

12/81

12/81

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

PA

U.S.T.H.B.

lea

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

département d'électronique et d'électrotechnique

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

CONCEPTION DES PROTECTIONS  
ET DES MESURES PRINCIPALES  
D'UN ALTERNATEUR

Proposé par :

M. MICHALAK

Étudié par :

M. M. BOURAS

M. B. CHENNI

JUIN 1981

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ  
وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَى  
عِلِّيِّ الْعَلِيِّ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا  
كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

# TABLE DES MATIERES

---

PAGES

Introduction..... 1

## I - CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

- 1 - Courant de court-circuit triphasé symétrique..... 3
- 2 - Courant de court-circuit biphasé isolé..... 5
- 3 - Courant de court-circuit monophasé..... 5
- 4 - Courant de court-circuit minimum..... 5

## II - CONCEPTION DE LA PROTECTION

### Défauts d'origine interne

- 1 - Protection contre les courts-circuits entre phases de l'induit..... 8
- 2 - Protection contre les courts-circuits à la terre de l'induit..... 9
- 3 - Protection contre le 1er court-circuit à la terre dans le circuit d'excitation..... 11
- 4 - Protection contre le 2<sup>nd</sup> court-circuit à la terre dans le circuit d'excitation..... 12
- 5 - Protection contre l'élévation excessive de la température des enroulements et de l'acier..... 13

### Défauts d'origine externe

- 1 - Protection contre les surintensités dues aux courts-circuits extérieurs..... 14
- 2 - Protection contre le parcours inverse de la puissance..... 16
- 3 - Protection contre les surcharges durant le régime normal..... 16

I - Défauts d'origine interne :

- 1°) - courts circuits entre phases de l'induit
- 2°) - courts circuits à la terre de l'induit
- 3°) - 1er court circuit à la terre dans le circuit d'excitation
- 4°) - 2nd court circuit à la terre dans le circuit d'excitation
- 5°) - élévation excessive de la température des enroulements et de l'acier

II - Défauts d'origine externe :

- 1°) - surcharge résultant de court circuits extérieurs
- 2°) - surcharges durant le régime normal
- 3°) - parcours inverses de la puissance

Notre étude comportera cinq chapitres :

- I - Calcul des courants de court circuit
- II - Conception de la protection
- III - Choix des relais de protection et des appareils de mesure électriques
- IV - Choix des transformateurs de mesure
- V - Schemas de Comexion.

III - CHOIX DES APPAREILS DE MESURE ELECTRIQUE ET DES  
RELAIS DE PROTECTION

Choix des appareils de mesure electriques	
1 - Appareils indicateurs.....	18
2 - Appareils de synchronisation.....	20
3 - Compteur.....	21
4 - Appareils enregistreurs.....	21
Choix des relais de protection.....	23

IV - CHOIX DES TRANSFORMATEURS DE MESURE

1 - Transformateurs de courant.....	30
2 - Transformateurs de tension.....	36

<u>CONCLUSION</u> .....	40
-------------------------	----

R E M E R C I E M E N T S  
o \_ o

Nous tenons à remercier vivement notre Promoteur  
Mr MICHALAK pour tous les conseils qu'il nous a prodigués durant notre  
étude.

Nous n'oublions pas de remercier ainsi tous nos  
anciens Professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont également à Mrs Boulkroune,  
Baa, Sahi, Tebbiche, Messad, à Melle Fatma et à toute la sympathique  
équipe de la SONELGAZ qui n'a ménagé aucun effort pour nous documenter.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin  
à l'élaboration de ce projet trouvent ici l'expression de notre pro-  
fonde reconnaissance.

DEDICACES

---

---

---

A ma mère  
A mon père  
A mes frères et soeurs  
A Loucif et Hamoudi  
A tous mes amis

CHENNI BOUZID

A KAKIS

A mon père  
A ma mère  
A mes frères et soeurs  
A mes amis

BOURAS MEZIANE

## INTRODUCTION

L'alternateur est un organe vital d'un réseau d'énergie électrique, quelle que soit l'étendue de celui-ci : Réseau d'alimentation d'une installation industrielle localisée, ou réseau de transport d'énergie à l'échelon régional ou national.

Ses détériorations éventuelles peuvent entraîner de lourdes conséquences :

- . frais de réparation élevés
- . Défaut de fourniture d'énergie dans un secteur, plus ou moins grand
- . immobilisation ou indisponibilité d'installation ou d'ateliers.
- . rupture de cadences de fabrication
- . arrêts d'équipements vitaux.

Or, du fait de son fonctionnement propre, ou du fait de sa liaison avec d'autres parties du réseau, il peut être affecté par les incidents qui risquent, par leur répétition ou leur durée, d'être préjudiciables à ses enroulements. Le but des dispositifs de protection est de détecter ces incidents, de les localiser, de signaler leur existence ou leur persistance et donner automatiquement tous ordres nécessaires à la séparation de la partie defectueuse, permettant la remise en état de celle-ci et la reprise rapide du service normal.

Les dispositifs de protection son nombreux, leur variété est due :

- . à celle des types d'alternateur à protéger
- . au mode d'exploitation de ceux-ci
- . aux divers incidents pouvant survenir en exploitation

Le but de notre étude consiste en la protection de l'alternateur contre les défauts suivants :

↑

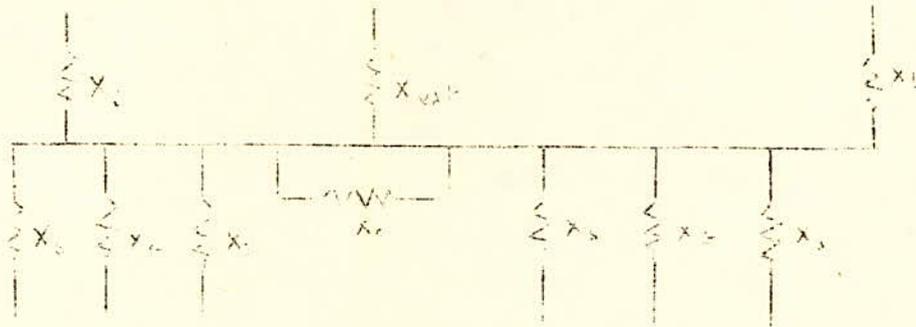
# CHAPITRE PREMIER

## CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT

Le calcul des courants de court circuit nous permet de choisir les appareils de mesure et les relais de protection de notre alternateur.

### 1- Courant de court circuit triphasé symétrique

Schéma équivalent du système



$X_s$  : réactance de la self

$X_g$  : " subtransitoire du générateur

$X_l$  : " du câble reliant le jeu de barre au transformateur

$X_{ext}$  : " de court circuit extérieur

Le courant de court circuit pouvant affecter notre générateur

sera  $I = \frac{U}{X_g}$

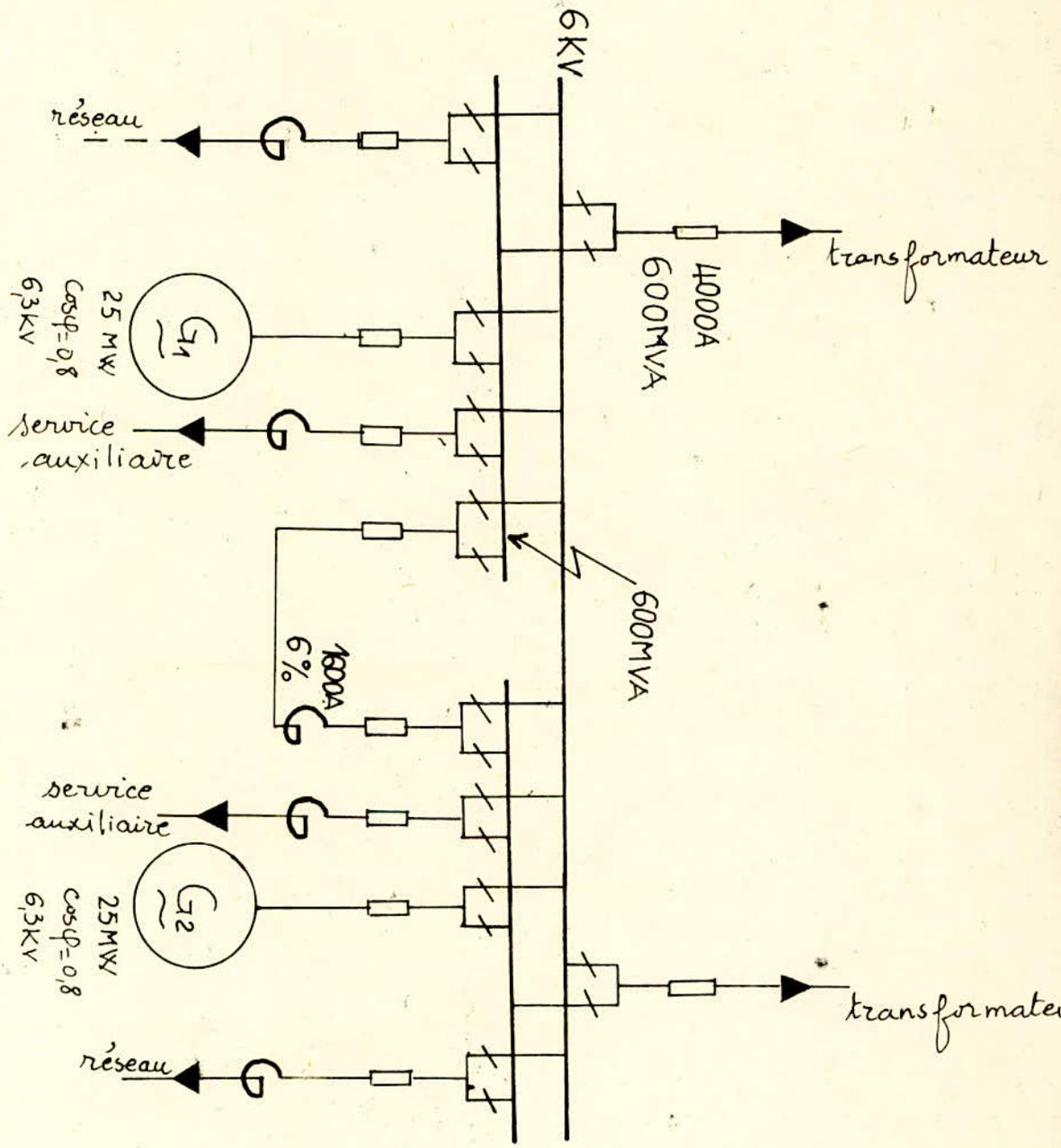
### a- courant de court circuit initial

$$I_{in} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} X_g}$$

### Calcul de la réactance du générateur

L'expression de la réactance subtransitoire d'un générateur est la suivante

$$X_g = \frac{X\% U_n^2}{100 \cdot S_n}$$



X% : taux de réactance

U : tension nominale entre phase en KV

Sn : puissance nominale apparente en MVA

$$S_n = \frac{P}{\cos.} = \frac{25}{0,8} = 31,25 \text{ MVA}$$

$$X\% = 12 \%$$

$$X_g = \frac{12 \times (6,3)}{100 \times 31,25} = 0,152 \%$$

$$I_{in} = \frac{1,1 \times 6,3}{(\sqrt{3} \times 0,152)} = 26,32 \text{ KA}$$

b- courant de choc

$$I_{ch} = 1,8 (\sqrt{2} I_{in}) = 1,8 \times (\sqrt{2} \times 26,32 \text{ KA}) = 67 \text{ KA}$$

c- courant équivalent thermiquement

$$I_{eq} = K_e I_{in} \quad K_e = \left( \frac{I_{ch}}{I_{in}} \right)^2$$

$I_n$  : courant nominal du générateur

$$I_n = \frac{S}{(\sqrt{3} U)} = \frac{31,25}{(\sqrt{3} \times 6,3)} = 2,86 \text{ KA}$$

$$I_{In} = 2 \times 2,86 = 5,72 \text{ KA}$$

$$\frac{I_{in}}{I_n} = \frac{26,32}{5,72} = 4,6$$

$$I_{In} = 5,72$$

D'après le diagramme  $K_e = \left( \frac{I_{ch}}{I_{In}} \right)^2$

$t_{coup} = 0,1$  s on tire  $K_e = 0,88$

et pour un temps de coupure

$$I_{eq} = 0,88 \times 26,32 = 23,16 \text{ KA}$$

## 2 - courant de court circuit biphasé isolé

Il est donné par la formule suivante :

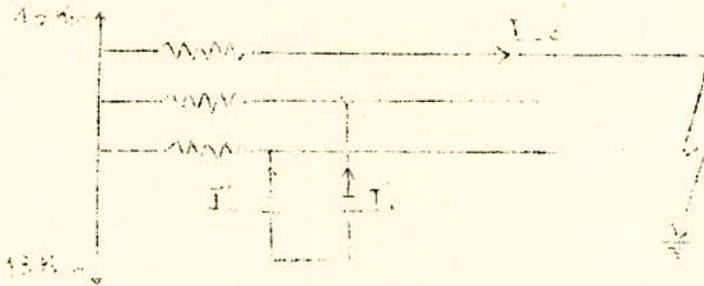
$$I_{cc2} = \frac{1,1 U}{Z_d + Z_i}$$

$Z_d$  et  $Z_i$  sont respectivement l'impédance directe et inverse du générateur

$$Z_d = Z_i = 0,152 \Omega$$

$$I_{cc2} = \frac{1,1 \times 6,3}{2 \times 0,152} = 22,8 \text{ KA}$$

## 3 - courant de court circuit monophasé



Notre système comporte 26 kms de câble. Pour le calcul de  $I_{cc}$  on utilise la formule approchée suivante :

$$I_{cc} = \frac{U_{e1}}{10} \sqrt{A}$$

$U_e$  : tension nominale entre phase en KV du jeu de barre

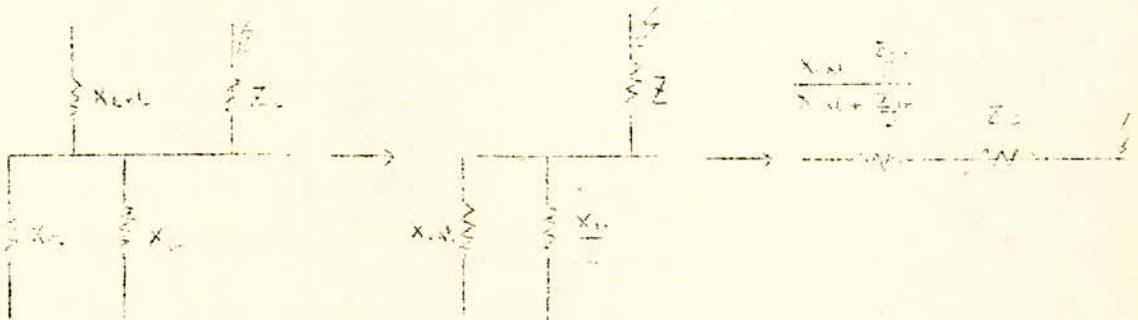
$l$  : longueur de tous les câbles en Km

$$I_{cc} = \frac{6 \times 26}{10} = 15,6 \text{ A}$$

## 4 - courant de court circuit minimum

Il est calculé à la fin d'une ligne sortant du jeux de barre.

