



école polytechnique de thiès

# PROJET DE FIN D'ETUDES

GM.0440

titre ÉTUDE DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION  
ELECTRIQUE D'UNE USINE DE PUISSANCE  
MOYENNE D'AU MOINS 2000 KVA.

auteur : NIANG - HACHEM  
génie : MÉCANIQUE  
date : MAI - 79

*ecole polytechnique de thies*

**H** PROJET DE FIN D'É TUDE

Présenté par

**E**L. **H**ADJÏ **(**)**A**LICK **H**/IANG

et

**(**)**A**GÏDE **(**)**A**GÏB **H**-**A**CHEM

POUR L'OBTENTION DU GRADE D'INGENIEUR

SUJET :

ETUDE DU RESEAU DE DISTRIBUTION  
ELECTRIQUE D'UNE USINE DE PUISSANCE  
MOYENNE D'AU MOINS 2000 KVA.

## **REMERCIEMENTS**

**L**A réalisation de ce rapport et la conduite des études qu'il a suscitées ont été rendues possibles grâce à l'aide précieuse de notre directeur de projet, Monsieur HARVEY GAGNE que nous tenons à remercier tout particulièrement et à exprimer notre profonde gratitude pour la constante disponibilité et pour les conseils, qui, tout au long de ce travail, nous ont aidé grandement à mener à bien la présente étude.

**L**'autre reconnaissance va aussi à Monsieur LECULE, directeur technique de la SISCOA et à l'électricien de cette même usine, grâce à la complaisance des quels, nous avons pu relever tous les éléments nécessaires disponibles pour cette étude.

**I**ls sont priés de bien vouloir trouver ici, l'expression de notre profonde sympathie.

**N**ous sommes également reconnaissants envers Melle M'DEYE SOKHNA KANE, Secrétaire au CNEPS de THIES pour avoir bien voulu dactylographier ce rapport.

# /// A B L E D E S M A T I E R E S

	<u>Pages</u>
Sommaire	i
Table de notations	ii
Introduction générale	1
<u>Chapitre I</u> : Considérations théoriques de l'étude du courant de court-circuit	
I-1 Cause du courant de court-circuit $I_{cc}$	3
I-2 Effets du courant de court-circuit	3
I-3 Hypothèses fondamentales pour le calcul de $I_{cc}$	4
I-4 Quelques définitions	5
I-5 Courants symétriques et asymétriques	5
I-6 Différentes sources de $I_{cc}$	7
I-7 L'appareillage de protection et de $I_{cc}$	8
<u>Chapitre II</u> : Résumé de la méthode utilisée pour le calcul de $I_{cc}$	
II-1 Diagramme unifilaire	10
II-2 Circuit équivalent	
II-3 Calcul du courant $I_{cc}$ symétrique	11
II-4 Calcul du courant $I_{cc}$ asymétrique	12

	<u>Pages</u>
<u>Chapitre III</u> : Impédance d'appareillage	
III-1	Alimentation de SENELEC 13
III-2	Générateurs 13
III-3	Moteurs à induction et synchrones 14
III-4	Transformateurs 15
III-5	Réactance 15
III-6	Cables 15
III-7	A négliger 16
III-8	Disjoncteurs 16
 <u>Chapitre IV</u> : Calcul du Icc à l'aide du système par unité	
IV-1	Valeur par unité 17
IV-2	Relations entre valeurs de base : KVA et U 18
IV-3	Passage d'une base à une autre 18
IV-4	Conversion des systèmes de puissance selon une base commune 20
 <u>Chapitre V</u> : Application à la SISCOA	
V-1	Diagramme unifilaire 22
V-2	Calcul des impédances 25
 <u>Chapitre VI</u> : Coordination des éléments de protection	
VI-1	Généralités 37
VI-2	Etude des appareils de protection 39
VI-3	Procédure pour établir la coordination des éléments de protection 42
VI-4	Application à la SISCOA 45
VI-5	Conclusion 53

	Pages
Bibliographie	54
Tables	56
Figure	63
Annexes	64

## S O M M A I R E

Cette étude de réseau de distribution électrique se rapporte exclusivement à l'usine de la SISCOA installée à POUT ayant une puissance d'environ 700 KVA. Il ne nous a pas été possible de trouver une usine de 2000KVA de puissance. Néanmoins, l'installation en place nous a offert une capacité installée nécessaire pour justifier cette étude.

Seulement, le problème majeur qu'on a rencontré au cours de ce travail réside dans la documentation disponible au sein de cette entreprise concernant plus particulièrement les courbes de coordination des disjoncteurs communément appelées courbes de déclenchement. Ceci a considérablement perturbé le chemin qu'on aurait pu suivre; c'est à-dire, comparer les courbes de déclenchement qui donneraient la protection maximale au réseau (ces courbes étant obtenues avec la calibration utilisée dans l'usine) et celles déjà existantes.

N'ayant donc pas obtenu ces courbes, nous avons ainsi proposé celles qui, d'après les résultats obtenus, donneraient le maximum de satisfaction.

Il en est de même aussi pour les câbles et les fils conducteurs dont les longueurs, donc les impédances, n'ont été déterminées qu'approximativement.

T A B L E D E N O T A T I O N S

Amp	Ampère
$Amp_B$	Ampère de base
$\cos \phi$ , F.P.	Facteur de Puissance
Fch	Facteur de charge
Fd	Facteur de demande
Fdt	Facteur de diversité
HP	Horse-Power
I	Intensité du courant
Icc	Courant de court-circuit
Icoupure	Pouvoir de coupure
Imomentané	Courant momentané
KVA	Kilo-Volt-Ampère
$KVA_B$	KVA de base
$KVA_{AB}$	KVA ancienne base
$KVA_{NB}$	KVA nouvelle base
P.U.	Par unité
P	Puissance active
Q	Puissance réactive
R	Résistance
S	Charge
U, E	Tension
$U_B$	Tension de base
X	Réactance
X'	Réactance transitoire
X''	Réactance sous transitoire
$Z$	Impédance
$\Omega$	Ohm
$\Omega_B$	Ohm de base
$\Omega_{p.u.A.B}$	Ohm par unité-Ancienne base
$\Omega_{p.u.N.B}$	Ohm par unité-Nouvelle base.

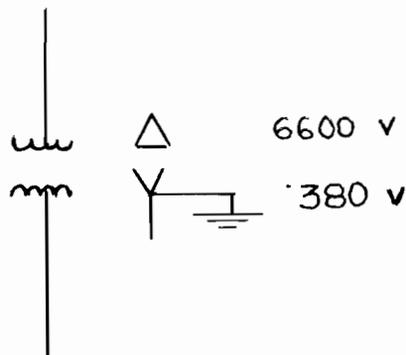
## INTRODUCTION GÉNÉRALE

La qualité d'une usine est intrinsèquement liée à la qualité du réseau électrique dont le coût, cependant, ne représente pas le facteur déterminant dans l'ensemble du projet : 2 à 20% de l'investissement initial.

La fiabilité de l'installation dépend du type de procédé car certains peuvent tolérer des arrêts, d'autres exigent un haut degré de continuité. Donc le système sera construit pour isoler les fautes avec le moins de perturbations en tenant surtout compte de la sécurité des travailleurs à propos de laquelle, il ne doit y avoir aucun compromis. La sécurité des travailleurs doit passer avant tout. Pour cela une simplicité d'opération est de rigueur. Il est à prévoir des éléments de protection dont les disjoncteurs et les éléments thermiques qui doivent être bien coordonnés. Une bonne mise à la terre est aussi nécessaire.

### Tendance moderne de mise à la terre :

→ Secondaire du transformateur mis à la terre



Une grande variation de la tension réduit la durée de vie de l'appareillage, d'où la nécessité d'une grande stabilité de tension U.

Le système électrique doit être conçu de manière à être arrêté quand il faut, sans déranger la production. Aussi les éléments doivent être accessibles pour faciliter d'éventuelles inspections et réparations.

Pour des besoins futurs, il faudrait prévoir une expansion de l'usine car, généralement, la charge électrique augmente. Pour ce faire, nous devons considérer certains facteurs tels que la tension, le calibre des appareils et l'espace.

Cependant, il est à noter que pour une bonne coordination, il faut tenir compte du fait que certaines charges fonctionnent par intermittence et d'autres à moins que leur puissance. C'est ainsi que la charge totale du système est inférieure à la charge connectée qui est la somme des puissances de chaque appareil.

Donc cette étude est des plus importantes car elle peut être à la base de décisions majeures. Elle conduit à considérer plusieurs facteurs dont les plus fréquemment utilisés sont : le facteur de demande  $F_d$ ,

- le facteur de diversité  $F_{dt}$ ,
- et le facteur de charge  $F_{ch}$

dont nous donnons les définitions en annexe page : 64

DU COURANT DE COURT-CIRCUIT

(I<sub>cc</sub>)

-:-:-:-:-

Notre souci majeur pour une distribution électrique d'une usine, d'un édifice ou autre bâtiment doit être d'alimenter les charges de façon sûre et sécuritaire. Pour cela, nous devons prévoir des courts-circuits probables et essayer de faire l'installation électrique en conséquence.

I - 1. CAUSES DU COURANT DE COURT-CIRCUIT I<sub>cc</sub> :

Les causes les plus fréquentes du I<sub>cc</sub> sont :

- a) les rongeurs
- b) les connexions mal faites
- c) une montée de tension
- d) un vieillissement de l'isolation
- e) l'humidité
- f) la poussière
- g) le contact avec un conducteur.

I - 2. EFFETS DU COURANT DE COURT-CIRCUIT :

Quand un I<sub>cc</sub> se produit :

- a) un arc électrique matérialisé par un feu se produit
- b) un I<sub>cc</sub> provient des différentes sources
- c) les conducteurs <sup>sont</sup> soumis à des stresses mécaniques et thermiques qui varient en  $f(I^2)$  et du temps.

EXEMPLE :

Intensité de la force qui agit sur le conducteur.

$$F = \beta I L$$

$$F = \frac{2 I_1 I_2 l}{10^7 d}$$

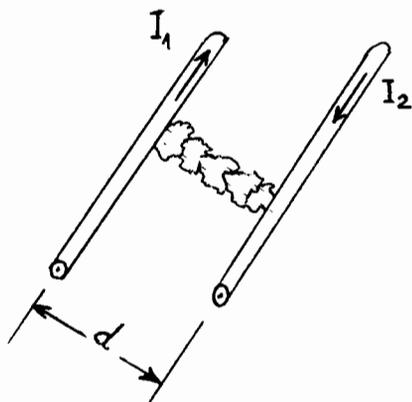
avec  $l = 3m$

$I = 1000 A$

$d = 10 cm$

Pour un I<sub>cc</sub> = 20000A

$$F = \underline{2400 \text{ Newtons}}$$



.../...

Les forces qui s'exercent sur les conducteurs alimentant une charge sont normalement très petites. Cependant dans le cas de court-circuit, elles peuvent atteindre plusieurs tonnes. Pour éviter que les barres omnibus ne soient déformées par l'action de ces forces, on les ancre solidement à une structure et on les fixe ensemble au moyen d'isolateurs rigides.

d) Il y a une chute de tension ( $U_{cc}$ ) à la faute.

Pour éviter ou limiter certains dégâts qui peuvent être assez sérieux, il faut donc prévoir un appareil tel que : disjoncteur, fusible, pour couper le courant de court-circuit disponible. Cependant, il faut faire la distinction entre un courant de charge (fonctionnement normal) et un courant de court-circuit qui est fonction de la source de puissance.

On peut donc dire que les calculs des  $I_{cc}$  servent à prévoir les  $I_{cc}$  disponibles à un endroit spécifique d'un réseau et de choisir l'appareillage ayant le pouvoir de coupure requis et enfin de coordonner la protection.

### I - 3 : Hypothèses fondamentales pour le calcul de courant de cc ;

- a) Les calculs seront toujours faits pour la pire situation.
- b) On considérera l'apport maximum de  $I$  de SENELEC.
- c) Tous les générateurs, s'ils existent, seront en opérations.
- d) On considérera également la charge maximum sur le réseau, c'est-à-dire, tous les moteurs en marche.
- e) Les disjoncteurs de liaison seront fermés.
- f) On supposera une faute triphasée sur le réseau.

Avec ces hypothèses, nous obtenons la pire situation pour le réseau.

Ainsi, un appareil choisi pour supporter le courant de faute devrait pouvoir fonctionner d'une façon sécuritaire et efficace dans toutes les conditions d'opération.

Pendant l'instant où le  $I_{cc}$  passe, des contraintes mécaniques élevées sont imposées à toutes les parties du circuit électrique.

Ces efforts sont produits presque instantanément en phase avec le  $I_{cc}$  et sont fonction de  $I_{cc}^2$ .

Les contraintes maximales correspondent au 1er cycle de  $I_{cc}$ .

#### I - 4 Quelques définitions

\* La puissance momentanée ou  $I$  momentané d'un appareil, c'est le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) qu'il doit supporter durant les 1er cycles.

\* Le pouvoir de coupure ou  $I$  de coupure c'est le  $I_{cc}$  qu'un appareil doit interrompre.

\* La réactance des machines pendant un cc varie. Pour pouvoir calculer les  $I_{cc}$ , trois (3) valeurs de  $X$  sont choisies, correspondant à des temps bien déterminés.

i) réactance  $X''$  d sous transitoire: c'est la réactance apparente à l'instant où le cc se produit. Elle règle le  $I_{cc}$  pendant les premiers cycles.

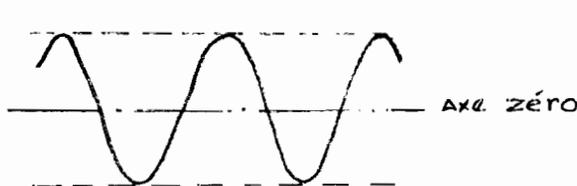
ii) réactance  $X'$  d transitoire : c'est cette réactance qui limite le  $I_{cc}$  après la période sous transitoire qui dure jusqu'à 1/2 seconde.

iii) réactance  $X$  1/2 synchrone : c'est cette réactance qui détermine le  $I_{cc}$  après quelques secondes, c'est-à-dire en état stable.

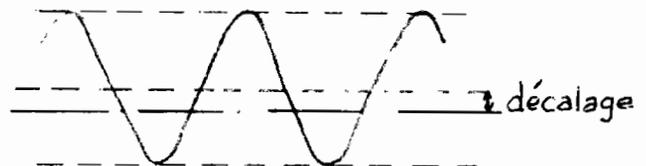
Elle n'est donc pas utilisée dans le calcul des CC.

#### I - 5 : Courants symétrique et asymétrique :

Les expressions symétrique et asymétrique décrivent la forme du courant, alternatif par rapport à l'axe de symétrie (axe zéro).



$I$  symétrique



$I$  asymétrique

La plupart des courants de court-circuit sont asymétriques durant les premiers cycles après le début du courant de CC.

Le courant de  $I_{cc}$  est maximum durant le 1er cycle et diminue progressivement pour devenir symétrique durant les cycles qui suivent.

Angle de phase entre E et  $I_{cc}$  :

La tension et le courant de faute sont de forme sinusoïdale.

Dans un circuit de puissance normale, la résistance du circuit est négligeable devant la réactance de circuit :

Par exemple : ~~résistance~~  $X = 19 \Omega$   
réactance  $R = 1,4 \Omega$

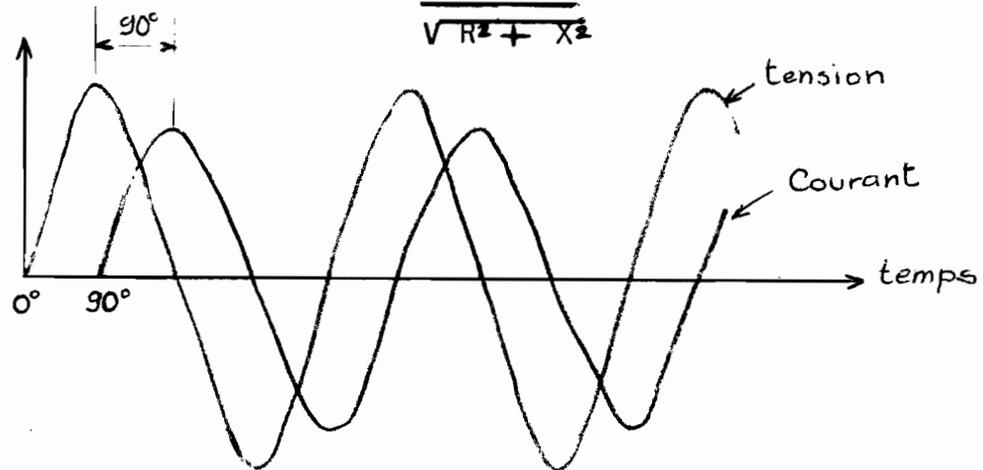
Le facteur de puissance F.P. est égal au rapport de la résistance sur la réactance : F.P. du court-circuit =  $\cos \theta = 0,074$

$$\theta = 85,8^\circ$$

D'où, dans la plupart des circuits de puissance le  $I_{cc}$  est en retard de phase sur la tension générée de 70 à 90 degrés.

