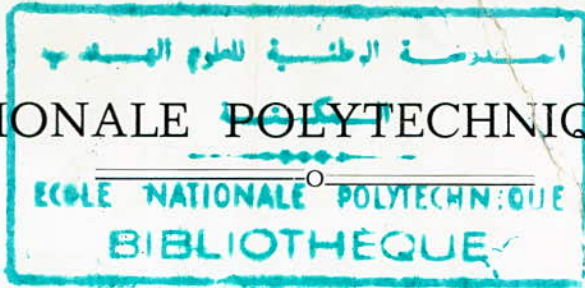


2/83  
sea



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département d'Electrotechnique

THESE D'INGÉNIORAT D'ÉTAT

**PROTECTION D'UN RESEAU  
T.H.T (220 kv) CONTRE LES  
COURANTS DE COURT CIRCUIT**

DIRIGEE PAR :

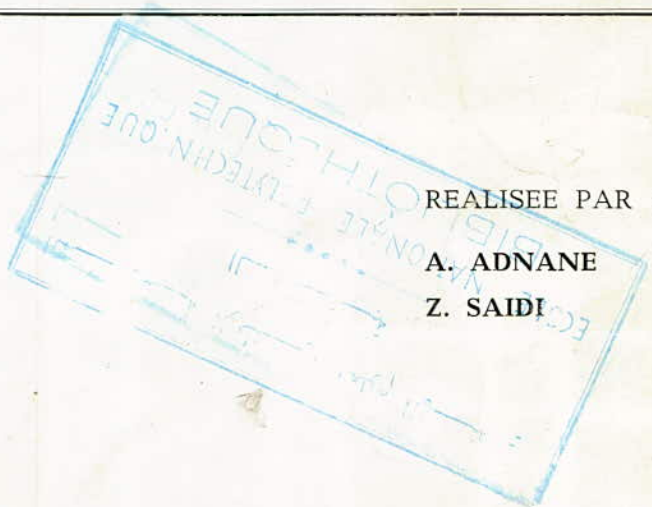
S. KWIATKOWSKI

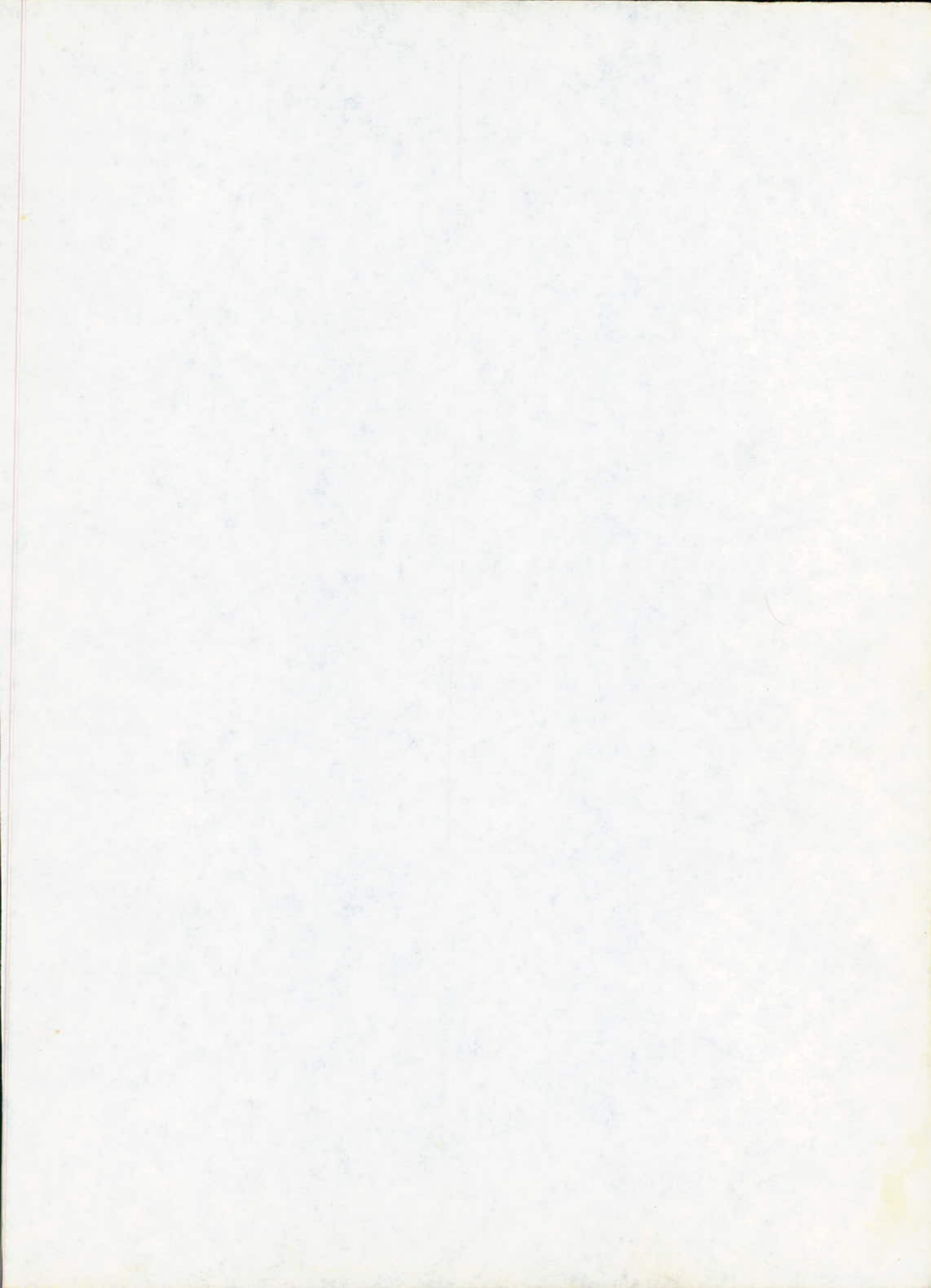
Docteur : ES - SCIENCES

REALISEE PAR :

A. ADNANE

Z. SAIDI





UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département d'Electrotechnique

THESE D'INGÉNIORAT D'ÉTAT

**PROTECTION D'UN RESEAU  
T.H.T (220 kv) CONTRE LES  
COURANTS DE COURT CIRCUIT**

DIRIGEE PAR :

S. KWIATKOWSKI

Docteur : ES - SCIENCES

REALISEE PAR :

A. ADNANE

Z. SAIDI

PROMOTION JANVIER 1983



17 15 D 17 C A C 15 5  
-----  
-----

§ - A ma Mère qui a tout fait pour que je ne manque de rien.

§ - A la mémoire de mon Père.

§ - A mon Frère MAHFOUD qui n'a ménagé aucun effort pour m'instruire.

§ - A tous mes frères et soeurs.

§ - A tous mes parents biens aimés.

§ - A tous ceux qui me sont chers.

JE dédie ce modeste travail

Abdelhafid

§ - A mes Parents. A mes Frères et Soeurs.

§ - A toute la Famille.

§ - A mes Amis.

Je dédie ce modeste travail

Zoubir



## REMERCIEMENTS

°°°

Que tous les professeurs qui ont contribué à notre formation trouvent en ce modeste ouvrage le témoignage de notre profonde et sincère gratitude et l'expression de notre vive amitié.

On tient particulièrement à assurer M<sup>r</sup> S.KIWIATKOWSKI et A-BADACHE de toute notre reconnaissance pour les conseils qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer tout au long de la réalisation de cette thèse.

On ne saura comment remercier également tous les agents de l'équipe du contrôle et Mesure XPL/BT de la SONELGAZ pour la précieuse aide morale et matérielle qu'ils nous ont prêtée.

Ainsi que le personnel de la (C.A.C.G) qui s'est chargé de la Dactylographie de ce manuscrit.

ABDELHAFID ET ZOUBIR

## I N T R O D U C T I O N

Le système de protection joue un rôle de premier ordre dans le bon fonctionnement des réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique.

En effet, les qualités du service (sécurité, continuité, constance,...) sont tributaires en grande partie aux dispositifs de protection chargés de la surveillance permanente de tous les organes constituant le réseau.

Pour mener à bien leurs fonctions, on exige que les protections adoptées soient fiables, sélectives et rapides.

Cette étude concernant la protection d'un réseau T.H.T. (220 KV) comporte deux (2) parties :

- Dans la première, on a jugé nécessaire de faire un rappel aussi bref que possible sur les C.C. affectant le réseau ainsi que la méthode de calcul des C.C.C. dite "Méthode des grandeurs réduites".
- Dans la deuxième partie on a traité la protection des transformateurs élévateurs des centrales des lignes et des jeux de barres. Notre intérêt s'est porté surtout aux protections concernant les surintensités.

.../...

## Données Techniques

### 1°/ Lignes :



en conducteur "6/2     $S = 570 \text{ mm}^2$   
 $R = 0,06 \ \Omega/\text{km}$      $X^{\text{Al}} = 0,42 \ \Omega/\text{km}$  ,  $C = 9,0 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$

### 2°/ Générateurs


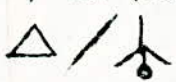
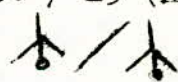
- Réactances subtransitoire :  $X_d'' = 0,12$
- Réactances Homopolaire :  $X_0 = 0,05 \ \Omega$
- Puissance : centrale A : 3 groupes ( 3 X 200 MVA)  
                   centrale B : 4 groupes ( 4 X 50 MVA)  
                   centrale C : 3 groupes ( 3 X 50 MVA)

### 3°/ Transformateurs

#### A/Transformateurs à 2 enroulements

- transformateurs aux centrales - 15,75 /242 (KV)  
   -  $U_{cc} = 0,10$   
   - 
- Transformateurs aux postes - 220  $\pm$  10.1%/63 (KV)  
   -  $U_{cc} = 0,12$   
   - 

#### B/Transformateurs à 3 enroulements

P / S	S / T	P / T
242 $\pm$ 10.1,2%/15,75(KV) 50 / 50 (MVA) 	15,75/10,5 $\pm$ 5%(KV) 50 / 15 (MVA) 	242 $\pm$ 10.1,2%/10,5(KV) 50 / 15 (MVA) 
$U_{cc} (P/S) = 15,5 \%$	$U_{cc} (S/T) = 6\%$	$U_{cc} (P/T) = 10\%$



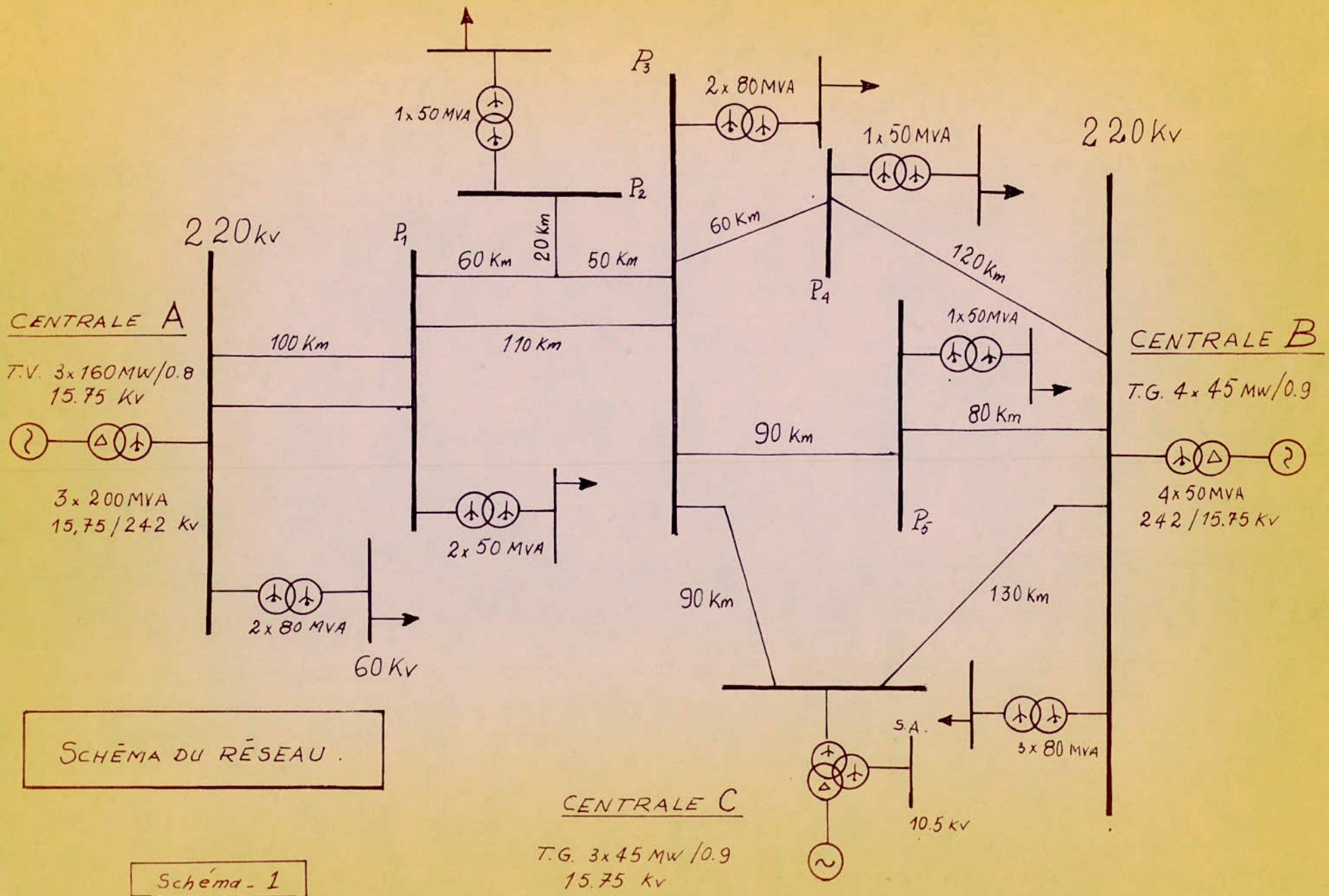


SCHÉMA DU RÉSEAU.

Schéma - 1

1<sup>ere</sup> PARTIE

DEFAUTS ET COURANTS  
DE COURT-CIRCUIT.

DEFAUTS ET COURANTS DE COURT-CIRCUIT

I - GENERALITES :

I.1.- Définitions :

On appelle court-circuit ( c.c) tout contact se produisant entre phases, ou entre phase (s) et neutre.

Le c.c est l'un des défauts qui affectent le plus les réseaux électriques.

I.2.-Origines des défauts :

Elles peuvent être internes ou externes, et sont dues essentiellement à des causes :

- Electriques,
- Mécaniques,
- Atmosphériques,
- Fausses manoeuvres.

I.3.- Caractères des défauts:

I.3.1.-Défauts momentanés: disparaissant d'eux mêmes sans intervention du personnel d'exploitation.

Ils peuvent être :

- Auto-extincteurs
- Fugitifs ( 70 à 90%)
- Semi-permanents (5 à 15%)

I.3.2.-Défauts permanents: ( 5 à 15 %)

qui, après avoir provoqué le déclenchement définitif nécessitent l'intervention du personnel pour la reprise du service et la réparation du réseau.

I.4.- Conséquences des défauts:

Les défauts survenant sur les réseaux électriques causent des dégâts matériels très importants. Ils sont surtout dus à :

- Effet Joule
- Efforts électrodynamiques
- Pertes de synchronismes ... etc.



Du calcul

I.5. Utilité/des courants de court-circuit.

- Dimensionnement des disjoncteurs
- Réglage des différentes protections pour obtenir la selectivité optimale et ne pas perturber la stabilité du réseau.
- Dimensionnement convenable des prises de terre.
- La connaissance des contraintes électrodynamiques et thermiques dans les éléments du réseau.
- La connaissance des perturbations provoquées par induction sur les autres lignes ou sur le réseau de télécommunication.

II. INTENSITE DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT (C.CC)/:

II.1. Définition.

En monophasé, elle est simplement donnée par l'application de la loi d'Ohm :

$$I = \frac{V}{Z} \quad \left\{ \begin{array}{l} V : \text{Tension de la source} \\ Z : \text{l'Impédance totale du circuit y compris} \\ \quad \text{celle du défaut.} \end{array} \right.$$

En triphasé, elle se définit toujours à partir de la tension simple du réseau et de l'impédance correspondante par phase.

II.2.- Facteurs influencant l'intensité du C.C.C.:

l'Intensité des C.C. C. est fonction de :

- la nature des éléments constituant le réseau,
- la structure du réseau,
- du mode d'exploitation du réseau,
- du type et de la résistance du défaut.

Les différentes statistiques, donnent les probabilités suivantes pour chaque type de défauts :

- 5% pour la Triphasé
- 25% pour le Biphasé
- 70% pour le Monophasé.

On démontre que C.C. le plus défavorable est :

-le C.C. Triphasé : si  $X_d < X_h$

-le C.C. Monophasé: si  $X_h < X_d$

Il va sans dire que le C.C. le plus dangereux est celui qu'on prendra en considération lors du dimensionnement des installations électriques

II.3.-Utilisation des composantes symétriques pour le calcul des C.C.C.

Pour le calcul des courants de court-circuit on a recourt aux composantes symétriques dans presque la totalité des types de défauts. En effet, seul le défaut triphasé symétrique qui n'introduit aucun déséquilibre fait exception.

En d'autres termes tout système triphasé quelconque peut être décomposé en 3 systèmes triphasés équilibrés:

- Un système direct,
- Un système inversé,
- et un système homopolaire.

Entre ces différents systèmes on a les relations suivantes :

$$\begin{array}{lll}
 \bar{V}_1 = \bar{V}_h + \bar{V}_d + \bar{V}_i & \bar{I}_1 = \bar{I}_h + \bar{I}_d + \bar{I}_i & \bar{E} = \bar{V}_d + Z_d \bar{I}_d \\
 \bar{V}_2 = \bar{V}_h + a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i & \bar{I}_2 = \bar{I}_h + a^2 \bar{I}_d + a \bar{I}_i & 0 = \bar{V}_i + Z_i \bar{I}_i \\
 \bar{V}_3 = \bar{V}_h + a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i & \bar{I}_3 = \bar{I}_h + a \bar{I}_d + a^2 \bar{I}_i & 0 = \bar{V}_h + Z_h \bar{I}_h
 \end{array}$$

En appliquant ces formules pour chaque type de défaut, on a trouvé les résultats consignés dans le tableau suivant (Tableau 1).

II.4.-Grandeur et Signification physique des composantes symétriques:

Les composantes symétriques que nous venons d'utiliser pour le calcul de C.C. ne sont pas seulement un artifice pratique de calcul mais correspondant bel et bien à des grandeurs physiques qui existent et qui peuvent être mesurées directement et indépendamment les unes des autres.

En ce qui concerne les réactances des différents éléments du réseau on a les considérations suivantes :

- Transformateur, )
- Lignes , Cables ) \_\_\_\_\_  $X_d \approx X_i$
- Recepteurs passifs )
- Alternateurs, ) )
- Moteur triphasés ) \_\_\_\_\_  $X_d \approx X_i$



TABLEAU N° 1

Formulaire général

Nature du C.C	phases concernées du défaut	Éq. caract.	composantes symétriques des courants et tensions	grandeurs réelles des courants et tensions	schéma monophasé équivalent
Triphasé	1-2-3	$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$	$\bar{J}_d = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}} \quad , \quad \bar{J}_i = \bar{J}_h = 0$ $\boxed{I_{cc} = I_d}$ $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_h = 0$	$\bar{J}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d} \quad ; \quad \bar{J}_2 = a^2 \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d} \quad ; \quad \bar{J}_3 = a \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d}$ $\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$	
Biphasé-Terre	2-3-N	$\bar{J}_1 = 0$ $\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$	$\bar{J}_d = \frac{\bar{Z}_i + \bar{Z}_h}{\bar{Z}^2} \cdot \bar{E}$ $\bar{J}_i = -\frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}^2} \bar{E} \quad ; \quad \bar{J}_h = -\frac{\bar{Z}_h}{\bar{Z}^2} \bar{E}$ $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_h = \frac{\bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_h}{\bar{Z}^2} \cdot \bar{E}$	$\bar{J}_1 = 0, \quad \bar{J}_2 = \frac{(a^2-1)\bar{Z}_i + (a^2-a)\bar{Z}_h}{\bar{Z}^2} \cdot \bar{E}$ $\bar{J}_3 = \frac{(a-1)\bar{Z}_i + (a-a^2)\bar{Z}_h}{\bar{Z}^2} \cdot \bar{E}$ $\bar{V}_1 = 3 \frac{\bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_h}{\bar{Z}^2} \cdot \bar{E} \quad \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$	
Biphasé-Isolé	2-3	$\bar{J}_1 = 0$ $\bar{J}_2 + \bar{J}_3 = 0$ $\bar{V}_2 = \bar{V}_3$	$\bar{J}_d = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \quad ; \quad \bar{J}_i = \frac{-\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \quad ; \quad \bar{J}_h = 0$ $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \bar{E} \quad ; \quad \bar{V}_h = 0$	$\bar{J}_1 = 0, \quad \bar{J}_2 = \frac{(a^2-a)\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} = -\bar{J}_3$ $\bar{V}_1 = \frac{2\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \bar{E} \quad ; \quad \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = \frac{-\bar{Z}_i \cdot \bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$	
monophasé (si franc R=0)	1-N	$\bar{J}_2 = \bar{J}_3 = 0$ $\bar{V}_1 = R \bar{J}_1$	$\bar{J}_d = \bar{J}_i = \bar{J}_h = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R}$ $\boxed{I_{cc} = 3 \bar{I}_d}$ $\bar{V}_d = \frac{\bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R} \bar{E}$ $\bar{V}_i = \frac{-\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R} \cdot \bar{E}$ $\bar{V}_h = \frac{-\bar{Z}_h}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R} \cdot \bar{E}$	$\bar{J}_1 = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R} \quad ; \quad \bar{J}_2 = \bar{J}_3 = 0$ $\bar{V}_1 = R \bar{J}_1$ $\bar{V}_2 = \frac{(a^2-a)\bar{Z}_i + (a-1)\bar{Z}_h + 3a^2R}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R} \bar{E}$ $\bar{V}_3 = \frac{(a-a^2)\bar{Z}_i + (a-1)\bar{Z}_h + 3aR}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_h + 3R} \bar{E}$	
					$\bar{Z}^2 = \bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_i \bar{Z}_h + \bar{Z}_h \bar{Z}_d$



La composante homopolaire, quant à elle dépend :

- de l'existence d'un conducteur de retour,
- du mode de couplage des enroulements,
- et de la nature du circuit magnétique.

Dans le tableau suivant (Tableau 2) on donne le schéma équivalent et la valeur de la réactance homopolaire des transformateurs utilisés dans notre réseau :

Remarque :

$X_{\mu_0}$  réactance de magnétisation dépend essentiellement de la nature du circuit magnétique :

- circuit magnétique à flux libre :

$$X_{\mu_0} = \infty$$

- circuit magnétique à flux forcé :

$$X_{\mu_0} = (3 \div 10) \times d$$

### III.-Notions de Grandeurs Réduites :

#### III.1.-Généralités :

Les grandeurs physiques utilisées dans les calculs des C.C.C. sont :

- La puissance (S)
- La Tension (U)
- Le courant (I)
- l'Impédance (Z)

Elles peuvent être exprimées soit en grandeurs :

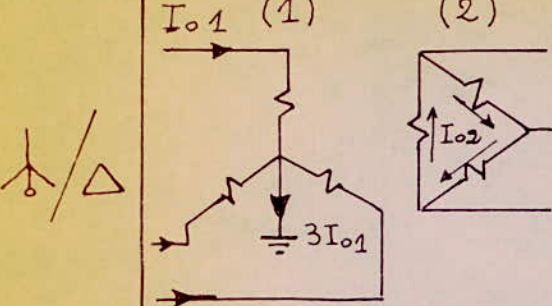
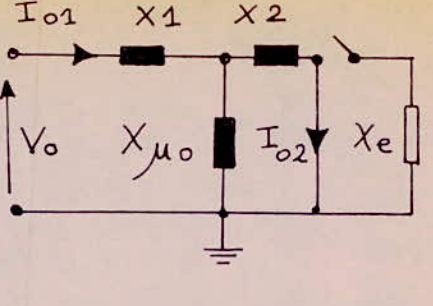
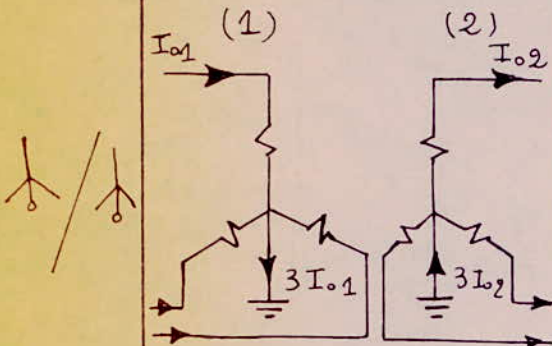
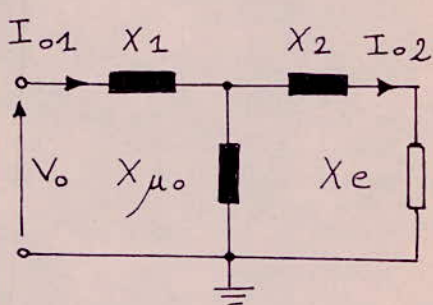
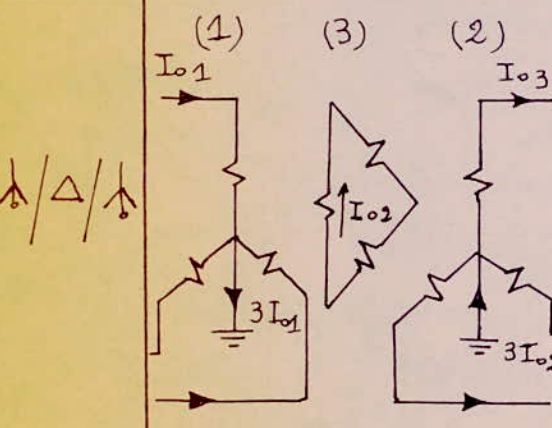
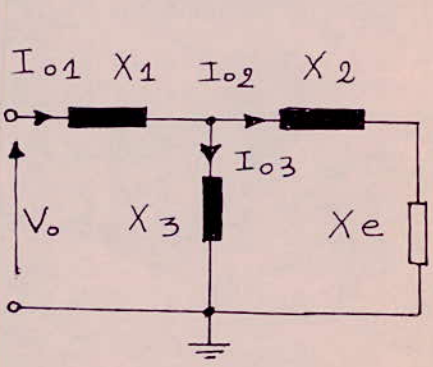
- Absolues (avec dimensions)
- En pourcentage (%)
- En valeurs réduites (sans dimensions)

Pour les systèmes complexes tels que les réseaux de transport, il est préférable de faire le calcul des C.C.C. à l'aide des valeurs réduites.

