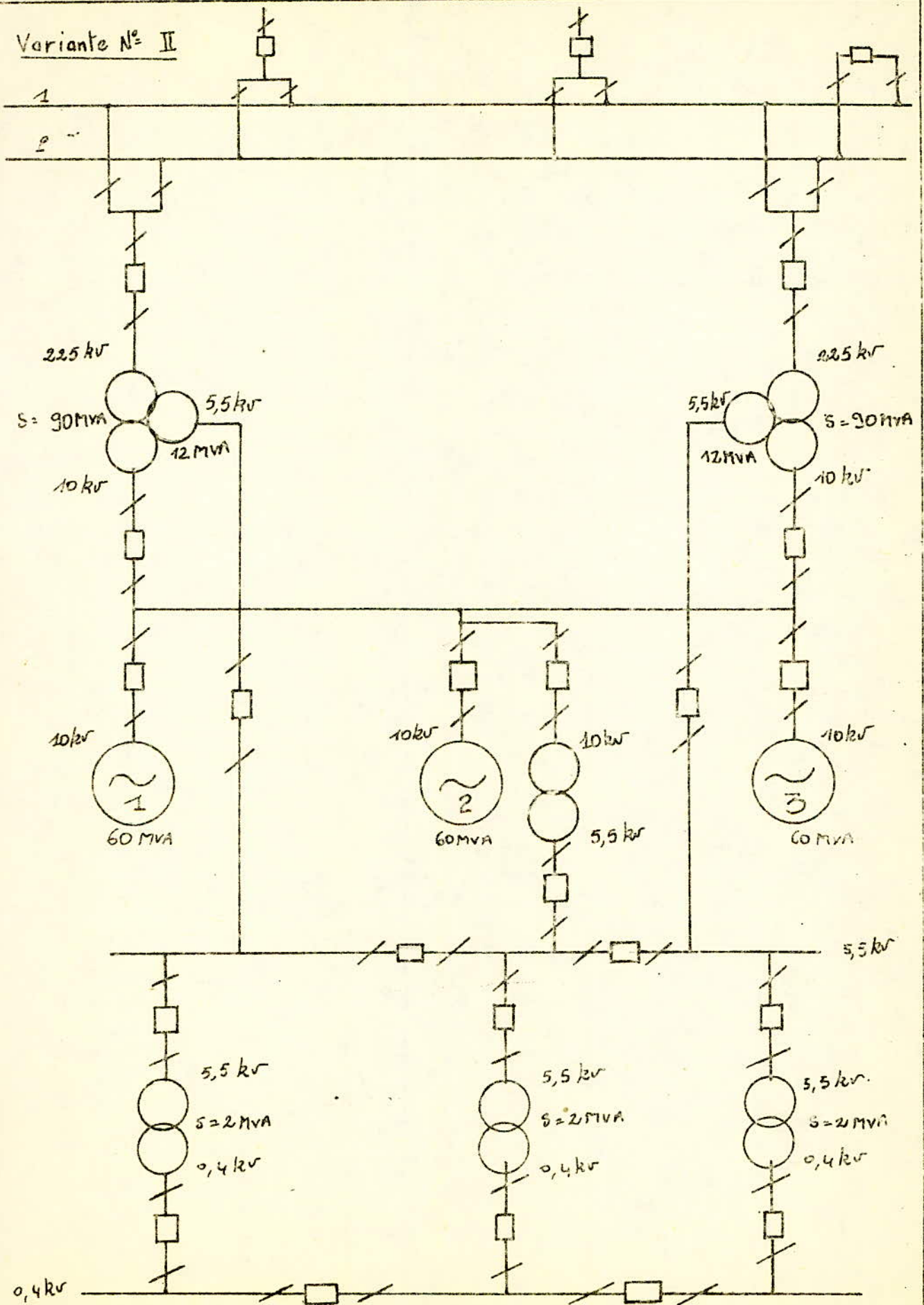


Fig. (8.2)

Variante N^o III

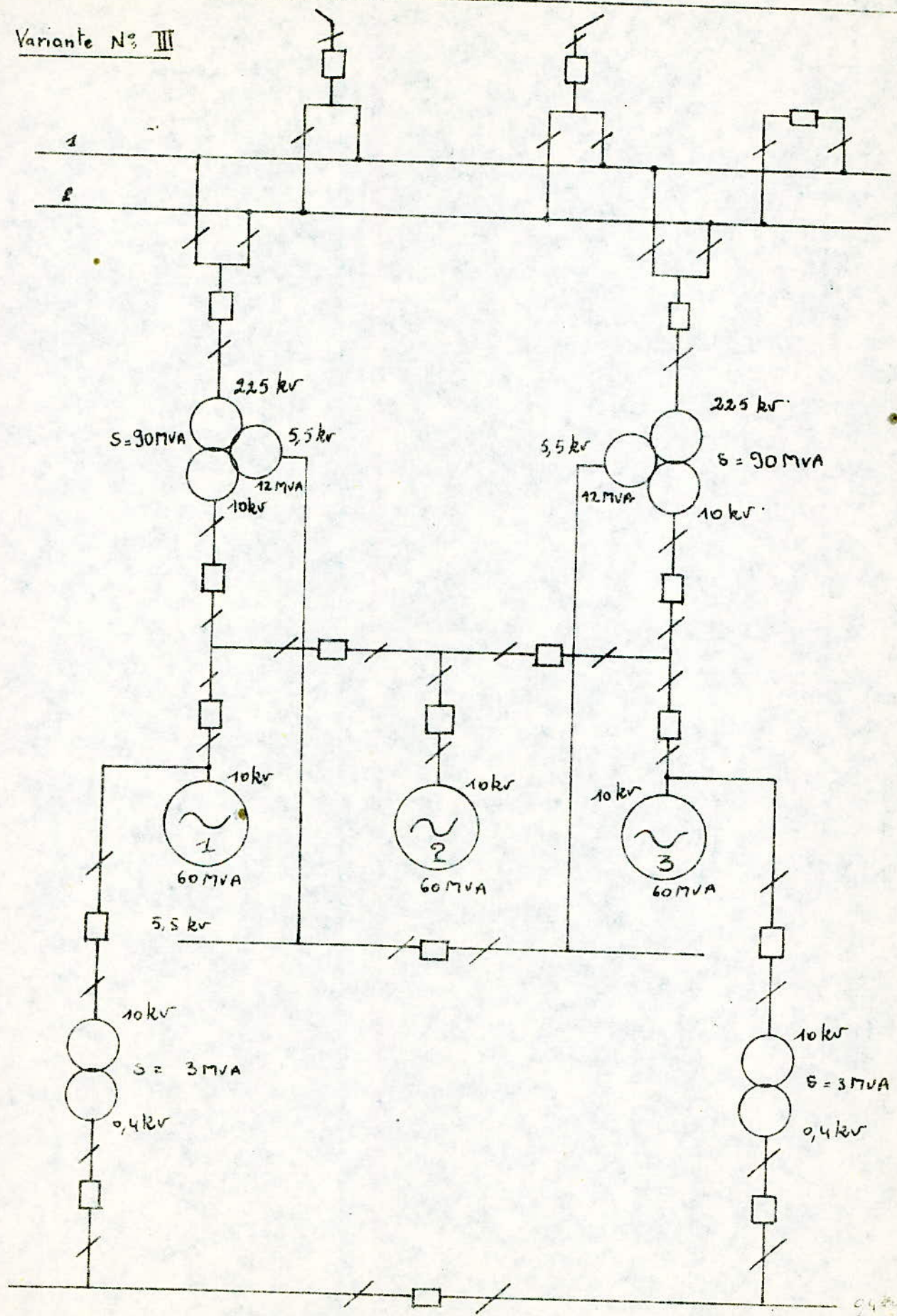
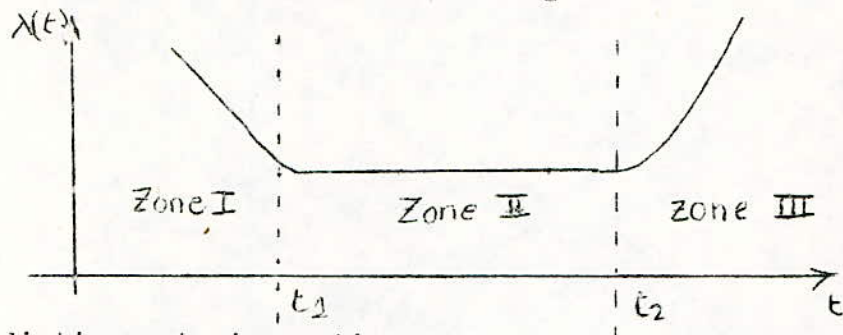


Fig (A.3)

C'est la probabilité pour que l'élément ayant fonctionné sans défaut jusqu'à l'instant "t" tombe en panne au cours de l'unité suivante de temps "dt".

On définit
$$\lambda = \frac{1}{M.T.B.F.}$$

avec MTBF : temps moyen de bon fonctionnement entre défaut; physiquement " λ " représente le nombre moyen de défaut par unité de temps et par équipement. Dans le cas d'un très grand nombre d'éléments, les données expérimentales montrent que $\lambda(t)$ présente l'allure de la courbe dite en "baignoire"



On distingue trois parties

Zone I : période appelée période de rodage, apparaissent les défaillances les plus grossières qui correspondent aux erreurs de fabrication.

Zone II : période de fonctionnement normal

Zone III : période de vieillissement ou d'usure

Dans la majorité des éléments, il existe une longue période pour laquelle $\lambda(t)$ est pratiquement constant, on peut négliger les deux autres périodes.

- Taux de réparation : $\mu(t)$

C'est la probabilité pour que l'élément qui est en défaut à l'instant "t", soit remis en service au cours de l'unité suivante de temps "dt".

On définit ainsi la période de fonctionnement normal :

$$\mu(t) = \mu = \frac{1}{M.T.T.R.}$$

avec MTR : moyenne des temps pour les réparations.

- Taux de disponibilité : P

C'est la probabilité pour que le système fonctionne à l'instant "t", sans qu'il soit nécessaire qu'il est fonctionné toute la durée (0,t).

- Taux d'indisponibilité : q avec $q = 1-p$

C'est la probabilité que le système ne fonctionne pas à l'instant "t".

Remarque

Les grandeurs λ, λ_1, p, q , sont utilisés pour apprécier la fiabilité des éléments simples ou serviront de paramètres pour le calcul de la fiabilité d'un système complexe, nous avons :

$$q = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1}$$

Méthode binomiale

Cette méthode (la plus utilisée) est basée sur la loi de distribution binomiale $B(pq)$ avec la variable aléatoire discrète N_d définie par le nombre d'éléments défectueux au cours du fonctionnement du système.

La densité de probabilité étant :

$$(1) \quad F(k) = P(N_d = k) = C_n^k \cdot q^k \cdot p^{n-k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot q^k \cdot p^{n-k}$$

La fonction de probabilité cumulée sera :

$$(2) \quad F(k) = P(N_d = k) = \sum C_n^x \cdot q^x \cdot p^{n-x}$$

avec

n : étant le nombre d'élément total

N_d : variable aléatoire discrète

k : nombre d'éléments défectueux

p : taux de disponibilité

q : taux d'indisponibilité.

4/ Application aux variantes

Parmi les éléments du réseau on distingue :

- les éléments moins fiables : pour lesquels λ est important ou p faible tel que, ligne, transformateur de puissance, disjoncteur
- les éléments fiables : pour lesquels λ faible, où p important tels que : sectionneurs, transformateurs de mesures, jeux de barre, appareils auxiliaires ...

Pour nos calculs de fiabilité, on utilise la méthode binomiale qui est simple et beaucoup utilisée en pratique?

D'après les données de catalogue on a :

sectionneur : $q_1 = 0,005$ donc $P_1 = 1 - q_1 = 0,995$

disjoncteur : $q_2 = 0,007$ " $P_2 = 1 - q_2 = 0,993$

transformateur : $q_3 = 0,06$ " $P_3 = 1 - q_3 = 0,940$

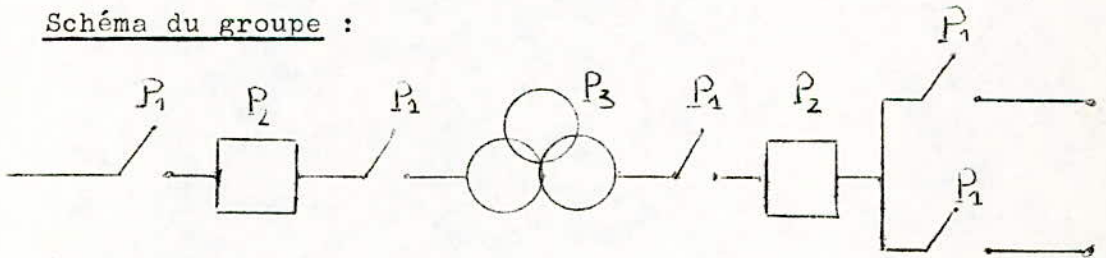
4-1/ Variante N°I : voir (1-1)

Calculons la probabilité : P d'avoir une puissance inférieure ou égale à 150 MW : $P \geq 150$ MW

La variante N°I peut être partagée en deux catégories :

- poste
- partie alimentant les auxiliaires

Schéma du groupe :



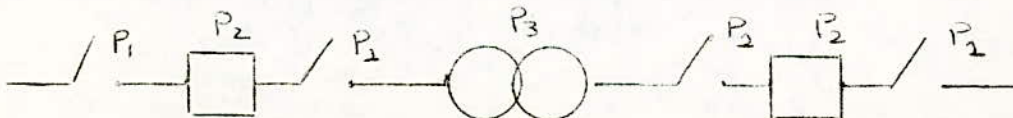
La probabilité que le groupe est disponible $P_g = P_1^5 \cdot P_2^2 \cdot P_3$

" " " " indisponible $q_g = q_1^5 \cdot q_2^2 \cdot q_3$

On trouve $P_g = (0,99)^5 \cdot (0,99)^2 \cdot (0,94) = 0,904$

$q_g = (0,005)^5 \cdot (0,007)^2 \cdot (0,06) = 0$

Schéma de la partie alimentant les auxiliaires



$$P_g = P_1^4 \cdot P_2^2 \cdot P_3 = (0,99)^4 \cdot (0,99)^2 \cdot 0,94 \cong 0,908$$

$$q_g = q_1^4 \cdot q_2^2 \cdot q_3 \cong 0$$

En appliquant la formule (1) on aura

P : puissance fournie par un alternateur

POSTE		AUXILIAIRES	
Puissance défaillante	probabilité de défaillance	puissance défaillante	probabilité de défaillance
aucun groupe 0	$(P_g)^3 = 0,74$	0	$(P_g)^3 = 0,75$
1 groupe $3(P/3)$	$3(P_g)^2 \cdot q_g = 0$	$3(P/3)$	$3(P_g)^2 \cdot q_g = 0$
2 groupes $3(2P/3)$	$3(P_g) \cdot (q_g)^2 = 0$	$3(2P/3)$	$3P_g \cdot q_g^2 = 0$
3 groupes 3P	$(q_g)^3 = 0$	3P	$q_g^3 = 0$

En utilisant la formule (2) : on aura :

la probabilité cumulée pour le poste : $\sum P_i = 0,74$

la probabilité cumulée pour les auxiliaires : $\sum P_n = 0,75$

pour l'ensemble de la centrale on aura le produit des probabilités

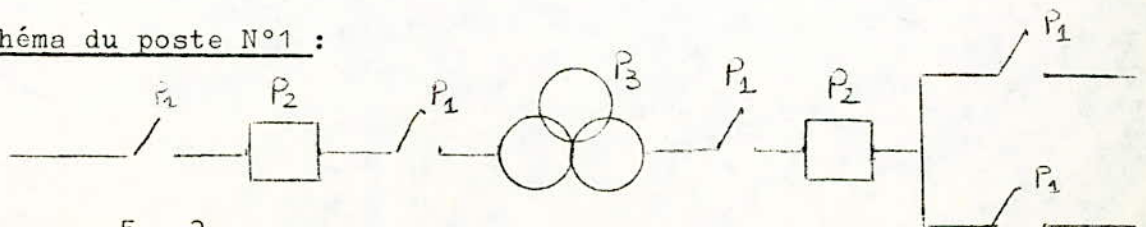
$$Pr = 0,74 \cdot 0,75 = 0,56$$

4-2/ Variante N° II : (voir fig. (4-2))

La variante N°II peut être partagée en trois parties :

- poste 1 caractérisant les éléments au-dessous de la barre 10 Kv
- poste 2 caractérisant les éléments au-dessus de la barre 10 Kv
- auxiliaires

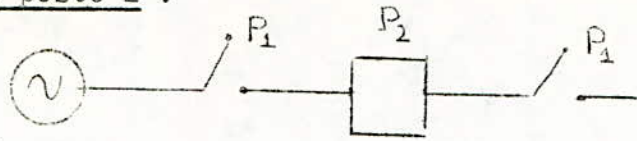
Schéma du poste N°1 :



$$P_{g1} = P_1^5 \cdot P_2^2 \cdot P_3 = 0,904$$

$$q_{g1} = q_1^5 \cdot q_2^2 \cdot q_3 = 0$$

Schéma du poste 2 :

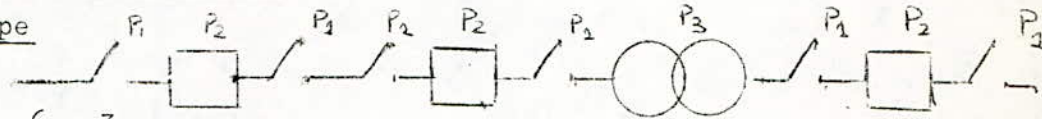


$$Pg2 = P1^2 \cdot P2 \cong 0,98$$

$$qg2 = q1^2 \cdot q2 \cong 2 \cdot 10^{-7}$$

Schéma des auxiliaires

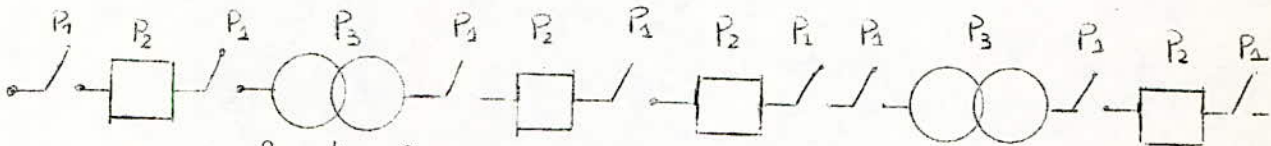
- 1° type



$$Pg3 = P1^6 \cdot P2^3 \cdot P3 \cong 0,89$$

$$qg3 = q1^6 \cdot q2^3 \cdot q3 \cong 0$$

- 2° type



$$Pg4 = P1^8 \cdot P2^4 \cdot P3^2 \cong 0,83$$

$$qg4 \cong 0$$

Poste 1		Poste 2		Auxiliaire	
puissance défaillante	probabilité de défaillance	puissance défaillante	probabilité de défaillance	puis. défaut.	prob. de défaut.
0	$Pg1 = 0,82$	0	$Pg2 = 0,94$	0	$Pg3 \cdot Pg4 = 0,75$
$3(P/2)$	$2Pg1 \cdot qg1 = 0$	$3P/3$	$3Pg2 \cdot qg2 = 5,8 \times 10^{-7}$	$3P/3$	$2Pg3 \cdot Pg4 + qg4 \cdot Pg3 = 0$
		$3(2P/3)$	$3Pg2 \cdot qg2 = 0$	$\frac{3(2P)}{3}$	$2qg3 \cdot Pg3 \cdot qg4 + qg3 \cdot Pg4 = 0$
$3(P)$	$qg1 = 0$	$3P$	$qg2 = 0$	$3P$	$2qg3 + qg4 = 0$

En faisant la somme des probabilités on trouve :

pour le poste 1

$$P = \sum Pi = 0,82$$

Poste 2

$$P = \sum P_i = 0,94$$

pour les auxiliaires

$$P = \sum P_i = 0,75$$

pour l'ensemble de la centrale

$$P = 0,82 \cdot 0,75 \cdot 0,94 = 0,58$$

$P = 0,58$

- Conclusion

On trouve $P = 0,56$ pour la variante N°1

" " $P \pm 0,58$ " " " N°2

c) Etude économique1/ Calcul économique

Faute de certaines données, le calcul économique a été fait uniquement sur la base du coût d'investissement des équipements notamment disjoncteur, transformateur et sectionneur pour chaque variante.

Coûts des équipements donnés par la Sonelgaz

disjoncteursSectionneurs

220 Kv \cong 250 KDA	220 Kv \cong 50 KDA
60 Kv \cong 120 KDA	60 Kv \cong 20 KDA
10 Kv \cong 60 KDA	10 Kv \cong 10 KDA
5,5 Kv \cong 60 KDA	5,5 Kv \cong 10 KDA
0,4 Kv \cong 30 KDA	0,4 Kv \cong 0,8 KDA

Transformateurs

120 MVA - 220 Kv/60 Kv/5,5 Kv.	2000 KDA
3 MVA - 5,5/0,4 Kv .	100 KDA

1.1/ Variante N° 1 :

	Nombres					Prix (KDA)
	220 Kv	60 Kv	10 Kv	5,5 Kv	0,4 Kv	
disjoncteurs	4	—	4	4	5	1630
sectionneurs	11	—	8	8	10	790
transformateurs	2	—	—	3	—	6300
Coût total	Prix total					8760 KDA

1.2/ Variante N° 2 :

	Nombres					Prix (KDA)
	220Kv	60Kv	10Kv	5,5Kv	0,4Kv	
disjoncteurs	3	—	7	7	5	1740
sectionneurs	8	—	14	14	10	760
transformateurs	3	—	—	3	—	6300
Coût total						8800 KDA

1.3/ Conclusion :

Pour le choix, l'ordre de grandeur de la fiabilité et le coût d'investissement ne sont pas tellement significatifs dans ce cas. Pour ce faire, la variante I sera choisie du fait qu'elle présente :

- meilleurs commodités d'exploitation
- protection des hauches indépendantes
- possibilité d'extention dans les années futures.

- Les caractéristiques de certains éléments choisis pour cette variante sont les suivantes :

* Pour les alternateurs

P = 50 MW
 Coef = 0,8
 Un = 10 Kv
 X''d = 12°/。
 R''d = 1°/。

* Pour les transformateurs à 3 enroulements

Uht = 225 Kv	Ucc HT/MT = 12°/。
Umt = 10 Kv	Ucc HT/BI = 10°/。
Mbt = 5,5 Kv	Ucc MT/BT = 8°/。

SHT = 60 MVA	Pcc HT/MT = 0,5°/。
SMT = 60 MVA	Pcc HT/BI = 0,8°/。
SBT = 12 MVA	Pcc MT/BT = 0,8°/。

* Pour les transformateurs à 2 enroulements

UHT = 10 Kv
 MBT = 0,4 Kv

Ucc = 8°/。
 Pcc = 1°/。

SHT = 2MVA
 SBT = 2MVA

* Pour les lignes

Xo = 0,14. Km	L1 = 100 Km
Ro = 0,033 /Km	L2 = 80 Km

- BILAN DES PUISSANCES CONSOMMÉES PAR LES AUXILIAIRES
D'UNE CENTRALE THERMIQUE.

Moteurs	tension U(Kv)	NBR	Puissance		en reserve	Cosie	S KVA
			Unit KW	Total KW			
Pompes alimen taires	5,5	2	708	1416	1	0,9	
Pompes axtra ction	"	1	486	486	1	"	
Ventilateur	"	1	165	165	1	"	
Compresseur	"	2	111	222	1	"	
Supresseur	"	1	111	111	1	"	
TOTAL	5,5	7		2400		0,9	2666,7
auxiliaire de chaufferie	0,4						
auxiliaires	"						
auxiliaires refrigération	"						
TOTAL				270		0,9	300



C H A P I T R E - II -CHOIX DE L'EQUIPEMENT ELECTRIQUETHEORIEA. INTRODUCTION

Autre que les conditions normales d'exploitation (régime normal), l'équipement électrique est sujet à des régimes perturbés.

(surcharges occasionnelles, défauts de condition climatique.etc...)

Parmi tous ces facteurs, l'équipement électrique est surtout défini par les courants de défaut les plus sévères.

B. COURANTS DE COURT CIRCUITa) Généralités

Les court-circuits dans les systèmes électro-énergétiques sont des avaries très graves avec des conséquences négatives pour le fonctionnement des systèmes. On doit les étudier pour prendre les meilleures décisions concernant les types d'équipement et l'organisation générale du système.

Un court circuit est une liaison imprévue établie entre les phases entre elles ou entre les phases et la terre.

D'après les statistiques des différents pays on a les défauts:

- monophasés	qui représentent	les 65%	des défauts
- biphasés - terre	"	20%	"
- biphasés	"	10%	"
-- triphasés	"	5%	"

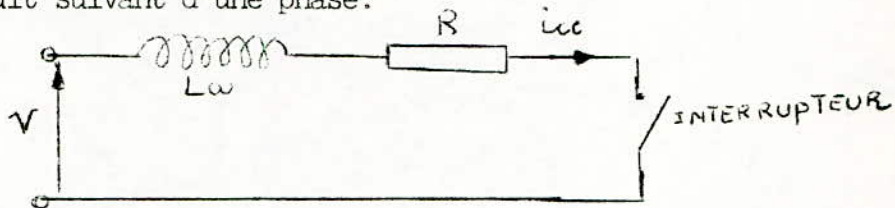
Le calcul de court-circuit triphasé, malgré sa faible probabilité d'apparition représente un élément essentiel dans l'étude des réseaux car c'est lui qui cause beaucoup de problèmes.

Comme le calcul exact est difficile, on utilise des hypothèses simplificatrices (sans pour autant donner de grandes erreurs) qui sont:

- les circuits magnétiques sont non saturés
- les courants de magnétisation des transformateurs sont négligeables
- les capacités des lignes sont négligeables
- la résistance de l'arc dû au court-circuit est négligeable.

b) - Etude du court circuit triphasé

Soit le circuit suivant d'une phase:



d'après la loi d'Ohm on a :

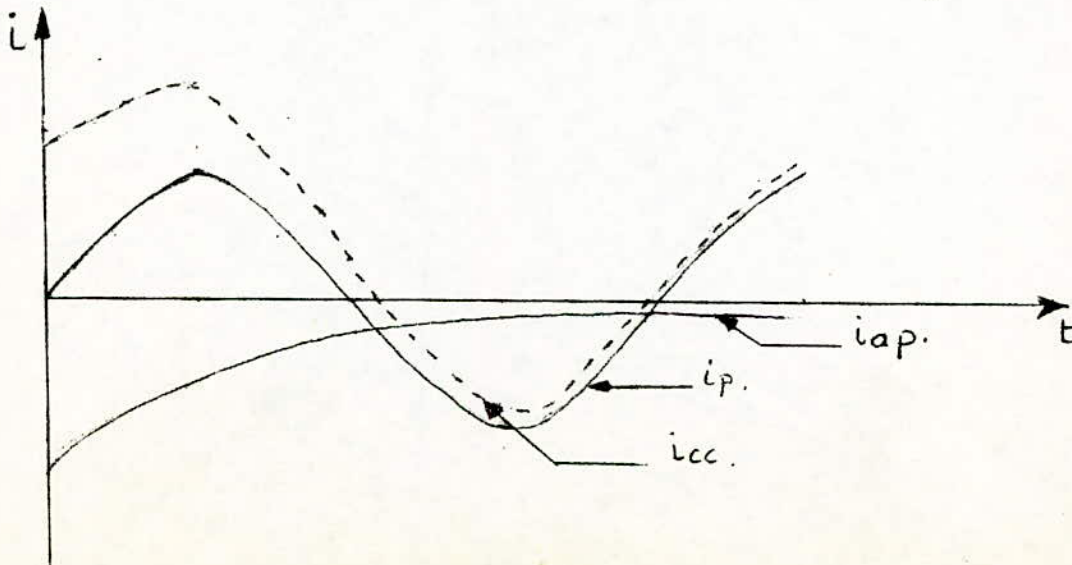
$$v = V_m \sin(\omega t + \psi) = L \frac{di_{cc}}{dt} + R i_{cc}$$

on aura :

$$i_{cc}(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \left[\sin(\omega t + \psi - \varphi) - e^{-\frac{R}{L}t} \times \sin(\psi - \varphi) \right]$$

d'après l'expression de $i_{cc}(t)$ instantané, on remarque que le courant de court circuit se décompose en une composante périodique i_p et une composante aperiodique i_{ap}

φ étant l'angle de court-circuit tel que $\tan(\varphi) = \frac{L\omega}{R}$



Cas particuliers

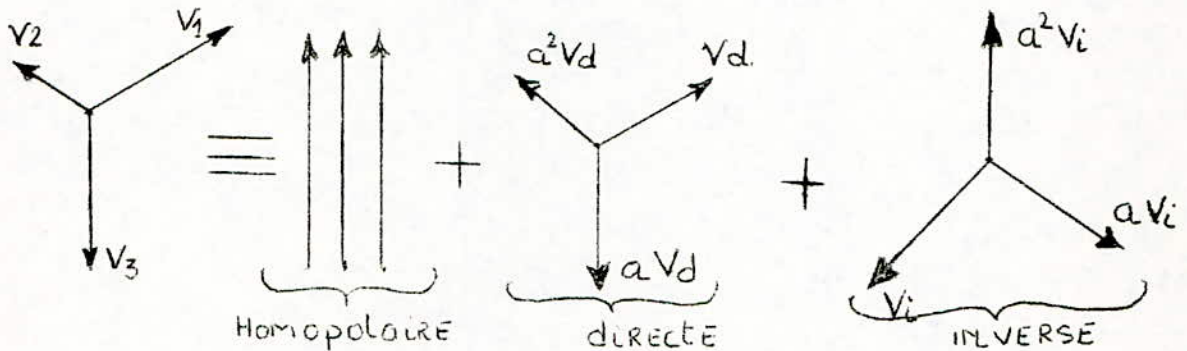
$$\left. \begin{array}{l} \varphi = \frac{\pi}{2} \\ \varphi = \frac{\pi}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow i_{cc} = i_p = \frac{V_m \sin \omega t}{X_{cc}} = \frac{U_m \sin \omega t}{\sqrt{3} X_{cc}}$$

$$i_{ap} = 0$$

en négligeant les résistances devant les réactances, on a $\varphi = \frac{\pi}{2}$

C) Etude du court-circuit par la méthode des composantes symétriques

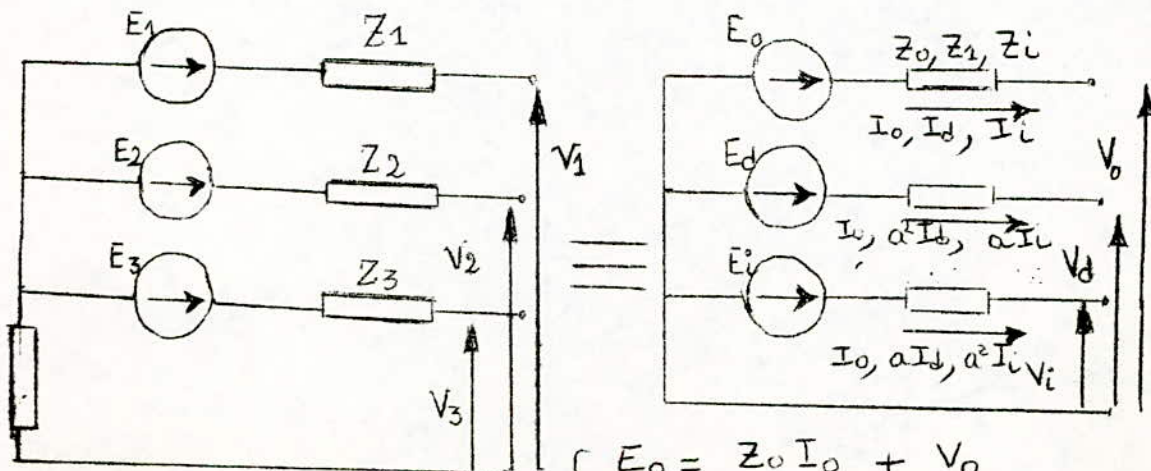
Un système triphasé quelconque peut être décomposé en 3 systèmes triphasés équilibrés.



on a les équations suivantes :

$$I \left\{ \begin{array}{l} V_1 = V_0 + V_d + v_i \\ V_2 = V_0 + a^2 V_d + a V_i \\ V_3 = V_0 + a V_d + a^2 V_i \end{array} \right.$$

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



on aura : II

$$\left\{ \begin{array}{l} E_0 = Z_0 I_0 + V_0 \\ E_d = Z_d I_d + V_d \\ E_i = Z_i I_i + V_i \end{array} \right.$$

Comme on a un court-circuit triphasé on a alors $V_1 = V_2 = V_3 = 0$
donc d'après le système I on tire que $V_o = V_d = V_i = 0$

Comme l'alternateur donne des tensions et des courants symétriques alors on a:
 $E_o = E_i = 0$ d'après le système II on tire que $\left\{ \begin{array}{l} E_d : Z_d \cdot I_d \\ E_i = I_o = 0 \end{array} \right.$

$$\text{d'où } I_{cc} = I_d = \frac{E_d}{Z_d}$$

généralement dans un alternateur, on suppose que sa f.e.m $E_n = 1,1 \cdot V_n$
on aura donc $I_{cc} = I_d = \frac{1,1 \cdot V_n}{Z_d} = \frac{1,1 \cdot U_n}{3 \cdot Z_d} = I_{cc}$

Donc pour le calcul de courant de court circuit, c'est la composante directe des impédances qui intervient.

d) Eléments de base de calcul

1+ - Impédance du réseau

Le courant de court circuit est dépendant de l'impédance du circuit équivalent déterminé par le point de défaut, donc on doit calculer au - paravant les impédances des composantes du réseau.