On a la formule suivante :

$$F.P. = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$



Relation de phase en la tension E et le courant de court circuit  $I_{cc}$

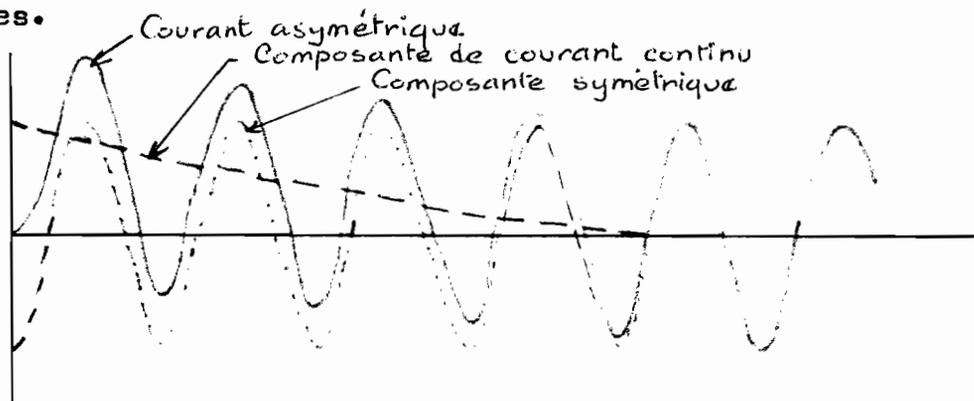
On disait plus haut donc que l'onde asymétrique va devenir symétrique par rapport à l'axe de tension  $0^\circ$ . Le taux de changement vers cette condition dépend du facteur  $\frac{X}{R}$ . si  $\frac{X}{R}$  est grand, cela prend plusieurs cycles. Par contre, si  $\frac{X}{R}$  est petit, cela prendra seulement 2 à 3 cycles.

Les courants asymétriques peuvent être divisés en deux (2) composantes qui s'écouleraient en même temps :

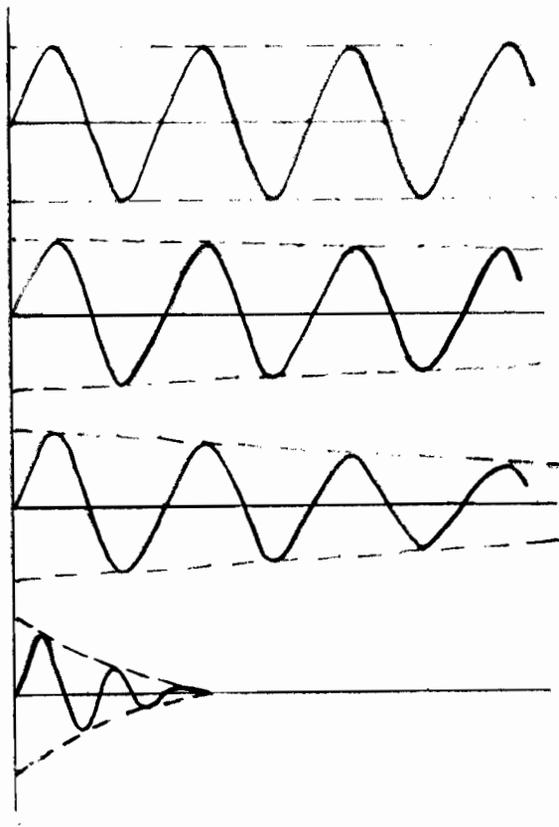
.../...

- 1 - une composante symétrique
- 2 - une composante de courant continu.

La somme des deux étant, à tout instant, égale au courant asymétrique.  
La figure ci-dessous montre un  $I_{cc}$  devenant graduellement symétrique en 5 cycles.



I - 6 Différentes sources de courant de court-circuit :



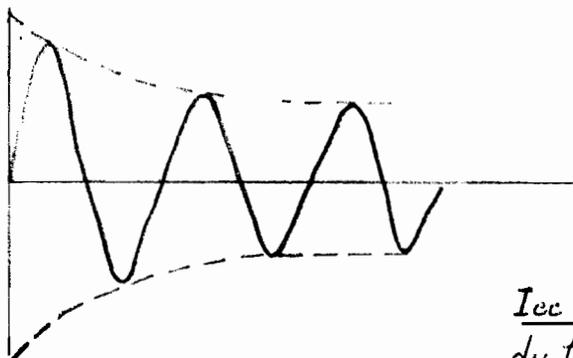
SÉNÉLEC

ALTERNATEUR

MOTEUR SYNCHRONE

MOTEUR A INDUCTION

Contribution de  $I_{cc}$



$I_{cc}$  asymétrique provenant du total des 4 sources

### 1 - 7 L'appareillage de protection et de $I_{cc}$ :

Étant donné que le  $I_{cc}$  varie en fonction du temps, deux (2) calculs sont nécessaires pour déterminer :

- le  $I_{cc}$  momentanée
- le  $I_{cc}$  de coupure/

#### 1 - Appareillage de basse tension < 600V

L'appareillage de basse tension est composé de :

- disjoncteurs de puissance
- centre de commande de moteurs
- démarreurs
- fusibles
- barres omnibus

Tous ces appareils sont vendus pour un courant symétrique donné (par exemple: 22000A symétrique), mais sont testés sur une base de courant asymétrique (X facteur de correction : 1.6)

Comme L'appareillage de basse tension est d'opération rapide (rapide-séparation des contacts après seulement 1 ou 2 cycles), leurs  $I_{cc}$  certifiés sont basés sur leurs  $I_{cc}$  maximum du 1er cycle.

Donc le calcul se fait en utilisant la réactance sous transitoire  $X''_d$

On n'utilise pas de facteur de multiplication sauf pour la coordination où l'on doit inclure le facteur 1.6

#### 2. Appareillage de haute tension > 600V

Il possède deux (2)  $I_{cc}$  certifiés

a)  $I_{cc}$  momentané : L'appareillage doit pouvoir supporter les efforts mécaniques associés avec le  $I_{cc}$  produit pendant le premier  $1/2$  cycle.

Le  $I_{cc}$  momentané est donné en Ampères asymétriques.

On calculera alors :

— la valeur symétrique en utilisant  $X''$  d de chaque source de  $I_{cc}$ .

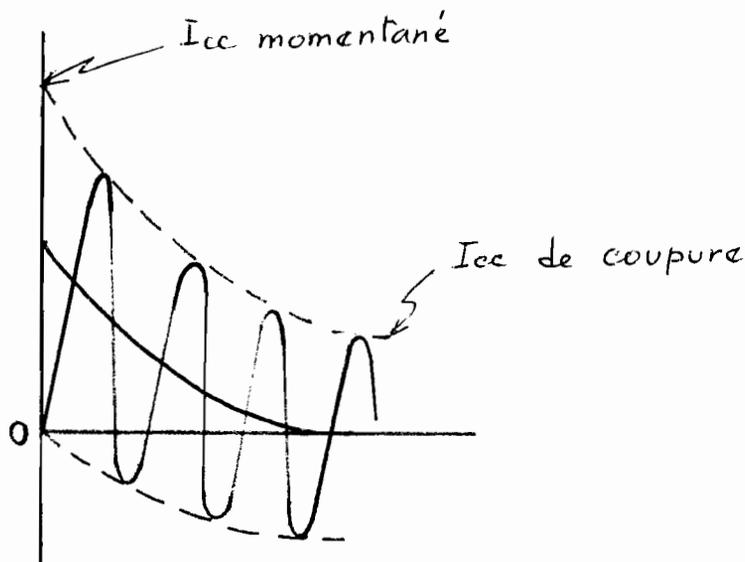
— la valeur asymétrique en utilisant un FACTEUR de MULTIPLICATION.

b)  $I_{cc}$  de coupure : L'appareillage doit pouvoir interrompre le  $I_{cc}$  après quelques cycles.

Le  $I_{cc}$  de coupure est donné en Ampères symétriques ou en MVA.

Il est calculé à partir de  $X''$  d pour les générateurs synchrones et le  $X'$  d pour les moteurs synchrones. On négligera l'apport des moteurs à induction.

On notera que pour les fusibles, le  $I_{cc}$  de coupure est donné en Ampères-asymétriques.



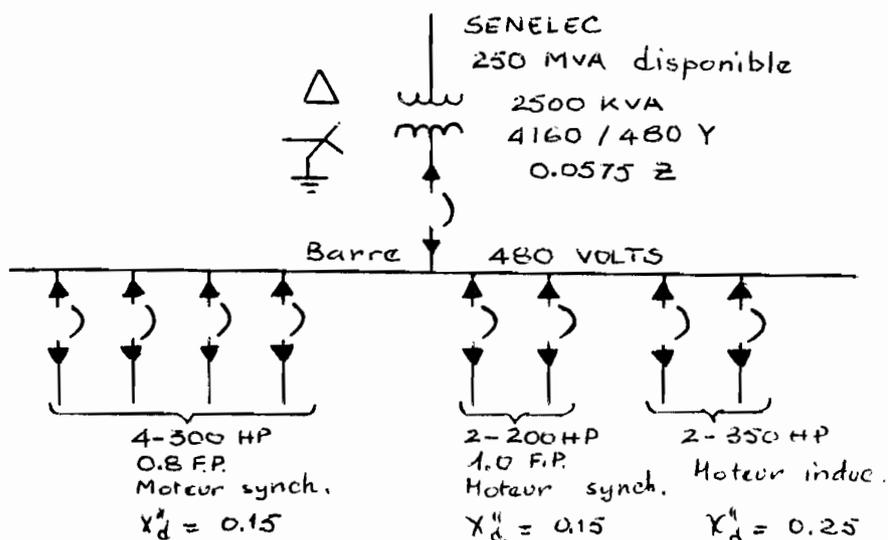
$I_{cc}$  asymétrique provenant de toutes les sources symétriques

Nous avons traité ce chapitre en adjoignant au texte quelques exemples concrets qui viendront éclaircir au maximum la méthode.

II - 1 DIAGRAMME UNIFILAIRE

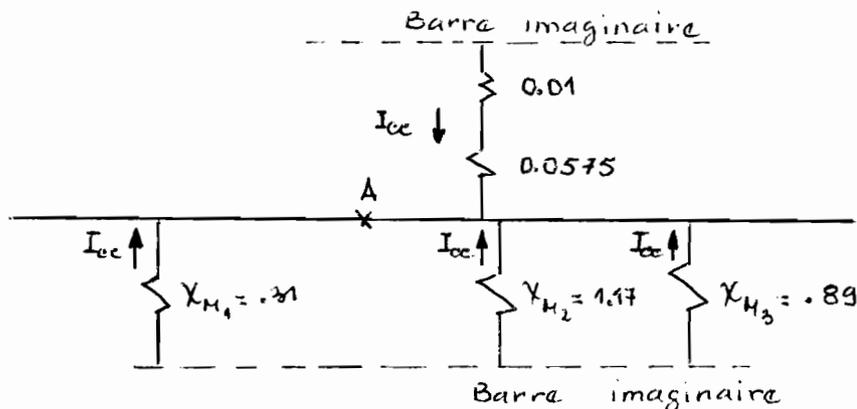
Il s'agira d'établir le diagramme unifilaire le plus complet possible. Ce diagramme unifilaire aura pour objectif de montrer à l'aide d'une ligne simple et de symboles, le circuit électrique et les composants d'un système.

Exemple :



II - 2 CIRCUIT EQUIVALENT

a) On établira le circuit préliminaire donnant l'impédance ( $Z$ ) des appareils, impédance exprimée sur une <sup>Base</sup> commune.

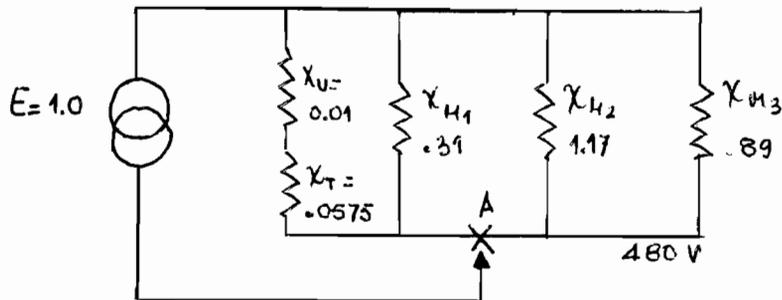


b) Dans le cas où il s'est pratiquement avéré impossible d'obtenir l'impédance exacte de l'appareil sur sa plaque signalétique, il serait suffisant d'utiliser l'impédance d'un appareil identique.

c) Les petits moteurs peuvent être groupés et traités comme une seule impédance.

d) Il s'agira maintenant d'ajouter au circuit préliminaire une barre de REFERENCE IMAGINAIRE d'où tous les  $I_{cc}$  vont partir, et de relier chaque SOURCE de  $I_{cc}$  à cette barre imaginaire.

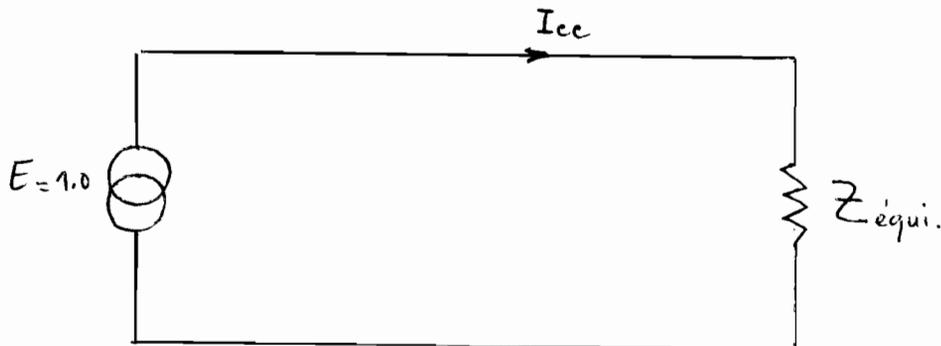
Pour calculer le  $I_{cc}$ , en un point A, on raccordera ce point à la source:



### II - 3 CALCUL DU $I_{cc}$ SYMETRIQUE

Il nous faudra maintenant réduire le diagramme précédent en une seule impédance équivalente ( $Z$ ) au point de court-circuit.

On calculera ensuite le  $I_{cc}$  qui est égal à  $\frac{E}{Z_{\text{équi}}}$



.../...

## II - 4 CALCUL DU Icc ASYMETRIQUE

Le calcul fait en II - 3 nous donne le Icc symétrique auquel nous devons ajouter la composante de courant continue qui produit l'asymétrie et qui décroît à zéro en quelques cycles.

Pour cela, on utilise un facteur de multiplication, tel que :

$$I_{cc} \text{ Asy} = I_{cc} \text{ Sym} \times F. \text{ de mult.}$$

$$\text{En général, } F.P. = 1.6$$

Quand tous ces courants auront été calculés, nous pourrons les utiliser pour tracer les courbes de coordination.

On a vu dans le précédent chapitre, comment utiliser l'impédance  $Z$  dans les calculs de CC. Maintenant, il nous faut déterminer cette impédance. Il s'agira alors de recueillir les informations nécessaires afin de transformer notre diagramme unifilaire en un diagramme équivalent d'impédance.

Cette recherche se fera à partir de la filière de l'équipement ou par un relevé sur le terrain des plaques signalitiques de chaque appareil.

III - 1 ALIMENTATION DE SENELEC

On demandera à la SENELEC le maximum KVA de cc et le minimum KVA de cc disponibles à l'entrée de l'usine.

La trop grande différence du MAX et du MIN peut avoir une influence sur la coordination.

En l'absence de valeur MAX KVA cc, on peut utiliser le KVA ou MVA de coupure du disjoncteur d'entrée :

On prendra alors  $X''_d = 1$  sur sa base KVA ou MVA.

III - 2 GENERATEURS

On obtient facilement à partir de la plaque signalitique

- a) le KVA de la machine ou le KW
- b) le F.P.

Il est fréquent qu'on ne trouve pas le  $X''_d$  et  $X'_d$ . Il faudrait donc prendre aussi.

- c) le type de machine (Rotor bobiné ou à pôles saillants)
- d) la vitesse

Ces deux (2) derniers éléments nous permettent de trouver les valeurs

.../...

recherchées ci-dessus à l'aide de la table 1 page : 56

### III - 3 MOTEURS A INDUCTION ET SYNCHRONES

Il convient de noter ici que pour les moteurs de tension moyenne (2.4 KV et 4.16 KV), l'impédance de chaque machine doit être relevée.

Si plusieurs moteurs ont une même puissance et une même impédance  $Z$ , on peut les grouper en une seule  $Z$ .