#### III.2.-Définitions et choix des grandeurs de base :

La grandeur réduite d'une grandeur physique donnée est le rapport de cette dernière par une autre grandeur physique de même nature, qui a été choisie arbitrairement comme référence et appelée " Grandeur de Base ".

TABLEAU N°2

couplage des transformateurs	schéma ~ homopolaire	Réactance homo.
		$X_h = X_1 + X_2 // X_{\mu_0}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> <math display="block">X_h \approx 0,85 X_d</math> </div>
		$X_h = X_1 + (X_2 + X_e) // X_{\mu_0}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> <math display="block">X_h \approx 5 X_d</math> </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> <math display="block">X_h = X_1 + X_3 // (X_2 + X_e)</math> </div>

Remarque:

Les relations encadrées donnent les valeurs utilisées dans la pratique.



On choisit généralement comme grandeurs de base  $S_b$  et  $U_b$  on en déduit alors :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \quad \text{et} \quad X_b \simeq Z_b = \frac{U_b^2}{S_b} \quad (R_b \simeq 0)$$

Les grandeurs réduites des différents éléments du réseau sont alors :

$$S^* = \frac{S}{S_b} ; \quad U^* = \frac{U}{U_b} ; \quad I^* = \frac{I}{I_b} ; \quad X^* = \frac{X}{X_b} ,$$

### III.3. Réactances réduites des éléments constituant le réseau :

#### III.3.1. Composantes directe et inversé :

Un calcul élémentaire donne les résultats suivants :

a/ Lignes :

$$X_L^* = x \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_b^2} \quad \text{avec} \begin{cases} x : \text{réactance kilométrique de la ligne} \\ l : \text{longueur de la ligne} \\ (S_b, U_b) : \text{puissance et tension de base.} \end{cases}$$

b/ Alternateurs:

$$X_G^* = X_d'' \cdot \left( \frac{S_b}{S_n} \right) \cdot \left( \frac{U_n}{U_b} \right)^2 \quad \text{avec} \begin{cases} (X_d'') : \text{réactance subtransitoire longitudinale} \\ \text{de l'Alternateur.} \\ (S_n, U_n) : \text{puissance et tension nominales.} \end{cases}$$

c/ Transformateur à 2 enroulements:

$$X_T^* = U_{cc} \cdot \left( \frac{S_b}{S_n} \right) \cdot \left( \frac{U_n}{U_b} \right)^2 \quad \text{avec} \begin{cases} (U_{cc}) : \text{tension de C.C. du transformateur} \\ (S_n, U_n) : \text{puissance et tension normale} \end{cases}$$

d/ Transformateur à 3 enroulements:

le calcul se fait en deux étapes :

$$\begin{aligned} X_{12}^* &= U_{cc} \cdot \left( \frac{S_b}{S_{1n}} \right) \cdot \left( \frac{U_{1n}}{U_b} \right)^2 & \text{(I)} \\ X_{23}^* &= U_{cc} \cdot \left( \frac{S_b}{S_{2n}} \right) \cdot \left( \frac{U_{2n}}{U_b} \right)^2 \\ X_{31}^* &= U_{cc} \cdot \left( \frac{S_b}{S_{1n}} \right) \cdot \left( \frac{U_{1n}}{U_b} \right)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1^* &= \frac{1}{2} (X_{12}^* + X_{31}^* - X_{23}^*) & \text{(II)} \\ X_2^* &= \frac{1}{2} (X_{12}^* + X_{23}^* - X_{31}^*) \\ X_3^* &= \frac{1}{2} (X_{23}^* + X_{31}^* - X_{12}^*) \end{aligned}$$



Remarques : Toutes les réactances sont ramenées au primaire (Côté HT)

III.3.2. -Composante homopolaire:

On utilisera les valeurs pratiques vues précédemment, à savoir :

a/Lignes :  $X_h^* = 3X_d^*$

b/Alternateurs :  $X_h^* = 0,05 \sim \text{XXXXX}$  (Donnée)

c/Transformateurs :  $X_h^* = 0,85X_d^*$  (pour  $\Delta / \Delta$ )

$X_h^* = 5X_d^*$  (pour  $\Delta / Y$ )

$X_h^* = X_{1d}^* + X_{2d}^* // (X_{3d}^* + X_e^*)$  (pour  $Y / \Delta / Y$ )

III.4. Application et résultats :

en prenant comme grandeurs de base les valeurs suivantes :

$S_b = 200 \text{ MVA}$

$U_{b1} = 15,75 \text{ KV} \rightarrow \begin{cases} I_{b1} = 7,331 \text{ KA} \\ X_{b1} = 1,240 \sim \end{cases}$

$U_{b2} = 220 \text{ KV} \rightarrow \begin{cases} I_{b2} = 0,525 \text{ KA} \\ X_{b2} = 242 \sim \end{cases}$

$U_{b3} = 60 \text{ KV} \rightarrow \begin{cases} I_{b3} = 1,925 \text{ KA} \\ X_{b3} = 18 \sim \end{cases}$

En appliquant convenablement les formules du présent chapitre on obtient les valeurs portées sur les schémas suivants :

(schéma -2 et 3)

III.5.-Méthode de calcul des C.C.C.

a/Une fois déterminées toutes les grandeurs réduites du schéma on procède aux simplifications en mettant les réactances en serie ou en parallèle de façon à aboutir à une réactance équivalente unique ( $X_e^*$ ) du réseau au point de C.C.

b/La grandeur réduite du courant subtransitoire à l'instant initial vaut :

$$I''^* = \frac{E^*}{X_e^*}$$

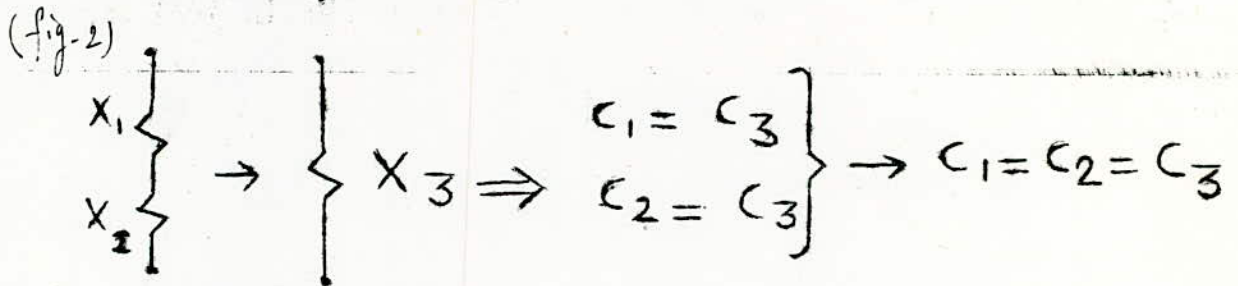
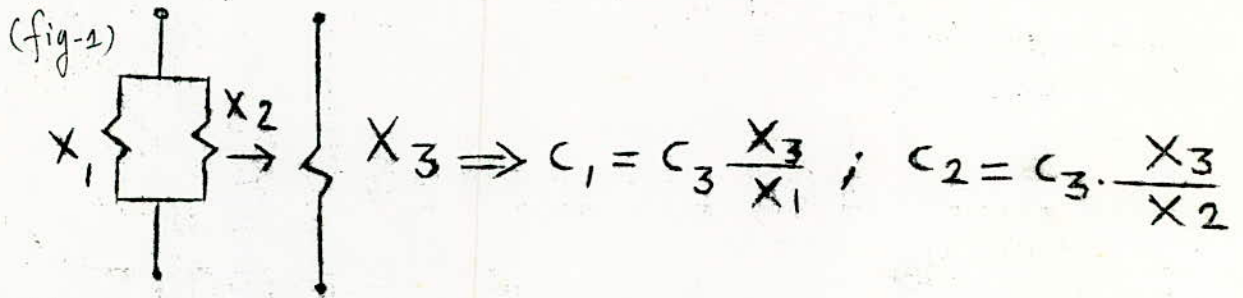
Dans le calcul pratique, on considère qu'on a une chute de tension aux bornes du générateur égal à 10% d'où  $E = 1,1 U_n$ , soit en prenant  $U_b = U_n$

$$E^* = \frac{1,1 U_n}{U_b} = \frac{E}{U_b} = 1,1$$

$$I''^* = \frac{1,1}{X_e^*}$$

c/On calculera ensuite la valeur réelle du C.C.C. et ceci en multipliant le courant subtransitoire  $I''^*$  par le courant de base de la tranche où est situé le point de C.C.

d/On calculera aussi les coefficients de participation de chaque branche alimentant le point de C.C. à l'aide des relations suivantes : (voir fig 1 et 2).



La réactance ultime (équivalente) ayant par définition un coefficient de participation  $C = 1$ .

e/ Les coefficients de participation vont permettre de calculer les C.C.C. dans chaque branche (K) moyennant la formule suivante :

$$I_k = C_k I_{bk} I^{*''}$$

$C_k$  : Coefficient de participation de la branche K,

$I_{bk}$  : Courant de base de la branche K,

$I^{*''}$  : Courant subtransitoire réduit.



IV.- A p p l i c a t i o n :

Ce chapitre n'est en fait qu'une application concrète des chapitres précédents.

On calculera d'abord, les C.C.C. triphasés ensuite les C.C.C. monophasés et ce pour le même point de C.C. Les résultats seront consignés dans des tableaux en fin de chapitre.

IV.1.- Court-Circuit triphasé au point K<sub>1</sub>

IV.1.1.- Calcul de la réactance équivalente:

Remarque : l'Astérisque caractérisant la grandeur réduite des réactances sera volontairement omise pour la facilité de l'écriture.

a/ Groupement des éléments en série : (voir schéma.2.)

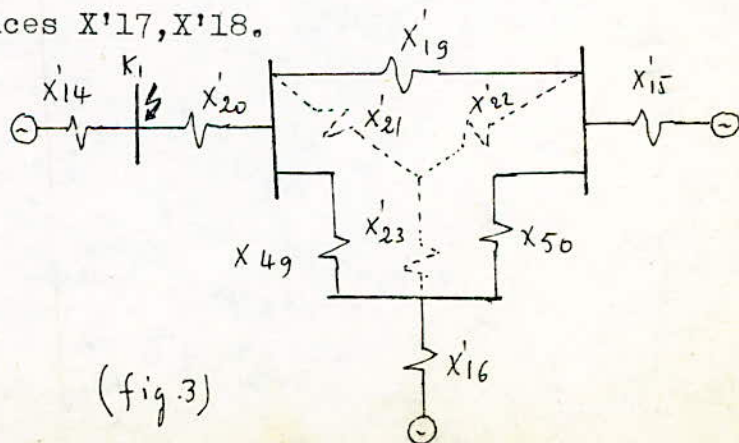
$X'1 = X1 + XII = 0, 220$	$X'8 = X8 + X18 + X21 = 1, 100$
$X'2 = X2 + X12 = 0, 220$	$X'9 = X9 + X18 + X19 + X22 = 1, 100$
$X'3 = X3 + X13 = 0; 220$	$X'10 = X10 + X20 + X23 = 1, 100$
$X'4 = X4 + X14 = 0, 880$	$X'11 = X41 + X42 = 0, 191$
$X'5 = X5 + X15 = 0, 880$	$X'12 = X45 + X46 = 0, 312$
$X'6 = X6 + X16 = 0, 880$	$X'13 = X47 + X48 = 0, 295$
$X'7 = X7 + X17 = 0, 880$	

b/ Groupement des éléments en parallèle : (voir schéma.2.)

$X'14 = X'1 \text{ II } X'2 \text{ II } X'3 = 0, 073$
$X'15 = X'4 \text{ II } X'5 \text{ II } X'6 \text{ II } X'7 = 0, 220$
$X'16 = X'8 \text{ II } X'9 \text{ II } X'10 = 0, 367$
$X'17 = X39 \text{ II } X40 = 0, 087$
$X'18 = X'11 \text{ II } X44 = 0, 096$
$X'19 = X'12 \text{ II } X'13 = 0, 152$

Groupons en série des réactances X'17, X'18.

$$X'20 = X'17 + X'18 = 0, 183$$



(fig.3)

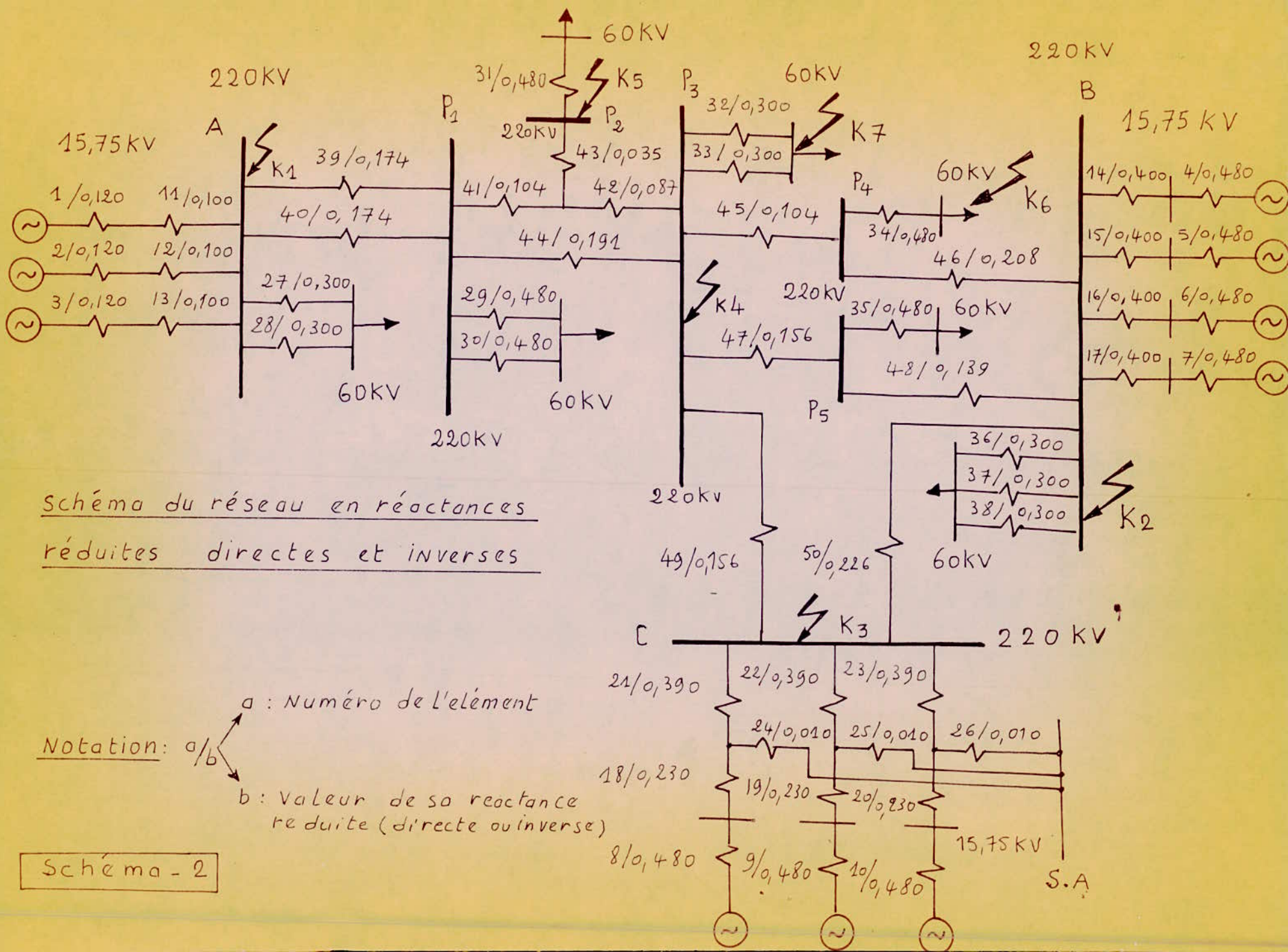


Schéma du réseau en réactances réduites directes et inverses

Notation:  $a/b$

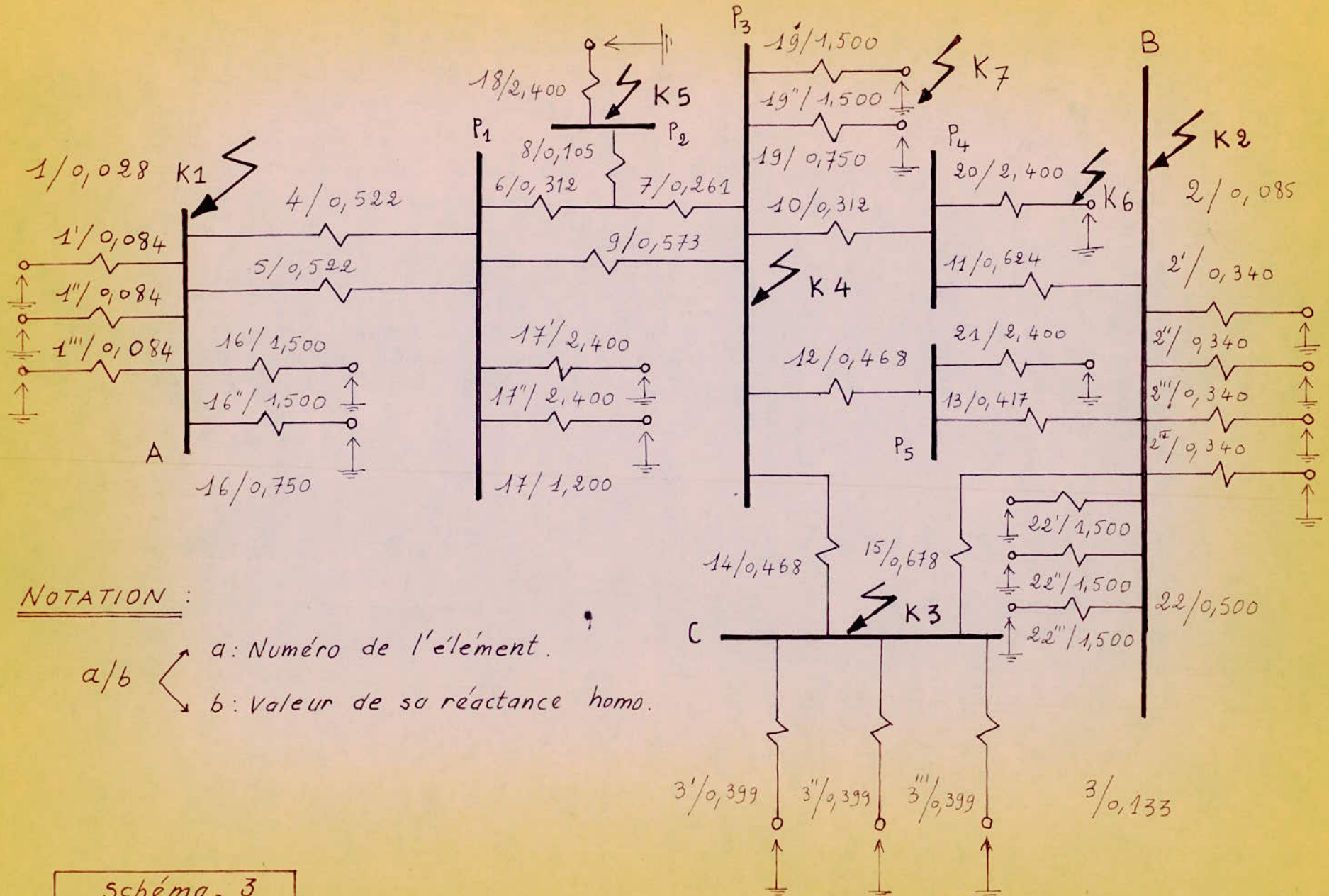
$a$ : Numéro de l'élément

$b$ : Valeur de sa réactance réduite (directe ou inverse)

Schéma - 2



# SCHÉMA DU RÉSEAU EN RÉACTANCE HOMOPOLAIRE RÉDUITE



NOTATION :

$a/b$   $\left\{ \begin{array}{l} a: \text{Numéro de l'élément.} \\ b: \text{Valeur de sa réactance homo.} \end{array} \right.$

Schéma - 3



Faisons la transformation

$$\Delta (X'_{19}, X'_{49}, X'_{50}) \rightarrow \Delta (X'_{21}, X'_{22}, X'_{23})$$

$$X'_{21} = \frac{X'_{19} \cdot X'_{49}}{X'_{19} + X'_{49} + X'_{50}} = 0,044$$

$$X'_{22} = \frac{X'_{19} \cdot X'_{50}}{X'_{19} + X'_{49} + X'_{50}} = 0,064$$

$$X'_{23} = \frac{X'_{49} \cdot X'_{50}}{X'_{19} + X'_{49} + X'_{50}} = 0,066$$

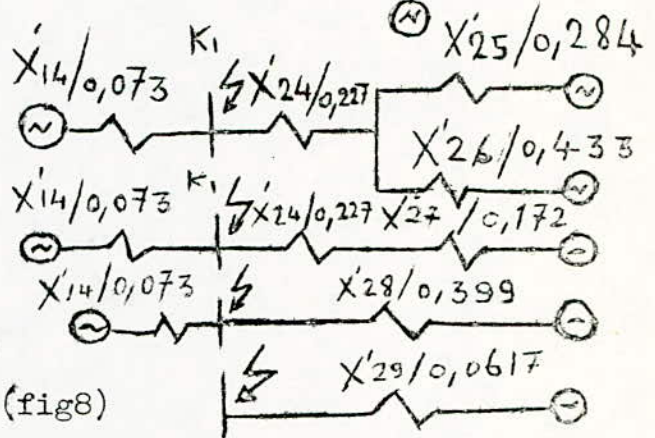
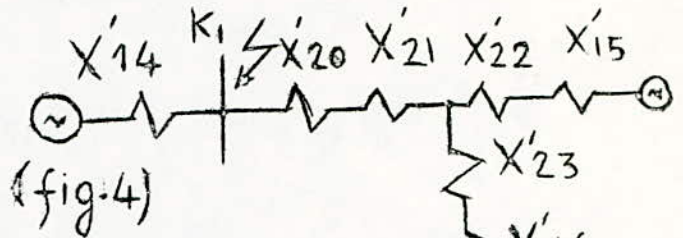
(voir fig.3)

En effectuant les calculs comme ci-dessus, on abouti au résultat final suivant : (fig 5)

$$\underline{\underline{X_e^* = 0,062}} \quad (\text{fig.6})$$

soit réactance directe (ou inverse) de : (fig;7)

$$X_e = X_e^* \cdot X_{bII} = 15 \Omega \text{ (côté 220 Kv) (fig8)}$$



IV.1.2.-Calcul des coefficients de participation:

Par définition  $C^*_{29} = 1$ , ensuite :

$$C'_{14} = C'_{29} \cdot \frac{X'_{29}}{X'_{14}} = 0,8454$$

$$C'_{28} = C'_{29} \cdot \frac{X'_{29}}{X'_{28}} = 0,1546$$

$$C'_{24} = C'_{27} = C'_{28} = 0,1546$$

$$C'_{25} = C'_{27} \cdot \frac{X'_{27}}{X'_{25}} = 0,0936$$

$$C'_{26} = C'_{27} \cdot \frac{X'_{27}}{X'_{26}} = 0,0610$$

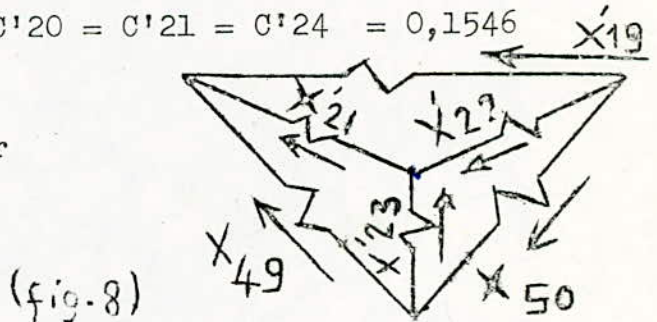
$$C'_{15} = C'_{22} = C'_{25} = 0,0936$$

$$C'_{16} = C'_{23} = C'_{26} = 0,0610$$

$$C'_{20} = C'_{21} = C'_{24} = 0,1546$$

Utilisons la loi de Kirchhoff relative aux mailles pour trouver les résultats suivants :

(voir fig 3 et 8)



$$C'19 = \frac{C'21 \cdot X'21 + C'22 \cdot X'22}{X'19} = 0,0842$$

$$C'49 = \frac{C'21 \cdot X'21 + C'23 \cdot X'23}{X'49} = 0,0694$$

$$C'50 = \frac{C'22 \cdot X'22 - C'23 \cdot X'23}{X'50} = 0,0087$$

On trouve, une fois le calcul terminé (valeur en %)

C1 = 28,18	C14 = 2,34	C 41 = 7,73
C2 = 28,18	C15 = 2,34	C 42 = 7,73
C3 = 28,18	C16 = 2,34	C 43 = 0
C4 = 2,34	C17 = 2,34	C 44 = 7,73
C5 = 2,34	C18 = 2,03	C 45 = 4,10
C6 = 2,34	C19 = 2,03	C 46 = 4,10
C7 = 2,34	C20 = 2,03	C 47 = 4,32
C8 = 2,03	C21 = 2,03	C 48 = 4,32
C9 = 2,03	C22 = 2,03	C 49 = 6,94
C10 = 2,03	C23 = 2,03	C 50 = 0,87
C11 = 28,18	C24 = ... = C38 = 0	
C12 = 28,18	C39 = 7,73	
C13 = 28,18	C40 = 7,73	

Remarque :

La somme des coefficients de participation de tous les générateurs alimentant le point de C.C. doit être égale à 1 (C'est à 100%), on vérifie bien qu'on a :

$$\sum_i C_{Gi} = 3 C1 + 4 C4 + 3 \cdot C8 = 99,99\%$$

soit une erreur de 0,01 % (due aux approximations des calculs).