Les résistances sont généralement négligeables, on assimile donc les impédances à des réactances.

1.1 - Impédance des générateurs

On calcule la réactance et la résistance de la façon suivante:

$$X_A = \frac{U_n^2 \cdot X_d''}{S_n} \quad ; \quad R_A = \frac{U_n^2 \cdot R_d''}{S_n}$$

X''d étant la réactance subtransitoire du générateur

R''d " résistance " "

Sn " puissance nominale "

Un " tension " "

1.2 - Impédance des transformateurs

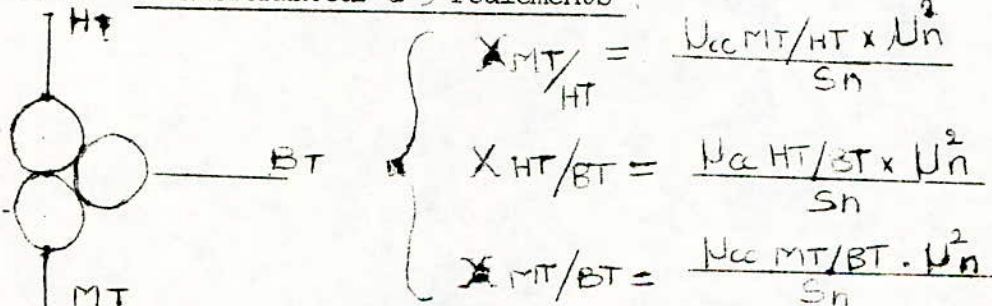
1.2.1 - Transformateurs à 2 enroulements

$$X_T = \frac{U_{cc} \times U_n^2}{S_n} \quad R_T = \frac{P_{cc}}{S_n}$$

U_{cc} = tension de court circuit

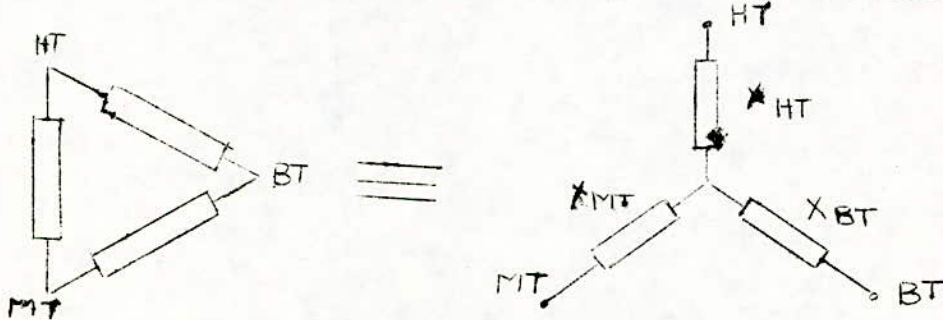
P_{cc} = Puissance " "

1.2.2 - Transformateur à 3 roulements



L'enroulement du transformateur peut être représenté par un schéma équivalent:

lent:



Pour passer du schéma triangle, au schéma étoile on utilise la méthode suivante:

Pour trouver par exemple $X_{HT/MT}$ on doit court circuité la borne HT et MT et laisser la borne BT à vide, cela se matérialise ainsi :



$$X_{HT} = 1/2 (X_{HT/BT} + X_{MT/BT} - X_{MT/BT})$$

$$X_{MT} = 1/2 (X_{HT/MT} + X_{MT/BT} - X_{HT/BT})$$

$$X_{BT} = 1/2 (X_{HT/BT} + X_{MT/BT} - X_{HT/MT})$$

Pour les résistances on a les mêmes formules analogues, en remplaçant seulement X par R .

1.3 - Impédance des lignes

Les réactances et les résistances par unité de longueur X_0 et R_0 .Peuvent être déduites des catalogues.

$$X_L = X_0 \cdot L$$

$$R_L = R_0 \cdot L$$

2 - Impédance ramenée à un niveau de tension U_x

Pour calculer le courant de court circuit à un endroit bien déterminé du réseau, il est indispensable de ramener toutes les impédances à une certaine tension de référence U_x pour pouvoir utiliser les notions d'impédances série et parallèle .

Pour cela on utilise les formules suivantes

$$\begin{aligned} \bar{U} &= U \cdot \left(\frac{U_x}{U} \right) & \bar{Z} &= Z \cdot \left(\frac{U_x}{U} \right)^2 & \bar{I} &= I \cdot \left(\frac{U}{U_x} \right) \\ \left. \begin{array}{l} \bar{U} \\ \bar{Z} \\ \bar{I} \end{array} \right\} &= \text{Valeurs ramenées à } U_x \end{aligned}$$

3/ - Impédance réduite

Un système de grandeur réduite est utilisé pour simplifier les calculs et de travailler en valeur relative.

Le grandeur réduite est le rapport d'une grandeur physique, par une autre grandeur physique de même nature qui a été choisie comme grandeur de base.

On fixe comme grandeur de base S_b et U_b et on en déduit I_b et X_b qui se traduisent comme suit:

$$X^* = X ; X I^*$$

X^* , I^* et U^* étant des grandeurs réduites.

4/ - Conclusion

on aura donc :

$$I_{cc}^* = \frac{1,1 U_n^*}{\sqrt{3} Z_{deq}^*}$$

$$\bar{I}_{cc} = I_{cc}^* \cdot I_b$$

$$\Rightarrow I_{cc} = I_{cc}^* \cdot I_b \cdot \left(\frac{U_x}{U_n} \right)$$

C - COURANT DE CHOÛ

a) Généralités

Le courant de choû étant le courant maximum de court circuit (composante périodique + composante apériodique) qui peut circuler sur le jeu de barres, donc il agit sur les jeux de barres, sur les contacts des disjoncteurs, il est la cause des effets électrodynamiques.

b) - Défaut éloigné

$$I_{ch} = \sqrt{2} \cdot k_{ch} \cdot I_{cc}$$

I_{cc} courant total injecté pour toute les sources

$$k_{ch} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}}$$

k_{ch} : Coef. de choc

T_a : constante de temps.

$$T_a \approx \frac{X_E}{\omega \cdot R_E}$$

X_E réactance équivalente que je détermine pour 1 schéma équivalent avec $R=0$

R_E résistance équivalente

"

"

"

$X = 0$

c) - Défaut près des sources d'injections (générateurs)

$$I_{ch} = \sqrt{2} [k_{chG} \cdot I_{ccG} + k_{chR} \cdot I_{ccR}]$$

k_{chG} coef. de choc du générateur en dommage.

I_{ccG} courant de court circuit du générateur.

k_{chR} coef. de choc du réseau restant

I_{ccR} courant de court-circuit du réseau restant,

d) - Défaut près des moteurs

$$I_{ch} = \sqrt{2} [k_{chM} \cdot I_{ccM} + k_{chR} \cdot I_{ccR}]$$

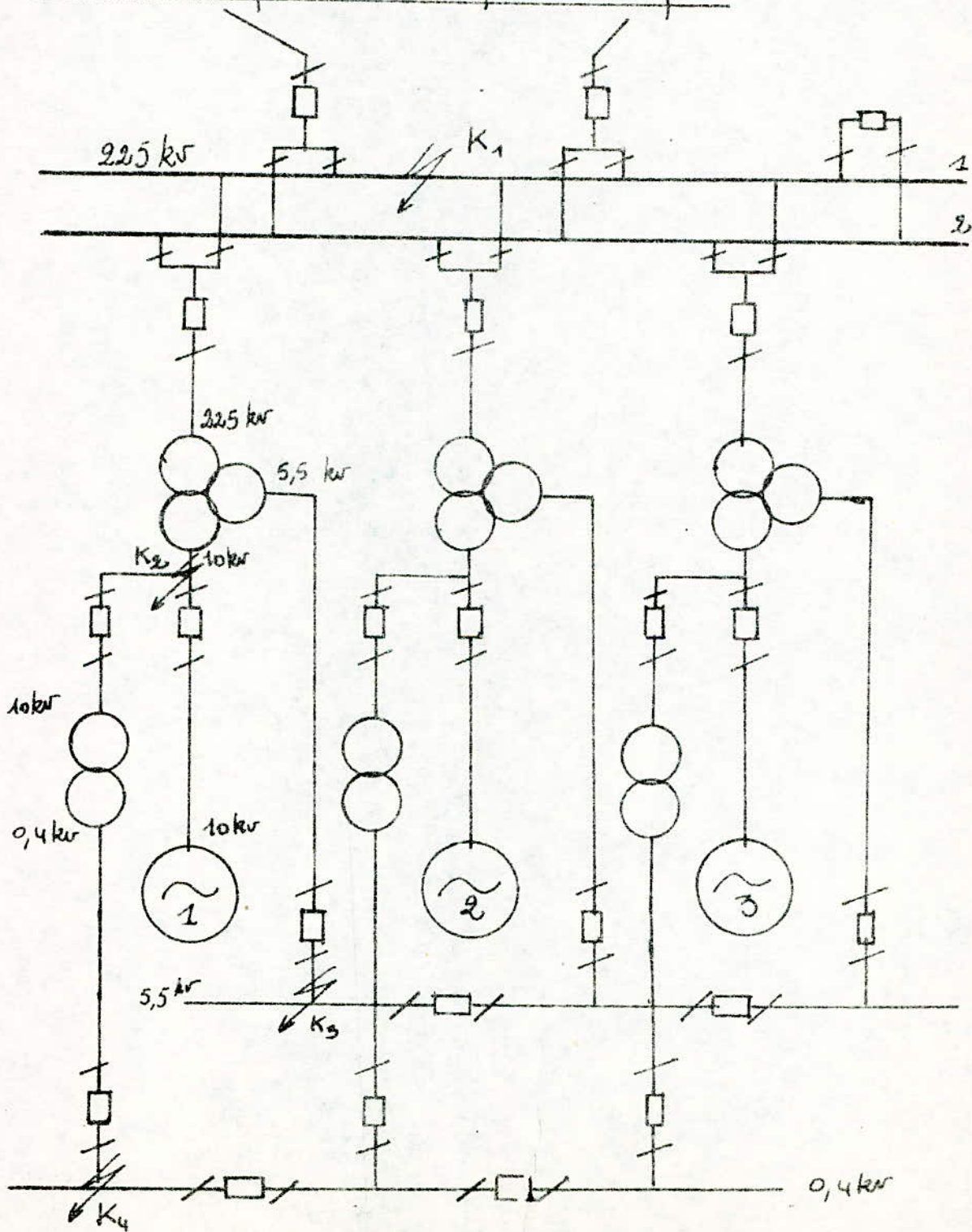
$$I_{ccM} = E_{cc} I_{MNOM} / X'' = 0.9 I_{MNOM} / 0.2 = 4.5 I_{MNOM} = I_{ccM}$$

$E_{cc} = 0.9$ valeur moyenne en P.M (sans unité) de la f.e.m du moteur.

X'' = résistance équivalente " " de réactance interne.

Pour le calcul de courant de court circuit, nous choisissons 4 points K_1, K_2, K_3, K_4 (pour chaque niveau de tension)

Schema d'emplacement des points de defauts



0 - COMPOSANTE PERIODIQUE ET APERIODIQUEa) composante périodique

on a : $I_p = m \cdot I_{cc}$

avec $m = 1$ pour un court circuit triphasé

$m = \sqrt{3}$ " " biphasé

$m = 3$ " " monophasé.

d'où pour un court circuit triphasé, la composante périodique étant le courant de court-circuit.

soit t instant d'élimination du défaut:

$$I_p t = I_{cc}$$

b) Composante aperiodique

soit t_p temps minimum de fonctionnement de la protection = 0,01 s

t_{od} temps d'ouverture du disjoncteur : 0,02 s

$t_p + t_{od}$ temps d'élimination du défaut = 0,03 s

1 - défaut éloigné

La composante aperiodique à l'instant se calcule ainsi :

$$I_a t = \sqrt{2} \cdot I_{cc} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

T_a étant la constante de temps.

2 - défaut aux bornes des générateurs

on aura

$$I_a t = \sum I_a t_G + I_a t_R = \sqrt{2} \left[\sum I_{ccG} e^{-\frac{t}{T_{aG}}} + I_{ccR} e^{-\frac{t}{T_{aR}}} \right]$$

I_{ccG} étant le courant de court circuit du générateur

I_{ccR} " " " " réseau restant

T_{aG} constante de temps du générateurs

T_{aR} " " Réseau.

3) - Défaut aux bornes des moteurs

$$I_a Z = I_a Z_R + \sum I_{ccM} Z_M = \sqrt{2} \left[I_{ccR} e^{-\frac{t}{T_{aR}}} + \sum I_{ccM} e^{-\frac{t}{T_{aM}}} \right]$$

I_{ccM} courant de court circuit du moteur

T_{aM} constante de temps du moteur.

E - IMPULSION THERMIQUE

a). Généralités

Vérifier l'appareillage à la stabilité thermique consiste à déterminer la température d'échauffement au passage du courant de court circuit, pour cela on doit savoir la durée du défaut $T = t_{pr} + t_{disj}$.

Pour vérifier l'appareillage à la stabilité thermique on doit déterminer B_{cc} (impulsion calorifique thermique).

$$B_{cc} = \int_0^t i_{cc}^2(t) dt = B_{ccp} + B_{cca} \equiv I_{cc}^2 t_{fictif}$$

$I_{cc}(t)$ valeur instantanée du courant de court circuit triphasé .

B_{ccp} impulsion thermique de la composante périodique

B_{cca} " " " " apériodique.

t_{f} étant un temps fictif pendant lequel le courant de court circuit permanent I_{cc} dégage dans les conducteurs la même quantité de chaleur que le courant réel de défaut pendant le temps réel t

$$B_{cc} = \int_0^t i_{cc}^2(t) dt = I_{cc}^2 t_f \left\{ \begin{array}{l} \text{On prend:} \\ t_f = 4s \text{ jusqu'à } 30 \text{ kv.} \\ t_f = 3s \text{ au delà de } 110 \text{ kv.} \end{array} \right.$$

de la figure ci-jointe et prend en compte
l'effet de la durée de défaut

b) défaut éloigné

$$B_{cc} = I_{cc}^2 (t + T_a)$$

T_a : constante de temps

t : durée de défaut

c) défaut aux bornes des alternateurs

$$B_{ccp} = B_{pR} + B_{pG} + B_{pGR}$$

$B_{pR} = I_{ccR}^2 \cdot t$ composante périodique due au réseau restant

$B_{pG} = B_{*pG} \cdot I_{cc}^2 \cdot t$ " " " au générateur.

$B_{pGR} = 2 I_{ccR} \cdot T_* \cdot I_{ccG} t$ " " au réseau-générateur.

$$\text{où } B_{*pG} = \frac{\int_0^t I_{ccpG}(t) dt}{I_{ccG}^2 \cdot t} \quad T_* = \frac{\int_0^t I_{ccpG}(t) dt}{I_{ccG}^2 \cdot t}$$

$$B_{cca} = I_{ccR}^2 T_{aR} + I_{cc}^2 T_{aG} =$$

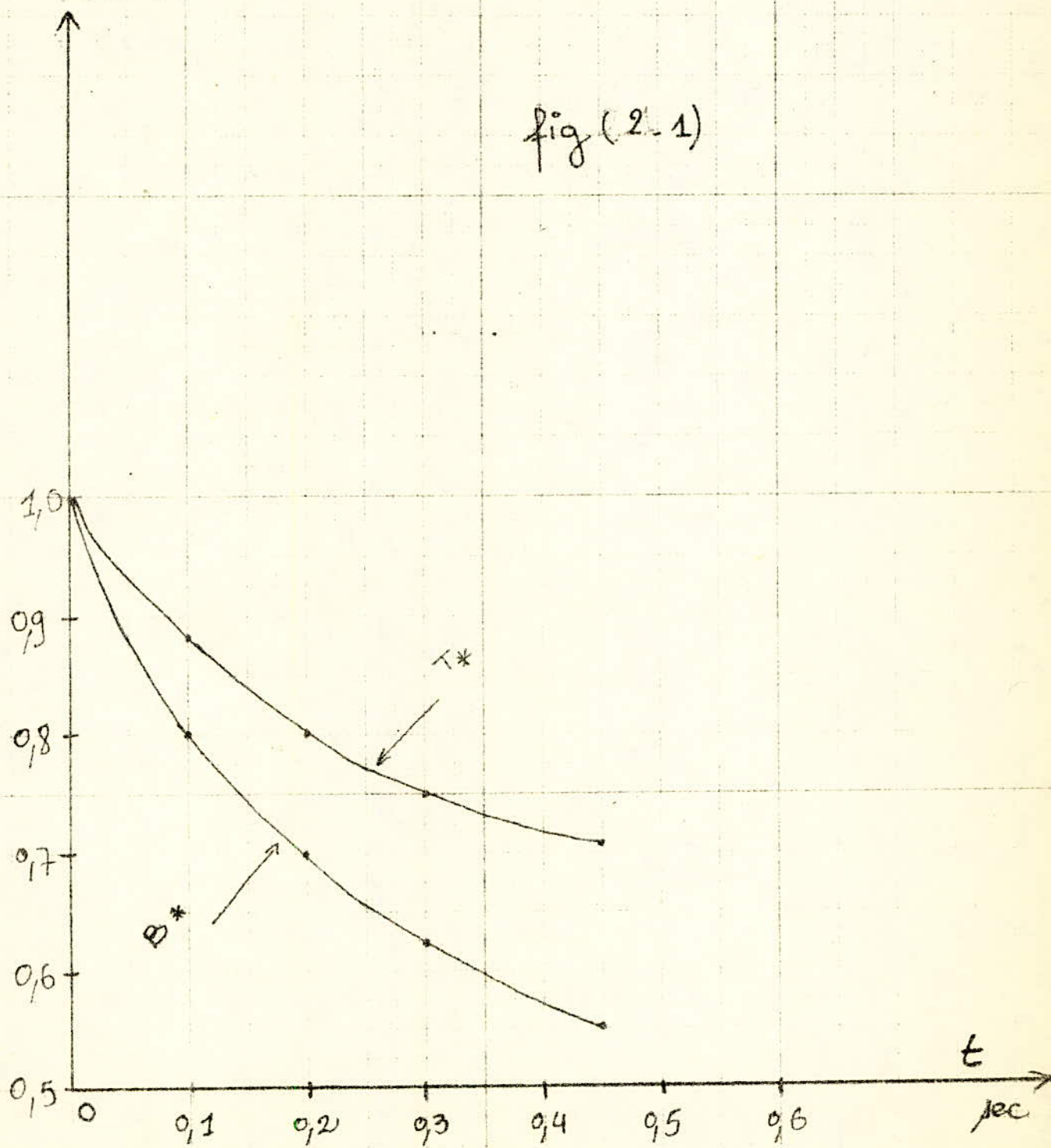
$$B_{cca} = \frac{4 I_{ccR} \cdot I_{ccG}}{\frac{1}{T_{aR}} + \frac{1}{T_{aG}}}$$

Les valeurs de B_{*pG} et T_* sont données par les courbes de la Figure (2.4)

$$B_{*} = f_1(t) \quad ; \quad T_* = f_2(t)$$

$B^* ; T^*$

fig (2-1)



d) - Défaut près des moteurs

$$B_{ccp} \simeq I_{ccR}^2 t + 2 I_{ccR} I_{ccM} T'_E + 0,5 I_{ccM}^2 T'_E$$

$$B_{cca} \simeq (I_{ccM}) \cdot T_a \text{ such}$$

T'_E , T'_{aE} c^{ste} de temps périodique et apériodique du moteur
 T_{asch} c^{ste} de temps du schéma équivalent.

$$T_{asch} = \frac{T_{aE} \cdot I_{ccM} + T_{aR} \cdot I_{ccR}}{I_{ccM} + I_{ccR}}$$

A P P L I C A T I O NA/ CALCUL D'IMPEDANCES

On choisit une base comme étant ainsi.

$$\left. \begin{array}{l} S_b = 60 \text{ MVA} \\ U_b = 10 \text{ KV} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} = \frac{60}{1,73 \times 10} = 3,47 \text{ KA} \\ X_b = \frac{U_b^2}{S_b} = \frac{10^2}{60} = 1,67 \Omega \end{array} \right.$$

a) Impédance des alternateurs

on a les données suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} X''_d = 0,12 \\ S_n = 60 \text{ MVA} \\ U_n = 10 \text{ KV} \\ R''_d = 0,01 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_A = \frac{X''_d U_n^2}{S_n} = \frac{0,12 \times 10^2}{60} = 0,200 \Omega \\ R_A = \frac{R''_d U_n^2}{S_n} = \frac{0,01 \times 10^2}{60} = 0,0167 \Omega \end{array} \right.$$

$$\bar{X}_A = X_A \cdot \left(\frac{U_n}{U_b} \right)^2 = 0,2 \times \left(\frac{10}{10} \right)^2 = 0,200 \Omega$$

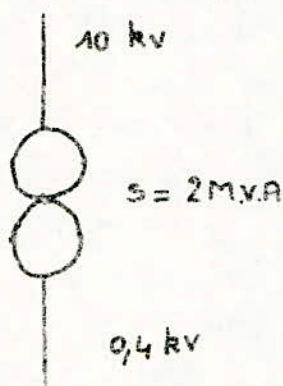
$$\bar{R}_A = R_A \cdot \left(\frac{U_n}{U_b} \right)^2 = 0,0167 \cdot \left(\frac{10}{10} \right)^2 = 0,0167 \Omega$$

$$\begin{cases} \bar{X}_A = X_A \cdot \left(\frac{U_n}{U_n}\right)^2 = 0,2 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^2 = 0,200 \Omega \\ \bar{R}_A = R_A \cdot \left(\frac{U_n}{U_n}\right)^2 = 0,02 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^2 = 0,020 \Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_A^* = \frac{\bar{X}_A}{X_b} = \frac{0,20}{1,67} = 0,120 \\ R_A^* = \frac{\bar{R}_A}{X_b} = \frac{0,02}{1,67} = 0,010 \end{cases}$$

b) Impédance des transformateurs :

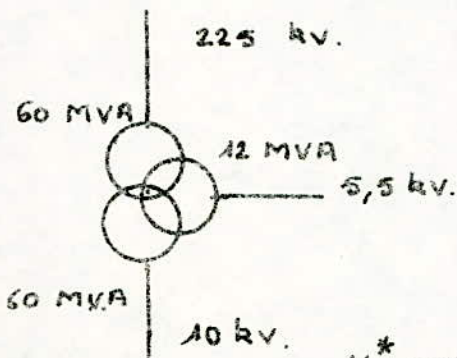
1) Transformateur à 2 enroulements :



$$\begin{aligned} U_{cc} &= 8\% \\ P_{cc} &= 1\% \\ S_n &= 2 \text{ MVA} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} X_T &= \frac{U_{cc}(\%) \cdot U_n^2}{S_n} = \frac{8 \cdot 10^2}{100 \cdot 2} = 4 \Omega \\ \bar{X}_T &= X_T \cdot \left(\frac{U_n}{U_n}\right)^2 = 4 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^2 = 4 \Omega \\ X_T^* &= \frac{\bar{X}_T}{X_{10}} = \frac{4}{1,67} = 2,40 \end{aligned}$$

$$R_T = \frac{P_{cc} \cdot U_n^2}{S_n} \Rightarrow \bar{R}_T = \frac{P_{cc} \cdot U_n^2}{S_n} \cdot \left(\frac{U_n}{U_n}\right)^2 \Rightarrow R^* = \frac{P_{cc} \cdot U_n^2}{S_n \cdot X_b} = 0,300 \Omega$$

2) Transformateur à 3 enroulements :



$$U_{cc} \text{ HT/MT} = 12\%$$

$$U_{cc} \text{ HT/BT} = 10\%$$

$$U_{cc} \text{ MT/BT} = 8\%$$

$$X^*_{\text{HT/MT}} = U_{cc}(\%) \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{1}{X_b} = \frac{0,12 \cdot 10^2}{60 \cdot 1,67} = 0,120$$

$$X^*_{\text{HT/BT}} = \quad // \quad = \frac{0,10 \cdot 10^2}{12 \cdot 1,67} = 0,500$$

$$X^*_{\text{MT/BT}} = \quad // \quad = \frac{0,08 \cdot 10^2}{12 \cdot 1,67} = 0,400$$

Remarque :

Pour le calcul de $X_{HT/BT}^*$ et $X_{MT/BT}^*$ on a utilisé $S_n = S_{nmin}$ car le transformateur ne peut transiter dans un sens que la puissance minimum.

$$X_{HT}^* = \frac{1}{2} (X_{HT/MT}^* + X_{HT/BT}^* - X_{MT/BT}^*) = \frac{1}{2} (0,12 + 0,5 - 0,4) = 0,110$$

$$X_{MT}^* = \frac{1}{2} (X_{HT/MT}^* + X_{MT/BT}^* - X_{HT/BT}^*) = \frac{1}{2} (0,12 + 0,4 - 0,5) = 0,010$$

$$X_{BT}^* = \frac{1}{2} (X_{BT/HT}^* + X_{BT/MT}^* - X_{MT/BT}^*) = \frac{1}{2} (0,5 + 0,4 - 0,12) = 0,390$$

on fera le même calcul pour les résistances, on remplace $U_{cc}(\%)$ par $P_{cc}(\%)$

On trouve donc :

$$R_{HT}^* = 0,0025$$

$$R_{MT}^* = 0,0025$$

$$R_{BT}^* = 0,037$$

c) Impédance des lignes

$$X_{L_1}^* = \frac{X_0 L_1 \cdot U_{nc}^2}{X_b \cdot U_n^2} = \frac{0,14 \cdot 10^2 \cdot 80}{1,67 \cdot 225^2} = 0,013$$

$$X_{L_2}^* = \frac{X_0 L_2 \cdot U_{nc}^2}{X_b \cdot U_n^2} = \frac{0,14 \cdot 10^2 \cdot 100}{1,67 \cdot 225^2} = 0,017$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{l} X_0 = 0,14 \Omega / \text{km} \\ R_0 = 0,033 \Omega / \text{km} \\ L_1 = 100 \text{ km} \\ L_2 = 80 \text{ km} \end{array} \right.$$

$$R_{L1}^* = \frac{R_0 \cdot L_1}{X_b} \cdot \left(\frac{Un}{Un}\right)^2 = \frac{0,033 \cdot 80}{1,67} \cdot \left(\frac{10}{225}\right)^2 = 0,003$$

$$R_{L2}^* = \frac{R_0 \cdot L_2}{X_b} \cdot \left(\frac{Un}{Un}\right)^2 = \frac{0,033 \cdot 100}{1,67} \cdot \left(\frac{10}{225}\right)^2 = 0,004$$

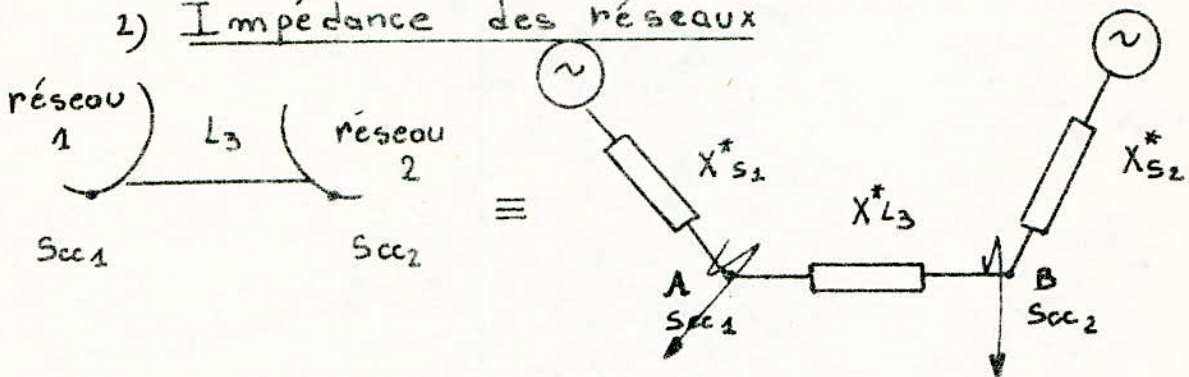
d) Impédances des réseaux interconnectés

1) Impédance de la ligne L3

La ligne L3 a même caractéristique que L2

$$\text{On a: } \begin{cases} X_{L3}^* = X_{L2}^* = 0,030 \\ R_{L3}^* = R_{L2}^* = 0,040 \end{cases}$$

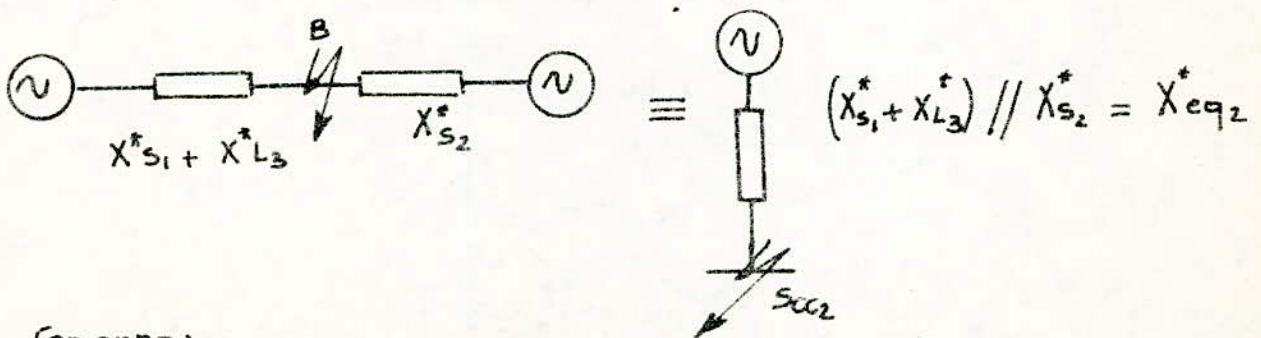
2) Impédance des réseaux



Soit le point B ou on a un court-circuit,

la puissance de court-circuit en ce point est: $S_{cc2} = 8000 \text{ MVA}$

On aura le schéma équivalent suivant:

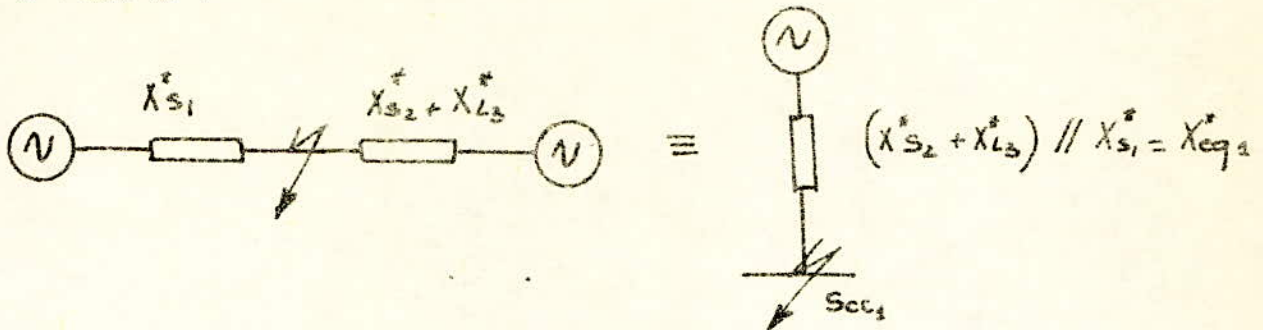


On aura:

$$X_{eq}^* = \frac{U_x^2}{S_{cc2}} \cdot \frac{1}{X_b} = \frac{10^2}{8000 \cdot 1,67} = 0,007$$

Soit le point A, point de court circuit où l'on a $S_{cc1} = 6000 \text{ MVA}$

On aura :



$$X_{eq2}^* = \frac{U_N^2}{S_{cc1} \cdot 1,67} = \frac{10^2}{6000 \cdot 1,67} = 0,010$$

On aura alors à résoudre le système suivant :

$$\begin{cases} 0,007 \cdot X_{s1}^* - 0,023 \cdot X_{s2}^* - X_{s1}^* \cdot X_{s2}^* = 0 \\ -0,020 \cdot X_{s1}^* + 0,010 \cdot X_{s2}^* - X_{s1}^* \cdot X_{s2}^* = 0 \end{cases}$$

la solution étant :

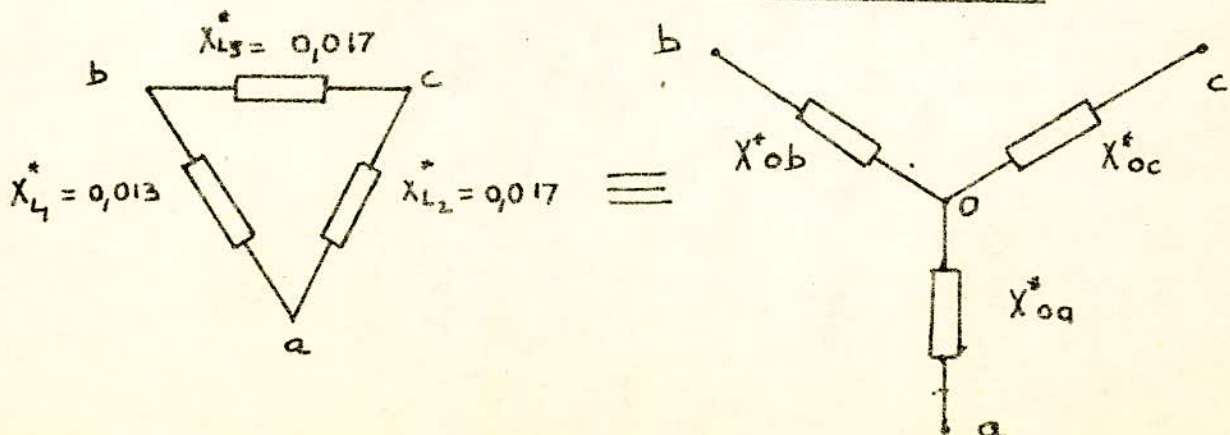
$$\begin{cases} X_{s1}^* = 0,015 \\ X_{s2}^* = 0,012 \end{cases}$$

les résistances R_{s1}^* et R_{s2}^* sont très négligeables devant ces réactances.