#### Détermination de $X''_d$ :

##### 1. Moteur à induction à cage d'écureuil ou synchrones :

On devra relever sur la plaque signalitique :

- la lettre code
- la puissance (HP ou KW)
- la vitesse
- le F.P. (moteur synchrone)

La lettre correspond à une classification. Pour chaque lettre, on a le KVA/HP à rotor bobiné correspondant. Prenons par exemple la valeur de  $y$  comme étant égale à KVA/HP ( $\approx$  multiple du I démarrage).

EXEMPLE : soit un moteur synchrone de 1250 HP, CODE B

donc: on a 3.15 - 3.54 I de démarrage

(voir annexe page 56 Table 5)

donc  $X''_d =$  entre  $\frac{1}{3.15}$  et  $\frac{1}{3.54}$

$$= .318 \quad \rightarrow \quad X''_d \quad \rightarrow \quad .283 \quad \Omega$$

On prendra donc la valeur conservatrice  $X''_d = .283 \Omega$

Sur certaines plaques signalitiques le I de démarrage et le I de pleine charge sont donnés.

$$\text{d'où } X''_d = \frac{I_{pl. ch.}}{I \text{ démar.}}$$

##### 2. Moteurs de basse tension < 600V

Pour le calcul du  $I_{cc}$ , on fera la somme de la charge totale connectée sur la barre omnibus, somme à laquelle on assumera une valeur de  $X''_d$ .

Pour faciliter de calcul, on fera l'approximation suivante.

a) Pour un édifice industriel :

HP connectés = KVA raccordés à la barre.

b) Pour un édifice commercial :

HP connectés  $\approx$  1/2 KVA du transformateur  
éclairage  $\approx$  1/2 " " "

Pour ces mêmes moteurs de basse tension (< 600V), l'apport à un court-circuit est supposé  $4 \times I$  de pleine charge.

$$d'où X''_d = \frac{1}{4} = 0,25$$

3. Valeurs de  $X''_d$  pour les moteurs à induction :

$> 600V$	$\rightarrow$	$X''_d$	= 0.17
$\leq 600V$	$\rightarrow$	$X''_d$	= 0.25

### III - 4 TRANSFORMATEURS

Il s'agira de relever :

- la tension primaire
- " secondaire
- le pourcentage %  $\pm$
- les connexions des bobinages  $\gamma$  ou  $\Delta$

(type de mise à la terre)

### III - 5 REACTANCE

Certains systèmes ont des réactances ayant comme unique but de REDUIRE LE  $I_{cc}$  entre deux (2) jeux de barres.

On relèvera sur les plaques le %  $\Delta U$  et le  $I$  démarrage.

### III - 6 C A B L E S

Un réseau de distribution est constitué de :

- cables monophasés
- " Triphasés
- barres
- fils

.../...

qui ajoutent une impédance appréciable dans le circuit.

Il nous faut donc connaître :

- a) la longueur des câbles
- b) le type de câbles : MONO, TRI etc...
- c) la tension
- d) le genre de conducteur et le calibre.
- e) le genre de câble : armé, au pb, shieldé etc...

S'il s'agit d'une ligne aérienne, il nous faut :

- a) la tension
- b) la longueur
- c) l'Espacement entre les conducteurs
- d) le type de conducteur : AL - CU
- e) le calibre

### III - 7 A NEGLIGER

- a) la charge d'éclairage
- b) " des Fours
- c) " des redresseurs
- d) les condensateurs
- e) les disjoncteurs, sauf en basse tension avec une forte charge de  $I_{cc}$ .

### III - 8 DISJONCTEURS

Les valeurs ci-dessous sont associées aux disjoncteurs :

a) I continu : c'est le courant que l'appareil peut supporter continuellement sans dommage pour les contacts.

EXEMPLE : Bâti du disjoncteur : 1600 AMP

Bobine de déclenchement : 800 AMP

b) I momentanée : c'est le courant qui représente la limite de la résistance MECANIQUE de l'appareil.

c) I d'interruption : c'est le pouvoir de coupure.

## CHAPITRE IV : CALCUL DU I<sub>cc</sub> A L'AIDE DU SYSTEME

### PAR UNITE

Nous avons vu dans le chapitre II comment on établissait le diagramme unifilaire et partant, le diagramme d'impédance (  ) qui montre les éléments du circuit les plus importants avec leurs impédances.

Cette présente étape consiste à transformer chaque "  " par rapport à une base (référence) commune.

En général, il est d'usage de choisir une valeur de base pour le KVA et la tension .

#### IV - 1 VALEUR PAR UNITE

Ce système par unité est utilisé pour faciliter la comparaison entre valeurs. Pour ce faire, on ramène ces mêmes valeurs sur une même base selon cette formule :

$$\text{PAR UNITE} = \frac{\text{NOMBRE}}{\text{NOMBRE DE BASE}} = \frac{\text{VALEUR}}{\text{VALEUR UNITAIRE}}$$

<u>EXEMPLE :</u>	<u>NOMBRE</u>	<u>BASE = 560</u>	<u>VALEUR UNITAIRE</u>
	95	"	0.17
	123	"	0.22
	560	"	1.00
	2053	"	3.66

On pouvait aussi, par exemple, choisir une valeur de base qui nous permettrait de comparer les nombres par rapport au plus petit.

	<u>Base = 95</u>	
95	"	1.00
123	"	1.30
560	"	5.90
2053	"	21.60

IV - 2 : RELATIONS ENTRE VALEURS DE BASE : KVA et U

KVA : On choisira soit, le KVA de la plus grande charge, soit une valeur  $\approx 10000$  KVA

U : Ce sera la tension du réseau.

a) EN MONOPHASE :

$$AMP_{base} = \frac{KVA_{base} \times 1000}{U_{base}}$$

$$\Omega_{base} = \frac{U_{base}}{AMP_{base}}$$

b) EN TRIPHASÉ :

$$AMP_{base} = \frac{KVA_{base} \times 1000}{\sqrt{3} U_{base}}$$

$$\Omega_{base} = \frac{U_{base}}{\sqrt{3} AMP_{base}}$$

$KVA_{base}$  : triphasé

$U_{base}$  : L - L ( volt ) ligne - ligne

$\Omega_{base}$  : L - N ( Ohm ) ligne - neutre

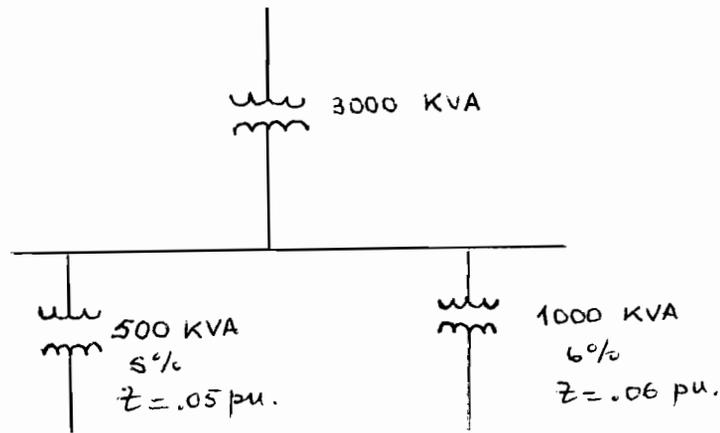
c)  $\Omega$  par UNITE

$$\Omega_u = \frac{\Omega \times KVA_b}{U_b^2 \times 1000} \quad \text{sera MONOPHASÉ si KVA: MONO}$$

$$\text{TRIPHASÉ si KVA: TRIPHASÉ}$$

IV - 3

PASSAGE D'UNE BASE A UNE AUTRE



Soit par exemple le diagramme unifilaire ci-dessus.

On a :

a) un TRANSFO	500 KVA	0.05 pu.
b) un "	1000 KVA	0.06 pu.

Pour pouvoir utiliser ces valeurs dans un même diagramme d'impédance ( $Z$ ), il faut les ramener à une même base commune, selon la formule :

$$\Omega \text{ pu.n.B} = \Omega \text{ pu.AB.} \times \frac{\text{KVA}_{nB}}{\text{KVA}_{AB}} \quad (1)$$

Si maintenant les tensions sont différentes, on a :

$$\Omega \text{ p.u.N.U} = \Omega \text{ pu.A.U.} \times \frac{U_{AB}^2}{U_{NB}^2} \quad (2)$$

De telle sorte qu'en combinant les formules (1) et (2), on obtient la formule générale suivante :

$$\Omega \text{ p.u.} \frac{\text{N.B.}}{\text{N.U.}} = \Omega \text{ pu} \times \frac{U_{AB}^2}{U_{NB}^2} \times \frac{\text{KVA}_{NB}}{\text{KVA}_{AB}}$$

Nota : \* Il arrive très généralement qu'on ait des câbles alimentés à des tensions différentes. Par exemple, si on a deux (2) câbles alimentés, l'un en 4.16 KV et l'autre en 380V, il nous faudra alors prendre comme tension de base respectivement 4,16 KV (pour le premier) et 380V (pour le second).

- \* Pour calculer une faute en un point sous une tension d'alimentation donnée, on prendra aussi comme base de tension ( $U_{base}$ ), la tension d'alimentation même.
- \* Nous nous rapporterons également toujours au KVA de base (de référence) unique qu'on s'est fixé.

#### IV - 4      CONVERSION DES SYSTEMES DE PUISSANCE SELON UNE BASE COMMUNE

Tout système possède une impédance comprenant une partie en RESISTANCE (R) et l'autre en REACTANCE inductive (X )

##### 1. MACHINES TOURNANTES, TRANSFO, REACTANCE d'ARTERE

En général  $X \gg R$  de telle sorte que l'on néglige R.

##### a) Machines tournantes :

Le courant initial aux bornes d'une machine tournante est  $\propto f(X'')$  donc très fort au début. Ce courant va diminuer pour atteindre une valeur plus faible ou même zéro (0).

La réactance  $X''$  de la machine est habituellement donnée en % ou par unité, avec comme base KVA, la puissance de la machine. Il nous faut cependant ramener cette valeur à la valeur de la base KVA, prise pour l'étude du circuit.

##### b) TRANSFORMATEURS :

La réactance d'un transfo. est donnée en %  $X_t$  sur la base de puissance en KVA du transfo. Il faut alors transformer le %  $x_t$  en une valeur par unité, sur la base KVA d'étude du circuit selon la formule suivante :

$$X = \frac{\% x_t \quad \text{KVA BASE}}{100 \quad \text{KVA TRANFO}}$$

### c) Réactance d'artère :

Elle sert à limiter le courant. Elle est composée, comme son nom l'indique, d'une réactance  $X$  uniquement dont la valeur par unité est déterminée par la relation :

$$X = \frac{\% \text{ KVA}_{\text{base}}}{100 \text{ KVA REACTANCE}}$$

### 2. CONDUCTEURS : cables, barres, lignes aériennes.

L'impédance  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

La réactance des lignes ou cables est habituellement donnée en termes de ohms/phase/unité de longueur (voir annexe page : 57-58). Il nous faut transformer cette valeur  $\Omega/\phi$  en une valeur par unité sur la base KVA d'étude selon la relation :

$$\Omega_{\text{BASE}} = \frac{U_{\text{base}}}{\text{AMP}_{\text{base}}} = \frac{(U_B \text{ en KV})^2 \times 1000}{\text{KVA}_{\text{base}}}$$

### 3. CAS GENERAL :

Si on a  $X/R > 4$ , on néglige  $R$ . L'erreur qu'on fera sera  $< 3\%$ .

### 4. SOURCE DE PUISSANCE

L'impédance  $X_U$  de la source de puissance (dans notre cas, il s'agit de la SENELEC) est égale à 1.0 P.u sur la base KVA ou MVA (pouvoir de coupure à l'entrée de l'usine),

La réactance  $X$  sur la base d'étude est donc calculée comme suit :

$$X = X_U \text{ pu}_{\text{SENELEC}} \times \frac{\text{KVA}_{\text{BASE}}}{\text{KVA}_{\text{SENELEC}}}$$

Nota :

\* Le système de fabrication étant pratiquement constitué de petits moteurs, on en a regroupé plusieurs pour pouvoir ensuite les traiter comme une seule impédance.

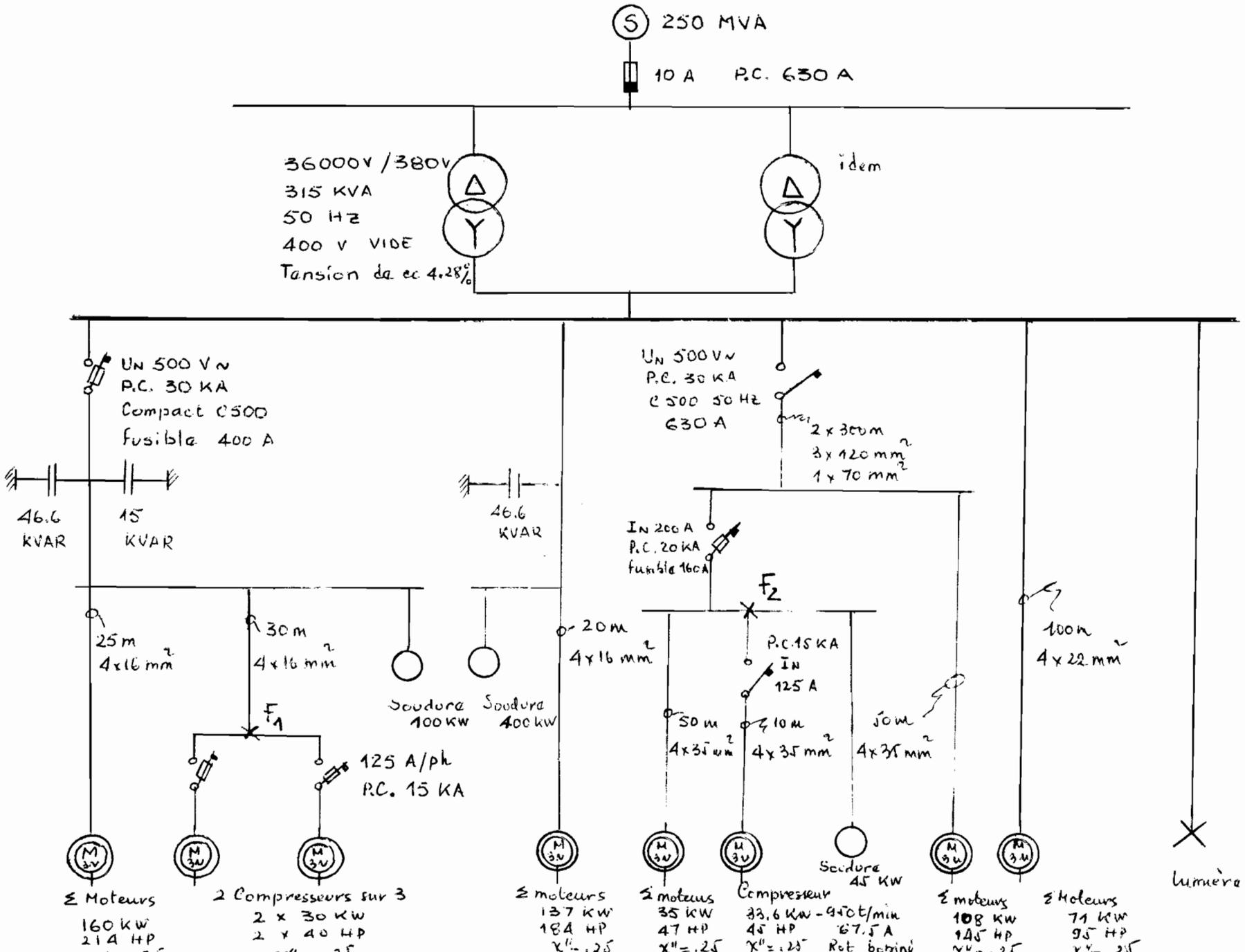
\*\*Comme il avait été fait allusion au sommaire, la longueur des cables et leur calibre n'ont été déterminés qu'approximativement. Car, nous n'avons pu qu'estimer la section et la longueur des cables pour ensuite les comparer aux normes dont nous disposons (normes de GENERAL ELECTRIC). C'est ainsi que nous sommes arrivés au diagramme unifilaire suivant.