IV.1.3.-Calcul des C.C.C. triphasés :

-Le courant subtransitoire réduit vaut :

$$I^* = \frac{1,1}{X_e} = 17,742$$

-Le courant réel au point K<sub>1</sub> vaut :

$$I_{cc} = I_{b11} \cdot I^* = 9,315 \text{ KA}$$

-Pour les différentes branches, il suffit d'appliquer la formule

$$I_k = C_k \cdot I_{bk} \cdot I^*$$

On trouvera les résultats suivants : (en KA)

I 1 = 36,653	I 14 = 0,218	I 41 = 0,720
I 2 = 36,653	I 15 = 0,218	I 42 = 0,720
I 3 = 36,653	I 16 = 0,218	I 43 = 0
I 4 = 3,044	I 17 = 0,218	I 44 = 0,720
I 5 = 3,044	I 18 = 0,189	I 45 = 0,382
I 6 = 3,044	I 19 = 0,189	I 46 = 0,382
I 7 = 3,044	I 20 = 0,189	I 47 = 0,402
I 8 = 2,640	I 21 = 0,189	I 48 = 0,402
I 9 = 2,640	I 22 = 0,189	I 49 = 0,646
I 10 = 2,640	I 23 = 0,189	I 50 = 0,081
I 11 = 2,625	I 24 = ... = I 38 = 0	
I 12 = 2,625	I 39 = 0,720	
I 13 = 2,625	I 40 = 0,720	
I 14 =		

Remarques :

-On pourra, comme précédemment vérifier que la somme des courants des branches alimentant le C.C. est égale à  $I_{cc} = 9,315 \text{ KA}$

-On remarque aussi que les groupes de la centrale A participent avec un taux de 28,18% (chacun) à l'alimentation du C.C. et accusent en conséquence une surintensité de presque 5 fois le courant nominal. Les résultats sont tout à fait prévisibles puisque le C.C. est tout près de ces alternateurs.



Par un calcul analogue on trouvera les résultats concernant les C.C.C. triphasés et monophasés et qui sont portés dans les tableaux suivants :

TABLEAU N° 3

Donnant les valeurs des courants  
DE court-circuit monophasés $I_{cc} (KA)$ 

$\begin{matrix} N^{\circ} \text{ pt. cc} \\ N^{\circ} \text{ Branche} \end{matrix}$	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
$I_{cc} (ki)$	10,497	5,433	4,318	4,267	2,027	0,396	1,087
$1' = 1'' = 1'''$	44,964	0,661	0,819	3,855	2,891	0,265	1,206
$2' = 2'' = 2''' = 2^{IV}$	0,163	17,805	2,691	4,172	1,332	0,712	1,299
$3' = 3'' = 3'''$	0,582	2,142	14,615	4,223	1,383	0,326	1,313
4	0,231	0,073	0,092	0,431	0,322	0,030	0,134
5	0,231	0,073	0,092	0,431	0,322	0,030	0,134
6	0,173	0,085	0,106	0,500	0,800	0,034	0,155
7	0,134	0,111	0,140	0,657	0,965	0,045	0,205
8	0,039	0,024	0,034	0,161	1,768	0,011	0,050
9	0,155	0,096	0,122	0,570	0,003	0,039	0,178
10	0,050	0,200	0,105	0,639	0,205	0,236	0,199
11	0,030	0,267	0,068	0,482	0,154	0,160	0,150
12	0,048	1,179	0,099	0,621	0,197	0,034	0,193
13	0,030	1,262	0,068	0,501	0,160	0,025	0,156
14	0,147	0,071	0,634	0,973	0,315	0,064	0,303
15	0,022	0,531	0,545	0,067	0,018	0,005	0,020
$16' = 16''$	0,189	0,003	0,004	0,017	0,012	0,001	0,005
$17' = 17''$	0,065	0,017	0,022	0,104	0,078	0,007	0,032
18	0,039	0,024	0,034	0,161	0,260	0,011	0,050
$19' = 19''$	0,043	0,065	0,082	0,385	0,125	0,027	0,544
20	0,020	0,067	0,038	0,157	0,051	0,396	0,049
21	0,017	0,083	0,032	0,200	0,039	0,010	0,037
$22' = 22'' = 22'''$	0,002	0,217	0,033	0,051	0,016	0,009	0,016



TABLEAU N° 4

Donnant Les valeurs

des courants de court-circuit triphasés

$I_{cc}$  (KA)

$\begin{matrix} \text{N° du Pt de cc} \\ \text{N° Branche} \end{matrix}$	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
$I_{cc}$ (ki)	9,315	5,022	4,310	4,936	2,456	3,279	7,931
1, 2, 3	36,653	6,591	6,156	10,518	9,502	1,662	4,609
4, 5, 6, 7	3,044	9,168	4,855	5,635	0,868	1,224	2,469
8, 9, 10	2,640	4,558	7,419	4,935	0,765	1,095	2,165
11, 12, 13,	2,625	0,472	0,482	0,753	0,680	0,018	0,330
14, 15, 16, 17	0,218	0,656	0,348	0,403	0,062	0,088	0,177
18 à 23	0,189	0,326	0,531	0,353	0,055	0,078	0,155
32, 33	0	0	0	0	0	0	3,965
39, 40	0,720	0,708	0,661	1,130	1,022	0,179	0,495
41	0,720	0,708	0,661	1,130	1,582	0,179	0,495
42	0,720	0,708	0,661	1,130	0,875	0,179	0,495
43	0	0	0	0	2,457	0	0
44	0,720	0,708	0,661	1,130	0,462	0,179	0,495
45	0,382	0,512	0,099	0,429	0,110	0,551	0,311
46	0,382	0,512	0,099	0,429	0,110	0,343	0,311
47, 48	0,402	0,537	0,104	0,454	0,110	0,047	0,331
49	0,646	0,349	1,525	1,209	0,187	0,186	0,530
50	0,081	0,746	1,189	0,173	0,023	0,049	0,065

Remarque : Les courants  $I_1', I_2', I_3'$  (TAB. 3) et  $I_1, I_2, \dots, I_{10}$  (TAB. 4) sont calculés pour l'échelon de TENSION 15,75kV, Les autres courants pour l'échelon 220kV



2<sup>ème</sup> PARTIE

*PROTECTIONS : ETUDE  
ET REGLAGE.*

2<sup>eme</sup> PARTIE

V . GENERALITES RELATIVES AUX RELAIS ET PROTECTIONS:

V . 1. RELAIS :

V . 1. 1. Définition:

Le relais est un appareil sensible aux variations des grandeurs issues du réseau, ou de l'élément à protéger, et qui transmet un ordre aux organes de signalisation et de commande (en général un disjuncteur).

Le relais est donc sensible à l'une ou à plusieurs des grandeurs suivantes:

- La tension,
- 1'Impédance,
- 1'Intensité,
- La Fréquence,
- La puissance,
- La Température...etc.

V. 1. 2. CONSTITUTION D'UN RELAIS:

Le Relais est généralement constitué des parties suivantes:

- 1°- Un organe moteur,
- 2°- Un organe antagoniste,
- 3°- Un organe amortisseurs,
- 4°- Des contacts.

V. 1.3. Caractéristiques d'un relais:

Le relais est caractérisé en général par:

- Les grandeurs nominales de son alimentation,
- Le seuil de fonctionnement, (pour un relais
- La plage de fonctionnement. de mesure)
- La sensibilité,
- La fourchette, ou pourcentage de retour.

V . 1.4. Classification des relais:

On peut les classer suivant deux critères:



- a) suivant le mode de fonctionnement (c.à.d. suivante l'organe moteur : magnéto électrique, ferrodynamique, à induction....)
- b) Suivant le mode de réaction du relais vis à vis des grandeurs auxquelles il est sensible:
  - 1°- Relais à maximum,
  - 2°- Relais à minimum,
  - 3°- Relais à directionnels,
  - 4°- Relais à différentiels,
  - 5°- Relais à balance.

## V. 2. PROTECTIONS:

Le sont tous les dispositifs fonctionnant en B.T. et utilisés pour mesurer différentes grandeurs caractérisant un défaut donné ou un régime anormal, et engendrer des ordres préétablis afin de mettre fin à cette perturbation.

### V. 2. 1. Qualités exigées d'une protection:

Diverses qualités sont demandées à un équipement de protection.

- La rapidité: En effet, le réseau est d'autant moins perturbé que le fonctionnement de ses dispositifs de protection réagissent le plus rapidement possible.
- La sélectivité: L'ordre émis par le dispositif de protection ne doit éliminer que la zone en défaut à l'exclusion de toute autre zone.
- La fiabilité: La protection doit fonctionner à coup sûr pour tous les défauts auxquelles elle est conçue. En revanche, elle ne doit pas fonctionner intempestivement pour les autres défauts.

### V. 2. 2. Les différents systèmes de protection:

suivant la grandeur physique qui fait fonctionner le relais, on distingue les types suivants de système de protectionner:

- 1°- Système de protection ampérométrique,
- 2°- Système de protection Voltmétrique,
- 3°- Système de protection wattmétrique,
- 4°- Système de protection de distance,

5°- Système de protection fréquentométrique.

Nous allons essayer de montrer dans les chapitres suivants comment on utilise des combinaisons de ces systèmes afin d'avoir une protection sûre du réseau (on s'intéressera plus particulièrement à la protection contre les surintensités).



VI PROTECTION DES TRANSFORMATEURS :

Le Transformateur est un organe vital du réseau, malheureusement il est sujet à plusieurs défauts ayant des origines variées.

Nous donnons ci-dessous les principaux défauts pouvant affecter un transformateur et la protection appropriée qu'il faut utiliser pour chaque cas.

DEFAUT	TYPE DE PROTECTION A UTILISER
1°- Refroidissement anormal de la cuve.	- Protection thermométrique de cuve.
2°- Surcharge thermique	- Relais thermique - Image thermique
3°- Court-circuit	- Buchholz - Protection de masse - Protection différentielle.

VI 1. PROTECTION CONTRE LES ANOMALIES DE REFROIDISSEMENT.

VI 1.1. PROTECTION THERMOMETRIQUE DE CUVE :

Elle est destinée surtout à déceler une anomalie de refroidissement de la cuve (arrêt du dispositif de ventilation, ou de circulation d'huile). Elle est toujours utilisée conjointement à d'autres protections plus perfectionnées.

L'élément de mesure peut être :

- Un thermomètre à cadran,
- Thermostat à bilame.

Avec chacun des contacts réglables, donnant l'alarme quand la température de l'huile atteint 75°C et le déclenchement pour 80°C

VI; 2 PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES :

VI.2.1 Echauffement de l'enroulement :

Les surcharges causent la détérioration rapide des enroulements du transformateur et réduisent considérablement sa puissance nominale.

.../...

La température  $T_c$  de l'enroulement d'un transformateur est la somme de trois facteurs :

$\theta_a$  : La température ambiante.

$\theta_h$  : Echauffement de l'huile au-dessus de la température ambiante  $\theta_a$ ,

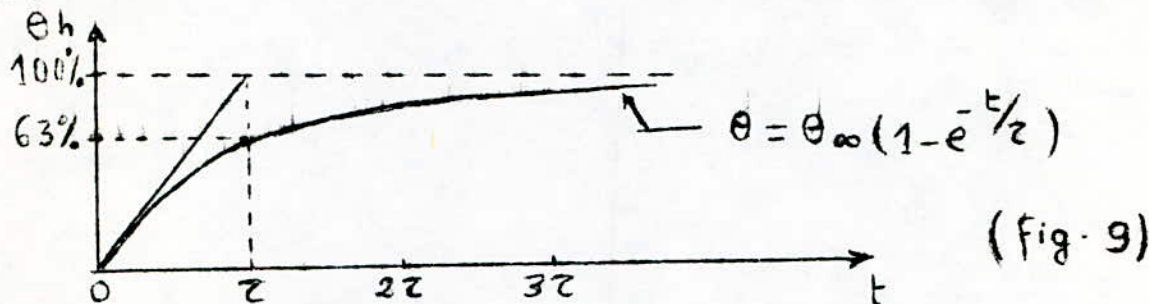
$\theta_e$  : Echauffement de l'enroulement au-dessus de la température de l'huile  $\theta_h$  :

donc

$$T_e = \theta_a + \theta_h + \theta_e$$

L'échauffement de l'huile ( $\theta_h$ ) atteint son maximum en haut de la cuve. Pour des régimes de charges stables, la fonction  $\theta_h = F(t)$  est une fonction exponentielle (fig 9). La rapidité de la variation de  $\theta_h$  est caractérisée par une constante physique importante  $T_{hc}$  : appelée " constante de temps huile-cuivre " représentant le temps nécessaire pour atteindre 63 % de l'échauffement permanent ( $\theta_\infty$ ). Cette valeur est selon les transformateur comprise entre 3 - 15 mn. Le passage d'un régime de charge à un autre entraîne une variation, lente de  $\theta_h$  ( car la capacité calorifique de l'huile étant élevée ) et une variation rapide de  $\theta_e$  qui, elle dépend de l'intensité qui parcourt l'enroulement du transformateur.

La température  $T_e$  est reconstituée à l'aide d'image et de relais thermiques.



## VI 2.2

### RELAIS THERMIQUE

Nous étudierons un cas pratique qui à démontré durant des années son efficacité et sa fiabilité : c'est le relais ST de B B C (suisse ) (fig 10 )

#### A - Présentation :

C'est un relais thermique secondaire servant à la protection contre les surcharges des différentes parties des installations électriques (transformateur, cable, machine, )

Il est caractérisé par son grand pouvoir d'adaptation à l'objet à protéger et ce par un choix judicieux de la constante de temps thermique du relais ( $\tau_{th} = 20 \cdot 110mn$ )

Le relais S T est équipé par un relais à max. I qui fonctionne instantanément une fois son réglage dépassé, ou temporisé en lui associant un relais de temps. Ce relais à max. I. constitué ainsi une protection contre les C - C..

#### B - CONSTITUTION :

L'organe thermique de mesure se compose :

1° d'un système de mesure :

( Constitué d'une colonne de bande bimétal )

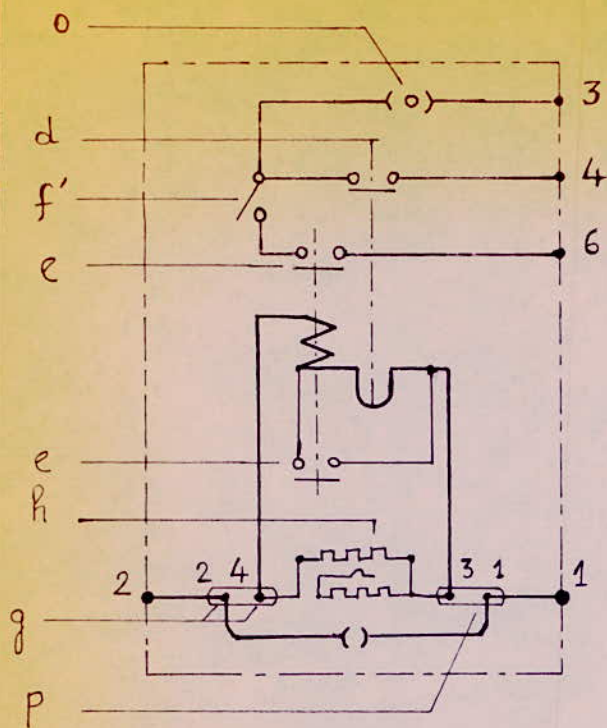
2° d'un accumulateur de chaleur :

( Constitué de plaques métalliques, qui par leur nombre, et leurs dimensions déterminent la constante de temps du relais )

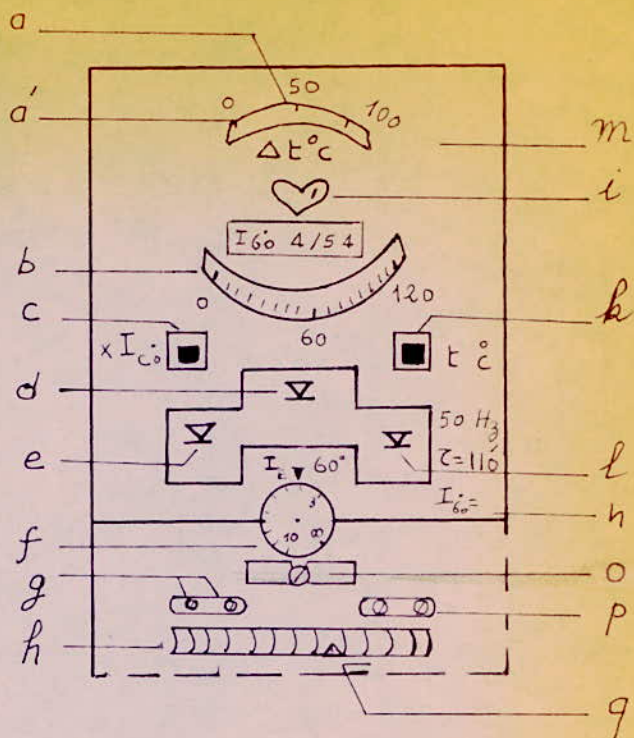
3° d'un ruban de chauffage :

( parcouru par le courant d'alimentation et sert à chauffer les bandes bimétal et l'accumulateur de chaleur ).





(fig 10) Schéma interne du relais thermique ST



Face avant du relais thermique ST

### Légende:

- a : index de l'échauffement
- a' : index repère
- b : index de réglage de l'échauff<sup>t</sup> de décl<sup>t</sup>
- c : signal de décl<sup>t</sup> au courant limite
- d : contact de décl<sup>t</sup> thermique
- e : contact interne
- f : échelle de réglage du décl<sup>t</sup> au courant limite
- f' : contact de blocage
- g : bornes d'essai
- h : rhéostat d'ajustage
- i : bouton de rappel pour l'index repère
- k : signal de décl<sup>t</sup> thermique
- l : contact pour le décl<sup>t</sup> au courant limite
- m : plaque frontale
- n : marquage du courant de réglage
- o : fiche à vis de bornes d'essai
- P : barrettes des bornes d'essai
- q : vis pour la compensation du courant de réglage

Le système de mesure modifie sa longueur proportionnellement à la température et fait varier par une barette isolante la position de l'index d'échauffement (a).

Le contact de déclenchement revient à sa position de repos dès que l'échauffement baisse de (1 - 20) % en dessous de la valeur de déclenchement.

Le relais est prévu pour un réglage de courant entre 4 et 5 A. (en cas de nécessité il faut l'adapter ).

C DONNEES TECHNIQUES /

- Etendue de réglage du courant pour la . . . . . 4 - 5 A  
température à l'état permanent (0 ∞)
- Résistance mécanique au c.c. (t < 0,3 s) . . . . . 40 I<sub>e</sub>
- Constante de temps, à choisir . . . . . 20, 30, 4,60, 80, 110 mn
- Température de réglage . . . . . 0°, 60° 120° (0; ;100 %...200 % )
- déclenchement au courant limité , réglable 3 - 10 I<sub>E</sub> ou bloqué.
- Consommation propre à . 4 A .....7,2 V A  
à . 5 A .....9 V A

( I<sub>E</sub> : courant d'ajustage correspondant à 0 ∞)

VI . 3 . PROTECTION CONTRE LES C.C.C.

VI. 3; 1. PROTECTION BUCHHOLZ

A - principe :

Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve du transformateur décomposent une certaine quantité d'huile ou d'isolant solide et provoquent un dégagement gazeux qui monte vers la partie supérieure de la cuve et de là vers le conservateur d'huile.

La protection BUCHHOLZ est basée sur la détection de ces gaz, qui en fonction de la quantité et de la vitesse de ce dégagement gazeux donne le signal d'alarme ou de déclenchement. (fig 11)

(fig 11 )

- 1 Contacts d'alarme (c1) et de déclenchement(c2)
- 2 Robinet de prise de gaz
- 3 Flotteur supérieur (alarme )
- 4 Carter
- 5 Huile
- 6 Flotteur inférieur(déclenchement )
- 7 Robinet de vidange et d'essai

La protection BUCHHOLZ est efficace contre tous les défauts d'isolement survenant à l'intérieur de la cuve du transformateur contre les ruptures de conducteurs et les mauvais contacts de prises, et contre les échauffement anormaux du circuit magnétique.

La quantité de gaz accumulée dans le relais ( ou dissoute dans l'huile ) ainsi que sa constitution renseigne sur l'importance et la nature du défaut.

L'analyse chimique des gaz indiqués ci-dessus indique un manque d'huile,



L'analyse chimique des gaz permet de connaître l'origine des troubles.

- Ainsi par exemple des gaz incombustibles indiquent un manque d'huile, des restes d'air, ..

- Tandis que des gaz combustibles proviennent généralement d'arcs, d'isolation défectueuse et de c.c.

### VI. 3.2. PROTECTION DE MASSE

#### A - Principe :

Tout contournement de la cuve du transformateur, ou tout contournement d'une borne de traversée donne naissance à un courant de défaut qui se dérive vers la terre par l'intermédiaire de la cuve, par les différents chemins qui lui sont offerts. Si l'on crée une jonction peu résistante entre la cuve et la prise de terre du poste, la presque totalité du courant de défaut l'empruntera pour rejoindre la terre. Il suffit alors d'intercaler dans cette jonction un T.C. (qui alimente un relais ampéremétrique sensible et robuste) pour détecter le passage du courant : C'est le principe de la protection de masse.

#### B - Calcul des réglage de la protection de masse

Désignons par (voir fig 12 )

$Z_p$  : L'impédance des liaisons parasites entre le transformateur et la terre.

$Z_R$  : L'impédance du la pr T.C. assurant la liaison.

$Z_s$  : L'impédance de la prise de terre du poste.

Le réglage de la protection de masse doit être tel que celle-ci demeure sensible aux défauts se produisant sur le transformateur, mais reste insensible aux défauts ayant leur siège à l'extérieur du transformateur ( ligne en particulier ).

#### B - 1. Défaut sur le transformateur ( fig 12 -a )

Le courant de défaut  $J_T$  revient :

- par le neutre du transformateur avarié,

- par les impédances phases - neutre des autres transformateur du réseau.

En appelant

$J_n$  : le courant du neutre du transformateur avarié

$J_{RT}$  : le courant dans le T.C. pour un défaut sur le transformateur.

$J_p$  : le courant dans les impédances parasites

$J_s$  : le courant dans la prise de terre.