e) Shéma de principe en réactances du poste :

le schéma de principe est représenté à la figure (2.2)

1) Simplification des réseaux interconnectés :



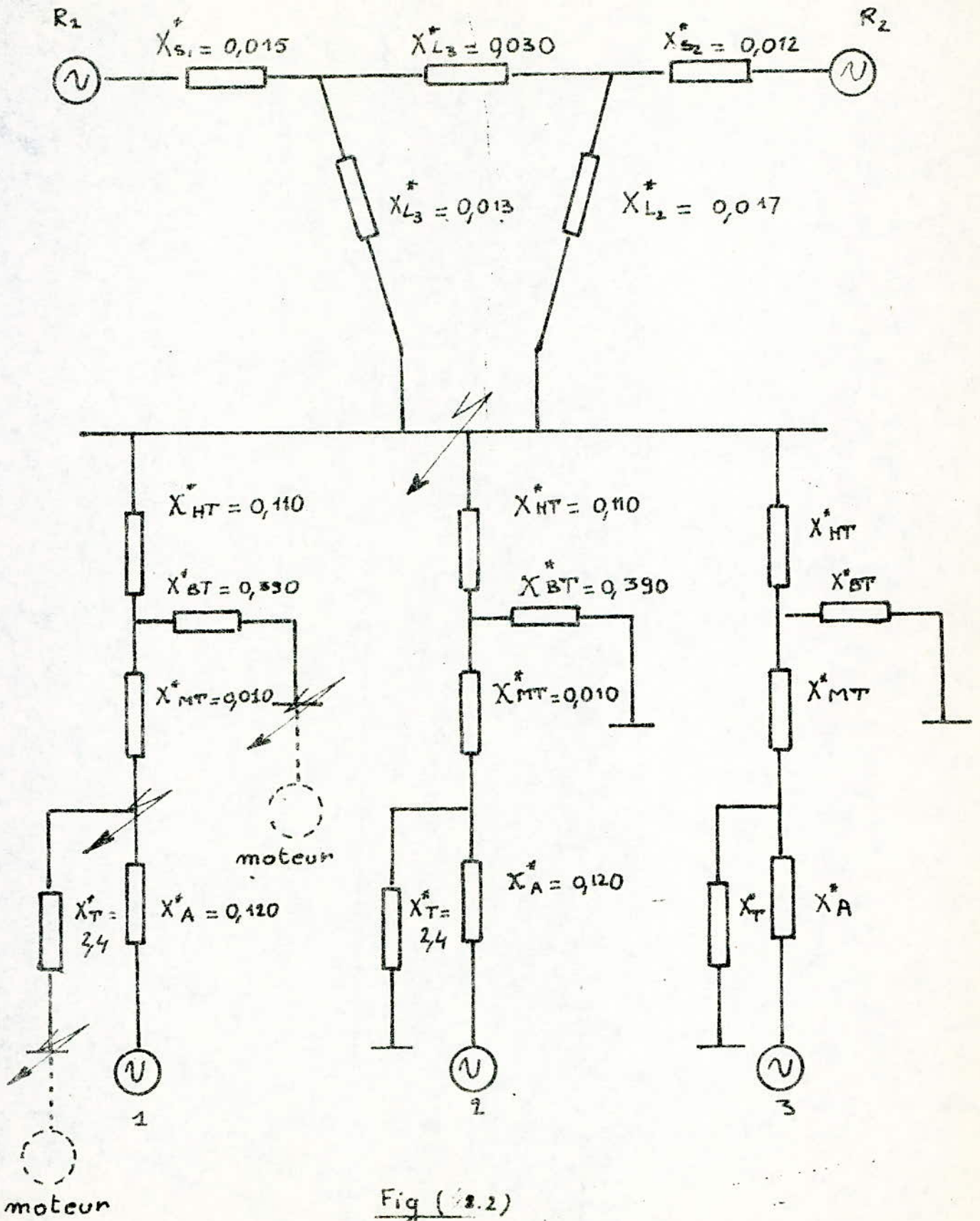


Fig (2.2)

Pour passer du schéma triangle au schéma étoile on utilise les formules suivantes

$$X_{oa}^* = \frac{X_{ab}^* \cdot X_{ac}^*}{X_{ab}^* + X_{bc}^* + X_{ac}^*} = \frac{0,013 \cdot 0,017}{0,013 + 0,017 + 0,017} = 0,005$$

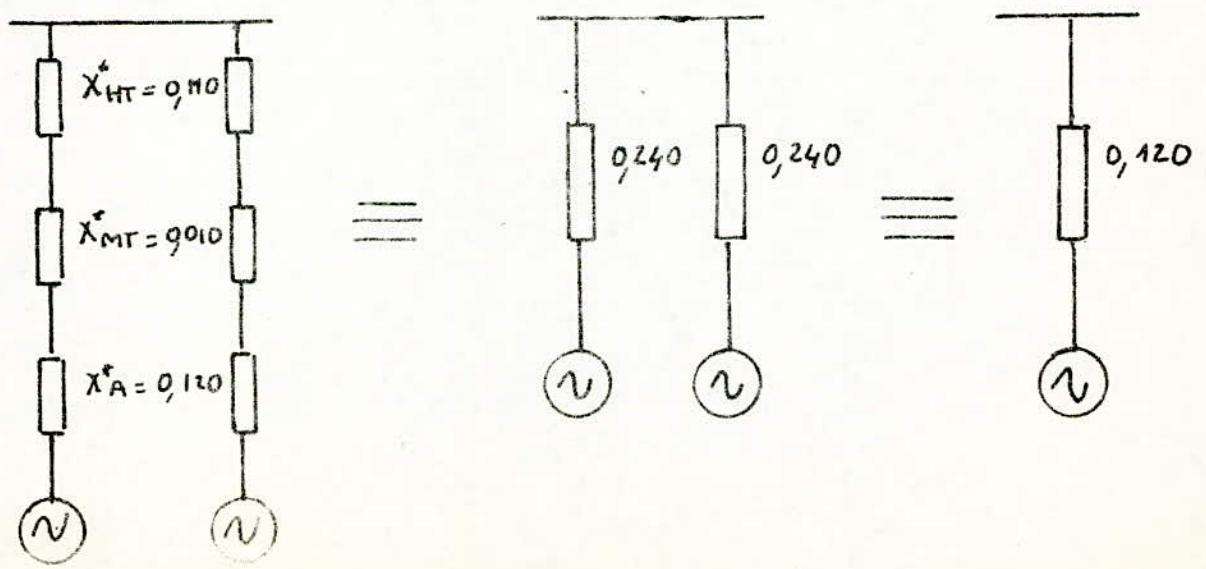
$$X_{ob}^* = \frac{X_{bc}^* \cdot X_{ab}^*}{X_{ab}^* + X_{bc}^* + X_{ac}^*} = \frac{0,013 \cdot 0,017}{0,013 + 0,017 + 0,017} = 0,005$$

$$X_{oc}^* = \frac{X_{bc}^* \cdot X_{ac}^*}{X_{ab}^* + X_{bc}^* + X_{ac}^*} = \frac{0,017 \cdot 0,017}{0,013 + 0,017 + 0,017} = 0,006$$

On aura alors un schéma équivalent représenté à la figure (2.3).

2) Schéma équivalent des groupes 2 et 3

Pour les groupes (2) et (3), les enroulements X_{AT}^* et X_{BT}^* n'interviennent pas, car il n'y a aucune source de ces cotés qui alimentent les points de défauts K_i (les moteurs connectés en 5,5 kv et 0,4 kv donnent un courant négligeable pour les points K_i éloignés des moteurs.)



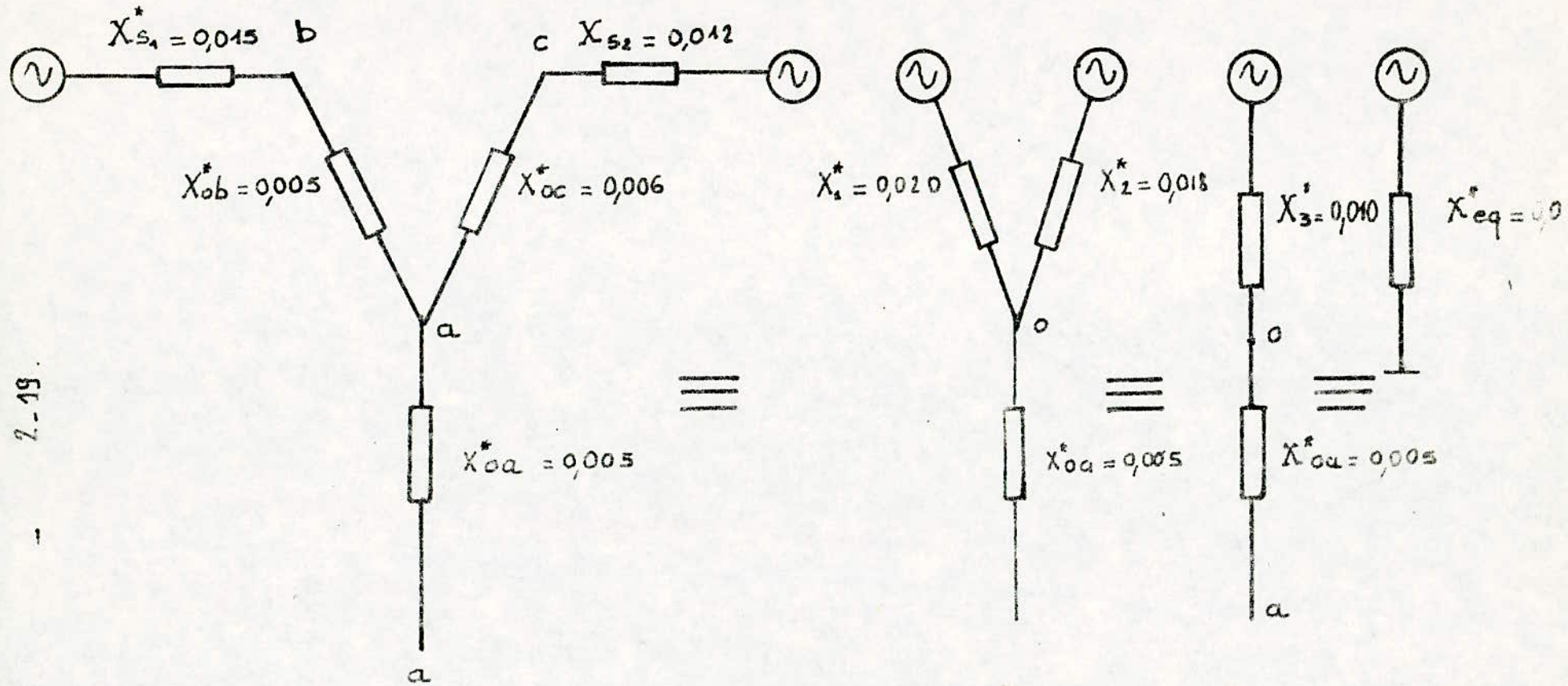
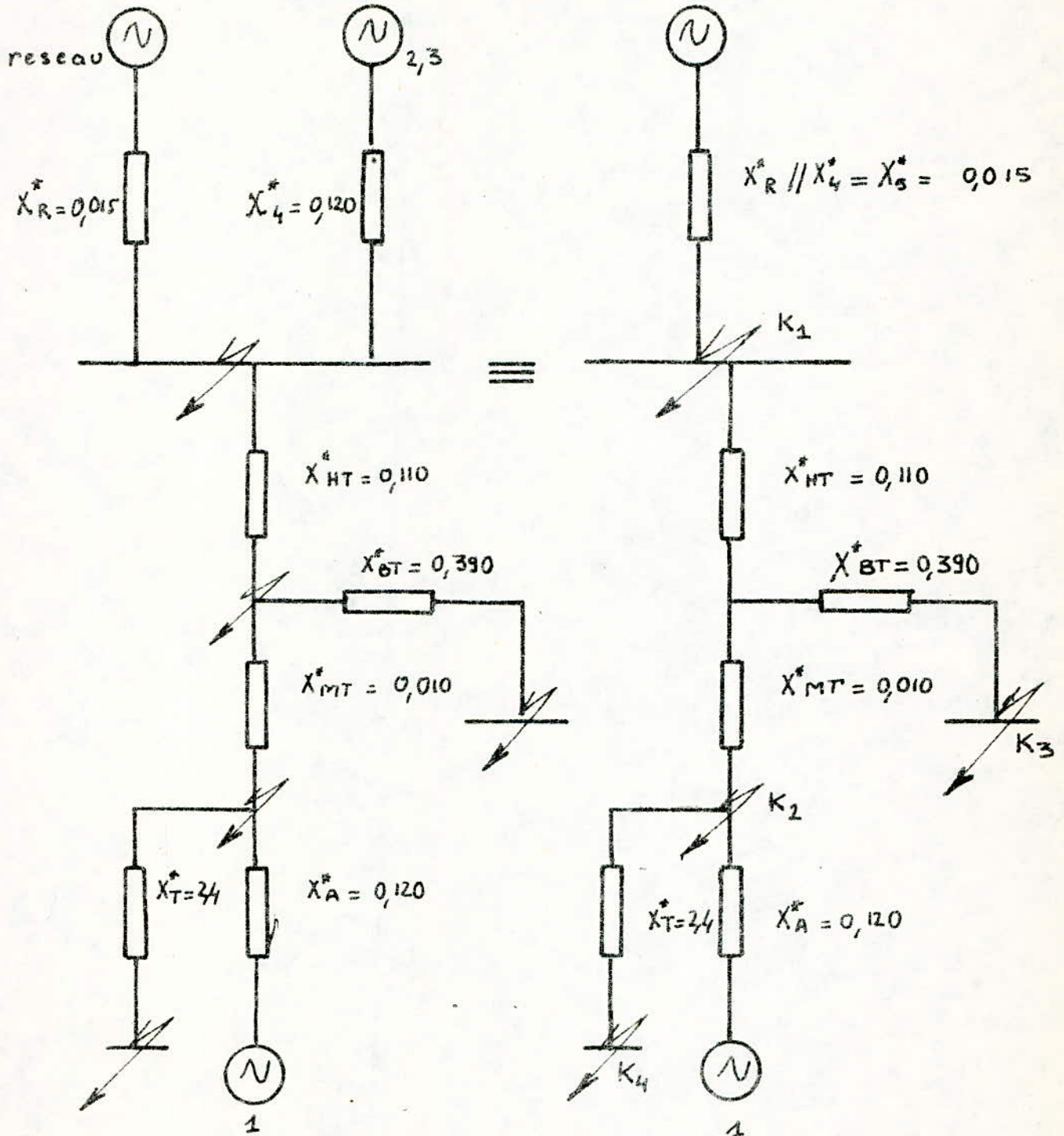


Fig: (2-3). Shéma équivalent du réseau interconnecté

3) Schema equivalent pour le calcul de court-circuit.

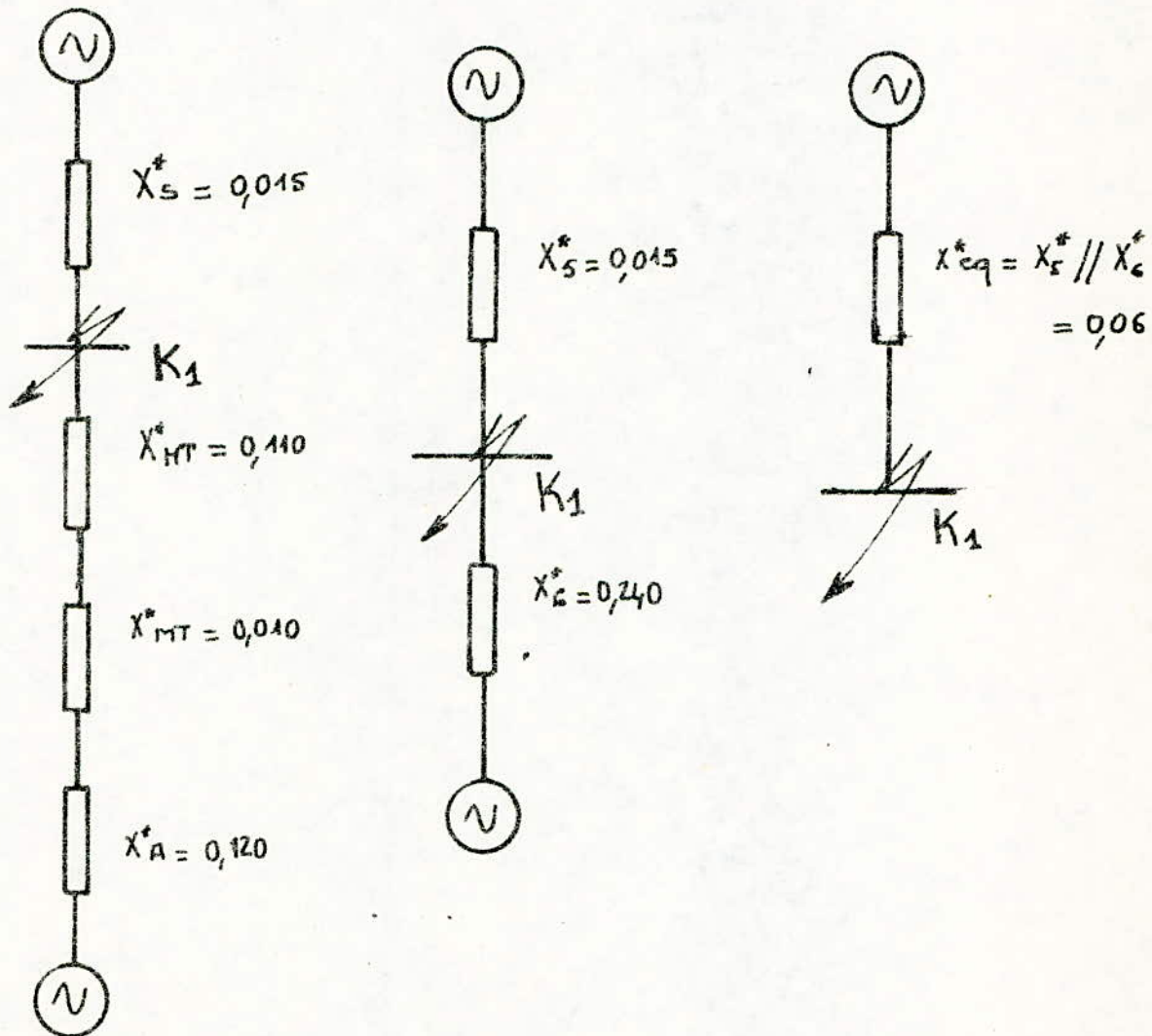


B. Calcul de courant de court-circuit.

a - Courant de court-circuit au point K_1

1) Schéma équivalent :

Les moteurs sont loin de K_1 , ils n'interviennent pas où aucune injections du côté X_{BT}^* et X_T^* n'est prise en considération.



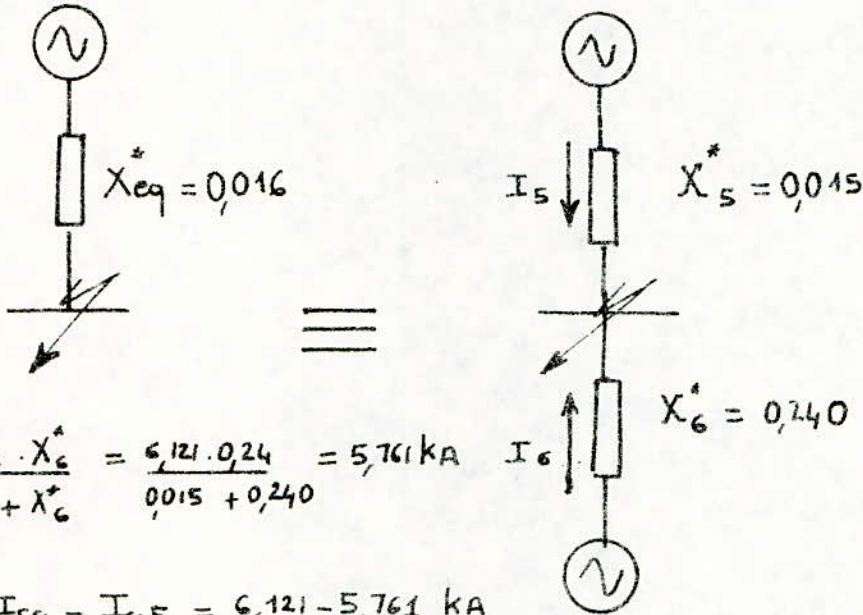
2) Calcul du courant de court-circuit :

$$I_{cc}^* = \frac{1,1 \cdot U^*}{\sqrt{3} \cdot X_{eq}^*} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot X_{eq}^*} = \frac{1,1}{1,732 \cdot 0,016} = 39,694$$

$$\bar{I}_{cc} = I_{cc}^* \cdot I_b \Rightarrow I_{cc} = I_{cc}^* \cdot I_b \cdot \left(\frac{U_b}{U_n}\right) = 39,694 \cdot 3,47 \cdot \frac{10}{225} = 6,121$$

$$I_{cc} = 6,121 \text{ kA}$$

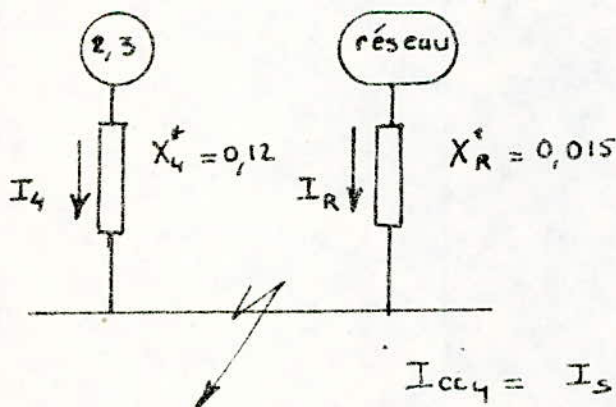
3) Calcul du courant dans chaque branches :



$$I_{c5} = \frac{I_{cc} \cdot X_6^*}{X_5^* + X_6^*} = \frac{6,121 \cdot 0,24}{0,015 + 0,240} = 5,761 \text{ kA}$$

$$I_{cc6} = I_{cc} - I_{c5} = 6,121 - 5,761 \text{ kA}$$

$$I_{cc6} = 0,36 \text{ kA}$$



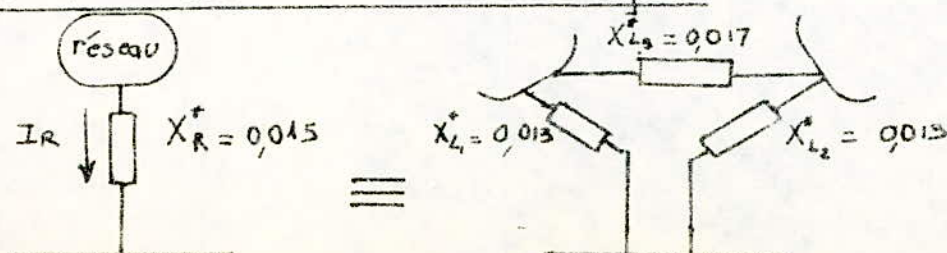
$$I_R + I_4 = I_5$$

$$I_{ccR} = I_5 \cdot \frac{X_4^*}{X_4^* + X_R^*} = \frac{0,120}{0,12 + 0,015}$$

$$I_{ccR} = 5,121 \text{ kA}$$

$$I_{cc4} = I_5 - I_{ccR} = 5,761 - 5,121 = 0,64 \text{ kA}$$

Calcul du courant dans les lignes



Comme $X_{L1}^* \approx X_{L2}^*$, pratiquement le courant, circulant dans X_{L3}^* est négligeable.

$$I_{cc L2} = \frac{X_{L2}^*}{X_{L1}^* + X_{L2}^*} \cdot I_{cc R} = \frac{0,017}{0,017 + 0,013} \cdot 5,121 = 2,902 \text{ KA.}$$

$$I_{cc L2} = I_{cc R} - I_{cc L2} = 5,121 - 2,902 = 2,219 \text{ KA.}$$

Calcul du courant dans X_{MT} (enroulement MT du transformateur à 3 enroulements)

$I_{cc 6}$ étant le courant de court-circuit dans X_{MT} au niveau 225 kV.
Pour calculer $I_{cc MT}$, il faut $I_{cc 6}$ à 10 kV.

$$I_{cc MT} = I_{cc 6} \cdot \frac{U_n}{U_p} = 0,36 \cdot \frac{225}{10} = 8,100 \text{ KA.}$$

$I_{cc HT}$: courant dans l'enroulement HT du Transformateur à 3 enroulement

$$I_{cc HT} = I_{cc 6} = 0,36 \text{ KA}$$

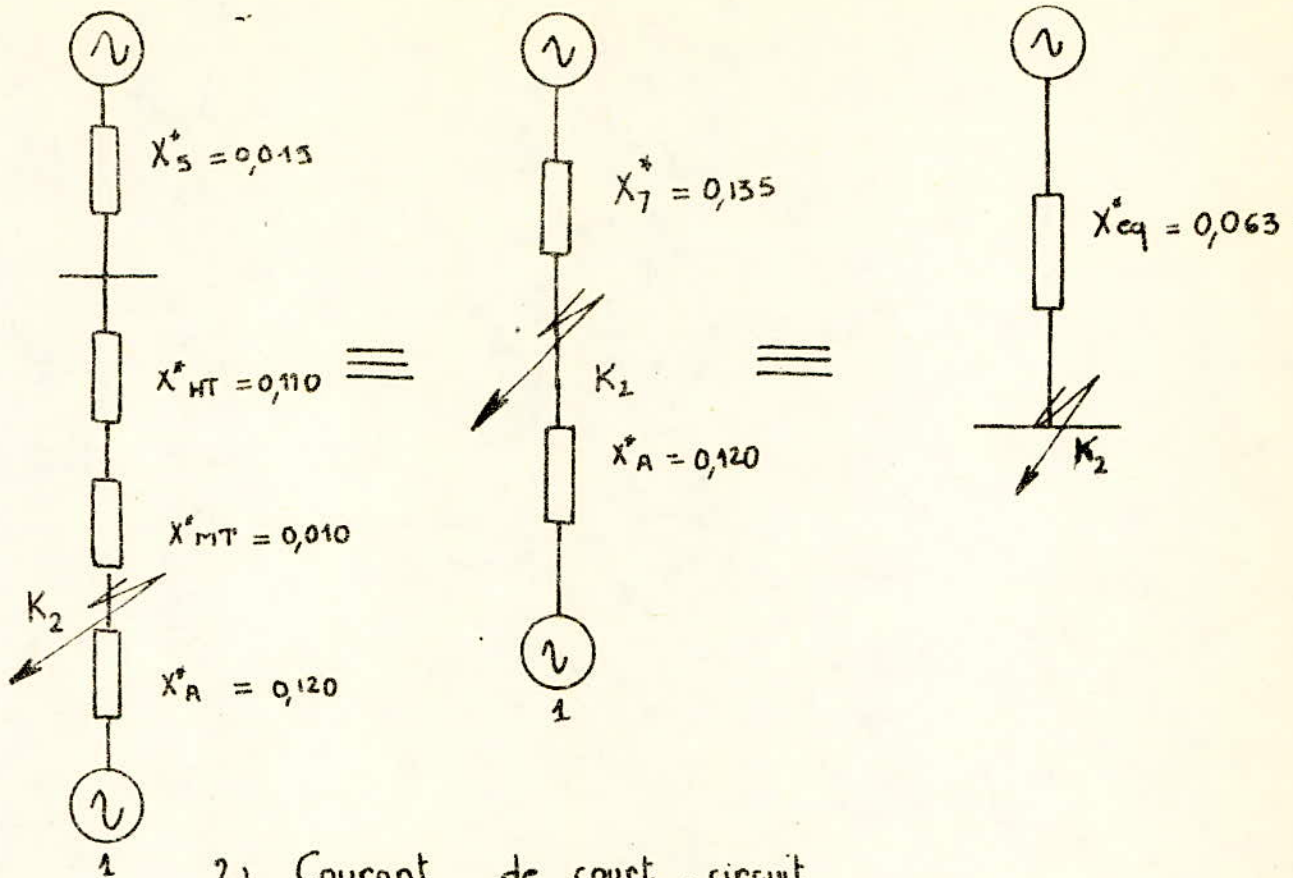
$$I_{cc ALT} = I_{cc MT}$$

Résultats:

branches valeurs	L_1	L_2	(HT) g_1	(MT) g_1	(BT) g_4	(ALT)	K_2
U (KV)	225	225	225	10	5,5	10	225
X^*	0,013	0,017	0,110	0,010	0,390	0,120	0,016
I_{cc} (KA)	2,902	2,219	0,360	8,100	—	8,100	6,121

b) Courant de court-circuit au point K_2

1. schéma équivalent.



