

UNIVERSITE D'ALGER

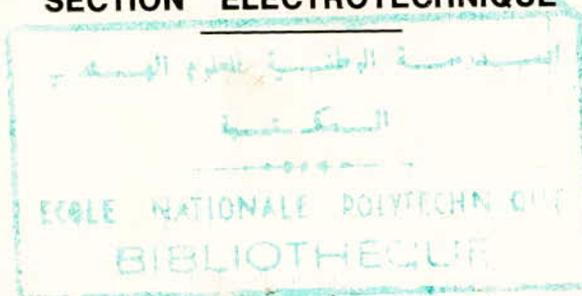
12/74

200

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Departement Electricité

SECTION ELECTROTECHNIQUE



THESE DE FIN D'ETUDES



MISE EN MARCHE
DU
LABORATOIRE 300 KV, 50 HZ
DE L'E.N.P.A.

Proposée par :

M. DOBARDZIC

Etudiée par :

A. H. MOKRAOUI

ET N. QASEM

Promotion 1974

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Departement Electricité

SECTION ELECTROTECHNIQUE

THESE DE FIN D'ETUDES

MISE EN MARCHE
DU
LABORATOIRE 300 KV, 50 HZ
DE L'E.N.P.A.

Proposée par :

M. DOBARDZIC

Etudiée par :

A. H. MOKRAOUI

ET N. QASEM

Promotion 1974

Qu'il nous soit permis de remercier tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions en particulier Messieur : DOBARDZIC et JAKUBOWSKY, pour tous les conseils qu'ils nous ont prodigués tout le long de notre thèse.

Nous ne terminons pas sans remercier tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté leur aide.

S O M M A I R E

I INTRODUCTION/:

II Chapitre 1.

Equipement d'un laboratoire d'essai HT à 50 HZ

1-1. Rôle d'un laboratoire HT et les paramètres de base..... P. 6..

1-2. Transformateur d'essai HT à 50 HZ

1-2-1. Calcul de la puissance d'un transformateur d'essai HT à 50 HZ. P 9

1-2-2. Tension de transformateur d'essai HT à 50 HZ. P. 14.

1-3. Equipement de régulation de la tension - - - - P. 17

1-4. Dispositif de mesure :

a- Les éclateurs à sphères..... P. 20

b- Diviseurs capacitifs..... P. 30

1-5. Les pupitres de commande et de contrôle pour les stations à fréquence industrielle et protection de l'alimentation..... P 37

1-6. Différentes installations auxiliaires.

1-6-1. Généralités..... P 38

1-6-2. Installation sur pluie artificielle et son utilisation..... P. 39

III Chapitre 2.

Equipement du laboratoire 300 K V, 50 HZ de l'E.N.P. d'Alger et mise en marche du laboratoire.

2. Généralité.

A. Equipement du laboratoire 300 KV, 50 HZ de l'E.N.P. d'Alger. P. 52

B. Modifications apportées..... P. 55

C. Essais effectués lors de la mise en marche du laboratoire 300 KV, 50 HZ. - - - - - P. 63

CONCLUSION GENERALE/: - - - - - P75

ANNEXES / Procédure de mise en marche du laboratoire 300 KV, 50 HZ de l'E.N.P
d'Alger - - - - - P76

INTRODUCTION

La présente these a pour but la mise en marche d'une partie du laboratoire HT de l'E.N.P. Alger notamment d'un transformateur d'essais de 300 K Veff, 50 Hz avec ses équipements de régulation, de commande et de mesure. Cette partie a été installée en 1972 et mise en marche par le fournisseur du matériel (HAEFELY). Au cours d'essais un tiroir du pupitre de commande et de contrôle fut brulé. Ce tiroir a été remplacé par un autre et au même temps une nouvelle solution de son branchement a été envisagée. Par la suite le laboratoire a été complété par une protection générale nouvelle.

Notre tâche était donc d'étudier d'abord l'ensemble des équipements de refaire toutes les liaisons anciennes et d'ajouter de nouveaux éléments.

L'étude comporte deux parties :

- La première se rapporte au divers équipements d'un laboratoire d'essais à 50 Hz et les critères de choix des différents éléments.
- La deuxième partie comporte tous les détails du laboratoire correspondant de l'E.N.P. Alger, ainsi que les détails concernant notre travail.

A Alger, le 17 juin 1974
MOKRAOU et ASEN

EQUIPEMENT D'UN LABORATOIRE D'ESSAI HT A 50 Hz :

II. Rôle d'un laboratoire HT. et les paramètres de base :

Un laboratoire HT de 50 Hz comporte généralement les équipements suivants : Transformateur d'essais HT, transformateur de régulation de tension, équipement de mesures HT, pupitre de commande, les installations d'alimentation et de protection et les installations auxiliaires indispensables pour la création des pluies artificielles, des dépos polluants, etc...

La tension et la puissance de ce laboratoire dépendent du rôle qu'il doit remplir lors de son utilisation (domaine d'éducation, de production, de recherche courante, de recherche de base).

Dans tous les cas, ces paramètres dépendent des caractéristiques des objets à essayer.

Un objet d'essai (condensateur de différentes formes, différents systèmes isolants, transformateur, câbles, machine électrique, etc.....) du point de vue de l'exigence d'un laboratoire d'essai HT est défini principalement par leur tension nominale et la capacité. Pour que l'équipement HT (Objet à essayer) résistent à des surtensions de différentes origines (atmosphérique, manoeuvre, régime de travail) apparaissant sur des réseaux où il sera branché lors de sa fabrication (ou après sa réparation) et avant sa mise en marche on procède aux contrôles sous les tensions d'essais ayant les formes et les valeurs semblables à ceux de surtensions. Ainsi par ce contrôle nous pouvons arriver à garantir un nombre minimum d'incidents au cours de l'exploitation d'un réseau où une installation quelconque.

Le rôle principal d'un laboratoire HT à 50 HZ est donc de reproduire les surtensions ayant approximativement le niveau et la forme de la tension semblable aux surtensions qui peuvent se présenter sur les réseaux électriques. Ces deux caractéristiques sont généralement définies soit par les normes provenant des différents pays soit des Recommandations de la Commission Electronique Internationale (C.E.I.).

Ainsi les surtensions d'origines atmosphériques sont représentées par une onde de choc biexponentielle d'une durée de front de 1 ou 1,2 et d'une durée de mi-amplitude de 50 μ s . tableau (1)

Les surtension d'origines de manoeuvre dont les durées du front et de la mi-amplitude sont beaucoup plus longues que celle d'origine atmosphérique ne sont pas encore définies par les normes car elles dépendent beaucoup des caractéristiques des appareils de coupure.

Les installations HT d'un laboratoire ayant pour but de reproduire les surtensions d'origines atmosphérique et de manoeuvre (générateur de choc avec sont équipement) ne font pas l'objet de notre étude.

L'installation HT, 50 HZ et destinée en première ligne de produire les tensions de la même fréquence qui apparaissent dans le réseau par le changement brusque du régime de travail. La durée de ce régime de surtension est normalisée et presque dans tous les cas elle est de 60 s.

Dans le tableau (2) sont représentées les tensions d'essai de 50 HZ Recommandées par la Commission International (C.E.I. N° 71).

La tension maximale d'un transformateur d'essai à 50 HZ dépend de la tension d'essai normalisée des objets à essayer. D'après le producteur HAERFELY (1) la tension du transformateur est de l'ordre de 20 % supérieur à celle d'essai. Ces tensions sont représentées dans les tableaux 3 et 4. D'après ces tableaux au titre d'exemple, on peut choisir la tension d'un transformateur d'essai de 900 K Veff pour essayer l'équipement jusqu'à 420 K Veff de tension de service.

La puissance d'un transformateur à 50 HZ, dépend en première ligne de la puissance maximale se présentent au cours d'essais. Cette puissance est une fonction de la capacité de l'objet, ce que nous verrons dans les paragraphes suivants.

1 - 2 TRANSFORMATEUR D'ESSAI HT A 50 HZ.

12 - 1 CALCUL DE LA PUISSANCE D'UN TRANSFORMATEUR D'ESSAI HT A 50 HZ

La puissance P d'un transformateur peut être calculée en fonction de la capacité de l'objet à essayer et de la tension d'essai selon la formule

$$P = 2 \pi f U^2 C \cdot 10^{-9} \dots \dots \dots (1)$$

où :

P = puissance en K VA, F = Fréquence en HZ = 50 HZ,

-o- A B L E A U -o-

 I.

TENSION DE SERVICE MAX. K Veff.	TENSION DE TENUE AU CHOC I 2/50		
	ISOLATION PLEINE K Verête	ISOLATION REDUIT K Verête	
72,5	325		
100	450	380	
123	550	450	
145	650	550	
170	750	650	
245	1050	900	
300		1175	1050 ¹
362		1300	1175 ¹
420		1550	1425 ¹
525		1675	1550 ¹
765		2150 ²	1900 ² 1770 ²

-o- II A B L E A U N° 2 -o-

TENSION DE SERVICE MAX K Veff.	TENSION D'ESSAI A FREQUENCE INDUSTRIELLE.	
	ISOLATION PLEINE K Veff.	ISOLATION REBUIIT K Veff
72,5	140	
100	185	150
123	230	185
145	275	230
170	325	275
245	460	395
300		510 460 ¹
362		570 510 ¹
420		680 630 ¹
525		740 680 ¹
765		900 ² 800 ²

TABLEAU. 3.

Tension de service max K. Veff.	Tension de la Station à fréquence industrielle K Veff.
72,5	200
100	250
123	300
145	350
170	400
245	550
300	600
362	700
420	900
525	1000
765	1200

// A B L E A U N ° 4

TENSION DE SERVICE MAX K Veff.	Station d'Essai de Choc !(Tension de Charge Totale) K V
72,5	450
100	600
123	800
145	1000
170	1200
245	1600
300	1800
362	2000
420	2400
525	2800
765	3200

U = Tension d'essai en K Veff aux bornes du transformateur,

C = Capacité de charge en pF.

La capacité C comprend la capacité propre du transformateur ainsi que la capacité parasite par rapport à la terre de tous les écrans et liaisons sous tension, qui doivent être prise en considération surtout pendant des essais avec très haute tension où les écrans on étaient necessérement de grande dimension par exemple la capacité en picofards d'une sphère par rapport à la terre et plus grande que son diamètre en centimètre. En plus lors des essais sous pluie, le transformateur et en outre soumis à des courants de dérivation correspondant à des puissances actives importantes.

Quelques exemples de choix de la puissance des transformateurs d'essais sont donnés si dessous.

La tension du réseau et suposée 245 K Veff et du transformateur (d'après le tableau (1)) 550 K Veff.

a) Transformateur destiné pour effectuer des essais sur disolateur de ligne, des isolateurs supports bornes de traversée. La capacité de ces isolateurs est située dans les limites entre 150 et 250 pF. On prend la capacité maximum

$$P = 2 \eta \cdot 50 \cdot (550)^2 \cdot 250 \cdot 10^{-9} = 23,75 \text{ K VA} \Rightarrow P = 25 \text{ K VA}$$

b) Transformateur destiné pour les essais sur le transformateur de courant et les matériel dont la capacité varié de 200 à 600 pF. On prend $C = 600$ pF.

$$P = 2 \eta \cdot 50 \cdot (550)^2 \cdot 600 \cdot 10^{-9} = 57 \text{ K VA} \Rightarrow P = 60 \text{ K VA}$$

c) Transformateur destiné pour des essais sur des transformateurs de puissances jusqu'à 1000 K VA avec une capacité correspondante de l'ordre de 1000 pF.

$$P = 2 \eta \cdot 50 \cdot (550)^2 \cdot 3000 \cdot 10^{-9} + 285 \text{ K VA} \Rightarrow P = 315 \text{ K VA}, P = 300$$

Ainsi nous pouvons déterminer la puissance du transformateur et par la même occasion la puissance de l'installation du laboratoire.

Ce calcul de puissance est approximatif, car la puissance est proportionnelle avec la capacité C .

C' est la somme des capacités d'objet a essayer et de la capacité propre du transformateur d'essai ainsi que la capacité parasite par rapport

TABLEAU. 5

EXEMPLES DE CALCUL DE LA PUISSANCE DES TRANSFORMATEURS D'ESSAI EN (KVA)

$$P = 2 \pi f U^2 c \cdot 10^{-9}$$

Tension de service KVe _{eff} .	Tension de la station à fréquence industrielle KVe _{eff} .	boîtier de traversées C=250 pF	Transformateur de courant C=600 pF.	Câble par 10m de long. C=3000 pF.	Transformateur de puissance p.	
					p 1000 KVA. C=1000 pF	P 1000k C=8000p
72,5	200	5	10	40	15	125
100	250	5	12,5	63	20	200
123	300	7,5	20	125	31,5	250
145	350	10	25	125	40	315
170	400	15	31,5	200	63	500
245	550	25	63	315	100	800
300	600	31,5	75	350	125	1000
362	700	40	100	500	200	1250
420	900	75	200	800	315	2500
525	1000	80	200	1000	315	3150
765	1200	125	315	1600	500	4000

Ces puissances calculées sont arrondies aux puissances normalisées.

à la terre de tous les écrans et liaisons sans tension.

Les résultats de calcul des autres exemples sont présentés dans le tableau S.

En générale ces transformateurs d'essai HT sont construits pour une puissance nominale plus grande que celle calculée afin d'éviter tous les risques de détérioration.

Les courants requis pour les transformateurs d'essai se résument ainsi :

- Pour isolateurs, traversées, disjoncteur, transformateur de mesure
0,1 à 0,5 A

- Pour transformateur de puissance, condensateur à HT 0,5 à 1 A

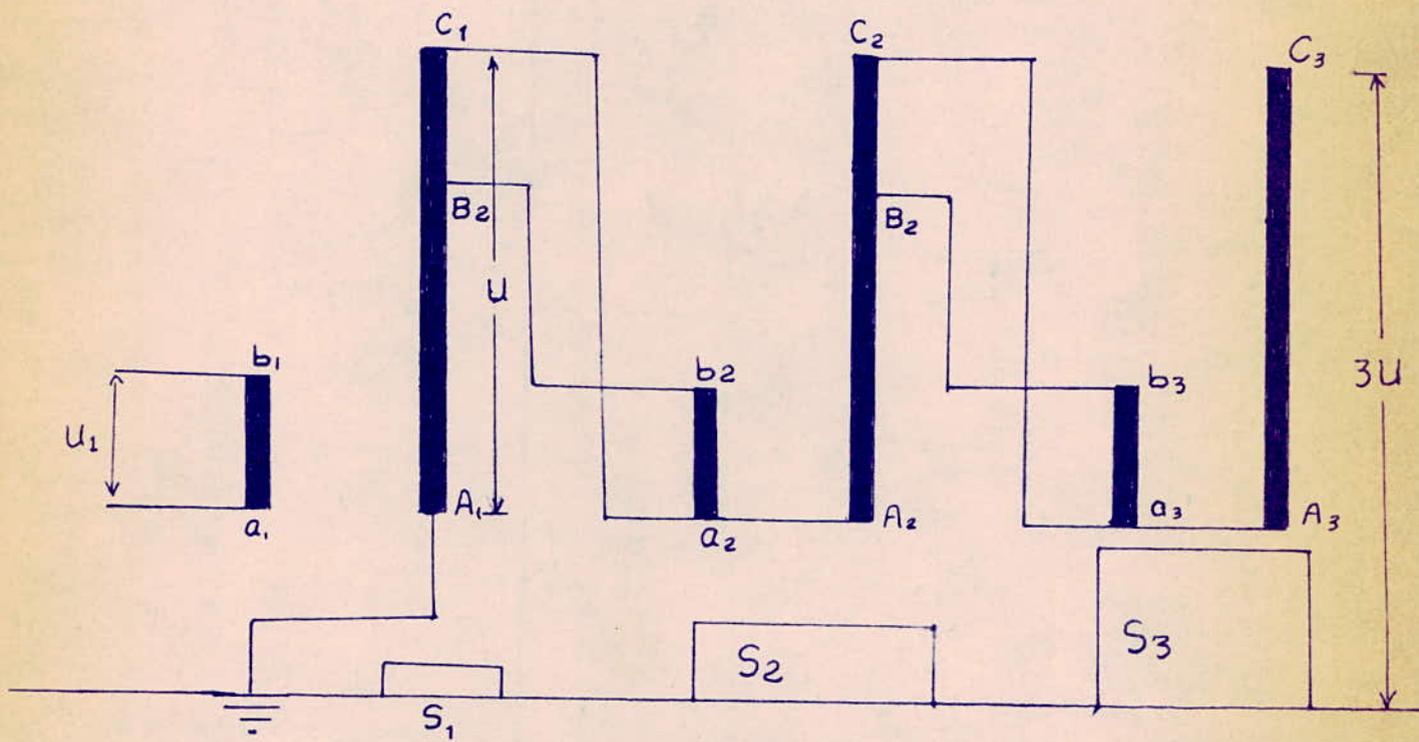
- Pour des câbles 1 A et plus.

1 - 2 - 2 Tension de transformateur d'essai HT à 50 HZ

Le transformateur d'essai HT . 50 HZ d'un laboratoire représente l'équipement le plus important. En principe ces transformateurs sont fait comme monophasé.