En désignant par " a " (  $a \leq 1$  ) le coefficient représentant la part du courant  $J_T$  qui traverse le neutre du transformateur avarié, on démontre facilement la relation suivante :

$$\frac{J_{RT}}{J_T} = \frac{Z_p + a Z_s}{Z_p + Z_R + Z_s} \quad (1)$$

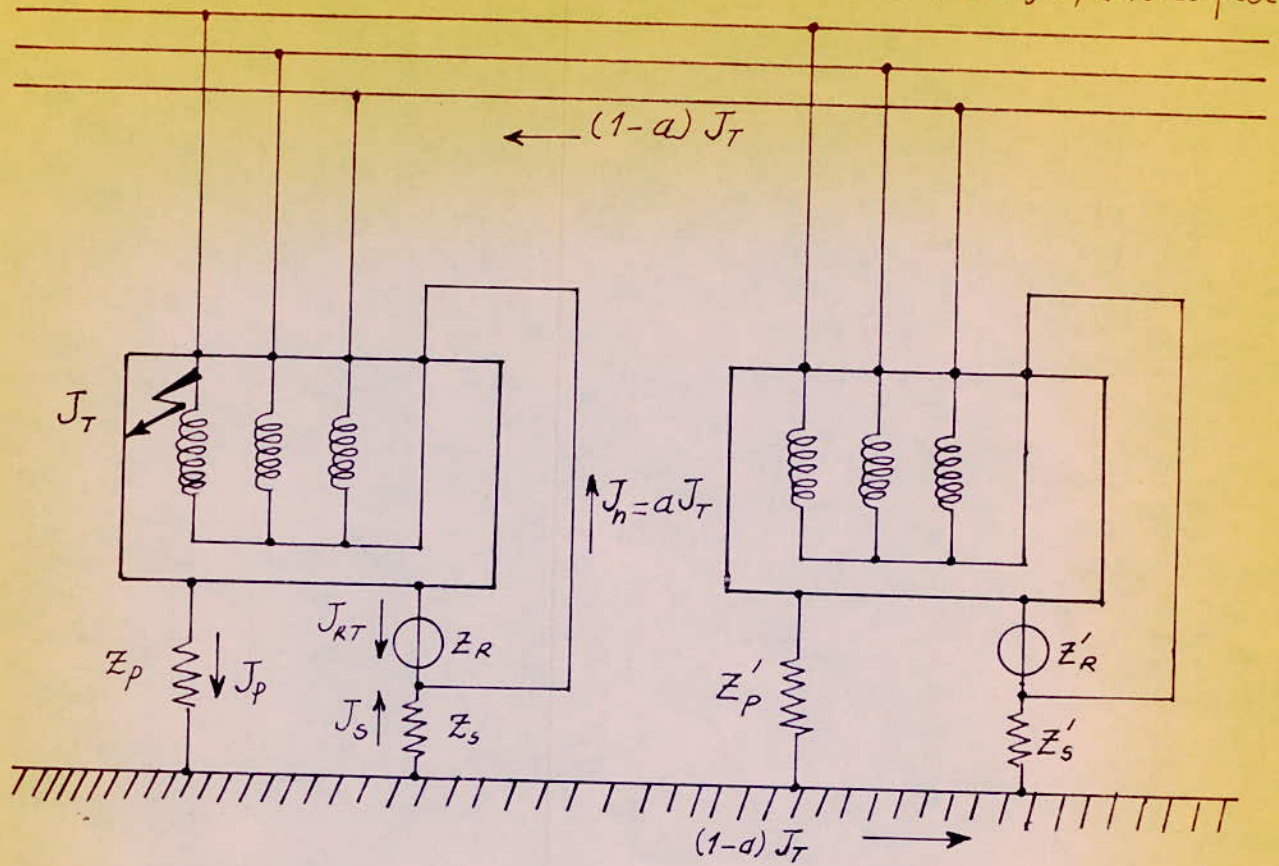
#### B - 2. Défaut en ligne ( fig 12 - b )

En utilisant les mêmes notations que précédemment et en désignant par " b " (  $b < 1$  ) le coefficient qui représente la part du courant  $J_L$  empruntant le neutre du transformateur avarié on peut montrer qu'on a cette fois :

$$\frac{J_{RL}}{J_L} = \frac{b Z_s}{Z_p + Z_R + Z_s} \quad (2)$$

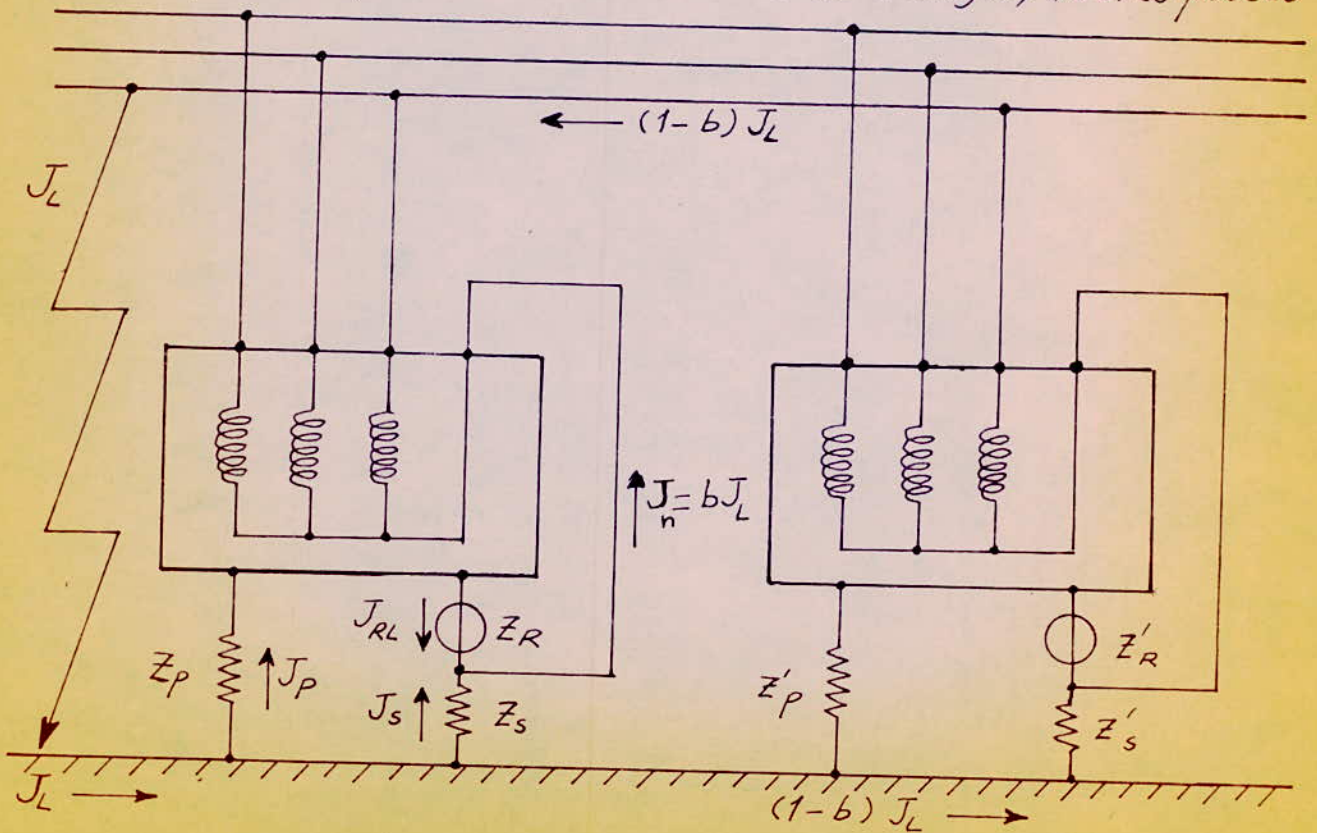
transfo du poste

autres transfos, autres postes



transfo du poste

autres transfos, autres postes



« fig. 12a et 12b » Défaut sur transfo, défaut en ligne.



B - 3. Réglage

Le réglage  $J_o$  de la protection de masse doit être tel que :

$$J_{RL} < J_o < J_{RT}$$

soit 
$$\frac{b Z_s \cdot J_L}{Z_p + Z_R + Z_s} < J_o < \frac{Z_p + a Z_s}{Z_p + Z_R + Z_s} J_T \quad (3)$$

avec  $J_L$  : le courant max. de défaut à la terre en ligne

$J_T$  : le courant min. de défaut que l'on désire détecter sur le transformateur à protéger.

B - 4 . Réalisation pratique de la protection :

La double inégalité (3) s'écrit dans le cas le plus général sous la forme :

$$Z_s (bJ_L - aJ_T) < Z_p \cdot J_T$$

qui montre la nécessité d'une isolation entre la cuve du transformateur et la terre assez importante. Et afin d'éviter le fonctionnement de la protection pour un défaut sur les auxiliaires alternatifs du poste, il faut :

- Isoler convenablement ces éléments,
- Limiter le courant à la terre des auxiliaires B.T. à 100 A par insertion d'une résistance dans le neutre ; le courant de neutre fera alors fonctionner un relais d'alarme.

VI. 3.3. PROTECTION DIFFERENTIELLE :

A - Principe :

La protection différentielle, en comparant les courants à l'entrée et à la sortie d'un transformateur, est capable de détecter tous les défauts internes qui l'affectent.

En l'absence de défaut, les courants  $i_1$  et  $i_2$  délivrés par les T.C. (fig 13-a) sont égaux, et le couple moteur du relais différentielle, sensible à  $(i_1 - i_2)$  est nul. Dès que le transformateur est sujet à un défaut interne quelconque ces deux courants différent en grandeur et en phase, et le relais différentiel se trouve excité, donne l'ordre de déclenchement aux disjoncteurs endadrant le transformateur.

Malheureusement cette protection comporte 3 inconvénients majeurs.

- 1°- L'équilibre ( au rapport de transformation près ) des courants primaires et secondaire des T.C. n'est réalisé qu'au courant magnétisant près.
- 2°- La sensibilité de détection est faible.
- 3°- Les T.C. étant établis pour des tensions différentes ne peuvent jamais avoir des courbes de saturation tout à fait superposables.



### B. RELAIS DIFFERENTIEL

Le relais utilisé dans la protection différentielle est le plus souvent du type à pourcentage qui, par sa caractéristique de fonctionnement limite les inconvénients du déclenchement intempestif.

L'enroulement moteur M (Possédant n spires) est parcouru par la différence des courants ( $i_1 - i_2$ ).

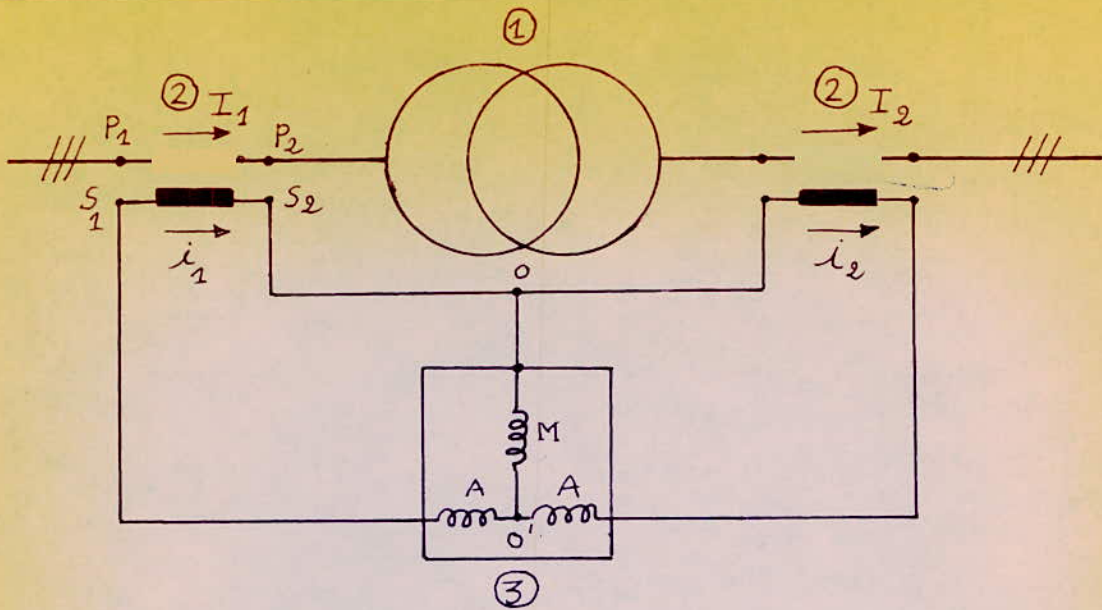
L'enroulement antagoniste A (possédant n' spires) est constitué de deux enroulements, l'un parcouru par le courant  $i_1$ , l'autre par le courant  $i_2$ .

Pour que le relais fonctionne, il faut que le f.m.m. de l'organe moteur soit supérieure à celle de l'organe antagoniste :

$$n (i_1 - i_2) > \frac{n'}{2} (i_1 + i_2) \quad \text{d'où} \quad \frac{i_1 - i_2}{\frac{i_1 + i_2}{2}} > \frac{n'}{n}$$

On pose  $g = \frac{n'}{n} \times 100$  qui caractérise le pourcentage du relais. En règle général

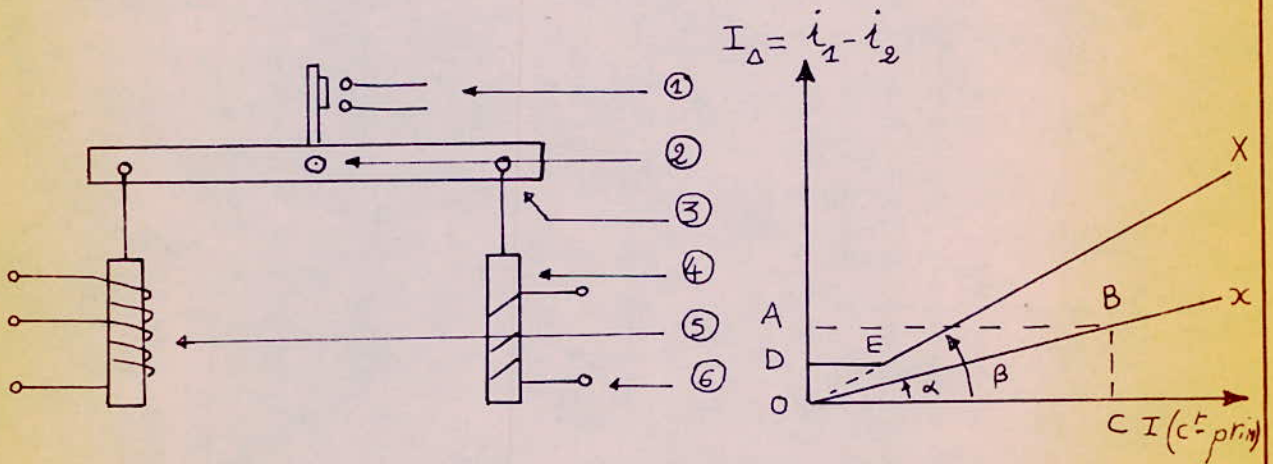
$g = 5, 10, \dots, 40 \%$ . Ce qui signifie que pour un relais d'intensité nominal 5 A et un pourcentage de 20 %, celui ci fonctionne pour une différence de courant de  $5 \times \frac{20}{100} = 1$  A (côté relais bien sur)



« fig 13a » principe de l'alimentation d'un relais à pourcentage

- ① Transfo. à protéger
- ② Transfo. de courant
- ③ Relais à pourcentage

A: enroulements antagonistes  
M: enroulement moteur  
 $i_1, i_2$ : Courants sec. des T.C



« fig 13b » Principe et caractéristique du relais à pourcentage

- ① -contact
- ② Axe d'articulation
- ③ Fléau
- ④ Noyau
- ⑤ Enroulement antagoniste ( $i_2$  et  $i_1$ )
- ⑥ Enroulement moteur ( $i_1 - i_2$ )

DEX: Courant de fonctionnement du relais à pourcentage



#### VI. 4. APPLICATION

Nous donnerons ici ~~la~~ méthode de réglage des protections :

- De surcharge thermique,
- De défaut à la masse,
- Différentielle.

Nous prendrons comme objet d'étude, les transformateurs de la centrale A  
Pour les autres transformateurs, il suffit de faire une étude similaire.

##### VI.4.1 REGLAGE DU RELAIS THERMIQUE :

###### 1° - Caractéristiques du transformateur à protéger :

- Puissance nominale .....  $S_n = 200$  MVA
- Tension primaire .....  $U_1 = 15,75$  KV
- Tension secondaire .....  $U_2 = 242$  KV
- Courant nominal H.T. ....  $I_n = 477$  A
- R Rapport de transformation des T.C. ....  $K_T = 500/5$  A.
- Echauffement permanent du transformateur. ....  $\theta^I = 70^\circ$  C

###### 2° - Courant d'ajustement $I_E$

Le courant nominal traversant le relais vaut :  $477 \times 5/500 = 4,77$  A  
Ce courant est bien compris entre 4 et 5 A et ne nécessite donc pas d'adaptation

Le courant d'ajustement sera donc  $I_E = 4,77$  A.

On réglerà le rhéostat à  $I_E = 4,77$  A.

Le relais thermique montre alors au courant de pleine charge 477 A  
un échauffement permanent de  $70^\circ$  C.

###### 3° - Déclenchement par surcharge thermique :

Le déclenchement se règle en général à  $5 - 10^\circ$  C au dessus de l'échauffement permanent. On réglerà à  $80^\circ$  C.

###### 4° - Déclenchement instantané par courant limite (max.I) :

L'étendue normale de réglage du relais est de  $(3 - 10) I_E$  et  
( position bloqué : pas de déclenchement au courant limite)  
La valeur de réglage doit vérifier :

$$I(\text{max. adm.}) \leq I_R \leq I(\text{min.c.c.})$$

ou

$I(\text{max.adm.})$  : Valeur de la plus forte pointe de courant à laquelle on peut s'attendre en service.

$I(\text{min.c.c.})$  : Courant de c.c. le plus faible du réseau au point de montage qu'on ne veut pas laisser passer.

Si on admet une surcharge de 20 %, la valeur de réglage  $I_R$  doit être nettement supérieure à :

$$\frac{120 \times 477}{100} \times \frac{5}{500} = 5,724 \text{ A} \approx 1,2 I_E.$$



On affichera  $I_{LIM} = 3 I_E = 14,31 \text{ A}$  ( valeur minimale permise par le relais ).

On aura donc un déclenchement instantané .

Quand le transformateur sera parcouru par une surintensité de :

$$14,73 \times 500/5 = 1,473 \text{ KA.}$$

Soit pratiquement pour les défauts triphasé et monophasé en K1  
( Voir tableaux 3,4 )

Remarque : On choisira le relais auxiliaire qui donnera l'ordre de déclenchement, de façon qu'il ait une temporisation propre de 0,5". Ceci afin de permettre aux protections barres et lignes de fonctionner les premier, et assurer ainsi la sélectivité d'élimination de défaut.

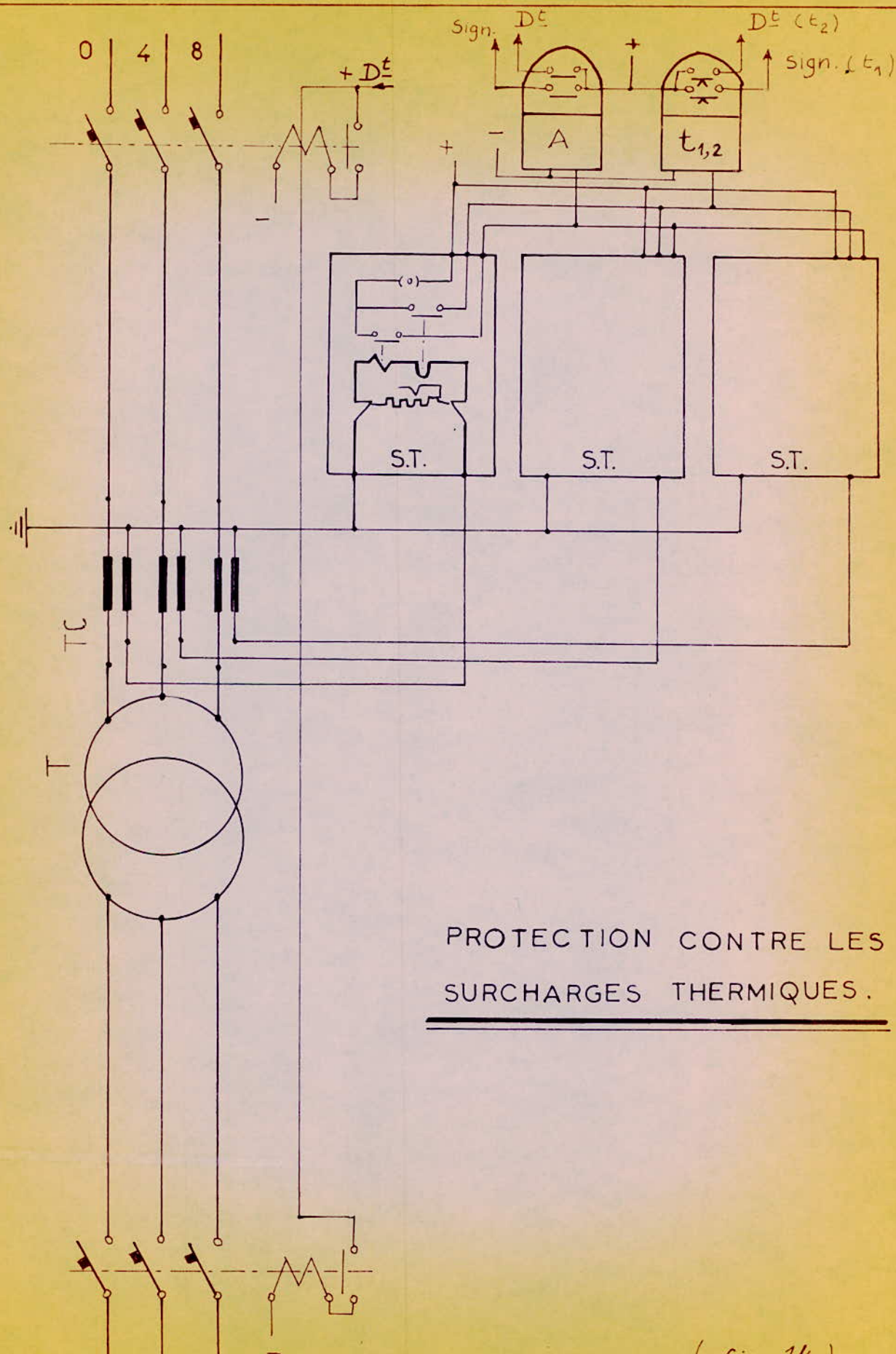
5°- Constante de temps :

La constante de temps  $\tau_R$  du relais doit être approximativement égale ou un peu inférieure à celle du transformateur  $\tau_R \leq \tau_T$

Pour une puissance du transformateur supérieure à 40 MVA, on prend  $\tau_R = 110 \text{ ms}$  quelque - soit le mode de refroidissement.

Le réglage de la constante du temps est fait sur commande, par le constructeur et sera affiché sur la face avant du relais, ainsi que la température permanente  $\theta_{\infty} = 70^\circ\text{c}$

Pour le montage de la protection de surcharge voir (fig 14 ).



PROTECTION CONTRE LES  
SURCHARGES THERMIQUES.

( fig- 14 )

VI. 4.2; REGLAGE DE LA PROTECTION DE MASSE

Le réglage du courant de défaut doit vérifier l'inégalité :

$$\frac{bZ_s \cdot J_L}{Z_p + Z_R + Z_s} < J_o < \frac{Z_p + aZ_s}{Z_p + Z_R + Z_s} J_T$$

Le courant de seuil est donc :

$$J_o = \frac{b Z_s}{Z_p + Z_R + Z_s} \cdot J_L$$

$b = 1$  (cas le plus défavorable : le défaut étant le plus proche possible du transformateur à protéger).

$Z_s$  : Impédance de prise de terre =  $1 \sim$  ( neutre H.T. mis directement à la terre ).

$Z_p$  : Impédance d'isolement de la cuve par rapport à la terre  $\gg 40 \sim$

$Z_R$  : Impédance du T.C.