2) Courant de court-circuit

$$I_{cc}^* = \frac{1,1 U^*}{\sqrt{3} \cdot X_{eq}^*} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,063} = 10,600$$

$$I_{cc} = I_{cc}^* \cdot I_b \cdot \frac{U_b}{U_n} = 10,6 \cdot 3,47 \cdot \frac{10}{10} = 36,782 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = 36,782 \text{ KA}$$

3) Courant dans les branches

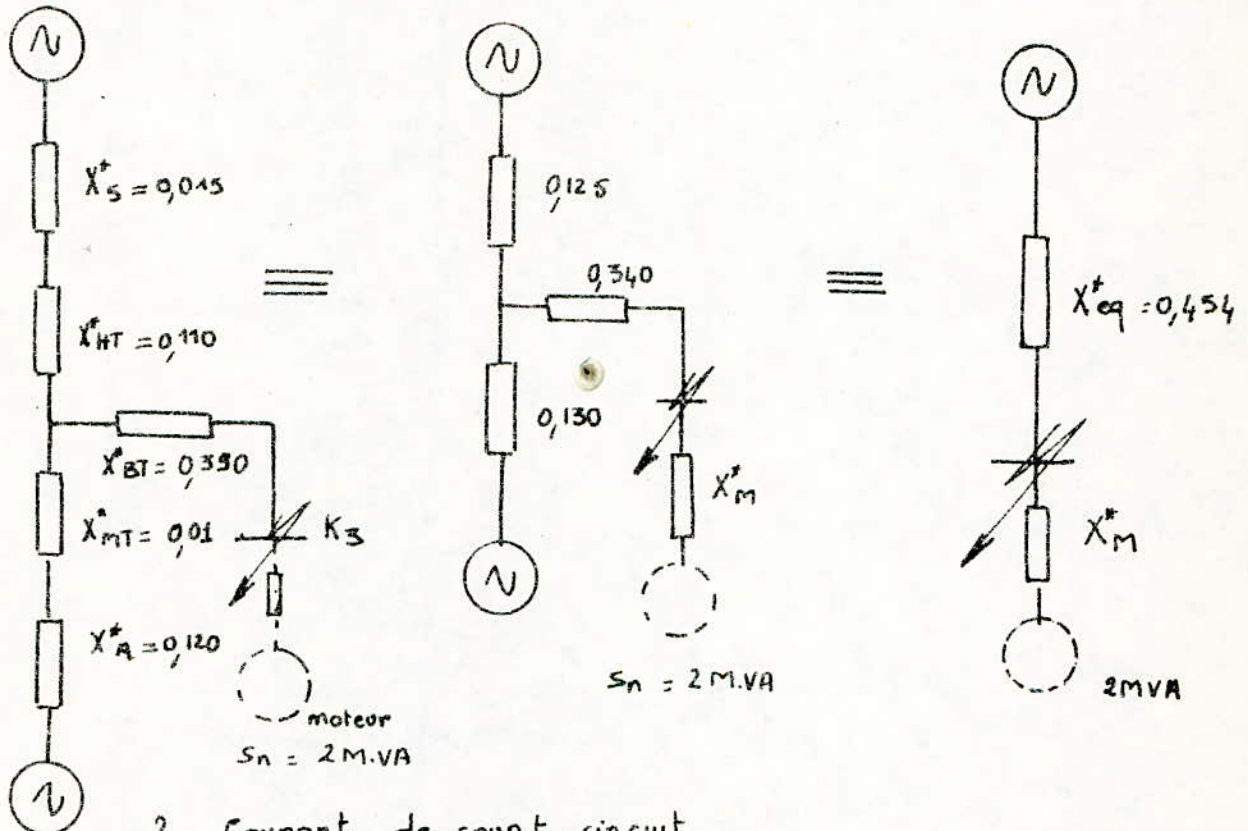
Même raisonnement que précédemment, on trouve:

branche valeur	L_1	L_2	(HT) g,	(MT) g,	(BT) g,	ALT,	K_2
LI (KV)	225	225	225	10	5,5	10	10
I_{cc} (KA)	0,410	0,320	0,820	18,500	—	18,500	36,782

c) Courant de court-circuit aupt K_3

On suppose que les moteurs des services auxiliaires débitent sur un court-circuit en régime subtransitoire avec un courant égal a 5 fois le courant nominal

1. Shéma équivalent



2. Courant de court-circuit

$$I_{cc}^* = I_{ccM}^* + I_{cceq}^*$$

$$I_{cceq}^* = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot X_{eq}^*} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,454} = 1,399 \Rightarrow I_{cceq} = I_{cceq}^* I_b \cdot \frac{U_b}{U_x}$$

$$= 1,399 \cdot 3,47 \cdot \frac{10}{5,5}$$

$$I_{ccM} = 5 I_n = \frac{5 S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5 \times 2}{\sqrt{3} \cdot 5,5} = 1,000 \text{ KA}$$

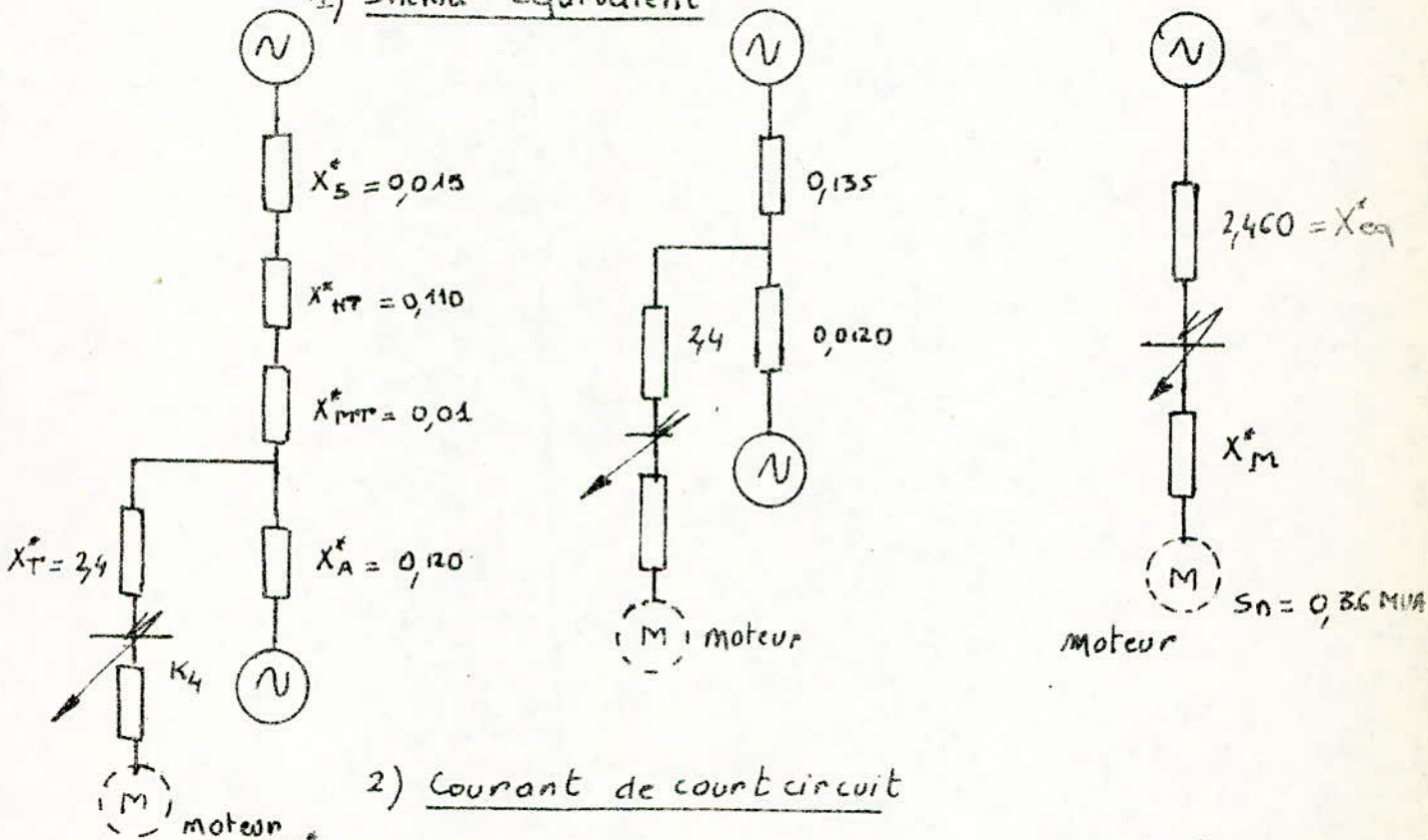
$$= 8,826 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = I_{cceq} + I_{ccM} = 1,00 + 8,826 = 9,826 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = 9,826 \text{ KA}$$

3) Courant dans les branches

branches valeurs	L_1	L_2	(HT) ₁	(MT) ₁	(BT) ₁	A_2	K_3
U (KV)	225	225	225	10	5,5	10	100
I_{cc} (KA)	0,051	0,039	0,115	2,360	8,826	2,360	9,820

d. Courant de court-circuit au point K_4 1) Schema equivalent2) Courant de court-circuit

$$I_{cc\text{eq}} = \frac{1,1}{\sqrt{3} X_{eq}^*} = \frac{1,1}{1,732 \cdot 2,460} = 0,258 \Rightarrow I_{cc\text{eq}} = I_{cc\text{eq}} \cdot I_b \cdot \frac{U_b}{U_n}$$

$$\Rightarrow I_{cc\text{eq}} = 22,382 \text{ KA}$$

$$I_{ccM} = 5 I_n = \frac{5 S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5 \cdot 0,36}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,610 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = I_{cc\text{eq}} + I_{ccM} = 22,382 + 2,610 = 24,992 \text{ KA}$$

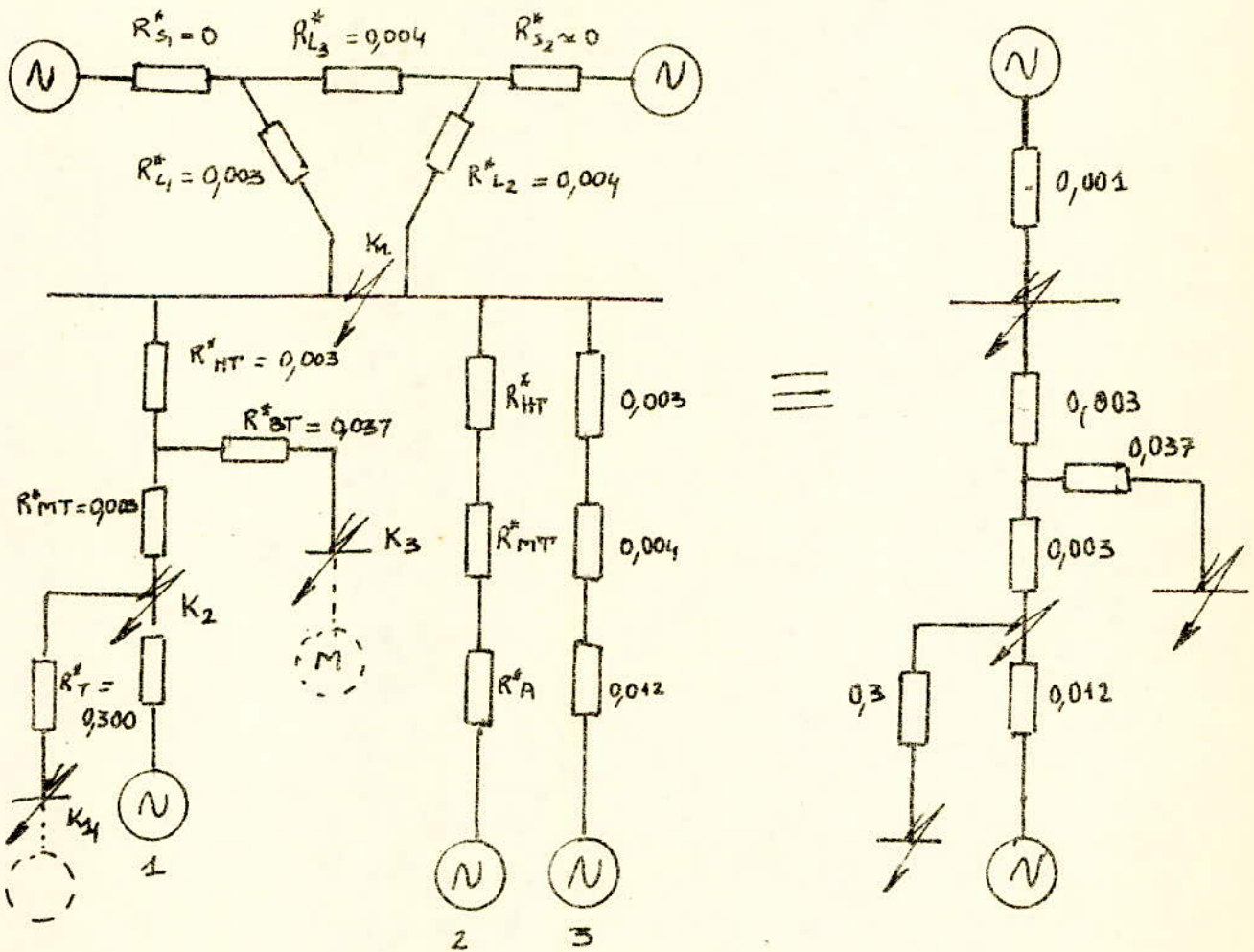
$$I_{cc} = 24,992 \text{ KA}$$

3) Courant dans les branches

branche \ valeurs	L_1	L_2	$(HT)_1$	$(MT)_1$	$(BT)_1$	A_1	X_T	K_n
I_{cc} (kA)	0,011	0,008	0,022	0,430	—	0,460	22,500	24,992

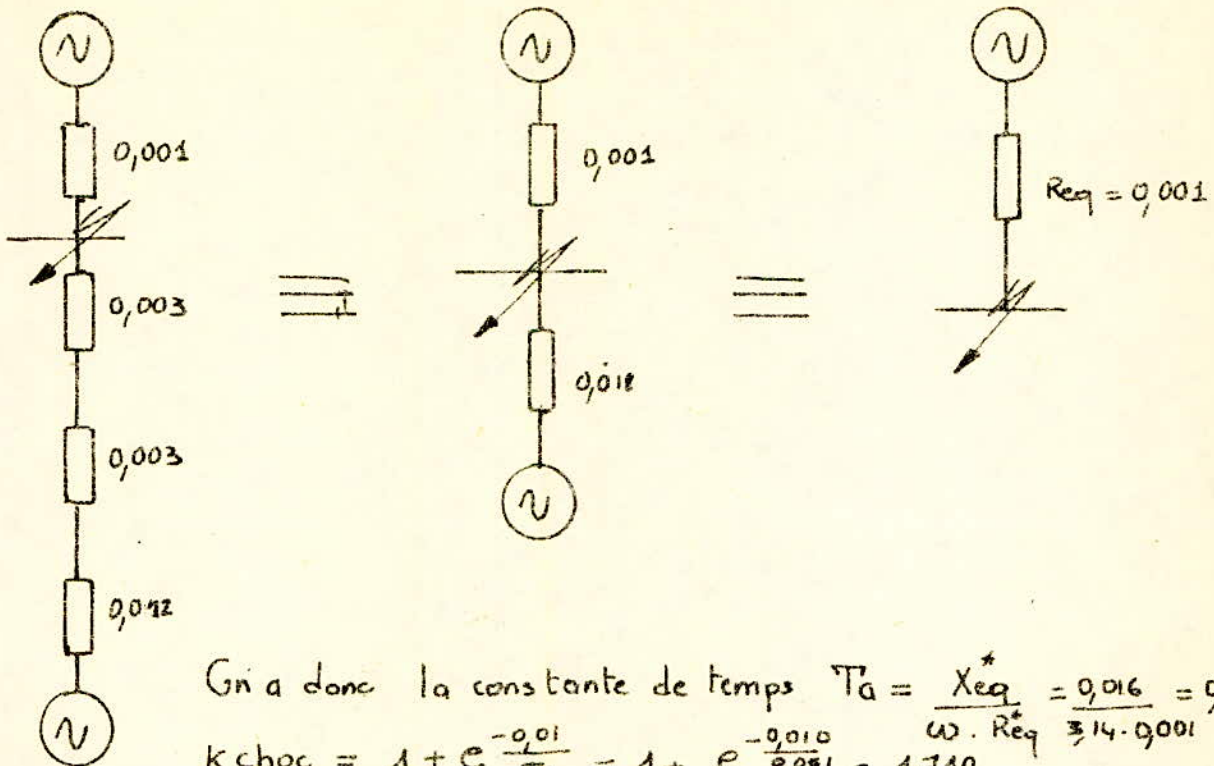
C. CALCUL du COURANT de choc

a) Schema de principe équivallent en résistance



b) Courant de choc pour K_1

1) Calcul de K_{choc}



2) Courant de choc :

$$I_{ch} = \sqrt{2} \cdot k_{ch} \cdot I_{cc} = \sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot 6,121 = 14,800 \text{ KA.}$$

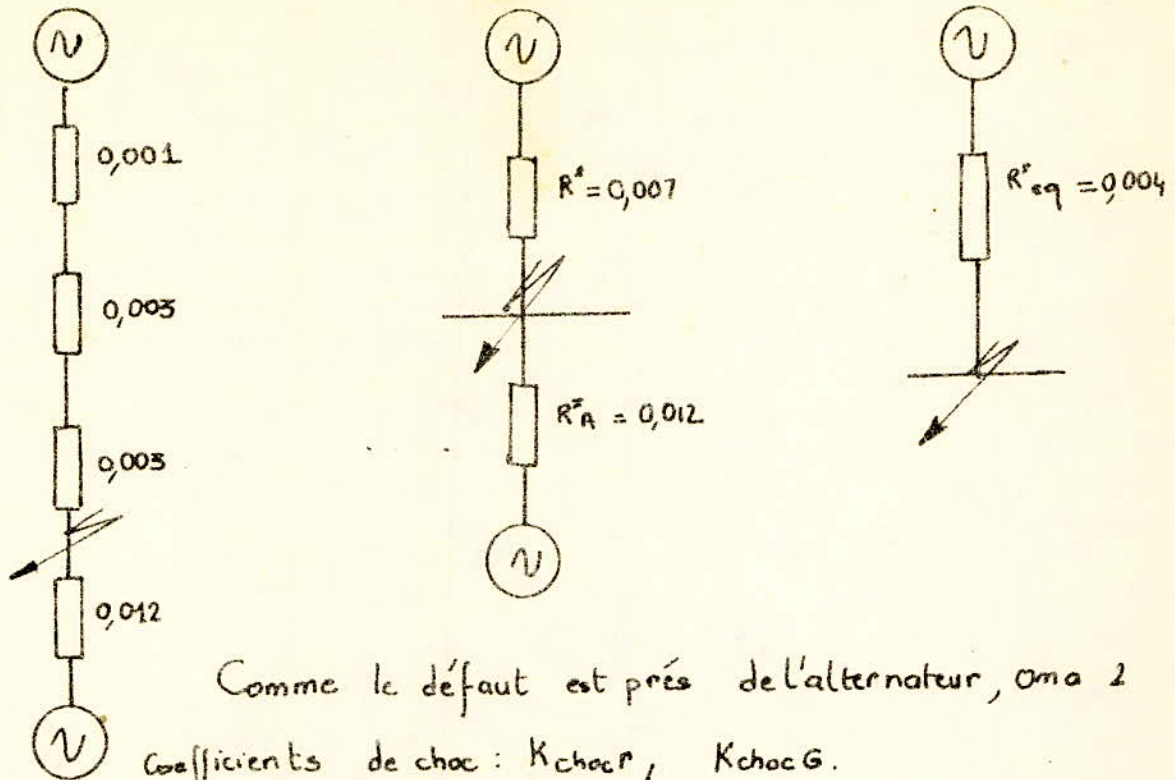
$$I_{ch} = 14,800 \text{ KA}$$

3) Courant de choc dans chaque branche :

branches	L ₁	L ₂	HT	MT	BT	ALT	X _r
I _{ch} (kA)	6,918	5,190	0,820	18,450	—	18,450	—

C. Courant de choc pour K₂

1) Courant de choc



Comme le défaut est près de l'alternateur, on a 2 coefficients de choc : $K_{choc r}$, $K_{choc G}$.

$$- T_{or} = \frac{X_r^e}{\omega \cdot R_r^e} = \frac{0,120}{314 \cdot 0,007} \approx 0,063 \implies K_{choc r} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,063}} = 1,850$$

$$- T_{oG} = \frac{X_G^e}{\omega \cdot R_G^e} = \frac{0,120}{314 \cdot 0,012} \approx 0,032 \implies K_{choc G} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,032}} = 1,750$$

2) Courant de choc

$$I_{ch} = \sqrt{2} [K_{chG} \cdot I_{ccG} + K_{ch r} \cdot I_{cc r}]$$

$$I_{ccG} = 18,5 \text{ KA.}$$

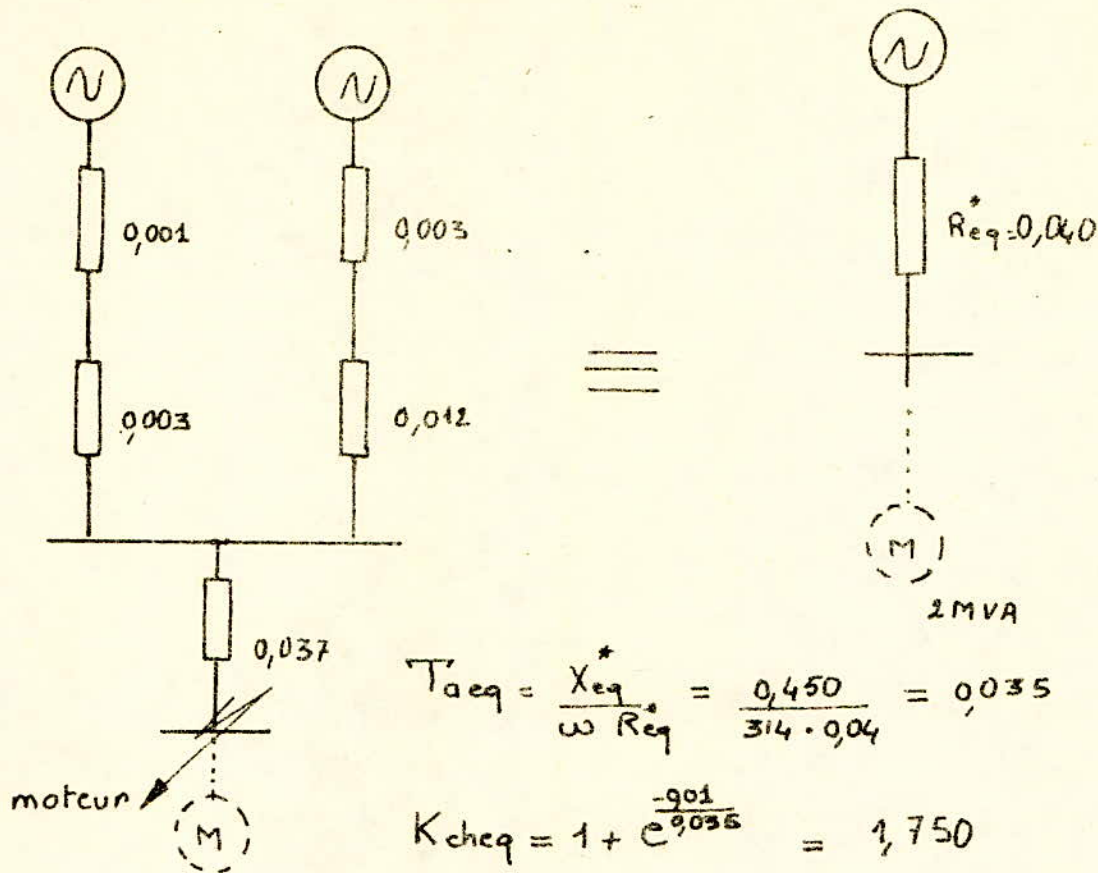
$$I_{cc r} = I_{cc MT} = 18,5 \text{ KA.}$$

$$I_{ch} = \sqrt{2} [(1,75 \cdot 18,5) + (1,85 \cdot 18,5)] = 93,300 \text{ KA}$$

$$I_{ch} = 93,300 \text{ KA}$$

3) Courant de choc dans les branches

branche	L_1	L_2	$(HT)_G$	$(MT)_G$	$(BT)_G$	ALT ₂	X_T
I_{ch} KA	1,280	0,970	2,700	60,800	—	32,500	—

d. Courant de choc pour K_3 1) Calcul de K_{choc} 

$$T_{a\text{eq}} = \frac{X_{eq}^*}{\omega R_{eq}} = \frac{0,450}{314 \cdot 0,04} = 0,035$$

$$K_{ch\text{eq}} = 1 + e^{\frac{-901}{0,035}} = 1,750$$

Du point de vue impédance les moteurs se comportent comme les générateurs, on a alors $T_{am\theta} = T_{ag} \implies K_{ch\text{ mot}} = K_{ch\text{ g}} = 1,73$

2) Courant de choc

$$I_{ch} = \sqrt{2} [K_{ch\text{ m}} \cdot I_{cc\text{ m}} + K_{ch\text{ eq}} \cdot I_{cc\text{ eq}}]$$

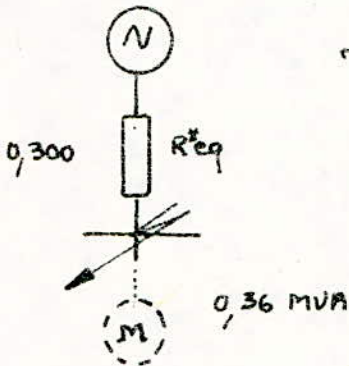
$$I_{cc\text{ m}} = \frac{5 \text{ Sn}}{\sqrt{3} \cdot 55} = \frac{5 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 55} = 1 \text{ KA}$$

$$I_{ch} = \sqrt{2} [1,75 \cdot 1,8 + 1,73 \cdot 1] = 24,4 \text{ KA}$$

$$I_{ch} = 24,400 \text{ KA}$$

3) - Courant dans les branches

branches	L ₁	L ₂	HT	MT	BT	A	X _T
Ich (KA)	0,140	0,110	0,300	1,900	15,750	1,900	-

e. Courant de choc au point K₄1) - Calcul de K_{ch}

$$T_{aeq} = \frac{X_{eq}^*}{\omega \cdot R_{eq}^*} = \frac{2,460}{314 \cdot 0,30} = 0,026 \Rightarrow K_{cheq} = 1,680$$

$$K_{chmot} = K_{chg} = 1,73$$

2) - Courant de choc

$$I_{ch} = \sqrt{2} [K_{chM} \cdot I_{ccM} + K_{cheq} \cdot I_{ccheq}]$$

$$I_{ch} = \sqrt{2} [1,73 \cdot 2,6 + 1,68 \cdot 22,382] = 59,600 \text{ KA}$$

$$I_{ch} = 59,600 \text{ KA}$$

avec :

$$I_{ccM} = 5 I_n = \frac{5 S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5 \cdot 0,36}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,6 \text{ KA}$$

D. Calcul des COMPOSANTES APÉRIODIQUESa) Pour le point K₁

$$I_{az} = \sqrt{2} \cdot I_{ca} \cdot e^{-\frac{z}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 6,121 e^{-\frac{0,03}{0,05}} = 3,207 \text{ KA}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{avec } z = 0,03 \text{ s} \\ T_a = 0,05 \text{ s} \end{array} \right\} \text{ calculé précédemment}$$

b) Pour K_2

Sachant que le défaut est près des générateurs, on a :

$$i_{a2} = \sqrt{2} \left[I_{ccg} e^{-z/T_{cg}} + I_{ccr} e^{-z/T_{cr}} \right]$$

avec : $I_{ccg} = 18,500 \text{ KA}$; $I_{ccr} = 18,5 \text{ KA}$

$T_{cg} = 0,032$; $T_{cr} = 0,063$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \left[18,500 e^{-0,03/0,032} + 18,5 e^{-0,03/0,063} \right] = 26,300 \text{ KA.}$$

c) Pour K_3

Comme le défaut est près des moteurs on a alors :

$$i_{a2} = \sqrt{2} \left[I_{ccr} e^{-z/T_{cr}} + I_{ccm} e^{-z/T_{cm}} \right]$$

avec $I_{ccr} = 8,826 \text{ KA}$; $I_{ccm} = 1 \text{ KA}$

$T_{cr} = 0,035$; $T_{cm} = 0,032$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \left[8,826 e^{-0,03/0,035} + 1 e^{-0,03/0,032} \right] = 5,910 \text{ KA.}$$

d) pour K_4

$I_{ccr} = 22,4 \text{ KA}$; $I_{ccm} = 2,6 \text{ KA}$

$T_{cr} = 0,026$; $T_{cm} = 0,032$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \left[22,5 \cdot e^{-0,03/0,026} + 2,6 \cdot e^{-0,03/0,032} \right] = 11,44 \text{ KA}$$

e) Tableau récapitulatif.

branches K_i	L_1	L_2	HT	MT	BT	A	X_T	i_{a2}
K_1	1,850	1,400	0,330	7,420	—	7,420	—	3,207
K_2	0,360	0,210	0,760	17,100	—	9,200	—	26,300
K_3	0,050	0,040	0,110	0,700	5,910	0,700	—	5,910
K_4	0,005	0,004	0,001	0,300	—	0,151	11,440	11,440

E - CALCUL de L'IMPULSION THERMIQUE

a) Pour le point K₁

$$B_{cc} = I_{cc}^2 (t + T_a)$$

$$t = \text{durée de défaut}, \quad t = 0,03 \text{ s.}$$

$$T_a : \text{constante de temps}, \quad T_a = 0,032 \text{ s.}$$

$$B_{cc} = (0,03 + 0,032) \cdot 6,121^2 \cdot 10^6 = 0,379 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

b) Pour le point K₂

D'après la courbe $B_* = g(t)$ et $T_* = f(t)$ pour $t = 0,03 \text{ s}$

$$\text{On tire : } \begin{cases} B_* = 0,94 \\ T_* = 0,95 \end{cases}$$

$$B_{pG} = B_* \cdot I_{ccG}^2 \cdot t = 0,94 \cdot 18,5^2 \cdot 0,03 \cdot 10^6 = 9,65 \cdot 10^6$$

$$B_{pGr} = 2 \cdot I_{ccr} \cdot T_* \cdot I_{ccG} \cdot t = 2 \cdot 18,5 \cdot 0,95 \cdot 18,5 \cdot 0,03 \cdot 10^6 = 19,50 \cdot 10^6$$

$$B_{pr} = I_{ccr}^2 \cdot t = 18,5^2 \cdot 10^6 \cdot 0,03 = 10,26 \cdot 10^6$$

$$B_{ccp} = B_{ccpr} + B_{ccpG} + B_{ccpGr} = 19,5 + 10,26 + 9,65 \cdot 10^6 = 39,400 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Sachant :

$$T_{ar} = 0,063 \text{ s.}$$

$$I_{ccr} = 18,5 \text{ KA.}$$

$$T_{ag} = 0,032 \text{ s.}$$

$$I_{ccg} = 18,5 \text{ KA.}$$

$$\Rightarrow B_{cco} = \frac{U \cdot I_{ccr} \cdot I_{ccG}}{\frac{1}{T_{ar}} + \frac{1}{T_{ag}}} = 29,100 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

$$B_{cc} = B_{ccp} + B_{cco} = (19,500 + 29,100) \cdot 10^6 = 48,600 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

c) Pour le point K₃

$$B_{ccp} \approx I_{ccr} \cdot t + 2I_{ccr} \cdot I_{ccm} \cdot T'_E + 0,5 \cdot I_{ccm}^2 \cdot T'_E$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{cr} = 8,826 \text{ KA} \\ T'E = 0,032 \\ T_{or} = 0,035 \\ I_{cm} = 1 \text{ KA} \end{array} \right\} \Rightarrow B_{cp} = \left[(8,826^2 \cdot 0,03) + (2 \cdot 8,826 \cdot 1 \cdot 0,032) + 0,5 \cdot 8,826^2 \cdot 0,032 \right] \cdot 10^6 \\ B_{cp} = 2,880 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$B_{ca} = (I_{cr} + I_{cm}) T_{sch}$$

$$T_{sch} = \frac{T'aE \cdot I_{cm} + T_{or} \cdot I_{cr}}{I_{cm} + I_{cr}} = \frac{0,032 + (0,035 \cdot 8,826)}{8,826 + 1} = 0,034 \text{ s}$$

$$B_{ca} = 9,926 \cdot 0,034 \cdot 10^6 = 0,330 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$B_{cc} = B_{ca} + B_{cp} = (2,88 + 0,33) \cdot 10^6 = 3,210 \cdot 10^6 \text{ J}$$

d) Pour le point K_4 :

$$\left. \begin{array}{l} I_{cr} \approx 22,500 \text{ KA} \\ T'E = 0,032 \\ I_{cm} = 2,61 \text{ KA} \end{array} \right\} \Rightarrow B_{cp} = 18,950 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$B_{ca} = (I_{cr} + I_{cm}) T_{sch}$$

$$T_{sch} = \frac{(0,032 \cdot 2,6 + 0,026 \cdot 22,5)}{22,5 + 2,6} = 0,026 \text{ A}$$

$$B_{ca} = (22,5 + 2,6) \cdot 0,026 \cdot 10^6 = 0,65 \cdot 10^6$$

$$B_{cc} = B_{cp} + B_{ca} = 19,600 \cdot 10^6 \text{ J}$$

e) Tableau récapitulatif:

K_1	K_2	K_2	K_3	K_4
$B_{cc} \cdot 10^6$	0,379	48,600	3,210	19,600

F - CHOIX des DISJONCTEURS et des SECTIONNEURS

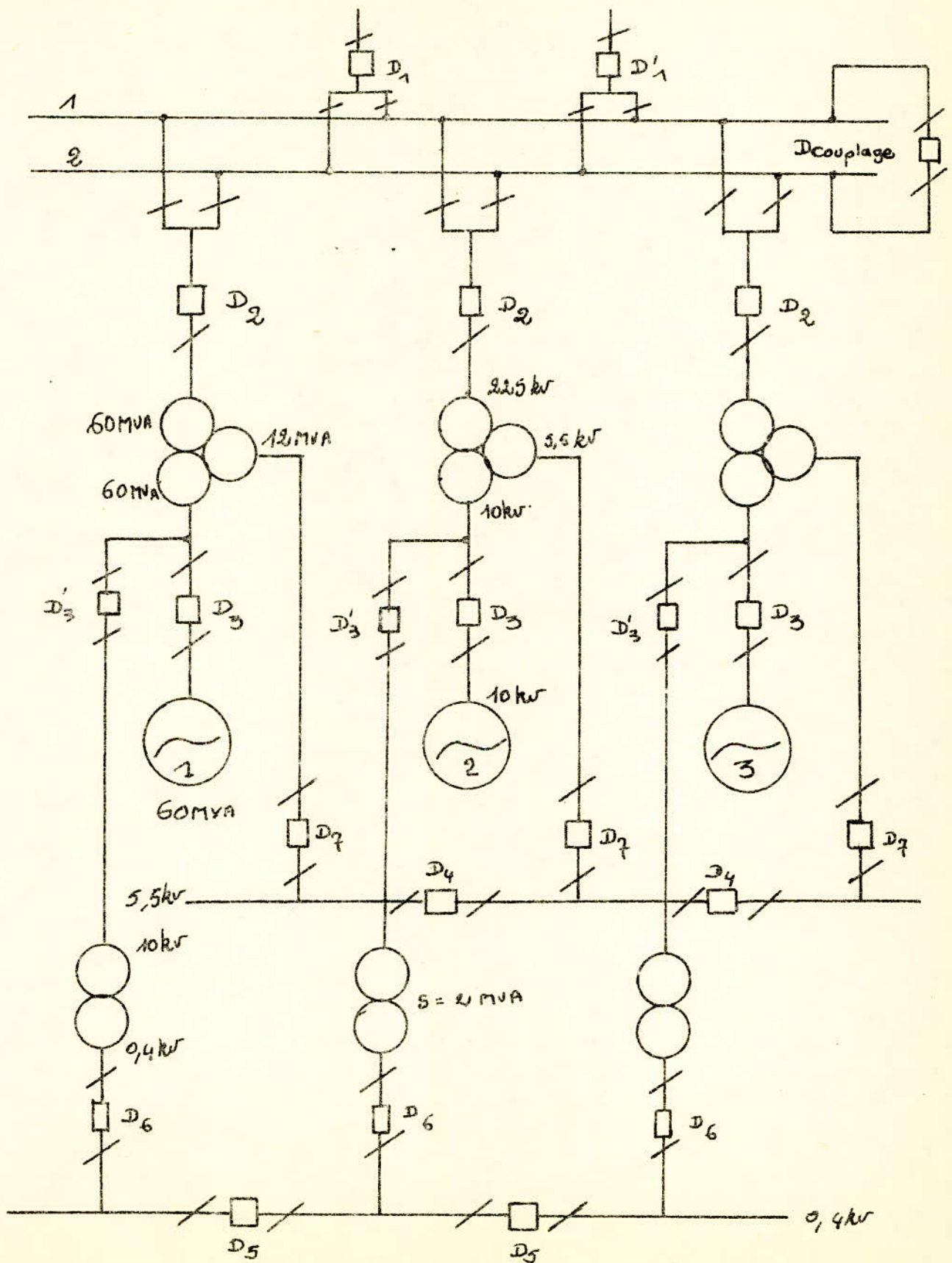
a) Généralités

Un disjoncteur est un appareil (avec un grand pouvoir de coupure) qui peut ouvrir (ou fermer) le circuit en charge avec ou sans courant à n'importe quel moment

On résume le choix des disjoncteurs ainsi :

	<u>Valeurs calculées</u>	<u>Donnée catalogue</u>	<u>Conditions</u>
1	I_s service	I_{nom}	$I_s \leq I_{no}$
2	I_{max} admissible	I_{nom}	$I_{max admis} \leq I_{nom}$
3	I_{cc}	$I_{max sym}$	$I_{cc} \leq I_{max sym}$
4	i_{choc}	$1,8\sqrt{2} I_{max sym}$	$i_{ch} \leq 1,8\sqrt{2} \cdot I_{max sym}$
5	I_{pZ}	$I_{coup nom}$	$I_{pZ} \leq I_{coup nom}$
6	$\sqrt{2} I_{pZ} + i_{aZ}$	β_{nom}	$\sqrt{2} I_{pZ} + i_{aZ} \leq \sqrt{2} I_{coup nom} \cdot (1 + \beta_{nom})$
7	B_{cc}	I_{cc}, t_{nom}	$B_{cc} \leq I_{cc}^2 \cdot t_{nom}$

b. Schema Unifilaire d'emplacement des disjoncteurs



2-57

c. Choix des disjoncteurs

	D_1	D'_1	D_2	D_3	D'_3	D_4	D_5	D_6	D_7	Dcouplage
U service (kV)	22,5	22,5	22,5	10	10	5,5	0,4	0,4	5,5	22,5
I nominal (kA)	3,079	4,106	0,154	3,470	0,116	3,779	8,658	2,886	1,261	7,647
I cc (kA)	2,902	2,219	0,820	18,500	0,900	9,826	25,000	22,500	8,826	6,121
I choc (kA)	69,19	5,190	2,700	60,800	2,132	24,400	59,600	53,300	15,750	14,800
I ac (kA)	1,850	1,400	0,760	17,100	0,458	5,910	11,440	11,440	5,910	3,207
$\sqrt{2} \text{ Sp} + \text{Sc}$ (kV)	5,954	4,537	1,920	43,263	1,731	19,806	46,795	43,263	18,355	11,863
$B_{cc} \times 10^6$ (Joule)	0,379	0,379	0,379	48,600	48,600	3,210	19,600	19,600	3,210	0,379
nbs	1	1	3	3	3	2	2	3	3	1

d) - Choix des sectionneurs

Les critères (1,2,4,7) du tableau des disjoncteurs définissent aussi le choix des sectionneurs.