Schéma équivalent



$$X_{ext} = \frac{1,1 \times (U_e)^2}{(\sqrt{3} \times P_{rx \text{ ext}})} = \frac{1,1 \times (6)^2}{(\sqrt{3} \times 600)} = 0,038 \Omega$$

.../..

Pcc ext : puissance de court circuit extérieur

$$X_{g6} = X_g \frac{(6)^2}{(6,3)^2} = 0,152 \times \frac{(6)^2}{(6,3)^2} = 0,137 \Omega$$

$$\frac{X_{ext} \cdot X_{g6}}{2} = \frac{0,038 \times 0,137}{2} = 0,024 \Omega$$
$$X_{ext} + \frac{X_{g6}}{2} = 0,038 + 0,137 = 0,175 \Omega$$

a- calcul de l'impédance équivalente  $Z_{eq}$

La chute de tension dans le câble ne doit pas dépasser 6% de  $U_e$

$$\Delta U = \frac{6 \times 6}{100} = 0,36 \text{ KV} = 360 \text{ V}$$

La chute de tension dans un câble triphasé est donnée par

$$\Delta U = \frac{l i (\sqrt{3} (R' \cos \phi + X' \sin \phi))}{1000}$$

$l$  : longueur du câble en [m]

$i$  : courant admissible

$R'$  : résistance effective

$X'$  : réactance effective

Pour le câble en cuivre de section 240 mm<sup>2</sup> :

$$R' = 0,103 \text{ } \Omega/\text{Km}$$

$$X' = 0,074 \text{ } \Omega/\text{Km}$$

$$i = 511,75 \text{ A}$$

$$l = \frac{1000 \Delta U}{i (\sqrt{3} (R' \cos \phi + X' \sin \phi))}$$

$$l = \frac{1000 \times 360}{511,75 (\sqrt{3} (0,074 \times 0,8 + 0,103 \times 0,6))} = 3,35 \text{ Km}$$

$$R = R' l = 0,074 \times 3,35 = 0,24 \Omega$$

$$X = X' l = 0,103 \times 3,35 = 0,34 \Omega$$

$R$  et  $X$  sont les résistances et réactance du câble

$$Z_{eq} = \sqrt{(R)^2 + (X)^2} = \sqrt{(0,24)^2 + (0,34 + 0,024)^2} = 0,436 \Omega$$

b - courant initial

La tension au point de court circuit est :

$$U' = U_e - \Delta U = 6 - 0,36 = 5,64 \text{ KV} = 5640 \text{ V}$$

$$I'_{in} = \frac{1,1 U'}{\sqrt{3} Z_{eq}} = \frac{1,1 \times 5,64}{\sqrt{3} \times 0,436} = 8,21 \text{ KA}$$

I - Défauts d'origine interne

1°) Protection contre les courts circuits entre phases de l'induit

Un court circuit direct entre des parties d'enroulement appartenant à des phases différentes provoque un important courant de défaut à l'intérieur de la machine et des dégâts correspondants à l'endroit du défaut. Ces défauts ont pour conséquences :

- détérioration des isolants
- " " conducteurs
- " du circuit magnétique

pouvant conduire à un incendie grave.

Les défauts entre phase entraînent un échange de courant entre phases à l'intérieur de l'alternateur, et par conséquent une différence entre les courants mesurés à chaque extrémité d'une même phase. Ils se détectent par des dispositifs différentiels, sélectifs de la section protégée.

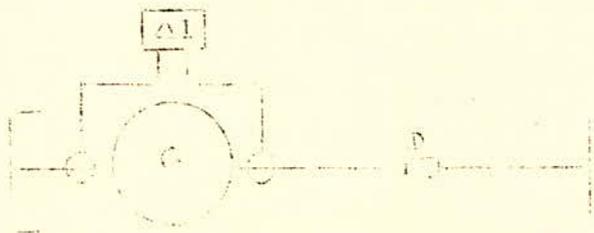
La protection différentielle longitudinale instantanée est appliquée le plus souvent si les deux côtés du générateur sont accessibles.

Les transformateurs de courant doivent avoir le même rapport de transformation et possiblement les mêmes caractéristiques d'erreur

Le relais différentiel doit être stabilisé et insensible aux régimes transitoires ayant lieu dans les transformateurs.

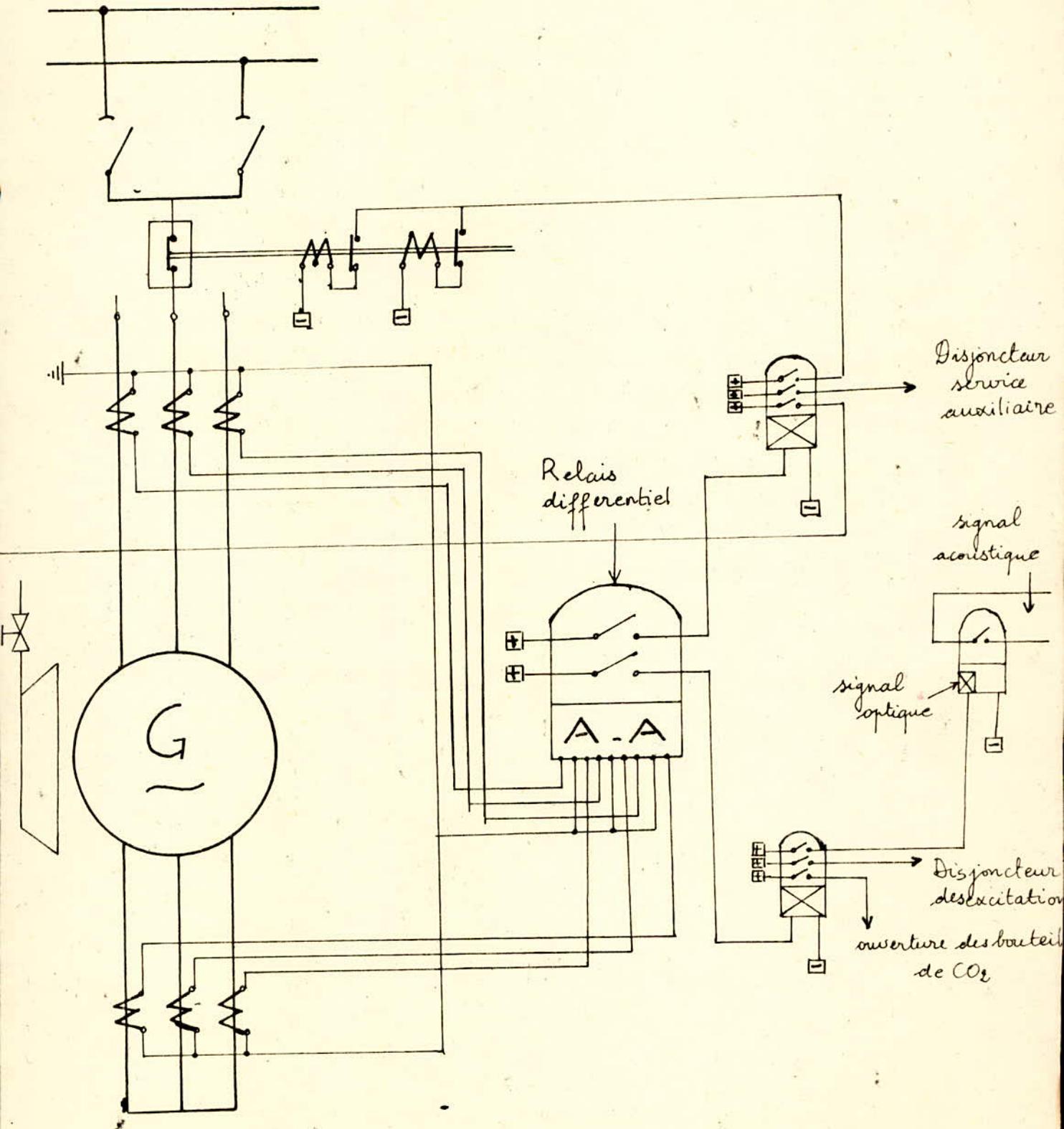
Le courant de démarrage du relais est

$$\text{Idem} = 0,2 \text{ Ingen} = \frac{0,2 \times 2864}{572,8} = 1\text{A}$$



Ces défauts doivent entraîner le déclenchement du disjoncteur principal, la désexcitation de l'alternateur, l'arrêt de la turbine, l'émission de gaz carbonique, la signalisation, l'ouverture du disjoncteur des services auxiliaires.

# Protection différentielle



## 2 - Protection contre les courts-circuit à la terre de l'induit :

On applique une protection réagissant à la composante homopolaire de courant. Le plus souvent on applique un transformateur Ferranti avec un relais à maximum de courant. Ce relais pouvant réagir aux courants d'équilibrage lors d'un court circuit entre phases, on doit munir la protection d'un blocage à l'aide d'un relais auxiliaire. Ce dernier doit couper le circuit de la protection dans le cas d'un court-circuit extérieur. Il doit être actionné par la protection contre les surintensités extérieurs.

La sensibilité de la protection doit être suffisamment grande pour que le relais agisse aux courants de l'ordre de 3 A et même moindre.

La protection doit embrasser au moins 70 % de l'enroulement. La sensibilité au dessous de 3 A est nécessaire rarement, les courants de quelques ampères ne produisent pas de grands dégâts de tôle du générateur.

La réalisation de la protection est d'autant plus difficile plus petit est le courant de court-circuit monophasé à la terre du réseau alimenté par le générateur.

Le courant de démarrage (Idem) du relais est :

$$\text{Idem} \gg \frac{K_s (K' I_{cc} + I_{eq})}{V_i}$$

$I_{cc}$  : courant de court-circuit monophasé à la terre débité par le générateur lors d'un court-circuit extérieur.