V - 1 DIAGRAMME UNIFILAIRE

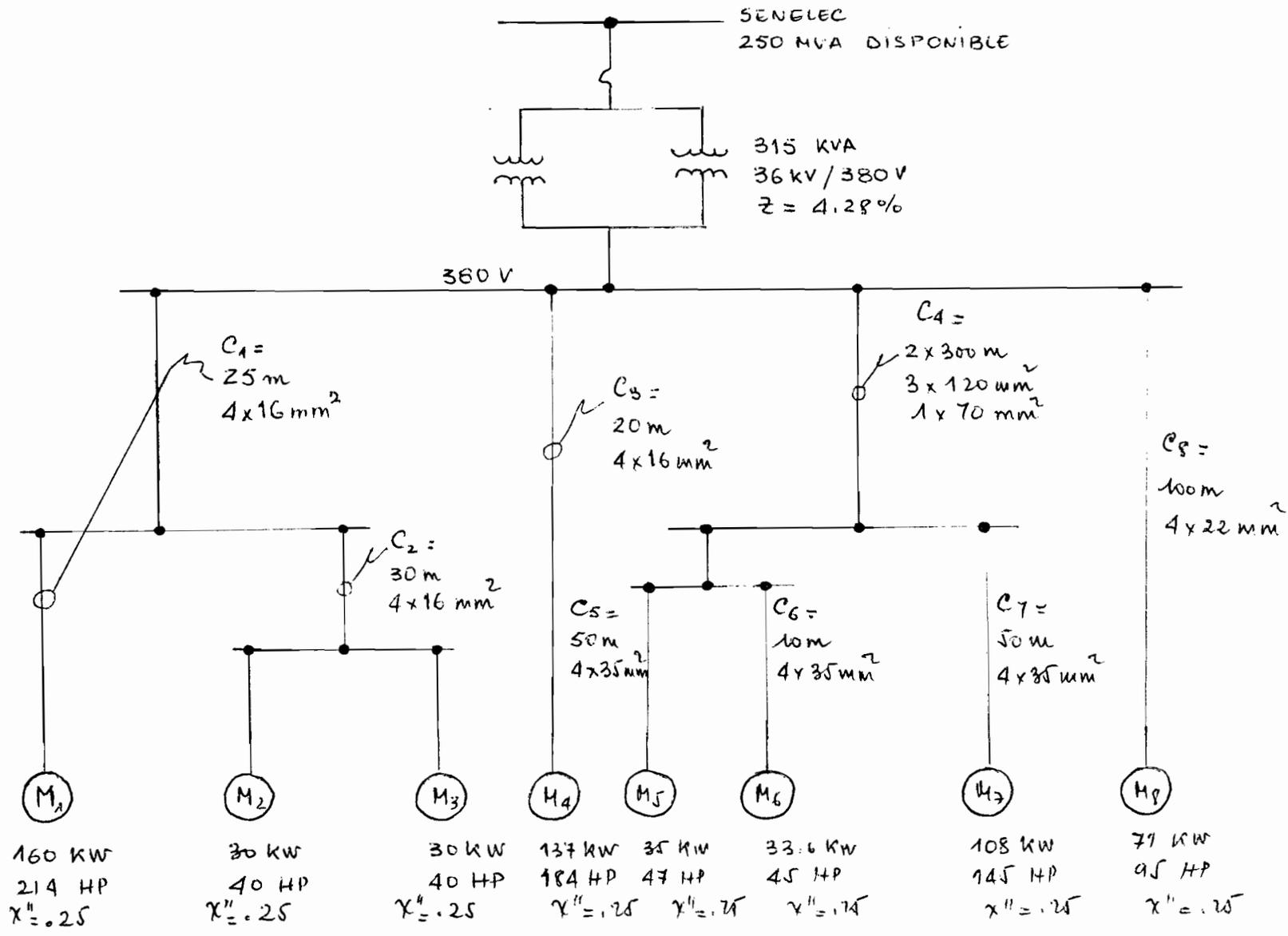
Tous les moteurs de la SISCOMA sont des petits moteurs à induction. Nous en avons groupé plusieurs, groupe a qui on a donné une valeur de  $X''$ , la valeur de  $X'$  n'existant pas. ( voir paragraphe I-7 2°) b.) ).

Etant donné que cette valeur de  $X''$  n'a pas été spécifiée sur les plaques signalitiques, on a pris la valeur de  $X'' = .25$  pour tous les moteurs à induction, valeur prise sur la base de la puissance HP ou KW du moteur.

.../...



V - 1 DIAGRAMME UNIFILAIRE



## V - 2 CALCUL DES IMPEDANCES

### V=2=1---Calcul préliminaire relatif aux cables :

En ce qui concerne les cables, nous avons fait les correspondances suivantes en se référant aux valeurs du tableau 9A page. 57...

#### Section âme : 16 mm<sup>2</sup> :

Nous avons considéré une température de fonctionnement de 35°C.

La section de 16 mm<sup>2</sup> se situe entre 16.8 et 13.30 mm<sup>2</sup> le tableau nous donne pour :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 16.8 mm}^2 &\longrightarrow \Omega = 1.05 \text{ } \Omega / \text{Km ( 25}^\circ\text{C)} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 1.37 \text{ } \Omega / \text{Km (105}^\circ\text{C)} \\ \implies \text{ pour 35}^\circ\text{C} &\longrightarrow \Omega = 1.09 \text{ } \Omega / \text{Km (après extrapolation).} \end{aligned}$$

• De la même manière pour 13.30 mm<sup>2</sup> :

$$\begin{aligned} &\longrightarrow \Omega = 1.32 \text{ } \Omega / \text{Km ( 25}^\circ\text{C)} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 1.73 \text{ } \Omega / \text{Km (105}^\circ\text{C)} \\ \implies \text{ pour 35}^\circ\text{C} &\longrightarrow \Omega = 1.37 \text{ } \Omega / \text{Km.} \end{aligned}$$

Donc l'impédance d'une section de cuivre de 16 mm<sup>2</sup> à une température de 35°C est de : 1.154  $\Omega$  / Km.

#### Section âme : 22 mm<sup>2</sup> :

Nous allons déterminer l'impédance de ce cable selon le même principe que précédemment. Donc 22 mm<sup>2</sup> entre 21.1 et 26.6 mm<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 21.1 mm}^2 &\longrightarrow \Omega = 0.833 \text{ } \Omega / \text{Km à 25}^\circ\text{C} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 1.09 \text{ } \Omega / \text{Km à 105}^\circ\text{C} \\ \implies \text{ Pour 35}^\circ\text{C} &\longrightarrow \Omega = 0.865 \text{ } \Omega / \text{Km.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet 26.6 \text{ mm}^2 &\longrightarrow \Omega = 0.659 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 25^\circ\text{C} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 0.862 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 105^\circ\text{C} \\ \implies \text{pour } 35^\circ\text{C} &\longrightarrow \Omega = 0.684 \text{ } \Omega / \text{Km}. \end{aligned}$$

Donc l'impédance d'une section de cuivre de  $22 \text{ mm}^2$  à une température de  $35^\circ\text{C}$  est de :  $0.835 \text{ } \Omega / \text{Km}$ .

Section âme  $35 \text{ mm}^2$  :

$35 \text{ mm}^2$  entre  $33.6$  et  $42.4 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \bullet 33.6 \text{ mm}^2 &\longrightarrow \Omega = 0.522 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 25^\circ\text{C} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 0.683 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 105^\circ\text{C} \\ \implies \text{pour } 35^\circ\text{C}, &\Omega = 0.542 \text{ } \Omega / \text{Km}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet 42.4 \text{ mm}^2 &\longrightarrow \qquad \qquad = 0.415 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 25^\circ\text{C} \\ &\qquad \qquad \qquad = 0.542 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 105^\circ\text{C} \\ \implies \text{pour } 35^\circ\text{C}, &\Omega = 0.431 \text{ } \Omega / \text{Km}. \end{aligned}$$

Donc l'impédance d'une section de cuivre de  $35 \text{ mm}^2$  à une température de  $35^\circ\text{C}$  est :  $0.524 \text{ } \Omega / \text{Km}$ .

Section âme  $120 \text{ mm}^2$  :

$120 \text{ mm}^2$  entre  $126.6$  et  $107.4 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \bullet 126.6 \text{ mm}^2 &\longrightarrow \Omega = 0.138 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 25^\circ\text{C} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 0.181 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 105^\circ\text{C} \\ \implies \text{pour } 35^\circ\text{C}, &\Omega = 0.143 \text{ } \Omega / \text{Km}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet 107.4 \text{ mm}^2 &\longrightarrow \Omega = 0.164 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 25^\circ\text{C} \\ &\qquad \qquad \qquad \Omega = 0.214 \text{ } \Omega / \text{Km} \text{ à } 105^\circ\text{C} \\ \implies \text{pour } 35^\circ\text{C}, &\Omega = 0.170 \text{ } \Omega / \text{Km}. \end{aligned}$$

Donc l'impédance d'une section de cuivre de  $120 \text{ mm}^2$  à une température de  $35^\circ\text{C}$  est de :  $0.152 \text{ } \Omega / \text{Km}$ .

V - 2 - 2      Calcul du Courant de cc :

a.) Tension de base =  $\underline{380 \text{ V}}$  ( $U_B$  = tension du réseau).

KVA de base =  $\underline{315 \text{ KVA}}$

$\Rightarrow$  AMP<sub>base</sub> =  $\frac{315 \text{ KVA}}{\sqrt{3} (.380 \text{ KV})} = \underline{479 \text{ A}}$

(voir paragraphe IV - 2).

$\Rightarrow$   $\Omega$  base =  $\frac{380 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 479 \text{ A}} = \underline{.458 \Omega}$

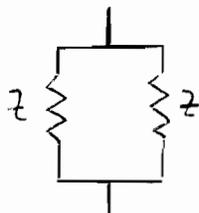
b.) Impédance de la Source  $X_u$  :

$X_u = \frac{1 \times 315}{250,000} = 0.00126 \text{ pu} \approx 0.0013 \text{ pu}$

On notera que la valeur de l'impédance de la source sur le KVA disponible à cette même source est égale à l'unité (1).

\* Nota : La valeur du KVA disponible à la source nous a été fournie par HERLIQ à Dakar.

c.) Impédance équivalente des transformateurs  $X_T$  :



$Z_{pu} = \frac{0.0428 \times 315}{315} = 0.0428 \text{ pu}$

$X_T = Z_{\text{équi.}} = \frac{0.0428^2}{2 \times 0.0428} = 0.0214 \text{ pu}$

c.) Impédance des Moteurs :

$X_{M1} = \frac{.25 \times 315}{214} = .368 \text{ pu}$

$X_{M2} = \frac{.25 \times 315}{40} = 1.969 \text{ pu}$

$X_{M3} = X_{M2} = 1.969 \text{ pu}$

$$X_{M4} = \frac{.25 \times 315}{184} = 0.428 \text{ pu}$$

$$X_{M5} = \frac{.25 \times 315}{47} = 1.675 \text{ pu}$$

$$X_{M6} = \frac{.25 \times 315}{45} = 1.75 \text{ pu}$$

$$X_{M7} = \frac{.25 \times 315}{145} = 0.543 \text{ pu}$$

$$X_{M8} = \frac{.25 \times 315}{95} = 0.829 \text{ pu}$$

d.) Impédance des Câbles :

$$X_{C1} = \frac{1.154 \times 25}{1000} \times \frac{1}{.458} = 0.063 \text{ pu}$$

$$X_{C2} = \frac{1.154 \times 30}{1000} \times \frac{1}{.458} = 0.0756 \text{ pu}$$

$$X_{C3} = \frac{1.154 \times 20}{1000} \times \frac{1}{.458} = 0.05 \text{ pu}$$

$$X_{C4} = \frac{.152 \times 300}{2 \times 1000} \times \frac{1}{.458} = 0.05 \text{ pu}$$

$$X_{C5} = \frac{.524 \times 50}{1000} \times \frac{1}{.458} = 0.057 \text{ pu}$$

$$X_{C6} = \frac{.524 \times 10}{1000} \times \frac{1}{.458} = 0.011 \text{ pu}$$

$$X_{C7} = X_{C5} = 0.057 \text{ pu}$$

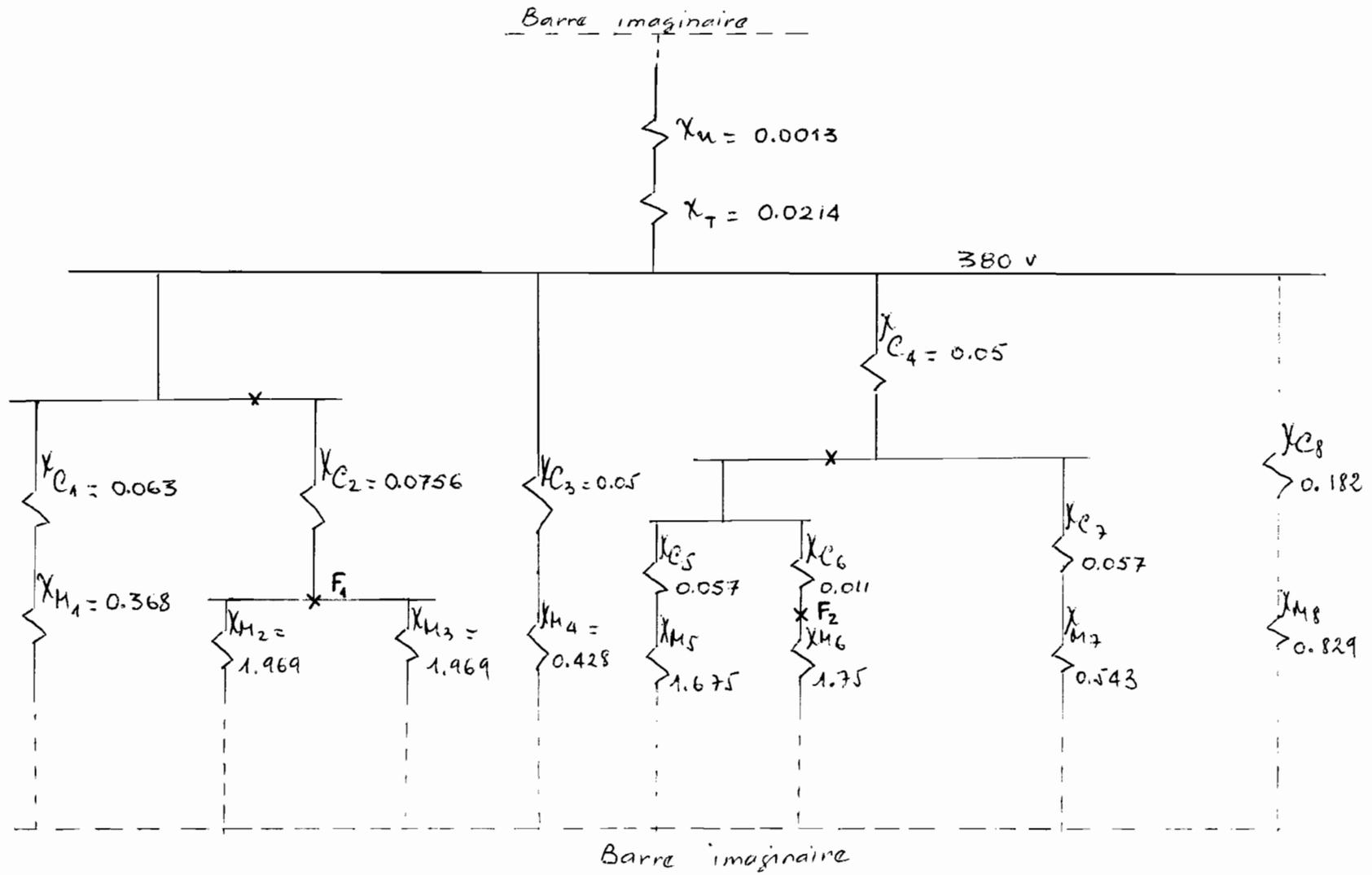
$$X_{C8} = \frac{.835 \times 100}{1000} \times \frac{1}{.458} = 0.182 \text{ pu}$$

e.) Circuit équivalent :

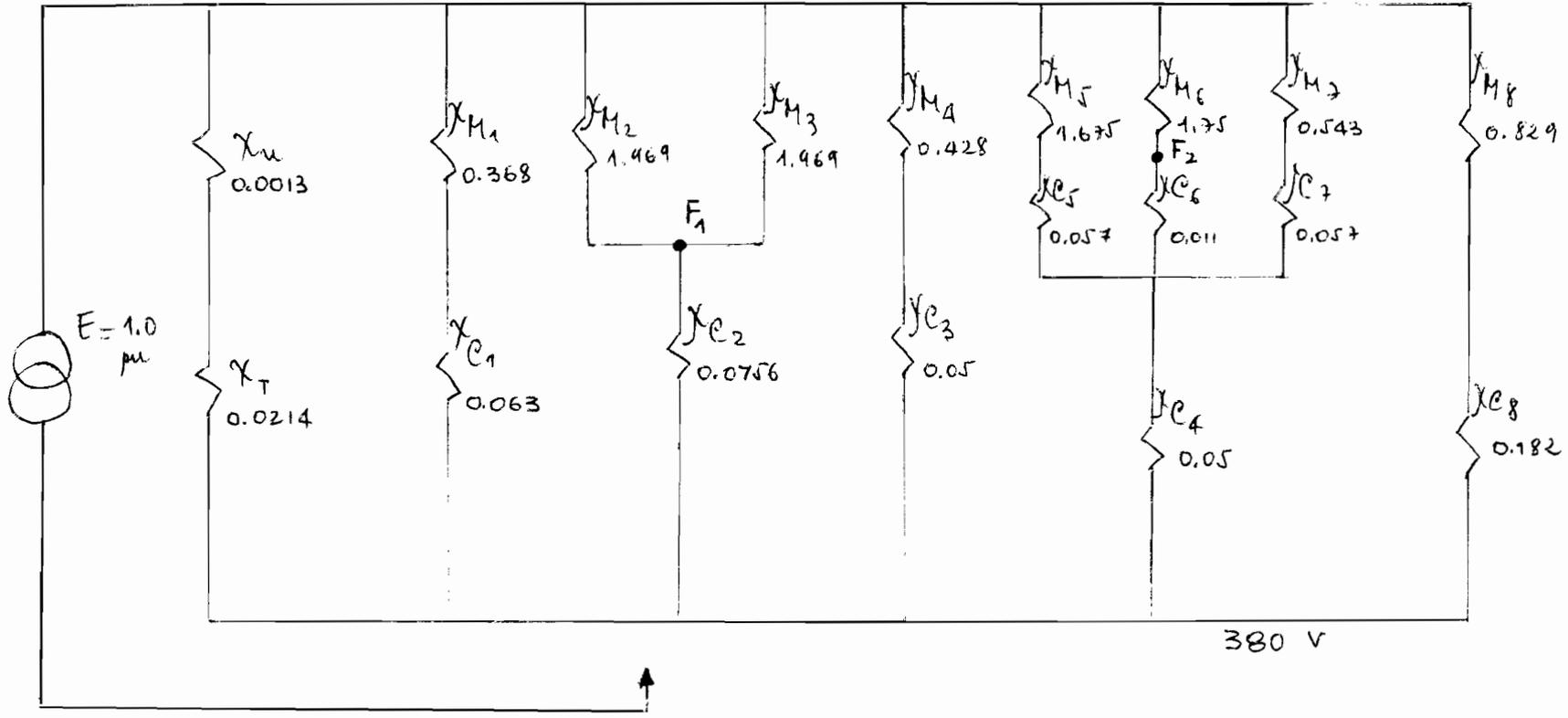
On peut maintenant faire le circuit équivalent avec les valeurs chiffrées des impédances des câbles et des moteurs:

(voir schéma) Page 29

.../...