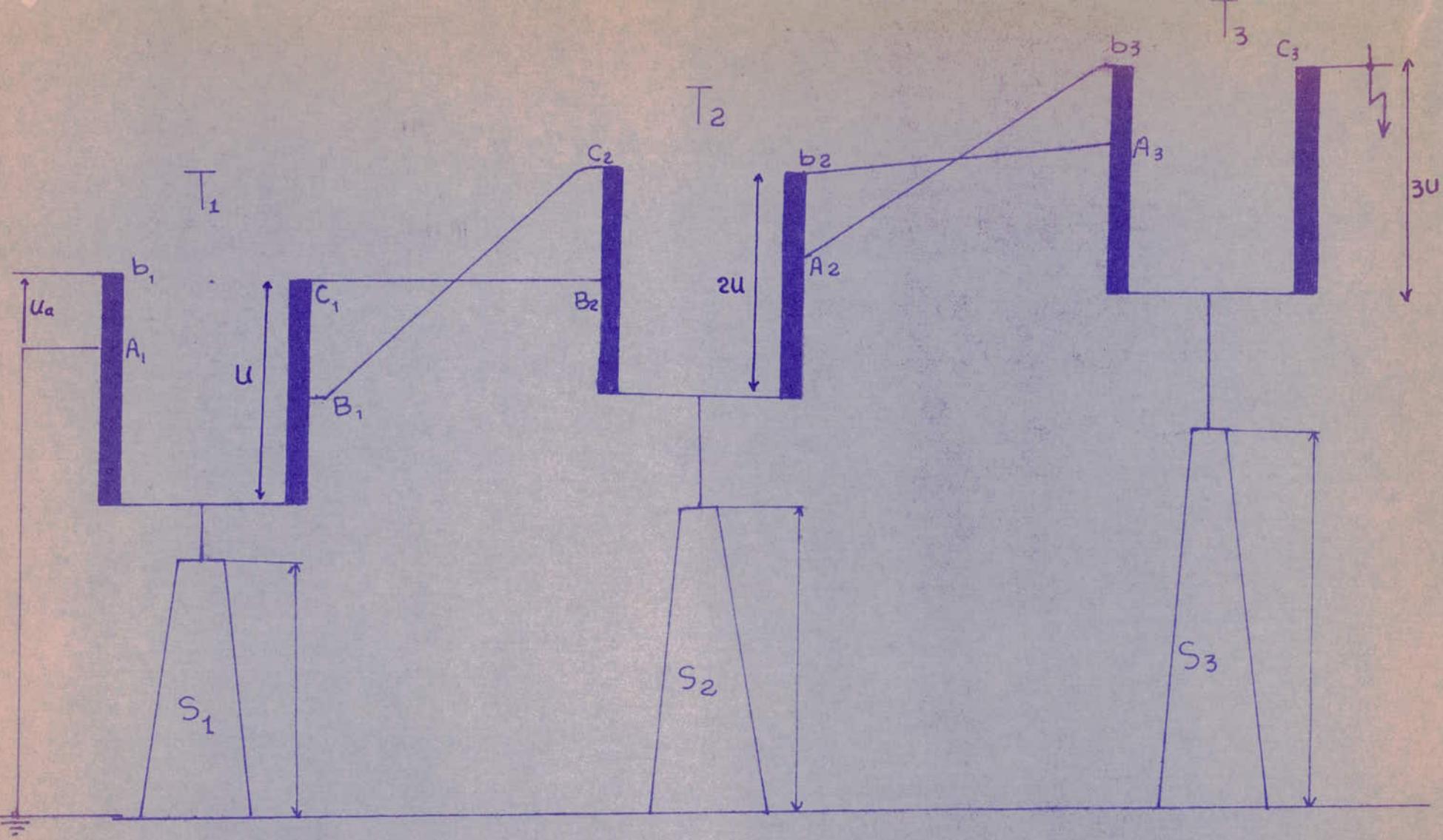
Pour ces nouveaux de tension jusqu'à 400 KV ces transformateurs sont faits dans une seul cuve. Pour les niveaux de tension supérieur on associe deux ou plusieurs transformateurs ensemble. En principe ce couplage est effectué en cascade de deux ou plusieurs transformateurs. Cette solution permet d'exécuter soit des essais triphasés à la tension composée égale à $U\sqrt{3}$, soit des essais monophasés à la tension d'essais égale à 3 U. Le principe du couplage de 3 transformateur identiques est expliqué sur le schéma de la fig. 1 [A]

Dans ce schéma les liaisons entre les enroulements B,C et a, b sont effectuées par l'intermédiaire de combineurs qui permettent pour le fonctionnement en triphasé d'alimenter les primaires (bornes a, b) au moyen d'un transformateur triphasé et de court circuiter les bornes L, ce qui donne comme possibilité de fournir sur les bornes C₁, C₂ et C₃ une tension égale à $U\sqrt{3}$.



COUPLAGE EN CASCADE DE TROIS TRANSFORMATEURS

(Société Alsacienne de construction mécanique)



COUPLAGE EN CASCADE DE TROIS TRANSFORMATEURS

(PROPOSÉ PAR HAEFLY)

Une autre possibilité de couplage de transformateur a été proposé par la société HAEFLY ' Schéma fig. 2 [2] selon laquelle les transformateurs sont du type auto-transformateur exécuté dans l'air.

Pour la marche en triphasé les 3 transformateurs ont leur bornes "b" reliées pour le fonctionnement en étoile, les Primaires (bornes A) sont connectés au réseau, ce qui donne comme possibilité de fournir sur les bornes "c" une tension composée égale à $U\sqrt{3}$.

Une des caractéristiques des plus importantes d'un transformateur d'essai HT est la tension de court-circuit. Cette tension dépend du nombre de transformateur branchés en cascade.

Exemple :

Une cascade de 2 transformateurs a une tension de court-circuit 3,5 à 4 fois plus grande que la tension de court-circuit d'un seul transformateur.

Une cascade de 3 transformateurs a une tension de court-circuit 8 à 9 fois plus grande que la tension de court-circuit d'un seul transformateur.

1 - EQUIPEMENT DE REGULATION DE LA TENSION

L'alimentation du transformateur d'essai à 50 HZ nécessite une tension réglable. La haute tension de sortie des transformateurs d'essai doit pouvoir être réglée de zéro à la pleine tension de façon continue et au cours de temps assez long en échellons suffisamment petit. Le transformateur de réglage moderne destiné pour les laboratoires HT répond à cette nécessité. En général un tel transformateur permet le réglage de la tension d'une façon stable, continue et indépendante de la charge.

La puissance de la source de tension réglée doit être suffisante pour couvrir les pertes de l'objet d'essai et de l'installation elle même.

Le réglage peut se faire soit manuellement soit à l'aide d'un moteur dont le fonctionnement se fait électriquement, en principe du pupitre de commande.

Il existe plusieurs types de transformateurs de régulation. La Société HAEFLY fabrique des régulateurs de tension type " thoma " et des transformateurs à curseurs.

a- TRANSFORMATEURS DE REGLAGE TYPE THOM :

Ils ont un enroulement secondaire tournant autour de son axe. Le mouvement verticale de contacts à rouleaux est synchronisé avec la rotation de telle sorte que ces derniers se déplacent le long de l'enroulement hélicoïdal, assurant un réglage continu sous charge du transformateur.

Le bobinage primaire est subdivisé en plusieurs éléments couples en parallèle, si bien que la TENSION DE COURT CIRCUIT RESTE PRATIQUEMENT CONSTANTE SURTOUT LE DOMAINE DE REGLAGE.

La tension de court-circuit correspondant au courant nominal est de 5 % environ. Ces transformateurs sont fabriqués pour des puissances standards de : 50; 100; 150 ; 200; 250; 300 et 400 K VA. La tension secondaire est réglable en générale entre 0 et 500 V, la tension primaire peut être choisie à volonté; elle ne devrait pas dépasser 6000 V.

Les régulateurs THOM HANFELY sont montés dans des cuves métalliques remplies d'huile. Un moteur commandé à distance sert au réglage de la tension. Le temps de réglage entre $U = 0$ et $U = U_{max}$ est normalement de 60 à 90 secondes.

b- TRANSFORMATEURS DE REGLAGE A CURCEUR :

Ils sont prévus pour des puissances nominales de 25, 50 et 100 K VA. Les deux enroulements sont séparés et se compose chacun de deux parties égale couplées en séries et montées sur les deux noyaux d'un circuit magnétique fermé. Le bobinage primaire est en outre formé, comme celui du régulateur THOM. Il est composé de plusieurs éléments branchés en parallèle. Chaque partie de l'enroulement secondaire est encore subdivisée en deux branches parallèles bobinées de telle sorte que l'on passe alternativement à chaque tour de l'une à l'autre. Les balais de cuivre ne peuvent donc pas provoquer de court-circuit entre spires en se déplaçant le long des chemins de contacts servant à régler la tension entre 0 et 500 V. Les courants d'égalisation entre les branches parallèles sont limités par des résistances.

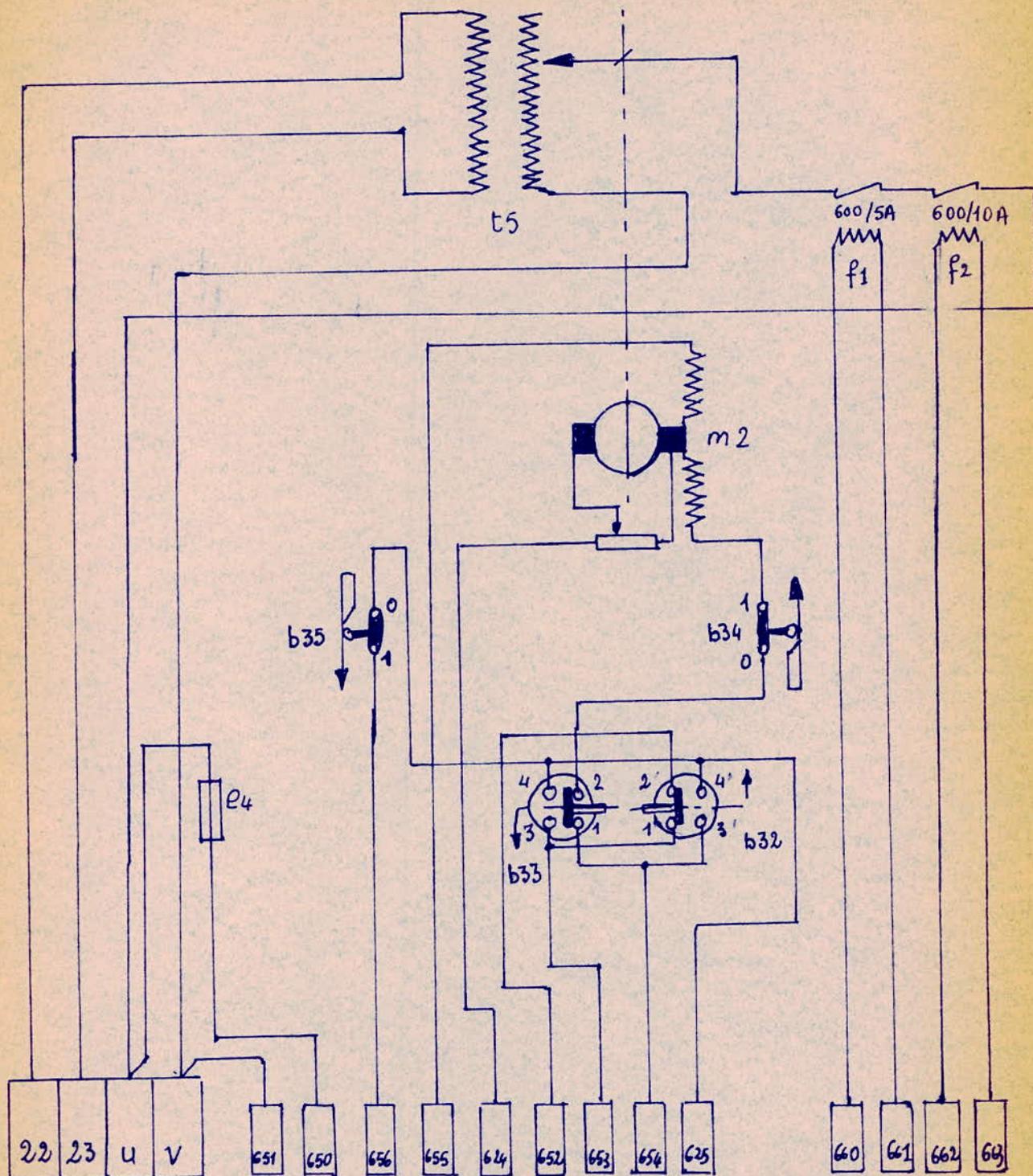
La variation de la tension s'effectue en échelon inférieur à 1% de tension nominale.

Le schéma d'un tel principe est donné sur la figure..... 1

TRANSFORMATEUR de REGLAGE

TYPE ELRS 0,5/50

50 kVA



22-23 / Tens. d'essai 4kV
 /uv " de service 220/0-550V

Commande à distance
 220V ; 50 Hz

HAEFELY

1 \rightarrow 4 DISPOSITIF DE MESURE :

Pour la mesure de la haute tension à fréquence industrielle en utilisation le plus souvent.

- a- Les éclateurs asphères (spintermètre)
- b- Diviseur capacitifs (voltmètre de crête)

a- Eclateur asphères :

Cet appareil est prévu pour mesurer les valeurs de tension de choc. Dans la plus part des cas il est composé de deux sphères disposées horizontalement ou verticalement, isolées par rapport à la terre ou ayant une mise à la terre. Par raison de symétrie la disposition horizontale est préférable, quand les deux sphères sont isolées et la disposition verticale, quand une sphère est reliée à la terre. On utilise le plus souvent la disposition verticale avec une sphère mise à la terre.

Le niveau de la tension dépend du diamètre de sphères et la distance entre elles. Les conditions d'ambiance (température, pression, humidité) influent aussi sur l'exactitude des mesures.

Les normes C 41050 prescrivent les valeurs des tensions en fonction de ces paramètres. Ces règles prescrivent également les distances de garde nécessaires autour des sphères. Tableau. A. B. C.

Pour la mesure de tension alternatives en emploi une résistance placée en série avec la sphère sous tension. Cette résistance dont la valeur est comprise entre 0,1 et 1 Ω limite le courant de telle manière que la surface des sphères ne soit pas détériorée.

Pour la mesure de tension alternatives, les valeurs des tensions se trouvant dans le tableau sont considérées exactes à $\pm 3\%$ lorsque l'écartement des sphères ne dépasse pas 0,5 D. Au delà et jusqu'à 0,75 D leur précision est plus petite.

Les tableaux A, B et C nous donnent la valeur de crête des tensions en fonction de l'écartement et du diamètre des sphères.

DIAMETRE DES SPHERES D mm/	VALEURS DE CRETE DES TENSION DISRUPTIVE EN KV SELON Pb 52 CEI		
	Minimum.	Ecartement des sphères 0,5D Tensions alternatives ondes des foudre négatives.	Ecartement des sphères 0,75 D. / Tension alternatives ondes de foudre positives.
62,5	14,2	79,5	107
125	16,8	146	185
150	16,8	177	219
250	31,7	275	357
500	59,0	515	655
750	59,0	750	935
1000	86,0	1010	1230
1500	138	1440	1730
2000	266	1840	2250

PRECISION DES ECLATEURS A SPHERES.

Pour la mesure de tensions alternatives, les valeurs tabulaires internationales sont considérées exactes à $\pm 3\%$ lorsque l'écartement des sphères ne dépasse pas 0,5 D? au delà et jusqu'à 0,75 D leur précision est douteuse?

Remarques concernant

1. Le tableau A.

1 Les valeurs de ce tableau ne sont pas exactes pour la mesure des tensions de choc inférieures à environ 10 KV!

2. Les valeurs pour les distances supérieures à 0,5 D sont d'une précision douteuse et sont mises entre parenthèses!

2. Le tableau B.

Les valeurs pour des distances supérieures à 0,5 D sont d'une précision douteuse et sont mises entre parenthèses!

3. Le tableau C.

Eckateur à deux sphères isolées

On a parfois besoin de mesurer la différence de potentiel existant entre deux points de l'objet, portés à certains potentiels par exemple lorsqu'un troisième point ^{doit} être réuni à la terre ou au contraire ne peut pas et être séparé!

Lorsque les tensions auxquelles sont portées les deux sphères par rapport à la terre sont égales et de signes ^{opposés}, on considérera provisoirement que les valeurs du tableau C sont applicables aux tensions alternatives, continue et de choc.

Remarques concernant

1. Le tableau A.

1 Les valeurs de ce tableau ne sont pas exactes pour la mesure des tensions de choc inférieures à environ 10 KV.

2. Les valeurs pour les distances supérieures à 0,5 D sont d'une précision douteuse et sont mises entre parenthèses.

2. Le tableau B.

Les valeurs pour des distances supérieures à 0,5 D sont d'une précision douteuse et sont mises entre parenthèses.

3. Le tableau C.

Eclateur à deux sphères isolées

On a parfois besoin de mesurer la différence de potentiel existant entre deux points de l'objet, portés à certains potentiels par exemple lorsqu'un troisième point ^{doit} être réuni à la terre ou au contraire ne peut pas et être séparé.

Lorsque les tensions auxquelles sont portées les deux sphères par rapport à la terre sont égales et de signe ^{opposé}, on considérera provisoirement que les valeurs du tableau C sont applicables aux tensions alternatives, continue et de choc.