Caractéristiques des appareils utilisés : ( constructeur : SCHLUMBERGER )

	RMA 410	RT 210
Alimentation :		
- Intensité nominale ou plage d'utilisation	5 - 10 A ou 1 - 2 A	100 - 140 V c.c.
- Consommation	0,1 VA	7 W
Seuil de fonctionnement :		
- Domaine d'ajustement	3 - 12 A	
- Temporisation	ou 0,6 - 2,4 A	1 - 2 s ( au retour )

Transformateur de courant auxiliaire :

- primaire en général 200 A
- secondaire 1 ou 5 A
- consommation 5 VA
- classe 2



Pour un court-circuit monophasé, au Jeux de barres A. (point de C.C. K1 )  
le transformateur est parcouru par un courant égal à  $J_L = 3220 \text{ A}$   
Le relais sera donc traversé par un courant de :

$$J_o = \frac{1 \cdot 1 \cdot \dots}{44 + 5 + 1} \cdot \frac{3220 \times 1}{200} = 3,22 \text{ A}$$

On règlera donc le relais ampermetrique RMA 410 à  $J_R = 3,5 \text{ A}$

Remarques :

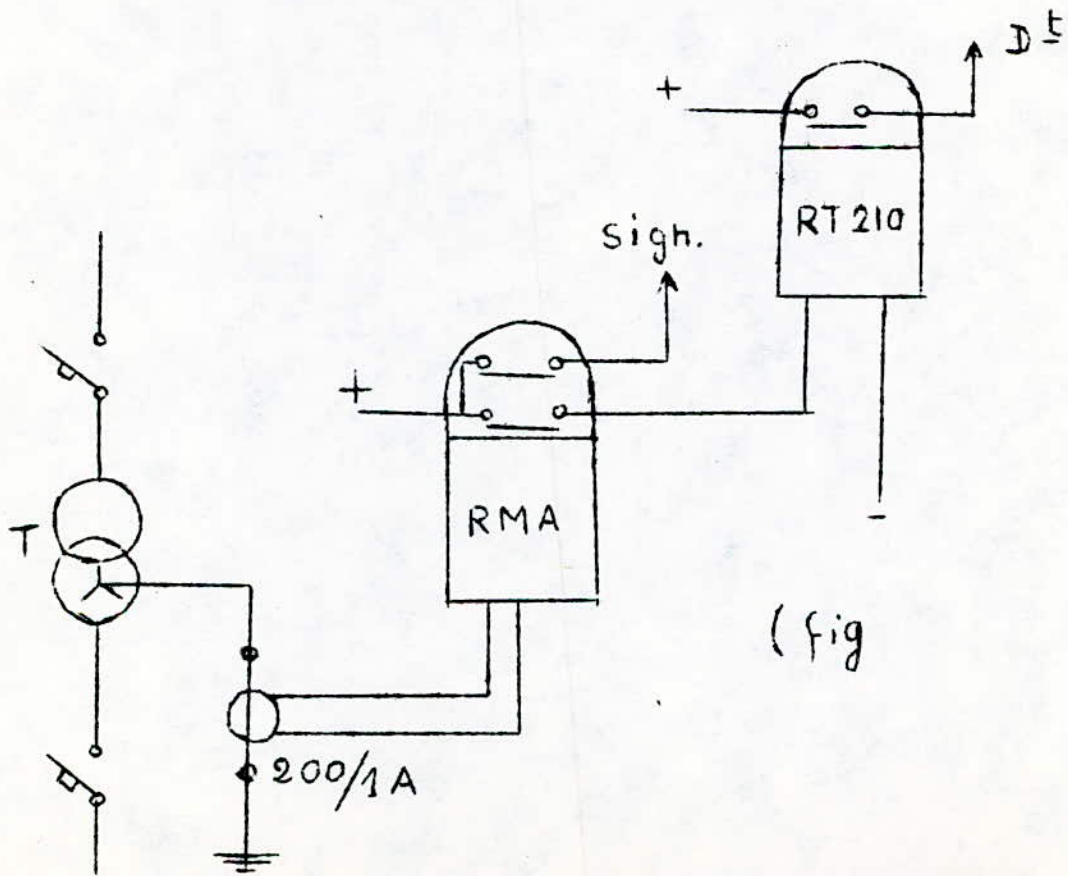
1 - Le courant de fuite capacitif des 2 lignes en parallèle vaut

$$J = 2 \times 3 \text{ Cow.Vl} = 2 \times 3 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 314 \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \text{ I00} = 215 \text{ A}$$

Soit  $J_o = 215 \times \frac{1}{200} = 1,1 \text{ J}_R$

Le relais ne déclenche pas pour les courants capacitifs

2 - La temporisation choisie sera de  $T_R = 0,9$  afin de permettre aux  
protection de barres et des lignes d'assurer la sélectivité.



VI 4.3. REGLAGE DE LA PROTECTION DIFFERENTIELLE

1° - Caracteristiques du transformateur à protéger

- puissance nominale .....  $S_n = 200 \text{ MVA}$
- rapport de transformation .....  $m = U_2/U_1 = 242/15,75 = 15$
- courant nominal primaire .....  $I_1 = 7331 \text{ A}$
- courant nominal secondaire.....  $I_2 = 477 \text{ A}$
- couplage .....  $\text{Y/n.d} - 11$

2° - Appareillage nécessaire pour la protection differentielle

- 3 relais RBAH 140 - 5A - 20,30, 40 %
- 3 filtres BBAH 130 - 5A - 20,30, 40 %
- 1 filtre EBAH 140  $U_n = 100 - 110 - 120\text{V}$
- 2 x 3 transformateurs JPR 32 - 5 VA - classe PS
- 2 x 3 T.C principaux

3° - Caractéristiques des appareils

a/ - côté primaire (15,75 KV )

3 transformateurs de courant principaux de rapport,  $K_1 = 800/5 \text{ A}$

3 transformateurs de courant intermediaires JPR 32

( avec prises de réglage au secondaire numérotées de 1 à 11 de 5 en 5 % )

couplés en étoile - étoile et de rapport  $K'_1 = 5/5\sqrt{3} \text{ A}$

Le courant secondaire des T.C. principaux  $i_1 = I_1/K_1 = 4,58 \text{ A}$

Le courant secondaire des T.C. intermediaires vaut

$$i'' = i_1/K'_1 = 2,64 \text{ A}$$

b/ - Côté secondaire (242 KV )

3 T.C principaux de rapport  $K_2 = 500/5 \text{ A}$

3 T.C intermediaires JPR 32 de rapport  $K'_2 = 5/5 \text{ A}$

couplés en triangle - étoile

Le courant secondaire des T.C principaux sera donc  $i_2 = I_2/K_2 = 4,77 \text{ A}$

et celui des T.C intermédiaires sera de  $i'_2 = \frac{i_2}{\sqrt{3} \cdot K'_2} = 2,75 \text{ A}$

Les courants parcourant les enroulements antagonistes

(  $i_{a1} = i'_1$  et  $i_{a2} = i'_2$  ) seront suivant les prises de réglages (voir le tableau suivant )



de la prise	Courants dans les enroulements antagonistes	
	$i_{a1} (A)$	$i_{a2} (A)$
1 ( réglage min.)	$0,75 \times 2,64 = 1,98$	$0,75 \times 2,75 = 2,06$
2	$0,80 \times 2,64 = 2,11$	$0,80 \times 2,75 = 2,20$
3	$0,85 \times 2,64 = 2,24$	$0,85 \times 2,75 = 2,34$
4	$0,90 \times 2,64 = 2,38$	$0,90 \times 2,75 = 2,48$
5	$0,95 \times 2,64 = 2,51$	$0,95 \times 2,75 = 2,61$
6 (rapport nom.)	$1,00 \times 2,64 = 2,64$	$1,00 \times 2,75 = 2,75$
7	$1,05 \times 2,64 = 2,77$	$1,05 \times 2,75 = 2,89$
8	$1,10 \times 2,64 = 2,90$	$1,10 \times 2,75 = 3,03$
9	$1,15 \times 2,64 = 3,04$	$1,15 \times 2,75 = 3,16$
10	$1,20 \times 2,64 = 3,17$	$1,20 \times 2,75 = 3,30$
11 (réglage max.)	$1,25 \times 2,64 = 3,30$	$1,25 \times 2,75 = 3,44$

On choisira donc pour le primaire la prise N° 11 et pour le secondaire la prise N° 10 ce qui permet d'équilibrer correctement le relais en fonctionnement normal.

c/ - Filtre BBAH. 140

La prise de réglage du filtre BBAH -I40 correspondra à la tension secondaire des T.P de la protection (100 V )

d/ - Réglage du pourcentage

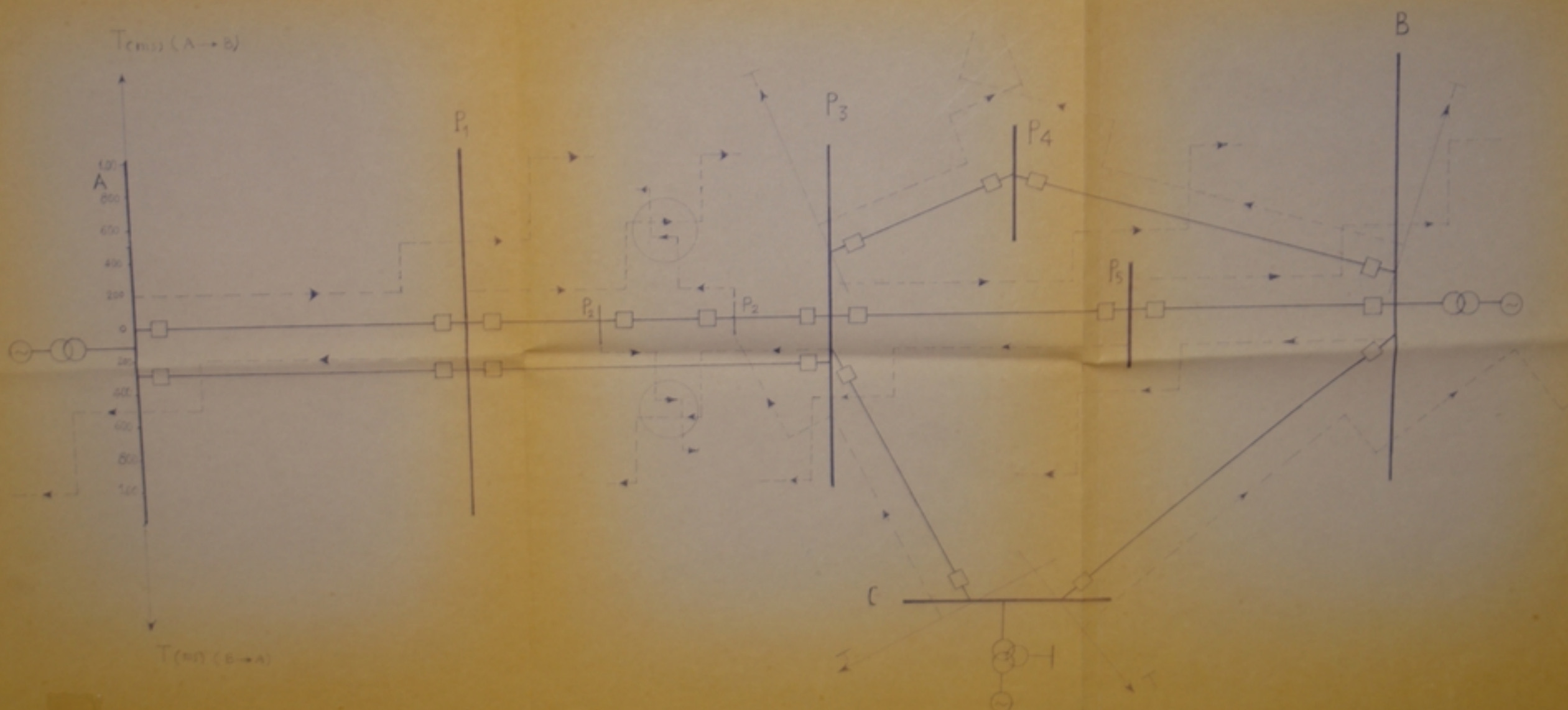
Le pourcentage choisi sera de 20 %, Qui correspond au maximum de la sensibilité de la protection.

Le seuil de fonctionnement sera alors de 1 A : tout défaut interne produisant un courant différentiel de 1 A dans le relais fera fonctionner celui-ci

Le schéma simplifié du montage est donné par la (fig 16 ). Les T.C sont montés selon le couplage 200 - 002.



# CARACTERISTIQUE TEMPS-DISTANCE DE LA PROTECTION DE DE DISTANCE



## VII PROTECTION DES LIGNES

Dans les réseaux de transport d'énergie électrique, les lignes revêtent une importance capitale. Aussi doit-on leur assurer un système de protection très efficace, fiable et sélectif.

Ce système est généralement constitué par :

- 1° Une protection principale,
- 2° Une protection complémentaire,
- 3° Une protection de réserve,
- 4° Une protection de secours.

On ne s'intéressera dans notre cas qu'aux deux premières.

### VII 1.1. PROTECTION PRINCIPALE :

#### VII 1.1. Principe de la protection de distance :

La protection principale des lignes est assurée par la PROTECTION DE DISTANCE : c'est un système complexe qui garantit une protection sélective du réseau contre tous les genres de défauts. Sa sélectivité quasi parfaite est due au fait qu'elle effectue une véritable mesure de la distance qui la sépare du défaut (et ce par la mesure de l'impédance  $Z$  ou la réactance  $X$  qui sépare le relais du c.c. )

Pour éviter que la protection ne réagisse sur un défaut situé sur un tronçon hors de sa surveillance on adapte une caractéristique temps - distance à gradins fig 15;

La protection effectuera alors différentes mesures à des temps différents appelés " STADES ". Ils sont généralement au nombre de trois : ( 3 )

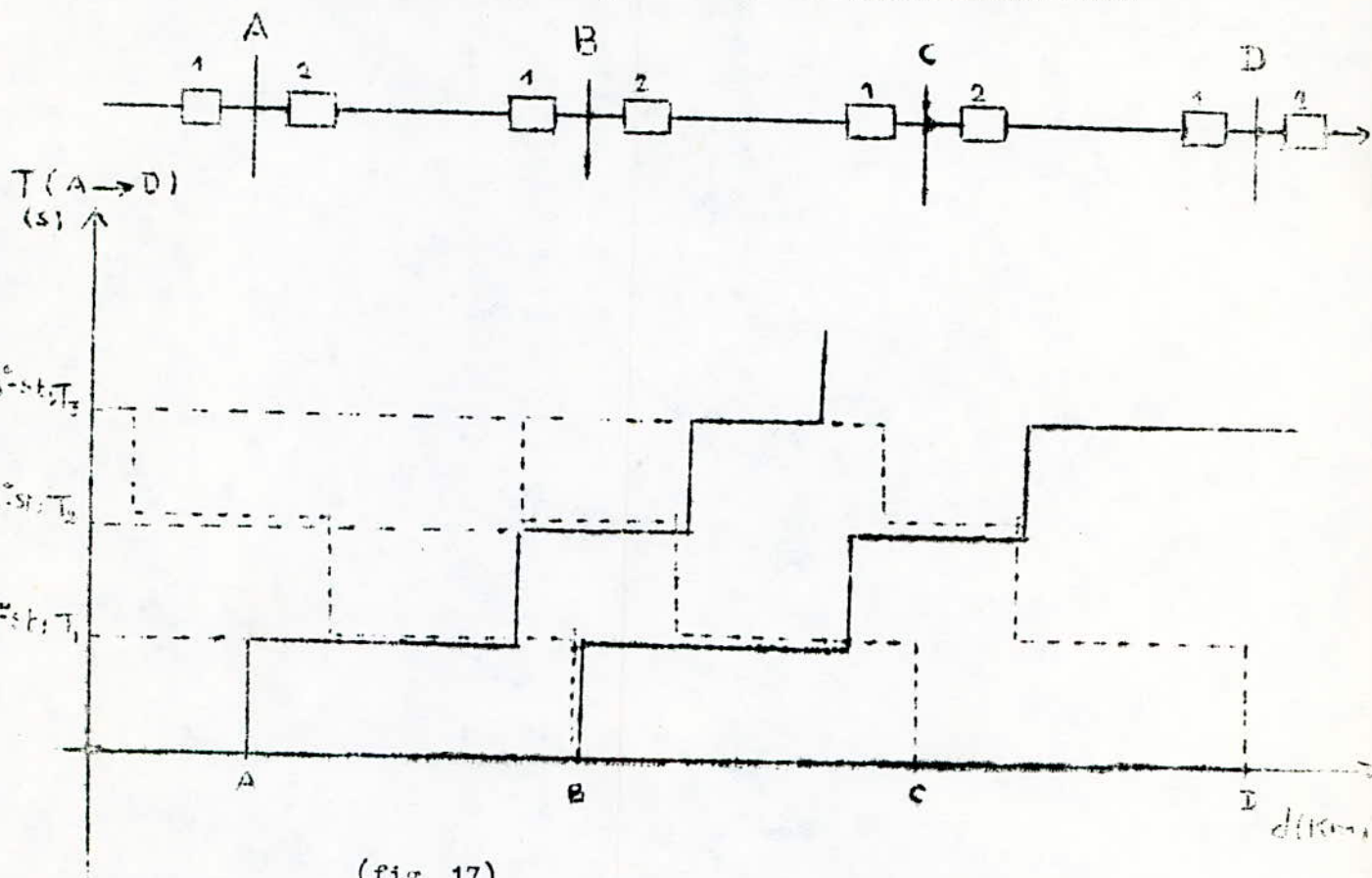
1° STADE : Il couvre 80 % de la ligne. Le temps de déclenchement est théoriquement instantané.

2° STADE : Celui-ci couvre 120 % de la longueur totale de la ligne, ce qui permet la détection de défauts en dehors de sa zone de surveillance et peut en conséquence, pallier à une défaillance de la protection située en aval (  $T_2 : 0,2" \div 1,5"$  )

3° STADE : La protection effectue alors une mesure correspondante à la longueur maximum qu'elle peut surveiller, ( en général 140 %. (  $T_3 =$  )



La caractéristique temps-distance est alors la suivante:



(fig 17)

En principe, la seule composante symétrique qui se trouve dans tous les cas de défauts lignes, est la composante directe des tension et courant. La difficulté de la mesure de cette impédance directe (donc de la distante) résulte de la variété des défauts. Il faut donc assurer une alimentation correcte des éléments chargés de la mesure pour qu'ils soient sensibles à tous les genres de défauts.

.../...

Le tableau suivant donne la mesure à effectuer pour chaque cas :

TABLEAU 5

NATURE DU DEFAUT	Mesures à effectuer.
Triphasé a - b - c	$\frac{V_a - V_b}{J_a - J_b}$ ou $\frac{V_b - V_c}{I_b - I_c}$ ou $\frac{V_c - V_a}{I_a - I_a}$
Biphasé a - b	$\frac{V_a - V_b}{I_a - I_b}$
b - c	$\frac{V_b - V_c}{I_b - I_c}$
c - a	$\frac{V_c - V_a}{I_c - J_a}$
Biphasé-terre a - b - N	$\frac{V_a}{J_a + K_o J_r}$ ou $\frac{V_b}{J_b + K_o J_r}$
b - c - N	$\frac{V_b}{I_b + K_o I_r}$ ou $\frac{V_c}{I_c + K_o I_r}$
c - a - N	
monophasé a - N	$\frac{V_a}{I_a + K_o I_r}$
b - N	$\frac{V_b}{I_b + K_o I_r}$
c - N	$\frac{V_c}{I_c + K_o I_r}$

$$K_o = \frac{Z_h - Z_d}{3 Z_d}$$

: Coefficient des impédances de terre

$$I_r = 3 I_h$$

: Courant résiduel,

.../...



VII. 1.2. Constitution et fonctionnement de la protection de distance:

La protection de distance la plus économique est constituée des éléments suivants (c'est le cas de RXAP de schlumberger)

- 3 relais de mise en route à min. Z (RMZ)
- 1 relais de mesure à min. X. (RMX)
- 1 relais directionnel de puissance (RDW)
- Relais de courant homopolaire (RBA)
- des relais intermédiaires pour la commutation, le changement de stade, le déclenchement, ... ETC. ... (fig 18)

VII. 1.2.1. Relais de mise en route:

CE sont des relais à minimum d'impédance (RMZ) utilisant un magnétique pour déterminer le seuil d'impédance de fonctionnement. Ils ont pour but:

- de détecter le défauts,
- d'assurer l'alimentation des relais de mesure, qui ne peuvent pas supporter en permanence la tension nominale.
- Assurer une commutation tension-courant en cas de nécessité.

Ils sont montés de telle façon qu'ils soient sensibles aux défauts entre phases. L'élément sensible aux défauts à la terre est le relais de courant résiduel, qui quand il fonctionne modifié l'alimentation des RMZ de manière à les rendre sensibles aux défauts phase-terre.

Afin d'éviter une commutation de courant qui est toujours délicate et dangereuse, on alimente chaque relais par une tension composée et le courant d'une phase, et en cas de défaut à la terre on fait une commutation  $\Delta/\lambda$  du circuit tension.

.../...

(fig 18)

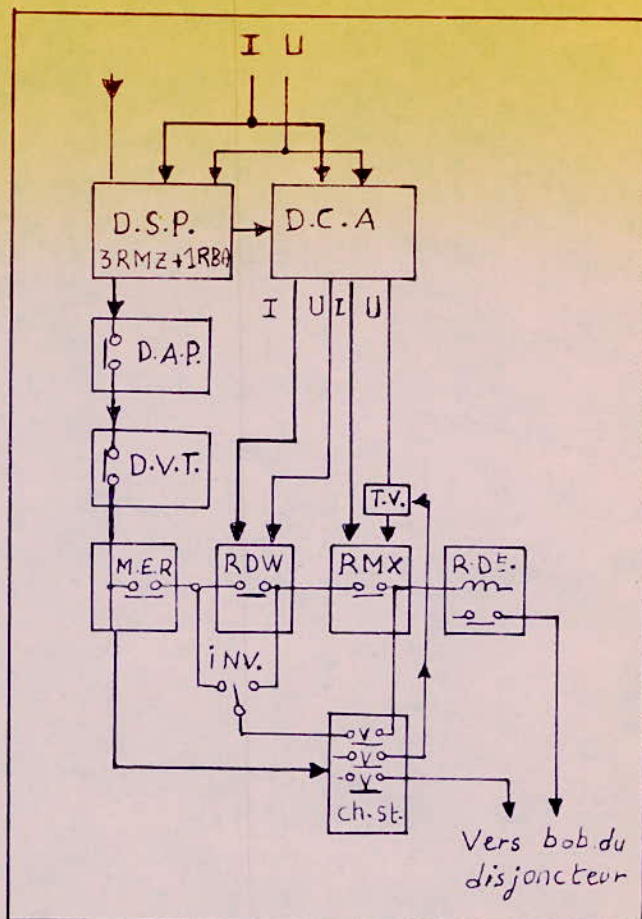


Schéma général de la Protection de distance  
type RXAP 6205

Légende

- D.S.P. = Dispositif selecteur de phase.
- D.A.P. = Dispositif anti-pompage.
- D.V.T. = Dispositif de Verrouillage de tension.
- D.C.A. = Dispositif de commutations des alimentations.  
des relais de mesure.
- M.E.R = mise en route.
- R.D.W = Relais directionnel de puissance.
- R.M.X = Relais de mesure à minimum de réactance.
- R.D.E. = Relais de déclenchement.
- Ch.st. = changement de stade.
- INV. = Inverseur
- T.V. = Autotransformateur à prises.



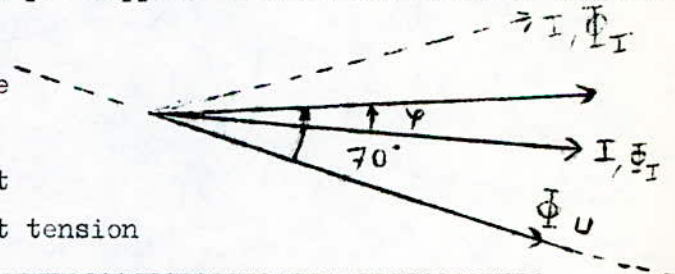
L'alimentation des RMZ se fait donc selon le tableau suivant :

Relais	Défaut entre phases		Défaut à la terre	
	Coufant	Tension	Courant	Tension
phase a	Ia	Uab	Ia	Va
phase b	Ib	Ubc	Ib	Vb
phase c	Ic	Uca	Ic	Vc

La caractéristique de ce relais dans le diagramme (R.X) est cercle centré. Le relais n'est donc pas directionnel (fig 19).

VII. 1.2.2. Relais directionnel de puissance RDW

Il est du type à induction, à rotor cylindrique. Le flux de bobinage tension est déphasé de  $70^\circ$  en arrière par rapport à la tension à leurs bornes. Le relais étant du type à induction son couple maximum est atteint lorsque le courant traversant son circuit intensité est déphasé de  $20^\circ$  en avant sur la tension alimentant son circuit tension



son couple et donc

$$C = K U I \cos (\varphi + 20^\circ)$$

avec U, I : tension et courant appliqués au relais

$\varphi$  : déphasage entre U et I.

Ce relais sert pour le contrôle de la surveillance de la protection. En effet celle-ci doit pouvoir déclencher lorsque la puissance (P) va des barres du poste vers la ligne à protéger, et empêcher le déclenchement lorsque la puissance (P) va de la ligne vers les barres du poste :

Donc si  $P > 0$  (barre vers ligne). Le relais fonctionne

si  $P < 0$  (ligne vers barre). Le relais verrouille

La caractéristique de ce relais dans le diagramme (R.X) est une droite passant par le point de mesure (fig 19)

VII. 1.2.3. Relais de mesure de distance :

C'est un relais à minimum de réactance (RMX) de construction analogue à celui du RDW ; Toute fois l'épaisseur du circuit magnétique est doublée pour lui donner une grande sensibilité tout en lui conservant une exactitude de mesure suffisante pour une grande étendue de variation du courant

Le couple de ce relais est de la forme :  $C_m = K (X - x) I^2$

Où - I : est le courant de ligne lors d'un défaut.

x : réactance de la ligne surveillée.