E - CHOIX DES CONDUCTEURS

Ce choix consiste à déterminer la section des conducteurs en fonction du courant nominal qu'y circule et de vérifier ensuite si cette section trouvée peut résister aux régimes d'avarie.

a/ - Dimensionnement des barres

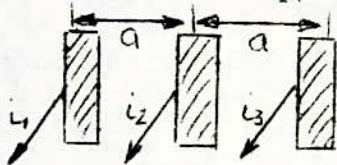
La section choisie doit vérifier les conditions des efforts électrodynamique et thermique.

1/ - Calcul des efforts électrodynamiques

Soient deux conducteurs parallèles traversés par deux courants I_1 et I_2 les forces électriques qui s'applique par unité de longueur est donnée par la formule suivante :

$$f = \frac{\mu_0}{2\pi a} \cdot i_1 \cdot i_2 \quad \mu_0 \text{ perméabilité de l'air}$$

Pour les circuits triphasés ayant leurs barres parallèles et dans le même plan, placées sur des isolateurs de support sont soumises à des forces uniformément réparties dues aux courants qui les traversent



$$* f_1 = f_3 = \frac{\mu_0}{2\pi a} \cdot \left(\frac{i_1 \cdot i_3}{2} + \frac{i_1 \cdot i_2}{a} \right) = \frac{\mu_0}{2\pi a} i_1 \left(i_2 + \frac{i_3}{2} \right)$$

$$* f_2 = \frac{\mu_0}{2\pi a} \cdot (i_1 \cdot i_2 - i_2 \cdot i_3) = \frac{\mu_0}{2\pi a} (i_2)(i_1 - i_3)$$

soient les courants triphasés suivants :

$$i_1 = I_m \sin \omega t$$

$$i_2 = I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$i_3 = I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

en remplaçant dans $f_{1,3}$ et f_2 on aura

$$I \begin{cases} f_1 = f_3 = -\frac{\mu_0}{8\pi a} \cdot I_m^2 \cdot \sin \omega t [3 \sin \omega t + \sqrt{3} \cos \omega t] \\ f_2 = -\frac{\mu_0}{8\pi a} \cdot I_m^2 [-3 \cos 2\omega t + \sqrt{3} \sin 2\omega t] \end{cases}$$

les valeurs extrêmes sont obtenues en annulant les dérivées premières de (I) on aura donc.

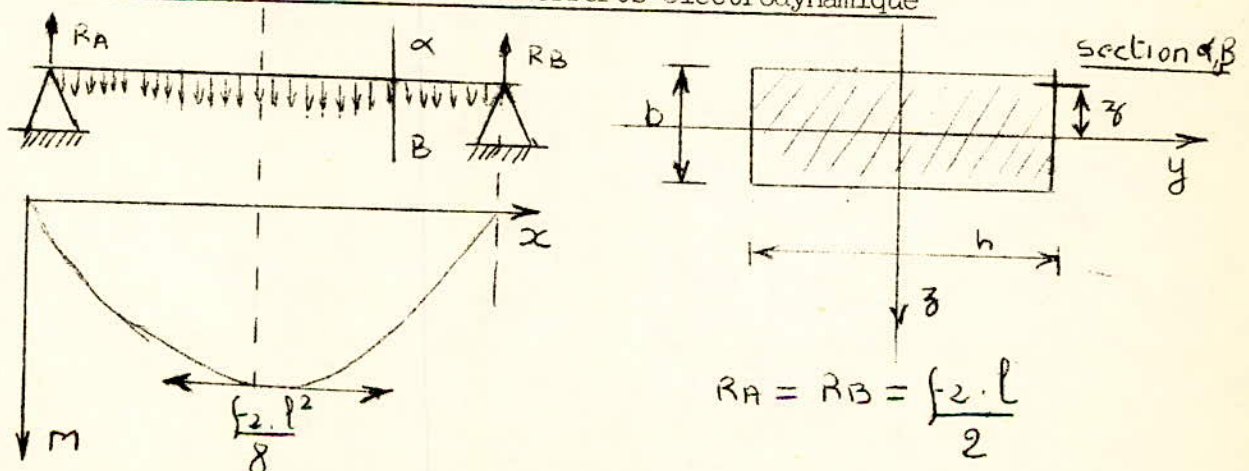
$$\begin{aligned} f_{1 \max} = f_{3 \max} &= 0,8 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_m^2}{2\pi a} \\ f_{2 \max} &= -0,87 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_m^2}{2\pi a} \end{aligned}$$

On constate que la barre la plus sollicitée aux forces électrodynamique est celle du milieu.

Le courant maximum de court - circuit étant le courant de choc, on aura donc:

$$f_{2 \max} = -0,87 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_{\text{choc}}^2}{2 \cdot \pi \cdot a} = -1,14 \cdot \frac{10^{-7} \cdot I_{\text{choc}}^2}{a}$$

2/ - Vérification de la barre aux efforts électrodynamique



soit une portion de la barre x , en partant par la gauche, on calcule le moment fléchissant, on trouve: $M_y = R_A x - \frac{f_2 x \cdot x}{2} = \frac{f_2 l \cdot x}{2} - \frac{f_2 \cdot x^2}{2}$

On sait que la contrainte maximale appliquée sur la barre est

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{ad}$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_{\max}}$$

M_y = moment fléchissant maximum de la barre

W_y = module de la résistance

I_y = moment d'inertie par rapport à l'axe Oy

z_{\max} = distance maximum de la fibre la plus sollicitée par rapport à Oy .

Pour une surface rectangulaire on a : $I_y = \frac{hb^3}{12}$

pour que la barre résiste on doit avoir la condition suivante vérifiée.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{3}{4} \times \frac{f_2 \cdot 12}{hb^2} \leq \sigma_{ad}$$

avec σ_{ad} : sollicitation de la contrainte élastique du matériel.

3 - Vérification de la barre aux effets thermiques

Etant donné qu'en régime de court circuit le courant augmente fortement il s'en suit un dégagement par effet joule d'une quantité importante vue la proportionnalité au carré du courant les barres doivent résister aux effets thermique.

La section donnée par l'effet thermique a l'expression suivante :

$$S_{th} = \sqrt{\frac{B_{cc}}{A_{ad} - A_n}}$$

avec B_{cc} = impulsion thermique

A_{ad} = $f_1(\theta)$ grandeur caractérisant l'état thermique pendant le défaut

A_n = $f_2(\theta)$ grandeur caractérisant l'état thermique à la température ambiante

$f_1(\theta)$ et $f_2(\theta)$ sont des fonctions tabulées et il existe les courbes donnant A connaissant (θ) (température).

pour le cuivre on considère que la température ambiante admissible pour un fonctionnement normal est de $\theta_n = 70^\circ\text{C}$.
et la température admissible pour un défaut est de $\theta_{ad} = 250^\circ\text{C}$.

2-41

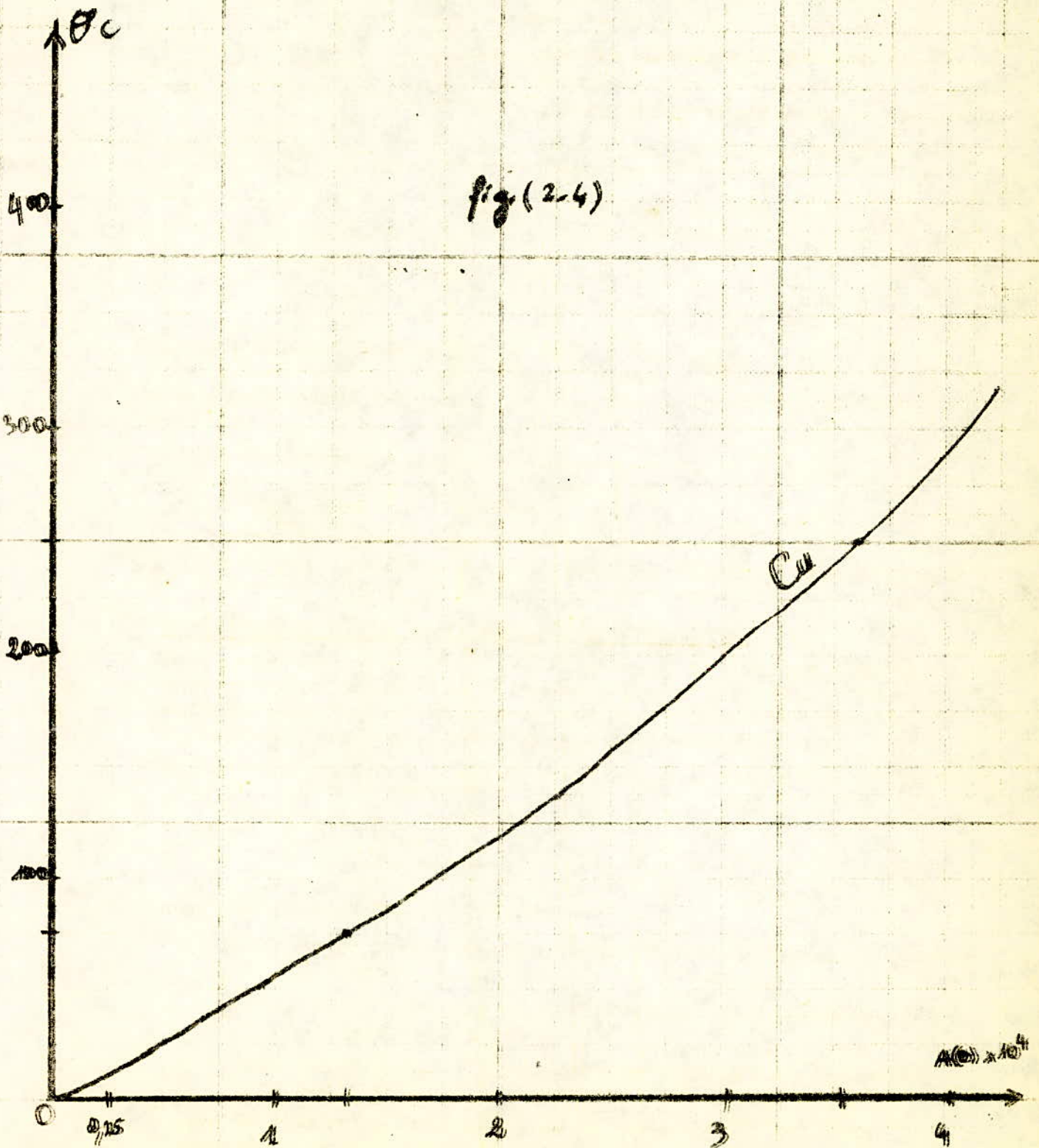


fig (2-4)

2.42

d'où généralement on a

Add - An			
	cables $\leq 10kv$	calibre $> 20kv$	barres
Cuivre	140	110	170

Condition de choix de la section :

$$S_{th} < S \text{ économique} = \frac{I_n}{J_{cc}}$$

J_{cc} densité économique du courant (A/mm²)

I_n courant nominal traversant la section

généralement on a :

	cables	barres
Cuivre	$J_{cc} = 2A/mm^2$	1,8 A/mm ²

4 - Application

Dimensionnement du jeu de barres 225Kv

On utilise des barres tubulaires en cuivre.

Le courant nominal traversant la barre est :

$$I_n = \frac{3 \cdot S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3 \cdot 60}{\sqrt{3} \cdot 225} = 0,462 \text{ KA}; \quad I_n = 0,462 \text{ KA}$$

$$S_{cc} = \frac{I_n}{I_{cc}} = \frac{462}{1,8} = 256,67mm^2 ;$$

$$S_{cc} = 256,67mm^2$$

On choisit donc une section normalisée de surface $S = 286,7mm^2$ cette section ne vérifie pas les conditions de efforts électrodynamiques.

Choisissons une section plus grande :

$$S = 86,39 \text{ mm}^2$$

$$D_i = 50 \text{ mm}$$

$$D_{ex} = 60 \text{ mm}$$

$$W = 11 \text{ cm}^3$$

$$J = 32,9 \text{ cm}^4$$

on aura donc : $\sigma_{\text{max}} = \frac{M_y}{W_y} = 1984,38 \times 10^2 = 18039,82 \text{ N/cm}^2$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{18039,82}{9,81} = 1838,93 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{ad}} = 2400 \text{ kgf/cm}^2$$

4-2 - Vérification aux effets thermique :

$$S_{th} = \sqrt{\frac{B_{cc}}{A_{ad} - A_n}} = \sqrt{\frac{4,8 \times 10^6}{170}} = 169 \text{ mm}^2 \leq S_{cco} = 256,67 \text{ mm}^2$$

5 - tableau récapitulatif :

On fera le même travail pour les barres 5,5kv et 0,4kv, mais en prenant des barres simples rectangulaires en cuivre.

tens (kv)	long (m)	Inom (kA)	section (mm ²)		section retenue			Dex (mm)	Dim (mm)	dist a(m)	σ kgf/cm ²	
			econ	therm	segt mm ²	h(mm)	b(mm)				σ_{max}	σ_{ad}
225	50	0,462	256,67	169	863,9	-	-	60	50	6	1839	2400
5,5	8	1,26	700	138	800	100	8	-	-	0,5	2000	2400
0,4	2	2,89	1605,5	330	1680	140	12	-	-	0,5	1865,4	2400

b- dimensionnement des cables :

On choisit les cables en cuivre suivant la section économique qu'on vérifie aux effets thermique et ne seront pas vérifiés aux effets électrodynamique car les cables sont élastiques et ont une très grande résistance electrodynamique.

tens (kv)	long (m)	Inom kA	section (mm ²)		section retenue mm ²	Nb	type
			eco	therm			
225	20	0,154	77	160	160	1	HN33920 aérien
10	100	3,46	1730	580	865	2	HN33S20 souterrain
5,5	130	1,36	630	150	720	1	HN33S20 "
0'4	100	2,89	1445	370	730	2	C32155 "

REMARQUE :

Les longueurs des cables et des jeux de barres ont été appréciés.

tableau des valeurs de la section des barres simples :

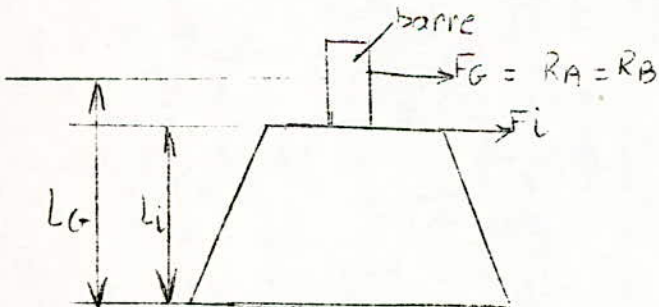
longueur en mm	épaisseur en mm	section en mm	1 barre élémentaire en Cu Idmissible en A
15	3	45	210
20	3	60	275
25	3	75	340
30	3	90	405
30	4	120	475
40	4	160	625
40	5	200	700
50	5	250	860
60	5	300	1025
50	6	300	955
60	6	360	1125
80	6	400	1480
100	6	600	1810
60	8	400	1320
80	8	640	1690
100	8	800	2080
120	8	960	2400
60	10	600	1475
80	10	800	1900
100	10	1000	2310
120	10	1200	2650

Caractéristiques normalisées des barres tubulaires creuses

diamètre (mm)		section mm ²	poids	I _{ad} A	W cm ³	J cm ⁴
De	Di					
20	16	113,1	1,01	400	0,463	0,463
	14	160,2	1,43	500	0,597	0,597
	12	20,1	1,79	550	0,684	0,684
30	26	175,9	1,57	620	1,15	1,73
	24	254,5	2,26	750	1,56	2,35
	22	286,7	2,86	800	1,89	2,83
60	54	537,2	4,78	1400	7,30	21,9
	52	703,7	6,26	1600	9,24	27,7
	50	863,9	7,69	1800	11	32,9

c - choix des isolateurs :

Les barres sont posées sur des isolateurs de support que l'on choisit suivant la force de flexion F_i que peuvent supporter.



$$FG = RA = RB = \frac{f_2 l}{2}$$

généralement on prend

$$F_i = 1,67 FG$$

FG étant la force électrodynamique agissant sur la barre.

F_i étant la force de flexion agissant sur l'isolateur

F_{iad} étant la force maximum admissible

la condition de résistance de l'isolateur étant :

$$F_i \leq F_{iad}, \text{ d'où } 1,67 FG \leq F_{iad}$$

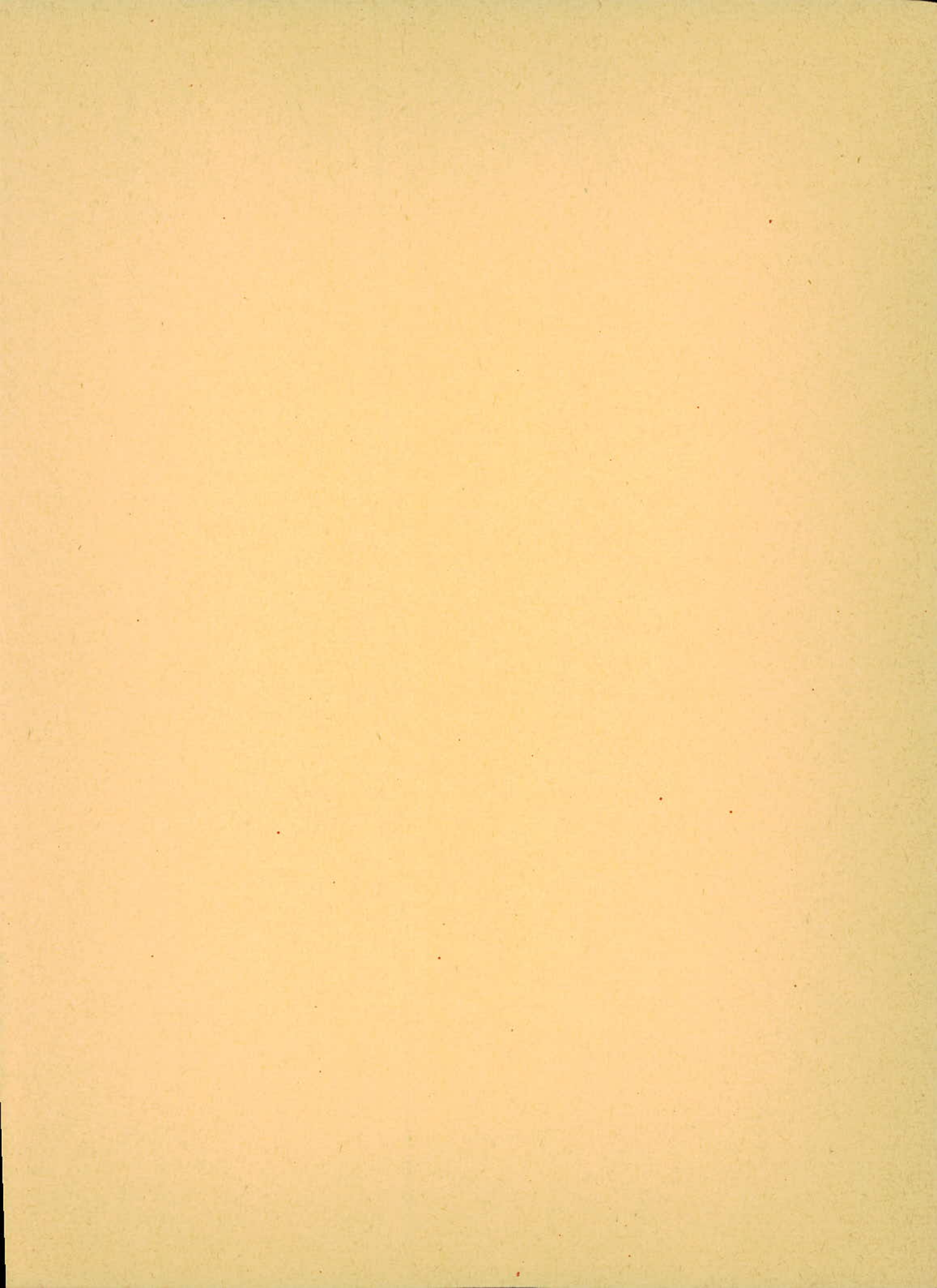
2-47

quelques types d'isolateurs

classe	Fiad
O	200 Kg
A	375 Kg
B	750 Kg
C	1200 Kg
D	2000 Kg

nous choisissons donc :

Un (Kg)	FG (Kg)	Fi (Kg)	type	nombres
225	4,917	8,211	O	5
5,5	95,039	158,715	O	2
0,4	126,009	210,44	A	2



CHOIX ET CALCUL DES PROTECTIONS

A - INTRODUCTION

Les centrales de production de l'énergie électrique sont la base sur laquelle repose tout l'édifice des réseaux électrique, aussi est il facile de comprendre l'importance de leurs protections:

En effet il importe de réduire au minimum les conditions anormales de fonctionnement qui peuvent être dues à deux genres de causes:

- celles liées à l'exploitation ce sont les surcharges , ou la non fermeture accidentelle d'une phase.
- celles dues à des défauts d'isollements.

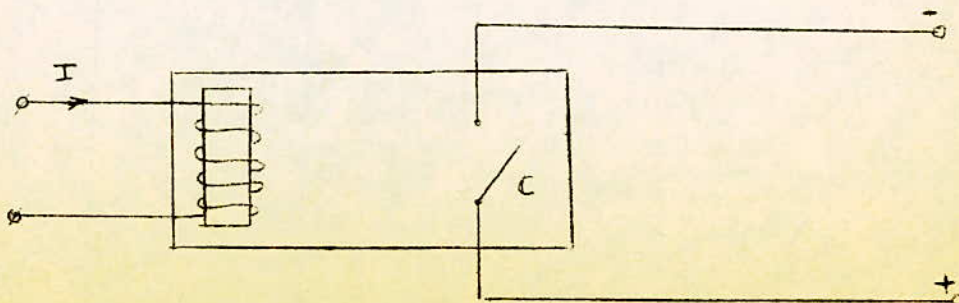
Les dispositifs de protection sont constitués par des relais qui sont des appareils actionnés par des grandeurs électriques destinés à la commande de circuit électrique dans le but d'éliminer le plus rapidement possible l'élément du réseau qui est le siège d'un défaut.

Des grandeurs qui vont servir à alimenter les protections sont choisies parmi les courants ou les tensions de phase.

On distingue les relais de mesure et des relais tout ou rien qui fonctionnent à grandeurs alternatives ou continues.

B - DIFFERENTS TYPES DE RELAIS UTILISÉS

a) Relais à maximum de courant



L'enroulement traversé par un courant I , donne naissance à un moment $M = KI^2$ qui entraîne la fermeture du contact C .

Ce changement d'état est obtenu à partir d'un certain courant minimum I , qui est le seuil de réglage.

b) - Relais de tension

Dans $M = KI^2$ on pose $I = \frac{U_R}{Z_R}$

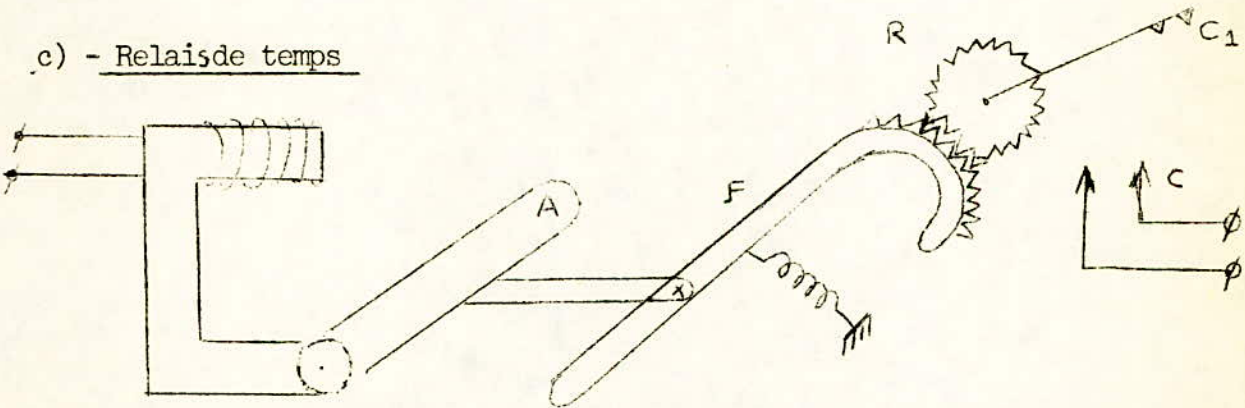
On aura donc $M = KI \cdot U_R^2$

U_R = tension aux bornes du relais

Z_R = impédance du relais

Le relais de tension ne diffère d'un relais de courant que de la valeur Z_R . Un relais à minimum de tension est un relais qui change d'état pour une tension maximum donnée

c) - Relais de temps

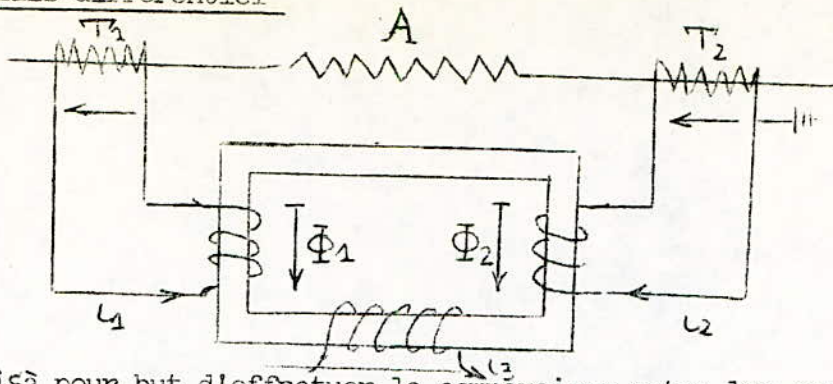


Selon l'état initial (relais excité ou non), le déplacement de l'armature modèle A entraîne la fourchette F qui par un système d'engrenage entraîne la roue dentée R munie des contacts $C1$ qui doivent fermer ou ouvrir le circuit de commande C .

REMARQUE

La conception des relais de courant de tension et de temps peut s'appuyer sur plusieurs phénomènes physiques et être réalisée différemment mais les résultats finaux sont les mêmes.

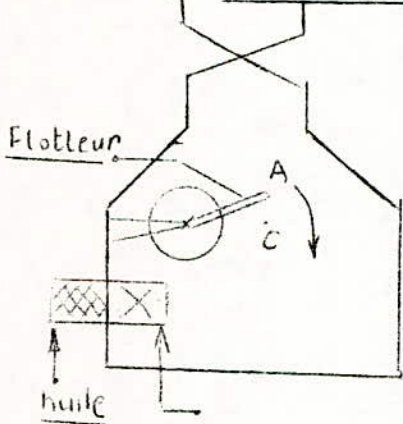
d) - Relais différentiel



Ce relais a pour but d'effectuer la comparaison entre les courants à l'entrée d'un circuit. Ce relais ne doit pas fonctionner quelles que soient les valeurs que ces deux courants puissent atteindre tant qu'ils restent égaux $i_1 = i_2$ entraîne $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi \Rightarrow \Phi_3 = \Phi_1 - \Phi_2 = 0 \Rightarrow i_3 = 0$

Mais dès que cette égalité cesse d'être réalisée par suite de l'existence d'un défaut dans le circuit A, le relais est traversé par un courant proportionnel à $i_1 - i_2$ on aura $\Phi_3 = \Phi_1 - \Phi_2 = 2\Phi \Rightarrow i_3$ différent de zéro. lorsque le couple moteur dépasse le couple antagoniste, le relais fonctionne.

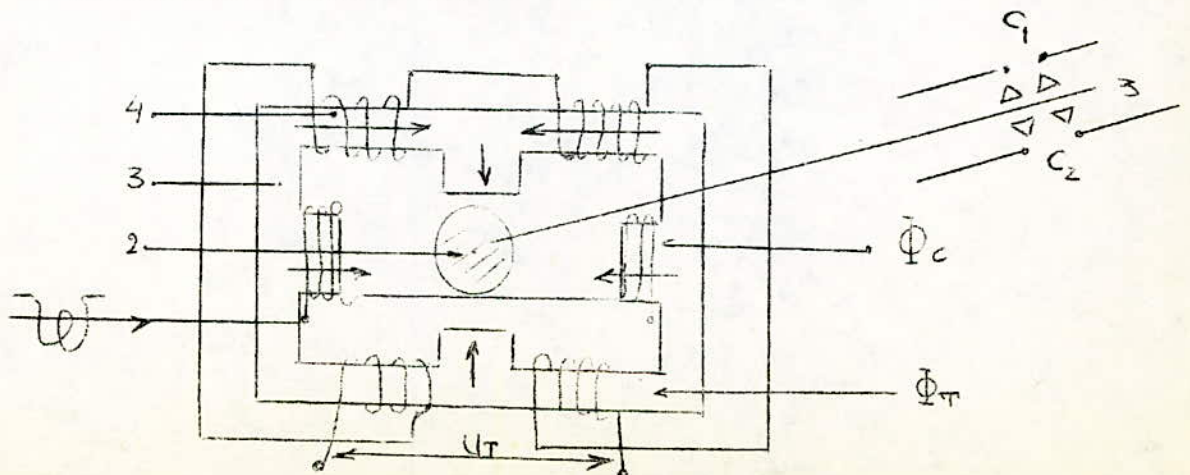
e) - Relais BUCHOLTZ



La protection de la cuve d'un transformateur est assurée par le relais Bucholtz qui est basé sur fait que tout défaut interne dans un transformateur plongé dans l'huile provoque un dégagement gazeux.

Les bulles gazeuses viennent s'accumuler sous le plateau et provoquent l'abaissement d'un flotteur qui ferme C ce qui actionne un signal d'alarme

f) - Relais directionnel de puissance



- 1/ - circuit magnétique
- 2/ - induit (armature mobile en rotation)
- 3/ - bras de commande des contacts C1 et C2
- 4/ - enroulement tension
- 5/ - enroulement intensité.

Le relais se compose d'un circuit magnétique fixe avec deux bobines fixes (l'une alimentée en courant et l'autre en tension) et d'une armature mobile se déplaçant dans les entrefers du circuit magnétique.

- La tension U_T appliquée à l'enroulement Z_T donne un courant I_T qui engendrera un flux de polarisation. Le déphasage entre U_T et I_T sera $\alpha = (\dot{U}_T, \dot{I}_T)$ déterminé par R et X
- Le courant I_c circulant dans l'enroulement intensité donnera un flux ϕ_c en phase avec ce courant.

La composition du flux ϕ_c et ϕ_T donne naissance à un moment électrodynamique

$$M = K \cdot \phi_c \cdot \phi_T \cdot \sin \psi$$

avec ψ : angle entre $(\phi_c$ et $\phi_T)$

d'après l'équation du moment on voit que M est positif ou négatif selon que :

$\sin \psi > 0$, ou $\sin \psi < 0$

soit la représentation vectorielle :

$$\psi = \alpha - \phi_R, \text{ ou } \phi_R = (U_T, I_T)$$

$$\phi_c = I_c, \quad \phi_T = U_T$$

on peut écrire :

$$M = K \cdot U_T \cdot I_c \cdot \sin(\alpha - \phi_R)$$

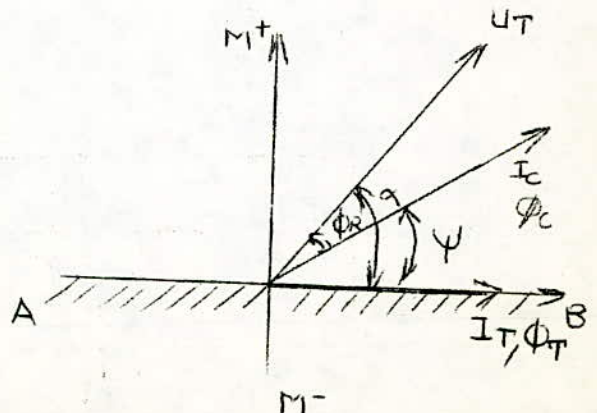
$$M = K S R \sin(\alpha - \phi_R)$$

avec SR : puissance du relais .

d'autre part :

$$- M^+ > 0 \quad \text{si} \quad 0 < \alpha - \phi_R < 180$$

$$- M^- < 0 \quad \text{si} \quad 180 < \alpha - \phi_R < 360^\circ$$



La ligne A B délimite le sens des moments.