TABLEAU A

Valeurs de crête des tensions disruptives en kilovolts
entre deux sphères dont l'une est à la terre

pour tension { alternative de fréquence industrielle
de choc négative pleine normale
continue

ECARTE- MENT DES SPHÈRES (cm)	Diamètre des sphères (Cm)											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05	2,8											
0,10	4,7											
0,15	6,4											
0,20	8,0	8,0										
0,25	9,6	9,6										
0,30	11,2	11,2										
0,40	14,4	14,3	14,2									
0,50	17,4	17,4	17,2	16,8	16,8	16,8						
0,60	20,4	20,4	20,2	19,9	19,9	19,9						
0,70	23,2	23,4	23,2	23,0	23,0	23,0						
0,80	25,8	26,3	26,2	26,0	26,0	26,0						
0,90	28,3	29,2	29,1	28,9	28,9	28,9						
1,0	30,7	32,0	31,9	31,7	31,7	31,7	31,7					
1,2	(35,1)	37,6	37,5	37,4	37,4	37,4	37,4					
1,4	(38,5)	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(40,0)	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		53,0	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5					
2,0		57,5	58,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0			
2,2		61,5	63,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		65,5	67,5	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0			
2,6		(69,0)	72,0	74,5	75,0	75,0	75,5	75,5	75,5			
2,8		(72,5)	76,0	79,5	80,0	80,5	81,0	81,0	81,0			
3,0		(75,5)	79,5	84,0	85,0	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0		
3,5		(82,5)	(87,5)	95,0	97,0	98,0	99,0	99,0	99,0	99,0		
4,0		(88,5)	(95,0)	105	108	110	112	112	112	112		
4,5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5,0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5,5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	151
6,0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	164
6,5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	177
7,0				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	190
7,5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	203
8,0					(174)	(185)	206	214	215	215	215	215
9,0					(185)	(198)	226	239	240	241	241	241

TABLEAU B

Valeurs de crête des tensions disruptives en kilovolts
entre deux sphères dont l'une est à la terre
pour tension de choc positive pleine normale

Ecartement des Sphères (Cm)	Diamètre des sphères (Cm)											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05												
0,10												
0,15												
0,20												
0,25												
0,30	11,2	11,2										
0,40	14,4	14,3	14,2									
0,50	17,4	17,4	17,2	16,8	16,8	16,8						
0,60	20,4	20,4	20,2	19,9	19,9	19,9						
0,70	23,2	23,4	23,2	23,0	23,0	23,0						
0,80	25,8	26,3	26,2	26,0	26,0	26,0						
0,90	28,3	29,2	29,1	28,9	28,9	28,9						
1,0	30,7	32,0	31,9	31,7	31,7	31,7	31,7					
1,2	(35,1)	37,8	37,6	37,4	37,4	37,4	37,4					
1,4	(38,5)	43,3	43,2	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(40,0)	46,2	45,9	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		49,0	48,6	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		54,5	54,0	53,5	53,5	53,5	53,5					
2,0		59,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0			
2,2		64,0	64,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		69,0	69,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0			
2,6		(73,0)	73,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5			
2,8		(77,0)	78,0	80,5	80,5	80,5	81,0	81,0	81,0			
3,0		(81,0)	82,0	85,5	85,5	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0		
3,5		(90,0)	(91,5)	97,5	98,0	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0		
4,0		(97,5)	(101)	109	110	111	112	112	112	112		
4,5			(108)	120	122	124	125	125	125	125		
5,0			(115)	130	134	136	138	138	138	138	138	
5,5				(139)	145	147	151	151	151	151	151	151
6,0				(148)	155	158	163	164	164	164	164	164
6,5				(156)	(164)	168	175	177	177	177	177	177
7,0				(163)	(173)	178	187	189	190	190	190	190
7,5				(170)	(181)	187	199	202	203	203	203	203
8,0					(189)	(196)	211	214	215	215	215	215
9,0					(203)	(212)	233	239	240	241	241	241

TABLEAU C

Valeurs de crête des tensions disruptives en kilovolts
entre deux sphères isolées

pour tension { alternative de fréquence industrielle
de choc
continue

Ecartement des sphères (cm)	Diamètre des sphères (cm)											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05	2,4											
0,1	4,4											
0,15	6,3											
0,2	8,2	8										
0,3	11,6											
0,4	14,9	14,3	14,2									
0,5	18,1			16,9	16,7	16,5						
0,6	21,2	20,4	20,2									
0,7	24,1											
0,8	26,9	26,4	26,2									
0,9	29,5											
1	32	32,2	32	31,6	31,5	31,3	31					
1,2	(36,7)	37,8	37,6									
1,4	(41,2)	43,3	43,2									
1,5				45,8	45,7	45,5	45					
1,6		48,5	48,6									
1,8		53,5	53,9									
2		58,3	59	59,3	59,4	59,2	59	58	58			
2,2		62,8	63,9									
2,4		67,3	68,6									
2,5		69,4	70,9	72,4	72,6	72,9	72			71		
3		(79,3)	81,8	84,9	85,4	85,8	86					
3,5		(88,3)	(91,8)	96,5	97,7	98,4						
4			(101)	107	110	111	113	112	112			
4,5			(109)	118	121	123						
5				128	132	134	138			137	137	137
5,5				(137)	142	145						
6				(146)	152	155	162	164	164			
6,5				(155)	(161)	165						
7				(163)	(170)	175	185					

CORRECTION DE DENSITE DE L'AIR :

Dans des conditions d'ambiance différentes des conditions normales (20 ° c et 1013 millibars), les valeurs de tension de crête pour un écartement donné, sont obtenues en multipliant les valeurs des tableaux A et B précédents par un facteur de correction K, fonction de la densité relative d de l'air.

On calcul cette densité d'après la formule [3]

$$d = \frac{1013}{273 + t} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} = 0,289 \frac{b}{273 + t}$$

$$d = 0,289 \frac{b}{273 + t}$$

Où b est la pression atmosphérique exprimée en millibars et t la température en degrés Celsius.

En pratique b est souvent exprimé en millimètre de mercure. Si cette indication est donnée par un baromètre anéroïde, la formule à employer est la suivante [3] :

$$d = \frac{b}{760} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} = 0,386 \frac{b}{273 + t}$$

$$d = 0,386 \frac{b}{273 + t}$$

La relation entre la densité de l'air d et le facteur de correction k est donnée par le tableau... [3] :

d.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
K.	0,72	0,77	0,82	0,86	0,91	0,95	1,00	1,05	1,09	1,13

HUMIDITE.

La tension d'amorçage d'un éclateur à sphères augment avec l'acrosissement de l'humidité de l'air. Quantitativement, cette influence est mal connue, mais il ne semble pas qu'elle soit supérieure à 2 ou 3 % dans les limites extrêmes des valeurs d'humidité que l'on rencontre normalement dans les laboratoires. A cause de cette incertitude aucune ne peut être indiquée actuellement pour ce facteur de correction d'humidité.

L'éclateur à sphères peut donc être remplacé par d'autres dispositifs de mesure pour autant que leur précision puisse être vérifiée par l'atalomage, à cause de son encombrement et de son imprécision.

Cette solution est d'ailleurs inévitable pour des tensions supérieures à 2 MV environ qui ne peuvent être mesurées à l'aide de l'éclateur à sphères.

b/ DIVISEUR CAPACITIF (VOLTMETRE DE CRETE)

Dans les laboratoires à haute tension on utilise plus fréquemment un diviseur de tension capacitif qu'un éclateur à sphère parce qu'il permet de mesurer la tension de façon continue et avec plus grande précision, sans tenir compte des conditions d'ambiance. Avec un diviseur capacitif on peut mesurer soit les valeurs efficaces soit les valeurs maximales soit les deux, en fonction du schéma adopté. Dans la figure 4 est présentée un schéma donnant la possibilité de mesurer simultanément la valeur efficace et la valeur de crête des tensions alternatives.

B.1 MESURES.

La mesure de la valeur de crête d'une tension alternative peut s'effectuer de deux façons différentes suivantes :

a/ Par la mesure de la moyenne arithmétique du courant d'écoulement précédemment redressé.

b/ Par la mesure de la valeur de crête de la tension alternative au secondaire d'un diviseur de tension.

A la suite nous donnons une explication théorique de mesure de tension de crête par ces deux méthodes.

a/ Mesure de la tension de crête par la méthode de mesure de la moyenne arithmétique du courant d'écoulement précédemment redressé.

Pour leurs recherches sur le spintermètre, CHUBB et FORTESCUE utilisent une méthode comparative. Le principe de la méthode consiste à faire passer le courant traversant le condensateur C dans une direction à travers le galvanomètre G, dans l'autre direction à travers un contact synchronisé avec la tension alternative U, figure 1 la déviation de G correspond au courant redressé et pulsant.

$$I = \int_{u=S_-}^{u=S_+} C \frac{du}{dt} dt = \gamma C (S_+ - S_-)$$

$$I = \sqrt{2} C (S_+ - S_-)$$

γ = fréquence de U

S_+ = valeur de crête positive

S_- = valeur de crête négative

La commutation du contact doit se faire à l'instant où le courant C est nul $S_+ = -S_-$

Les ondes de tension peuvent être supposées symétriques c'est à dire sans harmonique de l'ordre pair, donc $S_+ = -S_- = S$ d'où

$$I = \sqrt{2} C (S_+ - S_-) \text{ donc } S = \frac{I}{2\sqrt{2} C}$$

$$S = \frac{I}{2\sqrt{2} C}$$

La mesure de la valeur de crête est transformée en la mesure d'un courant continu. Pour la détermination de la valeur de crête, il faut connaître aussi la capacité C et la fréquence .

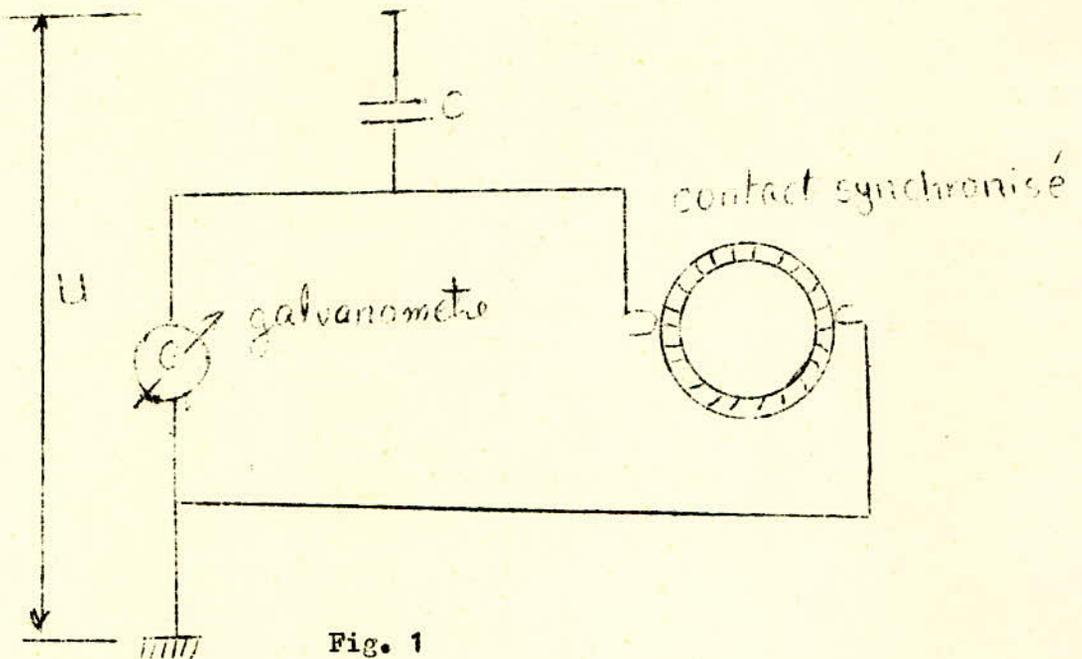


Fig. 1

Le contact synchrone étant trop compliqué, son entretien difficile et la nécessité de contrôler à chaque mesure de phase de la commutation, nécessite la mise au point d'un dispositif redresseur plus simple.

b/ Mesure de la valeur de crête de la tension alternative au secondaire d'un diviseur de tension capacitif. Ce système utilise un circuit de mesure avec redresseur. Il est indépendant de la fréquence.

on a le schéma.

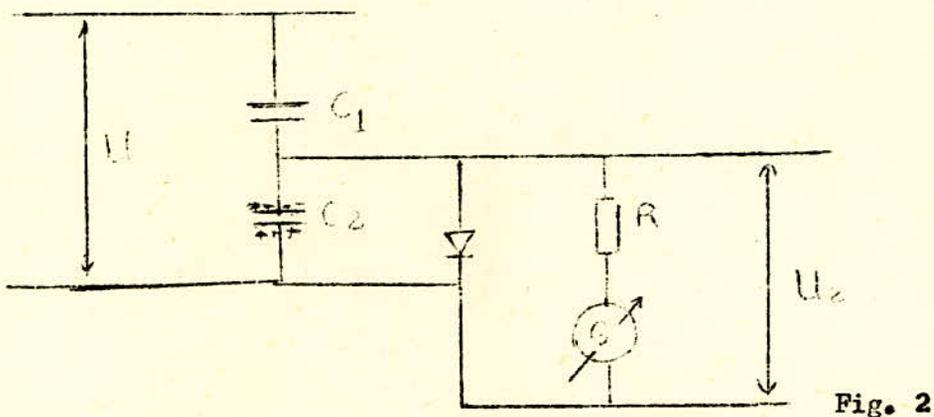


Fig. 2

Le courant dans le galvanomètre G est négligeable, dans la tension $U_2 = 0$. Cette tension U_2 aux bornes de C_2 se déduit de la tension U selon la loi du diviseur capacitif, avec la condition $U_2 = 0$ car le redresseur ne permet pas d'avoir aux bornes de C_2 des tensions positives.

On suppose à $t = 0$ comme condition initiale $U(t) = +S$ d'où $U_2(0) = 0$

La tension U_2 à $t = 0$ s'écrit :

$$U_2(t) = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U(t) - \frac{C_1}{C_1 + C_2} S \text{ donc } U_2(0) = 0$$

Le galvanomètre mesure la valeur moyenne M de la tension :

$$M = \frac{1}{P} \int_0^P U_2(t) dt$$

$U(t)$ est une fonction périodique qui peut être représentée en série de Fourier suivante :

$$U(t) = n \sum_0^{\infty} a_n \cos(2n + \pi) S t$$

Qui est la forme la plus générale de toutes les tensions alternatives que l'on trouve pratiquement. Pour la déviation M du galvanomètre on obtient

$$M = \frac{1}{P} \int_0^P U_2(t) dt = -\frac{C_1}{C_1 + C_2} S$$

Cette expression est indépendante de la fréquence.

On utilise de grandes capacités de mesure afin de limiter les sources d'erreurs dues à la consommation inévitable du galvanomètre.

Pour mesurer la valeur crête et la valeur efficace simultanément on a en appliqué le schéma suivant :

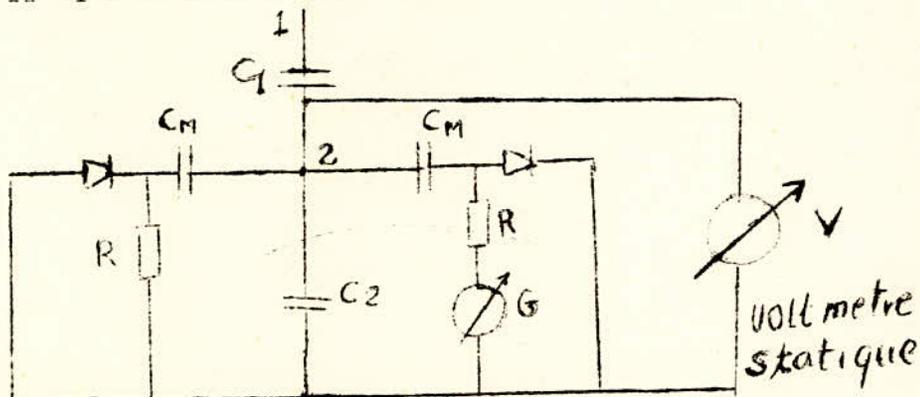


Fig. 3

Au point 2 du diviseur capacitif les condensateurs de mesure C_M sont en série avec les éléments redresseurs. Le galvanomètre G mesure la valeur de crête, le voltmètre statique V mesure la valeur efficace.

b.2 CONSTRUCTION DU VOLTMETRE DE CRETE.

Le voltmètre de crête est composé selon le schéma de principe Fig.4 d'un condensateur HT et de 1^{re} unité de mesure secondaire. Le condensateur HT se compose d'éléments plats et divisé en unité de 300 kV à 400 pF. Chaque unité possède une boîte de dilatation qui compense les variations de volume de l'huile dues aux changements de température. Les flasques des unités de condensateurs sont couverts d'écrans en stratifiés de polystère munis d'une couche conductrice. Le diamètre de l'écran sphérique du côté haute tension est déterminé en fonction de la tension nominale : 900 mm ϕ pour 600 kV; 1200 mm de diamètre pour 900 et 1200 kV.

La partie haute tension est posée sur un socle, pour les tensions nominale jusqu'à 600 kV, muni de galets de roulement. La partie centrale en forme de cylindre contient le raccordement coaxiale, un fusible au néon S, une partie de la capacité secondaire ainsi que d'une self d'amortissement L. Celle ci assure une décharge apériodique de condensateurs en cas de court circuit. L'unité de mesure est raccordée à l'autre bout de cable Fig.(4).

Les condensateurs C_M sont chargés par l'intermédiaire des diodes redresseur. Les diodes sont faites en silicium. Les résistance R_G évitent les surcharges des diodes.

La tension appliquée à C_K est purement alternative (mesurée par V)

Le galvanomètre est un instrument à spot lumineux, à cadre suspendu par fil tendu. Il mesure la valeur crête multipliée par $\frac{1}{\sqrt{2}}$ et atteint la pleine déviation 150 divisions du spot lumineux à 12 μ A

La tension U_G qui apparait aux bornes de la résistance R_G et du galvanomètre G répond à la formule :

$$U_G(t) = \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_K} \times (U(t) - U')$$

La valeur moyenne U_{GM} de $U_G(t)$ est proportionnelle à la valeur de crête U' d'après

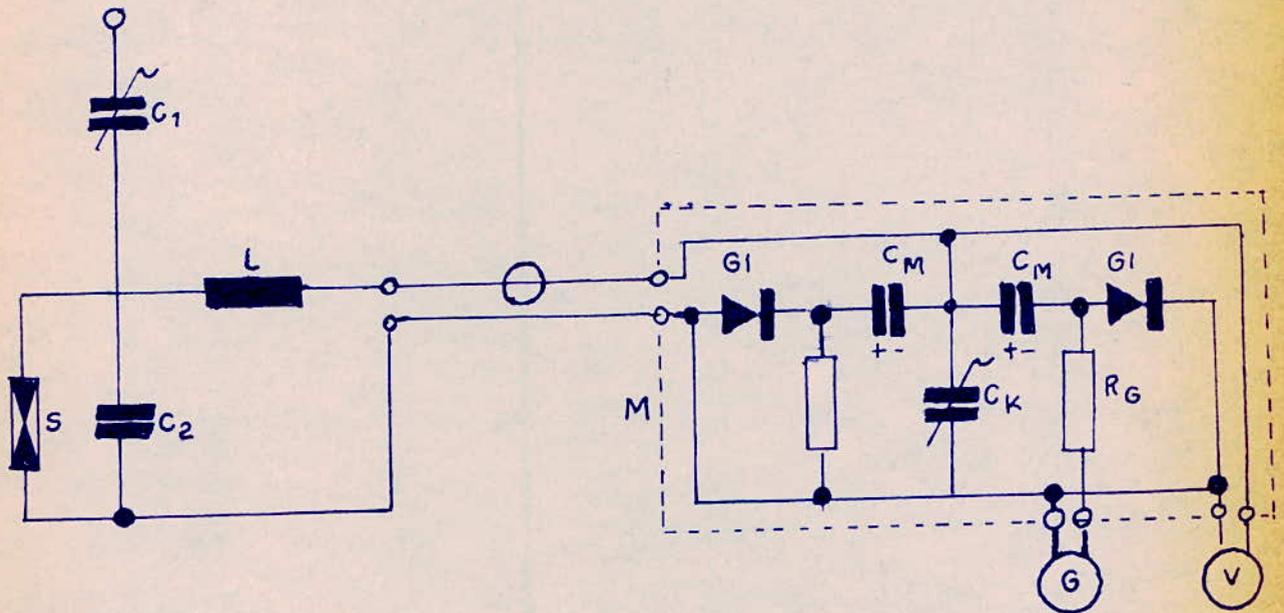
$$U_{GM} = - \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_K} U'$$

L=Self

S:Fusible au néon

M:Bloc de mesure

$C_1; C_2$ Diviseur capacitif



SCHEMA DU VOLTMETRE DE CRETE (d'après HAEPELY)

U_{GM} est mesurée par le galvanomètre **G**

Le voltmètre statique est également un instrument à spot lumineux avec la pleine déviation de 150 divisions à la tension efficace de 150 V, doit montrer la même déviation que le galvanomètre. La tension indiquée est.

$$U = U' \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_K}$$

où U' : Valeur de crête de la tension alternative à mesurer $\hat{U}(t)$.