CIRCUIT EQUIVALENT



f.) Calcul de Icc :

On calculera le courant de court-circuit Icc en deux (2) points  $F_1$  et  $F_2$  correspondant aux charges les plus importantes de l'usine. En effet, les plus grandes charges se situent au niveau des compresseurs.

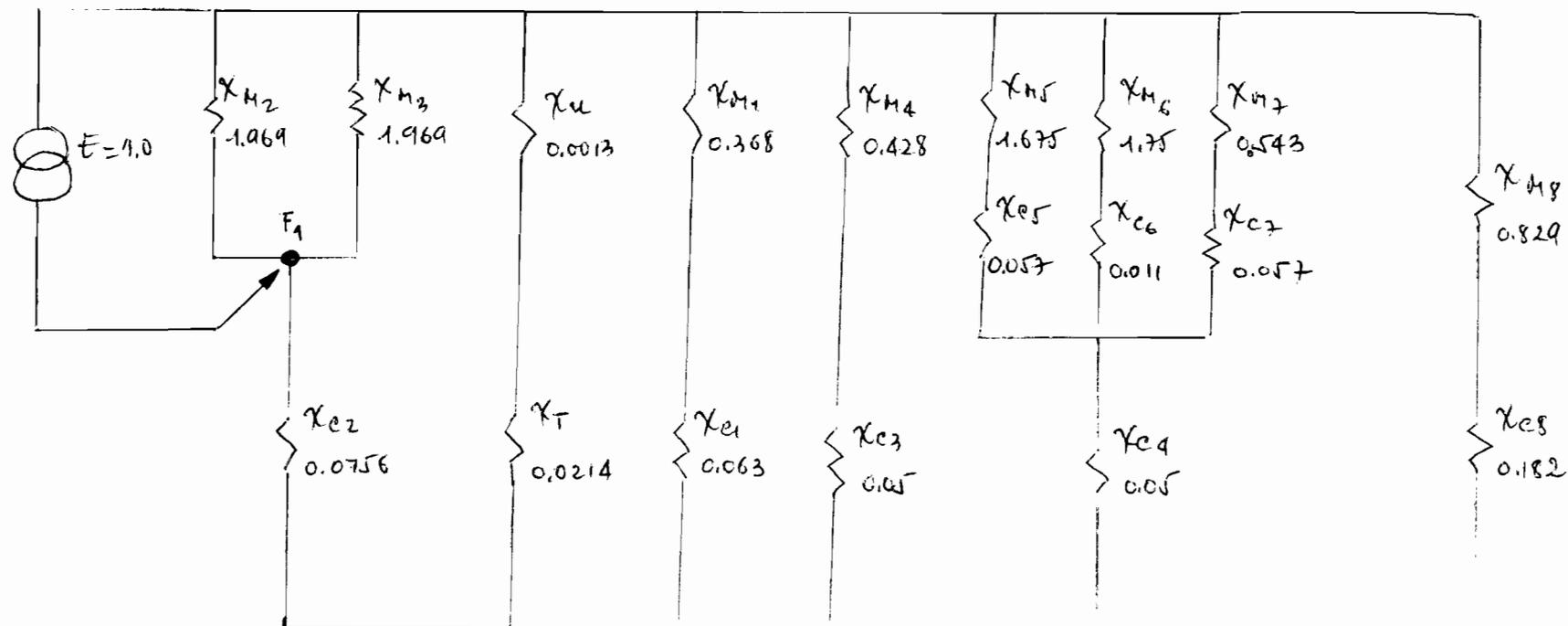
\* Icc en  $F_1$  : (schéma voir page 32 )

<u>Branches en //</u>	<u><math>1/X''</math></u>	
$X_{M5} + X_{c5}$	$1/(1.675 + 0.057)$	= 0.577
$X_{M6} + X_{c6}$	$1/(1.75 + 0.011)$	= 0.568
$X_{M7} + X_{c7}$	$1/(0.543 + 0.057)$	= 1.667
		<u>2.812</u>

$$\implies X_{1\text{équi.}} = \frac{1}{2.812} = 0.356$$

<u>Branches en II</u>	<u><math>1/X''</math></u>	
$X_u + X_T$	$1/(0.0013 + 0.0214)$	= 44.05
$X_{M1} + X_{c1}$	$1/(0.368 + 0.063)$	= 2.32
$X_{M4} + X_{c3}$	$1/(0.428 + 0.05)$	= 2.09
$X_{1\text{équi}} + X_{c4}$	$1/(0.356 + 0.05)$	= 2.46
$X_{M8} + X_{c8}$	$1/(0.829 + 0.182)$	= 0.989
		<u>51.917</u>

$$\implies X_{2\text{équi.}} = \frac{1}{51.917} = 0.0193$$



<u>Branches en II</u>	<u>1/X"</u>	
X <sub>2</sub> équi. + X <sub>c2</sub>	1/(0.0193 + 0.0756)	= 10.54
XM2	1/ 1.969	= 0.508
XM3	1/ 1.969	= 0.508
		<u>11.553</u>

$$\implies X \text{ équi.} = \frac{1}{11.553} = 0.0865$$

Donc le courant de court-circuit par unité (I<sub>cc pu</sub>) est égal à :

$$\frac{1.0}{0.0865} = 11.553 \text{ pu}$$

Ce qui entraîne que le I<sub>cc</sub> momentané en ampères symétriques est de :

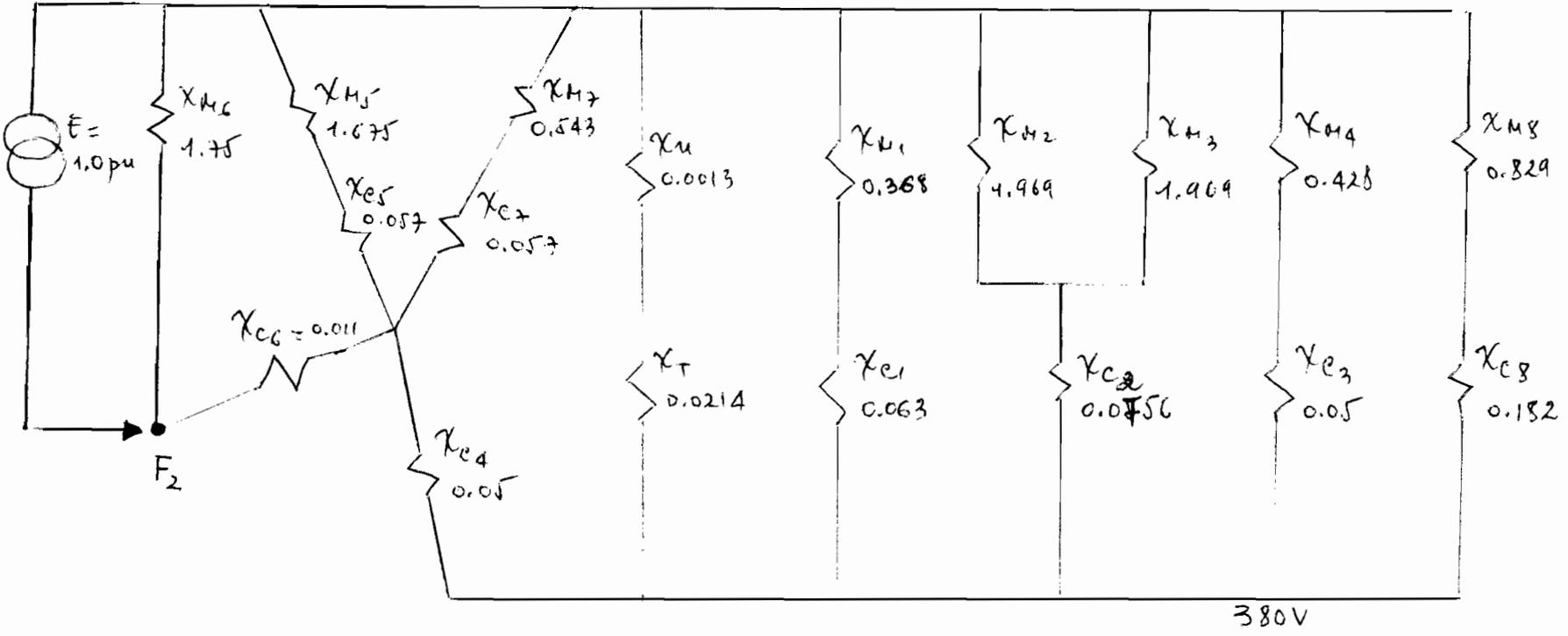
$$I_M = 11.553 \times 479 \text{ A} = \underline{5535 \text{ A}}$$

479 A étant l'AMPbase.

Donc, étant donné que l'on est en basse tension (380V), l'appareillage est d'opération rapide (1 à 2 cycles) et le pouvoir de coupure est le :

$$I_{ASYM} = (1.6) (5535 \text{ A}) = \underline{8856 \text{ Ampères}}$$

• I<sub>cc</sub> en F<sub>2</sub> : (Schéma page : 34 )



<u>Branches en II</u>	<u>1/X<sup>n</sup></u>	
X <sub>M2</sub>	1/1.969	= 0.508
X <sub>M3</sub>	1/1.969	= 0.508
		<u>1.016</u>
$\implies X_1 \text{ équi.} = \frac{1}{1.016} = 0.9845$		

<u>Branches en II</u>	<u>1/X<sup>n</sup></u>	
X <sub>u</sub> + X <sub>T</sub>	1/ ( 0.0013 + 0.0214 )	= 44.05
X <sub>M1</sub> + X <sub>c1</sub>	1/ ( 0.368 + 0.063 )	= 2.32
X <sub>1 équi</sub> + X <sub>c2</sub>	1/ ( 0.9845 + 0.0756 )	= 0.943
X <sub>M4</sub> + X <sub>c3</sub>	1/ ( 0.428 + 0.05 )	= 2.09
X <sub>M8</sub> + X <sub>c8</sub>	1/ ( 0.829 + 0.182 )	= 0.989
		<u>50.397</u>
$\implies X_2 \text{ équi.} = \frac{1}{50.397} = 0.0198$		

<u>Branches en II</u>	<u>1/X<sup>n</sup></u>	
X <sub>2 équi</sub> + X <sub>c4</sub>	1/ ( 0.0198 + 0.05 )	= 14.33
X <sub>M5</sub> + X <sub>c5</sub>	1/ ( 1.675 + 0.057 )	= 0.577
X <sub>M7</sub> + X <sub>c7</sub>	1/ ( 0.543 + 0.057 )	= 1.667
		<u>16.57</u>
$\implies X_3 \text{ équi.} = \frac{1}{16.57} = 0.0603$		

<u>Branches en //</u>	<u>1/X''</u>	
X équi + X <sub>C6</sub>	1/ (0.0603 + 0.011)	= 14.025
X <sub>M6</sub>	1/ 1.75	= <u>0.571</u>
		14.60

$$\implies X_{\text{équi.}} = \frac{1}{14.60} = 0.0685$$

$$\text{donc } I_{cc \text{ pu}} = \frac{1.0}{0.0685} = 14.60 \text{ pu}$$

$$I_M = 14.60 \times 479 \approx \sqrt{7\ 000 \text{ A}}$$

$$I_{\text{Asym}} = (1.6) (7000) = \underline{11\ 200 \text{ A}}$$

Il nous revient de préciser que, pour les appareils de base tension  $\leq 600 \text{ V}$  comme c'est le cas présentement (380 V), la valeur qui est donnée sur les plaques signalitiques est le  $I_{cc \text{ sym}} (I_M)$ . La valeur Asymétrique, nous servant uniquement pour la coordination.

VI - 1 G E N E R A L I T E S

Nous en sommes à la phase finale dans l'élaboration d'un réseau de distribution.

Dans la plupart des réseaux de distribution, parmi les éléments de protection, on distingue deux ou plusieurs disjoncteurs et autres éléments tels que les fusibles, les relais thermiques, montés entre une faute et la source de puissance.

Ces appareils de protection doivent être sélectifs dans leur fonctionnement, c'est-à-dire que le disjoncteur ou le fusible le plus près de la faute doit opérer le premier, sinon, après un certain délai, l'élément suivant le fera. Ceci va causer l'arrêt d'une part plus importante de la production, ce qui peut-être néfaste dans certains systèmes de fabrication.

Le temps de réponse de l'appareillage de protection est une fonction décroissante du courant :

$T = f \left( \frac{1}{I} \right)$ . Il sera long pour les faibles courants et il ira en diminuant avec l'augmentation de I

.../...

pour atteindre une vitesse presque instantanée (2 à 3 cycles) pour les grosses fautes.

Nous distinguons trois (3) types de courant :

a.) le courant de pleine charge :

qui est égal au courant de pleine charge du moteur.

b.) le courant de surcharge (over load) :

qui va de 125 % du courant de charge ( $I_{charge}$ ) au courant de démarrage du moteur.

c.) le courant de faute :

C'est le courant produit par un court-circuit dans le réseau. Il va de 10 fois  $I_n$  à de très hautes valeurs.

Pour réaliser une étude de coordination d'un réseau électrique, il faut, au préalable, obtenir les principales caractéristiques des éléments de protection qui sont :

a.) les relais thermiques de surcharge associés au contacteur de démarrage du moteur.

b.) les disjoncteurs à boîtier moulé

c.) les disjoncteurs de puissance à base tension  
< 600 V

d.) les fusibles

e.) la combinaison disjoncteur de puissance + fusible



f.) les relais de surcharge temporisés.

## VI - 2                    ETUDE DES APPAREILS DE PROTECTION

### VI - 2 - 1    Les relais thermiques :

Ils sont associés aux moteurs pour surveiller la charge, et agissent sur le contacteur du moteur en cas de surcharge. Ils sont non ajustables.



Les caractéristiques à obtenir seront :

- a.) le calibre en Ampères du contacteur
- b.) le calibre de l'élément thermique
- c.) le pouvoir de coupure du disjoncteur
- d.) la courbe caractéristique de l'élément thermique.

### VI - 2 - 2    Les disjoncteurs < 600 V à boîtier moulé :

On devra obtenir :

- a.) le calibre du bâti en Amp.
- b.)            "        de la bobine.
- c.) le pouvoir de coupure
- d.) les courbes caractéristiques temps vs I

avec les ajustements (courbes de déclenchement). On les trouve dans les panneaux de distribution, dans les démarreurs de moteurs. Leur capacité peut aller jusqu'à 2500 Amp.

#### VI - 2 - 3 Les disjoncteurs de puissance < 600 V :

On les utilise aussi bien comme disjoncteurs au secondaire de transformateurs que comme disjoncteurs de FEEDER (500 - 3000KVA) ou comme démarreurs de gros moteurs à induction (150 - 350 HP).

Il nous faudra connaître :

- a.) le courant de pleine charge du bâti.
- b.) le courant de la bobine de déclenchement.
- c.) la plage d'ajustement de la courbe long délai.
- d.) la plage d'ajustement de la courbe court délai.
- e.) la plage d'ajustement de l'élément instantané.
- f.) la capacité de coupure.
- g.) la courbe caractéristique.

