

UNIVERSITE D'ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT ELECTRICITE

1/73

1-02



# PROJET DE FIN D'ETUDES

## REGLAGE DES PROTECTIONS

par Relais Statiques Temporisés à maximum de courant

( Centrale Alger Port 2 )



Proposé par **M. M. PREDA**

Etudié par: **ABDESLEM AMARA**

PROMOTION 1968 - 1973

U N I V E R S I T E      D ' A L G E R

E C O L E N A T I O N A L E P O L Y T E C H N I Q U E

D E P A R T E M E N T E L E C T R I C I T E

PROJET DE FIN D'ETUDES

R E G L A G E

D E S

P R O T E C T I O N S

par

relais statiques temporisés

à

maximum de courant

( centrale Alger port 2 )

Proposé par :

étudié par :

M. P R E D A  
////////////////////

ABDESLIM AMARA  
-PROMOTION 1973-

ERRATUM

References	au lieu de	à corriger en :
page 13 ligne 5	$I_{cca} = E / X_e$	$I_{cca} = I_m / n(t)$
page 18 ligne 3	-	$X_c - X_L \frac{S_m}{S_L}$
page 30 ligne 20	production réalisable	donc $I_{cc} = \underline{655A}$
page 34 ligne 15	$I_{cc} = 2710$	$I_{cc} = 2710$
page 44 ligne 3	$\frac{1}{T_2} \sin \omega t$	$\frac{1}{T_2 \omega} \sin \omega t$
ligne 7	$\bar{\delta} = \frac{1}{T_2} 100\%$	$\bar{\delta} = \frac{1}{T_2 \omega} 100\%$
ligne 1	très faibles	valeurs très faibles
page 46 et 49 ligne 12	2, 2 i	1, 1 i
page 54 ligne 22	200, 0,15 fois	0, 15 fois

-R E M E R C I E M E N T S-  
\*\*\*\*\*

Je suis redevable :

\*A Monsieur P R E D A pour ses en-  
couragements et ses commentaires précieux  
\*ainsi qu'au personnel de la centrale pour  
leur analyse précise et approfondie des  
questions faisant l'objet de ce projet.

Je remercie également tous mes professeurs et mes  
collègues qui ont contribué à ma formation ,et en  
particulier ceux qui ont discuté certains points  
importants de cette étude.

A B D E S L E M  
A M A R A

II N T R O D U C T I O N  
-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

La presente etude consiste à de-  
terminer <sup>un</sup> niveau de réglage ampèremétrique pour  
une protection à maximum de courant temporisé  
applicable aux protections des barres auxiliaires  
à la centrale d'Alger port 2.

ce réglage est conçu pour convenir à un type de  
relais statiques mentionnés ultérieurement .

A cette fin on choisit un niveau de temporisation  
et :

et

-on calcule les courants de court-circuit

-on détermine les courants d'appel

et

ON EFFECTUE LE REGLAGE DES RELAIS

dans l'intervalle:

[  $I_{cc}$  ,  $I_{appel}$  ]

abdeslem amara ./.

## TABLE DE MATIERE

### CHAPITRE I :

---Presentation de la centrale	4
---Generalités sur les protections	6

### CHAPITRE II :

---Ebauche de calcul	9
.Ière methode de calcul de $I_{cc}$	10
.IIème methode de calcul de $I_{cc}$	17
.comparaison des deux methodes	19
.etablissement de la table de calcul	21
.calcul de $I_{cc}$ au moyen de la table	26
.determination des $I_{appel}$	35
---Chix des TI pour protection	41
---Reglage des relais	49
---Conclusions	50

### CHAPITRE III :

---Introduction au relais de distance	
t r a n s i s t o r i s é	51

C H A P I T R E I

- PRESENTATION DE LA CENTRALE D'A -

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

La centrale d'Alger port II contribue à l'alimentation du réseau par un groupe de 2 turbo-alternateurs, chacun ayant pour caractéristiques nominales :

$S_n = 75\text{MVA}$     $U_n = 10,3\text{kV}$     $I_n = 4210$     $\cos\phi_i = 0,8$

une proportion de cette énergie alimente également les services auxiliaires. Le transit d'énergie à ces services se fait à partir :

- Transformateur de soutirage                      TAt
- Transformateur auxiliaire                              TAd2
- Transformateur auxiliaire                              TAd1

dont les secondaires sont couplés sur un jeu de barres 5,5kV

Les protections adoptées sont d'un type très classique et elles sont conçues pour intervenir contre tous les types de défaut avec un certain degré de sélectivité jugé satisfaisant, et qu'on cherche toujours à rendre plus efficace afin :

- \* d'augmenter la sécurité
- \* de réussir une exploitation correcte.

#### Exemples de Protection

##### A) Protection d'alternateur :

- stator :
  - ✗ - contre le déséquilibre
  - ✗ - contre les surcharges
  - masse stator
  - différentielle
  - ✗ - max. et min. de tension
  - max. de courant (instantanée et temporisée)

Rotor : - masse rotor

-  $T_p$  rotor (  $T_p$ . max =  $110^{\circ}\text{C}$  )

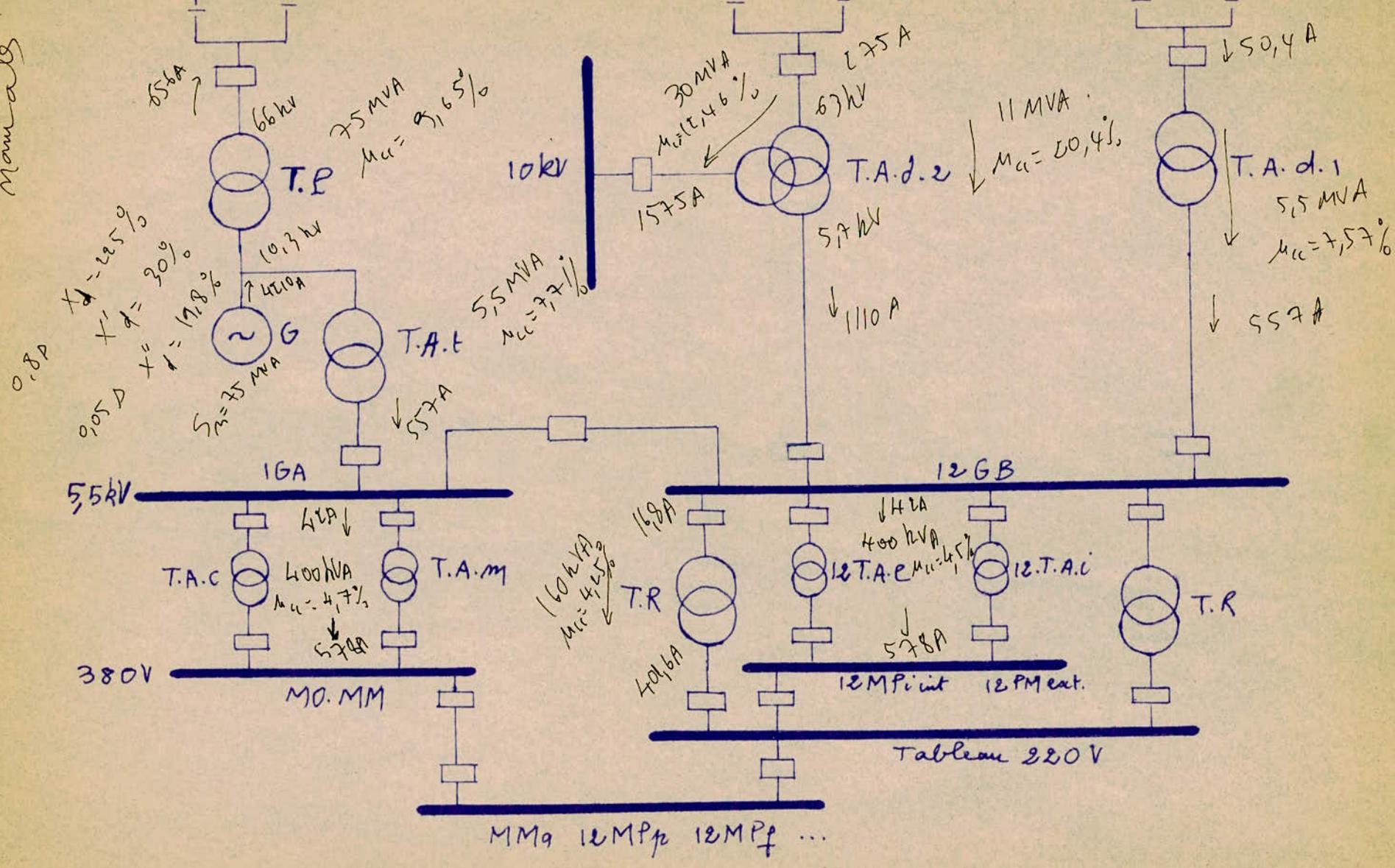
B) Protection de transformateur :

- buchholz (contre les défauts internes)
- rupture de fusible
- baisse de tension (1er stade 3850V en 4s  
2ème stade 3850V en 5s)
- hausse de tension (7150V en 6s)
- max de I (instantanée et temporisée )

Le fonctionnement de ces protection se fait au plus en 3 stades. Si le déclenchement n'a pas eu lieu dans le 1er stade un système de signalisation ( sonore et lumineuse ) est sollicité , ainsi qu'une inscription sur un oscillo. pertubographe permettant de déterminer les coordonnées de la protection en question. Si à la fin du troixième stade la protection n'a pas fonctionné il peut y avoir un déclenchement partiel des ensembles affectés.

Caractéristiques  
Nominales

Barres 60 kV



Généralités sur le fonctionnement  
des protections.

SECURITE , SELECTIVITE , RAPIDITE sont les premiers critères importants d'une protection idéale.

Sécurité : Il faut prévoir dans la chaîne des protections en un point du réseau un ordre d'intervention.

Exemple : un tronçon protégé par 3 systèmes de protections en parallèles P1 , P2 , P3 temporisées T1 , T2 , T3.

suite à un défaut P1 , P2 , P3 démarrent ensemble

P1 intervient en 1er lieu

et si le défaut n'est pas éliminé

P2 intervient en 2ème lieu

et si le défaut n'est pas éliminé

P3 intervient en 3ème lieu

et si le défaut n'est pas éliminé

les protections en amont du tronçon protégé interviennent pour mettre hors service le tronçon considéré.

Sélectivité : Une exploitation optimale du réseau ne suppose pas la mise hors service d'un ensemble non affecté par le défaut, chose qui peut se produire si la sélectivité n'est pas assurée.

Rapidité : Avec l'augmentation de puissance dans l'avenir ( donc celle des puissances de court circuit ) il devient indispensable de supprimer le plus rapide possible un état de C.C car son maintien porte atteinte à :

- \* la stabilité du réseau
- \* la durée de vie du matériel
- \* des dégats importants

A la centrale d'Alger port II on a adopté comme protections :

P1 maximum de courant instantanée

P2 maximum de courant temporisée 2 à 10s !

P3 n'existe pas.

Il est évident que la protection P2 présente un niveau de temporisation très élevé (10,5s) . Elle ne peut assumer le rôle d'une protection de 2<sup>ème</sup> intervention.

La présente étude consiste à réduire le rôle de P2 au rôle de P3 (sus-évoquées) et par conséquent INSTALLER une protection temporisée intermédiaire basé sur le critère maximum de courant et temporisée à un niveau très inférieur .

A cette fin :

- on choisit un niveau de temporisation
- on calcule les courants de C.C pour protection
- on détermine les courants d'appel

et

ON EFFECTUE LE REGLAGE DES RELAIS

dans l'intervalle

[  $I_{cc}$  ,  $I_{appel}$  ]

C H A P I T R E      I I

- EBAUCHE DE CALCUL DE COURANT DE C-C -  
-o-

~~SECRET~~

PREMIERE METHODE DE CALCUL DES  
COURANTS DE COURT - CIRCUITS.

A l'instant de l'apparition du court circuit, la réactance de la source évolue en fonction du temps suivant  $X(t)$ .

Soit  $T_c$  l'instant de coupure. On détermine la valeur de la réactance de la source à l'instant  $T_c$  soit  $X(T_c)$ . Puis on effectue le calcul du courant de C.C. en négligent la partie résistive des éléments d'impédance.

1.) Loi d'évolution  $X(t)$  :

Les caractéristiques de la source sont  $X'g = 19,8 \%$

constante de temps = 0,05s

$X'd = 30\%$

constante de temps = 0,80s

$X_d = 225 \%$

en régime permanent.

Appliquons la loi des variations transitoires pour la réactance transitoire  $X_d(t)$  (( On néglige la réactance sub-transitoire car sa constante de temps est faible 0,05s))

$$f(t) = f(0) + ((f(\infty) - f(0))) (1 - e^{-t/T})$$

on aura alors :

$$X(t) = X'd + (X_d - X'd) (1 - e^{-t/T})$$

$$X(t) = 0,30 + 1,95 (1 - e^{-t/0,80})$$

soit par exemple :

$$X(0,40) = 106 \% \quad X(0,50) = 120 \%$$

2) Expressions du courant de C.C :

Cas d'une ligne :

$$Z = \frac{V_n}{I_{cc}} \quad \text{d'où} \quad \frac{V_n}{Z} = I_{cc} \quad Z I_n = \frac{x \%}{100} V_n \quad \text{d'où} \quad \frac{V_n}{Z} = I_n \frac{100}{x \%}$$

donc

$$I_{cc} = I_n \frac{100}{x \%}$$

Cas d'un transformateur

$$\frac{U_{cc}}{1,732} = Z I_{cc} \quad \text{d'où} \quad \frac{U_{cc}}{1,732} \frac{1}{Z} = I_{cc}$$

$$\frac{U_{cc}}{1,732} \frac{ucc \%}{100} = Z I_n \quad \text{d'où} \quad \frac{U_{cc}}{1,732} \frac{1}{Z} = I_n \frac{100}{ucc \%}$$

donc

$$I_{cc} = I_n \frac{100}{ucc \%}$$

Rappelons la formule  $Z = x V_n / I_n = x (3 V_n^2 / 3 V_n I_n)$

donc  $Z = x \% / 100 ( U_n^2 / S_n )$

qui servira par la suite dans la transposition des formules.