L'étalonnage se fait en ajoutant au galvanomètre un shunt approprié qui rend la déviation galvanométrique égale à la déviation du voltmètre statique.

Le voltmètre de crête possède selon sa tension nominale 3 à 4 portées de mesure, dont les tensions maximum devraient si possible former une progression géométrique de raison 2, par exemple : 150, 300, 600, 1200 kV. Pour des voltmètres de crête dont la tension nominale ne dépasse pas 600 KV, la commutation des portées se fait uniquement du côté basse tension, en ajoutant les condensateurs parallèles à la capacité secondaire par un commutateur. Pour des tensions nominale plus grandes, on utilise un système mixte: jusqu'à 600 kV les condensateurs supérieurs sont court-circuités jusqu'à la portée de 600 kV et la commutation se fait du côté secondaire; pour 900 kV et 1200 kV on ouvre le court-circuit et branche une respectivement deux unités de 300 kV en série.

La valeur de la capacité secondaire ne varie plus en théorie, en pratique, des condensateurs d'ajustage doivent être ajoutés, en raison de la grande influence de la capacité de fuite de la colonne de condensateur 900 kV et 1200 kV sur le rapport du diviseur capacitif.

On doit prendre des précautions aussi pour les distance suffisantes entre objet à essayer, transformateur d'essai, parois du laboratoire et diviseur.

Nous indiquons des distances de sécurité minimales entre le diviseur et les objet mises mis à la terre.

Tension nominale k V _{eff} .	150	300	600	900	1200
Distance (m)	0,6	1,2	2,4	3,6	4,8

Le respect de ces distances permet de garantir en règle générale pour chaque plage de mesure une erreur de mesure absolue inférieure à 1% de la déviation maximum de l'instrument.

Outre les positions de mesure, le commutateur possède deux positions de contrôle, permettant de surveiller le courant inverse des diodes au silicium.

On applique d'abord la tension sur le diviseur, le commutateur étant branché à la portée la plus basse. La déviation au voltmètre statique ne doit pas dépasser sans division ($2/3$ de la déviation totale) puis on enclanche les circuits de contrôle l'un après l'autre. Les condensateurs C_M sont déchargés par le courant inverse des diodes et, simultanément la tension aux bornes de C_M est mesurée par le voltmètre statique, dont la déviation augmente alors de $\sqrt{2}$. Le temps de décharge de C_M doit dépasser 10 secondes pour une tension de 150 V. Les diodes défectueuses déchargent C_M si rapidement qu'il n'a plus de tension après la commutation des positions de contrôle.

I. 5. LES PUPITRES DE COMMANDE ET DE CONTROLE POUR LES STATIONS A FREQUENCE INDUSTRIELLE ET PROTECTION DE L'ALIMENTATION :

Ils comprennent tous les organes nécessaires à la commande et au contrôle de l'installation. Du fait de la puissance traversante importante, les transformateurs de réglage et contracteurs ou disjoncteurs sont installés à part et commandés à distance.

Les instruments de mesure installés dans un tel pupitre sont destinés pour mesurer la tension et le courant de la puissance au secondaire du transformateur du réglage. On peut aussi déterminer le facteur de puissance de l'alimentation. Le bloc de mesure du voltmètre crête peut aussi être monté dans le pupitre.

Généralement un pupitre de commande dispose aussi d'un système de signalisation permettant de protéger les opérateurs afin qu'ils ne s'approchent pas du champ d'essai.

PROTECTION DE L'ALIMENTATION.

Dans un laboratoire à haute tension, un dispositif de protection général est indispensable.

Cette protection se fait à l'aide d'un contacteur principal équipé par les relais qui intervient en cas d'un court-circuit d'une surcharge et au cours de surtension ou d'un défaut quelconque. Il sert aussi à l'établissement et à la coupure de la tension.

Un exemple d'une solution moderne pour la protection générale est donné dans le paragraphe du chapitre II.

I. 6. DIFFÉRENTES INSTALLATIONS AUXILLIARES.

Aux équipements principaux du laboratoire HT d'écrit précédemment peut s'ajouter différentes installations et équipement auxilliaire tel que :

La cuve à huile, installation de la pluie artificielle, les traverses murales et d'essais, le pont

Dans la suite nous donnons quelques détails concernant seulement les essais sous pluie artificielle, alors que les autres installations auxilliaires ne sont que citées.

I.6. GENERALITES :

a- La cuve à huile :

Elle est necessaire pour l'essai de l'objet fonctionnant en partie ou en totalité dans un bain d'huile. Généralement elle est encastrée dans le sol du laboratoire pour des essais en température élevée en chauffage est utile.

Un couvercle étanche facilite l'aspersión par pluie artificielle de l'objet d'essai.

b- Les traversées murales et d'essais :

Le passage de la haute tension de l'intérieur du laboratoire se fait à l'aide des bornes de traversées. Elles permettent aussi de pénétrer dans un local climatisé ou une cuve à l'huile.

Ces traversées sont faits soit en papier bakérisé, soit en papier imprégné d'huile et sont généralement munies de couches de condensateurs pour le guidage de la répartition du potentiel. Les pertes d'électriques et un niveau d'ionisation faible jusqu'à la tension de service maximum caractérisent ces traversées murales.

c- Pont de Schering :

La mesure des capacités et de leurs angles pertes aux tension et fréquence de service usuelle par la comparaison avec des condensateurs étalon, se fait à l'aide d'un pont de Schéring. Il convient à l'essai de câbles d'isolateur de matériel isolant à haute tension de transformateur, etc...

L'installation complète comprend : un pont de mesure, condensateur étalon à facteur de perte peu élevé, un régulateur de potentiel, un indicateur électronique de zéro et dans certains cas particuliers d'un shunt extérieur.

I. 6-2. INSTALLATION SOUS PLUIE ARTIFICIELLE ET SON UTILISATION

La Rigidité diélectrique des isolateurs de lignes aériennes et de postes en plein air diminue considérablement quand il pleut l'essai de rigidité diélectrique sous pluie, par conséquent un critère important pour juger de la qualité de ce matériel. Cette essai doit répondre aux exigences correspondant aux Recommandations de la Commission Electrotechnique Internationale suivantes:

- 1- La résistivité de l'eau utilisée doit être de 9000 à 11000 $\Omega \cdot \text{cm}$
- 2- L'objet en essai doit être exposé à une pluie artificielle d'une intensité de 3 mm/min.
- 3- La pluie doit atteindre l'objet en essai avec une incidence de 40 à 50° par rapport à la verticale.
- 4- L'objet en essai doit être préalablement soumis à pluie durant 5 min.

Ces dispositions doivent subir deux corrections. Premièrement, il est nécessaire d'admettre une tolérance 10 % sur l'intensité prescrite de 3 mm/min. car il n'est pas possible de construire une installation de pluie artificielle capable de maintenir cette intensité sur toute la surface exposée et durant toute la durée de l'essai.

Deuxièmement, il est nécessaire de mesurer la composante horizontale de la pluie incidente et sous la composante verticale ensuite de fixer l'intensité à 2,2 mm/min. $\pm 10\%$ car les jets d'eau qui doivent atteindre l'objet en essai avec une incidence de 40 à 50° est difficilement réalisable.

Malgré ces modifications, les conditions d'essai ne sont pas encore suffisamment définies. La grosseur de gouttelottes et l'impulsion acquise par le jet d'eau (produit masse par vitesse) ont également une influence sur les résultats de mesures. Pour éliminer l'influence de ces facteurs, dont la détermination et le contrôle sont pratiquement impossibles, c'est à dire pour obtenir des résultats de mesures comparables et reproductibles il est indispensable que ces essais soient exécutés dans tous les laboratoires, au moyen de l'installation construite selon les mêmes principes. Cela exige la détermination d'une installation normalisée, aménagée de telle sorte qu'elle permette de maintenir sur tout le plan d'aspersion et pendant toute la durée de l'essai l'intensité et l'angle d'incidence prescrits.

Ces conditions n'étaient pas remplies par les installations utilisées jusqu'ici et les essais exécutés avec ces dernières donnaient des résultats très inégaux.

-a- CHOIX DU GICLÉUR

Cet état de chose peu satisfaisante a motivé la mise au point de l'installation de pluie artificielle à gicleur capillaire. Les résultats les plus favorables furent obtenus avec ce gicleur capillaire. La construction d'un tel gicleur Fig. (1) peut être précise, la nature du jet est parfaitement reproductible, la grosseur des gouttelottes est analogue à celle des gouttes de pluie et la dispersion de l'angle d'incidence est beaucoup plus faible.

Le gicleur est fixé, de préférence, dans un support à rotule afin de pouvoir diriger le jet aussi bien latéralement, que verticalement. Fig. (2)

Lors de la fabrication de gicleurs munis de support à rotule, il faut veiller à ce qu'il soit parfaitement concentriques et exactement pareils entre eux, sinon la trajectoire du jet risquerait d'être modifiée lorsqu'on tourne le gicleur (pour améliorer l'ajustage bloqué léger) ou qu'on le remplace (en cas d'encrassement).

L'ajustage entre le tube répartiteur et la rotule doit être soigneusement rectifié, afin d'assurer une bonne étanchéité.

-b- LA NATURE DU JET.

Le débit Q d'un gicleur dépend de la surpression p . La Fig. 3 représente la variation du débit en fonction de la surpression pour le gicleur de 0,5 mm d'ouverture.

La courbe change d'allure à partir d'une surpression d'environ 1Kg/Cm²; C'est le moment où l'écoulement laminaire se transforme en écoulement turbulent. Ce moment de transition doit être évité en service car, malgré une pression pratiquement constante de brusques modifications peuvent se produire dans la trajectoire du jet.

La portée l (en m) d'un jet dépend également de la surpression p . Pour une distance de 4,4 m entre le gicleur et l'objet en essai la surpression doit atteindre par exemple 1,4 Kg/Cm² pour que le jet atteigne l'objet sous un angle de 45°.

La Fig. (4) indique la variation de la portée en fonction de la surpression, en admettant que le jet sort horizontalement du gicleur c'est à dire que l'angle d'élévation est de 0°. Accroissement encore plus fort de la surpression ne fait guère augmenter la portée.

-c- LA HERCE DE GICLEUR.

Selon les dimensions de l'objet en essai, il y a lieu de combiner un certain nombre de gicleurs de façon que leurs jets produisent sur toute la surface de l'objet une pluie aussi uniforme que possible avec l'intensité horizontale désirée de 2,2 mm/min.

Les jets doivent atteindre le plan de mesure avec les écartements latéraux d'environ 10 Cm et des écartements verticaux d'environ 45 Cm c'est à dire que les gicleurs doivent être répartis tous les 10 Cm horizontalement et à 45 Cm les uns au dessus des autres. Avec des jets disposés en éventail, les distances latérales entre gicleurs peuvent être réduites. Cependant, pour l'uniformité de l'incidence, il est par contre nécessaire de maintenir la distance verticale à 45 Cm.

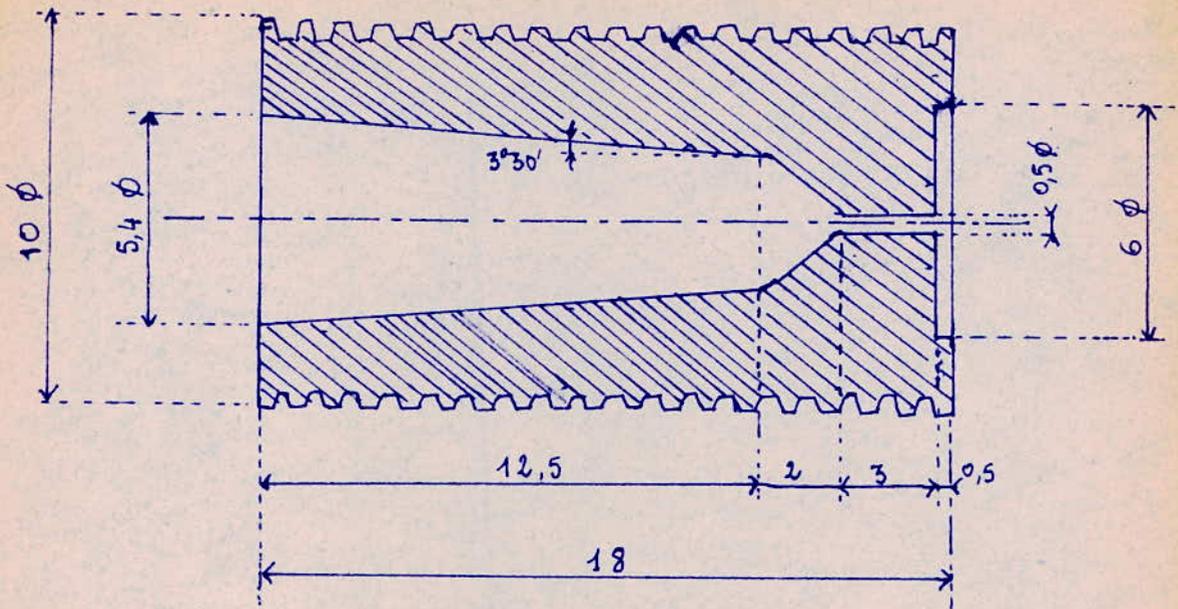


Fig 1

Gicleur capillaire (Cotes en mm)

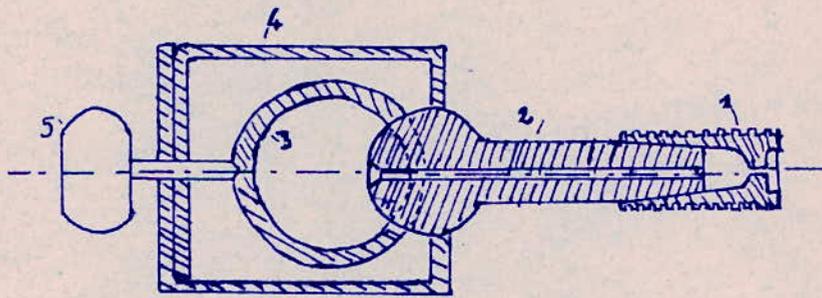


Fig 2

Dispositif de fixation et d'ajustage d'un gicleur capillaire

1. gicleur capillaire; 2 support à rotule; 3 tube repartiteur; 4 étrier de serrage; 5 vis de fixation

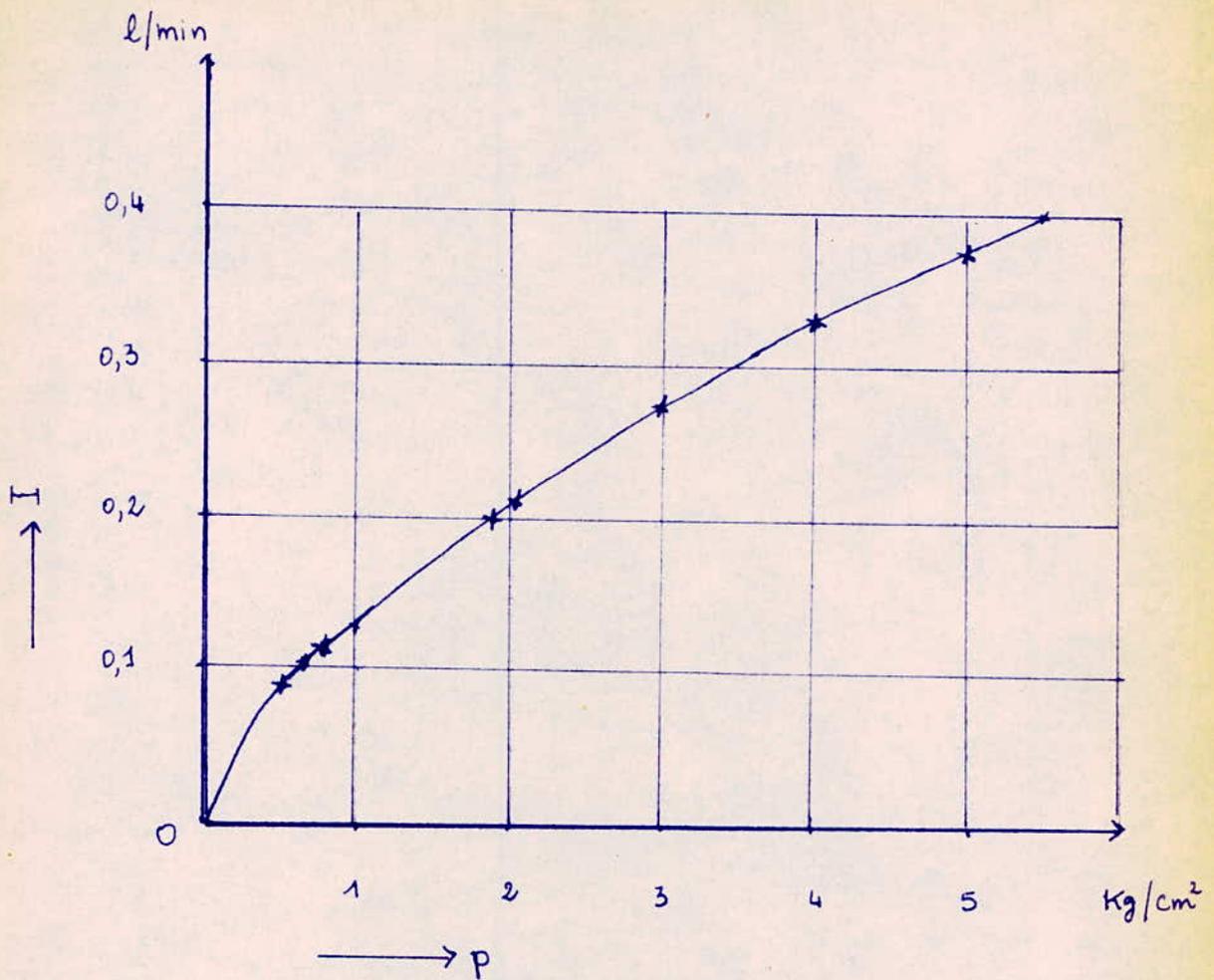


FIG 3

Débit I d'un gicleur capillaire de 0,5mm d'ouverture en fonction de la surpression p