Si ϕ_C est en avance par rapport à $\phi_{T,M}$ est > 0

Si ϕ_C est en retard par rapport à $\phi_{T,M}$ est < 0

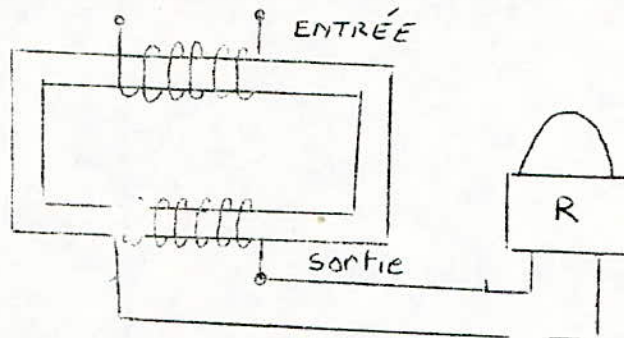
g) - Transformateur saturable: transducteur

c'est un circuit magnétique à saturation rapide qui transforme mal la composante apériodique, son fonctionnement est basé sur le principe suivant:

Fig (a) - courbe d'aimantation du transducteur

Fig. (b) - signaux d'entrée périodique et apériodique.

La fermeture à vide du transformateur entraînerait une composante apériodique qui risquerait de déclencher la protection différentielle. Pour remédier à cela le relais différentiel est branché à travers un transducteur qui comme on le voit sur la figure a et b transforme mal la composante apériodique et laisse passer la composante périodique.



C - CHOIX DES T.C. ET DES T.P.

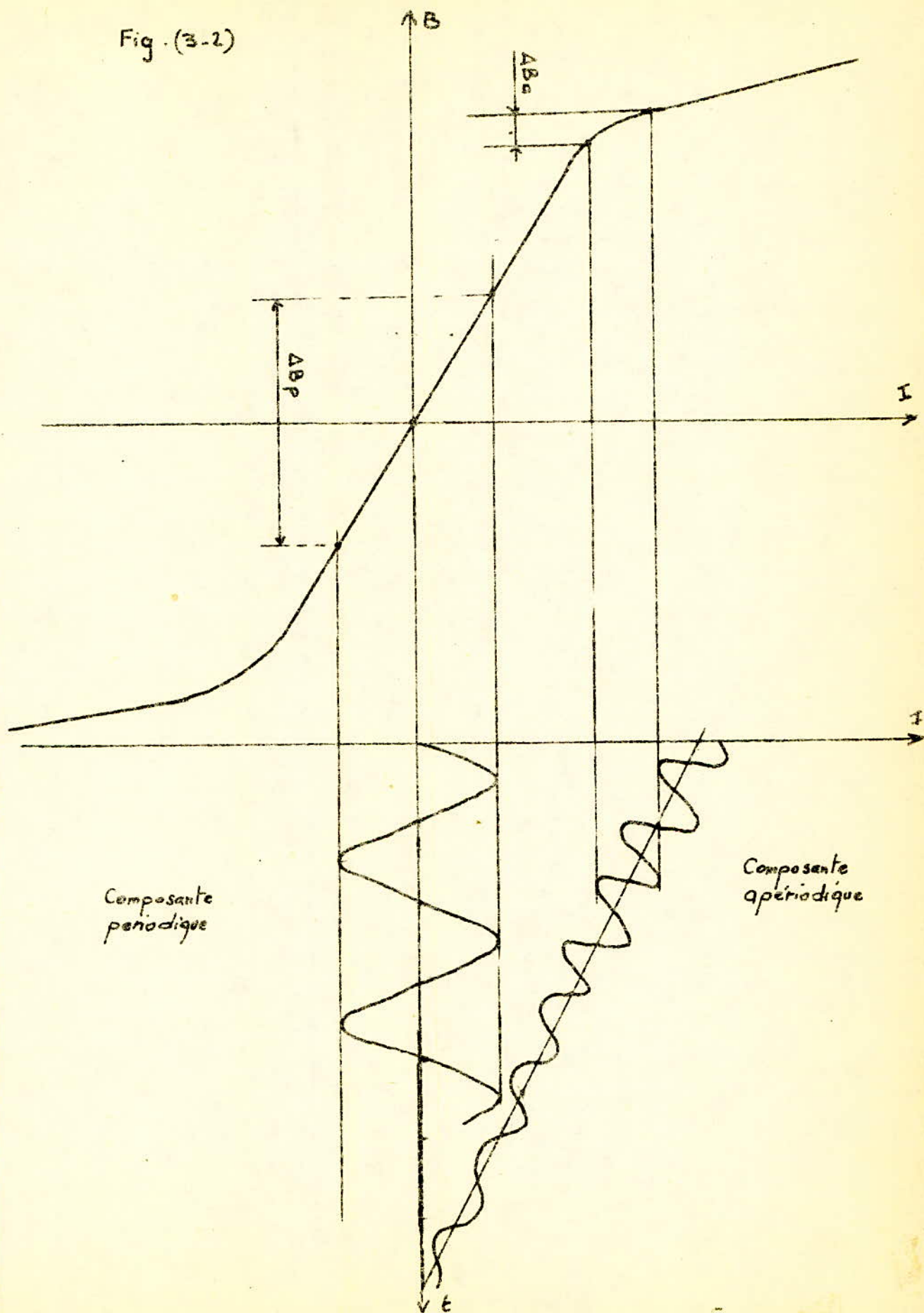
a) - Introduction

Les transformateurs utilisés pour l'alimentation des appareils de mesure et de protection sont en principe des "T.C" (transformateur de courant) et "T.P" (transformateur de potentiel). Les transformateurs de protection ne se différencient de ceux de mesure que par le degré de précision qui est caractérisé par la classe des transformateurs qui indique l'erreur en pour cent (%) du rapport de transformation, dans environs de la tension nominale ou du courant nominal.

b) - Choix des T.C

Les T.C utilisés pour la protection ne se saturent que pour des intensités considérables pour que la valeur de réglage des relais soient dans la partie linéaire de la caractéristique de saturation des T.C.

Fig. (3-2)



3.7

Leur choix est basé sur :

- courant maximum admissible supérieur ou égal au courant de court-circuit.
- puissance nominale \geq puissance nominale des appareils alimentés par le T.C. leur choix est basé sur:
 - rapport de transformation.
 - classe de précision.

c) choix des T.P.

Leur choix est basé sur:

- puissance nominale \geq puissance nominale des appareils alimentés par le T.P.
- Rapport de transformation
- Classe de précision

REMARQUE

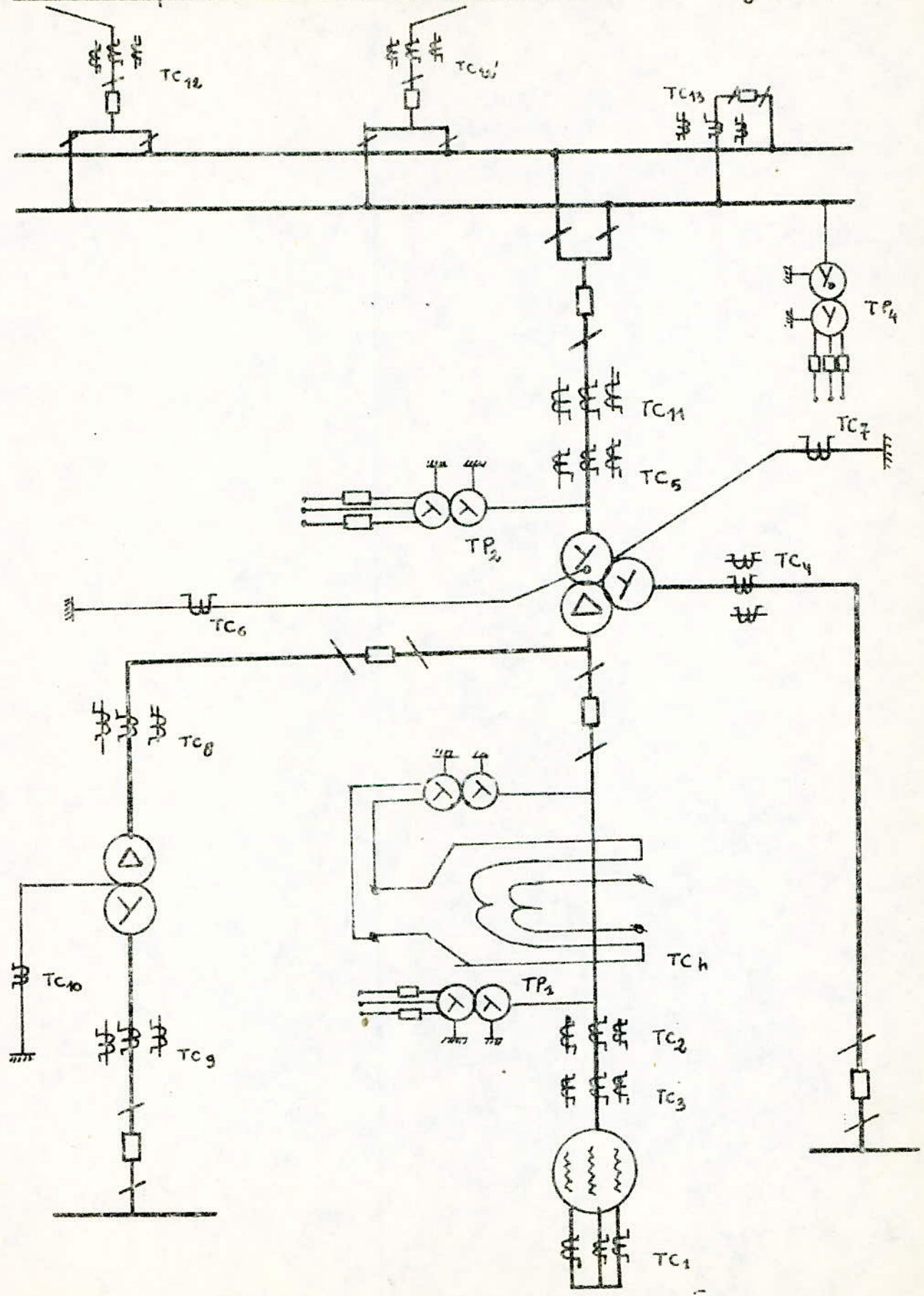
Les caractéristiques des T.C et T.P. choisis sont données plus loin dans chaque protection et mesure.

d) schéma d'emplacement des T.C et T.P.

Pour l'alimentation des appareils de mesures et protections, voir fig. (3-2).

Schema d'emplacement des TC et TP des Protections

Fig. (3-2)



3-3

D) - PROTECTIONS DES ALTERNATEURS

Elle est assurée par :

- Protection à maximum de courant avec démarrage par minimum de tension.
 - protection différentielle.
 - " " masse - rotor
 - " " " stator.
- a) - Protection à maximum de courant avec démarrage par minimum de tension

1°/ - But

- aux surcharge occasionnelles.
- aux défauts monophasés ou polyphasés extérieurs.

2°/ - Composition

Elle est constituée par :

- 4 relais à maximum de courant (1,2,3,4) de type RXIH2
- 6 " " de tension (5,6,7,8,9,10) de type ISX1116
- 2 " de temps (11,12) type RXKN1
- 1 relais intermédiaire (13) type RXMA1
- 3 transformateurs de courant (TC₁) branchés coté 10KV de rapport $\frac{4000 \text{ A}}{5}$
- 1 " de potentiel (TP₁) branché coté 10KV de rapport $\frac{210000}{100\sqrt{3}}$
- 1 " " (TP₂) " 225 KV de rapport $\frac{225000}{100\sqrt{3}}$

Caractéristique des T.C et T.P utilisés

T Y P E		Un (KV)	Iad(KA)	RAPPORT DE TRANSFOR. MATION	CLASSE	S(VA)	NOMBRES
TC ₁	4000A	10	20	$\frac{4000}{5}$	0,2	30	3
TC ₂							
TP ₁		10	-	$\frac{10000}{100\sqrt{3}}$	0,2	10	1
TP ₂		225	-	$\frac{225.000}{100\sqrt{3}}$	0,2	10	1

3. 10

Les fusibles des TP sont dimensionnés en courant à $I = 1,2I_n$ relais
chaque TP alimente 3 relais mini U donc $S_n = 3 \times 2,5 = 7,5$ VA

$$1,2I_n \text{ relais} = \frac{1,2 S_n \text{ relais}}{3 \cdot 100} = \frac{1,2 \times 7,5}{100 \cdot 3} = 0,05 \text{ A}$$

caractéristiques des relais utilisés :

type	N°	nbs	coef retombé	cal I(A)	cal U(V)	tens Vn(V)	Vad serie	seuil // fonc	Imax cont	SVA	stab therm
RXIH2	2 3 4	4	1,1	4-10	-	-	-	-	5A	2-10	-
RXIH2	1	1	1,1	4-10	-	-	-	-	5A	2-10	-
USX116	5 6 7 8,9 10	6	0,85	-	50-200	-	220V	110V	2A	2,5	-
RXMA1	13	1	-	-	-	110	-	-	0,7VN 5A	6W	110°/Un
RXKN1	11 12	2	-	-	-	110	-	-	5A	40W	110°/Un

Ireglage (A)	Ureglage (W)	temps de reglage
4,7	-	-
5,2	-	-
-	96,9	-
-	-	-
-	-	15mn

3 - Fonctionnement :

Cette protection ne fonctionne que si on a à la fois une sur intensité et un minimum de tension. Les régimes de surcharge occasionnelles et les surintensités sont détectés par les relais (1,2,3,4). Seul le relais 1 actionne un signal d'alarme (lors des surcharges prolongées à travers un relais de temps (11) légèrement temporisé pour laisser passer inaperçus les fructuations.

Le top final de déclenchement (légèrement retardé par le relais (12), pour assurer la sélectivité) est donné à la régulation de tension et à la bobine de déclenchement du disjoncteur D3 à travers le relais (13). Ce top ne peut avoir lieu que si l'un des relais (5,6,7,8,9,10), est excité. Cette excitation n'est possible que s'il y a baisse de tension jusqu'au seuil de réglage.

4°) Réglage

Le réglage doit s'effectuer de tel façon que:

- la protection ne doit pas gêner le fonctionnement normal.
- défauts fugitifs et les fluctuations de surcharge ne soient pas ressentis.

4.1 - Réglage du relais(1) contre les surcharge

Comme la surcharge est généralement équilibrée en utilise donc un relais à maximum de courant temporisé par une seule phase.

Pour l'alternateur on prendra une surcharge admissible de 20%

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,47 \text{ KA on utilisera un TC1 de rapport } \frac{4000}{5}$$

Le courant de surcharge : $I_{\text{surcharge}} = 1,2 I_n = 1,2 \cdot 3,47 = 4,16 \text{ KA}$
 au secondaire du TC, on aura un courant $I = \frac{4160 \times 5}{4000} = 5,2 \text{ A}$

qui sera le courant de réglage $I_{\text{régl.}} = 5,2 \text{ A}$

4.2 - Réglage des relais maximum de courant (2,3,4) le courant de réglage est donné par la formule suivante.

$$I_{\text{régl.}} = \frac{K_g \cdot B_{\text{sch}} \cdot I_{\text{nomT}}}{K_r \cdot K_{\text{TC}}}$$

avec K_g : coefficient de fiabilité : 1,15 ÷ 1,25

K_r : " " retombé : supérieur ou égal à 1

K_{sch} : " " réenclenchement du relais $\left\{ \begin{array}{l} \text{monophasé : } K_{\text{sch}} = 1 \\ \text{triphasé : } K_{\text{sch}} = \sqrt{3} \end{array} \right.$

I_{nomT} : courant nominal du transformateur

K_{TC} : rapport du transformateur de courant.

4.3 - Reglage des relais minimum de tension (5,6,7,8,9,10)

La tension de réglage se calcule comme suit :

$$U_{\text{regl}} = \frac{U_{\text{min}}}{K_{\text{tp}} \cdot x \cdot K_{\text{r}} \cdot K_{\text{f}}}$$

avec K_{tp} = rapport de transformation; $\frac{U_1}{U_2}$

K_{r} = coefficient de retombé $K_{\text{r}} = 0,85$

K_{f} = coefficient de fiabilité = $K_{\text{f}} = 1,2$

$U_{\text{min}} = 90\% \cdot U_{\text{n}}$

$$\text{d'où } U_{\text{regl}} = \frac{0,9 \times 10}{\frac{10}{100\sqrt{3}} \times 0,85 \cdot 1,2} = 167,65 \text{ V donc } V_{\text{regl}} = \frac{U_{\text{regl}}}{3}$$

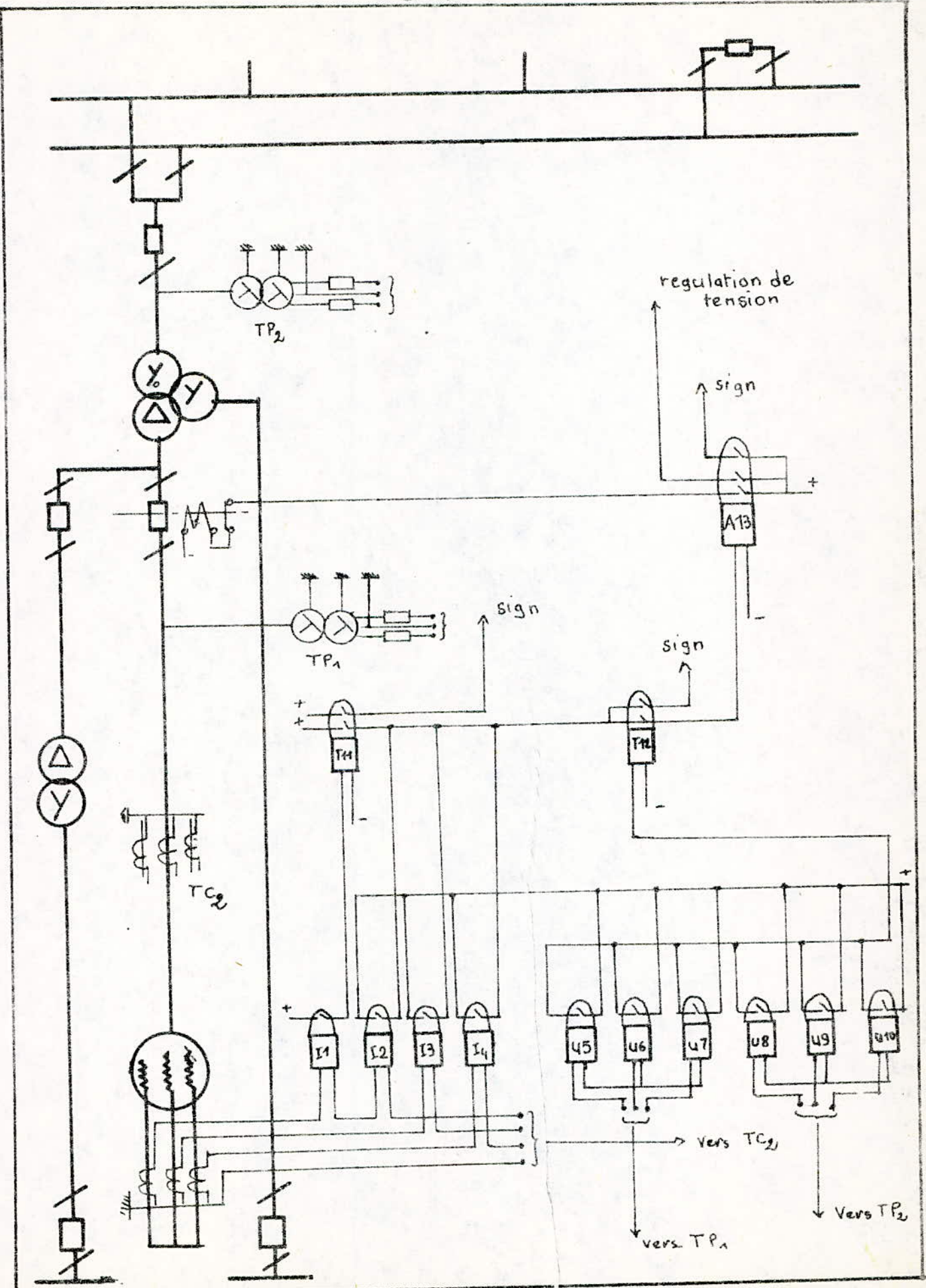
$$= \frac{167,6}{1,73} = 96,6 \text{ V}$$

$$\boxed{V_{\text{regl}} = 96,6 \text{ V}}$$

4.4 - Réglage des relais de temps T11 et T12

Généralement un alternateur peut fonctionner en surcharge admissible pendant un certain temps, pour cela on temporise de telle façon qu'on laisse le temps aux personnels astreint d'intervenir. On choisit une temporisation de 15 mn, l'alarme étant instantanée.

4.5 - Schéma (Voir figure).



b) Protection différentielle :1 - But

Conçue pour pallier aux défauts polyphasés internes des générateurs et des machines.

2 - Composition

Elle est constituée par :

- 4 relais différentiels (14,15,16,17) de type D IX111
- l'ensemble est alimenté par les TC1 et TC2

Caractéristiques du relais :

type relais	N°	Nombre	Coef de retombé	calibre I(A)	Iad ds les contacts(A)	Puissance V A	courant de réglage A
DIX111	14 15 16 17	04	0,85	0,15-0,3	2	2	0,25

3. Fonctionnement :

La protection est insensible aux courants de déséquilibre dues aux TC et à l'asymétrie des phases (jusqu'à 5% du courant nominal) pendant le régime normal.

Tout défaut interne entraînerait la fermeture des contacts des relais (14,15,16,17) lesquels attaquent le circuit du relais intermédiaire (13) qui envoie l'ordre de déclenchement au disjoncteur 10 Kv (D3) et à la coupure de l'excitation.

4. Reglage :

Ces protections sont toujours réalisées avec un pourcentage de retenue que l'on fixe généralement à $\Delta i = 5\%$. In

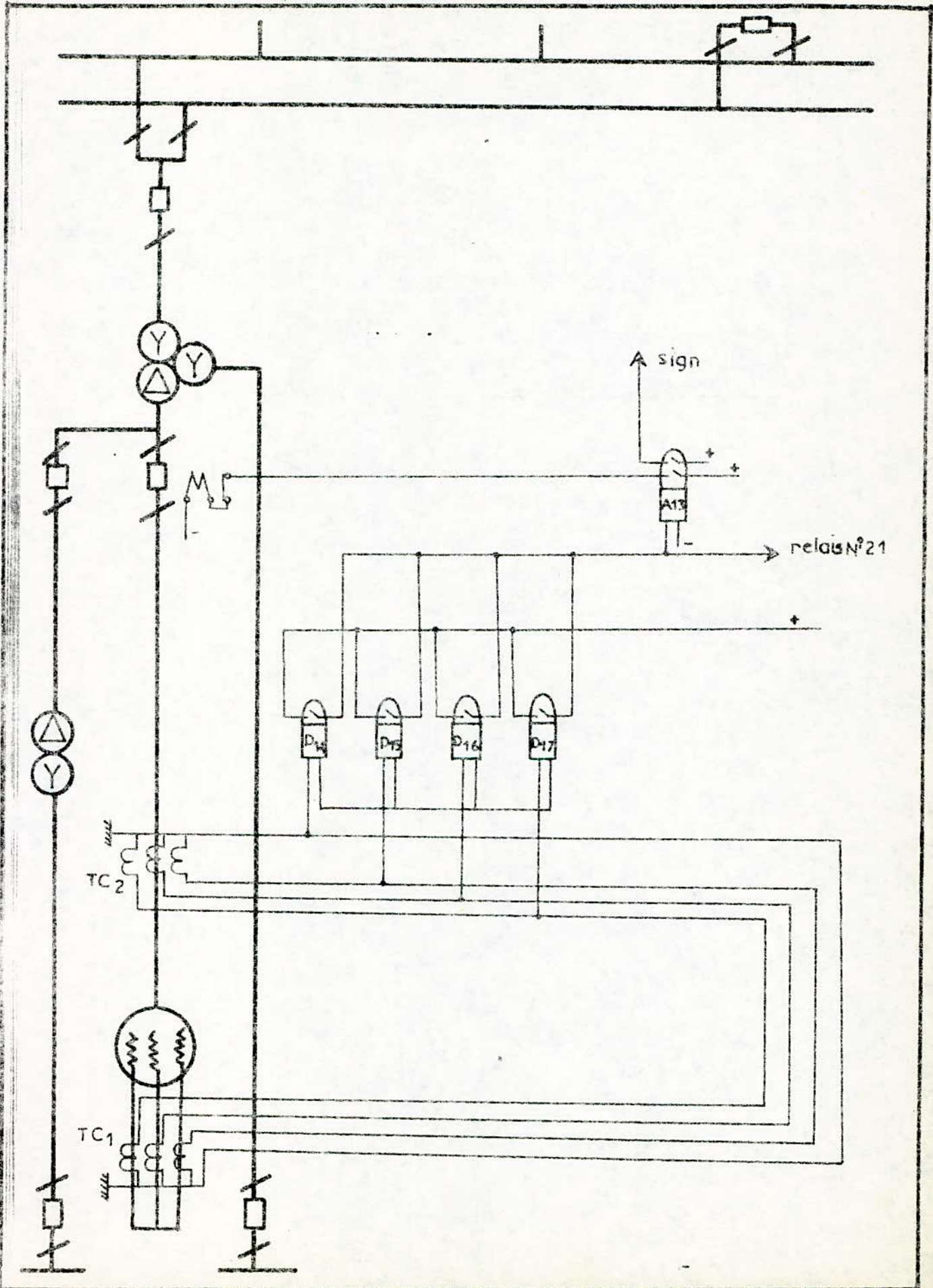
$$I_{\text{regl}} \geq \Delta i = 5\% \cdot I_n$$

$$= 5\% \cdot I_n = \frac{5 \times 3,47}{100} = 0,173 \text{ KA}$$

On obtient dans le secondaire du TC

$$I_{\text{regl}} = \frac{0,173 \times 5}{4} = 0,216 \text{ A} \Rightarrow I_{\text{regl}} = 0,25 \text{ A}$$

5. Schéma de la protection (voir figure)



c) Protection masse - rotor :1 - But

Conçue pour pallier aux défauts affectant l'isolation de l'enroulement du rotor

2 - Composition :

constituée par :

- une résistance R (potentiomètre),
- un relais de courant 18 type RXIH2,
- un relais de temps 19 type RXKN1,
- un millivoltmètre,
- un relais de courant 20 type RXIH2,
- un relais intermédiaire 27 type RXMA1.

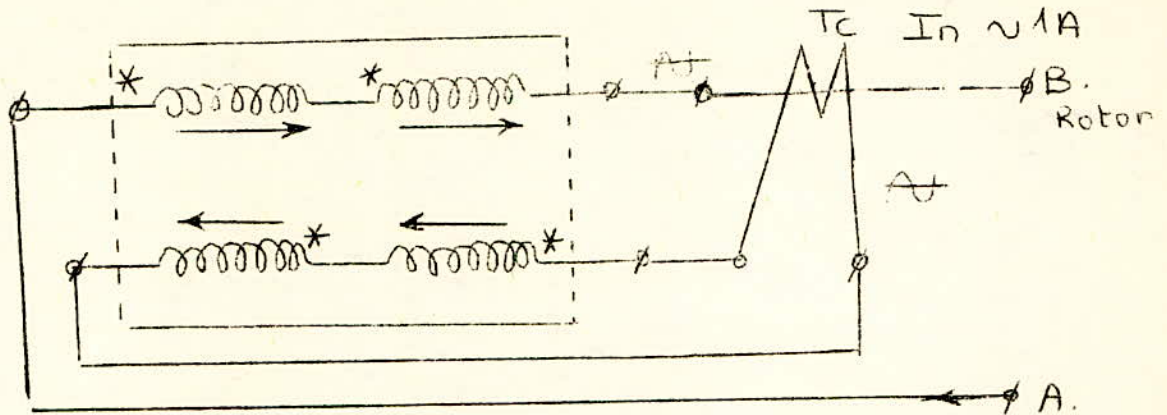
<u>type</u>	<u>N°</u>	<u>Nbrs</u>	<u>K</u> <u>retenue</u>	<u>calibre</u> <u>I (A)</u>	<u>I max</u> <u>cont.</u> <u>- etc</u>	<u>tension</u> <u>Vn</u>	<u>Nbre</u>	<u>S</u> <u>VA</u>	<u>Ireg</u> <u>A</u>	<u>temps</u> <u>reglage</u>
RXIH2	18	1	1,2	0,1-1	5A	-	01	2-10	0,15	-
RXKN1	19	1	-	-	Idem	110	02	40W	-	0,3 sec
RXIH2	20	1	1,2	-	5A	-	02	2-10	-	-

3. Fonctionnement :

Le fonctionnement est basé sur le principe d'un pont ; en effet le potentiomètre R est pris en parallèle avec l'enroulement du rotor. pour une position donnée du curseur, en cas de défaut, un courant circule dans le relais (18), lequel actionne un système d'alarme. l'intervention du personnel astreint se résume à équilibrer le pont. en déplaçant le curseur et en vérifiant que la tension du millivoltmètre est nulle

En cas d'apparition d'un 2° défaut le pont est déséquilibré et un courant circule dans le relais (18) pour donner cette fois-ci un signal d'alarme et un top de déclenchement et de coupure d'excitation.

Pour éviter un fonctionnement erroné de la protection par un courant qui peut être dû à une dissymétrie du flux résultant de l'excentricité du rotor, on remplace le relais 18 par un relais de conception spécial.



En effet lorsqu'il y a apparition d'un défaut, il se forme une boucle qui se trouve en mouvement dans un champ présentant une dissymétrie, un courant alternatif circulera alors à travers le relais pouvant être l'origine de son excitation.

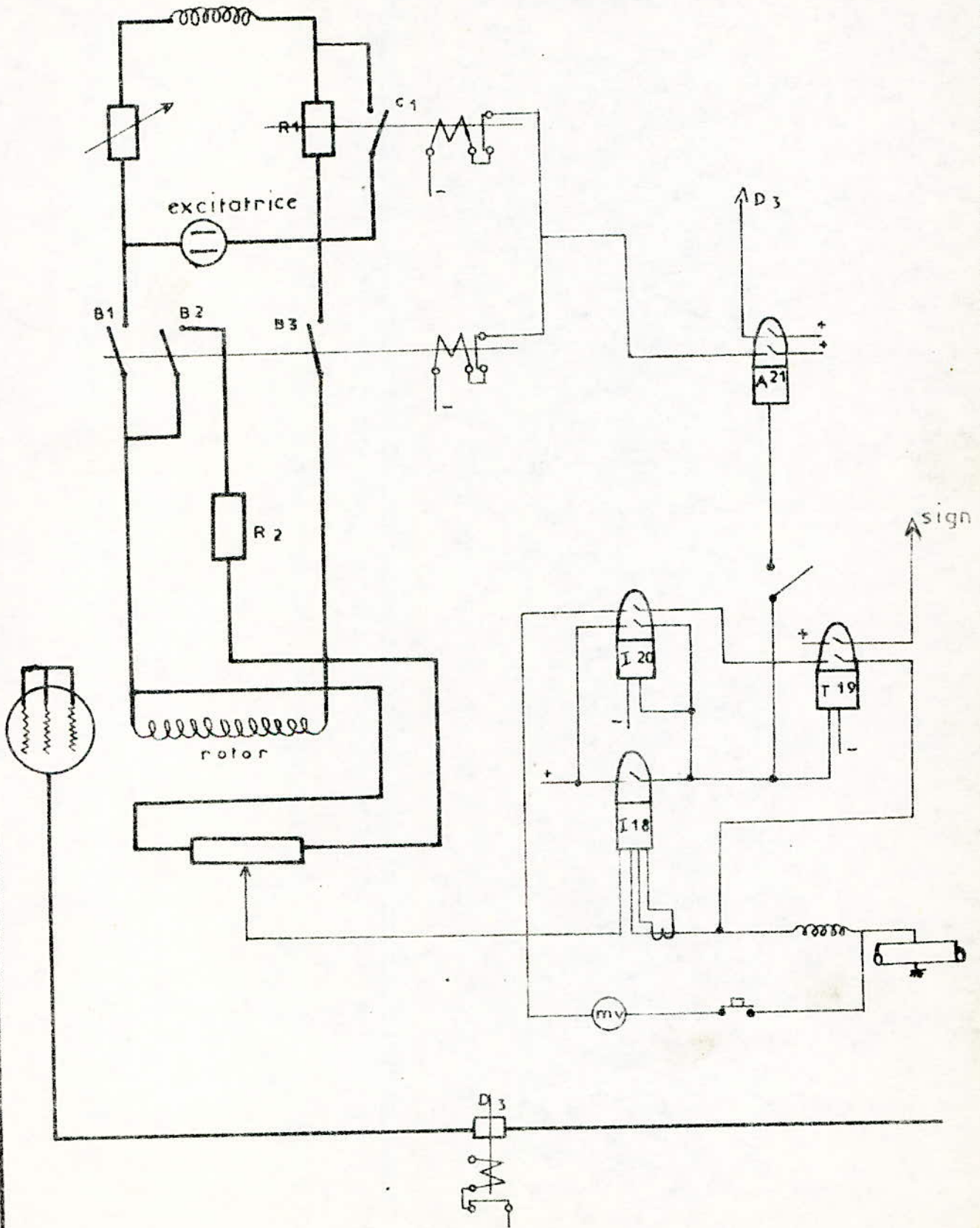
Les séquences relatives à la coupure du courant d'excitation sont :

- diminution du courant de l'excitatrice suite à l'ouverture de C1 et à l'insuration de R1 donc diminution de la tension d'excitation U.
- ouverture de B1, B2 et fermeture de B3 pour la décharge de l'énergie selfique de l'enroulement rotorique.

4 - reglage :

En pratique le seuil de reglage est légèrement supérieur à 0,1 A, juste pour compenser le courant de déséquilibre qui traverse le pont pendant un temps de 0,3 s, le temps nécessaire au relais(20) de s'exciter.