3) Calcul  $X_e$  (equivalente) ramenée au stator

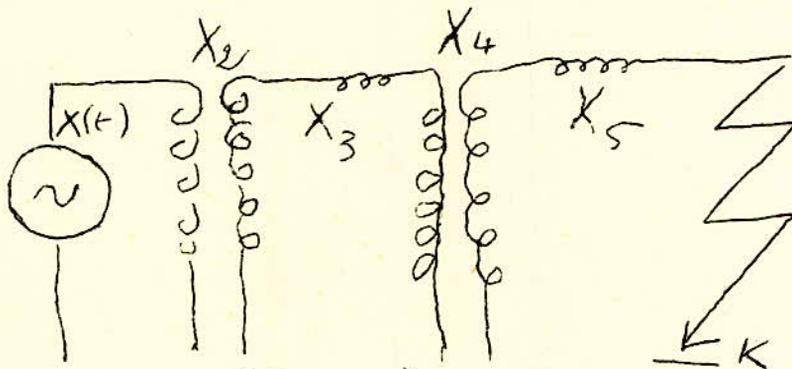
Cas général (Fig: 4)

$$X_e = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \dots$$

(La notation prime veut dire : ramenée au stator )

où l'indice pair correspond à la reactance de transformateur et l'indice impair (3, 5, 7, ...) correspond à la reactance de la ligne ou du câble .

Un calcul numerique permet de constater qu'on peut negliger les  $X_{impaires}$  et le courant de C.C n'est alors limité que par les reactances des transformateurs et de celle de l'alternateur.



(Fig. 4)

ce schema est general et revient pour chaque cas de calcul

où

$$X_1 = \frac{x_1 d \%}{100} \frac{U_1^2}{S_1} \quad X_2 = \frac{ucc_2 \%}{100} \left(\frac{U_2^2}{S_2}\right) \left(\frac{U_1^2}{U_2}\right)$$

$$X_3 = \frac{x_3 \%}{100} \frac{U_2^2}{S_3} \left(\frac{U_1^2}{U_2}\right) \quad X_4 = \frac{ucc_4 \%}{100} \left(\frac{U_3^2}{S_4}\right) \left(\frac{U_1^2}{U_3}\right) \quad \text{etc...}$$

$$X_e = \frac{U_1^2}{100S_1} \left( x_1 d \% + ucc_2 \% \frac{S_1}{S_2} + x_3 \% \frac{S_1}{S_3} + ucc_4 \% \frac{S_1}{S_4} \dots \right)$$

soit donc  $X_e = U_1^2 / 100S_1 (x(t))$  et  $I_{ccs} = \frac{U_1}{U_k} I_m / x(t)$

le courant de C.C. dans la branche k est  $I_{ck} = I_{ccs} U_1 / U_k$

tel est l'apport dans cette branche du court circuit.

pour trouver le courant réel il faut ajouter à cette valeur

la part due au reste de la charge. Donc

$I_{cc} \text{ réel} = I_n + I_{ck} - I_{nk}$  courant dans la branche de courant

nominal  $I_n$  pendant le C.C. dans la branche k

où  $I_{cc} \text{ réel}$ ,  $I_n$ ,  $I_{ck}$ ,  $I_{nk}$  sont ramenés à la même tension de la branche de courant nominal  $I_n$ .

Calcul de courant C.C. sur les jeux de barres 5,7 kV, 380 V, 220 V, 60 kV.

Jeux de barres 5,7 kV : 1GA, 2GC, 12GB

Jeux de barres 380 V : 1MO, 1MM, 12MPi intérieur

2MO, 2MM, 12MPi extérieur

Jeux de barres 220 V : tableau 220 V.

Jeux de barres 60 kV : ...

a) - Calcul de courant de C.C. sur 1GA ou 2GC

La temporisation du déclenchement de l'arrivée du TA t 0,4s

(Fig. 5)

$$I_{ccs} = I_n \frac{100}{x(t)\%} \quad I_n = \frac{75 \text{ MVA}}{1,732 \cdot 10,3 \cdot 1000} = 4210 \text{ A}$$

$I_{ccs} = 4210 / ( 1,06 + 0,0771 \cdot 75/5,5 )$  ou 1,06 est la réactance de la source à l'instant 0,4 seconde.

$I_{ccs} = 1990 \text{ A}$  ramenée du côté 5,7 kV:  $I_{ccp} = 1990 \cdot 10,3/5,7$

$$I_{ccp} = 3600 \text{ A}$$

b) - Calcul de courant de C.C. sur MO MM (Fig. 6)

$$I_{ccs} = 4210 / ( 1,20 + 0,0771 \cdot 75/5,5 + 0,047 \cdot 75/0,4 )$$

$$I_{ccs} = 380 \text{ A} \quad I_{ccp} = 687 \text{ A (ramenée côté 5,7 kV)}$$

c) - Calcul de courant de C.C. sur 12GB alimenté par le TA d1

$$(Fig. 7) \quad I_{ccs} = 4210 / ( 1,06 + 0,0965 \cdot 75/75 + 0,0757 \cdot 75/5,5 )$$

$$I_{ccs} = 1920 \text{ A et } I_{ccp} = 3480 \text{ A}$$

d) - Calcul de courant de C.C. sur 12GB alimenté par TA d2

$$(Fig. 8) \quad I_{ccp} = 4210 / ( 1,06 + 0,0965 \cdot 75/75 + 0,204 \cdot 75/11 )$$

$$I_{ccs} = 1660 \text{ A et } I_{ccp} = 3000 \text{ A}$$

( C'est le cas le plus défavorable entre les cas c et d )

du côté 11 kV on a  $1660 \cdot 10,3/11 = 1550 \text{ A}$ .

e) - Calcul de courant C.C pour 12MPi (alimentation TAd2)

$$\text{(Fig.9) } I_{ccs} = 4210 / \left( 1,20 + 0,0965 + 0,204 \frac{75}{11} + \frac{0,045}{1} \right)$$

multiplié par  $75/0,4$  )

$$I_{ccs} = 374 \text{ A et } I_{ccp} = 675 \text{ A}$$

remarquons la légère différence par rapport au cas b.

f) - Calcul de courant C.C. sur les jeux de barres 220 V

(alimentation par le TA d2 ) (Fig.11)

$$I_{ccs} = 4210 / \left( 0,30 + 0,0965 + 0,204 \frac{75}{11} + 0,0425 \frac{75}{0,16} \right)$$

temporisation 0 seconde: donc réactance source égale 30 %.

$$I_{ccs} = 194 \text{ A et } I_{ccp} = 350 \text{ A}$$

g) - Calcul de courant C.C sur jeux de barres 10 kV :

$$\text{(Fig. 10) } I_{ccs} = 4210 / \left( 1,20 + 0,0965 + 0,1246 \frac{75}{30} \right)$$

$$I_{ccs} = 2620 \text{ A et côté 11 kV on a : } 2450 \text{ A.}$$

$$\text{(} I_{ccp} = 429 \text{ A )}$$

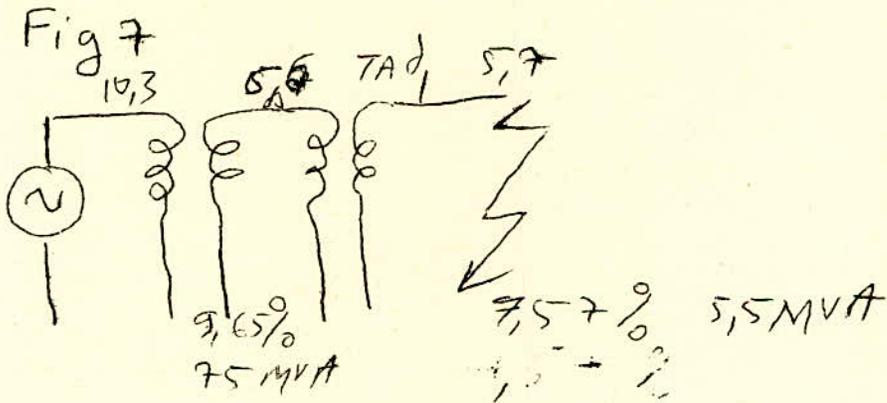
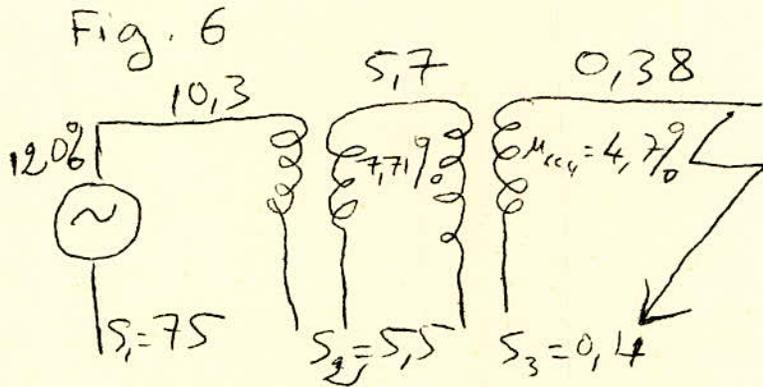
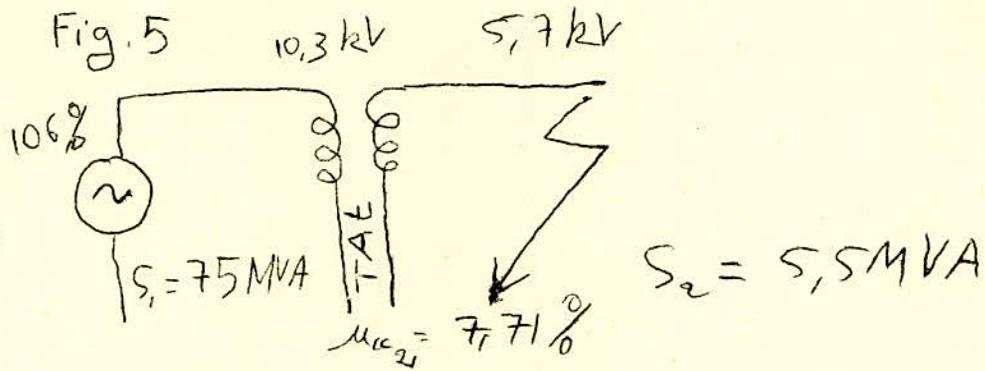
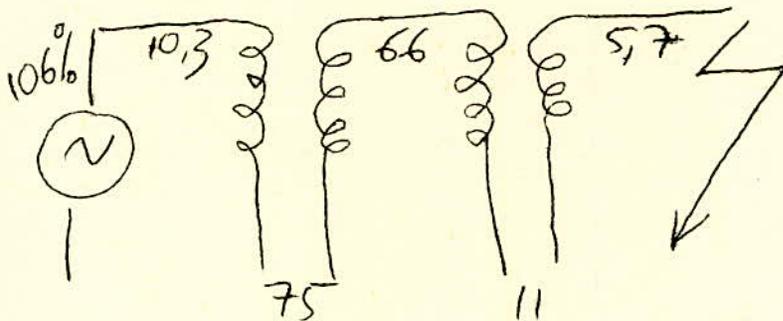


Fig. 8



etc pour les figures 9, 10, 11.

II<sup>ème</sup> METHODE DE CALCUL DE COURANT DE C.C.