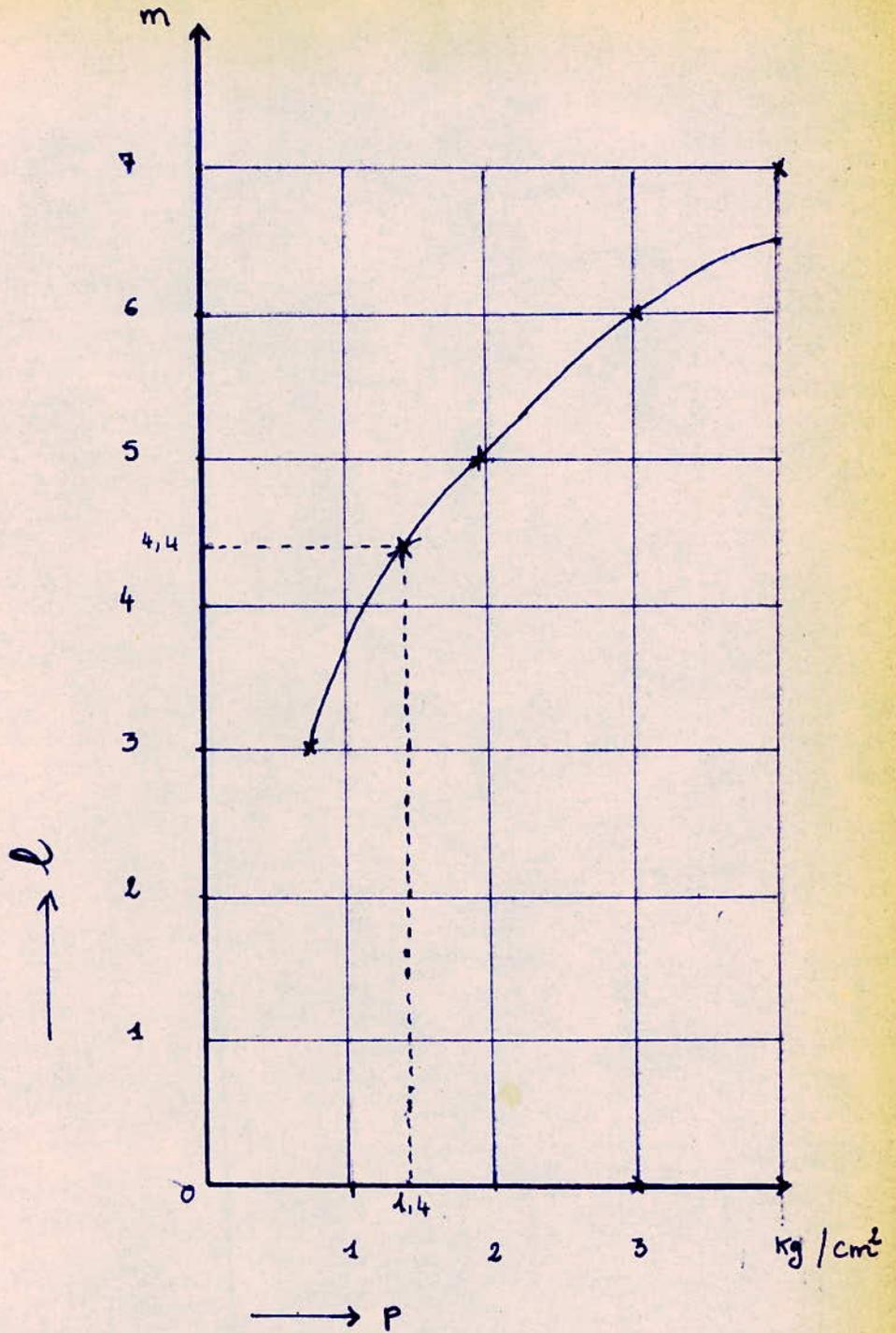


Fig 4
 Portée l du jet d'un gicleur de 0,5mm d'ouverture
 en fonction de la surpression p .

Dans l'installation aménagée qui comporte une herse de gicleurs, les tubes répartiteurs horizontaux sont fixés sur la colonne montante à une distance de 45 Cm les uns des autres. Sur les rampes, les gicleurs sont tenus à 5 Cm de distance au moyen de leur étrier. Les jets sont dirigés en éventail, afin d'obtenir l'écartement désiré d'environ 10 Cm sur le plan de mesure. Chaque rampe ainsi constituée et désignée sous le nom d'étage.

Une herse à 6 étages de 10 gicleurs permet d'aspérer un objet ayant au maximum 100 Cm de largeur et de 270 Cm de hauteur, avec une intensité horizontale de 2,2 mm/min.

Pour des objets plus larges on utilisera plusieurs herses côte à côte et pour des objets plus haut, plusieurs herses les unes au dessus des autres. En raison de la pression statique de l'eau, qui influence inégalement la portée des jets, la constitution d'une seule herse à plus de 6 étages n'est possible qu'en prévoyant plusieurs zones de pression. Les différences de portées des jets de différents étages sont particulièrement notables aux faibles pressions E_n outre pour des raisons pratiques, il n'est guère recommandable de prévoir un plus grand nombre de gicleurs par étage ou d'étages par herse.

Lors d'essai de rigidité diélectrique sous pluie, il se produit un phénomène qui oblige à munir d'écrans grillagés les différents étages de la herse. Dans le champ alternatif, la dispersion du jet n'est en effet pas la même qu'avec des objets qui ne sont pas sous tension. Ce phénomène se caractérise par le fait que dans le champ électrique, le jet demeure concentré sur un plus grand parcours.

La dispersion s'opère en gouttelettes plus grosses et la trajectoire du jet est moins arquée. De ce fait l'intensité locale de la pluie sur l'objet en essai se modifie. Cet effet peut être convenablement supprimé en aménageant un écran grillagé, mis à la terre, sur les 60 premiers Cm du jet. A la fin de cette zone, la formation des gouttelettes est pratiquement terminée. Cependant le champ électrique de l'objet en essai peut influencer la trajectoire des gouttes. Il faut tenir compte de ce phénomène dépendant de la disposition de l'installation, lors de la mise au point de la pluie.

- d - INSTALLATION COMPLETE :

Elle comporte le ^{chassis} ~~chassis~~ supportant la herse à gicleurs, un gabarit pour le réglage des jets, les appareils de mesure et le dispositif d'alimentation en eau.

LE BÂTI.

Le bâti sert à supporter la herse à gicleur. Il doit avoir une hauteur telle que l'étage supérieur puisse être élevé au moins 6 m du sol. Il est préférable que le bâti soit monté sur roues. La herse doit pouvoir être suspendue à une hauteur quelconque du chassis. Il est recommandé de la suspendre à un câble passant sur des poulies situées au sommet du chassis et relié, à son autre extrémité, à un treuil à manivelle avec verrouillage ou frein.

A l'arrière du chassis se trouve un ménomètre M. Le filtre est aussi indispensable car il évite en crassement des gicleurs.

La construction du chassis et du dispositif de pluie artificielle doit permettre d'incliner la herse de la façon qui convient. Dans ce cas les gicleurs doivent être dirigés horizontalement, car l'inclinaison n'a pour but que d'échelonner les étages dans le sens de l'axe des jets, et l'angle d'incidence de 45° doit être maintenu.

- LE GABARIT :

Il sert à ajuster les jets, il se compose d'un cadre d'une hauteur d'environ 3 m, muni de lattes ou fils transversaux écartés de 45 Cm et portant des divisions en décimètres bien visibles. La herse à gicleur pouvant être déplacée dans le sens verticale, le gabarit n'a pas besoin d'être réglable. Il sera disposé à mi distance entre la herse et l'objet en essai, car à cet endroit la section des jets n'est pas encore trop grande.

MESURE DE L'INTENSITE DE LA PLUIE.

La composante horizontale de l'intensité de la pluie doit atteindre 2,2 mm/min. pour un angle d'incidence de 45° observé visuellement. Cet angle est contrôlé le plus simplement à l'aide d'une équerre à 45°. La mesure de la composante horizontale s'opère avec un récipient ayant la forme d'un parallépipède oblique fixé à un manche et déplacé uniformément, pendant un temps déterminé dans le plan de l'objet en essai dans la zone d'aspersion

des divers étages (45 Cm de hauteur), de manière à mesurer la quantité moyenne de pluie dans cette zone (le plan d'ouverture du récipient étant perpendiculaire à l'horizontale). Dans le cas considéré son ouverture est de 5 dm² . pour une durée d'observation de 30 s, la quantité d'eau captée doit être de 55 Cm³ pour l'intensité prescrite.

MESURE DE LA RESISTIVITE DE L'EAU UTILISE POUR L'ESSAI A PLUIE

Elle s'opère, dans le cas le plus simple, au moyen d'un récipient cylindrique en verre et de courant alternatif. Pour cette installation, la section de tube est de 8,4 Cm² et les électrodes sont écartées de 1,68 Cm, ^{à 220V et un courant de} pour une résistivité de 10000 Ω Cm et une tension de 10 mA, de sorte que l'instrument de mesure peut être directement étalonné en Ω Cm. Une autre solution consiste à ajouter un appareil de mesure de la résistivité de l'eau, dans la conduite près du manomètre, dans ce cas l'ohmètre indiquera d'un façon continue la résistivité de l'eau.

INSTALLATION D'ALIMENTATION EN EAU POUR L'INSTALLATION D'ESSAI SOUS PLUIE ARTIFICIELLE.

Elle doit fournir la quantité d'eau nécessaire. Il faut ajouter de l'eau distillée ou de l'eau de pluie en juste proportion si l'eau de conduite n'a pas la résistivité prescrite de 9000 à 11000 Ω Cm. Quand la résistivité de l'eau de conduite est très faible, et qu'il faut ajouter beaucoup d'eau distillée, il est recommandé de recueillir l'eau normale et de la filter, afin de pouvoir l'utiliser à nouveau.

- e- PLUIE FOURNIE PAR UNE HERSE DE GICLEURS.

Un champ à intensité uniforme ne peut être obtenu que par un écartement plus grand des jets des étages inférieurs, ce qui est réalisable sans modifier l'écartement des gicleurs en disposant les jets en éventail.

Dans le cas présent on a affaire à un champ superposé dont les écartements des jets des deuxième, Troisième et quatrième sont doublés, de sorte qu'il est préférable de doubler également la largeur de l'escalier, mais de réduire de moitié les hauteur des marches, car le courant d'eau total d'un gicleur n'est pas modifié. La superposition pour quatre étages a été établie dans le tableau 1. On constate que le système donne une répartition uniforme de l'intensité de la pluie de 2,2 mm/min. à l'objet en essai. Pour utiliser rationnellement l'eau normale, le champ d'aspersion d'objet plus

petits sera réduit à la valeur nécessaire en mettant hors service les gicleurs superflus.

Dans un champ uniforme de jets parallèles, constitué par exemple par 60 jets répartis en 6 étages de 10 gicleurs, espacés verticalement de 45 Cm et horizontalement de 10 Cm. Les jets sortent horizontalement et sont exactement parallèles entre eux.

Pour se faire une idée de la répartition des intensités de la pluie obtenue avec ce système on place côte à côte, 6 fois 10 escaliers de 10 Cm de largeur (correspondant à l'écartement des jets) et de 45 Cm de longueur de marche (correspondant à l'écartement entre les étages), puis on dispose ces 6 systèmes d'escaliers les uns au dessus des autres à des distances de 45 Cm . Le tableau (II) indique l'intensité horizontale moyenne qui en résulte pour les différentes rangées superposées.

Comme l'indique le tableau (II), l'intensité résultante dans la quatrième rangée atteint environ le double de l'intensité de la première rangée. A partir de la quatrième rangée, l'intensité demeure pratiquement constante. Dans les trois rangées supérieures une pluie homogène ne peut toute fois pas être obtenue avec un champ uniforme de jets parallèles.

CONCLUSION :

Cette installation satisfait aux exigences posées. Elle permet d'obtenir une pluie homogène et de maintenir les valeurs prescrites quelque soit la durée des essais ce qui est particulièrement important .

La construction des installations de ce genre est simple.

L'utilisation d'une installation de pluie artificielle à gicleurs capillaires, est recommandée, car les résultats des mesures effectuées avec des installations de ce genre dans des différents laboratoires d'essais sont réellement comparables et du fait que l'E.N.P. d'Alger ne possède pas une installation de pluie artificielle.

TABLEAU. I.

INTENSITE HORIZONTALE MOYENNE D'UN CHAMP AVEC INTENSITE HOMOGENE DE LA PLUIE.

Zones	Intensité provenant de la				Intensité résultante dans les différentes zones.	
	1er rampe de gicleurs (écartement des jets 10 Cm) mm/min.	2ème rampe de gicleurs (écartement des jets 20 Cm) mm/min.	3ème rampe de gicleurs (écartement des jets 20 Cm) mm/min.	4ème rampe de gicleurs (écartement des jets 20 Cm) mm/min.	Valeurs théoriques de la composante horizontale mm/min.	Valeurs mesurées de la composante horizontale mm/min.
1	2,2	-	-	-	2,2	2,1
2	1,1	1,1	-	-	2,2	2,2
3	0,55	0,55	1,1	-	2,2	2,1
4	0,27	0,27	0,55	1,1	2,2	2,2

TABLEAU. II.

INTENSITE HORIZONTALE MOYENNE D'UN CHAMP DES JETS PARALLELES

Intensité provenant de la							Intensités résultantes des différent Zones mm/min.
Zones	1er rampe de gicleurs mm/min.	2ème rampe de gicleurs mm/min.	3ém. Rampe de gicleurs mm/min.	4ém. Rampe de gicleurs mm/min.	5ém. rampe de gicleurs mm/min.	6ém. rampe de gicleurs mm/min.	
1	2,2	—	—	—	—	—	2,2
2	1,1	2,2	—	—	—	—	3,3
3	0,55	1,1	2,2	—	—	—	3,85
4	0,27	0,55	1,1	2,2	—	—	4,12
5	0,13	0,27	0,55	1,1	2,2	—	4,25
6	0,06	0,13	0,27	0,55	1,1	2,2	4,31

Equipements du laboratoire 300 kV, 50Hz de l'ENP Alger,
et mise en marche du laboratoire.

2. GENERALITE.

Dans ce chapitre nous donnons quelques renseignements sur l'équipement 300 kV, 50 Hz, installé au laboratoire de l'E.N.P.A, ainsi que des modifications que nous avons apportés par la suite nous donnons quelques résultats de mesure que nous avons effectué après la mise en marche du laboratoire 300 KV, 50 Hz.

A l'équipements du laboratoire 300 KV, 50 Hz de l'ENP Alger

2.1. ALIMENTATION ET PROTECTION GENERALE.

L'alimentation du laboratoire 300 KV, 50 Hz de l'ENP Alger se fait à partir d'un tableau général situé dans l'atelier de menuiserie.

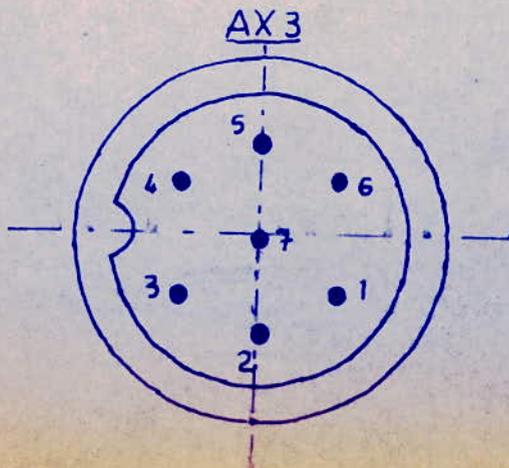
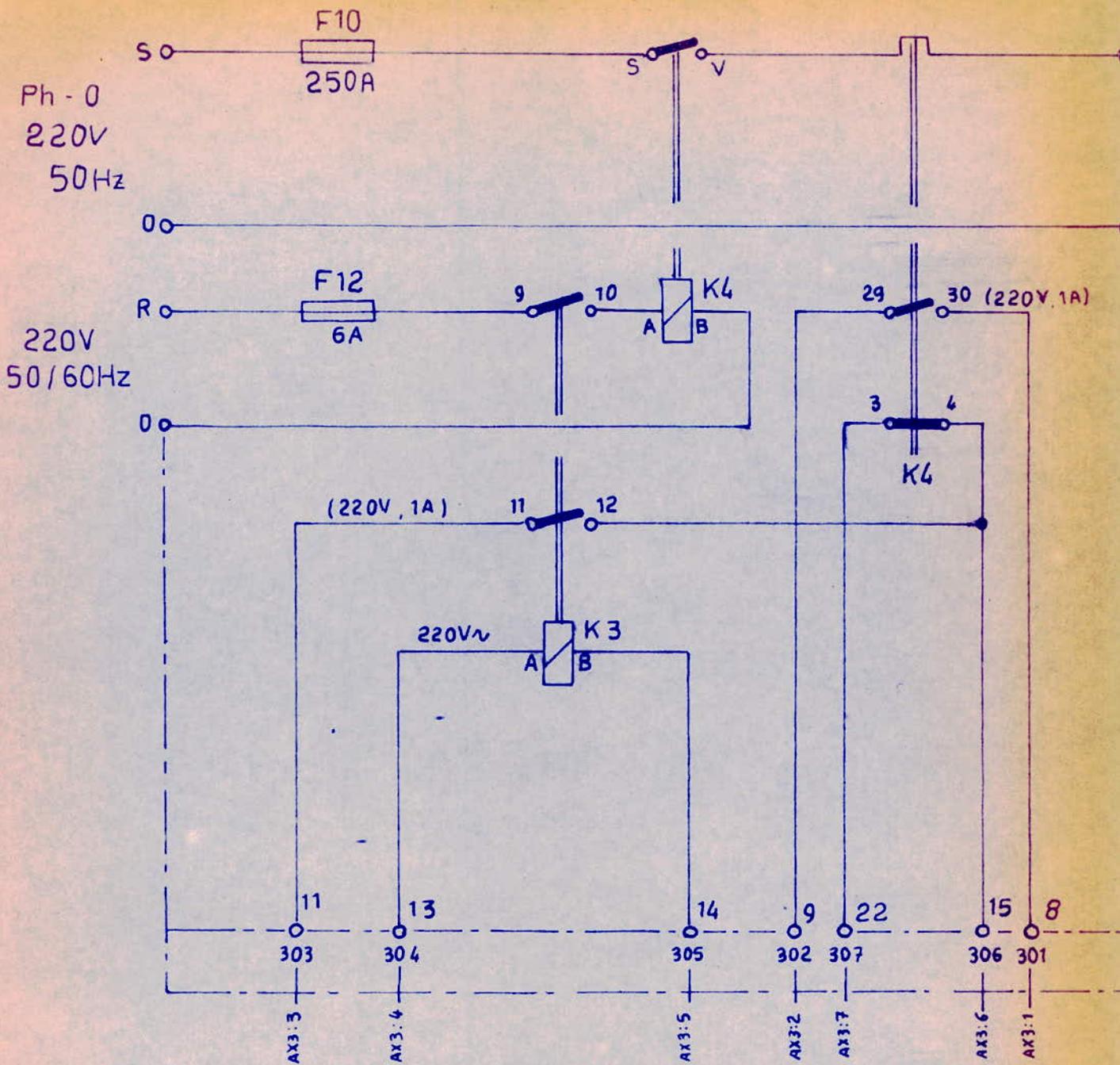
Ce tableau est alimenté par un transformateur dont les caractéristiques principales sont les suivantes:

- 1°) Puissance nominal 400 KVA
- 2°) Rapport de transformation 10.000/400 V.
- 3°) Fréquence 50 HZ.