X : une réactance de réglage.

- Le relais fonctionne si  $C_m > 0 \Rightarrow x < X$
- il reste en position milieu si  $C_m = 0 \quad x = X$
- ± il verrouille si  $C_m < 0 \quad x > X$

La caractéristique de ce relais dans le diagramme (R.X) est une droite parallèle à l'axe des résistances. (fig 19) c'est à lui qu'incombe la mesure du 1er et 2° stade.

VII. 1.2.4. Relais de courant homopolaire :

C'est un relais à pourcentage du type balance électromagnétique à noyau plongeur. Il permet aux relais de mise en route RMZ d'être sensible aux défauts à la terre.

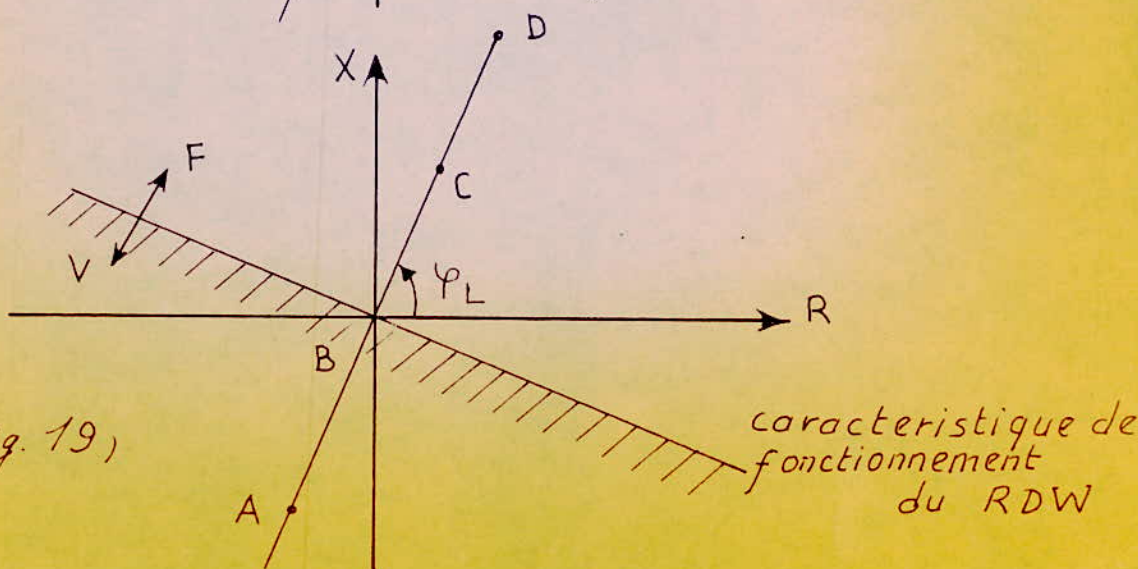
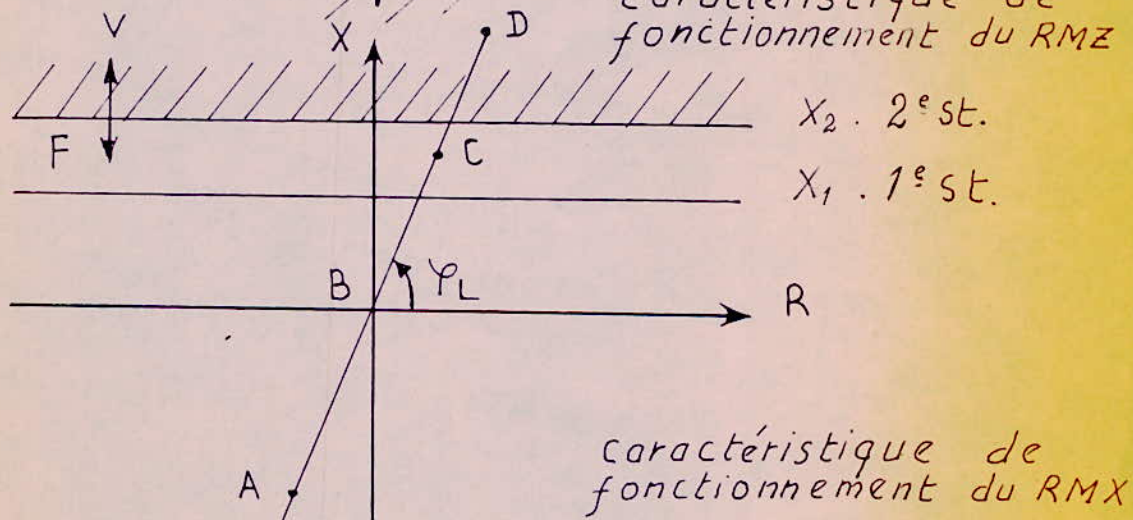
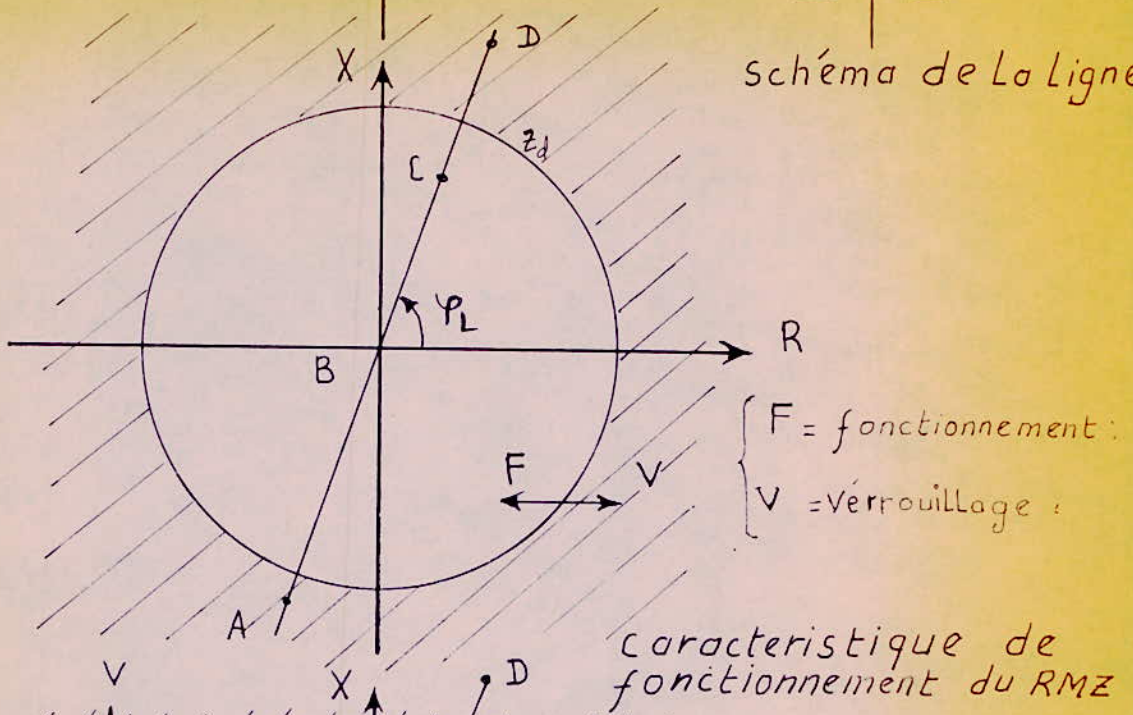
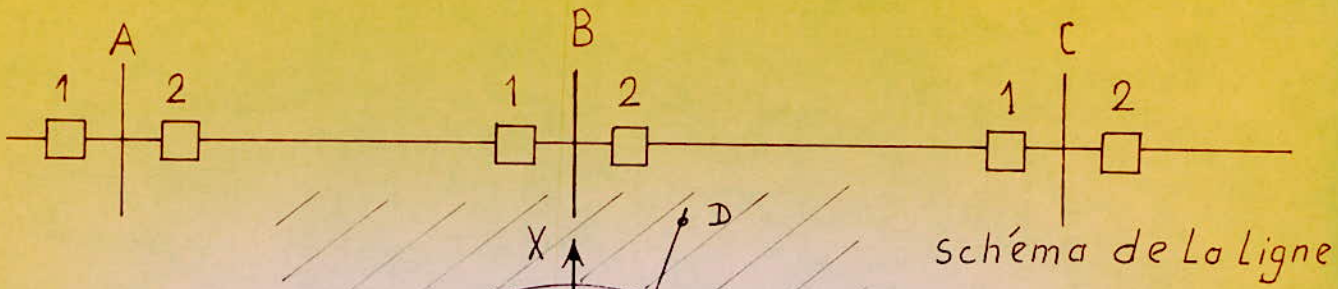
VII. 1.2.5. Fonctionnement de la protection de distance :

Dès l'apparition d'un défaut quelconque dans la zone de surveillance de la protection de distance, le dispositif selecteur de phase :

- 1°/ - détecte le défaut,
- 2°/ - provoque la commutation convenable des circuits d'alimentation des relais de mesure RMX et RDW
- 3°/ - met en route la chaîne de déclenchement et le dispositif de changement de stade.

Les dispositifs d'antipompage et d'alimentation voltimétrique anormale peuvent éliminer la 3er dernière fonction.





( fig. 19 )

Le relais de déclenchement n'est autorisé à fonctionner que si, après la mise en route, le relais directionnel et le relais de réactance ferment leur contact peut être (déclenchement en 1er et 2é stade).

Le 3é stade peut être directionnal ou non, tandis que le 4é stade n'est soumis qu'à la chaine de mise en route.

### 1.3. REGLAGE DE LA PROTECTION DE DISTANCE:

#### 1°- Rapport des impédances.

Les relais étant reliés au réseau à l'aide de T.C. et de T.P.

soit  $K_v$  le rapport des T.P.:  $K_v = \frac{V}{v} = \frac{U_{HT}}{U_{ST}}$

Soit  $K_i$  le rapport des T.C.:  $K_i = \frac{I}{i} = \frac{I_{HT}}{I_{BT}}$

Le rapport des impédances est alors:

$$K_z = \frac{Z}{z} = \frac{Z_{HT}}{Z_{BT}}$$

$$o \quad Z = \frac{V}{I} \text{ et } z = \frac{v}{i} \qquad K_z = \frac{Z}{z} = \frac{K_v}{K_i}$$

#### 2°- Réglage des relais de mise en route:

La condition limite assurant le fonctionnement correct du sélecteur de phase (cas de la commutation "terre") est donnée en fonction de l'impédance de service  $Z_s$  par la relation:

$$Z_R^{\max} \leq 0,45 Z_s$$

avec  $Z_s = \frac{V_s}{I_s}$  ou  $V_s$  : tension de service minimale aux bornes du relais

$I_s$  : courant de service maximale aux bornes du relais.



Pour surveiller une distance correspondante à une impédance  $Z_L$  (ZLBT : aux bornes du relais) le réglage minimale du relais de mise en route doit être  $Z_R^{\min} \gg 1,4 Z_L$

soit finalement:

$$1,4 Z_L \leq Z_R \leq \frac{0,45}{V} Z_s$$

3° Applications:

Exemple: Protection d'une loigne de 100 km de longueur:

- Réducteur de tension (T.P)  $K_V = \frac{220\ 000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$

- Réducteur de courant (T.C)  $K_I = 600/5 \text{ A.}$

- Rapport de réduction des impédance  $K_Z = \frac{K_V}{K_I} = 18,33$

- Caractéristiques de la ligne:

- Longueur  $L = 100 \text{ km}$
- Réactance kilométrique  $0,42 \ \Omega/\text{km}$
- Réactance H.T. par phase  $X_{HT} = 42 \ \Omega$
- Réactance B.T. par phase  $X_{BT} = 2,29 \ \Omega$

- Réglages:

- 1e Stade: Il est généralement réglé à 80 % de la ligne.  $X_1 = 80 \ X_{BT} = 1,83 \ \Omega$
- 2é Stade: Il correspond à 120 % de la longueur totale de la ligne  $X_2 = 120 \% X_{BT} = 2,75 \ \Omega$
- 3é Stade: Il correspond au seuil de mise en route. Ce stade doit être au minimum égal à  $Z_d = 140 \% X_{BT} = 3,21 \ \Omega$

.../...

- Le relais anti-pompage sera réglé à :  $Z_{AP} = Z_d + 2 \cdot \underline{\sim} = 5,21 \underline{\sim}$
- L'Impédance de service vaudra :  $Z_s = 1,5 \cdot 1,15 Z_{AP} = 8,99 \underline{\sim}$
- La puissance maximale de transit pouvant être surveillée 
$$P_{max} = \frac{(0,9 U_n)^2}{Z_s} = 238 \text{ MVA}$$
- Le courant max. de service est donc 
$$I_s = \frac{V_s}{Z_s} = 694 \text{ A}$$
- Coefficient des impédances de terre  $K_0 = \frac{Z_h - Z_d}{3Z_d} \underline{\sim} 0,7$

Remarque:

On peut s'imposer une certaine puissance à transiter et déterminer ensuite la nouvelle impédance de service ainsi que les réglages. En cas de besoin on fait recours au compoundage du relais RMZ.

4° - Etude des cas particuliers:

a/ Etude de la ligne double A - P<sub>1</sub> :

Pour une ligne simple, si un défaut terre affecte la phase (a) par ex. L'impédance directe vaut (tableau 5)

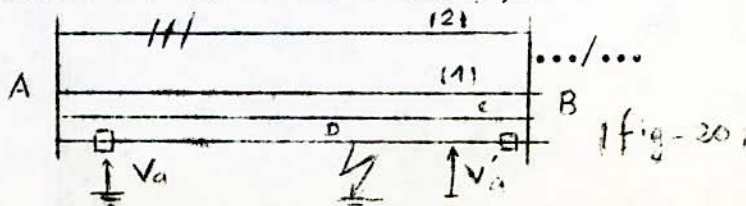
$$Z_d = \frac{V_a}{I_a + K_0 I_R} \dots\dots\dots(1)$$

Pour une ligne ~~double~~, la mesure de la distance (donc de l'impédance directe) est liée à la mutuelle impédance homopolaire des deux lignes.

Supposons que la phase (a) de la ligne (1) (fig 20) est sujet à un défaut à la terre.

Appelons:

V<sub>a</sub> : la tension de défaut à l'emplacement du défaut (F).





Z<sub>hm</sub>: la mutuelle impédance homopolaire entre les 2 lignes.

I'<sub>h</sub>: Courant homopolaire dans la ligne en parallèle (2)

• A l'endroit où est placé le relais de mesure on a:

$$V_a = V_d + V_i + V_h \quad \dots (2)$$

• A l'endroit du défaut on a:

$$V'_a = V'_d + V'_i + V'_h = 0 \quad \dots (3)$$

• Or  $V_d = V'_d + Z_d I_d$

$$V_i = V'_i + Z_i I_i \quad \dots (4)$$

$$V_h = V'_h + Z_h I_h + Z_{hm} I'_h$$

d'où, compte tenu de (2), (3) et (4) et en posant  $Z_d = Z_i$ ;  $I_R = 3I_h$ ;  $K_m = \frac{Z_{hm}}{3Z_d}$

$$Z_d = \frac{V_a}{I_e + K_o I_R + K_m I'_R} \quad \dots (5)$$

On voit donc que l'impédance donnée par la relation (5) ne diffère de celle donnée par la relation (1) que par le terme additif au dénominateur:  $K_m I'_R$

\*

Conclusion:

- Pour les lignes simples, on injecte dans le transfo. auxiliaire de courant (T.V.) qui alimente les relais de mesure RMX et RDW un courant  $K_o I_R$ .
- Pour les lignes doubles, on injecte le courant  $K_o I_R$  dans les 2 relais RMX et RDW et le terme  $K_m I'_R$  uniquement dans le relais de mesure RMX afin de ne pas corriger que la mesure.

.../...

\* L'impédance homopolaire mutuelle  $Z_{hm}$  des lignes en parallèles est déterminée en tenant compte de plusieurs facteurs tels: la disposition géométrique de la ligne, la resistivite du sol, la hauteur des conducteurs, le nombre de fils de garde...etc.

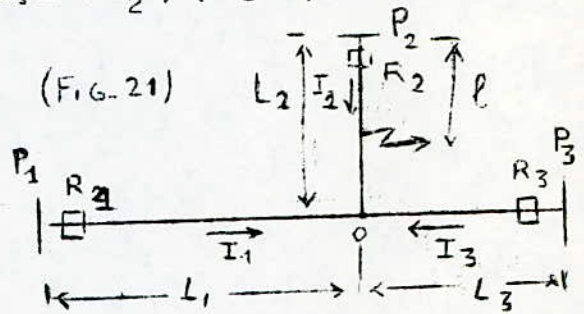
En général le rapport  $Z_{hm}$  ( $Z_h$  est compris entre 0,4 et 0,6:

$$0,4 \leq \frac{K_m}{K_0} \leq 0,6$$

On prendra donc pour les deux ligne en parallèle  $K_0 = 0,7$  et  $K_m = 0,5$ .

b/ Lignes  $P_1 - P_2 - P_3$  à 3 extrémités

Pour un défaut sur le tronçon  $O-P_2$ , (Fig 21). seul le relais  $R_2$  effectué une mesure correcte de la distance où se trouve le défaut. les autres relais  $R_1$  et  $R_3$  effectuent des mesures plus ou moins erronnées.



En effet:

- Le relais  $R_1$  mesure:  $Z_1 = 0,42 L_1 + 0,42(L_2 - 1) + 0,42 (L_2 - 1) \frac{I_3}{I_1}$
- Le relais  $R_2$  mesure:  $Z_2 = 0,42 l$
- Le relais  $R_3$  mesure:  $Z_3 = 0,42 L_3 + 0,42 (L_2 - 1) + 0,42 (L_2 - 1) \frac{I_1}{I_3}$

En conclusion:

- Le relais  $R_2$  fait une mesure exacte de la distance du défaut
- Les relais  $R_1$  et  $R_3$  voient au contraire le défaut à une distance plus grande qu'il ne l'est réellement.

Un raisonnement plus poussé, tenant compte du lieu défaut tout au long du tronçon  $O-P_2$ , ainsi que de la puissance de C.C. des postes  $P_1$  et  $P_3$  nous fait prendre les réglages suivants:

R 1 :  $X_1 = 80 \% (Z_1 + Z_2)$   
 $X_2 = 120 \% (Z_1 + 2 Z_3)$   
 $Z_d = 140 \% (Z_1 + 2 Z_3)$

.../...



$$R_2 : X_1 = 80 \% (Z_2 + Z_3)$$

$$X_2 = 120 \% (Z_2 + 2Z_1)$$

$$Z_d = 140 \% (Z_2 + 2Z_1)$$

$$R_3 : X_1 = 80 \% (Z_3 + Z_2)$$

$$X_2 = 120 \% (Z_3 + 2Z_1)$$

$$Z_d = 140 \% (Z_3 + 2Z_1)$$

On donne dans le (tableau 6) les valeurs de réglage pour les différentes lignes du réseau.

La (fig 22) représente la caractéristique de fonctionnement de la protection de distance située dans le poste  $P_1$  et surveillant la ligne  $P_1 P_3$ .

La (fig 23) montre la coordination temporelle entre les différentes protections de distance du réseau.

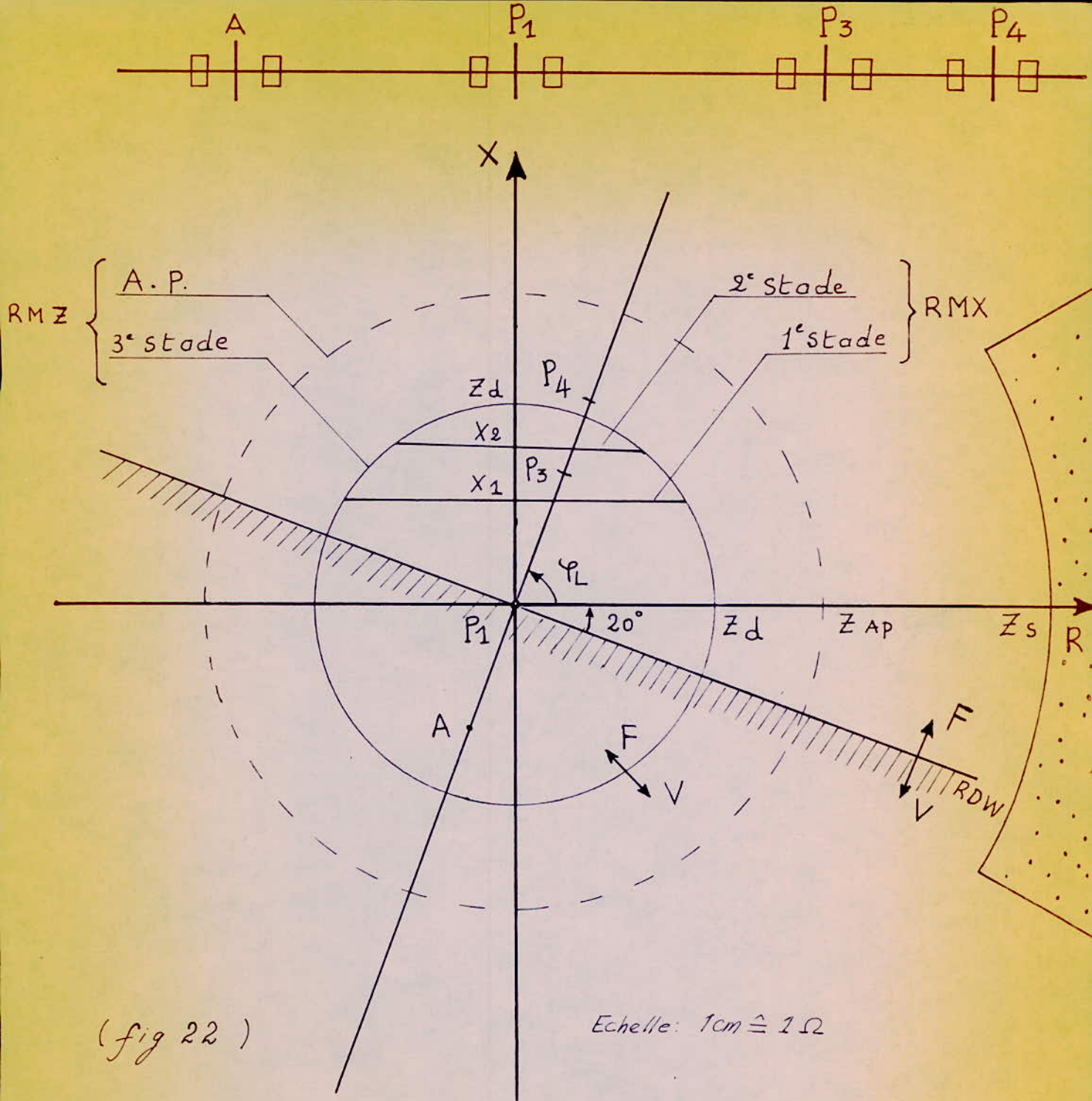


TABEAU 6

REGLAGE DE LA PROTECTION DE DISTANCE

Ligne	Longueur (km)	$K_0$	$K_m$	$K_Z$	$Z_L (n)$	1 <sup>e</sup> stade		2 <sup>e</sup> stade		3 <sup>e</sup> stade		$Z(AP) (n)$	$Z_S (n)$	$P_{max.tr} MVA$	$I_{s,max} (A)$
						$X_1 (n)$	$T_1 (s)$	$X_2 (n)$	$T_2 (s)$	$Z_d (n)$	$T_3 (s)$				
A - P <sub>1</sub>	100	0,7	0,5	18,33	2,29	1,83	0,2	2,75	0,5	3,21	1,0	5,21	8,99	238	694
P <sub>1</sub> - 0	60	0,7	0,5	18,33	1,37	1,46	0,2	4,40	0,6	5,14	1,0	7,14	12,32	174	507
P <sub>2</sub> - 0	20	0,7	-	18,33	0,46	1,29	0,2	3,84	0,5	4,48	0,8	6,48	11,18	191	557
P <sub>3</sub> - 0	50	0,7	0,5	18,33	1,15	1,29	0,2	4,67	0,6	5,45	1,0	7,45	12,85	166	484
P <sub>1</sub> - P <sub>3</sub>	110	0,7	0,5	18,33	2,52	2,02	0,2	3,02	0,5	3,53	1,0	5,53	9,54	224	653
P <sub>3</sub> - P <sub>4</sub>	60	0,7	-	18,33	1,37	1,10	0,2	1,65	0,5	2,00	1,0	4,00	6,90	274	800
P <sub>3</sub> - P <sub>5</sub>	90	0,7	-	18,33	2,06	1,65	0,2	2,47	0,5	2,88	1,0	4,88	8,42	254	741
P <sub>3</sub> - C	90	0,7	-	18,33	2,06	1,65	0,2	2,47	0,5	2,88	1,0	4,88	8,42	254	741
P <sub>4</sub> - B	120	0,7	-	36,66	1,37	1,10	0,2	1,64	0,5	2,00	1,0	4,00	6,90	155	452
P <sub>5</sub> - B	80	0,7	-	36,66	0,92	0,74	0,2	1,10	0,5	2,00	1,0	4,00	6,90	155	452
C - B	130	0,7	-	36,66	1,49	1,19	0,2	1,79	0,5	2,00	1,0	4,00	6,90	155	452