Générateur :

$$X_{bg} = X_{ng} \frac{S_b}{S_{ng}} \quad X_{bg} = 0,198 \cdot 10/75 \quad \text{d'où} \quad X_{bg} = 0,0264$$

T.P. :

$$X_{btp} = X_{ntp} \frac{S_b}{S_{ntp}} \quad \text{d'où} \quad X_{btp} = 9,65/100 \cdot 10/75 \quad \text{d'où} \\ X_{btp} = 0,01287$$

TAt :

$$X_{btat} = 7,71/100 \cdot 10/5,5 \quad \text{d'où} \quad X_{btat} = 0,1420$$

TAd2 :

$$\text{Côté } 5,7 \text{ vK} \quad X_{btad2} = 20,4/100 \cdot 10/11 \quad X_{btad2} = 0,1855$$

$$\text{Côté } 10 \text{ kV} \quad X_{btad2} = 12,46/100 \cdot 10/30 \quad X_{btad2} = 0,0415$$

TAd1 :

$$X_{btad1} = 7,57/100 \cdot 10/5,5 \quad X_{btad1} = 0,1378$$

Tr.380/220 :

$$X_{btr} = 4,25/100 \cdot 10/0,16 \quad X_{btr} = 2,640$$

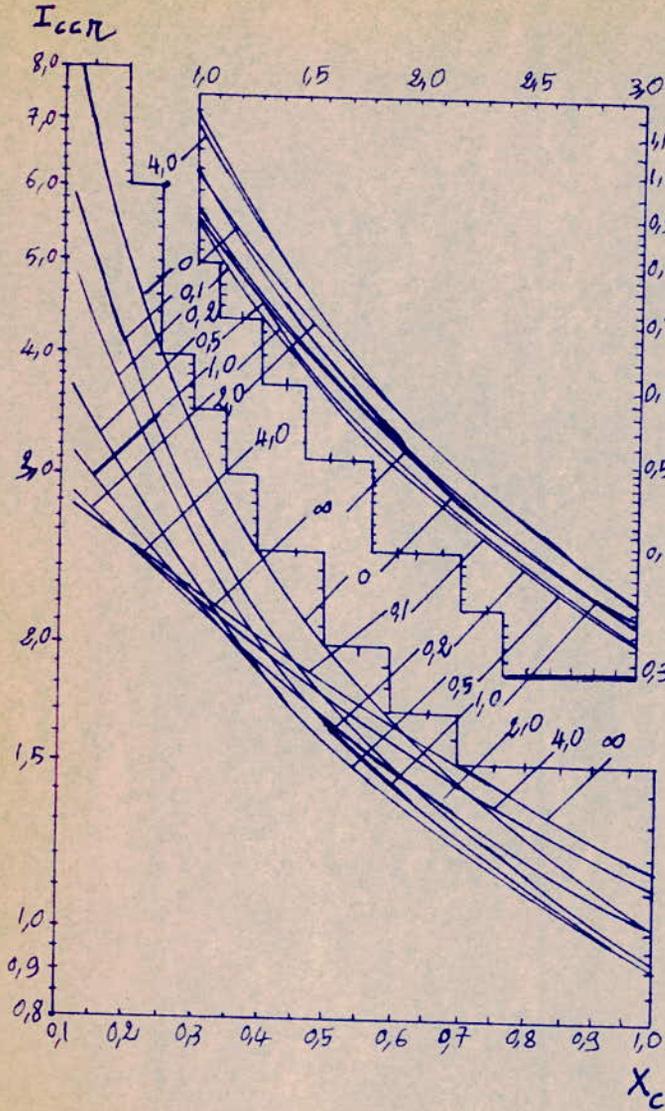
TAe, TAi :

$$X_{btaei} = 4,5/100 \cdot 10/0,4 \quad \text{d'où} \quad X_{btaei} = 1,1240$$

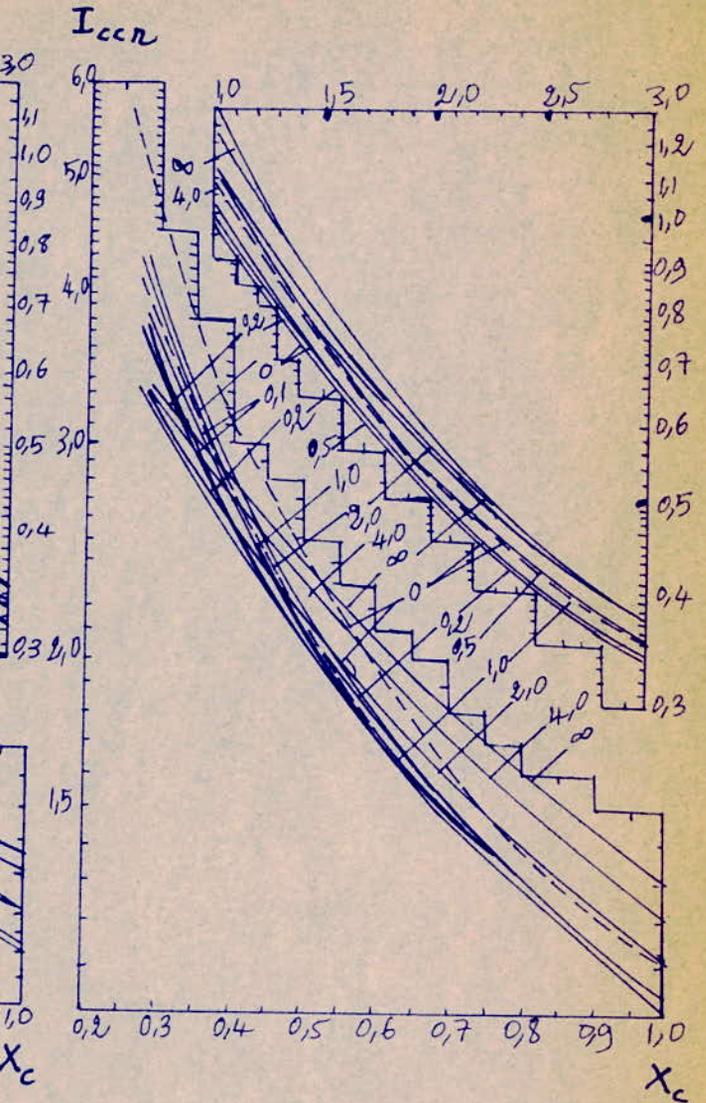
TAc, TAm :

$$X_{btacm} = 4,7/100 \cdot 10/0,4 = 1,1750 \quad X_{btacm} = 1,1750$$

- ABAQUES -



- pour turbo-generateur -



- pour hydro-generateur -

Expressions de  $I_{cc}$  données par

LES ABAQUES.

- a) Calcul de courant de C.C. sur 1GA ou 2GC

(Fig. 1)

$$X_c = 1,263$$

$$X_c = X_b \frac{S_m}{S_b}$$

La lecture des abaques donne :  $I_{ccr} = 0,72$

$$\text{d'où } I_{ccp} = 4210 (10,3/5,7)(0,72) = 5470$$

- b) Calcul de courant de C.C. sur MO MM :

(Fig. 2)

$$X_c = 10,1$$

La lecture des abaques donne : valeur à extrapoler?

- c) Calcul de courant de C.C. sur 12GB (Via TAd1 )

(Fig. 3)

$$X_c = 1,325$$

La lecture des abaques donne :  $I_{ccr} = 0,68$

$$\text{d'où } I_{ccp} = 5180$$

- d) Calcul de courant de C.C. sur 12GB (Via TAd2 )

(Fig. 4)

$$X_c = 1,686$$

La lecture des abaques donne :  $I_{ccr} = 0,55$

$$\text{d'où } I_{ccp} = 4180$$

- e) Calcul de courant de C.C. sur 12MPi (Via TAd2)

(Fig. 5)

$$X_c = 8,50$$

La lecture des abaques donne : valeur à extrapoler.

- f) Calcul de courant de C.C. sur tableau 220V (Via TAd2)

(Fig. 6)

$$X_c = 21,4$$

La lecture des abaques donne : valeur à extrapoler.

g) Calcul de courant de C.C. sur tableau 10kV (Via TAd2)

(Fig.7)

$$X_c = 0,605$$

La lecture des abaques donne :  $I_{ccr} = 1,38$

$$\text{d'où } I_{cc}(10kV) = 5450$$

### COMPARAISON DES RESULTATS

obtenus par les 2 méthodes

1er Methode	2éme methode
350	valeur à extrapoler
675	valeur à extrapoler
687	valeur à extrapoler
2850	4180
3480	5180
3600	5470
2450	5450

Cette différence est due au fait que les deux machines ( de la centrale d'Alger port 2 ; et la machine qui a servi pour établir les abaques ) ont<sup>des</sup> caractéristiques nominales différentes : il faut donc adopter un coefficient de sécurité  $K_n$  (n machine ). Et pour avoir utilisé des valeurs minimales  $K_c$  (c correction ).

Pratiquement le choix de  $K_n$  est adequat, on prend  $K_n = 1,2$   
et  $K_c = 0,80$

Le coefficient de sécurité totale  $K_t = 1,2/0,80 = 1,5$

On obtient respectivement : \*\*\* (valeurs à extrapoler ) et

2800 3460 3640 3630

INTERPRETATION :

Les abaques utilisées ne permettent pas de calculer les courants de court-circuit minimums nécessaires pour le réglage des protections . Elles ne permettent pas de déterminer les courants de C.C de faible valeur ( nécessité d'extrapoler donc imprecisions )

Comme la première méthode qui à servi de référence constitue une application correcte , précise ( en négligent la composante subtransitoire ) proposons - nous d'établir des

T A B L E S   D E   C A L C U L   D E   C . C . C .

\*\*\*\*\*

relatives au générateur de la centrale d'Alger port II  
et par conséquent utilisables sur tout tronçon du réseau alimenté par ce générateur.

ETABLISSEMENT DE TABLE DE CALCUL

DE COURANT DE C.C.

Généralités :

Soit un court-circuit en un point K du réseau supposé alimenté uniquement par le générateur de la centrale d'Alger port II (C'est le cas le plus défavorable car on y considère un seul générateur - le moins puissant - débitant sur le court circuit par l'intermédiaire de réactances de somme maximale ) il existe à travers ce réseau plusieurs chemins pour acheminer le courant depuis le générateur jusqu'à K. Tous ces chemins présentent des réactances différentes.

Le courant de C.C. minimum correspond à celui calculé sur le chemin de la plus grande réactance. On sait déterminer ce chemin quelque soit la configuration du réseau et ceci par la méthode de FORD-FULKERSON ( voir Théorie des graphes ).

Soit  $X_k$  la réactance de ce chemin ramenée au stator du générateur ( II chapitre, 3 ) et  $X(t)$  celle du générateur.

$$X_k = \sum_{1}^{kcc} ( u_{cc2k} \frac{S_{ng}}{S_{2k}} + x_{2k+1} \frac{S_{ng}}{S_{2k+1}} ) \text{ où } 2k, 2k+1 \text{ sont des indices.}$$

$$X(t) = 0,30 + 1,95 ( 1 - e^{-t/0,8} )$$

Désignons par  $I_{ccs}$  le courant de C.C. ramenée au stator de  $I_{ns}$  posons  $I_{ccr} = I_{ccs}/I_{ns}$  on a :  $I_{ccr} = 1/((X(t)+X_k))$ .

$I_{ccr}$  dépend donc de l'instant de coupure  $t$  et de la position du défaut caractérisée par  $X_k$ .

On conçoit donc qu'il est possible d'établir une table donnant les valeurs de  $I_{ccr}$  pour différentes valeurs de  $X_k$  pour  $t$  donnée cette table sera également valable pour tout générateur ayant 1 réactance transitoire de 30 % pour  $t = 0$

225 % pour  $t = \infty$ .

La réactance subtransitoire est supposée sans influence car elle s'amortit très rapidement ( 0,05 seconde ).

Si les systèmes de protection intervenant sont électroniques on négligera pas cette composante et la table de calcul ne permettra pas un calcul convenable du courant à couper .

Le principe de la détermination de la table de calcul est fait comme suit :

- on se fixe un instant de coupure  $t$
- on calcul alors  $X(t)$
- on fait varier  $X_k$  de 0 à 20 ( afin d'éviter l'extrapolation )
- on reprend le calcul pour une autre valeur de  $t$ .

T A B L E D E C A L C U L D E C . C - C  
\*\*\*\*\*

$$X_k = \sum_{t=1}^{kcc} \left( ucc_{2k} \frac{Sng}{S2k} + x_{2k+1} \frac{Sng}{S2k+1} \right) \text{ où } 2k \text{ et } +1 \text{ indices.}$$

X/t	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	Infini
0	3,33	1,88	1,37	1,10	0,94	0,83	0,59	0,50	0,44
0,30	1,67	1,20	0,97	0,82	0,73	0,66	0,50	0,43	0,39
0,50	1,25	0,96	0,81	0,71	0,64	0,58	0,45	0,40	0,36
0,80	0,91	0,76	0,66	0,58	0,54	0,50	0,40	0,36	0,33
1,00	0,77	0,66	0,58	0,52	0,48	0,45	0,37	0,33	0,31
1,30	0,62	0,55	0,49	0,45	0,42	0,40	0,33	0,30	0,28
1,50	0,55	0,49	0,45	0,41	0,39	0,37	0,31	0,28	0,26
2,00	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,31	0,27	0,25	0,23
4,00	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,19	0,175	0,165	0,160
6,00	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,130	0,125	0,120
8,00	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,103	0,100	0,097
10	0,097	0,095	0,093	0,091	0,090	0,089	0,085	0,083	0,081
12	0,088	0,079	0,078	0,077	0,075	0,075	0,073	0,071	0,070
14	0,070	0,068	0,067	0,067	0,066	0,065	0,064	0,062	0,061
16	0,061	0,060	0,059	0,059	0,058	0,058	0,056	0,055	0,055
18	0,054	0,054	0,053	0,052	0,052	0,052	0,051	0,050	0,049
20	0,049	0,049	0,049	0,048	0,047	0,047	0,046	0,045	0,044
22	0,045	0,045	0,044	0,043	0,043	0,043	0,042	0,041	0,041
24	0,041	0,041	0,040	0,040	0,40	0,039	0,039	0,038	0,038



C H A P I T R E      I I I

- TABLEAUX RECAPITULATIFS -

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

1) Détermination de  $X_k$  pour chaque branche :

TAt	: $X_k = 0,0771.75/5,5$	$X_k = 1,05$
TAc, TAn	: $X_k = 0,047.75/0,4$	$X_k = 8,8$
TAc, TAi	: $X_k = 0,045.75/0,4$	$X_k = 8,45$
TR5,7/0,22	: $X_k = 0,0425.75/0,16$	$X_k = 20$
TAd1	: $X_k = 0,0757.75/5,5$	$X_k = 1,03$
TAd2(10kV)	: $X_k = 0,1246.75/30$	$X_k = 0,312$
TAd2(5,7kV)	: $X_k = 0,204.75/11$	$X_k = 1,39$