L'alimentation du transformateur d'essais 50 kVA, 300 kV, 50 Hz est effectuée par la tension monophasée 220 V. Le câble de départ vers le transformateur de régulation est du type U 1000 R 12 H 4 x 50 mm². On utilise deux conducteurs pour la phase et deux pour le neutre ce qui veut dire que pour la charge nominale, on aura 2,5 A / mm².

La protection de ce câble est fait par un disjoncteur principal du tableau général. A.

Le Transformateur d'essai et son régulateur sont protégés indépendamment par un fusible et un relais thermique de 250 A. Ces projections sont liées avec le circuit d'alimentation de la bobine du contacteur principal, ce qui donne une protection suffisante contre les surcharges du transformateur et les courants de court-circuit. Le contacteur et les appareils de protection sont type HAEBELLY, ils sont installés dans une armoire se trouvant juste à côté du transformateur de régulation.



**CONTACTEUR PRINCIPAL
(HAEFLY)**

2.2. TRANSFORMATEUR DE REGULATION DE LA TENSION.

Le Transformateur de régulation installé au laboratoire HT de l'ENP Alger est du type transformateurs à curseurs que l'on a décrit dans le chapitre 1. Paragraphe 1.3.

Le transformateur de réglage est type monophasé d'une puissance de 50kVA et de rapport 220/500 V, 50Hz. Les autres caractéristiques du transformateur sont les suivantes:

- Tension de commande du moteur 220 V.
- Tension d'essai 50 Hz/1mm.
- Caractéristique à vide sous différentes tensions. (Voir tableau 1)

L'alimentation se fait par l'enroulement primaire à 50 Hz température 21°C. L'enroulement secondaire est court-circuité successivement aux positions 100,50 et 25% de 550 V. (Voir tableau 2).

- Rapport de transformation:

Mesure à 50 Hz à l'aide de deux volt mètres de précision (voir tableau 3).

- Résistances.

La température est 21°C.

Résistance de l'enroulement primaire 22 - 23:	4, 2 , 10 ⁻³ r
Résistance de l'enroulement secondaire u.v. :	10,95. 10 ⁻³ r

- Remarque:

Avec la commande électrique le temps de réglage de la position à "tension minimum " à la position " tension maximum " et vice versa est de 103 Secondes.

2.3. TRANSFORMATEUR A ESSAI 300 kV, 50 Hz.

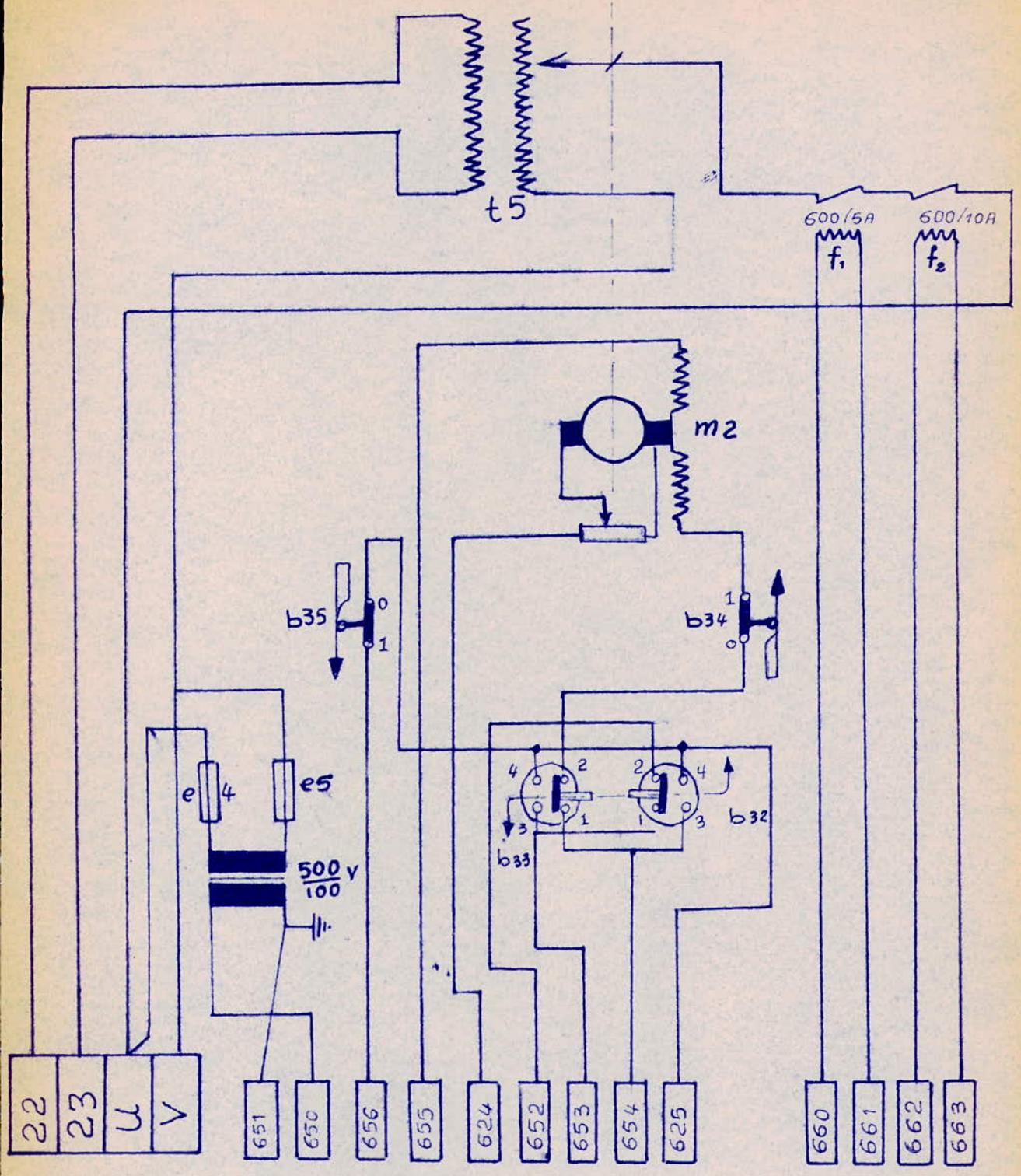
Ce transformateur d'essais installé au laboratoire de l'ENP Alger est un type cylindrique isolant qui est en papier stratifié. Ce cylindre est rempli d'huile.

Cet isolant sert d'enveloppe du transformateur et d'isolateur de la haute tension par rapport à la terre. La partie active se trouve dans l'huile (noyau de fer et les enroulements).

TRANSFORMATEUR de REGLAGE

TYPE ELRS 0,5/50

50 KVA



2-23 / Tens. d'essai 4KV
UV " de service 220/0-550V

Commande à distance
220 V ; 50 Hz

Tableau 1

Volts	Ampères	Watts	V.A	cosφ
50	0,233	9,2	11,65	0,788
100	0,388	31,6	38,8	0,815
150	0,554	66	83	0,795
200	0,788	117	158	0,740
220	0,960	140	211	0,654
250	0,965	182,5	241	0,758

Tableau 2

Couplage	KVA	Ampère	Volts	Watts	U _{act} %
220/550	50	227	7,85	576	3,56
220/275	25	113,5	9,04	494	4,10
220/137,5	12,5	58,75	8,80	433	4,0

Tableau 3

Position	Enroulement primaire		Enroulement second.		Rapport
	Bornes	Volts	Bornes	Volts	
Tension secondaire maximum	22 - 23	220	U-V	550	220/550
Tension secondaire minimum	22 - 23	220	U-V	0	220/0

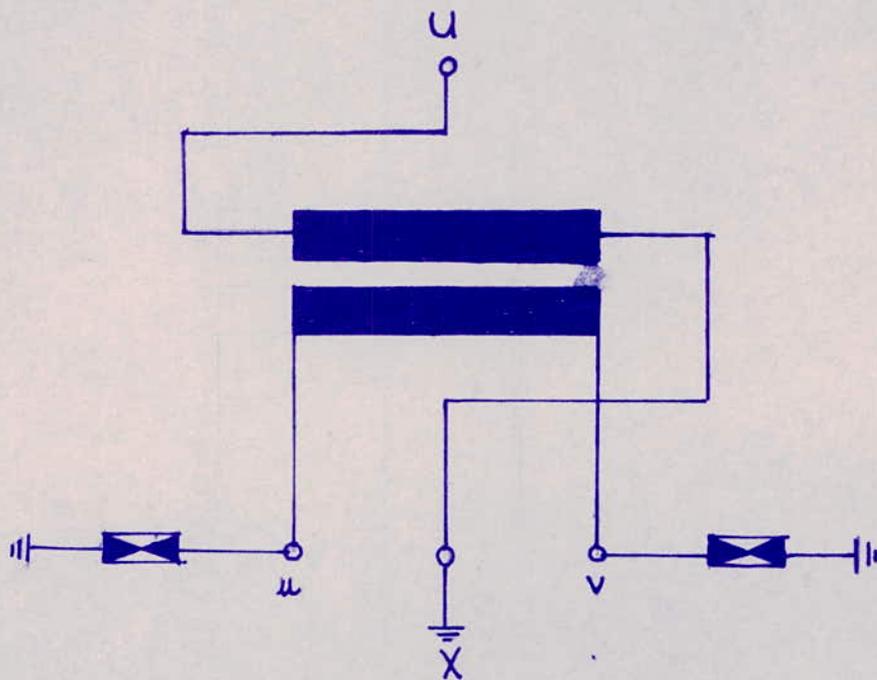
- T A B L E A U 4. -

Volts	Ampère	Watts	V.A.	cos φ
100	3,37	30	337	0,089
200	6,88	110	1376	0,080
300	10,25	240	3075	0,078
350	11,50	300	4025	0,075
400	11,70	450	4680	0,096
450	11,20	600	5040	0,119
500	10,80	800	5400	0,148

- T A B L E A U 5 -

Volts	Ampères	Watts	Tension de court-circuit %
27,3	100	660	5,46

Transformateur d'essais 300 kV (HAEFELY)



Enroulement H.T	Bornes	U-X
Enroulement B.T	Bornes	μ-ν

La partie supérieure du transformateur est recouverte d'un écran anti effluve. Un dessiccateur d'air au silicagel et un bouchon de remplissage muni d'une tige de contrôle du niveau d'huile sont montés; sous cet écran. La plaque de base en acier soudé est en outre équipée de:

- Prise d'échantillon d'huile
- Prise de terre.
- Plaque signalétique.
- protection contre les surtensions.

Les caractéristiques principales du transformateur sont les suivantes;

- Transformateur monophasé
- Rapport de transformation 500/300.000 V, Hz.
- Puissance pendant 8h par Jour. 50 kVA
- Puissance absorbée à vide Environ 10 kVA

Les autres caractéristiques du transformateur sont les suivantes:

- Caractéristiques à vide à 50 Hz.

L'alimentation se fait par l'enroulement B.T, l'enroulement HT est ouvert (voir tableau 4).

- Caractéristique en court-circuit à 50 Hz.

L'alimentation se fait par l'enroulement BT; l'enroulement HT est court circuit. (Voir Tableau 5).

- Résistance des enroulements.

Elles sont mesurées au pont de wheastones lt Thomson à la température de 25°C.

Résistance de l'enroulement HT	4893 Ω
Résistance de l'enroulement BT	0,0365 Ω

2.4. DISPOSITIF DE MESURE : (Diviseur capacitif)

Cet appareil est destiné à la mesure de la tension de crête de la tension efficace lors des essais. Il est constitué d'un condensateur HT. C_p et de quatre condensateurs BT (C_1, C_2, C_3 et C_4).

Le mode de connexion de ces condensateurs BT déterminent le calibre de cet appareil de mesure soit 75; 150; 300 kV.

Calibre	Capacité HT.	Capacité BT.
75 kV	C_p	$C_1 + C_2$ en parallèle
150 kV	C_p	$C_1 + C_2 + C_3$ en parallèle
300 kV	C_p	$C_1 + C_2 + C_4$ en parallèle

La valeur efficace de la tension ainsi réduite est mesurée par le voltmètre statique U_{eff} , tandis que la valeur crête est donnée par le microampèremètre à cadre mobile $U/\sqrt{2}$, mesurant la composante continue d'un des deux condensateurs C_k . Ces derniers sont chargés par les 2 diodes au silicium GRA et GRB , à la valeur de crête de la tension réduite.

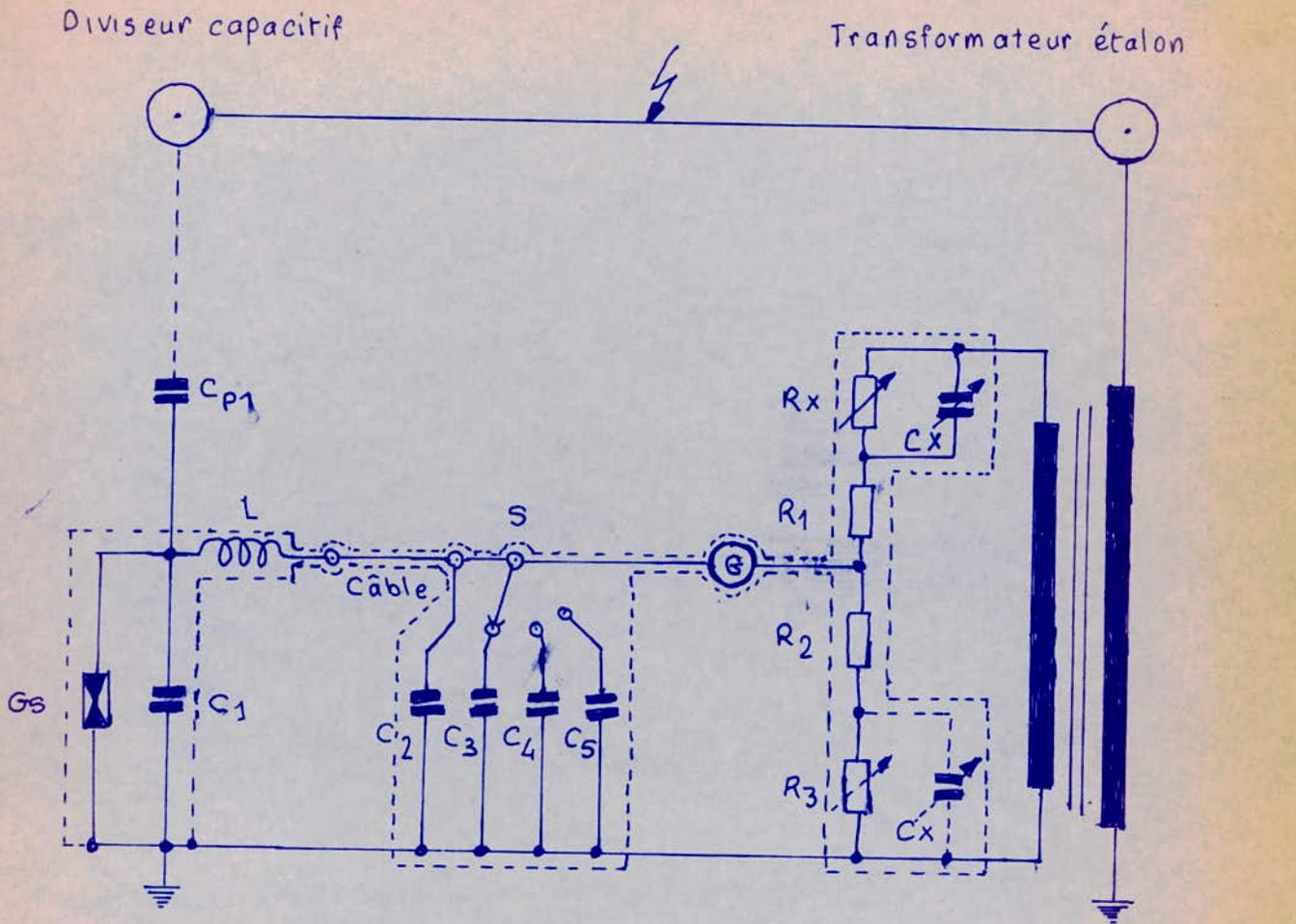
Le microampèremètre indique donc la valeur de crête de la tension à mesure, mais son échelle est étalonnée en valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$; c'est à dire en valeur efficace pour autant que la tension à mesurer soit parfaitement sinusoïdale. Dans ce cas et pour une tension donnée les 2 instruments U_{eff} et $U/\sqrt{2}$ indiquent exactement la même valeur.

Sur les positions A et B du commutateur S dispose sur le pupitre de commande, on a la possibilité de contrôler successivement l'état des diodes GRA et GRB . En effet sur ces 2 positions, les résistances de mesure R_A et R_B qui normalement déchargeraient assez rapidement des condensateurs C_k , sont hors circuit et le voltmètre statique U_{eff} indique alors la rapidité de décharge des condensateurs C_k au travers des diodes dans le sens arrêt.

Le Voltmètre de crête a des parties constitutionnelles suivantes;

- a Condensateur a haute tension.
- b Socle avec condensateurs BT.
- c Ecran anti effluve hemisphérique.
- Ecran.