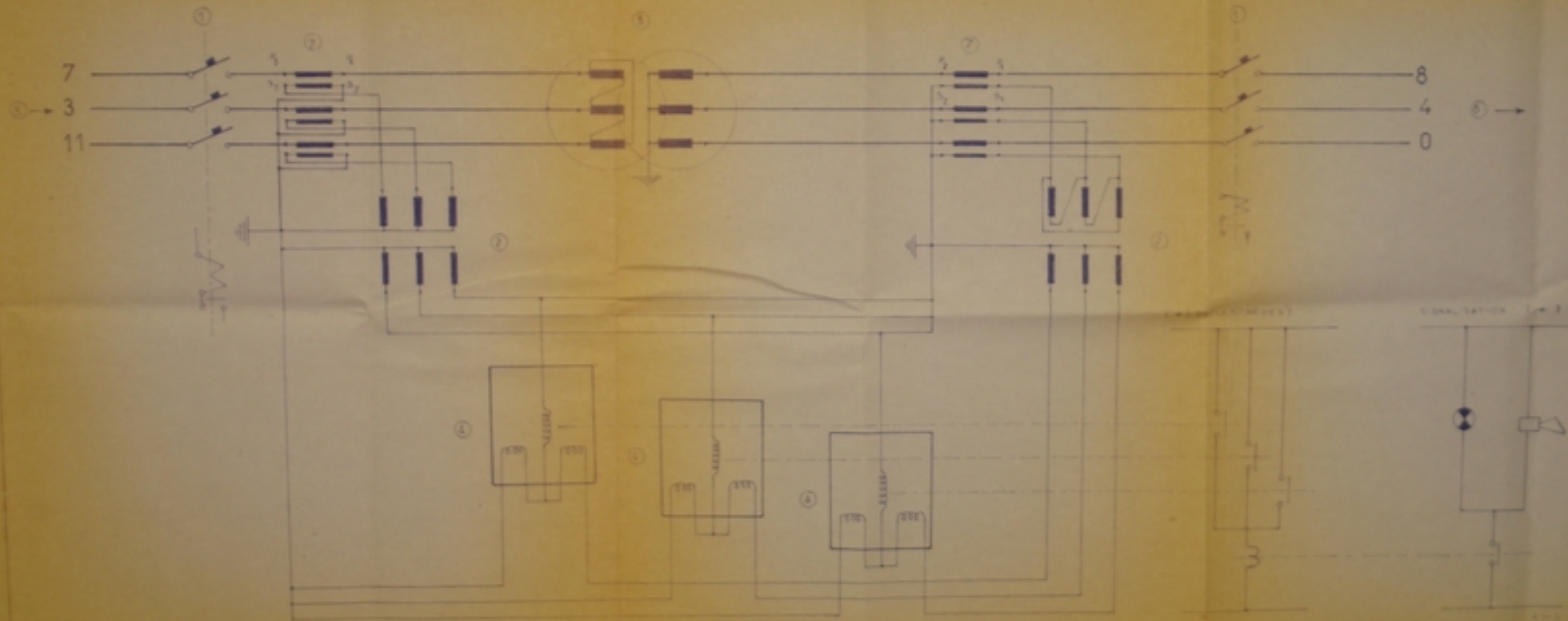




(fig 22)

CARACTERISTIQUE DE FONCTIONNEMENT  
DE LA PROTECTION DE DISTANCE

# PROTECTION DIFFERENTIELLE D UN TRANSFORMATEUR.



## LEGENDE

- ① Disjoncteur
- ② T.C. interposés
- ③ Transformateur de puissance
- ④ Relais différentiel
- ⑤ De l'interposé
- ⑥ Vers jeux de barres
- ⑦ T.C. protégés



VII 2 PROTECTION COMPLEMENTAIRE :

PROTECTION DIRECTIONNELLE DE TERRE

VII 2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Cette protection est destinée à jouer le rôle de protection complémentaire de la protection de distance pour les défauts résistants, dont cette dernière est plus ou moins insensible.

La protection directionnelle de terre doit donc être sensible à ces défauts sans toutefois gêner le fonctionnement normal de la protection principale pour cela, elle est temporisée par sa caractéristique à temps inverse et parfois encore, par la mise sous tension retardée de l'élément directionnel.

On utilisera le relais RCWV 101 de la c.d.c qui est un relais du type à induction à rotor cylindrique l'effet directionnel est obtenu par l'action de la tension résiduelle ( $V_r$ ) et du courant résiduel ( $I_r$ ) sur l'organe mobile d'un élément wattmétrique.

Si on se fixe une puissance de réglage  $P_r$ , le relais fonctionnera si :

$$\frac{P_r}{P_R} > 1,5$$

avec  $P_r = V_r I_r \cos(\varphi_h - 45^\circ)$

- ou  $V_r$ : tension résiduelle dimenant le relais,
- $I_r$ : courant résiduel " " " " " " "
- $\varphi_h$ : argument de l'impédance homopolaire  $Z_h$ ,
- $45^\circ$ : angle interne de l'élément wattmétrique.

VII 2.2. APPLICATION :

Soit à déterminer le réglage de la ligne B.C,

Pour le c.c. le plus proche de la barre B (c.c. K2)

• ou a :  $X_d = X = 27,83 \ \Omega$  ( Valeurs tirées des Tableaux 3 et 4 )  
 $X_h = 14,52 \ \Omega$

Le relais étant alimenté par des T.P de rapport  $\frac{220\ 000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}}$  V et des T.C de rapport 300/5 A.

Tenant compte aussi de la prédominance de la résistance du défaut par rapport aux réactances du réseau, le relais sera donc sensible à la puissance.

$P_r = 48,20 V_h \cdot I_h$
(w)                      (kv (kA)

où  $V_h$  et  $I_h$  sont la tension et le courant homopolaires alimentant le relais,

Réglons le relais à  $P_r = 16 \text{ w}$  ( position de sensibilité max du relais )  
 et déterminons quel sera le défaut le plus résistant qu'on peut détecter.

Rd ( $\Omega$ )	0	50	100	200	225	230
$Z = 3R_d + j(2X_d + X_h)$	$0 + j70,18$	$150 + j70,18$	$300 + j70,18$	$600 + j70,18$	$675 + j70,18$	$690 + j70,18$
$ Z  (\Omega)$	70,18	165,61	308,10	604,10	678,64	693,56
$I_h = \frac{U}{ Z } (\text{KA})$	1,810	0,767	0,412	0,210	0,187	0,183
$V_h =  Z  \cdot I_h (\text{KV})$	26,28	11,14	5,986	3,053	2,718	2,659
$Ph = V_h \cdot I_h (\text{MVA})$	47,562	8,542	2,468	0,642	0,509	0,487
$P_r = 48,20 Ph (\text{W})$	2292,5	411,7	118,9	30,9	24,9	23,57
$K = P_r / Ph$	143,3	25,7	7,4	1,6	1,53	1,47 < 1,5
temps de decl <sup>t</sup> (courbe 3)	0,1"	0,2"	0,3"	2"	2,5	

On voit donc, que la protection directionnelle de terre, placée en B et surveillant la ligne B-C peut détecter tous les défauts ayant une résistance maximale de  $227 \Omega$

On peut démontrer d'ailleurs, qu'en fonction de la valeur de réglage adoptée  $P_r$  (variant de 16 à 256 W), la valeur limite de la résistance de défaut pour laquelle la protection reste sensible vaut :

$$R_d^{\max} = \frac{1}{3} \sqrt{518 \cdot 10^3 \cdot \frac{X_h}{P_r} - (2 X_d + X_h)^2}$$

avec  $R_d^{\max}$  : résistance maximale du défaut détectable ( $\Omega$ )

$X_d, X_h$  : réactances directe et homopolaire équivalentes du réseau pour un c.c sur le jeu de barres où est placé la protection.

$P_r$  : puissance de réglage du relais ( W ).

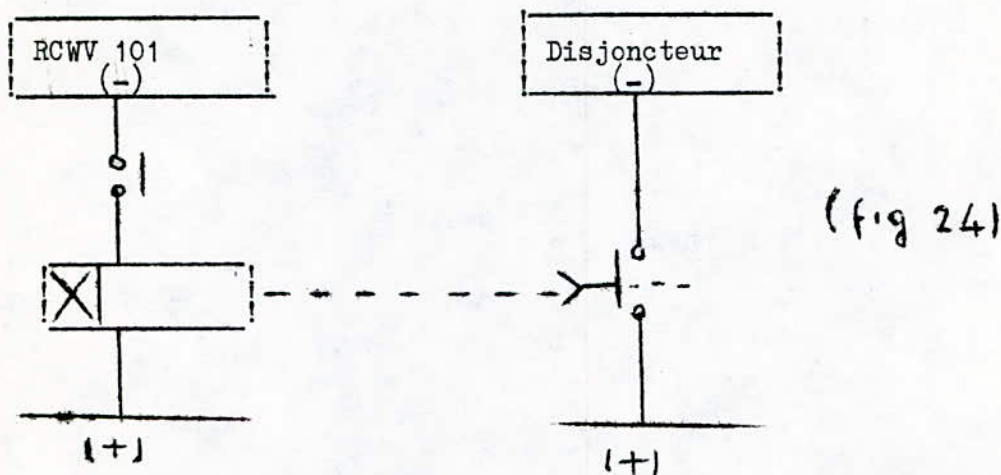
La temporisation  $T_R$  de cette protection est choisie de telle façon qu'on ait :  $T_2 < T_R < T_3$  où  $T_2, T_3$  sont les temporisations du 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> stade de la protection principale ( protection de distance ) dans le tronçon de la ligne considérée.



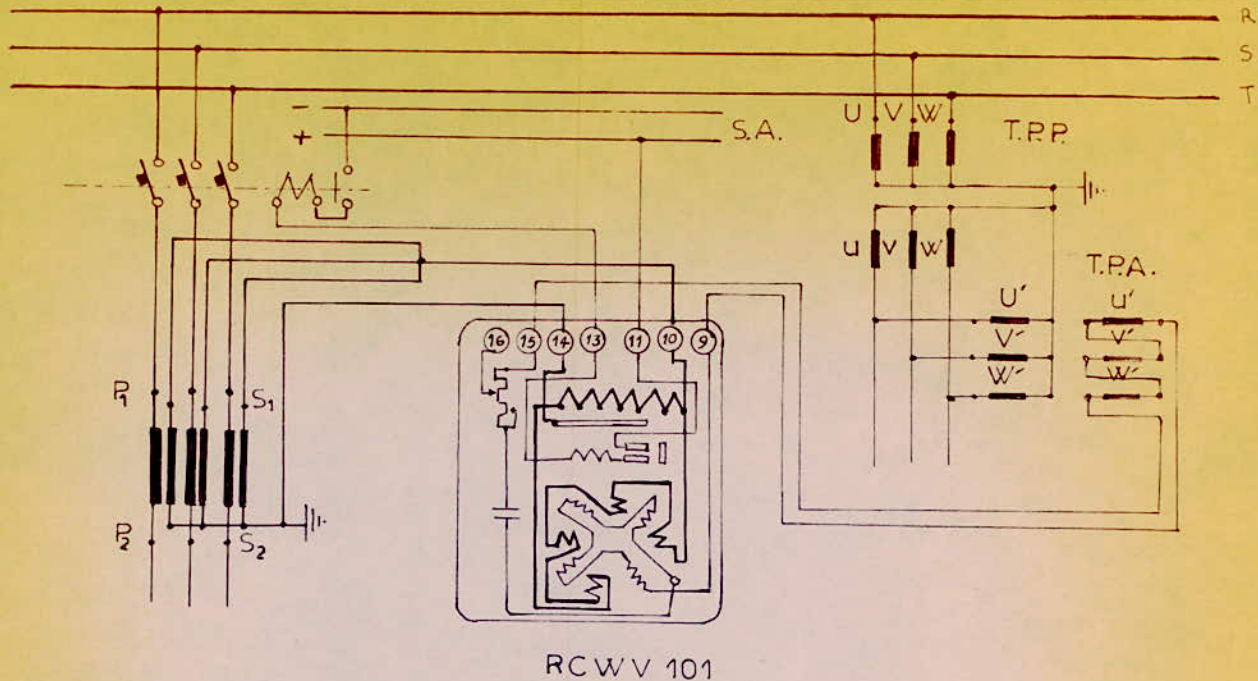
Or, quand le défaut à une faible résistance (est peut être en conséquence détecté par la protection de distance) on risque de déclencher en triphasé instantanément.

Pour pallier à cet inconvénient on attaque pas directement la bobine de déclenchement du disjoncteur, mais par l'intermédiaire d'un relais de temps ( Fig 24) donc pour la protection directionnelle de terre placée en B( et surveillant la ligne BC ). On peut adopter les réglages suivants :

PR = 16 W, TR = 0,7 s., Courbe : 3

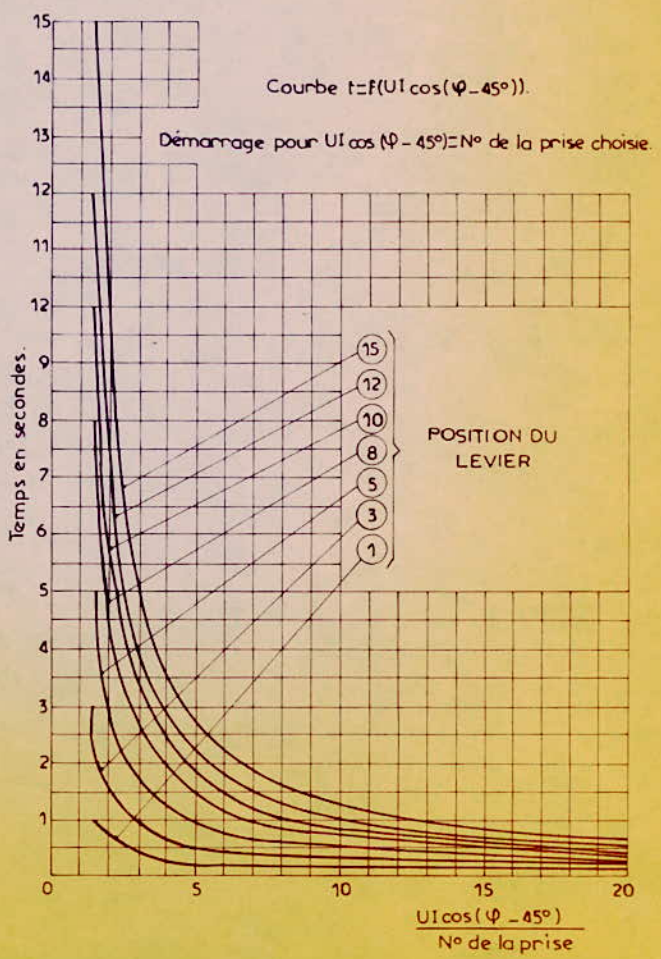


Le schéma de l'alimentation du relais RCWV 101 est donné par la (Fig 25)



PROTECTION DIRECTIONNELLE DE TERRE .

- ▲ ALIMENTATION DU RELAIS RCWV 101.
- ▲ COURBES DE TEMPORISATION.





IX - PROTECTION DES JEUX DE BARRES AVEC COMPARAISON DES VALEURS DE MESURE :

Les jeux de barres sont un organe vital dans la chaîne de transport de l'énergie électrique, heureusement, ils sont sujets à des défauts très rares. Pour bien les protéger, il faut disposer d'un dispositif de protection très rapide fiable et sélectif.

Notre choix s'est porté sur une protection de conception SIEMENS, dont nous donnons ci-dessous quelques détails.

IX - 1 - UTILISATION :

Cette protection est du type différentielle stabilisée. Elle peut être utilisée pour protéger des jeux de barres (j;d;b;) simples ou multiples dans les installations à H. ou T.H.T. avec coulage longitudinal ou transversal.

IX - 2 - FONCTIONNEMENT :

- En fonctionnement normal (sans défaut) la somme des courants arrivant sur le j;d;b; égale à la somme des courants qui en partent, c'est à dire que la somme vectorielle de tous les courants dans les départs est nulle :

$$\sum I = I_I + I_{II} + I_{III} = 0 \quad (\text{voir fig 26})$$

- En cas de défaut sur le j;d;b;  $\sum I \neq 0$  la somme des courants  $\sum I$  qui apparaît sert alors de critère de défaut et actionne un relais différentiel (D) qui provoque la coupure du j.d.b. défectueux.

Afin de n'être pas obligé de prévoir un circuit différentiel pour chacune des phases du système triphasé, on utilise un transformateur mélangeur pour constituer au niveau de chaque départ ou de chaque point de couplage du j.d.b. un courant monophasé proportionnel aux courants dans les phases (fig 27).

Les courants de phases sont additionnés dans le rapport 5 - 3 et 4 de sorte que le courant monophasé résultant est suffisant dans tous les cas de défaut pour actionner le relais différentiel.

IX - 3 - STABILISATION :

Pour des courants de défauts extérieurs élevés, les T.C. peuvent se saturer. La somme des courants  $\sum I$  peut être alors plus ou moins grande, et on risque alors un déclenchement intempestif. La solution consiste donc à stabiliser la protection. On alimente donc le relais différentiel non pas par la somme des courants  $\sum I$  uniquement mais par la valeur différentielle suivante :

où  $I_D$  : courant différentiel.

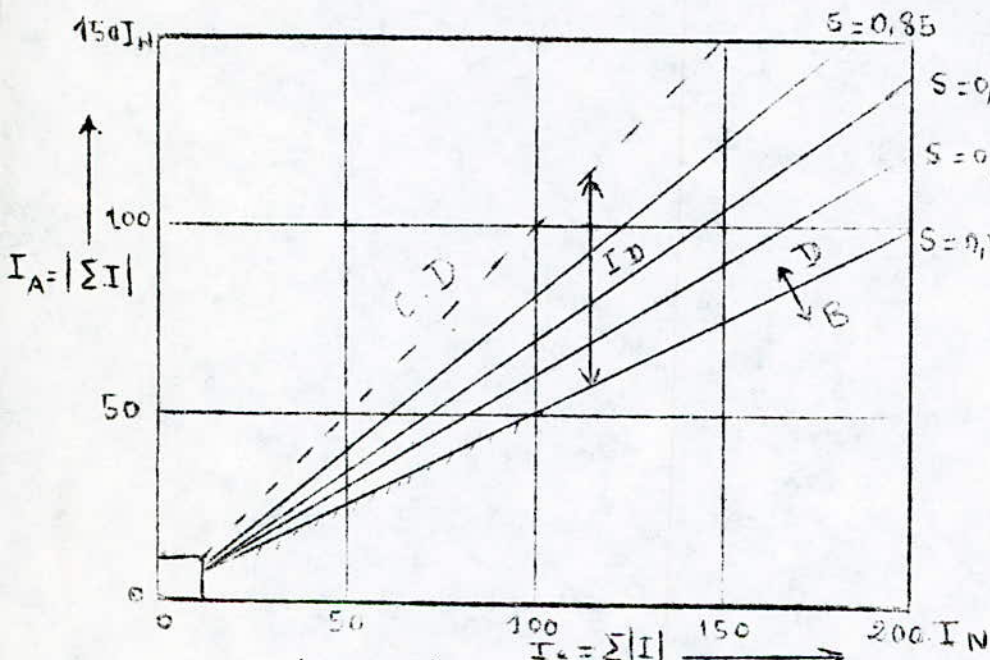
S : le facteur de stabilisation réglable par palier sur le relais différentiel ( s = 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8).

- En cas de fonctionnement normal on a  $|\Sigma I| = 0$   
 $I_D < 0$  le relais différentiel est bloqué
- En cas de défaut sur le j;d;b; on a  $|\Sigma I| = \Sigma |I|$   
 $I_D > 0$  le relais différentiel fonctionne.

La sensibilité du relais est réglable  $(1 \div 2,5) I_n$

Ces deux facteurs (sensibilité du relais et facteur de stabilisation) permettent une adaptation optimale de la protection différentielle des j.d.b.

Le diagramme de déclenchement est donné ci-dessous (fig )



Legende

$I_A$  = Courant de défaut

$I_S$  = " de stabilisation

$I_D$  = courant de défaut différentiel

C.D = caractéristique de défaut

D = Déclenchement

B = Blocage

(fig ) Diagramme de déclenchement

(Sensibilité de réponse  $1X I_n$ )

#### VIII - 4 - CONSTITUTION :

Elle est constituée de :

- Relais différentiel ( R.D. : 7 S S 83)
- Appareils de dérivation ( A.D. : 7 S S 84)
- Appareil de contrôle ( A. C. : 7 S S 90).

#### VIII - 4 - 1 : Relais différentiel 7 S S 83 :

Il comporte un pont de redressement avec un relais à cadre mobile dans la diagonale différentielle. Son seuil de fonctionnement en présence d'un C.C. tripolaire est réglable de  $(1 \div 2,5) I_n$ .

Le transformateur intermédiaire (T2) incorporé au relais sert à l'adaptation et par changement de prise au secondaire au réglage du facteur de stabilisation (S).



Le montage de Grätetz (G2) forme la valeur absolue de la somme vectorielle des courants (voir fig ).

VIII - 4 - 2 - Appareil de dérivation :

Il est alimenté par un transformateur mélangeur à 3 enroulements primaires fournissant au secondaire un courant monophasé pour le montage comparateur.

Le rapport des nombres de prises pour les trois (3) enroulements est de 2 : 1 : 3 .

Les sorties des redresseurs des appareils de dérivation sont connectées en parallèles en montage sommateur pour former la somme des courants continus et reliées au côté courant continu du relais différentiel pour la comparaison

VIII - 4 - 3 - Appareil de contrôle :

Cet appareil effectue un contrôle constant du courant dans le circuit de courant de déclenchement afin d'éviter le fonctionnement avec un T.C. accidentellement en court-circuit ou ouvert dans l'un des départs.

Après 8 secondes si le défaut T.C. persiste, le relais verrouille la protection et déclenche le signal "défaut protection des jeux de barres".

VIII - 5 - Application :

On prendra à titre d'exemple les jeux de barres de la Centrale A dont on suppose qu'ils sont doubles et avec couplage transversal.

On aura donc besoin de :

- 8 appareils de dérivation (type 7SS 8401 -2)
- 2 relais différentiels -(type 7 SS 83)
- 2 appareils de contrôle (type 7 SS 90)

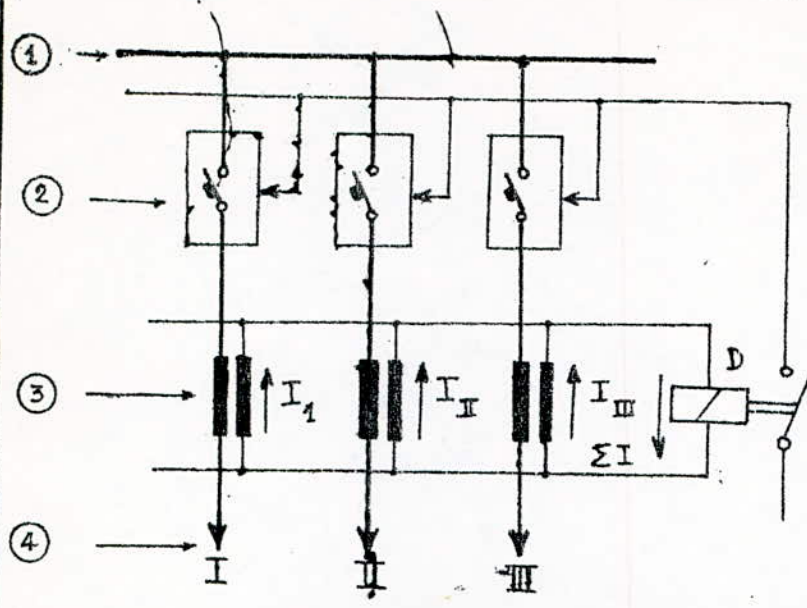
On adoptera pour les relais différentiels une sensibilité de  $1 \times I_n$  et un facteur de stabilisation  $S = 0,7$  valeurs moyennes couramment utilisées et permettant d'éviter un déclenchement intempéstif tout en déclenchant dans les premières périodes de l'apparition du défaut (20 à 40ms).

Le schéma simplifié du montage de ces différents appareils est donnée par la fig .

IX - CHOIX DE L'APPAREILLAGE :

On se propose dans ce chapitre de donner un bref rappel sur le choix de l'appareillage utilisé dans les réseaux électriques.