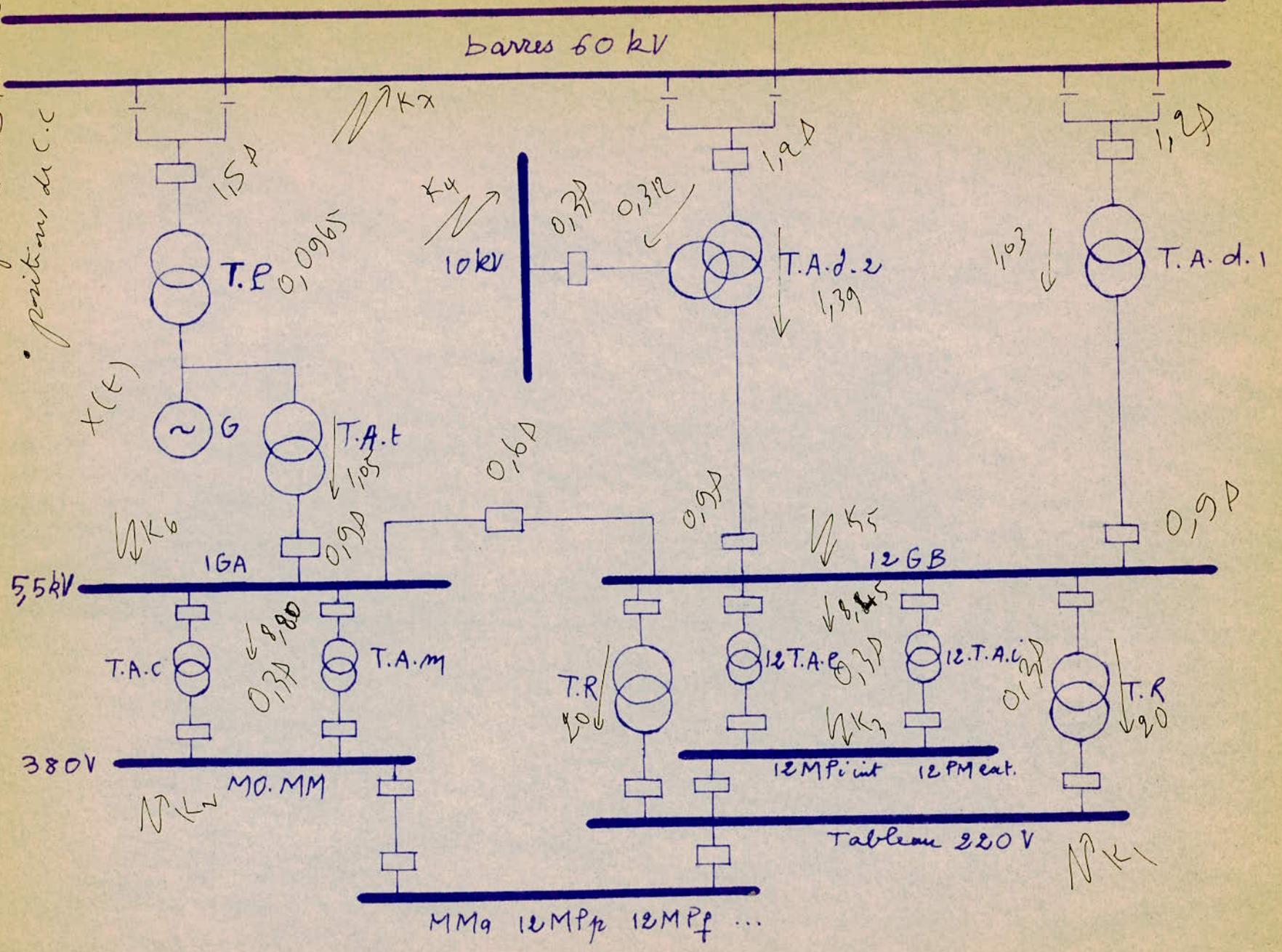
2) Choix des positions et chemins critiques des courants de C.C:

D'après le schéma d'installation, et quelque soit la position du courant de court-circuit le chemin

Générateur - T.P - TAd2 - K ( position de court circuit ) est celui qui limite le plus la valeur du court circuit, les autres ensembles étant alors supposés non alimentés car leur alimentation en énergie électrique contribue à augmenter la valeur du courant de court circuit au point K considéré.

On peut trouver ce chemin , et quelque soit la configuration du réseau, par la méthode de Ford Pulkerson (Théorie des graphes)

- Température
- réaction de la barre de
- en grand de leur reduits
- position de C.C



A) Court - circuit en K1 ( jeux de barres de 0,22 kV ) :

$$X_{k1} = X_{tp} + X_{TAd2} + X_{tr} \text{ soit } X_{k1} = 0,0965 + 1,39 + 20$$

$$X_{k1} = 21,49$$

a) - temporisation 0,3s

$$I_{ccr} = 0,0445$$

$$\text{soit donc } I_{ccs} = 0,0445 \cdot 4210$$

$$I_{ccs} = 188 \text{ A}$$

ramenons cette valeur au divers point de protection temporisée à 0,3s de la ligne critique choisie.

\*\* protection des jeux de barres 220V

$$\text{au secondaire de TR : } I_{cc} = 188 \cdot 10,3/0,22$$

$$I_{cc} = \underline{8800 \text{ A}}$$

$$\text{au primaire de TR : } I_{cc} = 188 \cdot 10,3/5,7$$

$$I_{cc} = \underline{340 \text{ A}}$$

b) - temporisation 0,9s :

$$I_{ccr} = 0,043$$

$$\text{soit donc } I_{ccs} = 0,043 \cdot 4210$$

$$I_{ccs} = 181 \text{ A}$$

ramenons cette valeur au divers point de protection temporisée à 0,9s de la ligne critique choisie.

\*\* protection des jeux de barres 5,7kV :

$$\text{au secondaire de TAd2 : } I_{cc} = 181 \cdot 10,3/5,7$$

$$I_{cc} = 326 \text{ A}$$

inférieure au courant nominal protection irréalisable.  
c) - temporisation 1,2s :  $I_{ccr} = 0,0421$

$$\text{soit donc } I_{ccs} = 0,0421 \cdot 4210$$

$$I_{ccs} = 177 \text{ A}$$

ramenons cette valeur au divers point de protection temporisée à 1,2s de la ligne critique choisie.

$$\text{au primaire de TAd2 : } I_{cc} = 177 \cdot 10,3/63 \text{ soit } I_{cc} = 29 \text{ A}$$

inférieure au courant nominal donc PROTECTION MAX. irréalisable

d) - temporisation 1,5s :

$$I_{ccr} = 0,0425$$

soit donc  $I_{ccs} = 0,0425 \cdot 4210$

$$I_{cc} = 179 \text{ A}$$

ramenons cette valeur au divers point de protection temporisée à 1,5s de la ligne critique choisie.

au secondaire de T.P. :  $I_{cc} = 179 \cdot 10,3/66$

$$I_{cc} = 28 \text{ A}$$

inférieure au courant nominal donc PROTECTION MAX. I. est irréalisable.

B) Court - circuit en K2 ( jeux de barres 380V côté TAs, TAN ) :

$$X_{k2} = X_{tp} + X_{td2} + X_{tac} \text{ soit } X_{k2} = 0,0965 + 1,39 + 8,8$$

$$X_{k2} = 10,28$$

a) - temporisation 0,3s :

$$I_{ccr} = 0,089$$

soit donc  $I_{ccs} = 0,089 \cdot 4210$

$$I_{ccs} = 376 \text{ A}$$

ramenons cette valeur au divers point de protection temporisée à 0,3s de la ligne critique choisie.

au secondaire TAs , ou TAN :  $I_{cc} = 376 \cdot 10,3/0,38$

$$I_{cc} = \underline{10,200 \text{ A}}$$

au primaire TAc ou TAN :  $I_{cc} = 376 \cdot 10,3/5,7$

$$I_{cc} = \underline{680 \text{ A}}$$

b) - temporisation 0,6s :

$$I_{ccr} = 0,086$$

soit donc  $I_{ccs} = 0,086 \cdot 4210$

$$I_{ccs} = 363 \text{ A}$$

au couplage des barres 1GA et 12GB :  $I_{cc} = 363 \cdot 10,3/5,7$

$$I_{cc} = \underline{655 \text{ A}}$$

~~protection irréalisable.~~  
c) - temporisation 1,2s =

$$I_{ccr} = 0,0826$$

soit donc  $I_{ccs} = 0,0826 \cdot 4210$

$$I_{ccs} = 348 \text{ A}$$

ramenons cette valeur au divers point de protection temporisée à 1,2s de la ligne critique choisie.

au primaire TAd2 :  $I_{cc} = 348.10,3/63$   $I_{cc} = 57 \text{ A}$

inférieure au courant nominal donc PROTECTION MAX .I. est irréalisable.

d)- temporisation 1,5s :  $I_{ccr} = 0,0815$

soit donc  $I_{ccs} = 0,0815.4210$   $I_{ccs} = 342 \text{ A}$

ramenée au secondaire de T.P. :  $I_{cc} = 342.10,3/66$

$I_{cc} = 53 \text{ A}$

inférieure au courant nominal donc PROTECTION MAX .I. est irréalisable.

C) Court - circuit en K3 ( barres 3,80V côté TAI ) :

$X_k = X_{tp} + X_{tad2} + X_{tai}$  soit donc  $0,0965 + 1,39 + 8,45$

$X_k = 9,94$

a) - temporisation 0,3s :

$I_{ccr} = 0,092$

soit donc  $I_{ccs} = 0,092.4210$

$I_{ccs} = 386 \text{ A}$

ramenons cette valeur aux

secondaire 12 TAI :  $I_{cc} = 386.10,3/0,38$

$I_{cc} = \underline{10500 \text{ A}}$

primaire 12 TAI :  $I_{cc} = 386.10,3/5,7$

$I_{cc} = \underline{700 \text{ A}}$

b) - temporisation 1,2s :

$I_{ccr} = 0,086$

soit donc  $I_{ccs} = 0,086.4210$

$I_{ccs} = 360 \text{ A}$

ramenée au primaire TAd2 :  $360.10,3/63$

$I_{cc} = 59 \text{ A}$

Inf. à  $I_n$  donc PROTECTION MAX .I. est irréalisable.

c) - Temporisation 1,5s :  $I_{ccr} = 0,0835$   
soit donc  $I_{ccs} = 0,0835 \cdot 4210$   $I_{ccs} = 351$   
ramenons cette valeur :  
au secondaire T.P  $I_{cc} = 351 \cdot 10,3/66$   $I_{cc} = 54$   
inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX.I. est  
irréalisable.

N.B :

A) b') - Temporisation 0,9s :  $I_{ccr} = 0,044$   
le chemin choisi étant générateur - TAt - TR ( $X_{k1} = 21,05$ )  
soit donc  $I_{ccs} = 0,044 \cdot 4210$   $I_{ccs} = 185$   
ramené au secondaire TAt  $I_{cc} = 185 \cdot (10,3/5,7)$   $I_{cc} = 334$   
inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX.T. est  
irréalisable.

C) a') - Temporisation 0,9s :  $I_{ccr} = 0,095$   
soit donc  $I_{ccs} = 0,085 \cdot 4210$   $I_{ccs} = 356$   
ramené au secondaire TAt de  $I_{cc} = 356 \cdot (10,3/5,7)$   $I_{cc} = 645$   
inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX.T. est  
irréalisable.

B) b') - Temporisation 0,9s :  $I_{ccr} = 0,084$   
soit donc  $I_{ccs} = 0,084 \cdot 4210$   $I_{ccs} = 353$   
ramené au secondaire TAt de  $I_{cc} = 353 \cdot (10,3/5,7)$   $I_{cc} = 640$   
inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX.T. est  
irréalisable.

D) Court circuit en K4 ( jeu de barres 10kV) :

$X_{k4} = X_{tp} + X_{tad2} 10 = 0,0965 + 0,312$

$X_{k4} = 0,41$

a) - Temporisation 0,3s :

$I_{ccr} = 0,76$

soit donc  $I_{ccs} = 0,76.4210$

$I_{ccs} = 3200$

ramené du côté 10KV  $3200.(10,3/11)$

$I_{ccs} = 3000A$

b) - Temporisation 1,2s :

$I_{ccr} = 0,45$

soit donc  $I_{ccs} = 0,45.4210$

$I_{ccs} = 1900$

au primaire TAd2  $1900.(10,3/63)$

$I_{cc} = 310$

c) - Temporisation 1,5s :

$I_{ccr} = 0,41$

soit donc  $I_{ccs} = 0,41.4210$

$I_{ccs} = 1725$

au secondaire TP  $I_{cc} = 1725.(10,3/66)$

$I_{cc} = 277$

inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX .I. est irréalizable

E) Court circuit en K5 ( jeu de barres 12GB) :

$X_{k5} = X_{tp} + X_{tad2} 5,7 = 0,0965 + 1,39$

$X_{k5} = 1,49$

a) Temporisation 0,9s :

$I_{ccr} = 0,32$

soit donc  $= 0,32.4210$

$I_{ccs} = 1350$

au secondaire TAd2  $5,7 1350.(10,3/5,7)$

$I_{cc} = 2430$

b) Temporisation 1,2s :

$I_{ccr} = 0,30$

soit donc  $I_{ccs} = 0,30.4210$

$I_{ccs} = 1263$

au primaire TAd2  $I_{cc} = 1263.(10,3/63)$

$I_{cc} = 206$

inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX .I. est irréalizable.

c) Temporisation 1,5s :

$I_{ccr} = 0,28$

soit donc  $I_{ccs} = 0,28.4210$

$I_{ccs} = 1180$

au secondaire TP  $I_{cc} = 1180.(10,3/66)$

$I_{cc} = 184$

inférieur à In donc PROTECTION MAX .I. est irréalizable.