#### VI - 2 - 4 Les fusibles :

Il existe une grande variété de fusibles pouvant être utilisés dans les circuits de puissance.

Un fusible est essentiellement un appareil NON AJUSTABLE. Sa caractéristique est donc fixée par le calibre choisi.

Un fusible possède un pouvoir de coupure. Il existe des fusibles classés (fusible avec limitation de courant de faute).

Il faut connaître

- a.) le calibre c'est-à-dire le I de charge.
- b.) le pouvoir de coupure
- c.) la courbe caractéristique.

VI - 2 - 5 Les appareils combinés :

- Contacteur + fusible ou
- Disjoncteur à boîtier moulé avec fusible.

Le contacteur ou le disjoncteur sert à ouvrir ou fermer le circuit. Ils comprennent la détection des surcharges.

Le fusible assure la protection contre les courts-circuits. Il est utilisé contre la présence de gros courants sur les barres omnibus de basse tension.

Il faudra cueillir les informations suivantes :

- a.) le calibre du relais de surcharge.
- b.) la courbe caractéristique
- c.) le calibre de l'élément longue durée du disjoncteur.
- d.) le calibre du fusible et sa courbe
- e.) le pouvoir de coupure de l'ensemble.

VI - 2 - 6 Les Relais temporisés :

On les retrouve surtout dans les circuits de haute tension > 600 V.

Deux (2) ajustements sont possibles :

l'intensité et le temps.

Les caractéristiques dont :

- a.) le type de relais
- b.) la plage des prises de courant :  
4 → 16 Amp.
- c.) l'élément instantané : 10 - 40 ou  
20 - 40 Amp.



d.) les courbes caractéristiques

VI - 3 PROCEDURE POUR ETABLIR LA COORDINATION DES ELEMENTS  
DE PROTECTION.

1. Choisir le circuit dont on veut établir la coordination.  
Habituellement, ce circuit correspond au plus gros moteur, les  
moteurs ayant un fort courant de démarrage. Ce circuit est la  
plupart des cas, la branche la plus critique d'un système de  
protection.

.../...

2. Dessiner le diagramme unifilaire du circuit choisi.
3. Placer sur la feuille de coordination les principaux repères qui conditionnent l'ajustement des éléments de protection.

Ces repères sont :

- a.) le courant de faute disponible au niveau du réseau de basse tension (380 V).
- b.) le courant de faute disponible au niveau du réseau de tension moyenne (5.5 KV, 6.6 KV).

\* N.B. : Tous les courants doivent être représentés au même niveau de tension.

Exemple : si 480 est la tension de base, alors un courant de faute de 21,400 Amp dans la base de 13,800 V aura pour valeur dans la base choisie (480 V) :

$$21,400 \times \frac{13,800}{480} = 615,250 \text{ Amp qui}$$

- c.) le courant de pleine charge de l'élément final ainsi que le courant de démarrage.
- d.) Les transformateurs :

L'élément de protection d'un transfo. doit permettre le passage du courant de pleine charge. La capacité maximale de l'élément de protection du transfo. est fixée par la table 1 page : 59  
L'élément de protection doit laisser passer le courant de magnétisation (MAGNETISATION INRUSH)

.../...

Transfo  $\leq$  3 MVA : 8 IN pendant 0.1 sec

> 3 MVA : 12 IN " 0.1 sec

(voir table 2 page :59)

Un transfo. doit pouvoir subir, sans dommage, pour un temps défini, un court circuit aux bornes : ce qui définit le point ANSI (Américain National Standard Point). (voir fig2 page 63).

### e.) Les Relais :

Il s'agit de relever le rapport de transformation du transfo. et les points de "prise"

(Ampères TAP) du relais de surcharge.

Exemple : le relais à 4.0 à 16 Amp de plage avec des prises à 4, 5, 6, 8, 10, 12 et 16 Amp.

le transfo. de courant (T.C.) à un rapport  $100/5 = 20/1$

1e. Etablir le point le point min. pour lequel le relais va être actionné (I pick up):

$I \text{ pick up} = 20 \times (4) = 80 \text{ Amp à } 13,800 \text{ V}$   
soit  $I \text{ pick up} = 20 \times 4 \times \frac{13,800}{480} = 2,300 \text{ Amp à } 480 \text{ V}$

2e. Etablir la plage des points de déclenchement du relais:

L'élément instantané du relais va de 40 à 160 Ampères d'où :

$I \text{ pick up bas} = 20 \times 40 \times \frac{13,800}{480} = 23,000 \text{ A}$   
à 480 V

$I \text{ pick up haut} = 20 \times 160 \times \frac{13,800}{480} = 92,000 \text{ A}$   
à 480 V

.../...

Après donc avoir placé tous ces principaux points (repères) sur un papier log-log et superposé les différentes courbes de déclenchement des appareils de protection, nous pourrons voir si, effectivement, les appareils sont sélectifs et satisfont à nos besoins.

#### VI - 4 Application à la SISCOA

##### VI - 4 - 1 Calculs :

a.) Si on avait effectué un calcul de cc au niveau de la haute tension (30 000 V), on aurait fait une transposition pour ramener ce  $I_{cc}$  à 30 000 V à 380 V (tension de base) suivant cet exemple :

$$I_{cc_{SYM}} \text{ à } 30\ 000\ V = 10,400\ \text{Amps}$$

$$I_{cc_{ASYM}} \text{ à } 30\ 000\ V = 16,700\ \text{Amps}$$

$$I_{SYM} = 10,400\ V \times \frac{30\ 000}{380} = 821\ 000\ \text{Amps}$$

$$I_{ASYM} = 16,700 \times \frac{30\ 000}{380} = 1.300\ 000\ \text{Amps, mais le courant}$$

de faute au niveau de 30 000 V, n'étant pas calculé, on passe à l'étape suivante.

##### b.) Les repères transfo :

$$I \text{ pleine charge} = \frac{S}{\sqrt{3} U} = \frac{630}{\sqrt{3} \times .380} = 957\ \text{Amps}$$

$$\text{fusible côté primaire} \leq 3 \times \text{FLA (Full load amps)}$$

$$3 \times 957 = 2\ 871\ \text{Amps}$$

$$\text{disjoncteur côté primaire} \leq 6 \times \text{FLA}$$

$$6 \times 957 = 5\ 742\ \text{Amps}$$

Point ANSI :

$$\text{Amps} = \frac{(\text{FLA}) \times (\text{winding connection factor})}{(\text{par unit impédance})}$$

$$= \frac{957 \times .58}{.0214} = 25\,937 \text{ A}$$

pendant 2 secondes (voir fig page 63)  
( et fig page 63)

Point INRUSH :

$$I = 8 \text{ IN} = 8 \times 957 = 7\,656 \text{ Amps pendant } 0.1 \text{ sec}$$

c.) Courants asymétriques basse tension ( 380 V)

$$F1 : I_{ASYM LV} = (1.6)(5535) = 8\,836 \text{ Ampères}$$

$$F2 : I_{ASYM LV} = (1.6)(7000) = 11\,200 \text{ Ampères}$$

d.) On prendra pour les moteurs :

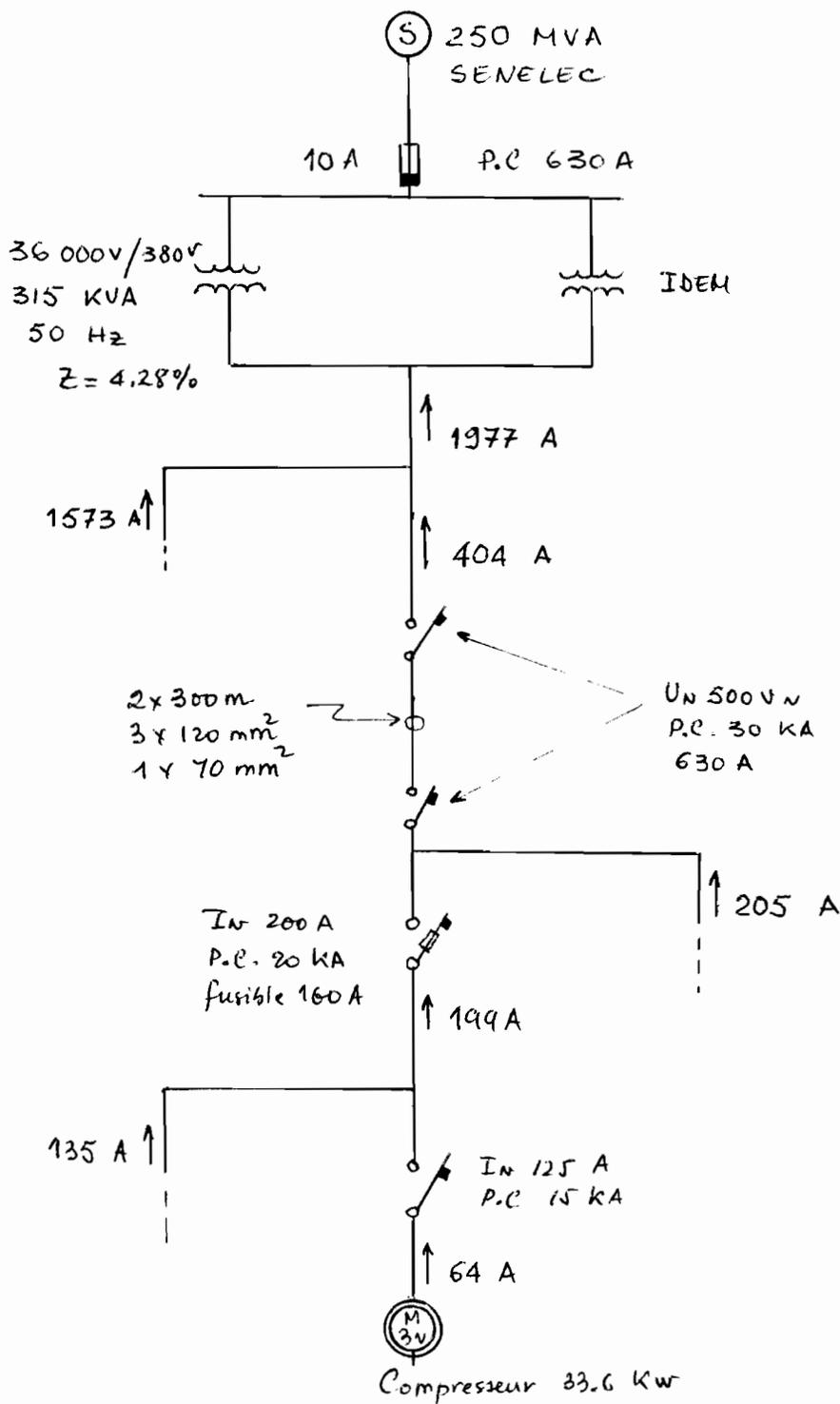
$$I_{demar.} = 4 \text{ IN} = 4 \times 957 = 3\,828 \text{ Amps ; Pendant 8 secondes}$$

VI - 4 - 2 Solution proposée :

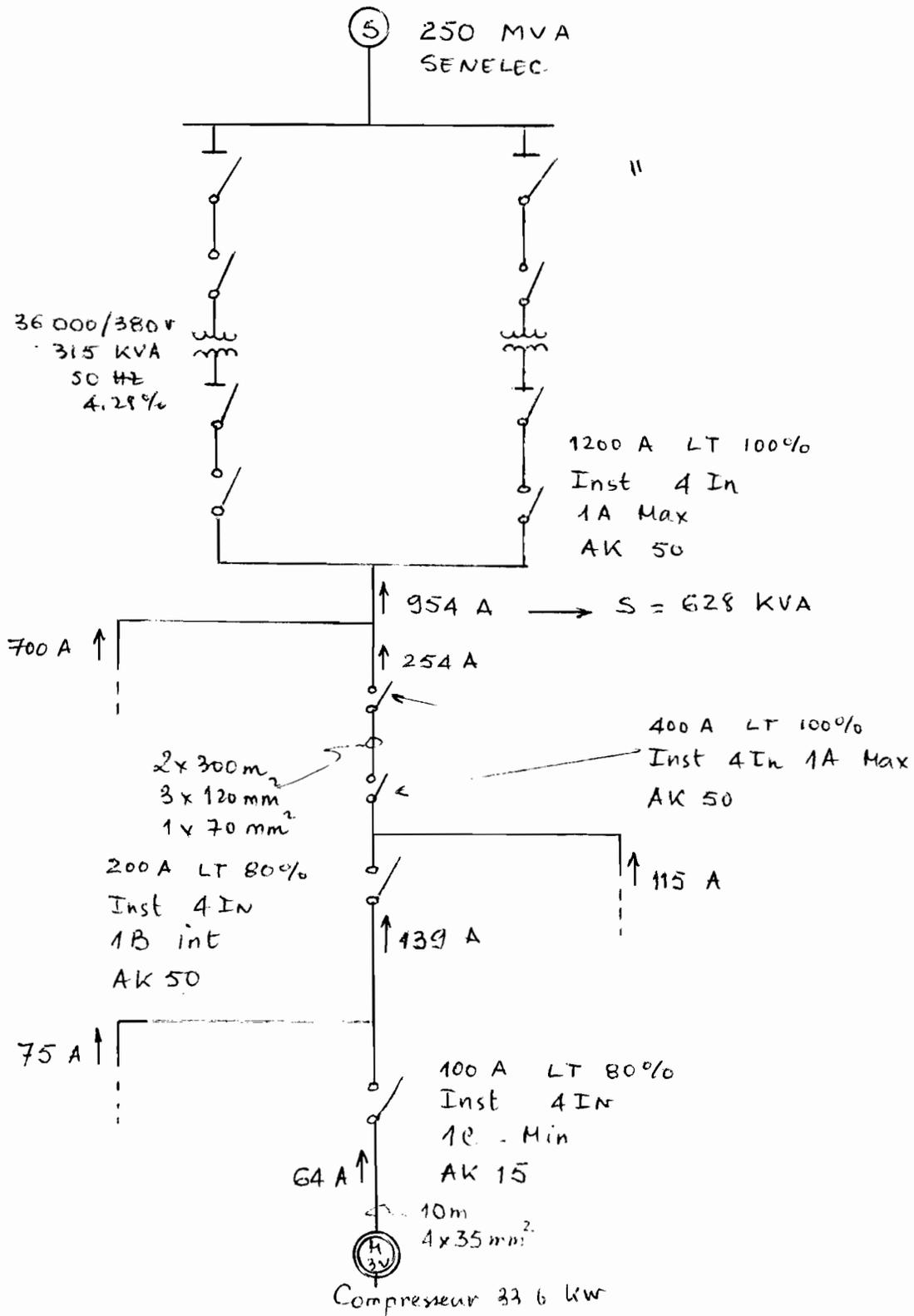
N'ayant pas pu obtenir les courbes de déclanchement des éléments de protection de la SISCOMA, nous nous contenterons de souligner les anomalies évidentes.

Aussi, pour illustrer la méthode de coordination des éléments de protection, nous allons utiliser les courbes de déclanchement dont nous disposons ; ces courbes proviennent d'autres manufacturiers.

Nous nous proposons d'étudier la branche de la feuille suivante, mais le principe reste valable pour n'importe quelle branche.



Installation actuelle - Puissance installée.



Installation Proposée tenant compte du facteur de demande

Pour le calcul de la puissance installée, nous avons regroupé tous les moteurs pouvant fonctionner en même temps et nous avons estimé pour est ensemble, un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0.8$ . Pour les postes de soudure, nous avons un facteur  $\cos \varphi$  (charge résistive).

D'après les renseignements obtenus, l'usine fonctionne à la charge nominale des transformateurs, ceci nous permet de calculer le facteur de demande:

#### Exemple de calcul :

v Pour une puissance de 35 KW

$$\longrightarrow I_M = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{35}{\sqrt{3} \times .38 \times .8} = 66.5 \text{ A}$$

Pour la soudure de 45 KW

$$\longrightarrow I_s = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{45}{\sqrt{3} \times .38 \times 1.0} = 68.4 \text{ A}$$

$$\Sigma I = I_M + I_s = 66.5 + 68.4 = 135 \text{ A}$$

Compresseur de 33.6 KW

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{33.6}{\sqrt{3} \times .38 \times .8} = 64 \text{ A}$$

Donc l'intensité du courant au point de rencontre

$$\text{de ces 3 branches est } I = 135 + 64 = \underline{199 \text{ A}}$$

C'est ainsi, qu'en remontant la branche, nous avons pu trouver la valeur de l'intensité du courant au point de rencontre des 2 circuits transfo. sur la base toujours de 380 V.

$$I = 1977 \text{ A}$$

Facteur de demande :

$$\begin{aligned} \text{Puissance installée } S_i &= \sqrt{3} U I \\ &= \sqrt{3} \times 0.38 \times 1977 = 1300 \text{ KVA} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow F_d = \frac{630}{1300} = 0.48 \approx 0.5$$

Calcul de la chute de tension sur le câble  $\frac{2 \times 300 \text{ m}}{3 \times 120 \text{ mm}^2}$

Chaque câble reçoit une intensité égale à  $\frac{254}{2} = 127 \text{ A}$

(voir schéma page précédente) 48

Le relevé des caractéristiques de ce câble nous donne

$$\Delta V = 0.345 \text{ V/A/Km}$$

$$\text{donc } \Delta V = 0.345 \times 0.300 \times 127$$

$$\Delta V = 13.1 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{13.1}{380} = 3.4 \%$$

Cette chute de tension de 3.4 % peut affecter le rendement du moteur.