Schéma pour l'ajustage du diviseur capacitif



Diviseur capacitif
Rapport

75000/150
150000/150
300000/150
600000/150
900000/150
1200000/150

Transformateur étalon
Rapport

30000/150
200000/400
200000/200
200000/100
200000/100
200000/100

Erreur %

+ 0,07
± 0,00
± 0,00
± 0,00
± 0,00
± 0,00

Pont de mesure

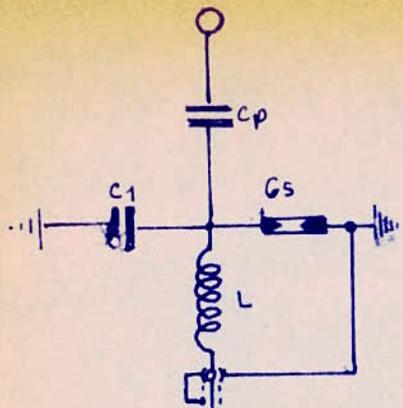
R₁ ohms R₂ ohms R₃ ohms

R ₁ ohms	R ₂ ohms	R ₃ ohms
14000	9000	1000
8000	9000	1000
9000	9000	1000
9000	9000	1000
13000	6000	1000
14000	4000	1000

$R_x = 1000$ Ohms Valeur théorique

$$\text{Erreur } \varepsilon \% = - \frac{(R_x - 1000) 100}{R_x + R_1 + R_2 + R_3}$$

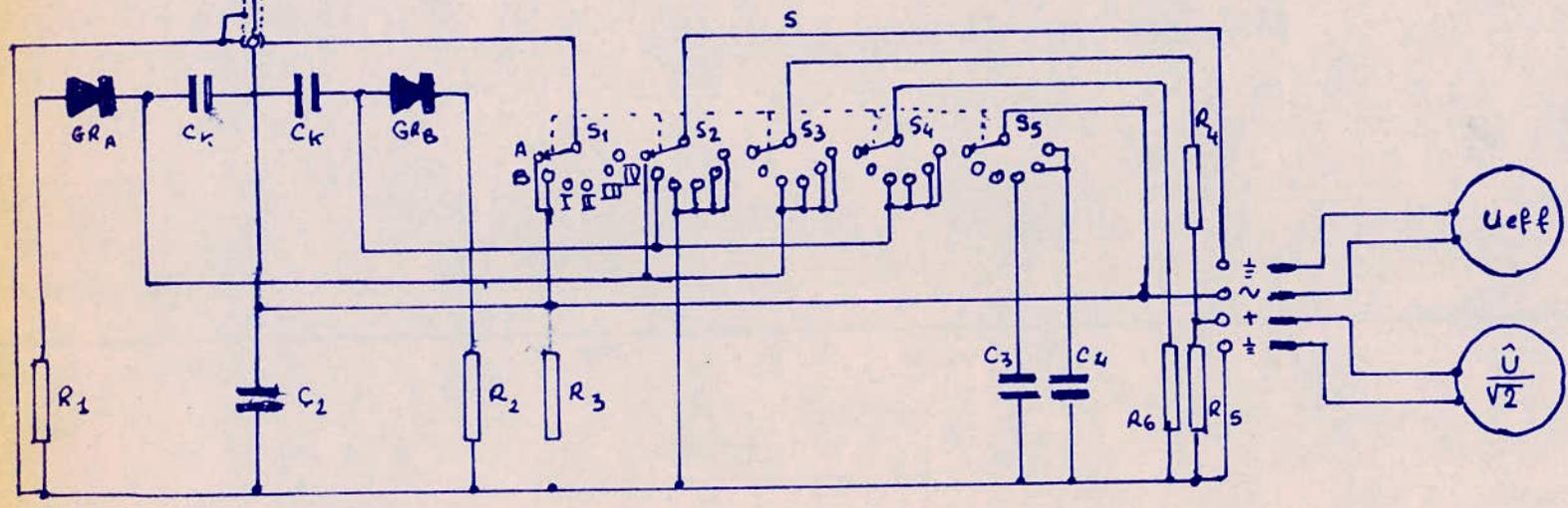
FIG 1



- $C_p: 430 \text{ pF}$
- $C_{K1}: 0,1 \text{ } \mu\text{F}$
- $C_1: 0,15034 \text{ } \mu\text{F}$
- $C_2: 0,06300 \text{ } \mu\text{F}$
- $C_3: 0,21877 \text{ } \mu\text{F}$
- $C_4: 0,62380 \text{ } \mu\text{F}$
- $C_{K2}: 0,1 \text{ } \mu\text{F}$

- $L: 121 \text{ } \mu\text{H}$
- $R_1: 470 \text{ } \Omega$
- $R_2: 470 \text{ } \Omega$
- $R_3: 5 \text{ M}\Omega$
- $R_4: 12 \text{ M}\Omega$
- $R_5: 1300 \text{ } \Omega$
- $R_6: 12 \text{ M}\Omega$

- S Commutateur
- A Diode A de Controle
- B Diode B de Controle
- I 75 kV
- II 150 kV
- III 300 kV



a- CONDENSATEUR A HAUTE TENSION C_p

Il est formé d'éléments en feuilles d'aluminium et papier imprégné d'huile monté dans un cylindre isolant en papier bakélinisé rempli d'huile fermé hermétiquement et muni d'un corps de dilatation métallique compensant les variations du volume d'huile.

- b SOCLE AVEC CONDENSATEURS BT.

En fer profilé soudé, contenant une partie de la capacité secondaire (BT). Un fusible en énon servant à la protection contre les surtensions. Une bobine d'amortissement protégeant le bloc de mesure en cas de décharge ainsi qu'un raccord coaxial pour le bloc de mesure muni de galets roulement.

- c. Ecran anti effluve.

Il est hémisphérique. Il est fait en laminé de polystyrene à surface métallisée placé à la partie supérieure du diviseur.

-d ECRAN.

Il est destiné à recouvrir les brides des condensateurs. Il est fait en lamine de polystyrene à surface métallisée.

Le diviseur capacitif de l'E.N.P.A. possède les caractéristiques principales suivantes.

- Tension nominale	300 KV _{eff}
- Etendue de mesure	75 - 150 - 300 kV _{eff}
- Fréquence	15 à 250 Hz.
- Capacité H.T.	400 pF
- Précision de mesure.	$\pm 1\%$

Mesure de la précision du diviseur capacitif:

Elle est faite en comparant à l'aide d'un pont de mesure, la tension secondaire du diviseur à celle d'un transformateur de tension étalon. (Voir le schéma de la fig 1.).

Calibre	U mesure	R _X (r)	C _X (pF)	C _X uF	ε %	δ minimum
75 kV	30	1009,9	0,75	-	+0,11	+ 33,00
150 kV	100	1000	0,274	-	+0,35	+ 12,7
300 kV	200	1000	0,094	-	+0,005	+ 0,508

La Tension de mesure est limitée par le courant maximum admissible dans les décades de résistance du pont (10mA).

Détermination ε% et δ minimum

1°) Erreur sur le rapport d'impédances.

$$\epsilon \% = \frac{(R_x - 1000) \cdot 100}{R_x + R_1 + R_2 + R_3} \pm \xi \% \text{ tr étalon } \%$$

2°) Angle de déphasage:

$$+\delta = 1,08 C \times uF \frac{R_x^2}{R_x + R_1 + R_2 + R_3} \text{ min}$$

ou

$$-\delta = 1,08 C C_x uF \frac{(R_x + R_1) R_3^2}{(R_x + R_1 + R_2 + R_3)(R_2 + R_3)} \text{ min}$$

Ces valeurs ont été obtenues à la tension U mesurée avec le câble de mesure original de 20 mètres, dont la capacité vaut 64 pF/m

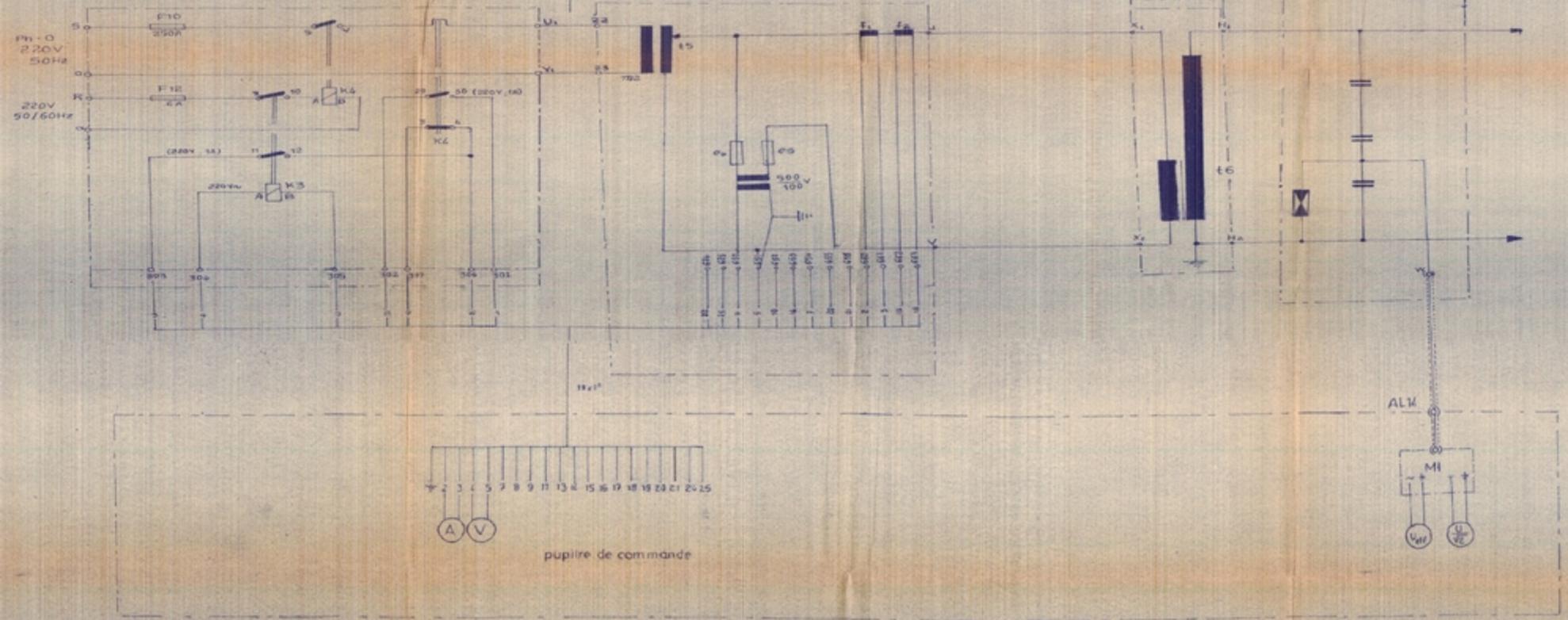
Les autres caractéristiques sont sur le schéma de la fig 3.

2.5. PUPITRE DE COMMANDE ET DE MESURE.

Il est constitué des organes nécessaires au contrôle et à la commande du contacteur automatique et du transformateur de régulation. Il mesure le courant et la tension au secondaire du transformateur de réglage ainsi que de la tension crête et efficace du diviseur capacitif.

Il est alimenté par une source séparée en 220 V, 50 Hz.

HAEFELY



Installation d'essais à fréquence industrielle de l'ENPA

HAEFELY

B. LES MODIFICATIONS APPORTEES.

Pour la mise en marche du laboratoire 300 KV, 50 HT nous avons apporté des modifications, vérifié des liaisons d'une part, installé un contacteur principal automatique d'autre part.

1. RECTIFICATIONS PORTEES.

Afin de ne pas renouveler l'incident produit au laboratoire lors de la mise en marche de l'équipement d'essai et surtout pour tenir compte des conditions climatiques très défavorable du local dans lequel cet équipement est placé c'est à dire dans un local commun avec une menuiserie produisant des poussières de bois abondantes et humidifiées avec le temps par l'air marin qui peut pénétrer par les ouvertures de laboratoire, la société HAEFELY a jugé bon de réduire la tension des circuits de mesure de la tension secondaire du transformateur de 500 V à 100 V.

Ce transformateur de tension 500/100V a été monté en même temps que le porte fusible " E5" par nos soins sous le capot du transformateur monophasé de réglage 50 K VA selon le schéma (voir le paragraphe 2.2. du chapitre 2)

A cet effet la société HAEFELY a modifié le voltmètre du tiroir de commande pour indiquer la nouvelle tension 100 V au lieu de 500 V.

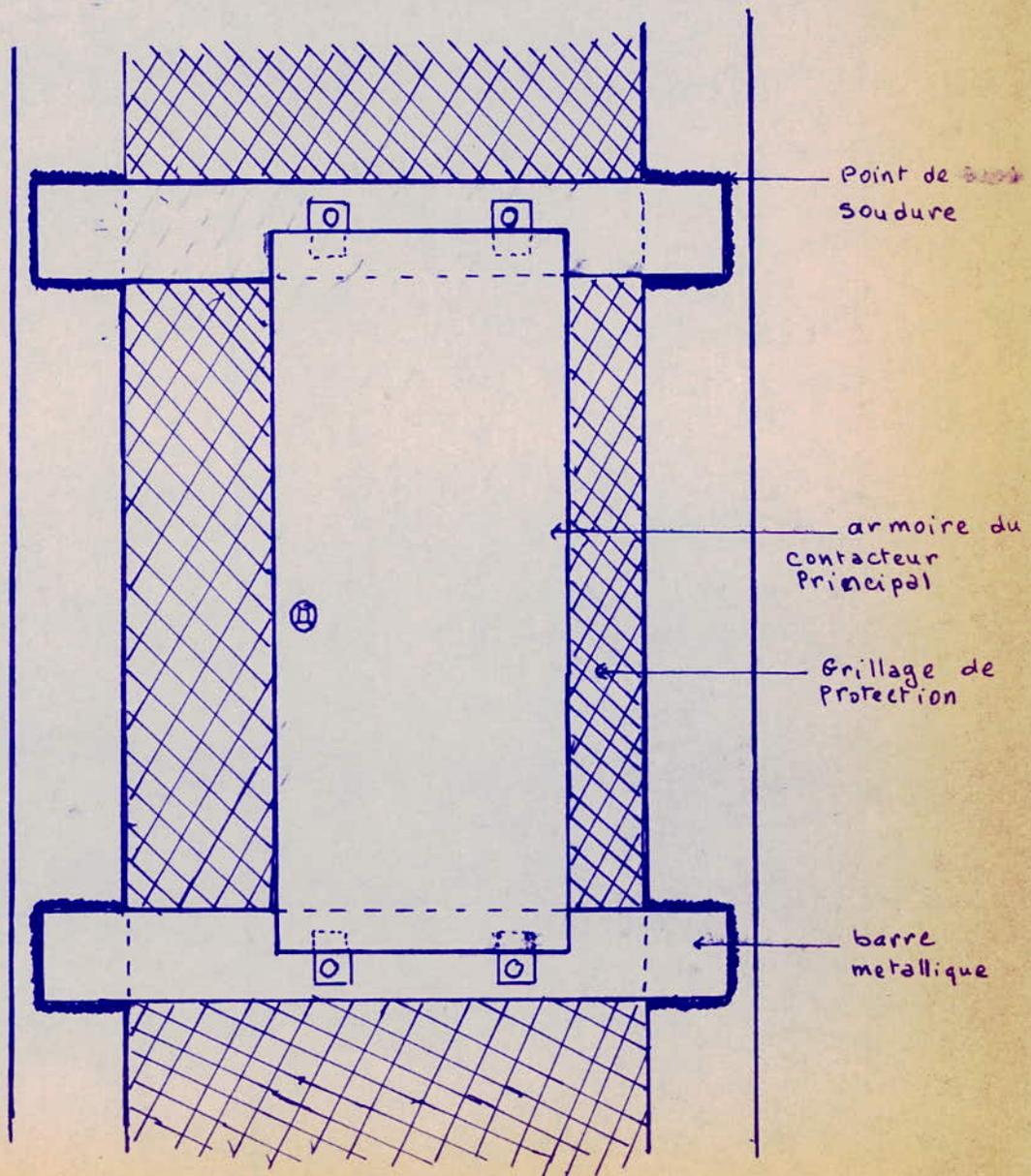
Avant de fixer le tiroir du pupitre de commande qui a été envoyé par la société HAEFELY, on a fixé un éclateur de 500 V (entre le fusible E5 et une prise de terre du transformateur de réglage), sur le transformateur monophasé de réglage afin d'éviter les surtensions dans le pupitre de commande et de contrôle.

2. INSTALLATION DU CONTACTEUR PRINCIPALE (TYPE HAEFELY)

Avec l'aide des agents de l'atelier de mécanique de l'E.N.P. d'Alger nous avons installé l'armoire avec ces contacteurs automatiques.

Cet appareil de protection remplace le déjoncteur manuel existant au paravant qui était une solution provisoire. Ce disjoncteur présentait beaucoup d'inconvénients. Il n'assurait pas une grande sécurité. La commande manuel s'effectuait de l'extérieur du laboratoire à partir du tableau général.

Installation de l'armoire du contacteur principal



Nous avons fixé l'armoire du contacteur principal par quatre boulons sur deux bords métalliques qui ont été au paravent percées et soudées horizontalement sur les bords verticales du grillage de protection, selon le schéma de la Fig. (1).

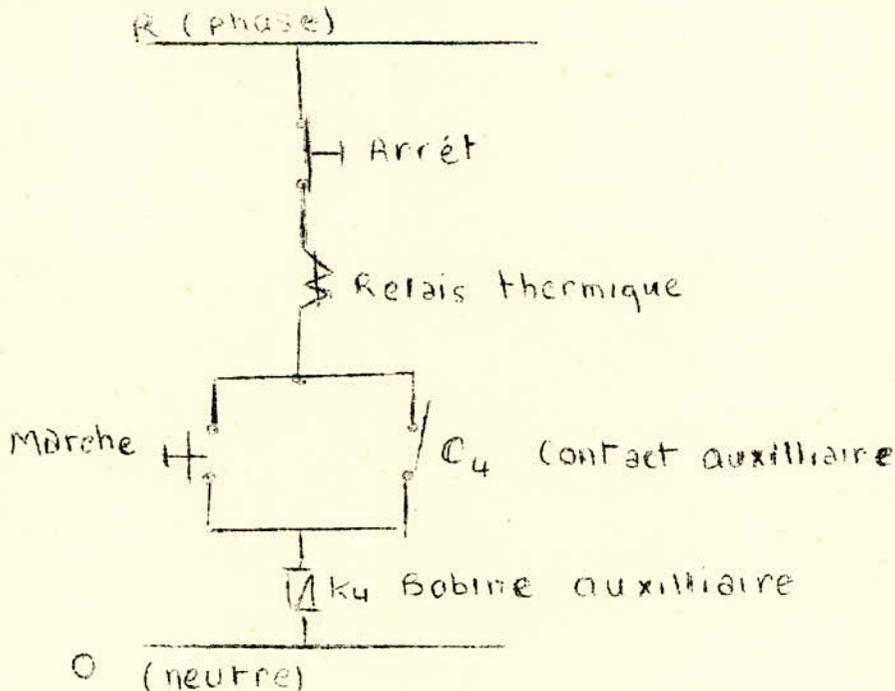
L'installation du contacteur principal nous a mené à porter des modifications d'abord au niveau de l'alimentation à partir du tableau général. Nous avons utilisé un câble de 4 X 50 mm² pour effectuer les liaisons entre le contacteur principal et le régulateur de tension. Ensuite nous avons placé les liaisons des circuits de commande entre le contacteur, transformateur de régulation et le pupitre de commande. Nous avons utilisé 7 fils de 1 mm² de section chacun pour assurer la commande entre le contacteur principal et le pupitre de commande, que nous avons placé dans une gaine en plastique.