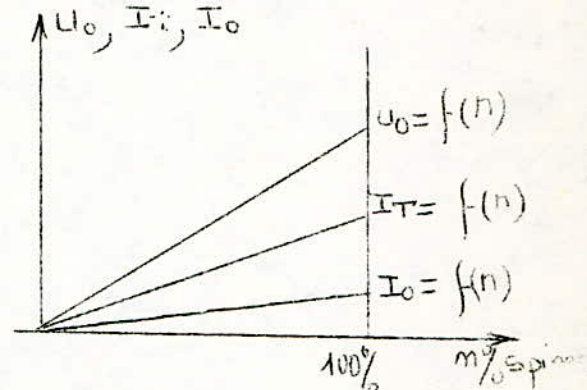
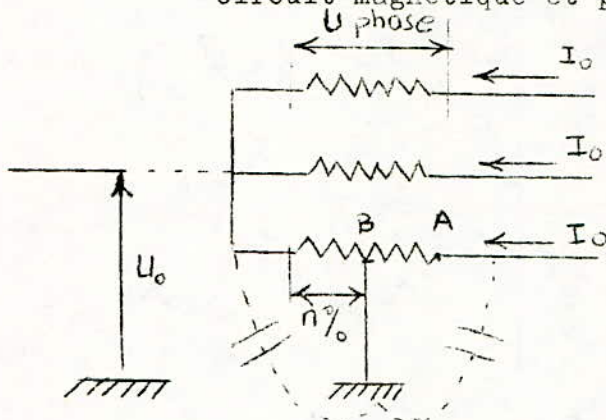
5 - Schéma (voir figure).



d) - Protection masse-stator :1 - Introduction :

Dans les réseaux, les générateurs fonctionnent avec neutre isolé, ou mis à la terre à travers une bobine de compensation des courants capacitifs.

Si, accidentellement une phase vient en contact avec le fer du stator, le courant de défaut I_f (capacitif) se referme par le circuit magnétique et provoque des effets néfastes.



Si le défaut est aux bornes de la machine (au point A par exemple)

$$I_f = 3I_0 = \frac{3 \cdot U_0}{X_c}$$

où U_0 = tension homopolaire

I_f = courant de terre

I_0 = courant homopolaire

X_c = impédance capacitive de la phase-terre

C = capacité de la phase-terre.

Si le défaut est interne à la machine (au point 13)

$$U_0 = n\% \cdot U_{\text{phase}} \quad \text{donc} \quad I_f = 3I_0 = 3n\% \cdot \frac{U_{\text{ph}}}{X_c} = 3n\% \cdot \frac{U_{\text{ph}} \cdot W \cdot C}{X_c}$$

2 - But :

Conçue pour éliminer les défauts d'isolement phase-stator (arçasse)

3 - composition :

- 1 relais de courant (22) type RX1H2
- 1 relais de temps (23) type RXKN1
- 1 transformateur de courant homopolaire TCh de rapport de $\frac{600}{5}$

- 1 transformateur de potentiel TP3 de type SLCE.

Caractéristiques des relais :

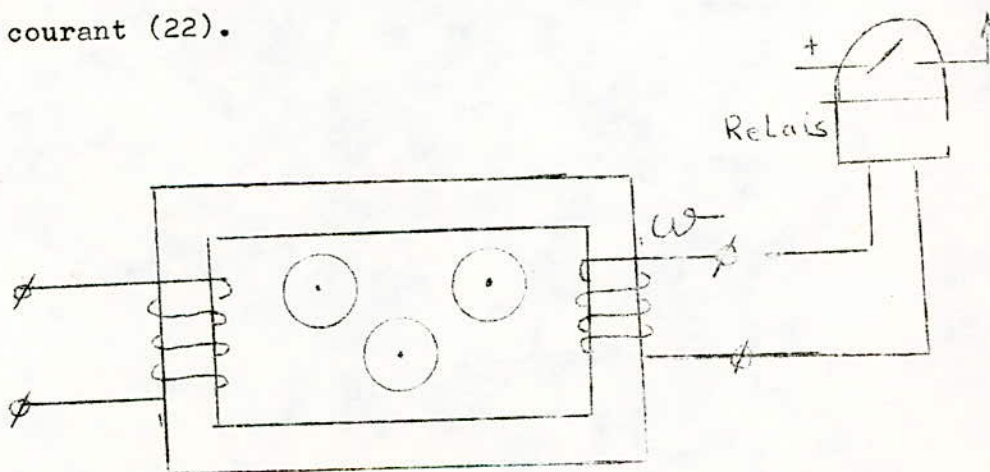
type	N°	Nbrs	Kr	calibre I(A)	tension d'alim Vn(V)	I _{max} cont. (A)	puiss. (VA)	stab therm.	I _{regl} (A)	temps de reglage
RXIH2	22	1	1,1	2-10	-	5	2-10	-	5,5	-
RXKN1	23	1	-	-	110	Idem	40W	Idem	-	0,31

Caractéristiques des TC et TP :

type	N°	rapport de transf.	classe	S(VA)
SLCE	TP3	$\frac{10.000}{100}$ 3	0,2	

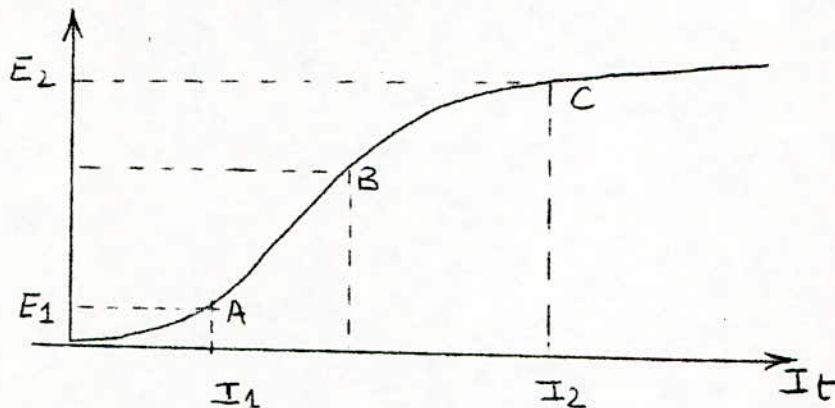
4 - Fonctionnement :

Les courants de terre sont décelés par le transformateur de courant homopolaire, en effet, les cables passent dans un circuit magnétique de forme rectangulaire et en cas de défaut, le courant homopolaire induit dans l'enroulement W une f.e.m qui alimentera le relais de courant (22).



Un simple transformateur poserait un problème de sensibilité. Pour de faibles courants de terre, la f.e.m induite E_1 est relativement insuffisante pour exciter le relais de courant. On peut palier à cet inconvénient en excitant le transformateur par une source intermédiaire, de manière à ce que le courant de défaut I_t^f vienne s'ajouter au courant d'excitation initial. Ainsi, pour un faible courant de terre I_t , correspondra une f.e.m $E_2 \gg E_1$.

Le but de cette source intermédiaire est de fonctionner sur la plage BC de la caractéristique $E = f(I_t)$.



5 - reglage :

Le seuil de courant de réglage doit être juste supérieur à

$$I = \frac{1}{K_r} (K' \cdot I_{CG} + K'' \cdot I_{des})$$

où - $I_{CG} \cong 1,5A$ courant capacitif pour les alternateurs allant jusqu'à 60MVA.

- $I_{des} = I_{des1} + I_{des2}$

- I_{des1} = courant de déséquilibre admissible en régime permanent (les générateurs peuvent aller jusqu'à 5% I_n)

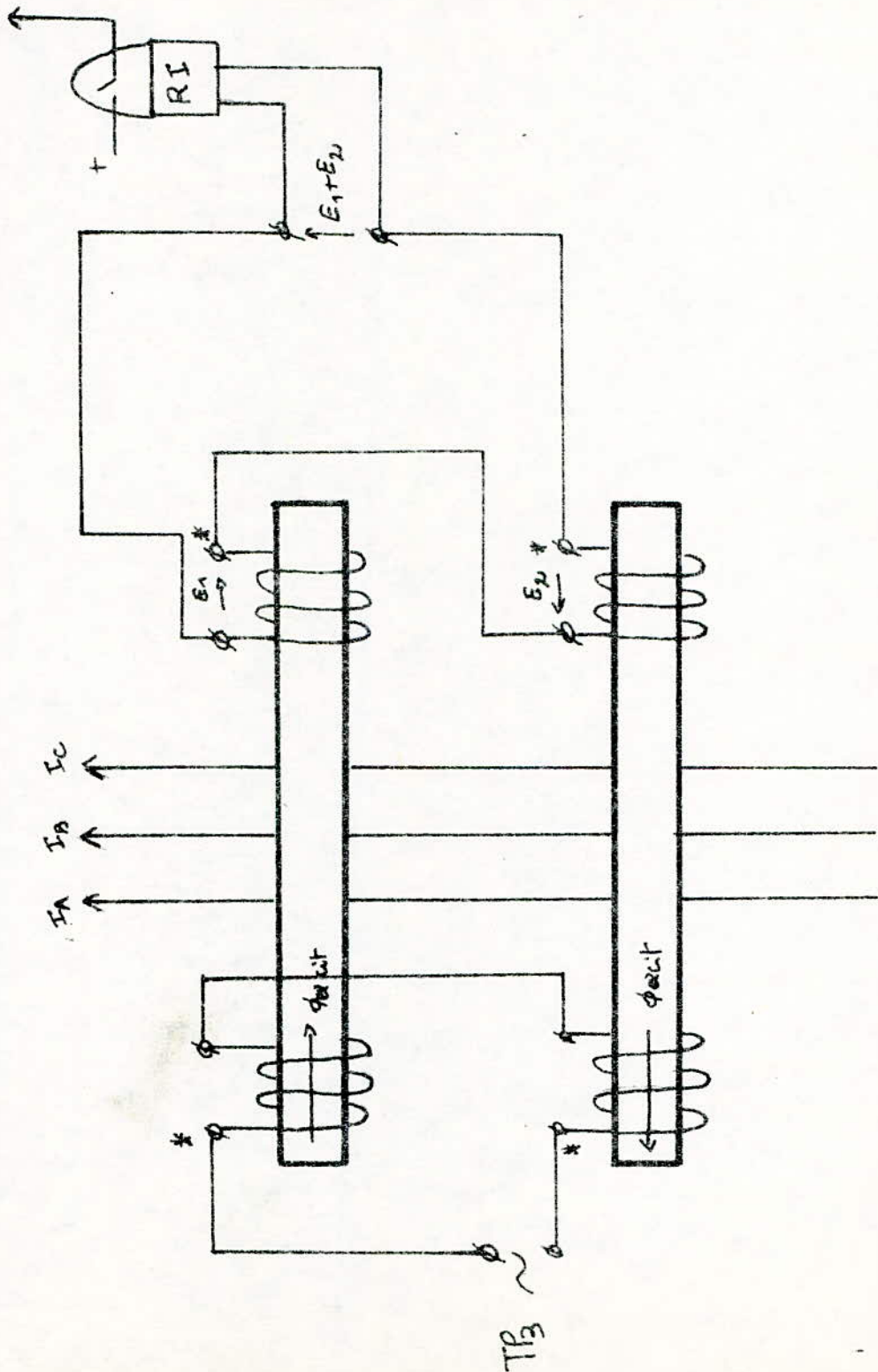
- I_{des2} = courant de déséquilibre intrinsèque au transformateur de courant homopolaire, est apprécié à 1% de I du TCn.

- k' = coef qui tient compte de l'appel de courant capacitif $22k' < c3$.

- k'' = coef de fiabilité $1,3 < k'' < 1,5$

- k_n = coef de retombé du relais.

Schema du Transformateur homopolaire



Nous choisissons donc :

$$- ICG \approx 1,5A$$

$$- Ides1 = \frac{5 \times 3,47}{100} = 0,174 \text{ kA donc dans le secondaire du Tch}$$

$$- Ides1 = \frac{174 \times 5}{600} = 1,47 \text{ A}$$

$$- Ides 2 = \frac{1 \times 5}{100} = 0,05 \text{ A}$$

$$- k' = 2,5$$

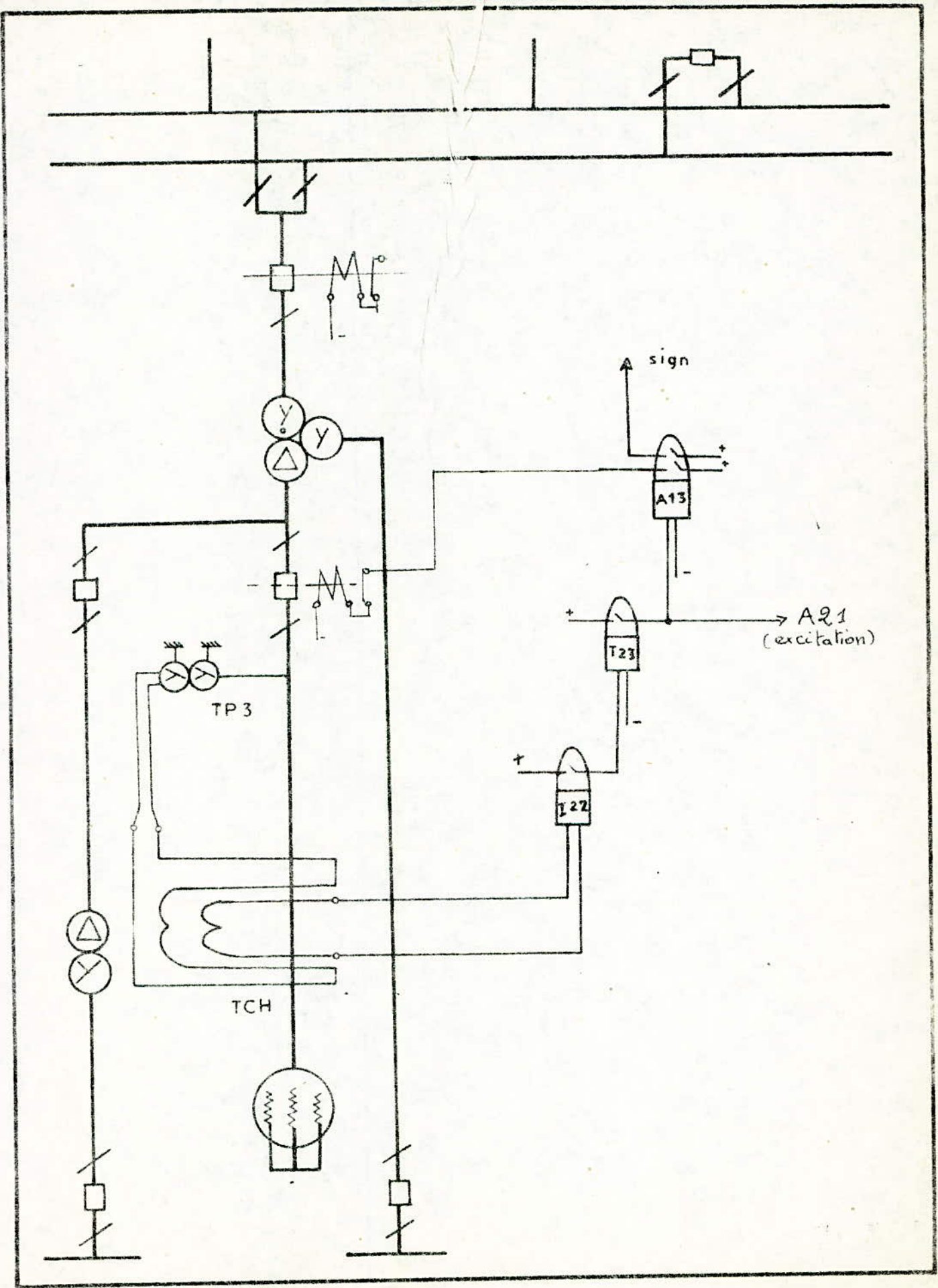
$$- k'' = 1,4$$

$$- k_2 = 1,1$$

$$d'où \quad I = \frac{1}{1,1} (2,5 \times 1,5) + (1,4 \times 1,79) = 5,32A \text{ donc } I_{regl} = 5,5A$$

Nous temporisons à $t = 0,3s$, pour laisser les fluctuations et les défauts fugitifs passer inaperçus.

6 - Schéma (voir figure).



E- Protection des transformateurs :a - Protection des transformateurs à 3 enroulements :

Elle est assurée par :

- protection différentielle
- protection masse-cuve
- protection monophasée extérieure
- protection Bucholtz.

1 - Protection différentielle :1.1 - But :

Éliminer les défauts internes :

1.2 - Composition :

- 3 relais différentiels (24,25,26) type DX111
- 3 auto-transformateurs avec 3 transducteurs de rapport 0,62
- 1 relais intermédiaire (27) type RXMA1.
- 3 TC3 coté 10 Kv type SLXE couplés en étoile 12
- 3 TC4 coté 5,5 Kv type SLXE couplés en Δ 1
- 3 TC5 coté 225 Kv type SLXE couplés en Δ 1

- Caractéristiques des relais :

type	N°	Nbs	Vn(V)	seuil fonct	stab therm	Nbs contact	Imaxad contact	Kr	S (VA)	calibre I A	Iregl (A)
DX111	24 25 26	3	-	-	-	-	2 A	0,85	2	0,3 0,6	0,35
RXMA1	27	1	110	0,7Vn	110% ₀ Un	4	5 A	-	6W	-	-

- Caractéristiques des TC :

type	N°	Nbrs	Un (kv)	Iad (KA)	repport de transf.	classe	S (VA)
SLXE	TC3	3	10	20	4000/5	0,2	20
SLXE	TC4	3	5,5	12	2000/5	0,2	20
SLXE	TC5	3	225	12	200/5	0,2	20

1.3 - Fonctionnement :

Les courants qui doivent être comparés ne sont pas de même amplitude et déphasés de 30° (ce déphasage est dû au couplage Δ/Y du transformateur de puissance), il est nécessaire d'assurer aux moyens d'auto-transformateur et de couplages des TC l'équilibrage des amplitudes et du déphasage.

Pour ne pas laisser de zone morte entre l'alternateur et le transformateur, on croise les protections différentielles.

1.4 - reglages:

$$\text{- coté 10 Kv nous avons } I_n = \frac{I_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60}{\sqrt{3} \times 10} = 3,47 \text{ KA}$$

nous obtenons au secondaire du TC3 de rapport $\frac{4000}{5}$

$$\text{un courant de } I_2 = \frac{5 \times 3470}{4000} = 4,34 \text{ A}$$

$$\text{- coté 5,5 Kv : } I_n = \frac{12}{\sqrt{3} \times 5,5} = 1,26 \text{ KA donc } I_2 = \frac{1260 \times 5}{2000} = 3,15 \text{ A}$$

$$\text{- coté 225 Kv : } I_n = \frac{60}{\sqrt{3} \times 225} = 0,154 \text{ KA, } I_2 = \frac{154 \times 5}{2000} = 3,85 \text{ A}$$

Le relais différentiel fait la comparaison entre I_2 et $I_1' + I_1''$ nous choisissons donc un auto-transformateur de rapport

$$K = \frac{I_2}{I_1' + I_1''} = \frac{4,34}{7} = 0,62$$

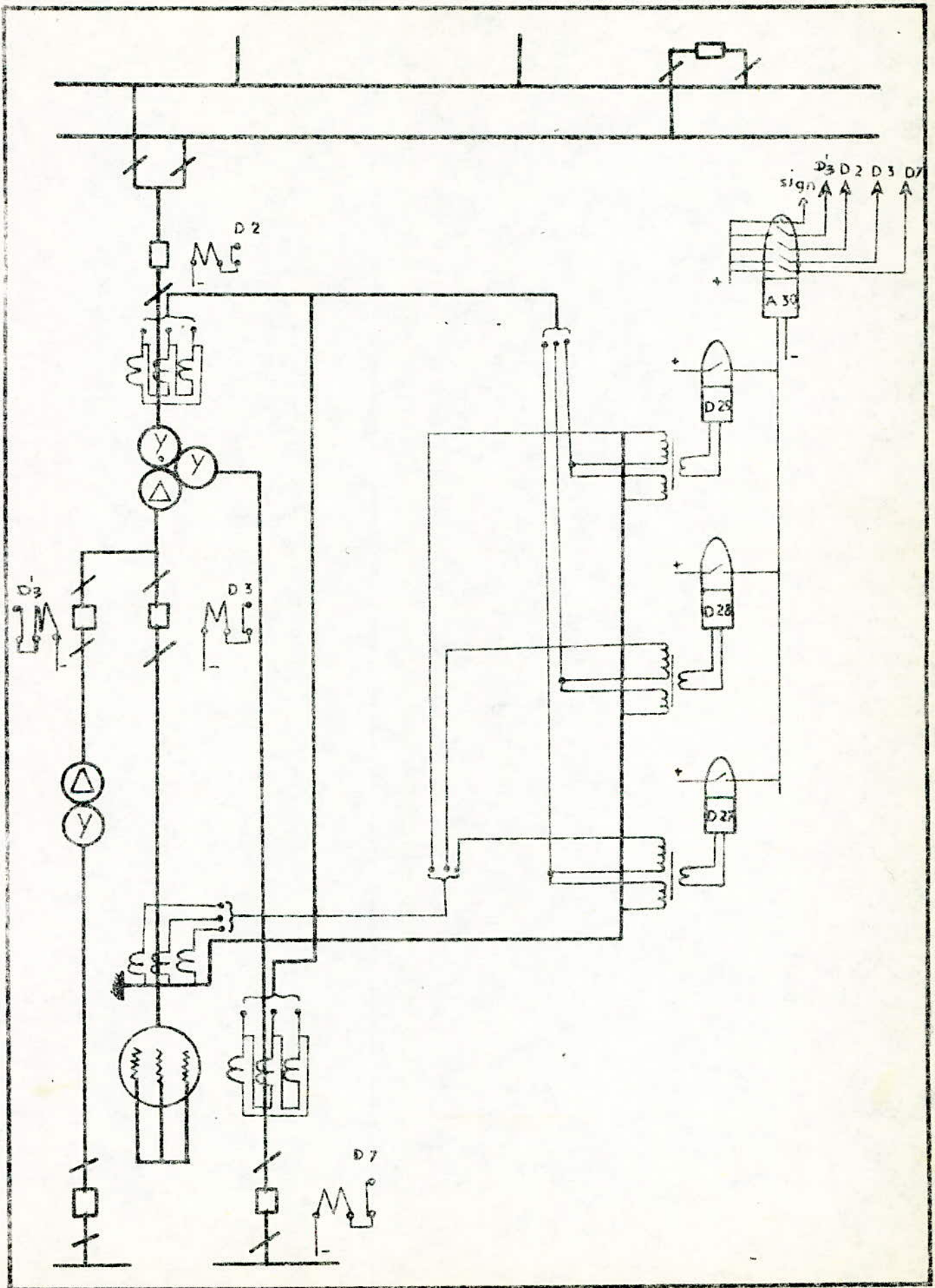
Le courant de réglage $I_{\text{regl}} \geq 5\% \cdot I_n$

I_n étant le courant nominal maximum qui passe dans l'auto-transformateur, $I_n = I_1' + I_1'' = 7 \text{ A}$

$$\text{d'où } I_{\text{regl}} \geq \frac{5 \times 7}{100} = 0,35 \text{ A donc } I_{\text{regl}} = 0,4 \text{ A.}$$

3-26

1.5 - Schéma (voir figure)



2 - Protection monophasé extérieurs :2.1 - But :

Cette protection consiste à éliminer les défauts extérieurs à la à la terre.

2.2 - Composition :

- 1 relais à maximum de courant (28) type RXIH2
- 1 relais de temps (29) type RXKN1
- 1 relais intermédiaire (30) type RXMA1
- 1 transformateur de courant TC6 type SLXE

- Caractéristiques des relais :

type	N°	Nb	Kr	Vn V	Seuil fonct	calib I A	Nbs de contac	stab therm	S VA	I _{max} ad contac	I _{regl} A	temps regl
RXIH2	28	1	0,85	-	-	1-5	-	-	2÷10	5A	2,3	-
RXKN1	29	1	-	110	-	-	-	Idem	40W	Idem	-	0,3A
RXMA1	30	1	-	110	0,7Vn	-	2	110°/Vn	6W	5A	-	-

- Caractéristiques des TC ;

type	N°	Nombre	Un(Kv)	I _{ad} (A)	rapport	classe	S(VA)
SLXE	TC6	1	?	800	100/5	0,2	20

2.3 - Fonctionnement :

Les courants de défauts à la terre se referment par le neutre de transformateur et sont détectés par TC6, le relais (28) excité donne un ordre de déclenchement au disjoncteur D2 à travers le relais de temps (29) pour assurer la selectivité de la protection des lignes L1 et L2.

2.4 - reglage :

Cette protection doit être insensible aux courants capacitifs (barres, lignes) qui se referment par les neutres des transformateurs.

En pratique ces courants sont mesurés et on règle la protection au seuil de réglage.

Pour le réglage de la protection, les courants capacitifs des lignes véhiculés à travers les neutres seront appréciés comme suit :

la demi-susceptance des lignes étant $Y/2 = 1/2WC = 1,33 \times 10^{-6} \text{ /Kw}$

Le courant capacitif $I_c \approx 24Y = 2 \times 225 \times 10^3 \times 1,33 \times 10^{-6} \times 100 = \approx 45 \text{ A}$

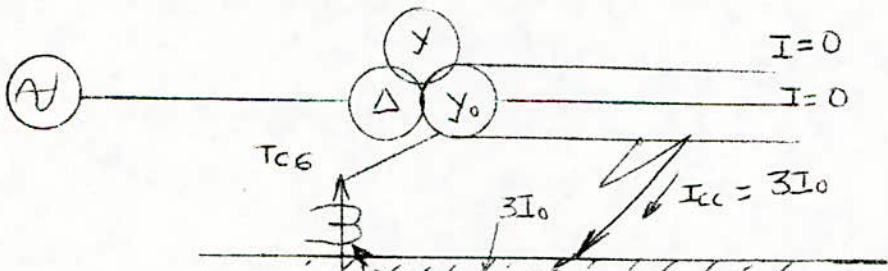
Nous choisissons un TC6 de rapport de 100/5 d'où

$I_{\text{regl}} \geq \frac{45 \times 5}{100} = 2,25 \text{ A}$ donc $I_{\text{regl}} = 2,3 \text{ A}$.

Nous temporisons à $t = 0,3 \text{ s}$ pour laisser le temps à la protection de distance de fonctionner.

calcul du courant maximum admissible du TC6 :

Le courant maximum admissible doit être supérieur au courant de court circuit monophasé.



Le courant de court circuit monophasé est calculé d'après l'expression suivante :

$$I_{cc} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} |\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0|}$$

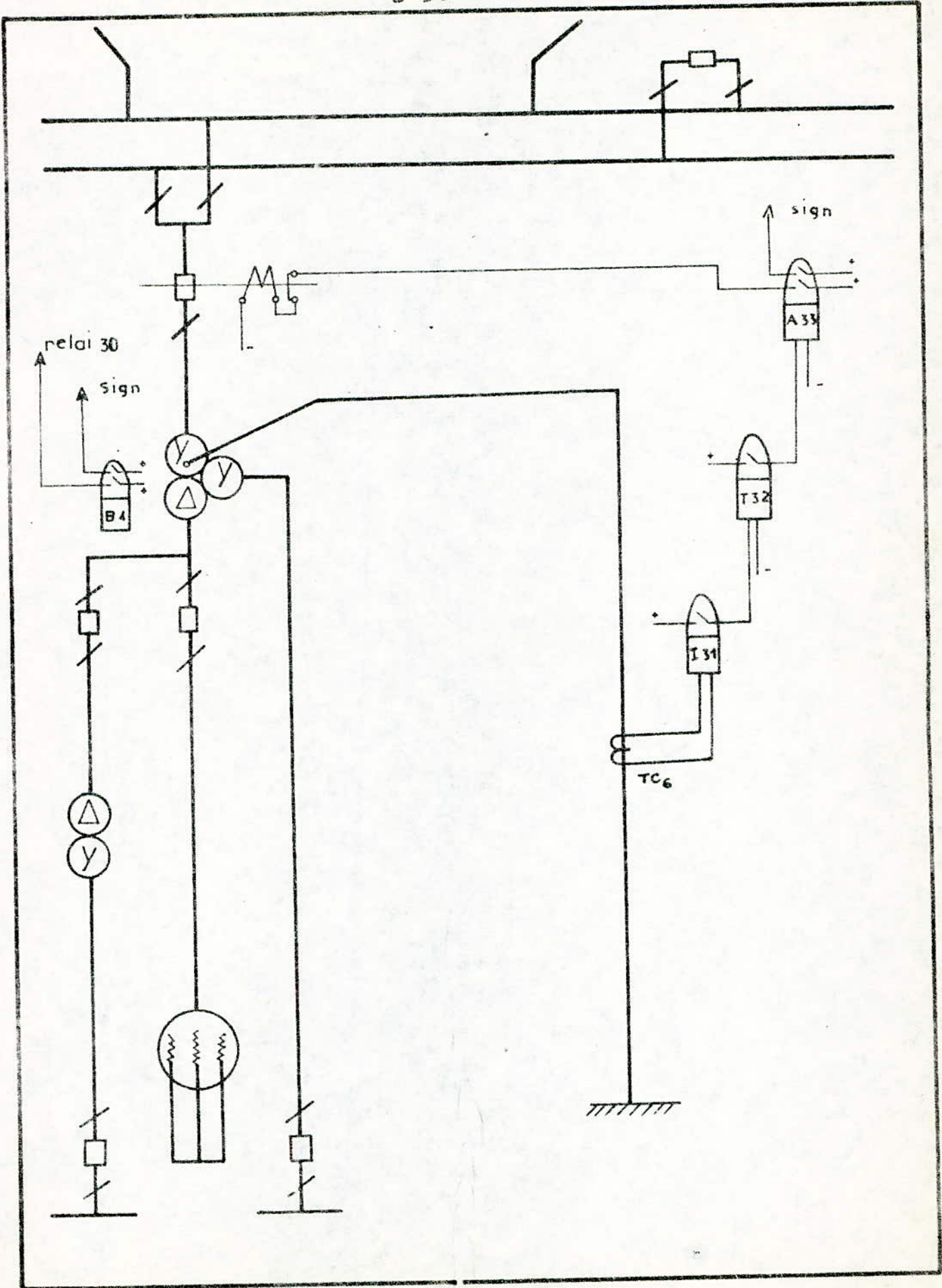
Pour un transformateur couplé en $Y_0/\Delta/Y$ on a

$$Z_0 = Z_d = Z_i = Z_{at} \approx 9052$$

$$\text{on aura donc } I_{cc} = \frac{1,1 U_n}{3\sqrt{3} Z_d} = \frac{1,1 \times 225}{3\sqrt{3} \times 90} = 550 \text{ A}$$

donc $I_{\text{max ad}} = 800 \text{ A}$

2.5 - Schéma (voir figure)



3 - Protection masse cuve :3.1 - But :

Cette protection consiste à isoler sommairement la cuve du sol dont la liaison est établie par une connexion dans laquelle on insère une protection ampérométrique

3.2 - Composition :

- 1 relais à maximum de courant N° (31) type RXIH2
- 1 relais de temps (32) type RXKN1
- 1 transformateur de courant TC7 type SLXE (même caractéristique que TC6)

- Caractéristiques des relais :

type	N°	Nb	Kr	Vn V	I(A)	Nb de conta	stab therm	S(VA)	I _{max ad} conflict	I _{regl} (A)	temps regl
RXIH2	31	1	0,85	-	2-5	1	-	2-10	5A	4,0	
RXKN1	32	1	-	110	-	1	Idem	40W	Idem	-	0,5s

3.3 - Fonctionnement :

Si une phase vient accidentellement toucher la cuve, le courant sera véhiculé par le conducteur qui la relie à la terre à travers TC7 qui alimente le relais de courant (31).

3.4 - Reglage:

Le seuil de reglage du courant I de démarrage du relais (31) doit être juste à I' composante qui passe dans le TC7 en cas de défaut (voir schéma).