**\*N.B.\*** Une augmentation de température des câbles en dehors d'une certaine limite affecte la vie de l'isolant qui protège le câble.

Exemple :  $T = 10^\circ \nearrow$  vie =  $\frac{1}{2} \searrow$

1<sup>er</sup> Etude de l'installation actuelle :

Nous remarquons que le disjoncteur de  $\frac{630}{2} \text{ A}$  choisi pour protéger le câble de  $120 \text{ mm}^2$  (voir figure page 47), remplit parfaitement son rôle. Car, en effet, ce câble a pour courant admissible 355 A, et donc le disjoncteur permet le passage d'un courant sensiblement égal à 355 A.

Ceci peut affecter la vie de l'isolant du câble et par conséquent, peut-être à l'origine des courants de court-circuit.

D'autre part, le moteur devrait avoir un élément de protection dont le courant nominal est environ 1,25 fois celui du moteur ; tel n'est pas le cas :

IN du moteur = 64 A

IN du disjoncteur = 125 A soit 2 fois IN

moteur.

S'il n'existe pas de relais de surcharge, le moteur n'est pas bien protégé.

Nous remarquons dans l'installation proposée, considérant le facteur de demande de 0,5, que le disjoncteur

IN 200 A

P.C 20 KA

fusible 160 A voit passer un courant de 139 A. D'après le l'électricien de l'usine, ils avaient installé un fusible de 125 A au lieu de 160 A ; le disjoncteur sautait constamment.

Tout dernièrement, ils l'ont remplacé par le fusible de 160 A et ça tenait. Cela s'explique aisément car d'après les calculs effectués, le courant qui passe est 139 A.

Enfin, les transformateurs n'étant pas protégés individuellement, l'un pourrait subir une surcharge en dehors des zones admissibles. La protection de chaque élément permet d'effectuer des travaux d'entretien en cas de nécessité et de contrôler la surcharge des transformateurs.

## 2. Solution Proposée :

N'ayant pas obtenu les courbes de relais de surcharge pour la protection du moteur, nous avons choisi un disjoncteur de 100 A réglé à 80 % (L.T.) (voir courbes de coordination).

Les disjoncteurs sont choisis pour protéger les câbles existants et, dans la mesure du possible, satisfaire la demande.

Chaque transformateur a son propre système de protection (pour les raisons citées ci-dessus)

$$I_N \text{ du transfo} = \frac{S}{\sqrt{3} U} = \frac{315 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 380} = 479 \text{ A}$$

### • Calcul du Point ANSI

$$I = I_N \times \left( \frac{\text{winding connection Factor}}{\text{per unit impédance}} \right)$$

$$= \frac{479 \times 0.58}{0.0428} \quad (\text{voir la valeur de } 0.58 \text{ page } 59) \quad \text{figure } 4$$

$$= 6\,490 \text{ A pendant } 2.28 \text{ secondes (extrap.)}$$

(voir figure 2 page 63)

### • Calcul du courant de magnétisation INRUSH

Table 2 page 59

$$I = 8 I_N = 8 \times 479 = 3\,830 \text{ A}$$

pendant 0.1 seconde

Nous constatons d'après les courbes de coordination que notre système de protection laisse passer le courant de magnétisation INRUSH et peut subir sans dommage pendant un temps défini, un court-circuit aux bornes avant de déclencher.

L'analyse des courbes de coordination montre que pour de petites fautes, le disjoncteur situé le plus près de la faute ouvre le premier ; ceci a l'avantage d'éviter un arrêt beaucoup plus important de la production.

Pour des fautes importantes n'importe quel disjoncteur peut ouvrir.

Exemple : Supposons que le disjoncteur de 100 A voit un courant de 300 A, il aura le temps de réagir entre 7 secondes et 28 secondes avant que le disjoncteur suivant ne réagisse. Ce dernier voit un courant de 375 A et devra réagir à partir de 45 secondes) (voir courbes).

#### VI-5 . CONCLUSION :

Une bonne coordination des éléments de protection est la base même du bon fonctionnement de toute l'usine.

En effet, une mauvaise protection des éléments et une mauvaise coordination peuvent être la cause d'incendie ou la destruction d'appareillage ou d'arrêt plus important que prévu de la production.

Ceci peut être fatal à l'entreprise.

## BIBLIOGRAPHIE

H. GAGNÉ

" Notes de Cours "

" Quelques courbes de déclan-  
chement des manufacturiers "

TABLES  
FIGURES  
ANNEXES

Table 1  
Typical Reactance Values for Synchronous Machines (5066)

Per Unit Values on Machine kVA Rating*		
	X''d	X'd
<b>**Turbine Generators</b>		
2 pole (3600 rpm)	.09	.15
4 pole (1800 rpm)	.15	.23
<b>**Salient Pole Generators with damper windings</b>		
12 poles or less (600 rpm or more)	.16	.33
14 poles or more (514 rpm or less)	.21	.33
<b>Synchronous Motors</b>		
6 pole (1200 rpm)	.15	.23
8-14 pole (514 - 900 rpm)	.20	.30
<b>**Synchronous Condensers</b>	.24	.37

\*Use manufacturer's specified values if available.

\*\*X'd not normally used in short-circuit calculations.

NOTE: Synchronous motor kVA bases can be found from motor horsepower ratings as follows:

0.8 pf motor - kVA base = hp rating

1.0 pf motor - kVA base = 0.8 x hp rating

Table 5. Locked-Rotor Indicating Code Letters

Code Letter	Kilovolt-Amperes per Horsepower with Locked Rotor	
A	0	3.14
B	3.15	3.54
C	3.55	3.99
D	4.0	4.49
E	4.5	4.99
F	5.0	5.59
G	5.6	6.29
H	6.3	7.09
J	7.1	7.99
K	8.0	8.99
L	9.0	9.99
M	10.0	11.19
N	11.2	12.49
P	12.5	13.99
R	14.0	15.99
S	16.0	17.99
T	18.0	19.99
U	20.0	22.39
V	22.4	and up

The above table is an adopted standard of the National Electrical Manufacturers Association and is used in Section 430 of National Electric Code. (5057)

Table 2  
Typical Reactances of Induction Motors Per Unit (5058)

Values on Machine kVA Base (horsepower rating)	
	X''
Above 600 volts	.17
600 volts and below	.25*

\*The value of X'' for motors 600 volts and below has been increased slightly to compensate for the very rapid short-circuit current decrement in these small motors.

TABLEAU 10 - LES CONDUCTIVITÉS THERMIQUES EN COURBE

Diamètre mm	Section		Section		k/Wm		g/m ou kg/km
	mm	cm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	25 °C	105 °C	
250, NOM	12,7	600	120,6	250 000	0,138	0,181	1126
4/0	11,7	460	107,4	212 000	0,164	0,214	953
2/0	9,27	355	87,4	133 000	0,261	0,341	600
1/0	8,26	315	58,5	105 600	0,323	0,429	475
1	7,55	289	42,4	87 700	0,415	0,542	377
2	6,54	253	33,5	69 400	0,522	0,633	290
3	5,63	209	26,0	52 600	0,659	0,852	237
4	5,18	204	21,1	41 600	0,833	1,09	187
5	4,62	182	15,8	33 120	1,07	1,37	149
6	4,11	162	13,30	26 240	1,32	1,73	118
7	3,65	144	10,5	20 740	1,67	2,19	93,4
8	3,25	128	8,30	16 380	2,12	2,90	73,8
9	2,89	114	6,59	13 000	2,67	3,48	58,6
10	2,59	102	5,27	10 400	3,35	4,36	46,9
11	2,30	90,7	4,17	8 230	4,23	5,54	37,1
12	2,05	80,8	3,31	6 530	5,31	6,95	29,5
13	1,83	72,0	2,63	5 180	6,69	8,76	25,4
14	1,63	64,1	2,08	4 110	8,43	11,0	18,5
15	1,45	57,1	1,65	3 260	10,6	13,9	14,7
16	1,29	50,8	1,31	2 580	13,4	17,6	11,6
17	1,15	45,3	1,04	2 060	16,9	22,1	9,24
18	1,02	40,3	0,821	1 620	21,4	27,9	7,31
19	0,91	35,9	0,654	1 290	26,9	35,1	5,80
20	0,81	32,0	0,517	1 020	33,8	44,3	4,61
21	0,72	28,5	0,411	812	42,6	55,8	3,66
22	0,64	25,3	0,324	640	54,1	70,9	2,89
23	0,57	22,6	0,259	511	67,9	88,9	2,31
24	0,51	20,1	0,205	404	83,0	112	1,81
25	0,45	17,9	0,162	320	108	142	1,44
26	0,40	15,9	0,128	253	137	179	1,14
27	0,36	14,2	0,102	202	172	225	0,908
28	0,32	12,6	0,080	159	218	286	0,716
29	0,29	11,3	0,065	128	272	354	0,576
30	0,25	10,0	0,0507	100	348	456	0,451
31	0,23	8,9	0,0401	79,2	440	574	0,357
32	0,20	8,0	0,0324	64,0	541	709	0,289
33	0,18	7,1	0,0255	50,4	689	902	0,228
34	0,16	6,3	0,0201	39,7	873	1140	0,179
35	0,14	5,6	0,0159	31,4	1110	1450	0,141
36	0,13	5,0	0,0127	25,0	1390	1810	0,113
37	0,11	4,5	0,0103	20,3	1710	2230	0,091
38	0,10	4,0	0,0081	16,0	2170	2840	0,072
39	0,09	3,5	0,0062	12,3	2820	3690	0,055
40	0,08	3,1	0,0049	9,6	3610	4720	0,043

E-613

CU.

CABLE 3 CONDUCTEUR, Z<sub>L-N</sub> ohms/1000 pieds  
(305 m)

Table 1 - Three-conductor Cables - Impedances L-N in Ohms/1000 Feet  
DANS COMPT MÉTRIQUE QU'AVEC ARMURE

AWG or MCM	In Magnetic Duct or Armor						In Nonmagnetic Duct or Armor					
	Nonshielded 600 V & 5 Kv			Shielded 5 Kv & 15 Kv			Nonshielded 600 V & 5 Kv			Shielded 5 Kv & 15 Kv		
	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z
8 <i>8 mm<sup>2</sup></i>	.811	.0577	.813	.811	.0658	.814	.811	.0503	.812	.811	.0574	.813
8 (solid)	.786	.0577	.788	.786	.0658	.789	.786	.0503	.787	.786	.0574	.788
6 <i>12 mm<sup>2</sup></i>	.510	.0525	.513	.510	.0610	.514	.510	.0457	.512	.510	.0531	.513
6 (solid)	.496	.0525	.499	.496	.0610	.500	.496	.0457	.498	.496	.0531	.499
4 <i>20 mm<sup>2</sup></i>	.321	.0483	.325	.321	.0568	.326	.321	.0422	.324	.321	.0495	.325
4 (solid)	.312	.0483	.316	.312	.0508	.317	.312	.0422	.315	.312	.0495	.316
2 <i>35 mm<sup>2</sup></i>	.202	.0448	.207	.202	.0524	.209	.202	.0390	.206	.202	.0457	.207
1	.160	.0436	.166	.160	.0516	.168	.160	.0380	.164	.160	.0450	.166
1/0 <i>50 mm<sup>2</sup></i>	.128	.0414	.135	.128	.0486	.137	.127	.0360	.132	.128	.0423	.135
2/0 <i>70</i>	.102	.0407	.110	.103	.0482	.114	.101	.0355	.107	.102	.0420	.110
3/0 <i>95</i>	.0805	.0397	.0898	.0814	.0463	.0936	.0766	.0346	.0841	.0805	.0403	.090
4/0	.0640	.0381	.0745	.0650	.0446	.0788	.0633	.0332	.0715	.0640	.0389	.0749
250 <i>100</i>	.0552	.0379	.0670	.0557	.0436	.0707	.0541	.0330	.0634	.0547	.0380	.0666
300	.0464	.0377	.0598	.0473	.0431	.0640	.0451	.0329	.0559	.0460	.0376	.0596
350	.0378	.0373	.0539	.0386	.0427	.0576	.0368	.0328	.0492	.0375	.0375	.0530
400	.0356	.0371	.0514	.0362	.0415	.0551	.0342	.0327	.0475	.0348	.0366	.0505
450	.0322	.0361	.0484	.0328	.0404	.0520	.0304	.0320	.0441	.0312	.0359	.0476
500	.0294	.0349	.0456	.0300	.0394	.0495	.0276	.0311	.0416	.0284	.0351	.0453
600	.0257	.0343	.0429	.0264	.0382	.0464	.0237	.0309	.0389	.0246	.0344	.0422
750	.0216	.0326	.0391	.0223	.0364	.0427	.0197	.0297	.0355	.0203	.0332	.0389

(10320)

The resistance values are based on tinned Class B stranded-copper conductors (unless otherwise specified) at 60 cps and at 75 C.

The inductive reactance values are at 60 cps and are either positive- or negative- sequence values.

Multiply resistance values by 1.64 to obtain resistances for equivalent aluminum conductors.

GENERAL  
  
ELECTRIC

Table 1. A Summary of Maximum Allowable Device Ratings or Settings for Overcurrent Protection (Ref: NEC-1975, Article 450) (8827)

Impedance	Primary Side			Secondary Side		
	Volts	Circuit Breaker	Fuse	Over 600		600 V or under
				Circuit Breaker	Fuse	Breaker or Fuse
All		$\leq 3X$	$\leq 1.5X$	--	--	--
Not more than 6%	Over 600 V	$\leq 6X$	$\leq 3X$	$\leq 3X$	$\leq 1.5X$	$\leq 2.5X$
From 6 to 10%		$\leq 4X$	$\leq 2X$	$\leq 2.5X$	$\leq 1.25X$	$\leq 2.5X$
All	600 volts or under	$\leq 1.25X$	$\leq 1.25X$	Not Applicable		None
		$\leq 2.5X$	$\leq 2.5X$			$\leq 1.25X$
Not more than 6%		$\leq 6X$	$\leq 6X$			*ITP Must open transformer primary
From 6 to 10%		$\leq 4X$	$4X$			

\*ITP = Integrated thermal protection

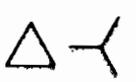
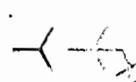
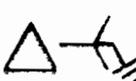
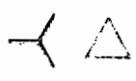
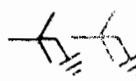
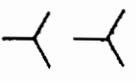
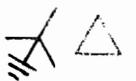
WINDING CONN	FACTOR (F)	WINDING CONN	FACTOR (F)
 P. S.	L-L 0.87	 P. S.	L-L 0.87
 P. S.	L-G 0.58	 P. S.	L-L 0.87
 P. S.	L-L 0.87	 P. S.	L-L 0.87
 P. S.	L-L 0.87	 P. S.	L-L 0.87

TABLE 2  
TRANSFORMER INRUSH CURRENT POINT

Transformer Size	Inrush	Duration
$\leq 3$ MVA	$8 \times I_{fl}(I_N)$	0.1 Sec
$> 3$ MVA	$12 \times I_{fl}(I_N)$	0.1 Sec

$I_{fl} = \text{full load} = I_N$

ANSI Point

Figure 4. ANSI Factors For Transformer Winding Connections (5062)

TABLEAU 26

(Voir articles 28.106, 28.200, 28.202, 28.206, 28.300, 28.304 et 28.810)

GROSSEURS DE CONDUCTEURS,  
CAPACITÉ DES FUSIBLES ET AJUSTEMENT  
DES DISJONCTEURS POUR LA PROTECTION  
DES MOTEURS CONTRE LES SURCHARGES  
ET PROTECTION DES CIRCUITS DE MOTEURS  
CONTRE LES SURINTENSITÉS

(Ce tableau est basé sur le tableau 29)