$I_{eq}$  : courant d'équilibrage résultant de la construction du transformateur Ferranti

$$I_{eq} : 30 \% I_{cc}$$

$K_{sec}$  : coefficient de sécurité

$K'$  : coefficient qui prend en considération l'augmentation du courant au moment initial de court circuit (régime transitoire)

$V_i$  : rapport de transformation

$$K_{sec} = 1,2$$

$K'$  : 4,5 la protection doit agir instantanément

$$V_i = \frac{400}{5} = 80$$

$$I_{cc} : 15,6 \text{ A}$$

$$I_{eq} = 30 \% I_{cc} = 4,68 \text{ A}$$

$$\text{Idem} \gg \frac{1,2 (4,5 \cdot 15,6 + 4,68)}{80} = 1,12 \text{ A} \quad , \quad \text{Idem} = 1,2$$

Le coefficient de sensibilité doit vérifier

K sensibilité  $\gg 2$

$$K_{\text{sens}} = \frac{I_{\text{ccmax}}}{I_{\text{den. Vi}}}$$

calcul de  $I_{\text{cc max}}$ .

c'est le courant de court-circuit biphasé à la terre

$$I_0 = \frac{-Z_0}{Z_d Z_i + Z_i Z_0 + Z_0 Z_d} V_n$$

$$X_d = 195 \% = \frac{195}{100} \frac{(6,3)}{31,25} = 2,47 \Omega$$

$$X_i = 16 \% = \frac{16}{100} \frac{(6,3)}{31,25} = 0,2 \Omega$$

$$X_0 = 8 \% = \frac{8}{100} \frac{(6,3)}{31,25} = 0,1 \Omega$$

$$I_0 = \frac{0,1}{0,494 + 0,02 + 0,247} 6,3 = 827,85 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{\text{ccmax}} = 827,75 \text{ A}$$

$$K_{\text{sens}} = \frac{827,75}{1,2 \times 80} = 8,62$$

La sensibilité est bonne

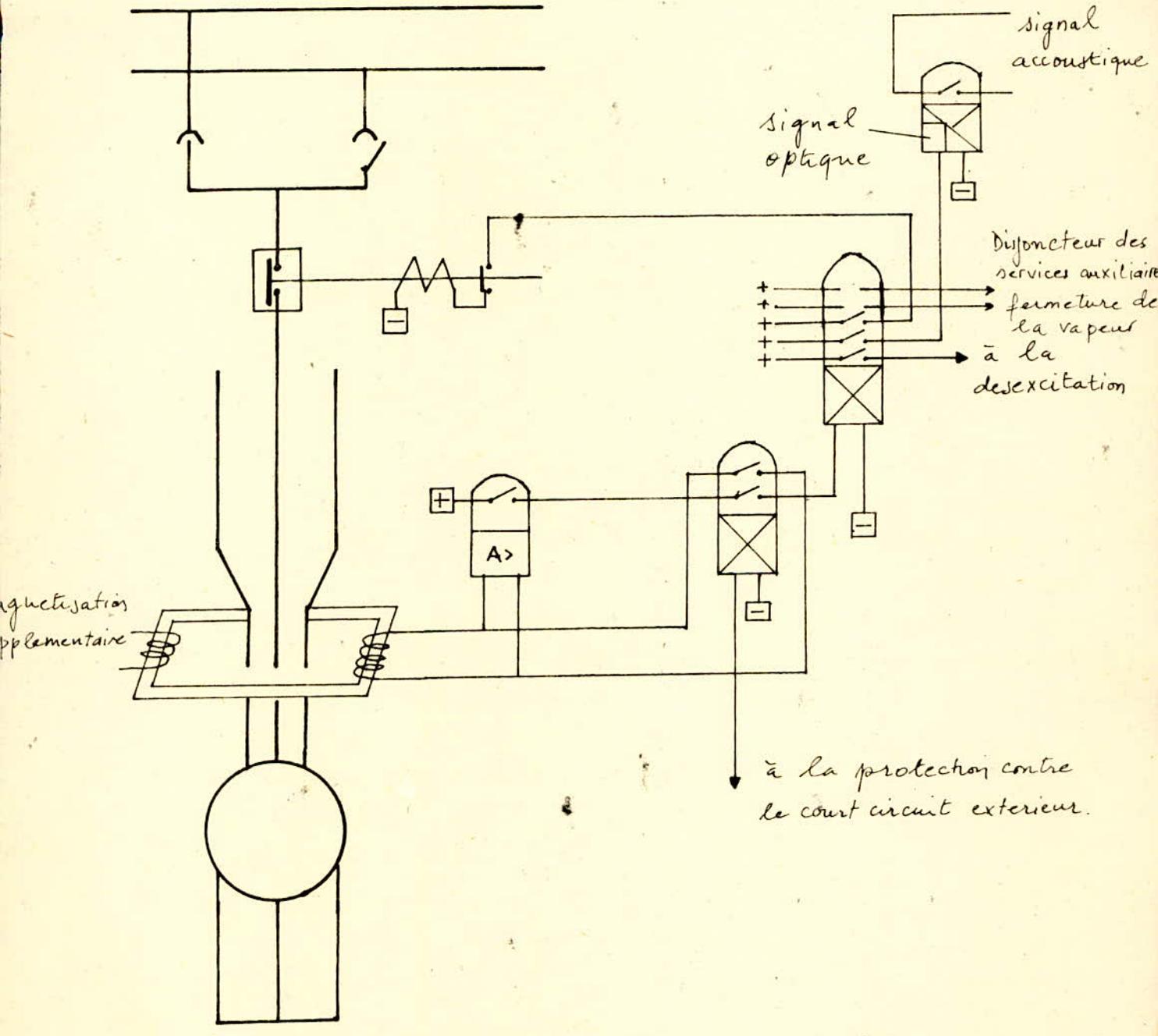
Le transformateur Ferranti doit avoir des dimensions assez grandes pour pouvoir embrasser les trois phases du générateur.

Dans ce cas, la puissance qu'il reçoit du circuit primaire est insuffisante, c'est pour cette raison qu'on applique des relais très sensibles, et le transformateur est magnétisé supplémentairement.

Cette protection doit assurer

- l'ouverture du disjoncteur principal
- l'ouverture du disjoncteur des services auxiliaires
- la descente de l'alternateur
- la signalisation optique et acoustique.
- fermeture de la vapeur

Protection contre les courts circuits à la terre de l'induit



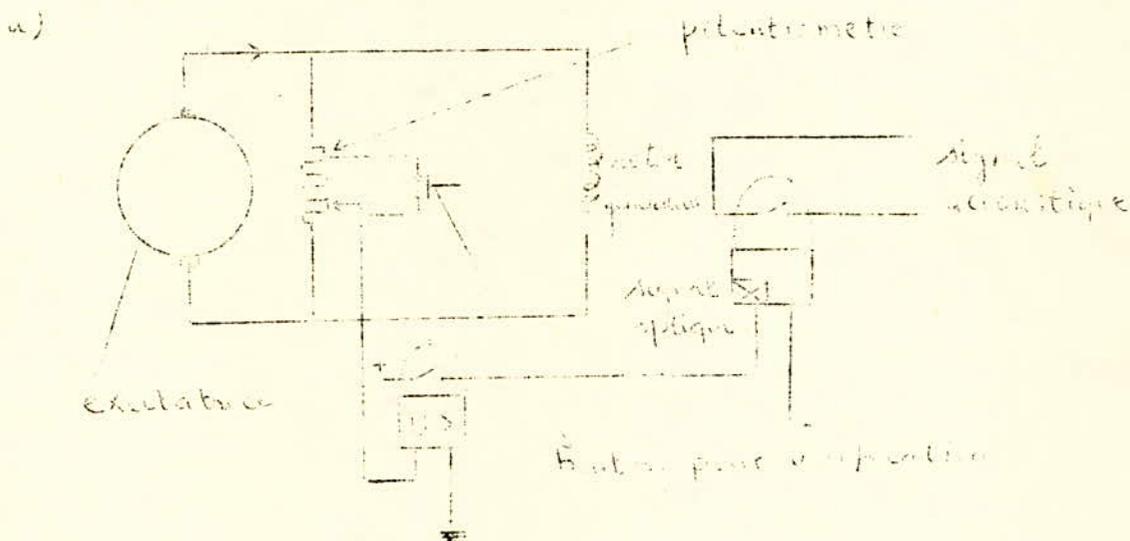
### 3°) Protection contre le 1er court circuit à la terre dans le circuit d'excitation

Parmi les défauts susceptibles de se manifester à l'intérieur du rotor, on distingue les défauts entre enroulement rotor et masse dus à une détérioration de l'isolant.

Un défaut d'isolement entre circuit rotérique et masse n'affecte pas le fonctionnement correct de l'alternateur puisque ce circuit est normalement isolé de la masse.

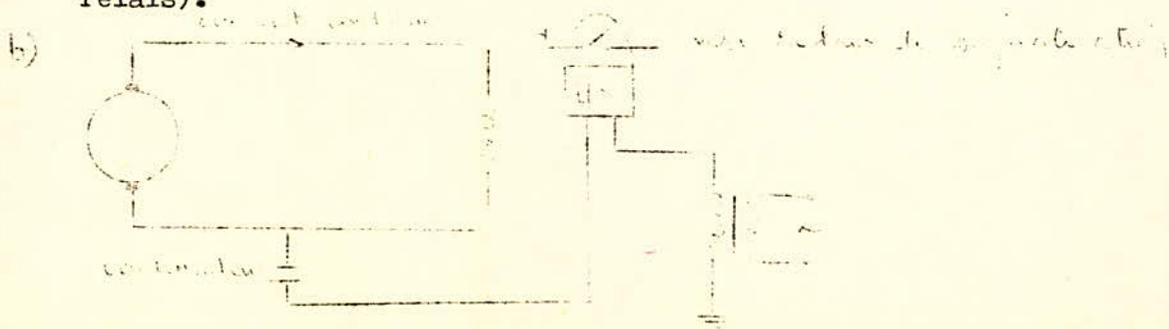
Le défaut doit cependant être signalé car un 2<sup>e</sup> défaut entraînerait un court circuit, avec ses conséquences.

L'isolation du circuit d'excitation doit être contrôlée périodiquement. On applique la protection qui signale le court circuit.



Le relais de tension est connecté au circuit d'excitation par l'intermédiaire d'un potentiomètre. Si l'isolation du circuit d'excitation est bonne, il ne réagit pas.

Dans le cas d'un court circuit à la terre, le relais est actionné par la tension d'excitation. Le défaut de cette solution est la zone morte (si le court circuit est tout près du point de connexion du relais).



Le relais est alimenté d'une source à courant alternatif. Le courant passe par le relais dans le cas d'un court circuit dans l'excitation. Le condensateur coupe le circuit pour le courant continu et limite la valeur du courant alternatif. Il n'y a pas de zone morte.

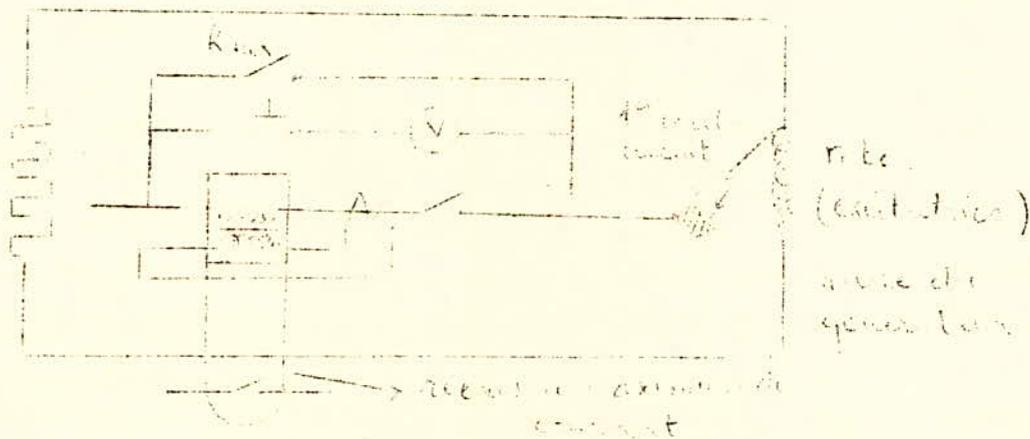
4°) Protection contre le second court circuit à la terre dans le circuit d'excitation

Un 1er défaut à la masse, dans le rotor d'un alternateur n'est pas dangereux. Il n'engendre aucun courant de circulation.

L'expérience montre qu'il est nécessaire de détecter ce premier défaut souvent suivi par un 2è défaut. Et dans ce cas, apparaissent un courant de circulation de haute intensité et un déséquilibre dangereux pour la machine.

Toutefois, la détection du 1er défaut présente l'avantage de ne pas créer de destruction irrémédiable de l'isolant. Le coût de la réparation sera donc nettement moins élevé.

Il est donc important de signaler chaque défaut rotorique à la terre et de la supprimer à la 2ère occasion.



En déplaçant le curseur du potentiomètre on équilibre le circuit du 1er court circuit de telle manière que le courant ne passe pas par le relais

Si le 2nd court circuit à la masse a lieu, dans le circuit du relais paraît un courant continu qui l'actionne.

Le délai de démarrage doit être de l'ordre de 0,5-1 sec pour éliminer l'influence de la composante transitoire de court circuit.

5°)- Protection contre l'élévation excessive de la température des enroulements et de l'acier

L'échauffement d'une machine a une grande influence sur sa longévité, car les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux utilisés ont tendance à se dégrader avec l'augmentation de la température, et ce d'autant plus rapidement que la température est élevée. Si, en disposant convenablement les refroidisseurs, et en employant des organes de surveillance appropriés, on peut empêcher que la température des enroulements ne s'élève trop, même localement au dessus d'une certaine valeur empirique pendant un temps long, l'échauffement de la machine n'aura aucune influence sur sa fiabilité.

Les échauffements anormaux, c'est à dire, les dépassements des limites de températures admises sont dûes soit à une augmentation des pertes de la machine au-delà des valeurs correspondant à la pleine charge, soit à une diminution du refroidissement. Les causes de l'augmentation des pertes sont aussi bien des surintensités dans les enroulements statoriques et rotoriques, que les pertes supplémentaires dans le rotor qu'entraîne la charge monophasée, la marche asynchrone ou les harmoniques supérieurs du courant statoriques.

Le principe de la surveillance est basée sur la mesure continue des températures entrant en ligne de compte. Pour cela, on utilise des sondes de mesure de température qui sont disposées dans les encoches du stator, les coquilles de palier, et les segments de palier pour l'indication directe de température au moyen d'instruments indicateur ou enregistreur, avec des contacts pour la signalisation des températures limitées.

Il faut remarquer qu'une partie de machine n'atteint une température inadmissible que si la cause de l'échauffement existait depuis un certain temps.



## II - Défauts d'origine externe

### 1°)- Protection contre les surintensités dues aux courts-circuits extérieurs

Les surintensités dues à des courts circuits extérieurs sont théoriquement décelées au moyen d'une protection à maximum de courant avec un délai de déclenchement. C'est la protection principale qui en même temps constitue en quelque sorte la réserve pour la protection de l'alternateur contre les courts circuits entre les phases.