Nous avons effectué la mise à la terre du transformateur de réglage.

3. ESSAIS APRES LES MODIFICATIONS.

Pendant les essais après les modifications, nous avons constaté que la commande de contacteur principal à partir du pupitre de commande n'a pu fonctionner bien que nous avons suivi les indications du fournisseur.

Nous avons adopté une autre solution de commande de contacteur principal. La commande se fait à partir de deux boutons poussoir "Marché" et "Arrêt" selon le schéma de modification.



Seuls les circuits de commande ont été modifiés, alors que les circuits d'alimentation du contacteur principal et contacteur auxiliaire existant n'ont pas été modifiés.

A cet effet nous avons fixé sur le grillage de protection entre le contacteur principal et le transformateur de régulation une boîte contenant deux boutons poussoirs " Marche " et " Arrêt " , et effectué les liaisons selon le schéma que nous avons établi auparavant.

Dans les conditions on utilise le pupitre de commande et de contrôle pour l'alimentation du moteur du transformateur de régulation, la mesure des tensions : Crête et Efficace du diviseur capacitif. La commande du moteur se fait à partir des deux boutons fixés sur le transformateur de régulation.

C. ESSAIS EFFECTUES LORS DE LA MISE EN MARCHE.

L'équipement du laboratoire 300 kV 50 Hz a été essayer sur des modèles plats représentant un isolateur de traversée idéal, qui ont une épaisseur de 0,6 et 1,6 cm.

1. PREPARATION DU MODEL.

Nous avons utilisé une plaque de plexiglas de constante diélectrique $\epsilon_r = 4$. Les dimensions de la sont suivants.

épaisseur: $e = 0,6$ Cm.

Longueur : $a = 100$ Cm.

Largeur : $b = 90$ Cm.

Nous avons lavé la plaque de plexiglas, et on la laissé sécher, verticalement. On la pose ensuite sur une table, on immerge un côté de la plaque de "gaz oil" on place la plaque verticalement afin que le "gaz oil" se répartisse d'une façon uniforme sur la surface de la plaque.

On prend la plaque on la pose sur la table. on recouvre ensuite le côté imprégné de "gaz oil" d'une couche de feuille d'aluminium; on le fait soigneusement pour éviter la présence de l'air entre la plaque et la feuille d'aluminium.

On refait le même procédé avec une plaque de plexiglas de même surface c'est à dire:

Longueur $a = 100$ Cm.

largeur $b = 90$ Cm.

Mais l'épaisseur est différente $e = 1$ Cm.

2. CONDITIONS D'AMBIANCE PENDANT LES ESSAIS.

Les essais ont été effectués le mercredi 5 Juin 1974 de 20 h à 21 h 30 mn. Les conditions d'ambiance ont été les suivantes:

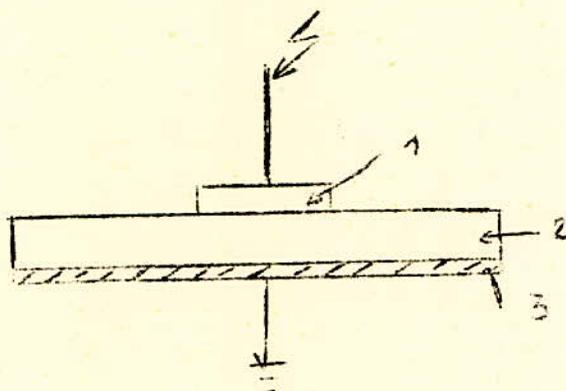
Température: 31°C

Pression: 763 mm de Hg

Humidité relative: 65% .

3. MISE EN PLACE DU MODEL D'ESSAI.

On a effectuée la mise en place du model d'essai suivant le schéma suivant:

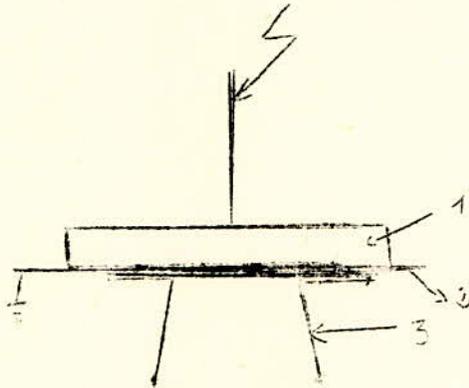


- 1 Electrode active
- 2 Plaque de plexiglas
- 3 Feuille d'aluminium

On pose le côté de la plaque de plexiglas recouverte par une feuille d'aluminium sur une plaque d'aluminium qui est reliée à la terre. Cette plaque d'aluminium est posée sur un tabouret isolant.

Le côté de la plaque de plexiglas recouverte d'aluminium joue le rôle de contre électrode alors que l'électrode active est posée sur l'autre côté de la plaque. Cette électrode active a un diamètre de 10 cm.

1. Plaque de plexiglas recouverte de feuille d'aluminium
2. Plaque d'aluminium
3. Tabouret isolant



4. ESSAI SUR L'ISOLATEUR DE TRAVERSEE: $e = 0,6 \text{ Cm.}$

On augmente la tension lentement afin de suivre les différents stades de décharges glissantes; on relève la longueur (l) des décharges en fonction de la tension efficace U_{eff} voir résultats tableau 1.

5) ESSAI SUR L'ISOLATEUR DE TRAVERSEE : $e = 1,6 \text{ Cm.}$

On procède de la même manière que la précédente pour effectuer l'essai. On superpose les deux plaques de plexiglas de même surface c'est à dire:

Longueur : $a = 100 \text{ Cm.}$

Largeur : $b = 90 \text{ Cm.}$

Les deux plaques ont les épaisseurs respectives de $0,6 \text{ Cm}$ et de 1 Cm soit au total une épaisseur $e = 1,6 \text{ Cm}$, de l'isolateur de traversée

Le schéma de préparation et de mise en place du modèle d'essai est le même que le précédent.

On augmente la tension lentement pour mesurer les différents stades des décharges glissantes. On relève la longueur des décharge en fonction de la tension efficace (voir résultat tableau 2). On compare les 2 tableaux.

TABLEAU 1.

EPAISSEUR DE LA PLAQUE DE PREXIGLAS = 0,6 Cm.

U KV	15	26	30,4
L Cm.	15	25	45
Observation.	Effluves.	début d'étincelles.	étincelles. Glissantes.

TABLEAU 2.

EPAISSEUR DE LA PLAQUE DE PLEXIGLAS = 1,6 Cm.

U eff KV	16	26	30,4	40
L Cm.	3	6	14,5	45
Observation.	Filet.	Effluves.	début d'étincelles.	étincelles. glissantes.

REMARQUE/:

U KV : Tension efficace exprimée en KV

L : Longueur des décharges exprimée en Cm.

U_{eff}/kV

45

30

15

15

30

45

$U = f(l)$ pour $a = 16\text{ mm}$

$U = f(l)$ pour $a = 6\text{ mm}$

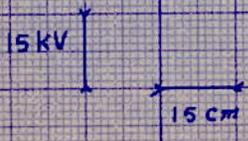
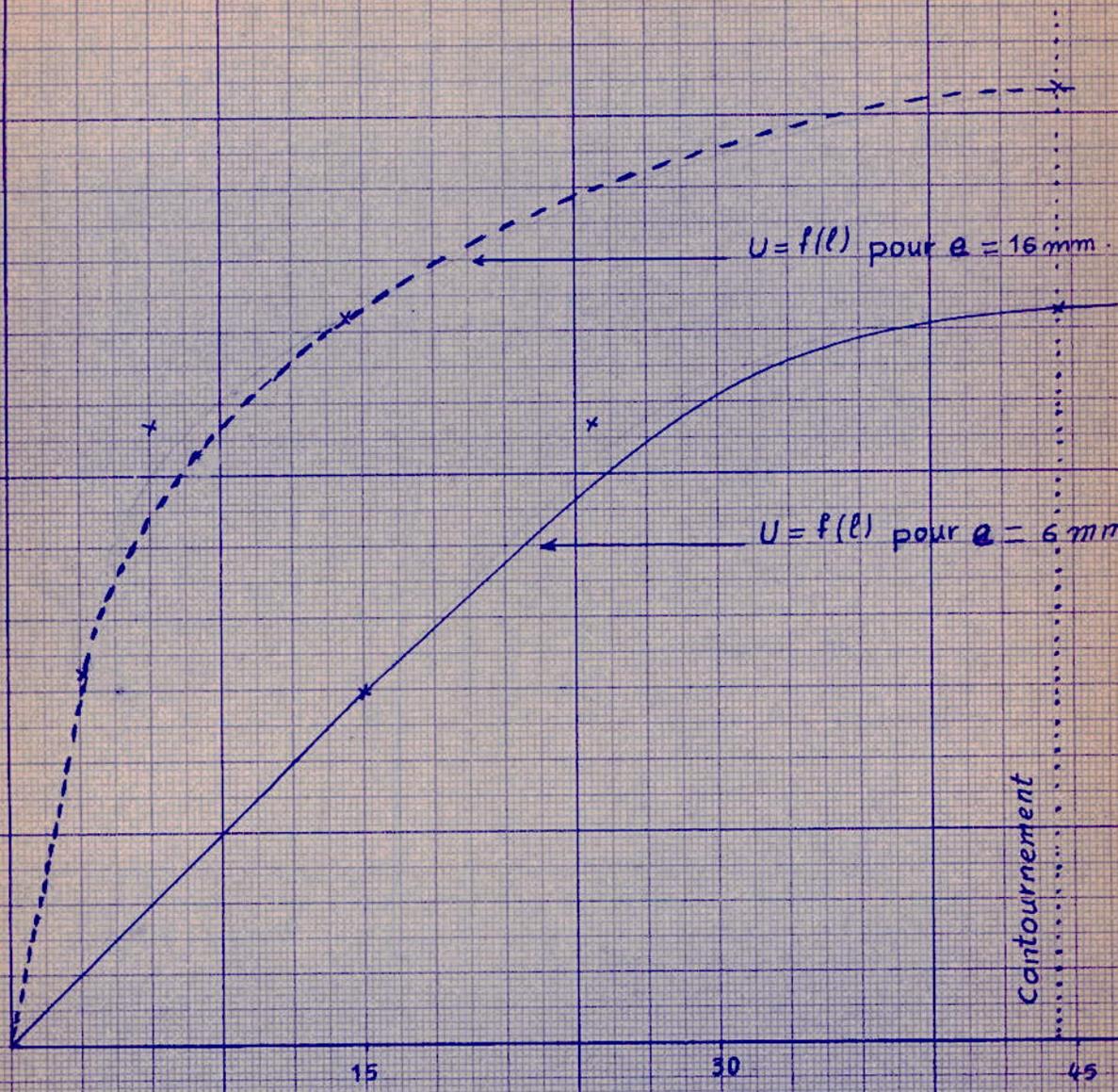
Contournement

l/cm

$U = f(l)$

15 kV

15 cm



6. INTERPRETATION DES RESULTATS.

On constate sur les tableaux 1 et 2 que la longueur des décharges augmente avec la tension pour une capacité constantes

On sait que la capacité est définie par la formule:

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{e}$$

ϵ_0 : Constante diélectrique de l'air

ϵ_r : Constante diélectrique de l'isolant; dans notre cas pour le plexiglas $\epsilon_r = 4$

S: Surface de plaque

e: épaisseur de la plaque.

Si l'on augmente l'épaisseur de la plaque la capacité diminue.

La formule de TOEPLER donne la valeur de la tension de l'étincelle glissante U_{oeg} en fonction de la capacité C; [4]

On a à 50 Hz :

$$U_{oeg} = \frac{1,355}{C^{0,44}} \cdot 10^{-4} \quad kV_{off}$$

C en farads/cm².

Cette formule est purement expérimentale.

La formule de Toepler montre que, pour augmenter U_{oeg} il faut diminuer la capacité C.

Dans notre deuxième modèle d'essai on a augmenté l'épaisseur de l'isolateur de traversée, donc la capacité a diminué.

La tension de l'étincelle glissante a augmenté.

Exemple: Dans notre premier essai l'étincelle glissante a une longueur de 45 Cm pour une tension efficace de 30,4 K V_{eff}.

Pour une même longueur de l'étincelle glissante de 45 Cm, dans notre deuxième essai, la tension efficace est de 40 KV_{eff}.

On trace sur le graphe de la fig , les courbes et de la longueur des décharges en fonction de la tension efficace. L'allure de ces courbes a une forme exponentielle.

7. CONCLUSION:

Nous nous sommes assurés du fonctionnement du laboratoire 300KV,50Hz ce qui était notre principal but.

Nous avons constaté l'influence de la capacité des isolateurs de traversée sur la tension des étincelles glissantes.

C O N C L U S I O N .

Nous avons essayé de mettre en marche l'ensemble des équipements du laboratoire 300 KV, 50 HT en utilisant les moyens disponibles?

Nous avons eu une satisfaction entière :

1- Le ^{armoires} contacteur principal a été monté à un endroit prévu, les circuits de commande et d'alimentation du transformateur ont été remplacés avec un nouveau cable.

2- Le régulateur de tension a été complété par un transformateur abaisseur et les appareils de protection.

Nous avons pris des précautions avant la mise en marche du transformateur de régulation car il fut exposé dans des conditions d'ambiance défavorables.

Nous avons surmonté ces difficultés et cela nous a permis de le faire fonctionner parfaitement.

3- La vérification de la mise en marche de ces équipements a été effectuée sur des modèles plats ou les différentes formes de décharges correspondant aux différentes valeurs de tension a été suivie. La mesure de la tension a donné des résultats satisfaisants.

Il nous paraît utile de faire les suggestions suivantes :

- D'isoler le laboratoire HT, de la menuiserie.
- De protéger l'équipement avec les couvertures bien taillées.
- De compléter le laboratoire avec des installations auxiliaires en particulier " l'Installation de la pluie artificielle".
- D'avoir une alimentation séparée du laboratoire HT.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. HAERPELY Catalogues.
- [2] A. MAUDUIT Installation électrique à Haute tension
Tome III
- [3] Normes Française C 41050
- [4] J. L. JAKUBOWSKJ Technique de la haute tension.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. HAERPELY Catalogues.
- [2] A. MAUDUIT Installation électrique à Haute tension
Tome III
- [3] Normes Française C 41050
- [4] J. L. JAKUBOWSKJ Technique de la haute tension.

ANNEXE

PROCEDURE DE MISE EN MARCHÉ DU LABORATOIRE 300 KV, 50 HZ DE
L'E.N.P. Alger.

I Règles Générales :

1. Les portes du Laboratoire doivent être munies de Serrures spéciales et elles doivent être fermées quand le laboratoire ne fonctionne pas, les clés doivent être déposées chez les Assistants Responsables ou les chercheurs autorisés par le Directeur de l'Ecole, ou le Professeur-chef de la section de Haute Tension.
2. Aucune personne ne doit pénétrer dans le laboratoire sans la présence de l'Assistant ou le chercheur autorisés.
3. Aucune personne n'a le droit de travailler seule. Le nombre de personnes admissibles à travailler simultanément est limité à 3, Cependant, dans le cas de démonstrations organisées par le Professeur ou les Assistants, il sera possible d'admettre un plus grand nombre de personnes, qui doivent se trouver, pendant les démonstrations, à l'extérieur des grilles de protection.
4. Le laboratoire doit toujours être dans un ordre parfait. Aucun objet étranger aux circuits ne doit être présent dans la salle, à l'exception des documentations et des cahiers. En particulier il est strictement interdit de laisser trainer dans le laboratoire des fils ou des rouleaux de conducteurs sans rapport avec le circuit d'essai.
5. Il est strictement interdit de supprimer ou de mettre hors d'état de fonctionner les différents circuits de protection.
6. A la fin de chaque séance de travail, le laboratoire doit être fermé et les clés prises en charge par l'Assistant ou le chercheur autorisé.
7. Avant de commencer le travail au laboratoire, il est obligatoire d'étudier les Instructions de service fournies par le fournisseur des appareils du laboratoire.

B. Pour entrer au laboratoire:

Toute personne admise à travailler au laboratoire doit confirmer par écrit qu'elle a prise connaissance des règles générales et des Instructions et qu'elle s'engage à les respecter strictement.

II Avant la mise sous tension du transformateur 300 KV:

- a- Le disjoncteur est en position ouverte
- b- L'électrode à Haute tension est mise à la terre

III Mise sous tension du transformateur 300 KV

- Le manipulateur doit être placé sur un tabouret isolant.
- Pour enclencher le transformateur 300 KV on devra effectuer dans

l'ordre, les opérations suivantes :

- a- S'assurer que le tableau général de l'atelier est sous tension.
- b- Fermer la porte du laboratoire H.T.
- c- enlever la mise à la terre de la borne haute tension du transformateur.
- d- fermer le système de signalisation
- e- Vérifier que le curseur de régulateur de tension est ramené à zéro.
- f- mettre en marche de pupitre de commande en enclenchant d'une part l'interrupteur situé à gauche du disjoncteur automatique, et en enclenchant le bouton rotatif situé au premier tiroir à partir du bas du pupitre de commande d'autre part.
- s'assurer à l'aide d'une lampe de signalisation que le transformateur de réglage est à zéro.
- g- Enclencher le disjoncteur automatique à l'aide d'un bouton poussoir " Marche" situé au côté gauche du régulateur de tension.
- f- Faire monter la tension à l'aide du bouton droit du régulateur, et descendre la tension à l'aide du bouton gauche, fixés sur le transformateur de régulation. Pour arrêter le curseur du régulateur sur une position voulu il faut appuyer sur les deux boutons.
- h- Effectuer les mesures de Haute tension à l'aide de deux Voltmètres créteil et efficace branches dans le deuxième trou à partir du bas du pupitre de commande.

i- En cas de nécessité (danger divers) actionner le bouton "Arrêt" qui déclenche le disjoncteur automatique!

Remarque :

La tension secondaire du transformateur d'essai ne doit pas dépasser en aucun cas la valeur limite de 300 KV!

IV Déclenchement du transformateur 300 KV

- a- mettre le circuit d'essai hors tension au moyen du disjoncteur, actionner le bouton "Arrêt"!
- b- Ramener à zéro le transformateur de réglage!
- c- Couper l'alimentation du pupitre de commander à l'aide du bouton rotatif et de l'interrupteur!
- d- mettre la borne Haute tension du transformateur d'essai 300 KV à la terre!

V Avant de quitter la boratoire

- a- Le disjoncteur doit être en position ouverte.
- b- L'électrode Haute Tension du transformateur d'essai doit être mise à la terre!