Courant nominal de pleine charge du moteur — Full-load current rating of motor	Intensité minimale admissible du conducteur — Minimum allowable ampacity of conductor	Protection de marche des moteurs, contre les surcharges — Overload protection for running protection of motors		‡Capacité maximale des fusibles et ajustement maximal des disjoncteurs temporisés pour circuits de moteurs — ‡Overcurrent protection maximum allowable rating of fuses and maximum allowable setting of circuit breakers of the time-limit type for motor circuits					
		Capacité maximale des fusibles — Maximum rating of fuses	Ajustement maximal des dispositifs de surcharge — Maximum setting of overload devices	Moteur monophasé tous types. Moteur à cage d'écureuil ou synchrone (Démarrage à pleine tension ou à résistance et réactance) — Single phase all types and squirrel cage and synchronous (full voltage, resistor and reactor starting)		Moteur à cage d'écureuil ou synchrone (Démarrage avec autotransformateur ou en étoile-triangle) — Squirrel cage and synchronous (auto-transformer and star-delta starting)		Moteur C.C. ou à rotor bobiné C.A. — dc or wound rotor ac	
				Fusible Ampères — Fuse Amperes	Disjoncteur Ampères — Circuit breaker Amperes	Fusible Ampères — Fuse Amperes	Disjoncteur Ampères — Circuit breaker Amperes	Fusible Ampères — Fuse Amperes	Disjoncteur Ampères — Circuit breaker Amperes
Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Fusible Ampères — Fuse Amperes	Disjoncteur Ampères — Circuit breaker Amperes	Fusible Ampères — Fuse Amperes	Disjoncteur Ampères — Circuit breaker Amperes	Fusible Ampères — Fuse Amperes	Disjoncteur Ampères — Circuit breaker Amperes
1†	15	2*	1.25*	15	15	15	15	15	15
2†	15	3*	2.50*	15	15	15	15	15	15
3†	15	4*	3.75*	15	15	15	15	15	15
4†	15	6*	5.00*	15	15	15	15	15	15
5†	15	8*	6.25*	15	15	15	15	15	15
6†	15	8*	7.50*	20	15	15	15	15	15
7	15	10*	8.75*	25	15	15	15	15	15
8	15	10*	10.00*	25	20	20	15	15	15
9	15	12*	11.25*	30	20	25	15	15	15
10	15	15*	12.50*	30	20	25	20	15	15
11	15.00	15*	13.75*	30	30	30	20	20	15
12	15.00	15	15.00	40	30	30	20	20	15
13	16.25	20	16.25	40	30	35	30	20	20
14	17.50	20	17.50	45	30	35	30	25	20
15	18.75	20	18.75	45	30	40	30	25	20
16	20.00	20	20.00	50	40	40	30	25	20
17	21.25	25	21.25	60	40	45	30	30	30
18	22.50	25	22.50	60	40	45	30	30	30
19	23.75	25	23.75	60	40	50	40	30	30
20	25.00	25	25.00	60	50	50	40	30	30
22	27.5	30	27.5	60	50	60	40	35	30
24	30.0	30	30.0	80	50	60	40	40	30
26	32.5	35	32.5	80	70	70	50	40	40
28	35.0	35	35.0	90	70	70	50	45	40
30	37.5	40	37.5	90	70	70	50	45	40
32	40.0	40	40.0	100	70	70	70	50	40
34	42.5	45	42.5	110	70	70	70	60	50
36	45.0	45	45.0	110	100	80	70	60	50
38	47.5	50	47.5	125	100	80	70	60	50
40	50.0	50	50.0	125	100	80	70	60	50
42	52.5	50	52.5	125	100	90	70	70	70
44	55.0	60	55.0	125	100	90	100	70	70
46	57.5	60	57.5	150	100	100	100	70	70
48	60.0	60	60.0	150	100	100	100	80	70
50	62.5	60	62.5	150	125	100	100	80	70

Col. 1

Col. 2

Col. 3

Col. 4

Col. 5

Col. 6

Col. 7

Col. 8

Col. 9

Col. 10

QUEBEC OFFICIAL GAZETTE, March 20, 1974, Vol. 106, No. 6

		Protection de marche des moteurs, contre les surcharges <i>Overload protection for running protection of motors</i>		†Capacité maximale des fusibles et ajustement maximal des disjoncteurs temporisés pour circuits de moteurs <i>†Over-current protection maximum allowable rating of fuses and maximum allowable setting of circuit breakers of the time-limit type for motor circuits</i>					
Courant nominal de pleine charge du moteur <i>Full-load current rating of motor</i>	Intensité minimale admissible du conducteur <i>Minimum allowable ampacity of conductor</i>	Capacité maximale des fusibles <i>Maximum rating of fuses</i>	Ajustement maximal des dispositifs de surcharge <i>Maximum setting of overload devices</i>	Moteur monophasé tous types. Moteur à cage d'écurieil ou synchrone (Démarriage à pleine tension ou à résistance et réactance) <i>Single phase all types and squirrel cage and synchronous (full voltage, resistor and reactor starting)</i>		Moteur à cage d'écurieil ou synchrone (Démarriage avec autotransformateur ou en étoile-triangle) <i>Squirrel cage and synchronous (autotransformer and star-delta starting)</i>		Moteur C.C. ou à rotor bobiné C.A. <i>dc or wound rotor ac</i>	
				Fusible Ampères <i>Fuse Amperes</i>	Disjoncteur Ampères <i>Circuit breaker Amperes</i>	Fusible Ampères <i>Fuse Amperes</i>	Disjoncteur Ampères <i>Circuit breaker Amperes</i>	Fusible Ampères <i>Fuse Amperes</i>	Disjoncteur Ampères <i>Circuit breaker Amperes</i>
Ampères <i>Amperes</i>	Ampères <i>Amperes</i>	Ampères <i>Amperes</i>	Ampères <i>Amperes</i>	Fusible Ampères <i>Fuse Amperes</i>	Disjoncteur Ampères <i>Circuit breaker Amperes</i>	Fusible Ampères <i>Fuse Amperes</i>	Disjoncteur Ampères <i>Circuit breaker Amperes</i>	Fusible Ampères <i>Fuse Amperes</i>	Disjoncteur Ampères <i>Circuit breaker Amperes</i>
52	65.0	70	65.0	175	125	110	100	80	70
54	67.5	70	67.5	175	125	110	100	90	70
56	70.0	70	70.0	175	125	125	100	90	70
58	72.5	70	72.5	175	125	125	100	90	100
60	75.0	80	75.0	200	150	125	100	90	100
62	77.5	80	77.5	200	150	125	125	100	100
64	80.0	80	80.0	200	150	150	125	100	100
66	82.5	80	82.5	200	150	150	125	100	100
68	85.0	90	85.0	225	150	150	125	110	100
70	87.5	90	87.5	225	175	150	125	110	100
72	90.0	90	90.0	225	175	150	125	110	100
74	92.5	90	92.5	225	175	150	125	125	100
76	95.0	100	95.0	250	175	175	150	125	100
78	97.5	100	97.5	250	175	175	150	125	100
80	100.0	100	100.0	250	200	175	150	125	100
82	102.5	110	102.5	250	200	175	150	125	125
84	105.0	110	105.0	250	200	175	150	150	125
86	107.5	110	107.5	300	200	175	150	150	125
88	110.0	110	110.0	300	200	200	175	150	125
90	112.5	110	112.5	300	200	200	175	150	125
92	115.0	125	115.0	300	225	200	175	150	125
94	117.5	125	117.5	300	225	200	175	150	125
96	120.0	125	120.0	300	225	200	175	150	125
98	122.5	125	122.5	300	225	200	175	150	125
100	125.0	125	125.0	300	250	200	200	150	150
105	131.5	150	131.5	350	250	225	200	175	150
110	137.5	150	137.5	350	250	225	200	175	150
115	144.0	150	144.0	350	250	250	225	175	150
120	150.0	150	150.0	400	300	250	225	200	175
125	156.5	175	156.5	400	300	250	250	200	175
130	162.5	175	162.5	400	300	300	250	200	175
135	169.0	175	169.0	450	300	300	250	225	200
140	175.0	175	175.0	450	350	300	250	225	200
145	181.5	200	181.5	450	350	300	250	225	200
150	187.5	200	187.5	450	350	300	300	225	225
155	194	200	194	500	350	350	300	250	225
160	200	200	200	500	400	350	300	250	225
165	206	225	206	500	400	350	300	250	225
170	213	225	213	500	400	350	300	300	250
175	219	225	219	600	400	350	350	300	250

Col. 1      Col. 2      Col. 3      Col. 4      Col. 5      Col. 6      Col. 7      Col. 8      Col. 9      Col. 10

Courant nominal de pleine charge du moteur — Full-load current rating of motor	Intensité minimale admissible du conducteur — Minimum allowable ampacity of conductor	Protection de marche des moteurs, contre les surcharges — Overload protection for running protection of motors		‡Capacité maximale des fusibles et ajustement maximal des disjoncteurs temporisés pour circuits de moteurs — ‡Overcurrent protection maximum allowable rating of fuses and maximum allowable setting of circuit breakers of the time-limit type for motor circuits					
		Capacité maximale des fusibles — Maximum rating of fuses	Ajustement maximal des dispositifs de surcharge — Maximum setting of overload devices	Moteur monophasé tous types. Moteur à cage d'écureuil ou synchrone (Démarrage à pleine tension ou à résistance et réactance) — Single phase all types and squirrel cage and synchronous (full voltage, resistor and reactor starting)		Moteur à cage d'écureuil ou synchrone (Démarrage avec autotransformateur ou en étoile triangle) — Squirrel cage and synchronous (autotransformer and star delta starting)		Moteur C.C. ou à rotor bobiné C.A. — dc or wound rotor ac	
				Fusible — Fuse — Amperes	Disjoncteur — Circuit breaker — Amperes	Fusible — Fuse — Amperes	Disjoncteur — Circuit breaker — Amperes	Fusible — Fuse — Amperes	Disjoncteur — Circuit breaker — Amperes
Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes	Ampères — Amperes
180	225	225	225	600	400	400	350	300	250
185	231	250	231	600	400	400	350	300	250
190	238	250	238	600	400	400	350	300	250
195	244	250	244	600	400	400	350	300	250
200	250	250	250	600	500	400	400	300	300
210	263	250	263	—	500	450	400	350	300
220	275	300	275	—	500	450	400	350	300
230	288	300	288	—	500	500	400	350	300
240	300	300	300	—	600	500	400	400	350
250	313	300	313	—	600	500	500	400	350
260	325	350	325	—	600	600	500	400	350
270	338	350	338	—	600	600	500	450	400
280	350	350	350	—	600	600	500	450	400
290	363	350	363	—	600	600	500	450	400
300	375	400	375	—	600	600	600	450	400
320	400	400	400	—	—	—	—	500	400
340	425	450	425	—	—	—	—	600	500
360	450	450	450	—	—	—	—	600	500
380	475	500	475	—	—	—	—	600	500
400	500	500	500	—	—	—	—	600	600
420	525	600	525	—	—	—	—	—	—
440	550	600	550	—	—	—	—	—	—
460	575	600	575	—	—	—	—	—	—
480	600	600	600	—	—	—	—	—	—
500	625	—	625	—	—	—	—	—	—
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8	Col. 9	Col. 10

\*Pour la protection de marche des moteurs de 1 hp ou moins, voir articles 28.300 et 28.306.

†Pour plusieurs petits moteurs protégés par un seul et même jeu de fusibles, voir articles 28.200, 28.202 et 28.204.

‡Ces valeurs sont basées sur le tableau 29, voir article 28.200.

Note: Ce tableau est basé sur une température ambiante de 30°C (86°F).

For running protection of motors of 1 hp or less see rules 28.300 and 28.306.

†For the grouping of small motors under the protection of a single set of fuses see rules 28.200, 28.202 and 28.204.

‡These values are based on table 29, see also rule 28.200.

Note: This table is based on a room temperature of 30°C (86°F).

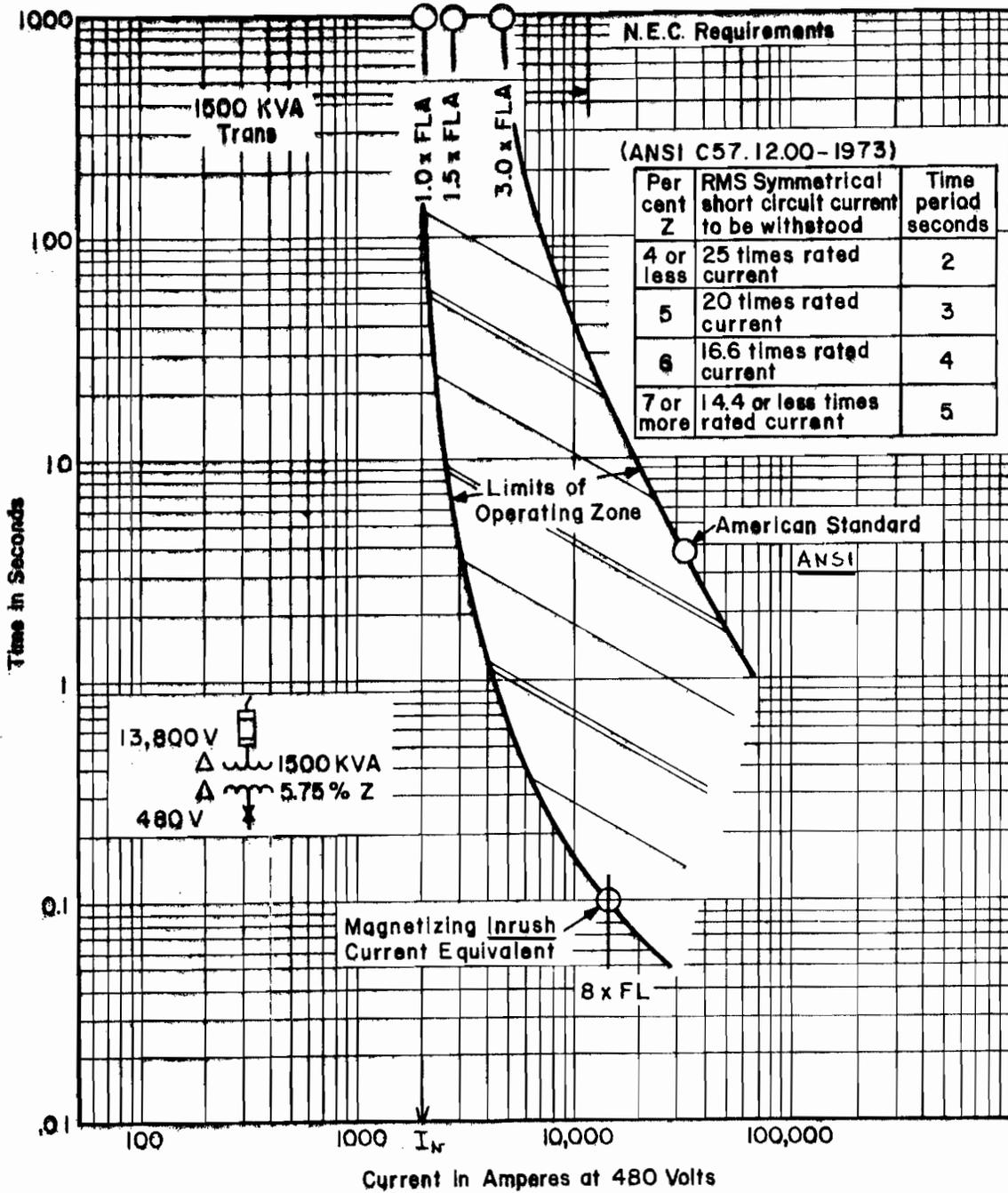
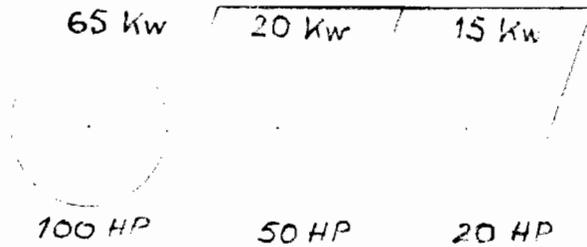


Figure 2. ZONE OF OPERATION For Transformer Primary Protective Device. Delta-Delta Transformer, With No Main Secondary Circuit Breaker. (5064)

## Quelques Définitions

- Facteur de demande :  $F_d$

$$F_d = \frac{\text{demande maximale}}{\text{charge totale connectée}} \quad (\text{en Kw pendant 15 à 30 min})$$



$$F_d = \frac{100 \text{ Kw}}{170 \times 0.746} \times 100 = 79\%$$

$F_d$  est donné dans un handbook

- Facteur de diversité :  $F_{dt}$

$$F_{dt} = \frac{\text{Somme des charges max individuelles}}{\text{Demande max du système}}$$

65 Kw    20 Kw    15 Kw

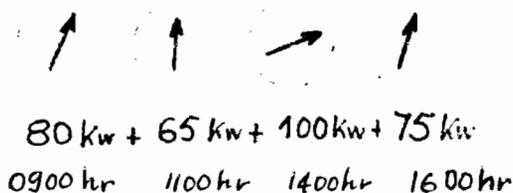
$$F_{dt} = \frac{100 \text{ Kw}}{80 \text{ Kw}} \times 100 = 125\%$$

donné ou supposé égal à 1



- Facteur de charge :  $F_{ch}$

$$F_{ch} = \frac{\text{Charge moyenne}}{\text{charge de Pointe}} \quad \text{pendant une période déterminée}$$



$$F_{ch} = \frac{320/4}{100} \times 100 = 80\%$$