Elle se compose de trois relais à maximum de courant et d'un relais à action retardée. Le courant de démarrage doit remplir la condition /

$$\text{Idem} \geq \frac{K_{\text{sec}} I_{\text{max}}}{K_{\text{ret}} V_i}$$

$K_{\text{sec}}$  : coefficient de sécurité

$I_{\text{max}}$  : la plus grande valeur de la charge de l'alternateur

$K_{\text{ret}}$  : coefficient de retour du relais

$V_i$  : rapport de transformation du transformateur de courant

$$K_{\text{sec}} = 1,15 \cdot 1,25 \quad \text{on prend} \quad K_{\text{sec}} = 1,2$$

$$K_{\text{ret}} = 0,85 \cdot 0,9 \quad \text{" " } \quad K_{\text{ret}} = 0,87$$

$$I_{\text{max}} = 1,2 I_n = 1,2 \times 2864 = 3436,6 \text{ A}$$

$$V_i = \frac{I_1}{I_2} = \frac{2864}{5} = 572,8$$

$$\text{Idem} \frac{1,2 \times 3436,6}{0,87 \times 572,8} = 8,27 \text{ A} \quad \text{on prend} \quad \underline{\text{Idem} = 9 \text{ A}}$$

La sensibilité de la protection doit être vérifiée selon la relation

$$\text{Idem} \geq \frac{I_{\text{cc min}}}{K_c V_i}$$

$I_{\text{cc min}}$  ; valeur efficace du courant de court circuit permanent à la fin d'une ligne sortant des jeux de barres.

$K_c$  : coefficient de sensibilité

$$K_c = 1,1 \cdot 1,2 \quad \text{on prend} \quad K_c = 1,15$$

$$I_{\text{cc min}} = 8,21 \text{ KA}$$

$$\text{Idem} \leq \frac{8,21 \cdot 10^3}{1,15 \times 572,8} = 12,46 \text{ A} \quad \text{on prend} \quad \underline{\text{Idem} = 12 \text{ A}}$$

Le délai de déclenchement doit être plus grand que le plus grand délai de toutes les protections.

$$\text{d'habitude } t_d = 6 \cdot 8 \text{ secondes}$$

Ce genre de protection a les défauts suivants :

- ne fait pas de différence entre les courts circuits et les surcharges
- réagit à l'amorçage forcé.

Afin d'améliorer sa sensibilité et d'éliminer ces défauts on introduit des relais à minimum de tension qui bloquent le déclenchement au cas où il n'ya pas de baisse de tension ce qui a lieu lors d'une surcharge.

La tension de démarrage des relais de tension doit remplir la condition.

$$U_{dem} \leq \frac{U_{min}}{K_{sec} \cdot K_{ret} \cdot V_u}$$

$U_{min}$  : la tension la plus basse admissible (en général égale à 0,95  $U_n$ )

$V_u$  : rapport de transformation du transformateur de tension

$$U_{min} = 0,95 U_n = 0,95 \times 630 = 5985 \text{ V}$$

$$V_u = \frac{6300}{100} = 63$$

$$U_{dem} \leq \frac{5985}{1,2 \times 0,87 \times 63} = 91 \text{ V} \quad \text{on prend } \underline{U_{dem} = 90 \text{ V}}$$

La sensibilité de la protection doit être vérifiée selon la relation

$$U_{dem} \geq \frac{K_c \cdot U_{cc}}{V_u}$$

$U_{cc}$  : la plus grande valeur de la tension lors d'un court circuit éloigné (généralement égale à 15 %  $U_n$ )

$$U_{cc} = 15\% U_n = \frac{15 \times 6300}{100} = 945 \text{ V}$$

$$U_{dem} \geq \frac{1,15 \times 945}{63} = 17,25 \text{ V} \quad \text{on prend } \underline{U_{dem} = 18 \text{ V}}$$

Les relais de tension ne doivent pas bloquer dans le cas d'un court circuit à la fin d'un feeder dont la réactance est la plus grande.

Grâce à la blocade de tension, le courant de démarrage des relais de courant peut être plus petit (la sensibilité plus grande).

$$I_{dem} \geq \frac{K_{sec}}{K_{ret}} \cdot I_n$$

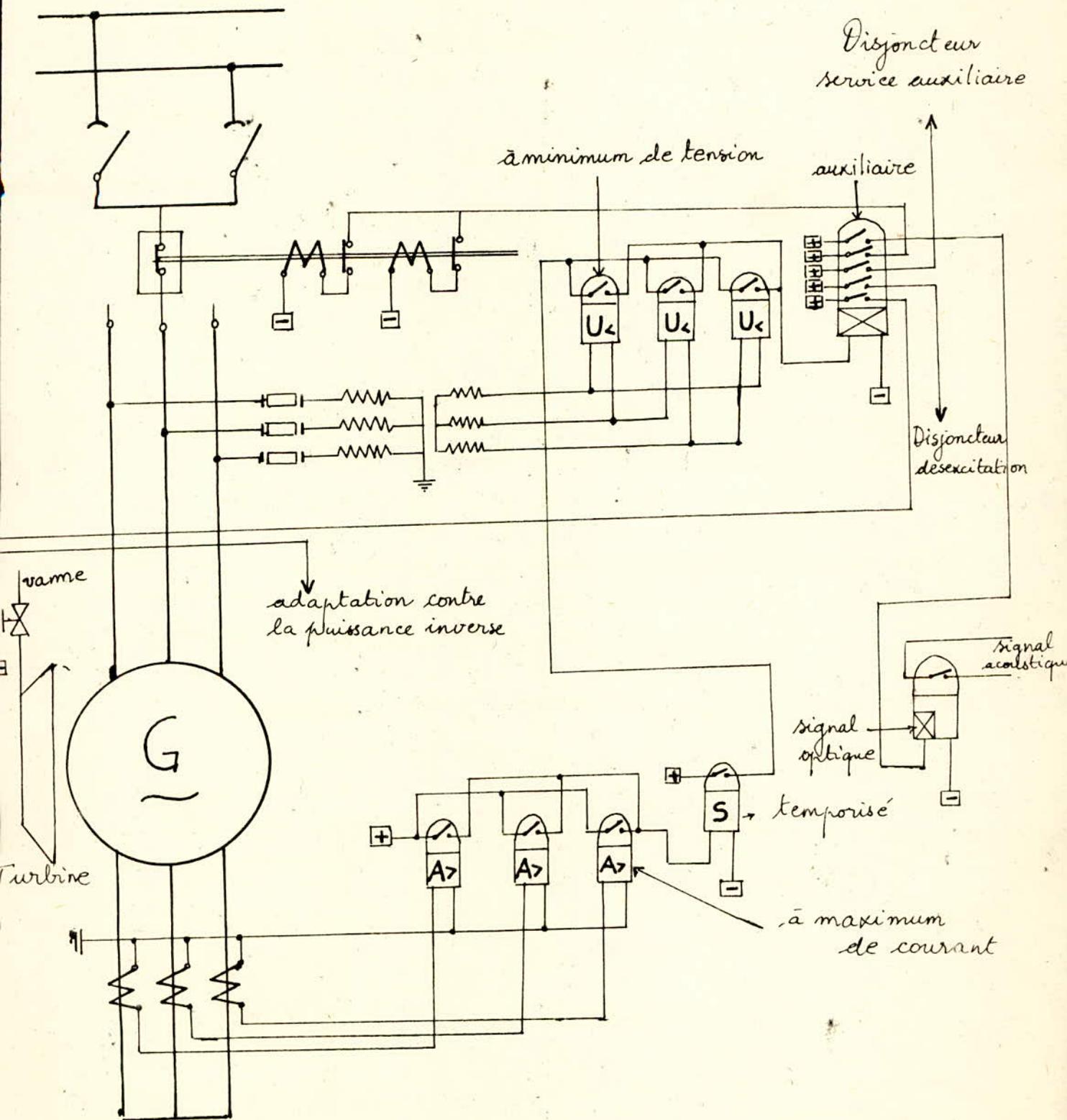
$I_n$  : courant nominal de l'alternateur

$$I_{dem} \geq \frac{1,2 \times 2864}{0,87 \times 572,8} = 6,89 \text{ A} \quad \text{on prend } \underline{I_{dem} = 7 \text{ A}}$$

Si le court circuit est trop éloigné, cette blocade peut faire ne pas réagir la protection ce qui est très dangereux au cas où le court circuit persiste longtemps.

Pour cette raison, on applique de plus en plus des protections de distance.

*Protection à maximum de courant temporisée  
avec blocade à minimum de tension.*



La protection contre les surintensités dues à des courts circuits doit, en cas de défaut, entraîner le déclenchement du disjoncteur principal, la desexcitation de l'alternateur, l'arrêt de la turbine, l'ouverture du disjoncteur des services auxiliaires, et la signalisation.

### 2 °) Protection contre le parcours inverse de la puissance

Un manque accidentel dans l'alimentation en énergie motrice de l'alternateur, conduit soit à l'arrêt, soit à un fonctionnement en moteur synchrone. Cet incident peut être provoqué par un défaut d'alimentation en vapeur (turbine à vapeur).

L'alternateur ne fournit plus d'énergie au réseau. Si l'alternateur est unique, cas d'une installation industrielle localisée, il s'arrête. Si l'alternateur est couplé sur d'autres alternateurs ou sur le réseau, ce qui le cas de notre étude, il fonctionne en moteur et absorbe de l'énergie sur le réseau. Le but de la protection est de déceler ce fonctionnement anormal.

En général, la puissance active absorbée sur le réseau est relativement faible (inférieure à 10% de la puissance nominale). L'inversion de puissance est décelée par un relais directionnel de puissance. Une temporisation est nécessaire pour que la protection ne fonctionne pas pendant la période de couplage de l'alternateur, ou lors d'oscillations pendulaires.

Le relais est d'habitude alimenté à l'aide des transformateurs de la protection contre les surcharges.

Le délai de déclenchement est  $t = 2$  sec. Cette protection doit entraîner l'ouverture du disjoncteur principal, la desexcitation de l'alternateur et la signalisation.

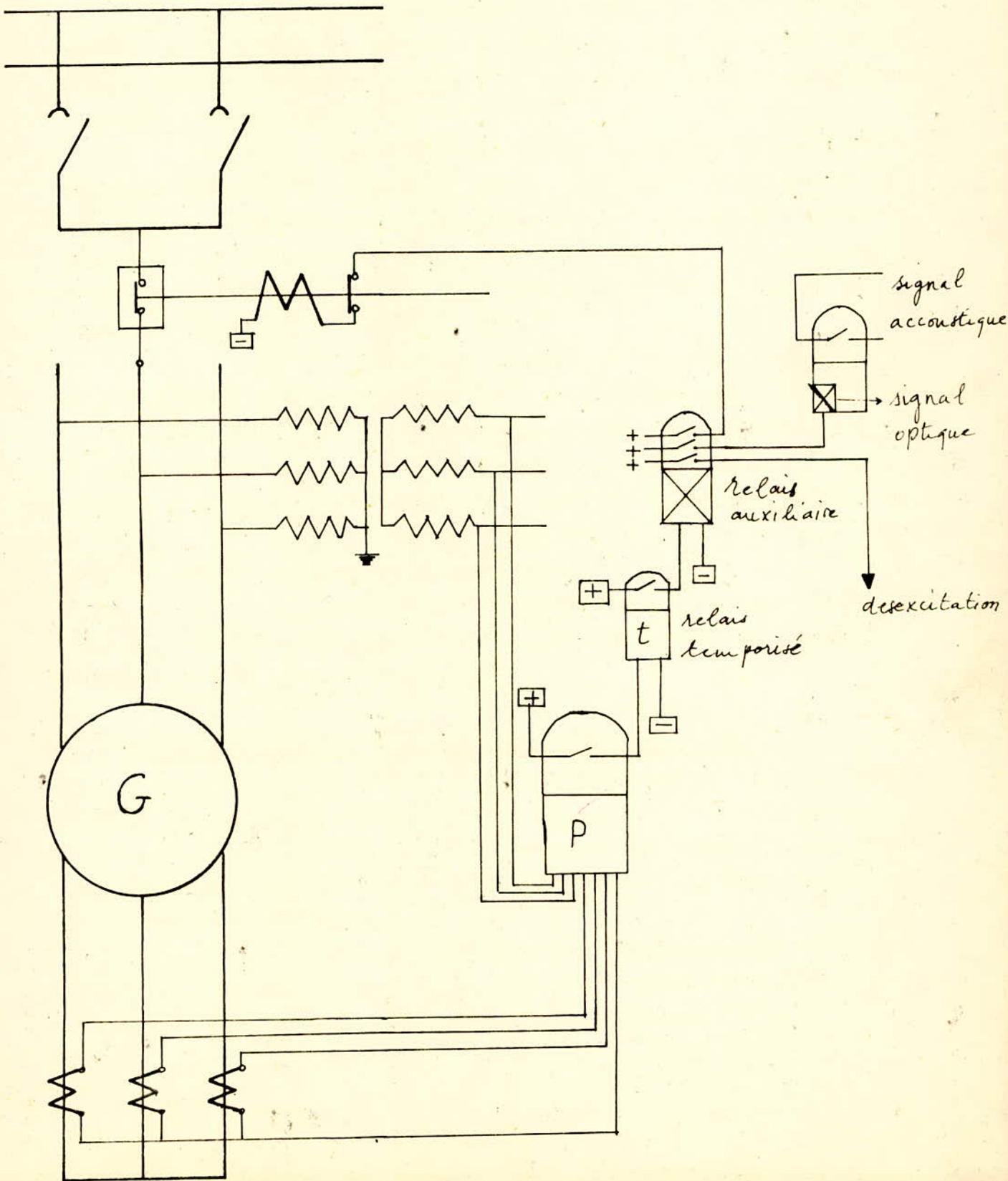
### 3 °) Protection contre les surcharges durant le régime normal

Il s'agit de protéger l'alternateur contre l'effet nuisible des pertes par effet joule dans les enroulements statoriques. Pour cette protection on utilise un relais à maximum de courant qui sera alimenté des mêmes transformateurs que la protection contre les surcharges dues aux courts circuits extérieurs.