F) Court circuit en K6 ( jeux de barres 1GA) :

$$Xk6 = Xtat$$

$$Xk6 = 1,05$$

a) Temporisation 0,9s :

$$Iccr = 0,37$$

$$\text{soit donc } Iccs = 0,37 \cdot 4210$$

$$Iccs = 1560$$

$$\text{au secondaire TAt } 1560 \cdot (10,3/5,7)$$

$$\underline{Icc = 2820}$$

G) Court circuit en K7 ( jeu de barres 60kV ) :

$$Xk7 = Xtp$$

$$Xk7 = 0,0965$$

a) Temporisation 1,5s :

$$Iccr = 0,47$$

$$\text{soit donc } Iccs = 0,47 \cdot 4210$$

$$Iccs = 1980$$

$$\text{au secondaire TP } Icc = 1980 \cdot (10,3/66)$$

$$Icc = 310$$

inférieur au courant nominal donc PROTECTION MAX .I. est irréalizable.

N.B : E) a') Temporisation 0,6s

$$Iccr = 0,356$$

$$\text{soit donc } Iccs = 0,356 \cdot 4210$$

$$Iccs = 1500$$

ramené au sectionnement des barres 5,5kV

$$\underline{Icc = 2710}$$

au secondaire de T.P : on installe une protection max de I qui fonctionne au couran de C.C juste supérieur à In, ce cas correspond aux 3 C.C simultanés K7, K4, K5 soit

$$Icc = 310 + 277 + 184$$

$$\underline{Icc = 771}$$

LES VALEURS SOULIGNEES SONT RETENUES POUR LE REGLAGE

Calcul des courants d'appel :

Dans le cas le plus défavorable, les pointes de courant sont atteintes au même instant et on aura Id total égal à  $\sum$  Id.

a) Jeu de bare 1GA : de la forme  $n \cdot K_d \cdot I_n$  où

2.4,8.85,5 = 820      n : nombre de machines

2.4,6.60 = 550       $K_d = I_d / I_n$

5,3.21,5 = 114

2.5,1.22 = 225

Id = 1709

b) Jeu de barres 12GB :

2.4,8.14,5 = = 140

4,8.14,5 = 70

Id = 210

c) Jeu de barres MM

8,4.57 = 480

9,4.10 = 94

8,3.22 = 182

10.14 = 140

5,6.187 = 1050

8,4.7,4 = 62

7,1.20 = 142

Id = 2150

Jeu de barres MO :

2.5,7.4,9	= 56
8.3,3	= 27
8.4,5	= 36
6,5.136	= 890
7,1.20	= 142
5.4,5	= 23

Id = 1174

Jeu de barres MMA :

4,9.86	= 430
2.6,25.29	= 362
7.17,7	= 124
2.8.1,05	= 17
2.8.1,05	= 17

Id = 950

d) Jeu de barres 12MPi intérieur :

Id = 56

Jeu de barres 12MPi extérieur :

Id = 3903

Jeu de barres 12MPe :

Id = 1110

Jeu de barres 12MPf :

Id = 552

Jeu de barres 12MPia :

Id = 271

Jeu de barres 12MPp :

Deux redresseur 2.1;30 = 60

Un Gr. convertisseur 6.43 = 258

Id = 318

de sorte que l'onait :

au se condaire TAc 1174 + 2150 soit 3324 A

au secondaire 12TAi 3903 + 56 soit 3959 A

autres tableaux 950 + 318 + 1110 + 552 + 271 = 3201 A  
tableau 220V 259 A.

En schéma secours

- \*\* au secondaire TR Id = 259
- au primaire TR (0,22/5,7)259 Id = 10
  
- \*\* au secondaire TAI : 3324 + 3201 + 3959 Id = 10584  
à cause MO + MM, MMa + 12MPpefi  
supérieur au courant de court circuit calculée 10500 !
- au primaire TAI : 10584.(0,38/5,7). Id = 705  
supérieur au courant de court circuit calculée 700 !
  
- \*\* au secondaire TAM : 3324 + 3201 + 3959 Id = 10584  
supérieure au courant de court circuit calculé 10200 !
- au primaire TAM : 10584.(0,38/5,7). Id = 705  
supérieur au courant de court circuit calculée 680 !
  
- \*\* au secondaire TAt : 1709 + 210+705+10+705 Id = 3339  
à cause moteur 1GA, moteur 12GB, TAc, tableau 220V, TAI  
supérieur au courant de court circuit calculé 2820 !
  
- \*\* au secondaire TAd2 : Id = 3339  
supérieur au courant de court circuit calculé 2430 !  
...Etc.

INTERPRETATION

On a supposé dans ce qui a précédé que le courant d'appel a sa valeur la plus grande et il s'est averé que I appel supérieur Icc: Donc un démarrage équivaut à un C.C et le réglage pour décter les Icc et tolérer les I appel n'est pas possible. Cette supposition n'a qu'un caractère théorique car en effet les caractéristiques de démarrage différent d'une machine à une autre et

il n'existe pas une valeur T telle que quelque soit la machine l'on ait :  $\frac{d I_d}{dt} (T) = 0$

Pratiquement les machines de petites puissances atteignent très rapidement le fonctionnement normal, alors que la machine la plus puissante :

$$100,6kW \quad 187A \quad Kd = 5,6$$

est encore en régime transitoire et on a à cet instant :

$$I_d \text{ total} = I_d \text{ max} + \xi I_n \text{ étendue aux autres.}$$

$$\text{soit donc} \quad I_d \text{ max} = 187.5,6 \quad I_d \text{ max} = 1045$$

Le courant nominal total à cet instant est pour :

MM MO	309
12PMint.ext	584
autres tableaux	521
1GA	357
12GB	44

relativement aux tensions en ces points .

Le courant d'appel en cet instant est pour :

$$MO MM : \quad 1045 + 309 = \quad 1354$$

et égal aux courants nominaux pour 12MPintext et autre tab.

En schéma secours

\*\* au secondaire TR

$$\underline{Id = 259}$$

au primaire TR

$$(0,22/5,7)259$$

$$\underline{Id = 10}$$

\*\* au secondaire TAI : 1354 + 521 + 584 =

$$\underline{Id = 2459}$$

au primaire TAI : 2459.(0,38/5,7) =

$$\underline{Id = 163}$$

\*\* au secondaire TAt TAd : 2.163 + 357 + 44 =

$$\underline{Id = 727}$$

ramené des côtés

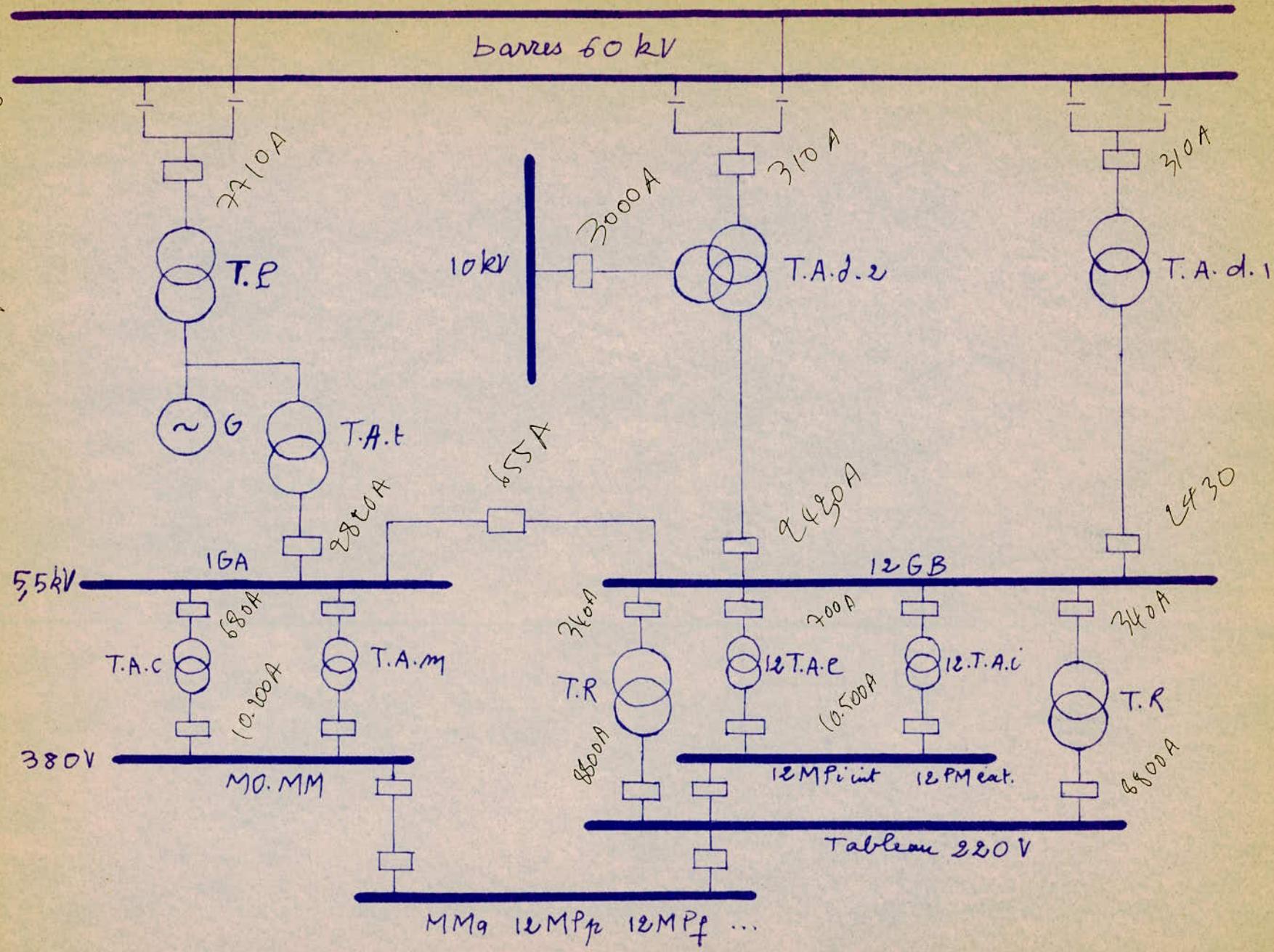
$$10kW : 727.(5,7/10) =$$

$$\underline{Id = 410}$$

$$60kW : 727.(5,7/60) =$$

$$\underline{Id = 68}$$

• Valeurs de  $I_{cc}$  retenues pour le réglage



CHOIX DES T . I .

Emplacement	I nominal	k/i rapport du T.I.
Secondaire TR	401,6	500/5
Primaire TR	16,8	20/5
Secondaire TAd2 5,7	1110	1200/5
Primaire TAd2	275	500/5
Secondaire T.P	656	1000/5
Secondaire TAcM	578	600/5
Primaire TAcMie	42	50/5
Sectionnement 5,5	500	600/5
Secondaire TAt	557	600/5
Secondaire TAd2 10	1575	2000/5
Secondaire TAd2	557	600/5
Primaire TAd1	50,4	125/5

COMPORTEMENT DES T.I.  
EN RÉGIME TRANSITOIRE

1 - Erreurs :

a) En regime établi :

L'erreur absolue  $n_1 I_0$  ampers tours non transmis au secondaire.

L'erreur relative  $n_1 I_0$  aussi bien en regime  $\frac{n_1 I_1}{n_1 I_0}$  établi qu'en transitoire.

b) En regime transitoire :

Le schéma équivalent du T.I est donné par la (Fig. 1)

Les équations de fonctionnement sont :

$$L \frac{di_1}{dt} + L_0 \frac{di_0}{dt} + R i_1 = 0$$

$$i_1 + i_0 = i_0 \quad \text{par élimination de } i \text{ et en}$$
$$T_1 = \frac{L_0 + L}{R} \quad \text{approximativement } \frac{L_0}{R}$$

$$q = \frac{L}{L_0 + L} \quad \text{approximativement } \frac{L}{L_0}$$

on trouve :

$$\frac{di_0}{dt} + \frac{1}{T_2} i_0 = q \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{T_2} i_1$$

La formule générale de l'établissement de  $i$

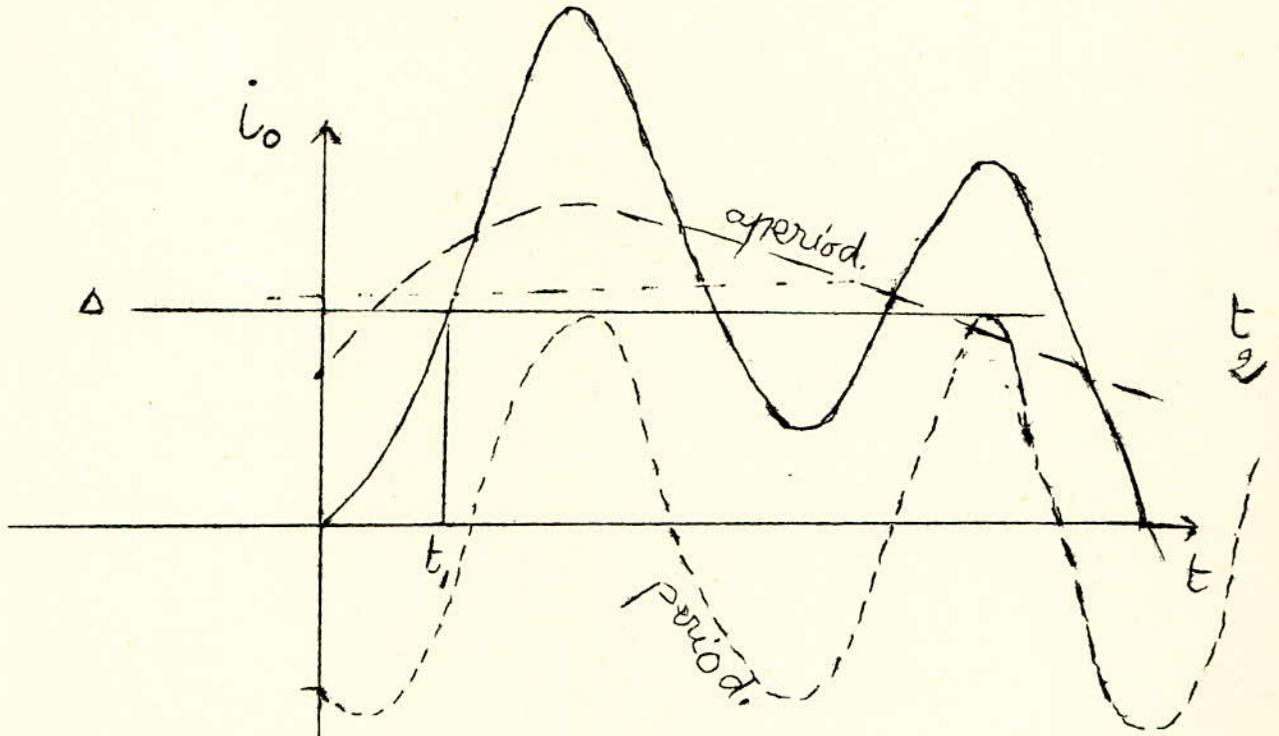
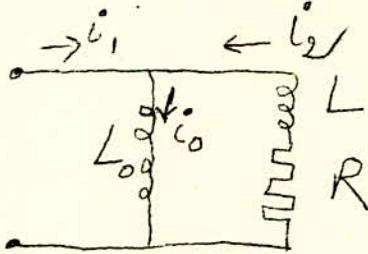
$$i_1 = \frac{E}{Z} \sin(\omega t + \theta - \varphi) - \frac{E}{Z} \sin(\theta - \varphi) e^{-t/T_1}$$