La cuve est supposée isolée par rapport à la terre par une résistance de 30Ω

Les mises à la terre de la masse-cuve et du neutre sont faites à travers une $R_t \leq 4 \Omega$

$$\text{Nous aurons } I' = \frac{R_t \times 3I_0}{R_t + R_{\text{beton}}} = \frac{3I_0 \times 4}{4+30} = \frac{4}{34} \times 550 = 64,71 \text{ A}$$

Nous utilisons un TC7 de rapport de $100/5 = K$

$$\text{d'où } I_{\text{regl}} \geq I' \times \frac{1}{K} \times K_f$$

K = coef de transformation

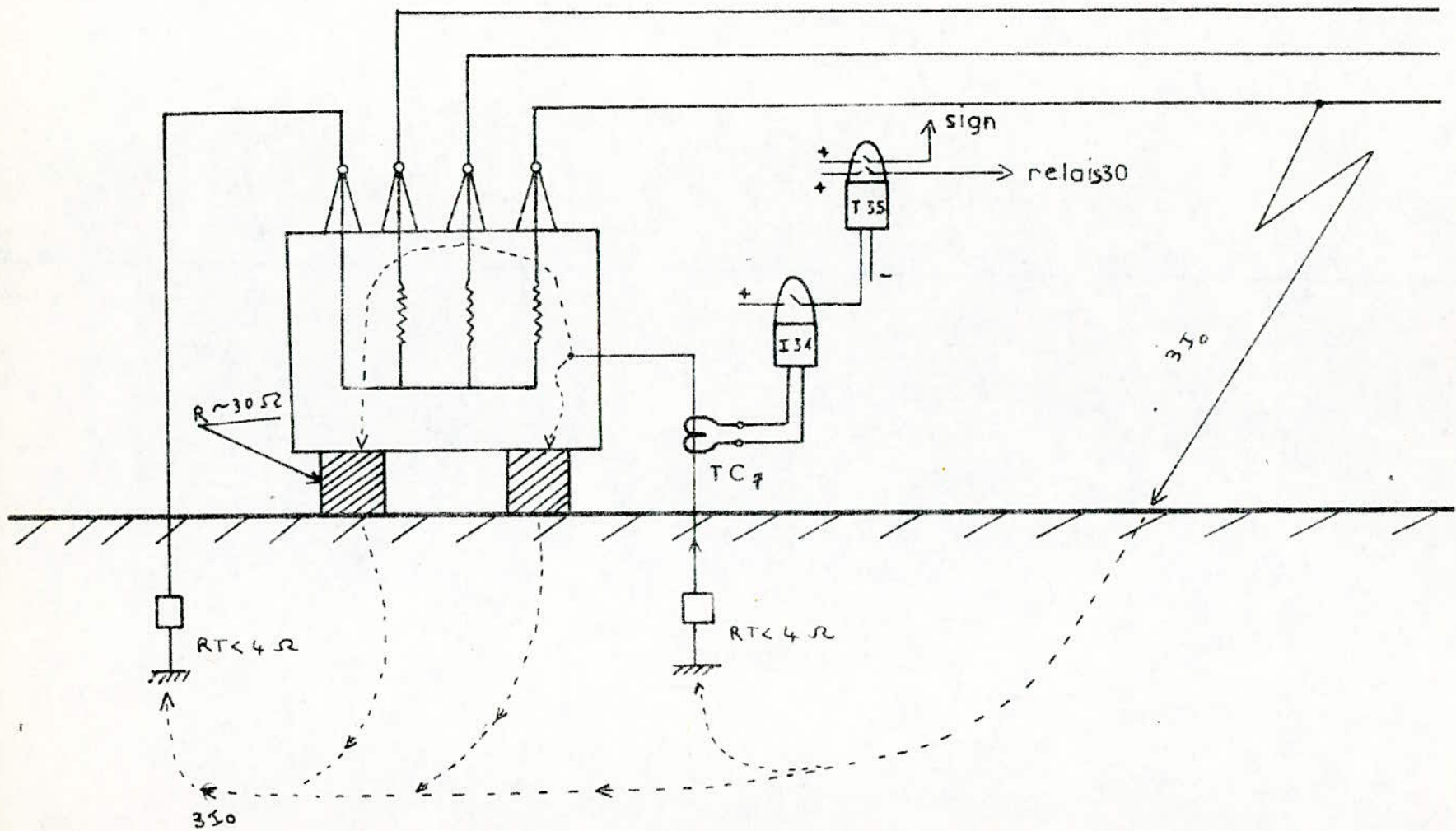
K_f = coef de fiabilité du relais = 1,2

$$\text{donc } I_{\text{regl}} \geq \frac{64,71 \times 1,2}{100/5} = 3,88 \text{ A}$$

d'où $I_{\text{regl}} = 4 \text{ A}$.

On temporise à $t = 0,5 \text{ s}$ de telle façon qu'elle laisse le temps à la protection monophasée extérieure de fonctionner.

3.5 - Schéma (voir figure)



b) - Protection de transformateur à 2 enroulements :
assurée par :

- protection différentielle
- protection masse-cuve
- protection Bucheltz

1 - Protection différentielle

1.1 - Composition :

- 3 relais différentiels (33,34,35) type DIX111
- 1 relais intermédiaire (36) type RXMA1
- 3 TC8 de type SLXE coté, 10Kv, couplé en Δ 1
- 3 TC9 de type SLXE, coté, 0,4Kv, couplé en Y12.

- Caractéristiques des relais :

type	N°	Nb	Vn (V)	seuil fonct	Nb de contac	stab therm	I _{max} cont. c _t	Kr	calit. A _{rd}	Puiss VA	I _{regl} A
DIX111	33 34 35	3	-	-	1	-	2A	0,85	0,3 ±0,6	2	0,5
RXMA1	36	1	110	0,7Vn	5	110% Vn	5A	-	-	6W	-

- Caractéristiques des TC :

type	N°	Un (Kv)	I _{ad} (KA)	rapport transf	classe	S (VA)	Nombres
SLXE	TC8	10	20	150/5	0,2	20	3
SLXE	TC9	0,4	30	3500/5	0,2	20	3

1.2 - Reglage :

$$\rightarrow \text{Coté } 10\text{Kv} : I_n = \frac{S_n}{3 U_n} = \frac{2}{3 \times 10} = 115,5\text{A} \text{ donc } I_2 = \frac{115,5 \times 5}{150}$$

$$= 3,85 \text{ A.}$$

$$\rightarrow \text{Coté } 0,4\text{Kv} ; I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{2}{\sqrt{3} \times 0,4} = 2,86\text{KA} \text{ donc } I_2 = \frac{2,86 \times 5}{3,5}$$

$$= 4,09\text{A.}$$

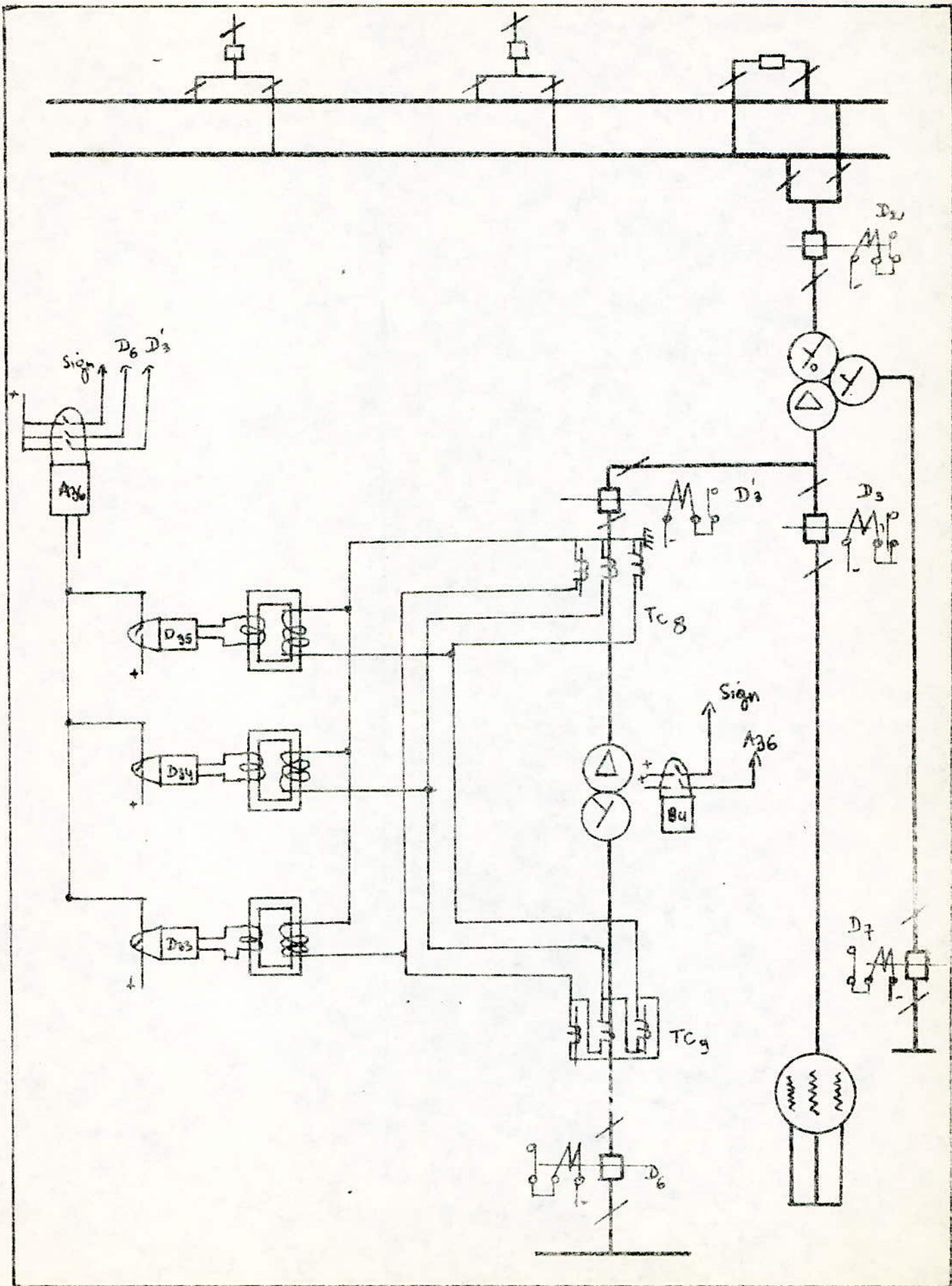
La différence de courant $\Delta i_2 = 4,09 - 3,85 = 0,24\text{A}$ et faible cela ne nécessite pas un auto-transformateur mais on utilise un ^{ns} traducteur (à cause de la composante apériodique qui apparaît lors du couplage du transformateur.

$$\Delta i = 5\%, I_n = \frac{5 \times 4,09}{100} = 0,2 \text{ A.}$$

$$\text{d'où } I_{\text{regl}} \geq \Delta i_1 + \Delta i_2 = 0,24 + 0,2 = 0,44\text{A}$$

$$\text{donc } \boxed{I_{\text{regl}} = 0,5 \text{ A}}$$

1.3 - Schéma (voir figure)



2 - Protection masse-cuve :

2.1 - Composition :

- 1 relais de courant (37) type RXIH2
- 1 relais de temps (38) type RXKN1
- 1 TC10 de type SLXE.

- Caractéristiques des relais :

type	N°	Nb	Kr	Vn V	calibre I (A)	Nb de contac	stab ther	S VA	I _{max ad} contact	I _{regl} A	temps de reglage
RXIH2	37	1	0,85	-	1-5	1	-	2-10	5A	2,5A	-
RXKM1	38	1	-	110	-	2	Idem	Idem	Idem	-	-

type	N°	I max ad	rapport	S (VA)	classe
SLXE	TC10	800 A	3/5	20	0,2

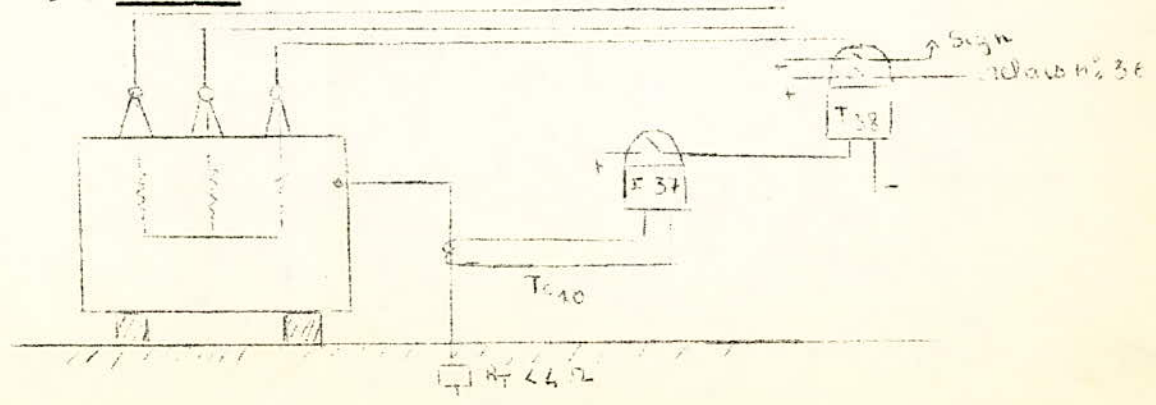
2.2 - Reglage :

La protection doit être **reglée** juste supérieure à 1,5 (courant capacitif admissible pour les petits transformateurs).

I_{regl} $\frac{1,5 \times 5}{3}$ = 2,5 A donc I_{regl} = 2,5 A

On tempore à t = 0,2 pour laisser le temps à la protection des auxiliaires de fonctionner.

2.3 - Schéma :



F - PROTECTION DES BARRES 225 Kv

Les jeux de barres sont rarement le siège de défauts, mais quand ils se produisent ils sont la cause de graves perturbations.

La protection est assurée par :

- protection directionnelle verouillé par la protection différentielle.

a) But

Conçue pour éliminer les défauts des barres.

b) composition

- 3 relais différentiels (39,40,41) type DI x 111
- relais intermédiaire 42 type RXMA 1
- 3 auto-transformateurs de rapport de transformation 0,73
- 3 relais de puissance (43,44,45) de type RW24
- 2 relais intermédiaires (B1, B2) de type RXMA 1
- 3 (3TC11) côté 225 Kv ayant les mêmes caractéristiques que que le TC5 couplé en Y12
- 2 (3TC12) côté 225 Kv type SLXE de rapport 4500/5
- 3 TC13 côté 225 Kv branchés sur le disjoncteur de couplage type SLXE
- 1 TP4 branché sur jeux de barre type SLCE

CARACTERISTIQUES DES RELAIS :

Type	N°	Nbrs	seuil de fonct.	Nbrs de contact	Imax ad contacts	Kr	calibre I(A)	calib. puiss.	S VA	I reg	Vn	Puis reg
DIX111	39 40 41	3	-	1	2A	0,85	0,5-1	-	2	0,6	-	-
RXMA1	42 B1 B2	3	97 V _n	3	5A	-	-	-	6W	-	110V	-
RW24	43 44 45	3	-	1	5A	-	-	50 100W	5VA 110VA	-	100V $\sqrt{3}$	95W

CARACTERISTIQUES DES TC ET TP :

type	N°	Nbrs	Un(Kv)	I ad (KA)	rapport	classe	S (VA)
SLXE	TC11	9	225	12	$\frac{200}{5}$	02	20
SLXE	TC12 TC12	3 3	225	12	$\frac{4500}{5}$ $\frac{3500}{5}$	02	20
SLXE	TC13	3	225	12	$\frac{7500}{5}$	0,2	20
SLXE	TP4	1	-	-	$\frac{225000}{100 \ 3}$	0,2	200

c) fonctionnement :

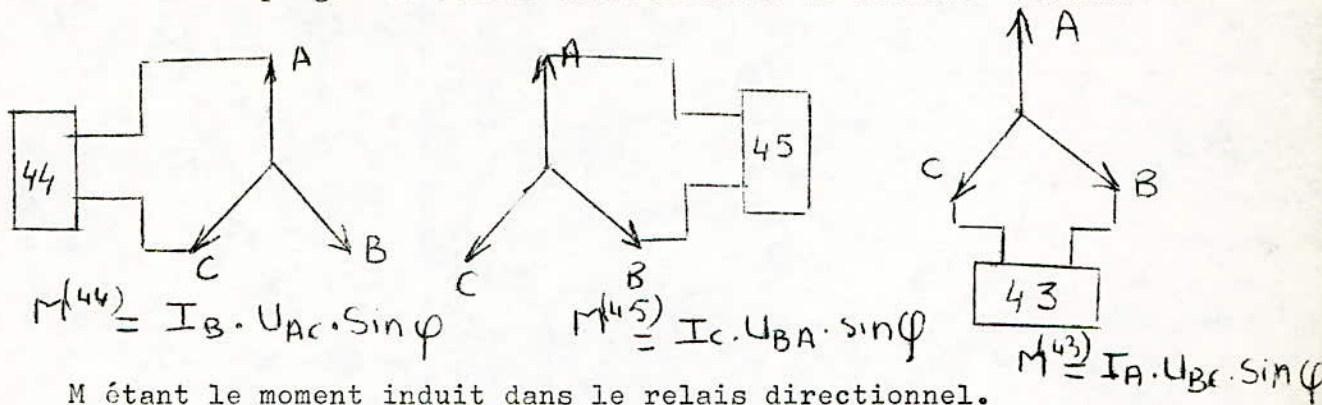
Un défaut sur l'une des barres démarre la protection différentielle, relais (39,40, 41) lesquels à travers leurs contacts ferment le circuit d'alimentation des relais directionnels (43,44,45) qui selon le sens de l'écoulement du courant de court circuit ferment le contact C1 si le défaut est sur la barre 1 et le contact C2 si le défaut est sur la barre 2.

Cette opération intermédiaire permet de sélectionner la barre en défaut et de déclencher tous les départs aiguillés sur celle-ci ainsi que le disjoncteur de couplage. La sélection des disjoncteurs est faite à travers les interloques des sectionneurs SB1 et SB2.

Dans le cas d'une exploitation avec un seul jeu de barre (disjoncteur de couplage ouvert) l'opération "sélection de la barre en défaut" est supprimée par le verrouillage du relais directionnel à l'aide des interloques (C) du disjoncteur de couplage.

Remarque :

Mode de couplage des relais directionnels du circuit tension



M étant le moment induit dans le relais directionnel.

Nous avons couplé de cette façon les relais pour ne pas avoir une tension nulle aux bornes des relais quelque soit le type de défauts et quelque soit la barre.

d) réglage :

- réglage des relais différentielles :

- côté 225 Kv sur la ligne L1 : $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} U_n \cdot 5} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 5 \times 225} = 3,08 \text{ KA}$

au secondaire du TC on aura $I_2 = \frac{3,08 \times 5}{3,5} = 3,85 \text{ A}$

- côté 225 Kv sur la ligne L2 : $I_n = \frac{S_{cc}/5}{\sqrt{3} U_n} = \frac{8000}{\sqrt{3} \times 225 \times 5} = 4,10 \text{ KA}$

au secondaire du TC on aura $I'_2 = \frac{4,10 \times 5}{4,5} = 4,56 \text{ A}$

- côté 225 Kv au niveau des groupes : $I_n = \frac{60}{\sqrt{3} \times 225} = 0,154 \text{ KA}$

on aura au secondaire du TC $I''_2 = \frac{154 \times 5}{200} = 3,85 \text{ A}$

Nous choisissons donc un auto-transformateur de rapport

$$K = \frac{I'_2 + I''_2}{3I_2} = \frac{3,85 + 4,56}{3 \times 3,85} = 0,73$$

$$I_{\text{reglage}} \geq 5\% \cdot I_n = \frac{5 \times 11,55}{100} = 0,58 \text{ A}$$

on prend $I_{\text{reglage}} = 0,60 \text{ A}$

- Reglage des relais directionnels :

La puissance de réglage doit être supérieure à la puissance absorbée par le relais directionnel.

courant nominal circulant dans le disjoncteur de couplage fermé est de $3 \times 0,154$ KA

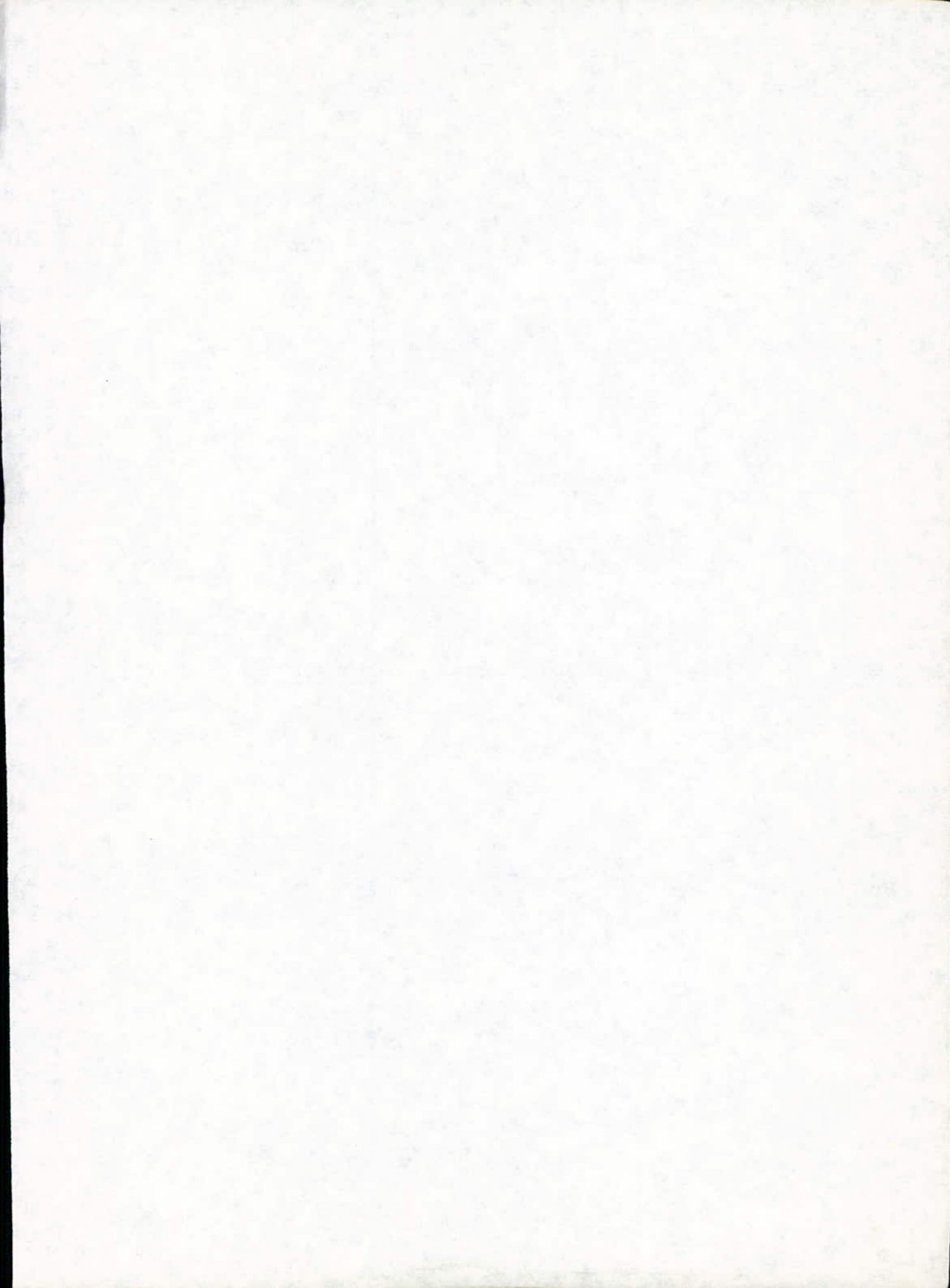
au secondaire du TC on aura un courant $I_2 = \frac{3 \times 0,154 \times 5}{7,500} = 0,31$ A

Puissance nominale circulant dans le relais

$$S = 3 UI_2 = \sqrt{3} \times 100 \sqrt{3} \times 0,31 = 93 \text{ VA}$$

On peut régler le relais directionnel à une puissance égale à :

$$P = 95 \text{ W.}$$



G - Mesurea) Généralités sur les appareilsDéfinition d'un appareil de mesure

Généralement une grandeur physique à mesurer n'est pas directement accessible à nos sens, seuls ses effets sont susceptibles de l'être.

Un appareil de mesure est un système qui traduit un phénomène physique non ou difficilement accessible à nos sens en un autre phénomène pouvant être visualisé et estimé.

b) Choix des appareils de mesure :

Le choix des appareils de mesure est basé sur :

- simplicité
- Robustesse
- Prix de revient
- Classe
- Consommation

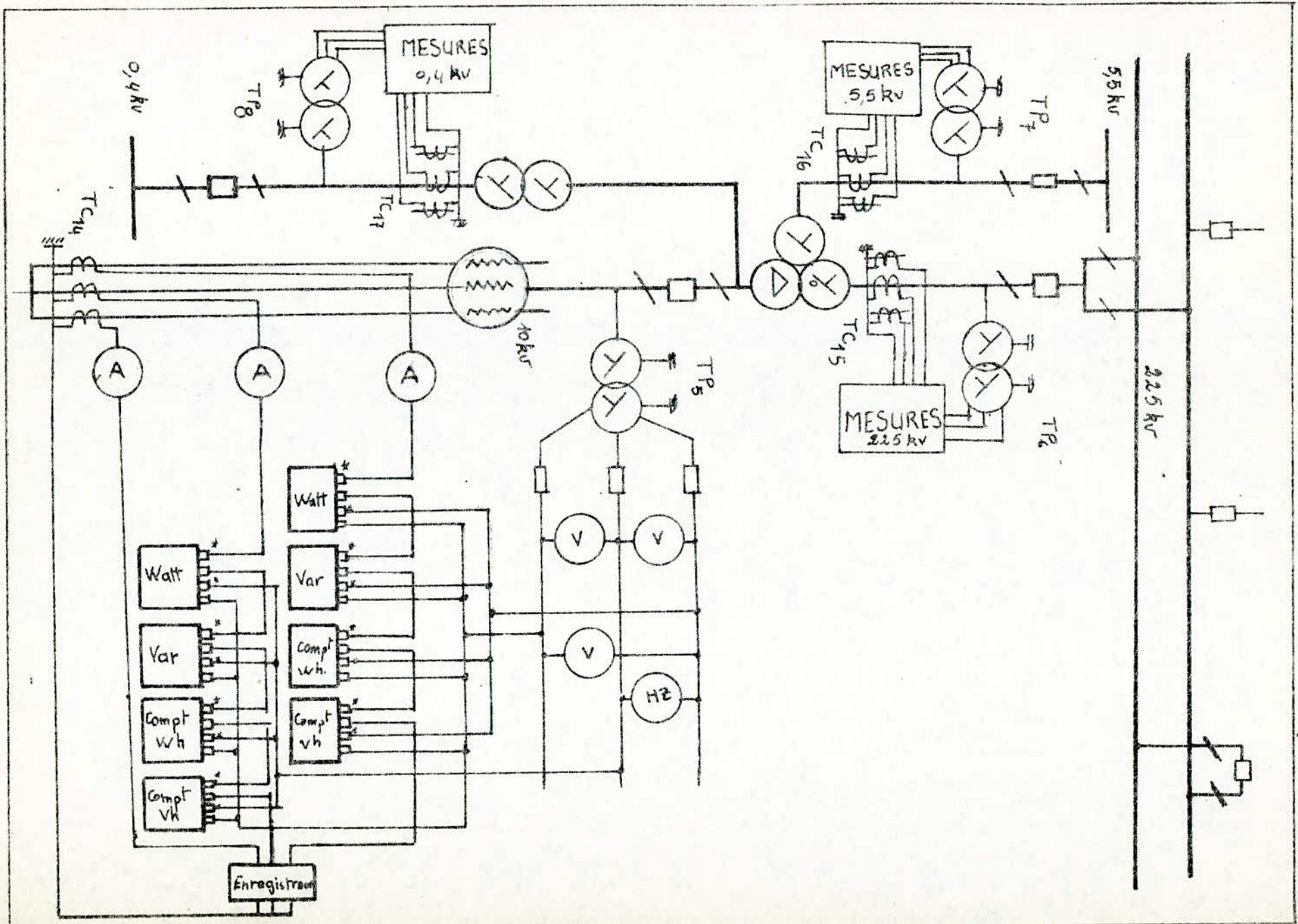
Il existe des appareils dont l'angle entre le début et la fin de la graduation forme 90° ou 250° .

Il est évident que lorsqu'on fait des lectures dans le début de l'échelle l'erreur relative devient très grande. Pour éviter cela, on choisit des calibres de façon que toutes les lectures puissent être faites dans les deux derniers tiers de l'échelle.

L'ensemble des appareils de mesure sont alimentés par des TC et TP qui ne diffère de ceux de la protection que par leur classe de précision. On utilise des transformateurs de mesure de classe 0,5 et ils doivent avoir une puissance nominale supérieure à celle des appareils qu'ils alimentent .

Soit $S = 10 \text{ VA}$ pour les TC

$S = 50 \text{ VA}$ pour les TP.



C O N C L U S I O N

La conception d'un poste est un domaine très vaste . Chaque partie de notre étude peut faire l'objet d'une thèse de fin d'étude.

A notre époque, ou tant d'activités techniques, économiques, domestiques, ect... utilisent l'énergie électrique, La fiabilité de fonctionnement des équipements est un impératif absolu, mais les vraies valeurs des paramètres de fiabilité ne sont jamais connues avec exactitude mais peuvent être estimées à partir d'observations expérimentales.

Une autre exigence en cette période de marasme est l'économie. Choisir les meilleurs équipements au moindre coût est surtout une affaire d'expérience. Notre analyse de coût ne se veut pas exhaustive. En effet, bien que ne disposant des prix d'éléments, tels que sectionneur, disjoncteurs, transformateurs nous ignorons les prix des autres éléments tels que alternateurs, cables etc...

Le choix de l'équipement tels disjoncteurs, sectionneurs ect a été fait de manière assez rigoureuse en fonction des courants les plus sévères, mais le type n'a pas été adapté faute de catalogues

La limitation des courants de court circuit peut être assurée d'une part par l'emploi d'alternateurs et de transformateurs, possédant systématiquement une réactance propre de dispersion suffisamment élevée, et d'autre part par l'installation des bobines

de self induction en des points du réseau judicieusement choisis.

Pour ce qui est des protections , elles n'ont pas été toutes étudiées . Elles sont nombreuses et variées, mais nous pensons que les plus importantes ont été adaptées.

Le projet étant un projet futur, l'emplacement exact de la centrale n'a pas été déterminé. La résistance du sol est inconnue.

L'étude et le calcul de la mise à la terre ont pu être traitées.

En raison des différents problèmes rencontrés durant cette étude, il est à signaler que des travaux de recherche restent encore à faire.

-----O-----O-----O-----

- TABLE DES MATIERES -

CHAPITRE I	pages
A - CRITERES	1-1
a) Sécurité générale d'exploitation	1-1
b) Souplesse d'exploitation	1-1
c) Simplicité du schéma	1-1
d) possibilité de modifier les installations existantes	1-2
e) fiabilité	1-2
f) économie	1-2
B - CHOIX DU SCHEMA DU POSTE	1-2
a) comparaison des trois variantes	1-3
b) étude de la fiabilité	1-3
c) étude économique	1-12
CHAPITRE II	
A - INTRODUCTION	2-1
B - COURANTS DE COURTS CIRCUITS	2-1
a) généralités	2-1
b) étude du court circuit triphasé	2-2
c) étude du court circuit par la méthode des composantes symétriques	2-3
d) éléments de base de calcul	2-4
C - COURANT DE CHOS	2-7
a) généralités	2-7
b) défaut éloigné	2-8
c) défaut près des sources (générateurs)	2-8
d) défaut près des moteurs	2-8
D - COMPOSANTE PERIODIQUE ET APERIODIQUE	2-9
a) composante périodique	2-9
b) " apériodique	2-9

E - IMPULSION THERMIQUE	2-10
a) généralités	2-10
b) défaut éloigné	2-10
c) " aux bornes des alternateurs	2-10
d) " près des alternateurs	2-11
 APPLICATIONS	 2-12
A - Calcul d'impédances	2-12
a) impédance des alternateurs	2-12
b) impédance	2-13
c) impédance des lignes	2-14
d) impédance des réseaux interconnectés	2-15
e) schéma de principe en réactance du poste	2-16
 B - CALCUL DE COURANT DE C.C	 2-21
a) courant de c.c au point K1	2-21
b) " " " K2	2-23
c) " " " K3	2-25
d) " " " K4	2-26
 C - CALCUL DE COURANT DE CHOC	 2-27
a) schéma de principe équivalent en résistance	2-27
b) courant de choc pour K1	2-27
c) " " K2	2-28
d) " " K3	2-30
e) " " K4	2-31
 D - CALCUL DES COMPOSANTES APERIODIQUES	 2-31
a) pour le point K1	2-31
b) " " K2	2-31
c) " " K3	2-32
d) " " K4	2-32
e) tableau récapitulatif	2-32
 E - CALCUL DE L'IMPULSION THERMIQUE	 2-33
a) pour le point K1	2-33
b) " " K2	2-33
c) " " K3	2-33
d) " " K4	2-33
e) tableau récapitulatif	2-34

F - CHOIX DES DISJONCTEURS ET DES SECTIONNEURS	2-35
a) généralités	2-35
b) schéma unifilaire d'emplacement des disjoncteurs	2-36
c) choix des disjoncteurs	2-38

E - CHOIX DES DISJONCTEURS	2-38
a) dimensionnement des barres	2-38
b) dimensionnement des câbles	2-44
c) choix des isolateurs	2-46

CHAPITRE III

A - INTRODUCTION	3-1
B - DIFFERENTS TYPES DE RELAIS UTILISES	3-1
a) relais à maximum de courant	3-1
b) relais de tension	3-2
c) relais de temps	3-2
d) relais différentiel	3-3
e) relais BULCHOLTZ	3-3
f) relais directionnel de puissance	3-3
g) transformateur saturable	3-5
C - CHOIX DES TC ET DES TP	3-5
a) introduction	3-5
b) choix des TC	3-5
c) choix des TP	3-7
d) schéma d'emplacement des TC et des TP	3-7
D - PROTECTION DES ALTERNATEURS	3-9
a) protection maximum de courant avec démarrage par minimum de tension	3-9
b) protection différentiel	3-14
c) protection masse rotor	3-16
d) protection masse tator	3-19
E - PROTECTION DES TRANSFORMATEURS	3-24
a) protection des transformateurs à 3 enroulements	3-24
b) protection des transformateurs à 2 enroulements	3-34

F - PROTECTION DES BARRES 225 KV	3-38
a) but	3-38
b) composition	3-38
c) fonctionnement	3-39
d) réglage	3-40
G - MESURE	3-44
a) généralités pour les appareils	3-44
b) choix des appareils de mesure	3-44
Caractéristiques des appareils choisis	3-45

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

- B I B L I O G R A P H I E -

- 1/ Etude de la fiabilité des systèmes énergétiques
(direction de la planification N° 79 - 184/GE
Sonelgaz Mai 79.
- 2/ Installation électrique à haute et basse tension
Mauduit tome I, II, III.
- 3/ Catalogue de la cablerie électrique de la Sonelec
- 4/ Catalogue des relais et appareils de mesure : Schlumberger
- 5/ Revue BROWN BOVERI, tome 65 - Septembre 1978
- 6/ C.E.M : cie Electro ménanique
catalogue général 1974
- 7/ Cirrus 221 de Mr KIATOSKI.