Pour les générateurs, la protection dans une phase suffirait, mais afin d'augmenter la fiabilité de fonctionnement, les grands générateurs sont munis de relais dans les trois phases.

.../...

Protection contre le parcourt de la puissance inverse



Le courant de démarrage du relais est le même que celui de la protection contre le court circuit extérieur.

$$K \text{ sécurité} = 1,05$$

$$K \text{ retour} = 0,9$$

$$t = 5 \frac{\cdot}{\cdot} 10 \text{ sec} \quad t : \text{ temps de déclenchement}$$

courant de démarrage

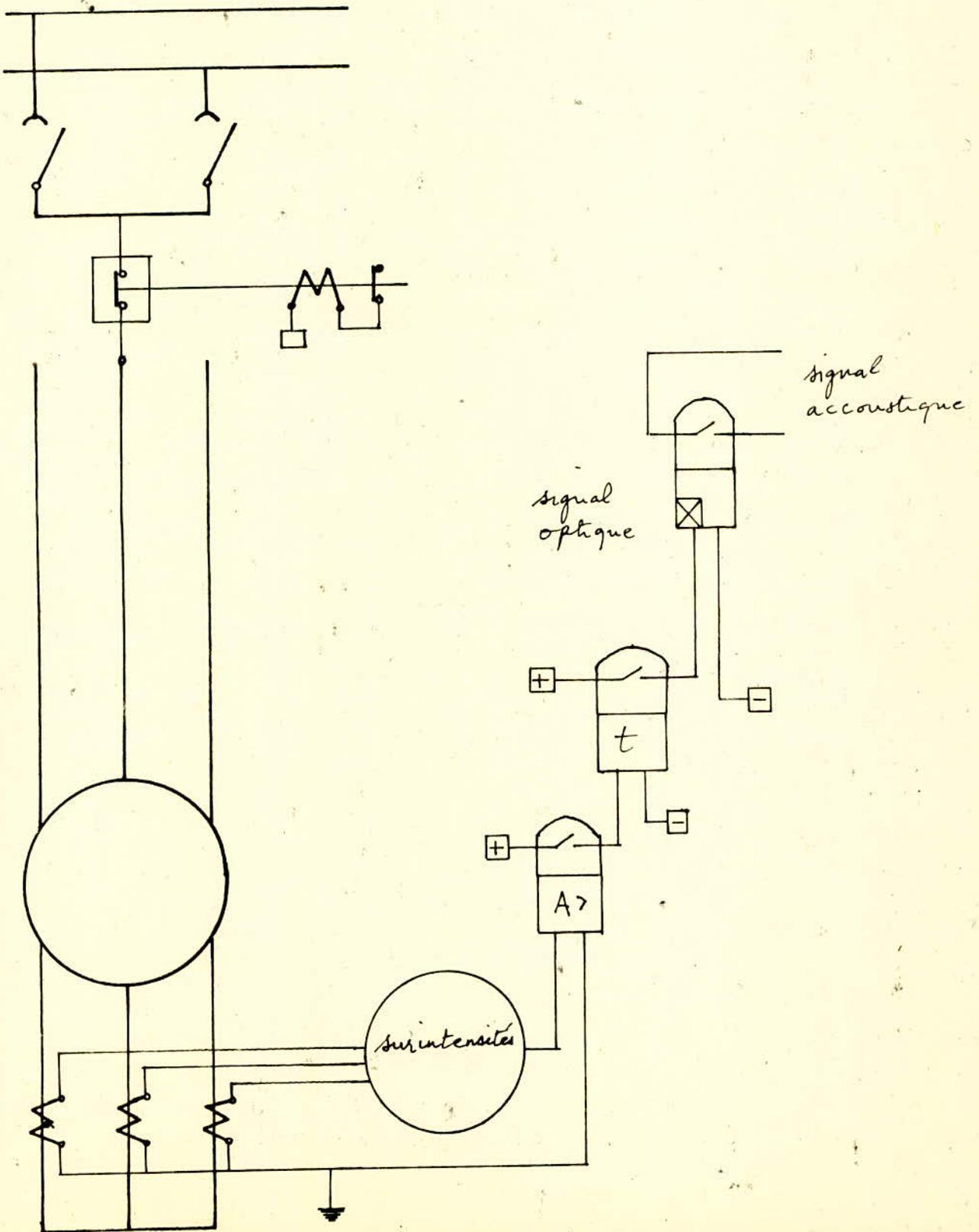
$$\text{Idem} > \frac{K_{\text{sec}} I_{\text{max}}}{K_{\text{ret}} V_i}$$

$$\text{Idem} > \frac{1,05 \times 3436,6}{0,9 \times 572,8} = 6,99 \text{ A}$$

$$\underline{\text{Idem} = 7 \text{ A}}$$

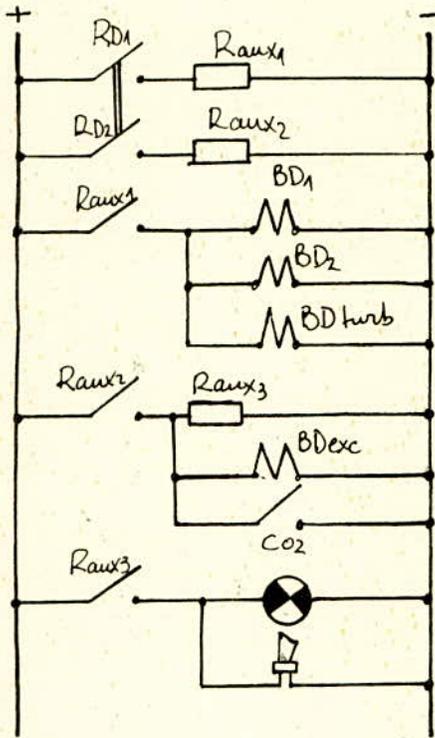
En cas de surcharge, la protection doit actionner le relais de signalisation optique et acoustique.

Protections contre les surcharges normales



## ANALYSE DE FONCTIONNEMENT

### Protection différentielle :



$RD_1, RD_2$  : contacts du relais différentiel

$R_{aux1}, R_{aux2}, R_{aux3}$  : relais auxiliaires

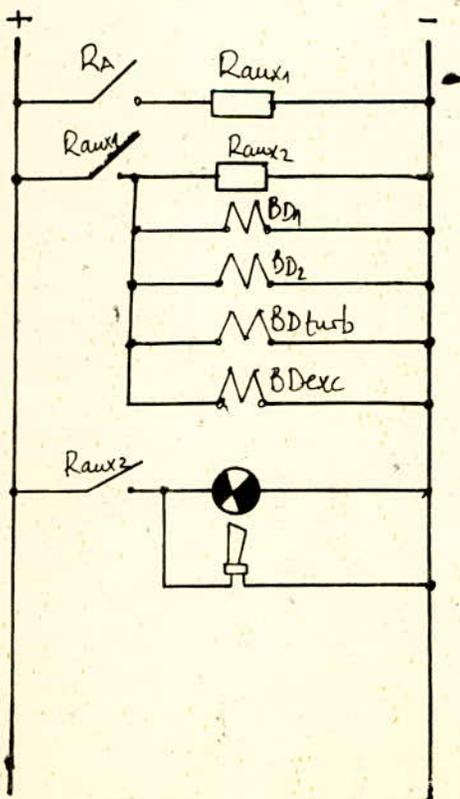
$BD_1$  : bobine du disjoncteur principal

$BD_2$  : " " des services auxiliaires

$BD_{turb}$  : " de la vanne de la turbine

$BD_{exc}$  : " du disjoncteur de desexcitation

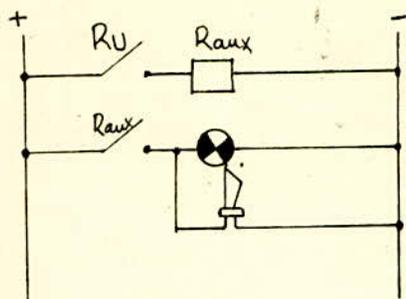
### Protection Masse Stator



$RA$  : relais à maximum de courant

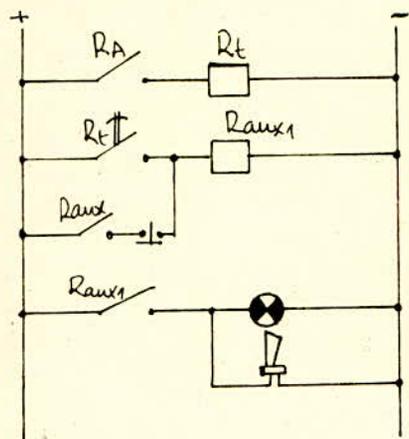
$\diagup$  : contact de travail du relais

### 3<sup>e</sup> Protection contre le 1<sup>er</sup> court-circuit Masse Rotor



RU : relais à maximum de tension

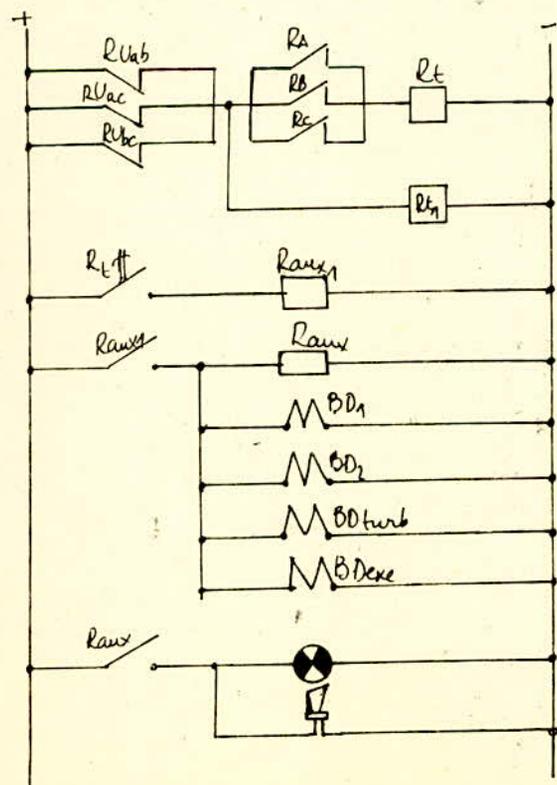
### 4<sup>e</sup> Protection contre le 2<sup>nd</sup> court-circuit Masse Rotor



Rt : relais à action retardée

Rt : contact de travail de Rt

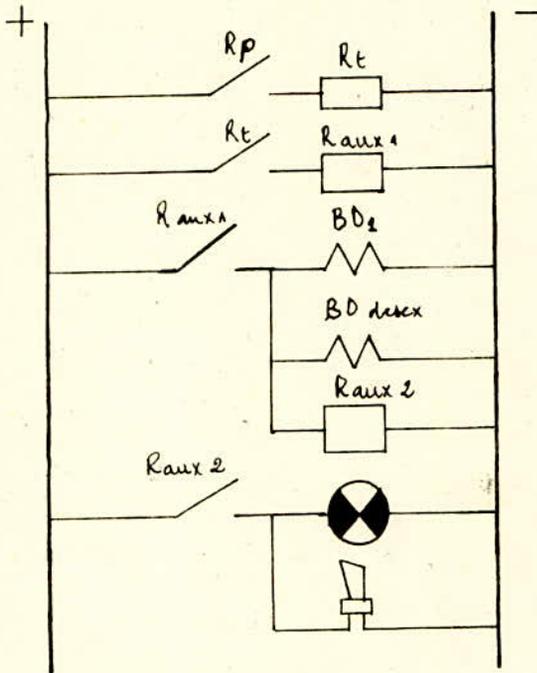
### 5<sup>e</sup> Protection contre les surintensités



RU : relais à minimum de tension

Rt<sub>1</sub> : relais à action retardée secondaire

## Protection contre le parcourt inverse de la puissance



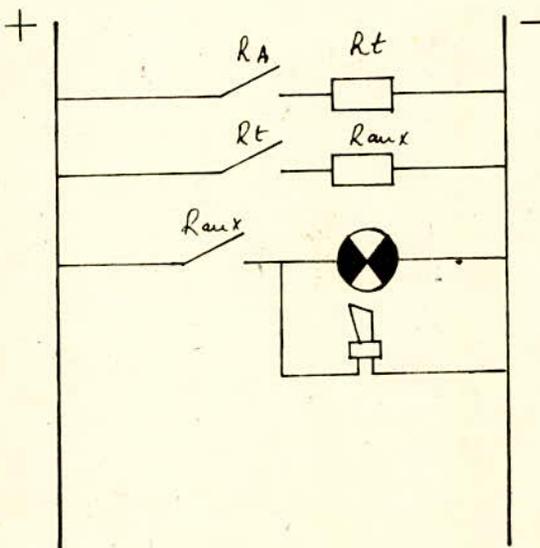
$BD_1$  : bobine du disjoncteur principal

$BD_{desex}$  : bobine du disjoncteur de  
desexcitation

$R_p$  : relais de puissance

$R_{aux1}$ ,  $R_{aux2}$  : relais auxiliaire

## Protection contre les surcharges durant le regime normal



$RA$  : relais a maximum de courant

$Rt$  : relais temporisé

$Raux$  : relais auxiliaire.