L'asymétrie maximale s'obtient pour  $i_1 = 0$

$$i_{cc} = I_{cc} (e^{-t/T_1} - \cos \omega t)$$

$\theta - \varphi = \pm \frac{\pi}{2}$

Schema equivalent du T.I.



la droite d'ordonnée  $\Delta = i_{0 \text{ max}} \text{ périodique}$  coupe  $i_0(t)$  en 2 points  $t_1$  et  $t_2$  :

N.B: -  $t_1$  : entre 0 et  $t_1$ , les systèmes de protections fonctionnent correctement avec un T.I dont le circuit magnétique n'est pas saturé et l'erreur  $F_i$  est  $\approx 0$ .  
(protections ultra-rapides) .

En faisant  $i_1 = i_{cc}$  on trouve pour  $i$

$$i_0 = \frac{I_{cc}}{\omega} \left( \frac{T_1 - q T_2}{T_1 - T_2} ( e^{-t/T_1} - e^{-t/T_2} ) + q e^{-t/T_2} - \left( \frac{1}{T_2 \omega} \sin \omega t + q \cos \omega t \right) \right)$$

Le courant d'erreur de l'état final s'écrit :

$$- I_{cc} \left( \frac{1}{T_2 \omega} \sin \omega t + q \cos \omega t \right) \quad \text{et ces 2 termes sont directe-}$$

ment proportionnels aux erreurs habituelles

$$* \text{ l'erreur d'angle } \delta = \frac{1}{T_2 \omega} 100 \%$$

$$* \text{ l'erreur de rapport : } F_i = q 100 \%$$

Le tracé de la courbe transitoire ( Fig. 2 ) nous renseigne que  $i_0(t)$  présente une pointe qui fait que la saturation soit atteinte

donc il faut veiller à bien dimensionner les T.I pour éviter le fonctionnement en état saturé.

Applications numériques  
=====

relatives à un T.I disponible sur le marché pour un réseau de 220 kV . c'est un T.I de caractéristique :

$$T_1 = 0,060 \text{ s} \quad T_2 = 2,160 \text{ s} \quad \frac{L_0}{L_0 + L} \approx 1$$

$$L = 4,7 \text{ L} = 0,0038 \text{ R} = 2,18$$

$$\frac{di_0}{dt} = 0 \quad \text{d'où approximativement} \quad t = T_1 \text{ Log} \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$t = 0,210 \text{ s} \quad \delta = 0,14 \% \quad F_i = 0,08 \%$$

valeurs très faibles !

L'erreur maximale :

$$i = I_2 \frac{L_0}{L + L} \cdot \frac{T_1}{T_2} \left( \left( \frac{\frac{L_0}{L_0 + L}}{1 - \frac{1 - L}{L_0 + L}} \right) \right) - \frac{T_1/T_2}{T_1/T_2 - 1}$$

numériquement  $i/I \% = 2,76$  soit une erreur Inf. à trois %

c) En régime saturé :

Le principe de la protection rapide n'est valable qu'avant la saturation. Avec la saturation l'erreur devient très important. Lorsque la saturation est atteinte, les A.T. magnétisants sont très grands, le courant secondaire n'est plus image fidèle du courant primaire

Et il faut attendre le prochain passage par zéro du courant pour que le circuit se désature.

Au fur a mesure la composante continue disparaît, les périodes de désaturation continuent jusqu'à supprimer toute saturation. A partir de ce moment on retrouve le fonctionnement normal en régime symétrique.

L'idéal serait d'avoir une induction faible pour le T.I pratiquement on utilise des tôles à faible remanent :

Tôle genre SENDUST

Tôle genre SUPERMALLOY

Brem. = 0,5 T

Brem. = 0,6 T

H cc. = 4 A/M

H cc. = 0,4 A/M

Tôle a cristaux orientés Brem. = 1,2 T H cor. = 9,55 A/M

-45-bis

## ADAPTATION DES RELAIS-T.I

Une utilisation convenable des T.I nécessite que ces T.I donnent une information correcte pendant le régime transitoire de mesure de C.C .

On peut soit attendre l'extinction de la composante transitoire aux environs de 0,4s solution acceptable pour cette étude car le plus faible niveau de temporisation est 0,3s ;

soit utiliser un filtre pour éliminer la composante continue qui est source d'erreurs donc elle est la cause indirecte d'un mauvais fonctionnement du relais.

Suivant leur rôle protecteur les relais sont classés en 4 grandes catégories par ordre d'exigences croissantes

\$-1<sup>eu</sup> qui ne font appel qu'à une seule grandeur d'entrée et ne réclament pas une grande précision (c'est notre cas)  
\$-2 les relais homopo. qui sont à 3 courants impliquent davantage une erreur identique sur les 3 T.I donc doivent avoir plus de précision individuelle.

vers un réglage des relais

Coordonnées	Temporisation	limite sup. Icc/k	Limite inf. Id/k	CHOIX
Secondaire TR	0,3	17i	0,6i	1i
Primaire TR	0,3	17i	0,5i	1i
Secondaire TAd2 5,5	0,9	2,1i	0,16i	0,5i
Primaire TAd2	1,2	0,6i	0,13i	0,5i
Secondaire T.P	1,5	0,7i	0,07i	0,5i
Secondaire TAc <sub>m</sub>	0,3	17i	<u>4,1i</u>	-
Primaire TAc <sub>m</sub>	0,3	13,6i	<u>3,3i</u>	-
Secondaire 12TA <sub>ie</sub>	0,3	17i	<u>4,1i</u>	-
Primaire 12TA <sub>ie</sub>	0,3	14i	<u>3,3i</u>	-
Sectionnement 5,5	0,6	<del>4,4i</del>	0,6i	1i
Secondaire TA <sub>t</sub>	0,9	4,7i	1,3i	1,5i
Secondaire TAd2 10kV	0,3	1,5i	0,2i	0,6i
Secondaire TAd1	0,9	4i	1,1i	1,5i
Primaire TAd1	1,2	2,4i	0,6i	0,8i

Les valeurs soulignées ne conviennent pas au réglage car les relais statiques à max. de I. temporisée sont réglables de 0,5 à 2,5i (référence : Revue Brown Boveri N°7 Juillet 1971 tome 58 Page 314).

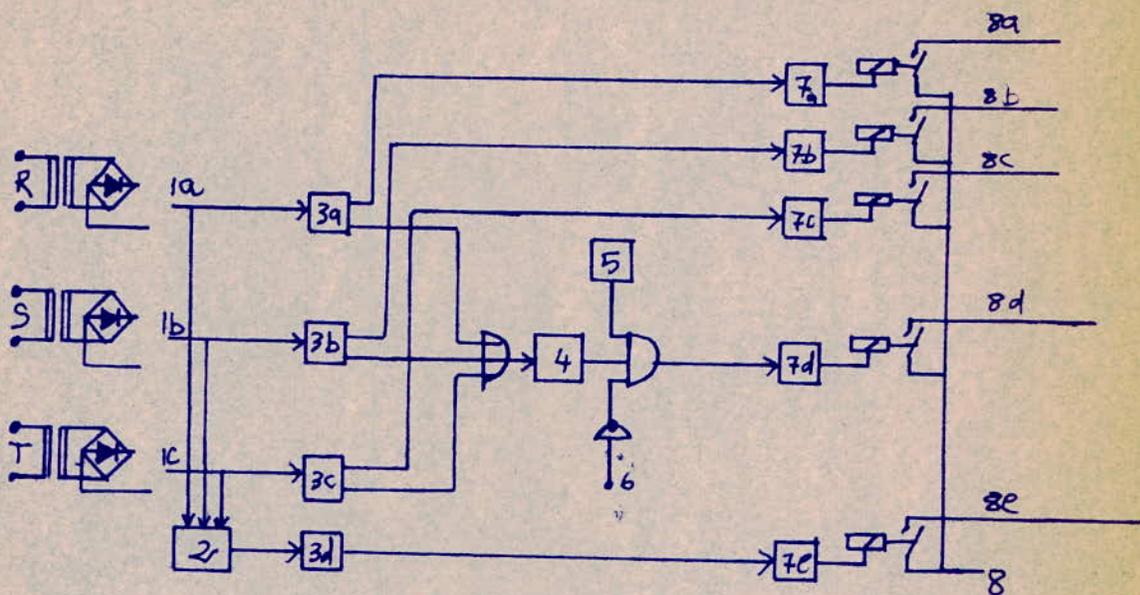
L'exception est donc relative aux secondaires TAc<sub>m</sub> et aux primaires TAc<sub>m</sub> où sont installés des systèmes des protections

Solutionnons donc ce problème ?

## Schéma fonctionnel du

ISX 149

(relais statique temporisé à maximum de I)



- 1 a, b, c transformateurs de mesure
- 2 dispositif de détection de la valeur la plus grande
- 3 a, b, c bascule pour la mise au travail ajustable de 0,5 à 2,5 I
- 3 d bascule pour déclenchement instantané 4 à 20 I
- 4 relais de temporisation (0,1 à 5 s)
- 5 dispositif de surveillance de la tension stabilisée
- 6 possibilité de blocage du déclenchement temporisé
- 7 a, b, c, d, e amplificateurs de sortie
- 8 d déclenchement temporisé
- 8 e déclenchement instantané

On peut soit :

- augmenter le calibre du relais plus que 5A  
( ce n'est pas possible car le relais n'a que deux calibres 5A et 1A)
- choisir un T.I de rapport supérieur  $k'$  de sorte à avoir :  $I_d/k'$  inférieur à 2,5.
- placer un autre T.I en cascade avec le premier de rapport  $k'$  tel que  $I_d/k.k'$  inférieur à 2,5

On choisit cette dernière solution qui consiste à placer un autre T.I en cascade. Estimation de  $k'$  :  $I_d/k.k'$  inférieur 2,5 avec  $I_d/k = 3,3$  on trouve  $k'$  supérieur à 1,32 soit  $k' = 2$  on choisit un T.I de rapport 10/5 disponible sur le marché.

Justification du choix de cette solution

points de vue contre un T.I de rapport supérieur à  $k$  :

- \* fonctionnement non nominal donc mauvaise utilisation
- \* source d'erreurs suite à l'existence du composante continue en régime transitoire

point de vue pour un T.I en cascade ( intermédiaire ) :

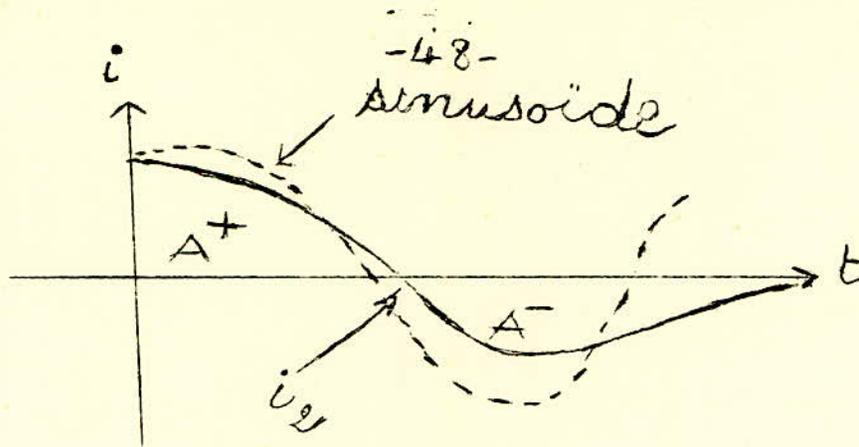
- \* fonctionnement nominal donc bonne utilisation
- \* INEXISTANCE de la composante continue en régime transitoire  
en effet son courant secondaire - composante continue

on écrit

$$i_2 = IK \left( \frac{1 - q}{T_1 - T_2} \right) ( T_1 e^{-t/T_2} - T_2 e^{-t/T_1} )$$

L'intégrale  $i_2 dt$  de 0 à infinie est NULLE. donc :