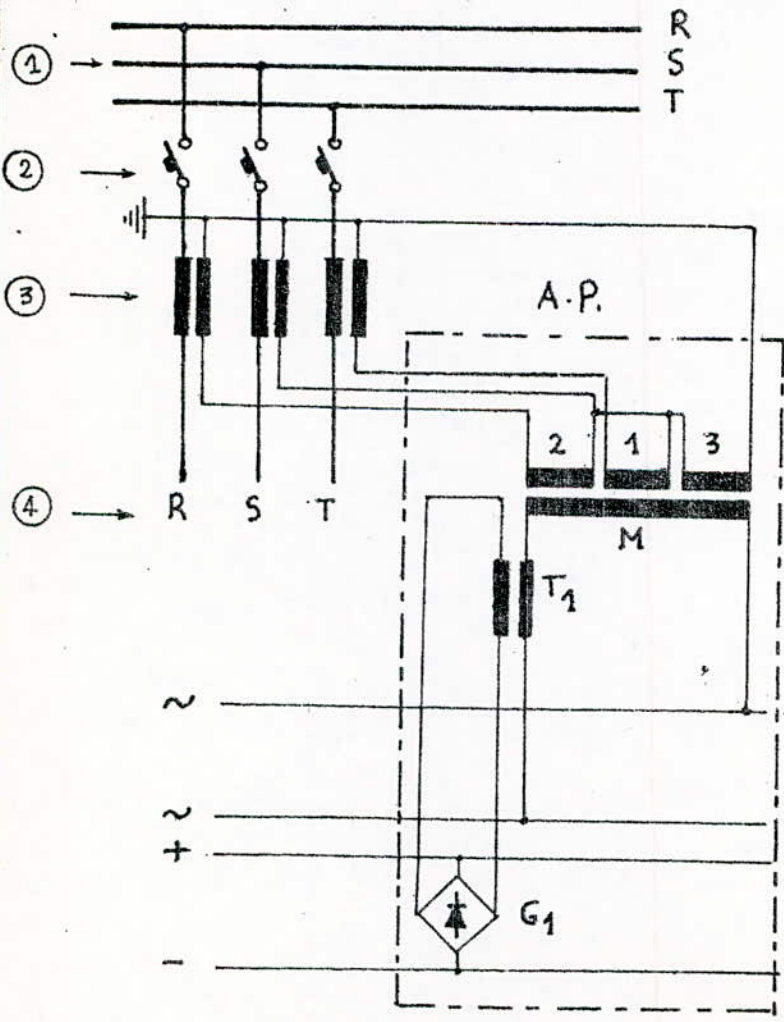
.../...



LEGENDE

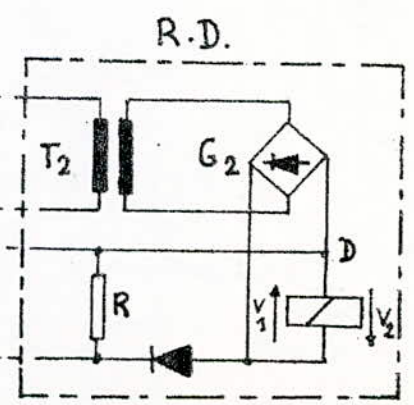
- ① Jeu de barres
- ② disjoncteur
- ③ T.C. principal
- ④ Départs
- D : Relais différentiel

(fig. ) PRINCIPE DE LA PROTECTION DIFFERENTIELLE DES J-D-B



LEGENDE

- M : Transfo. mélangeur
- T : Transfo. intermédiaire
- D : Relais différentiel
- R : Résistance d'équilibrage
- G : Pont de Graetz



(fig ) Groupement des 3 courants de phase pour le circuit de mesure monophasé.



IX - 1 - Transformateur de mesure :

Les transformateurs de mesure (T.C. et T.P.) sont d'une grande importance pour l'exploitation des réseaux électriques. En effet, ils permettent d'isoler de la H.T., les appareils de mesure, de comptage et de protection et de les alimenter à des tensions et courants réduits.

Les transformateurs de courants (T.C.) sont caractérisés par :

1°- courants primaire et secondaire normalisés ( $I_{1n} - I_{2n}$ )

2°- Rapport de transformation ( $K_m = I_{1n}/I_{2n}$ )

3°- Courant d'échauffement ( $I_e = 1,2I_{1n}$  pour cl : 0,2

( $I_e = 1,3I_{1n}$  pour cl : 0,5-1)

4°- Classe de précision (cl : M : 0,2 - 0,5 - 1 - 2

R : SPa , 10 Pa , a = 10, 15, 20, 30

5°- Classe de surintensité ( $K_s = \frac{I_{cc}}{I_{1n}} = 80 - 125 - 200 \dots$ )

6°- Puissance de précision (Sp)

Les transformateurs de tension (T.P.) sont caractérisés par :

1e. Tensions primaire et secondaire nominales ( $U_{1n} , U_{2n}$ )

2e. Tension nominale d'isolement ( $U_i$ )

3e. Rapport de transformation ( $K_n = U_{1n}/U_{2n}$ )

4e. Puissance de précision (Sp)

5e. Puissance d'échauffement (Se)

6e. Classe de précision (cl : M : 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 2  
R : 3p : 6p).

Pour plus de renseignements voir norme U.T.E.

(642 - 500 et 642 - 501).

Pour le choix de ces réducteurs, on doit donner une grande importance à la puissance de précision (Sp) afin que les autres caractéristiques soient conformes aux normes.

Rappel : La puissance de précision (Sp) est la puissance apparente que que le transformateur peut fournir au secondaire sous sa grandeur nominale ( $I_{2n}$  pour une T.C.  $U_{2n}$  pour une T.P.) sans que les erreurs de rapport et de déphasage ne sortent de la limite prescrite par les normes.

A titre d'indication, nous donnons ci-dessous les conditions imposées pour les T.C. et T.P. qu'il faut utiliser dans notre cas (réseau 220KV).

IX - 1 - 1 - Transformateurs de courants : T.C. :

- 1°- Le primaire comporte 2 enroulements pour montage en série ou en parallèle afin d'avoir les intensités nominales 300 - 600A, ses bornes sont marquées P1 , P2 .
- 2°- Les enrullements secondaires sont prévues pour 5A, ils sont au nombre de 3.
- 1 enroulement M; avec un puissance de précision de 75 VA en classe 0,5 ses bornes étant marquées 15<sub>1</sub> - 15<sub>2</sub>
  - 2 enroulements R avec une puissance de précision de 75 VA en classe 5p20 ses borenes sont marquées 25<sub>1</sub> - 25<sub>2</sub> ; 35<sub>1</sub> - 35<sub>2</sub>

De plus l'enroulement R étant monté sur un circuit inductif, avec un facteur de puissance compris entre 0,8 et 1 d'indépendance comprise entre 25% et 100% de l'indépendance nominale. Pour des courants égaux respectivement à 1, 2In , 10 In, 15 In les erreurs du rapport de transformation doivent rester inférieures à  $\pm 1\%$ ,  $\pm 2\%$ ,  $\pm 3\%$  et les déphasages à 1°, 2° et 3°

3°- Classe de surintensité : Ks = 80

4°- Courant en régime permanent Ie = 1,2 In.

5°- Les bornes secondaires S2 des enroulements M et R sont directement mis à la terre à proximité des T.C.

IX - 1 - 2 - Transformateurs de tension (T.P.) :

Pour les T.P. n a les exigences suivantes pour l'échelon de tension 220 KV:

- 1°- Le primaire comporte un seul enroulement prévu pour une tension nominale 220 KV et une tension d'isolement de 245 KV.
- 2°- Le secondaire omporte 2 enroulements qui couplés en parallèle ou en série fournissent une tension de  $100/\sqrt{3}$  ou  $200/\sqrt{3}$  . V

La puissance de précision est de 200 VA en classe 0,5.

Ils peuvent alimenter 2 circuits séparés avec 2 séries de bornes et 2 fusibles de 50A sous 100 V et 25A sous 200V.

3°- Fonctionnement nominal :

Ils sont prévus pour fonctionner normalement sous une tension primaire comprise entre 0,85 et 1,25 U<sub>1n</sub> et gardent toute leur précision entre 0,80 et 1,20 U<sub>1n</sub>.

Les circuits d'utilisation ne doivent pas causer une chute de tension supérieure à 0,1% pour les circuits M et 0,5% U<sub>2n</sub> U<sub>2n</sub> pour les circuits R. U<sub>2n</sub>



Le point neutre secondaire est formé par la réunion des 3 bornes S2 des B.T.P. et mis à la terre en un seul point près des transformateurs. Les câbles de liaisons comportent 4 conducteurs de même section.

La fig ( ) représente un départ type pour une réseau de transport 220KV avec ses appareils (T.C. - T.P. Disj...) conforme aux cahiers de charge de la SONEGAS.

### IX - 2 - Disjoncteurs :

Ce sont des appareils dotés d'un pouvoir de coupure élevé, ce qui leur permet d'ouvrir ou de fermer des circuits même en charge.

Ils sont choisis à l'aide des caractéristiques suivantes :

#### 1°- La tension nominale :

Elle correspond à celle du système où est placé le disjoncteur.

#### 2°- Le courant nominal :

Il doit être plus grand que le courant de charge maximum du circuit où est placé le disjoncteur.

#### 3°- Le pouvoir de coupure :

Il est donné pour la formule :

$$S_{\text{coup}} = \sqrt{3} \cdot U_n ; I_{\text{coup}}$$

Où  $U_n$  : tension nominal du disjoncteur.

$$I_{\text{coup}} = K_{\text{coup}} \cdot I_{\text{cc}} \quad \text{courant de coupure}$$

$I_{\text{cc}}$  : courant de court-circuit.

$$K_{\text{coup}} = F \left( T_{\text{coup}} , \frac{I_{\text{pd}}}{\sum I_n} \right)$$

$I_{\text{pd}}$  : composante périodique directe.

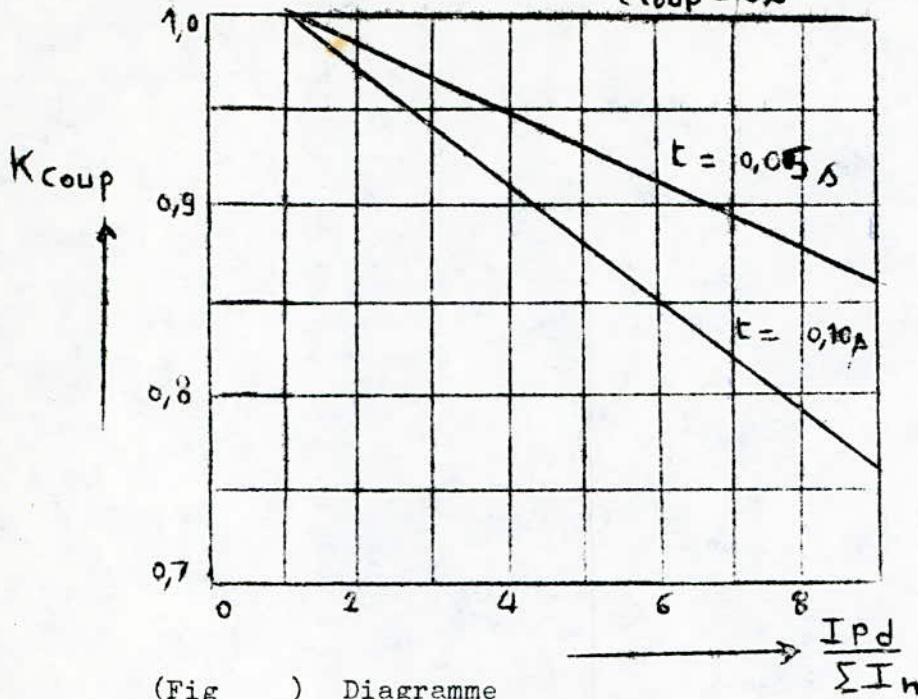
$T_{\text{coup}}$  : temps de coupure.

$\sum I_n$  : somme des courants nominaux de tous les générateurs du réseau.

Si on se fixe le temps de déclenchement  $\approx 0,1$  s par rapport au moment de la production des C.C. on peut ne considérer que la composante périodique du C.C.C.

.../...

$t_{coup} = 0,5$



(Fig ) Diagramme

$$K_{coup} = f \left( T_{coup}, \frac{I_{pd}}{\sum I_n} \right)$$

4°- Type d'installation : extérieure ou intérieure

5°- Mode de commande : manuelle, pneumatique ou électrique.

**Exemple d'application:**

Soit à faire le choix des disjoncteurs des départs de 220KV de la centrale A.

- one 1°) Tension nominale : 220 KV
- 2°) Courant nominal: 875 A (courant de charge max.admis.par les lignes)
- 3°) Courant de coupure:

Calculons d'abord  $\sum I_n = 3I_{n1} + 4 I_{n2} + 3 I_{n3}$

où  $I_{n1}$  ,  $I_{n2}$  ,  $I_{n3}$  : sont les courants nominaux des centrales A,B etC.

.../...



$$I_{n1} = \frac{200}{3 \cdot 242} = 447 \text{ A}$$

$$\sum I_n = 2,264 \text{ KA.}$$

$$I_{n2} = I_{n3} = \frac{50}{3 \cdot 242} = 119 \text{ A}$$

Le défaut le plus violent aux j. d. b A est le c;c. monophasé K1.

$$\text{on a } I_d = \frac{I_{cc}(K1)}{3} = \frac{10,497}{3} = 3,499 \text{ KA}$$

$$\text{d'où } \frac{I_{pd}}{\sum I_n} = \frac{3,499}{2,264} = 1,55$$

$$K_{coup} = f(t \text{ coup} = 0,1 \text{ s} ; \frac{I_{pd}}{\sum I_n} = 1,55) = 0,975$$

Le courant de coupure est alors:

I coup = Kcoup . Icc = 0,975 X 10,497 = 10,235 KA et le pouvoir de coupure sous la tension 220 KV

$$S_{coup} = \sqrt{3} U_n I_{coup} = 3900 \text{ MVA.}$$

Les valeurs normalisées exigées actuellement sur les départs 220 KV sont celles de la (Fig.)

$$U_n = 245 \text{ KV}$$

$$I_n = 1245 \text{ KA}$$

$$S_{coup} = 7500 \text{ MVA}$$

### IX 3: Sectionneurs.

Les selectionneurs sont des interrupteurs sans pouvoir de coupure. Ils se manoeuvrent généralement à vider, par commande directe (manuelle ou électrique. Ils sont destinés à ~~isoler~~ isoler une ligne, un circuit ou un appareil, pour permettre un travail d'entretien ou de réparation sans danger.

Leur choix se détermine en général, par :

- 1°) La tension nominale.
- 2°) Le courant nominal,
- 3°) Le type d'installation,
- 4°) Le mode de commande.

Pour notre cas (départ 220 KV) on a :

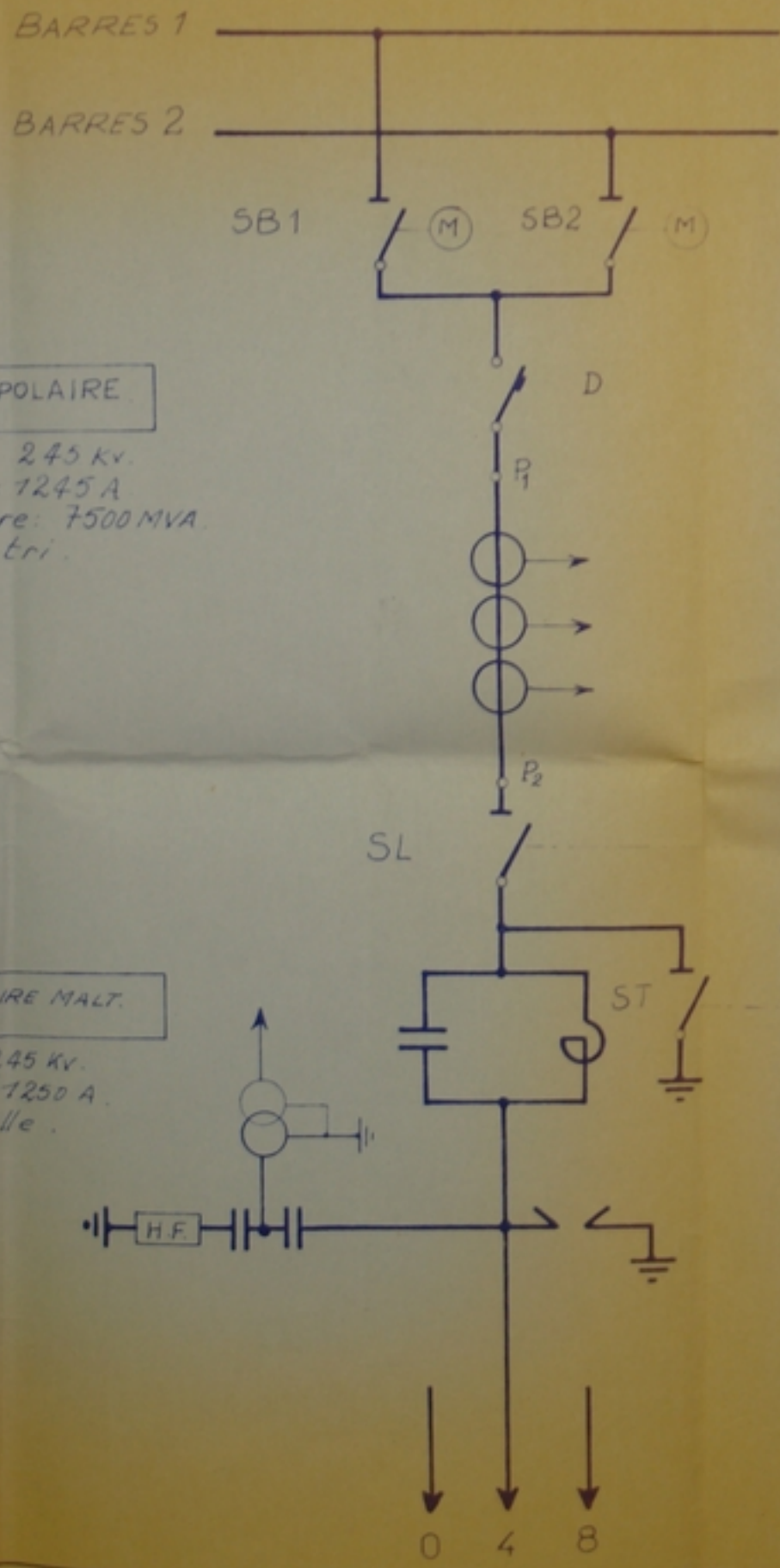
$$U_n = 245 \text{ KV}$$

$$I_n = 1250 \text{ A}$$

Installation e extérieure.

Commande : électrique (voir fig:).

2400283



**1 DISJONCTEUR TRIPOLAIRE.**

Tension nominale : 245 kv.  
 Courant nominal : 1245 A  
 Puissance de coupure : 7500 MVA.  
 Commande : mono-tri.  
 constructeur :  
 type :  
 plan :

**SECTIONNEUR TRIPOLAIRE MALT.**

Tension nominale : 245 kv.  
 Courant nominal : 1250 A.  
 Commande : manuelle.  
 constructeur :  
 type :  
 plan :

**2 SECTIONNEURS TRIPOLAIRES.**

Tension nominale : 245 kv  
 Courant nominal : 1250 A  
 Commande : électrique  
 constructeur :  
 type :  
 plan :

**3 TRANSFOS DE COURANT.**

Rapport : 300-600/5-5-5 A  
 Puissance enroulement :  
 151-152 : 75 VA  
 251-252 : 75 VA  
 351-352 : 75 VA  
 Classe de précision :  
 151-152 : cl 0.5  
 251-252 : 5P20  
 351-352 : 5P20

**3 CIRCUITS BOUCHONS.**

Constructeur :  
 type :

**3 CONDENSATEURS DIVISEURS DE TENSION.**

Rapport :  $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}}$  kv.  
 Puissance enroulement : 200 VA  
 classe de précision : 0.5  
 Capacité HF : 3000 pF  
 Fréquence transmise : 50-600 kHz.  
 constructeur :  
 type :

SCHEMA UNIFILAIRE TYPIQUE D'UN DEPART 220KV.



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

Dans notre présente étude on a passé en revue le calcul des courants de court-circuit qui sont une base nécessaire pour dimensionner les différents appareillages et protection du réseau.

La méthode de calcul utilisée est celle des grandeurs réduite qui s'adapte bien aux réseaux T.H.T. très branqués. Cette méthode très pratique suppose certaines hypothèses simplificatrices et donne des résultats très proches de la réalité avec des erreurs minimales.

On a traité aussi, avec beaucoup plus de détails, les protections des différents éléments de notre réseau contre les surintensités.

Pour le réglage de ces protections on s'est borné, faute de temps à traiter certains échantillons judicieusement choisis pour servir d'exemples aux autres éléments du réseau.

Enfin, il faut signaler que l'étude de l'ensemble des protections d'un réseau aussi complexe que celui du transport électrique nécessite en plus des connaissances théoriques, une certaine expérience pratique qui, hélas nous manque pour que les réglages convenablement adoptés aient une influence réelle sur l'élimination des défauts au moment opportun sans porter préjudice au matériel ni à la stabilité du réseau.

Cette étude nous a permis en outre d'approfondir notre formation dans le domaine de fonctionnement des réseaux en général et des protections en particulier.

.../...

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

---

- 1°- FONCTIONNEMENT ET PROTECTION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION (par J.FAVRAUD - E.D.F. ed 1978)
- 2°- INSTALLATION ELECTRIQUES H. et B.T. T.2 - (par A. MAUDUIT ed. DUNOD).
- 3°- PROTECTION DE DISTANCE R X AP 6205  
(Notice technique Schlumberger - M 6960/1A/ - 2A).
- 4°- RELAIS AMPEREMETRIQUE A POURCENTAGE R B A H 130 - 140  
(Notice Technique Schlumberger).
- 5°- PROTECTION DE j.d.d. PAR COMPARAISON DES VALEURS MESURE.  
(Notice technique SIEMENS ; E 14 / Fe.OCT. 1973).
- 6°- RELAIS ET SYSTEMES DE PROTECTION.  
(Catalogue B B C 1975 - CH E. S. - 60 F).
- 7°- NORMES U.T.E. C 42 - 500. - C.42 - 501
- 8°- THESES DE FIN D'ETUDES.



TABLE DES MATIERES  
oOo

Introduction  
Données techniques  
Schéma du Réseau.

I<sup>ere</sup> PARTIE  
oOo

DEFAUTS ET COURANTS DE COURT - CIRCUIT

<u>Chapitres</u>	<u>Titres</u>	<u>pages</u>
I -	GENERALITES	
	I - 1 - Definition .....	1
	I - 2 - origine des défauts.....	
	I - 3 - caractères des défauts.....	
	I - 4 - Conséquences des défauts.....	
	I - 5 - Utilité du calcul des courants de court-circuit.....	2
II -	INTENSITE DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT.....	2
	II-1- Definition.....	
	II-2- Facteurs influençant l'intensité des courant de C.C .....	
	II-3- Utilisation des composantes symetriques pour le calcul des .....	3
	courants de C.C.....	
	II-4- Grandeur et signification physique des composantes symetriques.	
III-	NOTIONS DES GRANDEURS REDUITES	
	III-1-Généralités.....	4
	III-2-Définitions et choix des grandeurs de base .....	
	III-3-Réactances Reduites des éléments du Réseau.....	5
	III-4-Application et Resultats.....	6
	III-5-Méthode de calcul des courants de C.C.....	7
IV	<u>APPLICATIONS</u> - - - - -	9
	<u>II<sup>eme</sup> PARTIE</u>	
	<u>PROTECTION : ETUDE ET REGLAGE</u>	
V-	GENERALITES RELATIVES AUX RELAIS ET PROTECTIONS	
	V- 1 - Relais.....	16
	V- 2 - Protections.....	17
VI :	PROTECTION DES TRANSFORMATEURS	
	VI-1 - Protection contre les anomalies de refroidissement .....	18

V-I2 - Protection contre les surcharges.....	19
VI-3 - Protection contre les court-circuits.....	21
VII- PROTECTION DES LIGNES	
VII-1 -protection principale:protection de DISTANCE.....	32
VII-1 - 1 -principe de la protection de distance.....	32
VII-1 - 2 -Constitution et fonctionnement de la protection de distance.....	35
VII-1 -3 - Reglage de la protection de distance.....	38
VII-2 - protection complementaire :	
protection directionnelle de terre.....	44
VII-2-1 -principe de fonctionnement.....	44
VII-2-2 -Application.....	44
VIII :PROTECTION DES JEUX DE BARRES	
VIII-1- Utilisation.....	47
VIII-2- Fonctionnement.....	47
VIII-3- Stabilisation.....	
VIII-4- Constitution.....	48
VIII-5- Application.....	49
IX- CHOIX DE L'APPAREILLAGE	
IX-1- Transformateurs de mesure.....	50
IX-1-1- Transformateurs de courants (T.C.).....	51
IX-1-2- Transformateurs de tension (T.P.).....	
IX-2- Disjoncteurs.....	52
IX-3- Sectionneurs.....	54

Conclusion

Bibliographie



STRONG