CHAPITRE TROISIEME  
CHOIX DES APPAREILS DE MESURE ELECTRIQUES  
ET DES RELAIS DE PROTECTION

I - Choix des appareils de mesure électriques

A - Tableau de commande alternateur

1 - Appareils indicateurs

- a) - Ampèremètre
- b) - Voltmètre
- c) - Walmètre
- d) - Varmètre
- e) - Fréquencimètre

2 - Appareils de synchronisation

- a) - Synchrocoupleur
- b) - Voltmètre différentiel
- c) - Fréquencemètre double
- d) - Synchronoscope

Le tableau de commande alternateur contient aussi un bouton d'arrêt d'urgence.

B - Chassis de relayage

1 - Compteurs

- a) - Compteur réactif fourni
- b) - Compteur réactif reçu
- c) - Compteur actif

2 - Appareils enregistreurs

- a) - Walmètre
- b) - Varmètre
- c) - Fréquencemètre

Le chassis de relayage contient aussi l'oscillopertubographe qui permet l'enregistrement de défaut.

Choix et caractéristiques des appareils de mesure électriques

1 - Appareils indicateurs :

- a) - Ampèremètre indicateur : type A 90°
  - classe de précision : 1,5
  - Consommation : 1 VA
  - branchement sur transfo de courant : 3000/5 A
  - Echelle normale . 0 - 3,6 KA

...../.....

- b) - Volmètre indicateur : Type A 90° échelle dilatée
- classe de précision : 1,5
  - échelle dilatée : l'étendue de mesure correspond à une zone autour de la valeur nominale de la tension à surveiller aux bornes du secondaire du transformateur de tension

$$A 90^\circ \pm 20 \% U_n$$

- consommation : 2VA
- c) - Wattmètre indicateur : Type A 250°

Il est constitué d'un convertisseur CWS 231 associé à un indicateur C 250°, de calibre 0,5 mA.c.c. Il est utilisé en TNE 4 fils (3I - 2U)

### Caractéristiques principales du convertisseur CWS 231

#### Entrées :

##### . tension

- Valeur nominale  $U_n$  ..... 100.110.115.220.380.440.OU 500V
- Standard (triphasé).....  $100/\sqrt{3}$  ou 127 V
- Limite d'utilisation..... 2VA pour  $U_n \geq 220$  V
- Consommation à  $U_n$  ..... 3VA pour  $U_n \leq 127$  V

##### . Courant

- Valeur nominale  $I_n$  .....  $0,5 A \leq I_n \leq 10 A$
- Limite d'utilisation ..... 0 à 120 % de  $I_n$
- consommation par circuit à la ..... 0,5 VA

##### . Facteur de puissance

- valeur nominale .....  $\cos \phi_n = 1$
- limite du domaine nominal d'utilisation (  $\cos \phi = 0$  à  $\cos \phi = 1$  )  
(  $\cos \phi = 0$  à  $\cos \phi = 1$  )  
(  $\cos \phi = 0$  à  $\cos \phi = 1$  )

##### . Fréquence

- fréquence nominale..... 50 HZ

#### Sorties : (sur indicateur C 250°)

- . Temps de réponse .....  $t < 1,2$  sec

##### . surcharges

- permanente.....  $1,3 U_n - 1,5 I_n$   
 $2 U_n - 10 m$
- de courte durée .....  $10 I_n - 8$  sec  
 $30 I_n - 3$  sec

- . classe de précision ..... 1,5

- d) - Varmètre indicateur : Type A 250°

Il est constituée d'un convertisseur CVAS 231 associé à un indicateur C 250°, de calibre 0,5 mA c.c. Il est utilisé en TNE 4fils (3I-2U).

## Caractéristiques principales du convertisseur CVAS 231

Elles sont les mêmes que celles du convertisseur CWS231 à la différence du facteur de puissance.

### . facteur de puissance

- Valeur nominale .....  $\sin \varphi = 1$  inductif
- limite du domaine nominal .....  $\sin \varphi = 1$  à  $\sin \varphi = 0$  inductif  
d'utilisation  $\sin \varphi = 0$  à  $\sin \varphi = 0$  capacitif

### e) - fréquence-mètre indicateur : type A 250°

fréquence-mètre à aiguille

classe de précision : 0,5

consommation : 5 VA

domaine d'utilisation : direct ou sur transfo de tension : 100-130V

Echelle : 45 - 55 Hz

## 2 - Appareils de synchronisation

### a) - synchrocoupleur : type F D

On utilise un synchrocoupleur rapide type FD. Sa tâche consiste à synchroniser et mettre en parallèle, aussi rapidement que possible, un alternateur avec un réseau ou 2 alternateurs ensemble

- consommation : 50 VA.

### B- Voltmètre différentiel : type A 90°

classe de précision : 2,5

consommation : 0,5 VA par circuit

c'est un appareil indicateur raccordé à un dispositif inclus dans une caisse additionnelle délivrant un courant continu dont le sens et la valeur sont fonction de la différence des tensions à comparer.

Il permet de régler la force électromotrice du groupe tournant à la valeur de la différence de potentiel au jeu de barres.

### c- Fréquence-mètre double : type A 2

Il permet d'approcher la fréquence du groupe à celle du réseau. Il est formé d'un ensemble de lames vibrantes, aux valeurs d'accord échelonnées, soumis au champ magnétique d'un électro aimant ; la lame accordée à la fréquence d'excitation prend l'amplitude maximale et indique la fréquence mesurée.

- branchement direct ou sur transfo de tension
- tension nominale  $U_n$  ..... 100V-127V-220V-380V
- Echelle ..... 46-54 Hz
- Consommation ..... 1 VA par rangée
- Précision : l'accord de chaque lame est réalisé à  $\pm 0,25$  Hz  
de la valeur théorique.

d) - Synchronoscope : type A 360°

- domaine de fonctionnement ..... Un  $\pm$  20 %
- consommation
  - . circuit machine ..... 1,5 VA
  - . circuit réseau ..... 5 VA

Chassis de relayage

1 - compteurs : type C 3

Les compteurs C3 sont composés d'éléments watimétriques, dont le couple moteur est proportionnel à  $UI \cos \phi$ , ou d'éléments varmétriques dont le couple moteur est proportionnel à  $UI \sin \phi$

Les compteurs à éléments wttmétriques C3Y4 sont employés

- pour la mesure de l'énergie active,
- pour la mesure de l'énergie réactive, avec des modifications de cablage ou d'enroulement. Ils ont l'avantage d'être constitués des mêmes éléments que les compteurs d'énergie active. Leur branchement doit être fait en respectant l'ordre des phases.

Caractéristiques

- intensité : 1 ou 5 A
- tension :  $\frac{U_n}{\sqrt{3}}$ ,  $U_n$ ,  $U_n \sqrt{3}$  avec  $U_n = 100$  ou  $110$  ou  $220$  ou  $380$  volts
- couple moteur moyen sous la puissance nominale ..... 15,5 10<sup>-3</sup> mN
- vitesse moyenne sous la puissance nominale ..... 14,5 tr/mn
- couple spécifique ..... 0,265
- consommations moyennes par phase au calibre nominal
  - circuit tension ..... 1 W, 4 VA
  - circuit courant ..... 0,45 W, 0,75 VA
  - courant maximal admissible en régime permanent  $2I_n$
  - puissance de démarrage (rapportée à la puissance nominale) 0,3 %

2- Appareils enregistreurs

L'enregistreur électrique est un appareil de mesure qui permet de conserver les résultats de la mesure, de s'y reporter et d'en avoir une vue d'ensemble. Il mesure et enregistre les variations de toute grandeur électrique (intensité, tension, puissance...). le tracé fourni reproduit exactement l'évolution du phénomène observé.

a) - Wattmètre - Varmètre enregistreur : type EPR 310 A à commutation

Cet appareil permet l'enregistrement sur toute la largeur utile du papier diagramme de la courbe de puissance active et de la courbe de puissance réactive.

Il est réalisé avec dispositif d'inscription électrique un système automatique commandé par moteur synchrone assure la commutation périodique au circuit Wattmètre au circuit Varmètre et l'interruption du tracé pendant la commutation. Le cycle de fonctionnement est de 120 s se décomposant en \_

80 s pour l'inscription de la puissance active

30 s pour l'inscription de la puissance réactive

5 s pour chacun des temps de commutation (interruption du tracé)

La courbe de puissance active se présente sous l'aspect d'une ligne continue et la courbe de puissance réactive sous celui d'une ligne pointillée. Les deux courbes sont donc très distinctes l'une de l'autre.

### Caractéristiques

- classe de précision ;:1,5
- branchement : TNE 4 fils (3I - 2U)
- consommation en VA par circuit :
  - tension 100 V /..... 5 VA
  - courant 5 A ..... 5 VA

Calibre : A -100V, 5A-100V, 5A-380V

b) - fréquence-mètre enregistreur :

Il est constitué d'un milliampèremètre EPR 310 (10mA-250 env.) associé à un convertisseur de mesure CFS 237

### Caractéristiques

Calibre

- . tension : 100 - 127 ou 220 V
- . consommation : 15 VA

### Convertisseur

- . graduation : 45 - 55 H<sub>Z</sub>
- . classe de précision : 0,3
- . Erreur : CFS+EPR : 0,15 H<sub>Z</sub>
- . consommation
  - entrée < 3,5 VA
  - sortie : 10 mA - 0 à 1000

.EPR 310

- entrée : 10 mA-250 environ

c) - Oscilloperturbographe : Consommation - 30 VA : circuit tension  
- 3 VA : circuit courant

II - Choix des relais de protection

1° - Protection contre les courts-circuits entrephases de l'induit: relais différentiel  
type : D2 se

- courant nominal	In :	1 ou 5 A
- fréquence nominal	fn :	50 ou 60 Hz
- Réglage de base "g" ajustable graduellement		10-15-20-25 %
- taux de fonctionnement "V" ajustable graduellement		5-10-15-20-25%
-Plage de tension continue auxiliaire		75...140V commutable sur 150...250V ou bien 20V...36V commutable sur 40...60V
- Temps de déclenchement		20....50ms
- Consommation du relais pour	In = 1 A	In 5A
en service normal	0,03 VA	0,1 VA
pendant un court circuit	0,1 VA	0,3 VA
- Courant instantané admissible	200 In crête	

Définition du réglage de base "g" : La valeur de mise au travail du relais différentiel correspond au réglage de base "g" défini comme courant différentiel le plus petit et exprimé en pourcents du courant nominal pour lequel le relais se met au travail lorsque le courant de retenue In est nul, c'est à dire  $g = \frac{I_s}{I_n} \times 100\%$ , pour In = 0

$$I_s = I_1 - 12 \quad , \quad I_h = \frac{1}{2} (I_1 + 12)$$

Définition du taux de fonctionnement "V" : Il correspond au courant différentiel ; il est exprimé en pourcents du courant de retenue pour lequel le relais se met au travail c'est à dire :

$$V = \frac{I_s}{I_h} \times 100\% = \frac{I_1 - 12}{\frac{1}{2} (I_1 + 12)} \times 100\%$$

Relais auxiliaire instantané

type : P8

Bobine

- Tension nominale	Courant continu : 24,36,48,60,100,110,125,145,200,220,350V Courant Alternatif: 24,36,48,110,127,220,250,380V Tolérance : + 10%, - 20%
--------------------	---

- Fréquence	0,16 , 50, 60 Hz
- Tension de retombée en courant continu, en % de la tension nominale	environ 4
- Puissance absorbée au moment de l'enclenchement à tension nominale	Courant continu 6 W Courant alternatif 11 VA
- Temps de fonctionnement	20 à 50 ms
- Durée de vie mécanique	2 X 10 <sup>6</sup> manoeuvres

### Relais de signalisation optique et acoustique

#### type B

Ce relais sert à afficher à distance le fonctionnement des relais, en particulier de relais rapides de distance

#### Données techniques

- Tension nominale	24, 30, 36, 40, 60, 110, 125, 145, 160, 220, 250 V-
- Puissance absorbée par signal	jusqu'à 110 V-, env. 3W ; au-dessus de 110V-, 3,9 à 7,6W
- Durée maximale de l'impulsion	1 min.

### 2°) Protection masse statot

#### Relais à maximum de courant instantané

#### type : IM3x

#### Données techniques

- courant nominal (commutable)	
demi bobines du relais en série	0,01, 0,05-0,1-0,25-0,5-1,0-2,5-5,0A
en parallèle	0,02-0,1-0,2-0,5-1,0-2,0-5,0-10,0 A
- Nature du courant	continu ou alternatif 16 <sup>2/3</sup> à 60 Hz
- Courant de mise au travail réglable de façon continue	1 à 2 X courant nominal choisi
- Courant de relachement	80 à 85 % du courant de mise au travail
- Dispersion du courant de mise au travail ou du courant de relachement	± 3 %
- Tenue au courts-circuits thermiquement, 1s	550 x In choisi
dynamiquement	1000 x In choisi

- Temps de mise au travail	
Pour 1,3xcourant d'attraction ajusté	0,13s environ
Pour 3,0xcourant d'attraction ajusté	0,05s environ
- Temps de relachement pour	
0,8 courant de mise au travail ajusté	0,08s environ
au courant nul	0,05s environ
- Consommation propre à 50 H <sub>Z</sub>	0,21 VA

#### Relais auxiliaire instantané

Type : P8 : Défini dans la protection contre les courts-circuits entre phases de l'induit

#### Relais de signalisation optique et acoustique

Type B : défini dans la protection contre les courts-circuits entre phases de l'induit.