$i_2$  s'annule et par conséquent  $i_2$  n'est pas continue et est assimilable à une sinusoïde aux premiers instants



au secondaire TAcmic :

limite supérieure

$$10200 \text{ -----} (600/5) \text{ ----} 85 \text{ ----} (10/5) \text{ ----} 42,5$$

sur calibre 5A on aura  $42,5/5$  soit  $8,5i$

limite inférieure

$$2459 \text{ -----} (600/5) \text{ ----} 20,5 \text{ ----} (10/5) \text{ ----} 10,25$$

sur calibre 5A on aura  $10,25/5$  soit  $2,05i$

on choisira pour le réglage la valeur 2,5i

au primaire TAcmic :

limite supérieure

$$680 \text{ -----} (50/5) \text{ ----} 68 \text{ ----} (10/5) \text{ ----} 34$$

sur calibre 5A on aura  $34/5$   $6,8i$

limite inférieure

$$163 \text{ -----} (50/5) \text{ ----} 16,3 \text{ ----} (10/5) \text{ ----} 8,15$$

sur calibre 5A on aura  $8,15/5$   $1,63i$

on choisira pour le réglage la valeur 2,5i

TABLEAU		DES	REGLAGES		DEFINITIF.
Coordonnées		Temporisation	Limite sup.	Limite inf.	CHOIX
Secondaire	TR	0,3	17i	0,6i	1i
Primaire	TR	0,3	17i	0,5i	1i
Secondaire	TAd2 5,7	0,9	2,1i	0,16i	0,5i
Primaire	TAd2	1,2	0,6i	0,13i	0,5i
Secondaire	T.P	1,5	0,7i	0,07i	0,5i
Secondaire	TAcM	0,3	8,5i	2,05i	2,5i
Primaire	TAcM	0,3	6,8i	1,63i	2,5i
Secondaire	12TAie	0,3	8,5i	2,05i	2,5i
Primaire	12TAie	0,3	6,8i	1,62i	2,5i
Sectionnement	5,5	0,6	1,1i	0,6i	1i
Secondaire	TAt	0,9	4,7i	1,3i	1,5i
Secondaire	TAd2	0,3	1,5i	0,2i	0,6i
Secondaire	TAd1	0,9	4i	1,1i	1,5i
Primaire	TAd1	1,2	2,4i	0,6i	0,8i

-C O N C L U S I O N S-

Cette protection par maximum de courant temporisé dont le seuil de réglage a été déterminé précédemment pour chaque niveau de temporisation présente les avantages formulés à la page 6:

- .Sécurité : grâce à sa mise en service
- .Sélectivité : grâce à son échelonnement
- .Rapidité : grâce à la fiabilité des éléments statiques

Cette protection étant considérée comme protection de secours elle complète la protection principale qu'on maintient du type électromagnétique car si elle est du type statique elle donnerait lieu à des fonctionnements intempestifs ce qui provoque des dérangements inutilisés.

Elle présente l'inconvénient qu'elle est insensible pour les courants de C.C inférieurs au courant nominal (se référer à A b ).

Une solution consiste à chercher d'autres critères de C.C :

- variations de l'intervalle des passages par 0 des courants pendant le C.C (normalement cet intervalle est égal à 0)
- identité de la polarité de certaines grandeurs mesurables.

Si ce problème d'insensibilité des protections peut être résolu on peut affirmer que les automatismes électroniques ont permis d'exploiter certaines formes des protections (rapidité, sélectivité) mais ils n'ont pas résolu le problème définitivement car le fonctionnement du disjoncteur est resté égal à 0,3s soit 30 fois leur temps de fonctionnement!!!! Faut-il donc penser au :

D I S J O N C T E U R  
S T A T I Q U E

CHAPITRE III

=====

RELAIS DE DISTANCE TRANSISTORISE.

I) Principe de fonctionnement

Il comprend trois étages :

Un combinateur    Un comparateur de phases    Un organe de sortie

a) Le combinateur : Il fournit des tensions telles que

$$A = U = KU + RI + jXI \text{ (Fig. 1) où P est un potentiomètre}$$

b) Le comparateur de phases : Réagit s'il ya des laps de temps (même s'ils sont minimes) durant lesquels toutes les grandeurs A ont même signe c'est à dire les vecteurs des grandeurs d'entrée forment un faisceau dont l'angle est inférieur à  $180^\circ$ .

A cette condition le comparateur de phases produit des impulsions carrées dont la fréquence dépend du type (Unipolaire ou bipolaire).

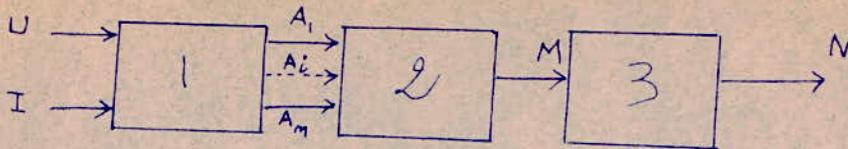
c) L'organe de sortie : Il réagit quand il ya des impulsions à son entrée. Il les transforme en signal continu 1 ou 0

2) Caractéristique du relais :

Dans le plan R-X un point P (  $Z = U/I$  ) permet de définir un vecteur, dont l'extrémité est située dans la zone de coïncidence ou non coïncidence . Aux valeurs différentes de U et I correspondent des angles différents entre les grandeurs d'entrée. Le comparateur de phases produit des impulsions

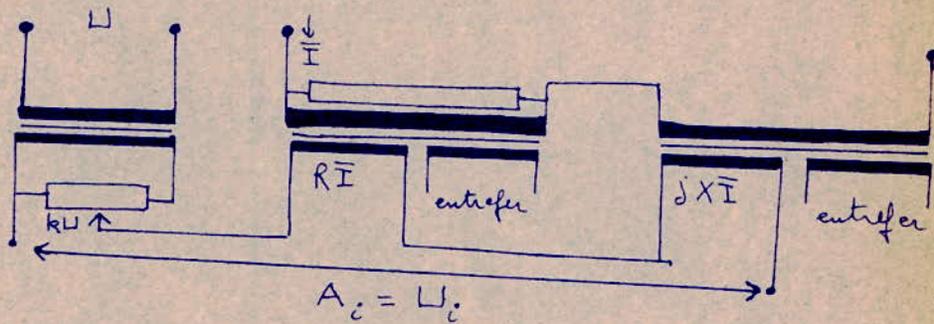
Schema de principe du relais de distance transistoise

Fig 1 :

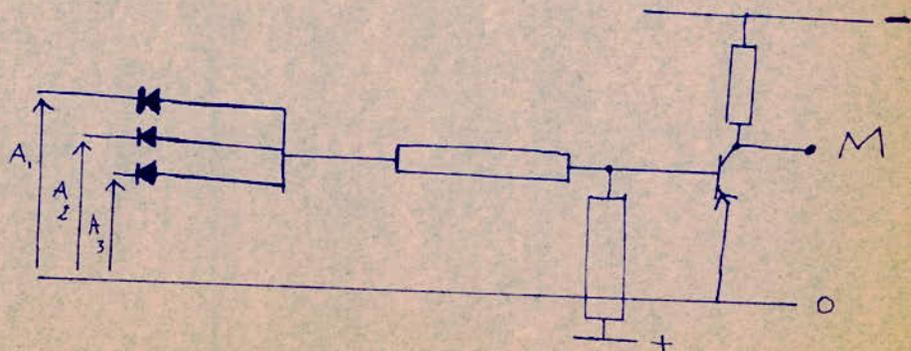


- 1: combinateur
- 2: comparateur de phases
- 3: organe de sortie

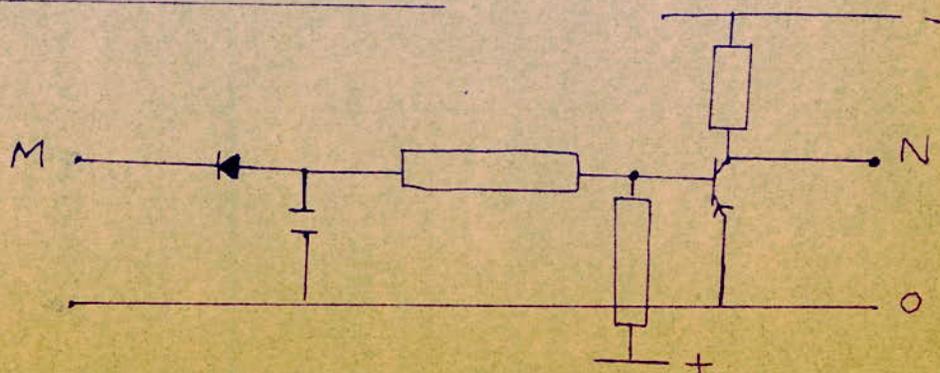
COMBINATEUR :



COMPARATEUR DE PHASES :



ORGANE DE SORTIE :



dans la zone de coincidence. L'organe de sortie produit alors un signal continu 1 ( tension négative ).

Obtention de la caractéristique du relais :

On porte dans R-X n points  $P_i$  aux coordonnées complexes  $Z_i = -a_{i2} / a_{i1}$  et on joint les points deux à deux par exemple P (i) et P (k) par un arc  $\widehat{P_i P_k}$  sous lequel on voit  $P_i P_k$  sous l'angle  $-\arg(a_{i2} / a_{k1})$

Tous les points étant ainsi joints. La zone de coincidence est celle qui a au moins un sommet coïncidant avec un des points  $P_i$ , à condition que l'angle intérieur de la zone en ce sommet soit supérieur à  $180^\circ$  (Fig. 4)

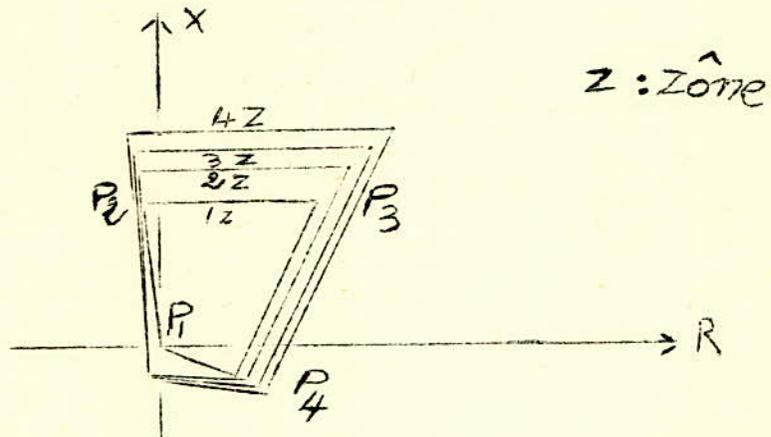
### 3 ) Relais de mesure :

Un/phase et leurs alimentations pour les défauts différents

Relais	Régime normal et défauts à la terre	Défaut entre phases
D (B) A	U, I + k I A A 0	U, I - I AB A B
D (C) B	U, I + k I B B 0	U, I - I BC B C
D (A) C	U, I + k I C C 0	U, I - I CA C A

En régime normal les relais mesurent les grandeurs de phase et ont le réglage du 1er stade. Quand un défaut apparaît, les alimentations ne changent que s'il est isolé de la terre. En ce cas le branchement est modifié par le relais intermédiaire  $R_0$ . Les réglages des 4 stades sont commutés par R, R, R.

Les caractéristique des relais de mesure sont pour les différents stades montrées ci-dessous :

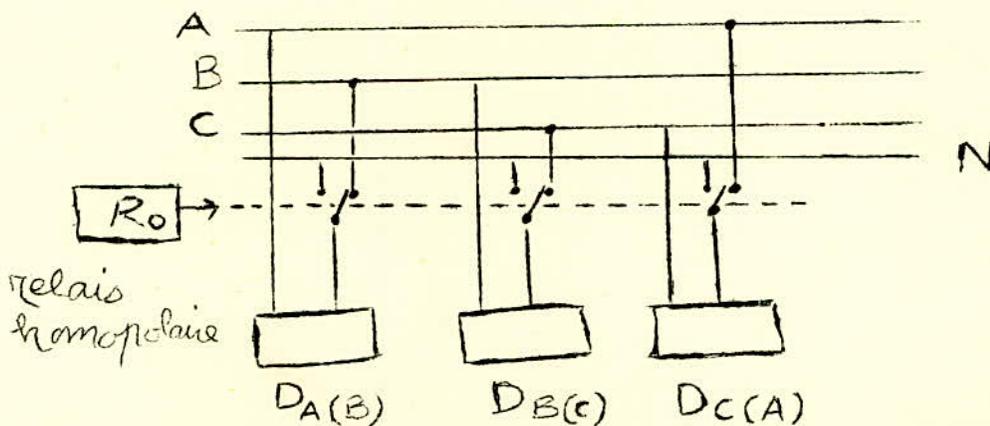


P3 P4 parallèle à l'axe de résistance, donc sensible à la réactance du circuit protégé.