#### 3°) Protection contre le 1er court-circuit à la masse dans le circuit mototrique

##### Relais à maximum de tension instantané

type : UM 31x

- Nature du courant	Continu ou alternatif 16 <sup>2/3</sup> , 50, 60 H <sub>Z</sub>
- Tension nominale Un $\sqrt{V}$	12, 24, 48, 100( $\sqrt{3}$ ), 60, 110( $\sqrt{3}$ ), 100, 110, 125, 200, 220, 250
- Etendue de réglage de la tension d'opération	0,5 à 1,0xUn, 0,8 à 1,6xUn, 1,0 à 2,0xUn
- Rapport de relâchement	0,95
- Temps de mise au travail	
1,3xU ajustée	0,08 s
3 x U ajustée	0,06 s
- Temps de relâchement	
1,3 x U ajustée	0,09 s
3 x U ajustée	0,045 s
- Consommation propre sous tension minimale ajustée	0,1 à 0,8 VA

## Relais de signalisation optique et acoustique

Type B

4°) Protection contre le 2nd court circuit à la masse dans le circuit rotatif

Relais à maximum de courant instantané

Type IM 3x : défini dans la protection masse stator

relais temporisé

Type PA1

	commande à courant	
	alternatif	continu
- Consommation à l'attraction	40 VA	20 W
- Consommation en position "attiré"	15 VA	10 W
- Tension de commande au choix	24 à 220 V (continue ou alternative)	
- Tolérance admissible en permanence sur la valeur nominale de la tension de commande	-20 % à + 10 %	
- Temporisation	0,25 à 1s	

## Relais auxiliaire instantané

type P8 : défini auparavant

## Relais de signalisation optique et acoustique

type B : défini auparavant

5°) Protection contre les surintensités dues aux courts-circuits extérieurs

Relais à maximum de courant instantané

type IM3x : défini dans la protection masse stator

Relais à minimum de tension instantané

Relais type UM 31y

Ses caractéristiques principales sont les mêmes que celles du relais UM31x.

Les données techniques de ces 2 relais ne diffèrent que par le rapport de relâchement:

- Le rapport de relâchement du relais UM31y = 1,05

- Le temps de mise au travail du relais UM31y correspond au temps de relâchement du UM31x et vice versa.

Rapport de relâchement =  $100 \frac{\text{tension de relâchement}}{\text{tension de mise au travail}}$

## Relais temporisé

type CSM2 : Il convient aux dispositifs de protection qui nécessitent une temporisation précise de leurs manoeuvres.

### Caractéristiques principales

- Vaste domaine de réglage
- Haute précision du temps à l'intérieur du domaine admissible de la tension nominale
- Cadence élevée de manoeuvres
- Variante comportant un affichage optique de la mise au travail (bouton de signalisation).

### Données techniques

- tension nominales Un des bobines	courant continu	24V-30V-48V-60V-110V-120V- 125V-127V-145V-150V-220V-250V-		
	courant alternatif	24V-36V-48V-60V-100V-110V- 145V-220V-380V.		
- Fréquences nominales		$16^{2/3}$ Hz, 25HZ-40HZ -50HZ -60HZ		
- Plage admissible de tension de service	jusqu'à	0,8 Un		
		1,5 Un pour $t = 80^{\circ} C$		
		ou 1,3 Un pour $t = 60^{\circ} C$		
- consommation propre sous tension nominale	courant continu	environ 8 W		
	courant alternatif	armature au repos	50 HZ	ENV. 36 VA
		armature au travail	50 HZ	ENV. 16 VA
- Temps propre (instantané)	0,03s			
- Temps de retombée	0,06s			

### Relais de signalisation optique et acoustique

type B : défini dans la protection contre les courts circuits entre phases de l'induit.

### Relais auxiliaire instantané

type P8 : défini dans la protection contre les courts-circuits entre phases de l'induit.

### 6) Protection contre les surcharges durant le régime normal

- relais à maximum d'intensité instantané type IM3x
- relais temporisé type CSM2
- relais auxiliaire instantané type P8
- relais de signalisation optique et acoustique

Ces relais sont définis précédemment.

7°) Protection contre le parcours de la puissance inverse

Relais directionnel de puissance

type : PM2gi 26-108

Ce relais sert à mesurer la puissance d'un courant alternatif et à déterminer le sens de celle-ci.

Données techniques

---

- Domaine de mise au travail en % de la tension nominale du relais	1 à 5
<hr/>	
- Bobine de courant	
courant nominal	1 à 5A
consommation	1,8 VA
<hr/>	
- Bobine de tension	
tension nominale	100 V
consommation	35 VA

---

Relais temporisé

type PA5 : même caractéristiques que le relais PA1 défini dans la protection masse-stator, sauf la temporisation qui est de 1 à 5s.

Relais auxiliaire instantané type P8

Relais de signalisation optique et acoustique

Ces deux relais sont définis précédemment.

8°) Protection contre l'élévation exéssive de la température des enroulements et de l'acier

Indicateur de température :

On utilise un indicateur à contact NE 96 R 90°, en association avec une sonde à résistance. Le circuit de mesure est un pont de Whetstone dont une des branches est constituée par un élément résistant variable en fonction de la température (sonde à résistance de Mickel ou de platine) une source de courant continue stabilisée alimente l'ensemble. L'élément de mesure magnétoélectrique indique le déséquilibre du pont. Son cadran est gradué directement en valeur de température. Les éléments du pont et de la source sont réunis en un boîtier additionnel. L'indicateur comporte l'élément de mesure et les dispositifs de signalisation.

Etendue des mesures les plus usuelles

ECHELLE		: Pour sonde Hi (100 à 0° C)	: pour sonde PE	
-30° à +50°C	:	(10mA)	:	(1VmA)
0°C à +80°C	:	(10mA)	:	(14mA)
40°C à +120°C	:	(10mA)	:	(14mA)
30°C à +150°C	:	(8mA)	:	(11mA)
0°C à +100°C	:	(8mA)	:	(12mA)
0°C à +150°C	:	(6mA)	:	(9mA)
0°C à +250°C	:	(6mA)	:	(6mA)
	:	(courant moyen dans la sonde à l'équilibre du pont)		
	:			

CHOIX DES TRANSFORMATEURS DE MESURE

1. Transformateurs de courant

Les transformateurs de courant jouent un rôle considérable dans les réseaux puisqu'ils permettent d'obtenir des intensités proportionnelles à celle de la ligne pour le fonctionnement d'appareils de mesures précis, d'appareils de contrôle indicateurs ou enregistreurs, et aussi d'organes de protection tel que les relais, tous ces appareils étant ainsi protégés et isolés de la Haute Tension.

Les normes Françaises UTE imposent les conditions auxquelles doivent répondre ces transformateurs et relative à la précision, l'échauffement, les qualités diélectriques et les tenues aux surintensités.

Aperçu des publications de l'UTE

Rapport :

Si  $I_n$  est l'intensité nominale du courant primaire pour laquelle le transformateur a été établi,  $I_{2n}$  l'intensité nominale du courant secondaire on a :

$$K_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \text{rapport nominal de transformation}$$

$$K = \frac{I_1}{I_2} = \text{rapport de transformation}$$

$I_1$  étant l'intensité du courant primaire et  $I_2$  l'intensité du courant secondaire.

Pour une valeur quelconque du courant primaire, le rapport de transformation n'est pas rigoureusement égal au rapport nominal. Par définition, l'erreur de rapport  $\epsilon_i$  est égale à :

$$\epsilon_i \text{ (en \%)} = 100 \cdot \frac{K_n I_2 - I_1}{I_1} = 100 \cdot \frac{K_n - K}{K}$$

Il résulte de cette définition que l'erreur  $\epsilon_i$  est positive si le transformateur produit un excès dans les indications de l'appareil de mesure.

Déphasage

Le déphasage  $\psi_i$  est la différence de phase entre les courants primaire et secondaire, le sens des vecteurs étant choisi de façon que  $\psi_i$  soit nul pour un transformateur parfait. Le déphasage est positif lorsque le courant secondaire est en avance sur le courant primaire. Il est exprimé généralement en minutes, plus rarement en centiradians.

Frequence nominale : 50 HZ

C'est la fréquence pour laquelle les transformateurs sont construits en vue de satisfaire aux normes UTE.

Classe de précision :

Les erreurs sur le rapport nominal de transformation et le déphasage font l'objet d'une normalisation, à laquelle se rattache la classe de précision du transformateur de courant qui est donnée par des diagrammes.

La classe 0,5 correspond aux transformateurs destinés aux mesures de précision normale.

La classe 1 correspond aux transformateurs destinés aux mesures industrielles.

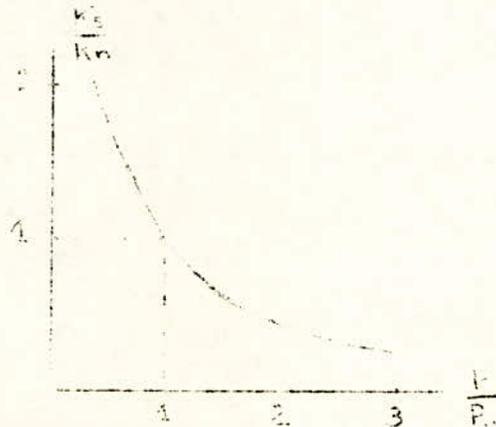
La classe 2 est suffisante pour alimenter les ampèremètres ou les relais de courant.

La classe PS est réservée aux transformateurs destinés aux protections à maxima ou aux protections différentielles.

Coefficient de saturation

Le coefficient de saturation  $K_s$  indiqué dans la spécification des transformateurs s'entend pour la puissance de précision  $P_n$  du transformateur considéré.

Pour un transformateur donné, le coefficient de saturation dépend de la puissance apparente  $P$  consommée effectivement au secondaire.



Classe de surintensité

- Classe " 80 In - 3 secondes", elle est assimilée à la classe " 138 In - 1 seconde ", équivalente du point de vue de l'échauffement, mais correspondant à une amplitude maximum de  $138 I_{1n} \times 2,5$ .
- Calcul de la classe de surintensité à partir de la puissance de court-circuit de l'installation ou du pouvoir de coupure du disjoncteur qui devra couper le circuit traversant le transformateur.

...../.....

Si P est la puissance de court-circuit ou le pouvoir de coupure en MVA, le courant de court-circuit efficace en ampères est :

U étant la tension de service en KV

Si la durée du court-circuit est différente de 1 seconde, le courant de court circuit nominal équivalent est donné par la formule :

$$I_{cn} = I_c \sqrt{t} \quad (t \text{ en secondes})$$

On choisit alors la classe de surintensité normalisée immédiatement supérieure au rapport  $I_{cn} / I_{1n}$  ainsi calculé.

#### Puissance de précision :

C'est la puissance apparente que le transformateur peut fournir au secondaire pour son courant nominal sans que l'erreur de rapport et le déphasage dépassent les limites fixées par les normes.

#### definition du coefficient de saturation Ks:

Un transformateur est dit " saturé à  $K_s I_{1n}$  " si pour un courant primaire égal à  $K_s I_{1n}$  l'erreur de rapport est égale à 10%

#### Classe de surintensité :

Le courant de court-circuit nominal  $I_{cn}$  est la valeur efficace du courant primaire que le transformateur peut supporter pendant 1 seconde sans perdre pour autant sa précision et sa rigidité diélectrique. Le rapport  $I_{cn}/I_{1n}$  définit la classe de surintensité.

Le transformateur doit pouvoir supporter de la même façon un courant dont l'amplitude maximum pendant la première alternance est égale à  $I_{cn} \times 2,5$ .

#### Courant d'échauffement :

c'est le courant qui peut traverser le primaire du transformateur, le secondaire étant fermé sur l'impédance de précision, sans que l'échauffement de l'appareil dépasse les limites normalisées. On admet pour valeur du courant d'échauffement :

$$I_{1n} \times 1,3 \text{ pour les classe de précision } 0,5 \text{ et } 1$$

et  $I_{1n} \times 1,2$  pour la classe 0,2

#### Remarque :

La puissance de précision des transformateurs doit être déterminée par la consommation des appareils alimentés et les pertes dans les conducteurs de liaison.

..../....

Consommation des conducteurs en cuivre.

La consommation provenant des pertes dans les conducteurs reliant le transformateur aux appareils de mesure ou de protection se calcule en VA par la formule.

$$P = K \frac{L}{S}$$

P : puissance consommée en VA (dans les conducteurs aller et retour)

L : longueur des conducteurs aller et retour (en mètres)

S : section du conducteur (en  $\text{mm}^2$ )

$$K = 0,44 \text{ pour } I_{2n} = 5 \text{ A}$$

$$K = 0,0176 \text{ pour } I_{2n} = 1 \text{ A}$$

## Choix des transformateurs de courant

Caractéristiques communes des transformateurs de courant prévus soit pour la mesure, soit pour la protection.

- a - rapport de transformation nominale : 3000/5 A
- b - tension nominale d'isolement : elle correspond à la tension entre phase de l'alternateur  $U_i = 6,3 \text{ KV}$   
la tension normalisée est  $U_i = 7,2 \text{ KV}$
- c - fréquence nominale : 50  $\text{Hz}$
- d - classe de surintensité : 40

### 1 - Protection contre les surcharges normales et les surintensités

On utilise un transfo à double secondaire pour alimenter les deux protections.

Rapport de transformation nominale : 3000/5-5A

- a - puissance de précision

La consommation provenant des pertes dans les conducteurs reliant le transformateur aux appareils de mesure ou de protection se calcule en VA par la formule :

$$P = K \frac{L}{S}$$

P : puissance consommée en VA (dans les conducteurs aller et retour)

L : longueur des conducteurs aller et retour (en m)

S : section du conducteur (en  $\text{mm}^2$ )

K : 0,44 pour  $I_n = 5\text{A}$

l :  $3 \times 60 \text{ m} = 180 \text{ m}$  pour les deux protections

S : 1,5  $\text{mm}^2$

$$P = 0,44 \times \frac{180}{1,5} = 52,8 \text{ VA}$$

- consommation des relais

relais à maximum d'intensité  $P = 0,21 \text{ VA}$

on a 4 relais à maximum d'intensité  $PR = 4p = 0,84 \text{ VA}$

$P_t = 52,8 + 0,84 = 53,64 \text{ VA}$

Puissance de précision : 75 VA

b - classe de précision : 1

c - coefficient de saturation : 2

2 - Protection contre le court-circuit entre phase de l'induit

a - puissance de précision

$$P = K \frac{1}{s} = 0,44 \frac{120}{1,5} = 35,2 \text{ VA}$$

$$l = 2 \times 60 \text{ m}$$

$$p = 0,3 \text{ VA}$$

$$P_t = 35,2 + 0,3 = 35,5 \text{ VA}$$

puissance de précision : 50 VA

b - classe de précision : PS (erreur de rapport  $< \pm 3\%$ , déphasage  $< \pm 3^\circ$  à 15 In)

c - coefficient de saturation  $> 15$

3 - Protection contre le parcourt inverse de la puissance

a - puissance de précision

$$l = 2 \times 60 \text{ M}$$

$$P = 0,44 \times \frac{120}{1,5} = 35,2 \text{ VA}$$

$P = 1,8 \text{ VA}$  : consommation du relais

$$P_t = 35,2 + 1,8 = 37 \text{ VA}$$

puissance de précision = 50 VA

b - classe de précision 0,5

c - coefficient de saturation  $K_s = 3$

4 - Circuit de mesures

a - puissance de précision

consommation des appareils de mesure

Ampermètre indicateur	1 VA
Varmètre indicateur	1,5 VA
Wattmètre indicateur	1,5 VA
Compteur réactif fourni	$3 \times 0,75 \text{ VA}$
Compteur réactif reçu	$3 \times 0,75 \text{ VA}$

Compteur actif	3 × 0,75 VA
Wattmètre enregistreur	3 × 5 VA
Varmètre enregistreur	3 × 5 VA
Oscillopertubographe	3 VA
Pa	43,75 VA

#### consommation dans les conducteurs

On estime la longueur totale de tous les conducteurs reliant les appareils de mesure au transformateur de courant à 60 m

$$P = 0,44 \times \frac{60}{1,5} = 17,6 \text{ VA}$$

$$Pt \ 43,75 + 17,6 = 61,35 \text{ VA}$$

Puissance de précision 7,5 VA

b - classe de précision 0,5

c - coefficient de saturation : 3

#### II - Transformateur de tension

Les transformateurs de tension jouent un rôle considérable dans les réseaux puisqu'ils permettent d'obtenir des tensions proportionnelles à celle de la ligne pour le fonctionnement d'appareils de mesures précis, d'appareils de contrôle indicateurs ou enregistreurs et aussi d'organes de protection, tous les appareils étant ainsi protégés et isolés de la Haute Tension.

Les normes françaises C 42.500 et C 42.501 de l'UTE imposent les conditions auxquelles doivent répondre ces transformateurs quant à la précision, l'échauffement, les qualités diélectriques et la tenue au court circuit.

#### Tensions nominales :

Ce sont les tensions primaire et secondaire qui servent de base aux règles relatives à la précision. Dans le cas de transformateurs à monter entre phases d'un réseau monophasé ou triphasé, les tensions nominales s'étendent entre conducteurs de phase.

Les tensions nominales primaires normalisées sont (KV)

0,22 0,4 0,5 0,6 3 5,5 10 15 20 30 44 60 90 150 220 400

#### Tensions nominales d'isolement

Les valeurs normalisées sont (KV)

0,5 0,75 3,6 7,2 12 17,5 24 36 52 72,5 100 170 245 420

#### Rapport

Si  $U_{1n}$  est la tension nominale primaire et  $U_{2n}$  la tension nominale secondaire on a :

$K_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$  rapport de transformation nominal

$K = \frac{U_1}{U_2}$  rapport de transformation

$U_1$  étant la tension primaire et  $U_2$  la tension secondaire correspondante. Pour une valeur quelconque de la tension primaire, le rapport de transformation n'est pas rigoureusement égal au rapport de transformation nominal.

Par définition, l'erreur de rapport  $E_t$  est égale à

$$E_t = 100 \frac{K_n U_2 - U_1}{U_1} = 100 \frac{K_n - K}{K}$$

Il résulte de cette définition que l'erreur  $E_t$  est positive si le transformateur produit un excès dans les indications de l'appareil de mesure.

Déphasage :

Le déphasage,  $\varphi$ , est la différence de phase entre les tensions primaires et secondaire, le sens des vecteurs étant choisi de façon que  $\varphi$  soit nul pour un transformateur parfait. Le déphasage est positif lorsque la tension secondaire est en retard sur la tension primaire. Il est exprimé généralement en minutes, plus rarement en centiradian s.

Fréquence nominale 50 H<sub>Z</sub>

C'est la fréquence pour laquelle les transformateurs sont construits en vue de satisfaire aux normes U. T. E.

Puissance de précision - P<sub>p</sub>

C'est la puissance apparente que le transformateur peut fournir au secondaire pour sa tension nominale sans que l'erreur de rapport et le déphasage dépassent les limites fixées par les normes.

Dans le cas des transformateurs triphasés, la puissance de précision est mise sous la forme  $P_p = 3P_p$ ,  $P_p$  étant la puissance de précision de chaque phase.

L'impédance de précision  $Z_p$  est l'impédance du circuit secondaire correspondant à la puissance de précision sous la tension secondaire nominale.

Elle est exprimée en Ohms.

Pour les transformateurs monophasés on a :

$$Z_p = \frac{U_{2n}^2}{P_p} \quad (U_{2n} \text{ en volt, } P_p \text{ en VA})$$

Pour les transformateurs triphasés, l'impédance de précision par phase est égale à  $\frac{U^2 2n}{3P_p}$  si, les circuits secondaires sont montés en triangle ou  $\frac{U^2 2n}{3P_p}$  s'ils sont montés en étoile.

### Classe de précision

Les erreurs sur le rapport de transformation nominal et le déphasage font l'objet d'une normalisation, à laquelle se rattache la classe de précision du transformateur de tension

CLASSE DE PREVISION	ERREUR MAXIMUM SUR LE RAPPORT Et EN %	DEPHASAGE MAXIMUM EN MINUTES
0,1	$\pm 0,1$	$\pm 5$
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 10$
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 20$
1	$\pm 1$	$\pm 40$
2	$\pm 2$	non spécifié

Les transformateurs des classes 0,1 et 0,2, bien que normalisés ne doivent pas être considérés comme de construction courante. Ils sont réservés aux mesures les plus précises en laboratoire, ou à l'étalonnage de transformateurs de classe de moindre précision.

La classe 0,5 correspond aux transformateurs destinés aux mesures de précision normale.

La classe 1 correspond aux transformateurs destinés aux mesures industrielles

La classe 2 correspond aux transformateurs servant aux mesures industrielles dans lesquelles le facteur de puissance n'intervient pas (mesure de tension ou de fréquence). Ces appareils peuvent également être utilisés pour l'alimentation de certains régulateurs.

### Puissance d'échauffement :

C'est la puissance apparente que le transformateur peut fournir sans que l'échauffement des diverses parties dépasse les limites fixées par les normes quand la tension primaire est égale à la tension nominale d'isolement pour les transformateurs triphasés et pour les transformateurs monophasés destinés à être montés sur des réseaux monophasés ou entre conducteurs de phase d'un réseau triphasé.

Remarque : La puissance dissipée dans les conducteurs de connexions est en général négligeable.

### Choix des transformateurs de tension

Caractéristiques communes des transformateurs de tension prévus soit pour la mesure, soit pour la protection.

a- tension nominale primaire

la tension entre phase de l'alternateur est  $U_i = 6,3 \text{ KV}$

La tension nominale primaire normale est  $U_{1n} = 10 \text{ KV}$

B- tension nominale secondaire :  $U_{2n} = 100 \text{ V}$

c- tension nominale d'isolement : elle correspond à la tension entre phase de l'alternateur  $U_i = 6,3 \text{ KV}$

La tension nominale d'isolement normalisé est  $U_i = 7,2 \text{ KV}$

d- Fréquence nominale :  $50 \text{ Hz}$

e- Puissance d'échauffement :  $500 \text{ VA}$

## 1 - Circuit de mesure

### Consommation des appareils de mesure

Voltmètre indicateur	2 VA
Wattmètre indicateur	3 VA
Varmètre indicateur	3 VA
Compteur actif	2 X 4 VA
Compteur réactif fourni	2 x 4 VA
Compteur réactif reçu	2 X 4 VA
Wattmètre enregistreur	2 X 5 VA
Varmètre "	2 X 5 VA
Fréquencemètre "	15 VA
Oscilloperturbographe	30 VA

## 2 - Circuit de protection

### Consommation des relais

- Relais à minimum de tension instantanés UM 31y :  $3 \times 0,8 = 2,4 \text{ VA}$
- Relais directionnel de puissance PM 2 Ge 26.108 :  $35 \text{ VA}$

Consommation totale

$$P = 97 + 2,4 + 35 = 134,4 \text{ VA}$$

Puissance de précision :  $150 \text{ VA}$

Classe de précision : 2

## FONCTIONS DE DÉCLENCHEMENT

Défauts	Déclenchement						
	Disjoncteur Principal	Disjoncteurs auxiliaires	Désexcitation	fermeture de la vapeur	Protection contre feu CO <sub>2</sub>	Signal Optique	Signal acoustique
Differentielle Alternateur	X	X	X	X	X	X	X
Masse Stator	X	X	X	X		X	X
Masse Rotor 1 <sup>er</sup>						X	X
Masse Rotor 2 <sup>e</sup>						X	X
Elévation de la Température						X	X
Surintensités	X	X	X	X		X	X
Surcharges						X	X
Retour de Puissance	X		X			X	X

## Protections Alternateurs

Marque	Repère	Type	Fonction	Domaine de Réglage	Temporisation
B.B.C	1	D <sub>2</sub> Se	Différentielle Alternateur	Réglage de base $I_n$ : 10-25% faux de fonctionnement : 5-25% $I_n$	
"	2	IM3x	Masse Stator	Domaine protégé : 70%	
"	3	UM31Y	Masse Rotor 1 <sup>er</sup>		
"	4	IM3x + PA1	Masse Rotor 2 <sup>e</sup>		0,5 - 1s
"	5	Sonde + Indicateur NE96B90°	Élévation de Température		
"	6	3x IM3x + 3x UM31Y	Surintensités	Courant de fonction- nement : 1,0 - 2,0 x $I_n$	6-8 s
"	7	IM3x + CSM2	Surcharges	Courant de fonction- nement : 1,0 - 2,0 x $I_n$	5-10 s
"	8	PM2gi26-108 + PA5	Retour de Puissance	Tension de fonction- nement : 1-5% Un relais	2 s

## CONCLUSION

---

Du fait du rôle capital des centrales dans un réseau électrique et du fait des investissements énormes en jeu, la protection de l'alternateur revêt une importance de plus en plus grande. Des dépenses élevées judicieusement utilisées sont par conséquent justifiées.

Le but de notre étude a été d'élaborer un système de protection d'un alternateur de moyenne puissance contre les principaux défauts d'origine **internes** ou **externes** pouvant y intervenir. Toutefois il reste d'autres protections **qui sont de moindre importance**, mais leur application permettra d'augmenter la sécurité de l'alternateur.

Le contrôle des grandeurs de fonctionnement de l'alternateur par l'appareillage de mesure électrique nécessite un choix judicieux des transformateurs de mesures. Ainsi, les conséquences d'un défaut sont limitées **voir évitées**.

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

---

- Cours de réseaux II de Mr MICHALAK
  
- Catalogues
  - \* B. B. C. : Brown Boveri et Co. - Relais et systemes de protection  
CH - ES60F - 1975.
  - \* Merlin et Gérin.
  - \* Cables d'énergie : Les cables de Lyon.
  - \* Compteurs Schlumberger
    - Compteurs, télécommande centralisée et commutation.
    - Appareils de mesure et de contrôle industriels.
  - \* Documents SONEGAZ
    - Centrale de M'sila.