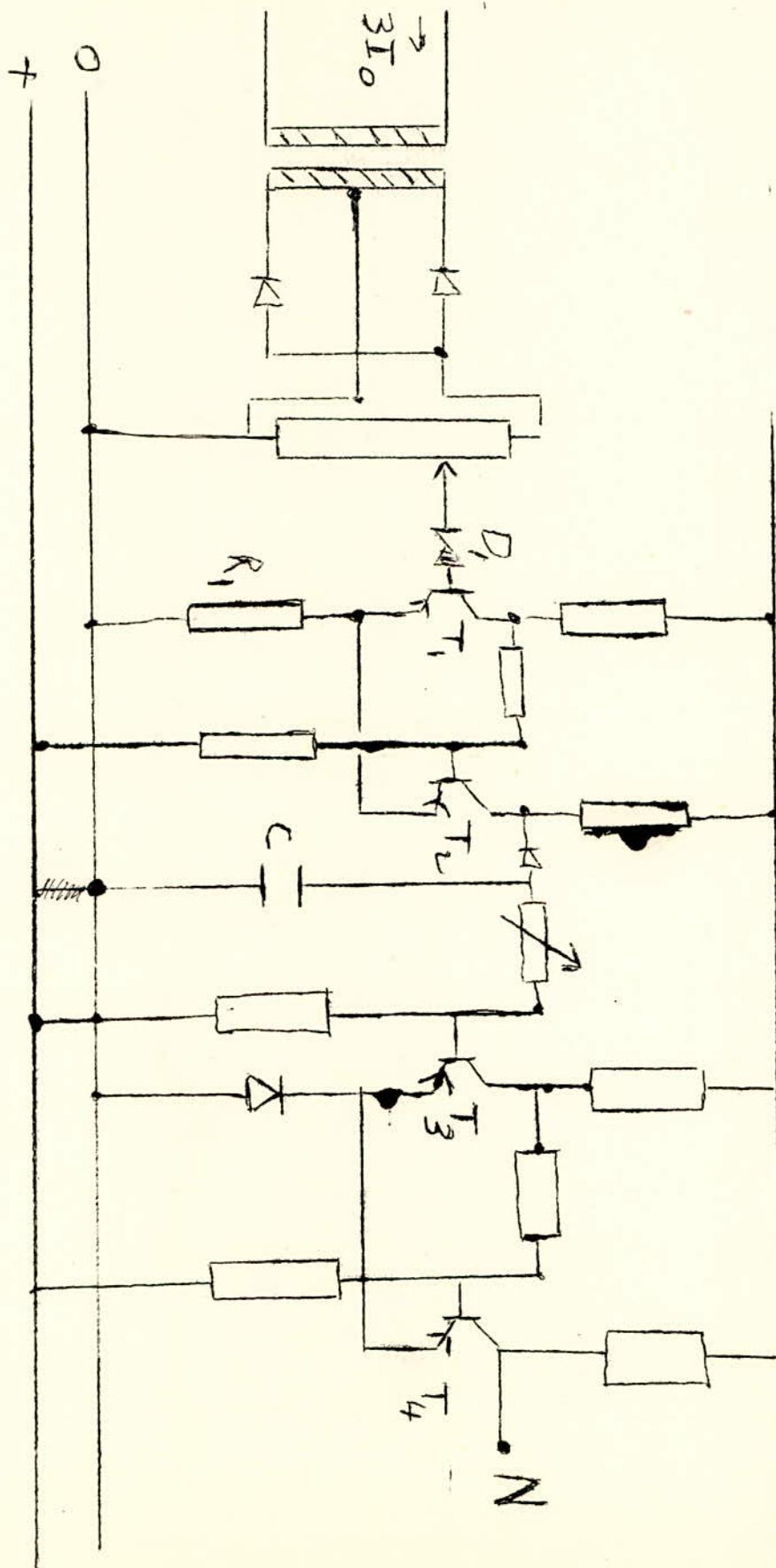
P3 P4 est choisi de manière à ce que la résistance de défaut puisse atteindre dans toute la zone une valeur relative au réglage du stade correspondant.

P1 P2; P1 P4 convenablement inclinés assurent le fonctionnement correct du relais pour toutes les erreurs de phase du transformateurs de courant et de tension (chapitre I)

Le relais  $R_0$  assure le changement du mode d'alimentation selon le cas du défaut et est normalement monté de sorte à assurer l'alimentation par la tension entre phase.



- 53 - bis  
 - RELAIS DE COURANT -



Justification de mode d'alimentations :

\* court circuit triphasé symétrique (défaut franc)

$$Z = U_a/I_a = U_b/I_b = U_c/I_c \text{ soit encore}$$

$$Z = (U_a - U_b)/(I_a - I_b) = (U_b - U_c)/(I_b - I_c) = (U_c - U_a)/(I_c - I_a)$$

$$Z = U_{ab}/(I_a - I_b) = U_{bc}/(I_b - I_c) = U_{ca}/(I_c - I_a)$$

Z étant l'impédance par phase du tronçon compris entre le poste de protection et le lieu du défaut.

\* court circuit biphasé (A,B défaut franc)

$$U_a - U_b = U_a - U_{pa} + U_{pa} - U_{pb} + U_{pb} - U_b$$

$$U_{ab} = Z I_a + 0 - Z I_b \quad \text{donc}$$

$$Z = U_{ab}/(I_a - I_b) \quad \text{même formule.}$$

alors que les autres relais mesurent

$$U_b - U_c = U_b - U_{pb} + U_{pb} - U_{pc} + U_{pc} - U_c$$

$$U_{bc} = Z I_b + U_{pb} - U_{pc} - Z I_c \quad \text{donc}$$

$$U_{bc}/(I_b - I_c) = Z + (U_{pb} - U_{pc})/(I_b - I_c)$$

ce dernier est un terme complémentaire non nul (C saine):

ordre de grandeur

phase C à vide  $I_c = 0$  donc  $I_a + I_b = 0$  en vecteurs.

$$U_c + U_{pa} + U_{pb} = 0 \text{ en vecteurs}$$

$$U_{pa} = U_{pb}$$

d'où  $U_{pa} - U_{pb} = -1,5 U_c$  et  $I_b = -I_a = I_c = 0,5 I_n$

soit un terme complémentaire 3 fois à ~~l'origine~~ 15 fois impé-

dence du service. Il peut y avoir ou NON fonctionnement. dans ce dernier cas une SELECTIVITE est réalisée.

\* court circuit avec mise à la terre

cas de la phase A.

$$U_a - U_{pa} = U_a - 0 = Z_d I_d + Z_i I_i + Z_o I_o \quad Z_d = Z_i$$

$$U_a = Z_d (I_d + I_i) + Z_o I_o \text{ comme } I_d + I_i = I_a - I_o$$

$$U_a = Z_d (I_a - I_o) + Z_o I_o$$

$$U_a = Z_d I_a + Z_d I_o \cdot \frac{Z_o - Z_d}{Z_d} \quad \text{de la forme}$$

$$U_a = Z_d I_a + Z_d I_o \cdot k \quad \text{avec } k = \frac{Z_o - Z_d}{Z_d}$$

$$\text{donc } Z_d = \frac{U_a}{I_a + I_o k}$$

ordre de grandeur de k :

$$Z_d = 0,43 \text{ OHM/km} \quad Z_o = 1,3 \text{ OHM/km} \quad \text{donc} \quad \underline{k = 2}$$

4) Relais de mise en route SDbmc :

alimenté par  $U_{bc}$  et  $I_b - I_c$ , il accomplit la mise en route en cas de défaut synétrique.

La perte de tension  $U_b$  ou  $U_c$  est dangereuse. On réalise un verrouillage au moyen du circuit VER.

- En régime normale ou en défaut synétrique  $V_m = 0$  (tension)

donc le signal  $n = 0$

- Si un des fusibles fond une tension apparaît  $V_m$  non nulle

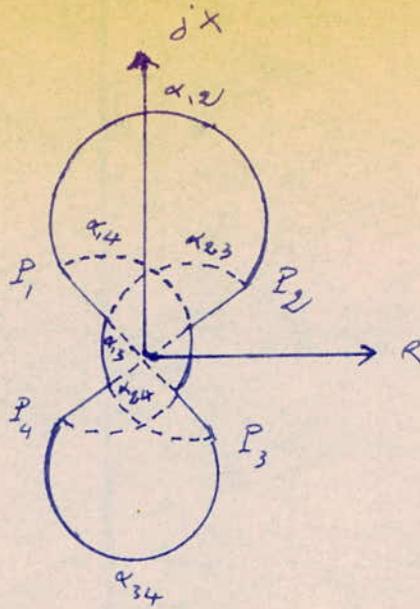
donc  $n = \text{impulsions}$

Ces impulsions sont introduites dans l'organe de sortie du relais SDbc en parallèle avec le signal venant du comparateur de phases.

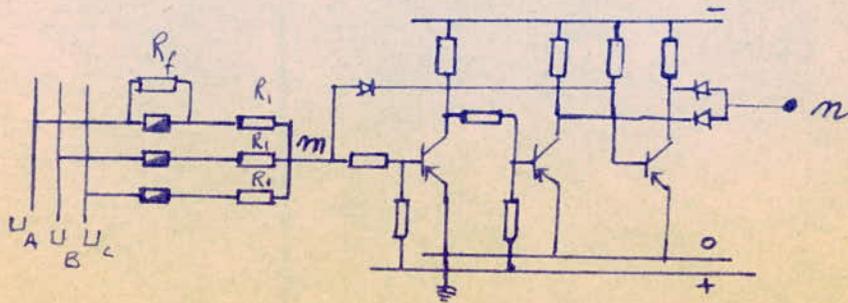
Comme l'organe de sortie ne réagit pas il y a des impulsions à son entrée (la zone de fonctionnement du relais est une

- 55 bis -

Fig 4



Exemple de caracteristiques desirable



VER : organe de verrouillage

zone de non coincidence ) même si le signal provenant du comparateur disparaît , SDbc ne peut pas alors réagir à cause des impulsions en n.

5) Relais de courant ou tension :

Une seule grandeur d'influence. Le courant (transformé en tension) ou la tension alimente un circuit agissant par tout ou rien avec un seuil de fonctionnement réglable.

Si l'amplitude de la tension d'entrée dépasse le seuil de fonctionnement le circuit de la (Fig.5) produit des impulsions rectangulaires qui actionnent un organe de sortie (Fig.3) . Le temps de fonctionnement d'un tel relais est au plus une période (20ms) et peut être réduit à 1/2 période (10ms) par redressement des deux alternances de la tension

Données numériques.

Tension et courant nominaux : 100 V, 1 A.

Temps de fonctionnement en 1er stade inférieur à :

Régime précédent	symétrique	dissymétrique
Défaut à la terre	15 ms	30 ms
Défaut entre phases	30 ms	45 ms

Temps de fonctionnement inférieur à 10 ms.

Précision 5 % (pour courants entre  $I_n$  et  $30 I_n$ , - 30° et 55°C)

Consommation : circuit courant 0,7 VA par phase à  $I_n$   
circuit tension 10 VA par phase à  $U_n$ .

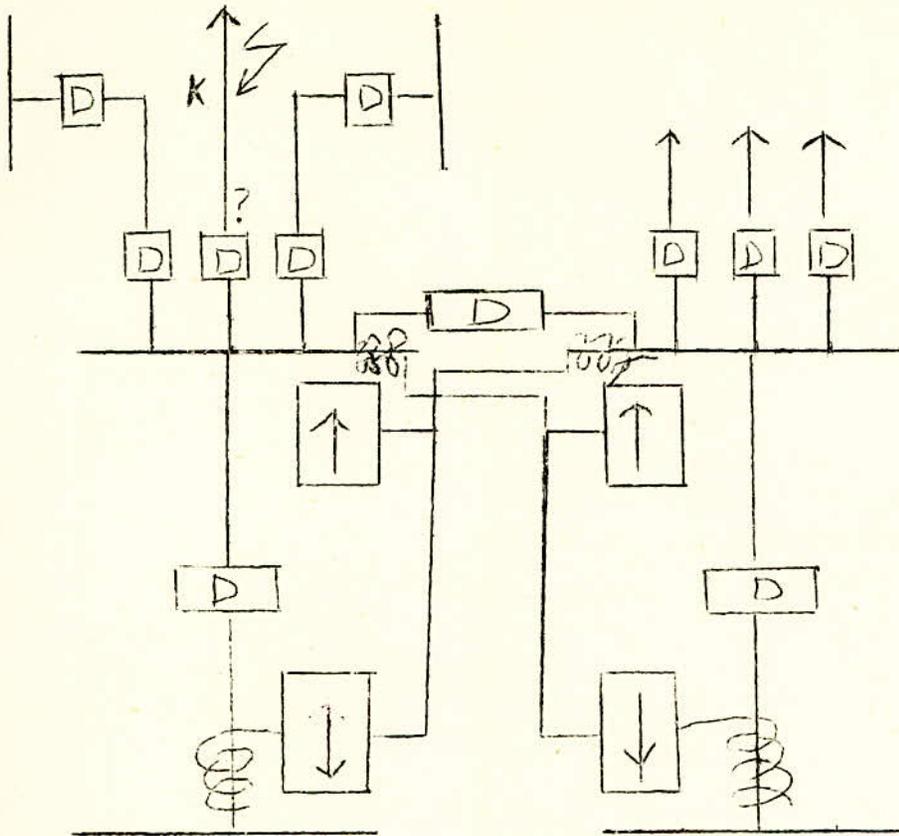
Plages de réglage :

Relais de distance résistance de fonctionnement 15 à 100ohms

Relais de courant inverse 0,15 à 0,60 A.

Relais de courant homopolaire 0,25 à 1,00 A.

APPLICATIONS AUX BARRES DES AUXILIAIRES DE LA CENTRALES



**D** : disjoncteur



relais de distance

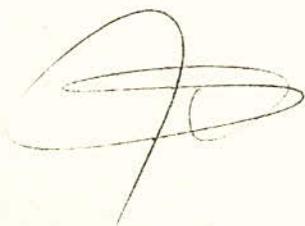
Si K n'a pas été éliminé par le disjoncteur du feeder, le relais de distance de cette section de jeu de barre fonctionne et fait déclencher les disjoncteurs de :

- Couplage ( approprié )
- De sectionnement

On peut ainsi continuer l'exploitation du service du côté non affecté.

Alger 20 Juin 73

" ... ~~mon~~ mémoire à mon père  
et à ma tante grâce  
à qui j'ai pu entamer  
et continuer mes études... "

A stylized handwritten signature consisting of several overlapping loops and a long vertical stroke extending downwards.