

3/67  
lex

UNIVERSITE D'ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

66/67

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكتبة  
6  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

الدراسة لـ  
Département Télécommunications  
المكتبة  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

**CAPACIMETRE**  
1pf — 500uf

mz SLOSIAR



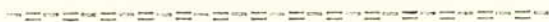


# T A B L E d e s M A T I E R E S

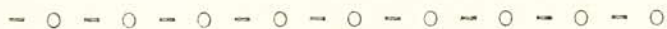
---

<u>I/ I N T R O D U C T I O N</u>	Pages
SUJET	I
MESURES DE CAPACITES	2
FAIBLES CAPACITES	8
CONDENSATEURS ETALONS	10
FACTEUR DE PUISSANCE ET PERTES D'UN CONDENSATEUR	11
<u>II/ C A P A C I M E T R E S</u>	13
CAPACIMETRE HEATKIT	14
CAPACIMETRE A RESONNANCE	16
CAPACIMETRE MESURANT DES CAPACITES DE FAIBLE VALEUR	17
CAPACIMETRE A COMPTAGE D'IMPULSIONS	23
CAPACIMETRE ALIMENTE PAR OSCILLATEUR A TRANSISTORS	24
CAPACIMETRE A TRANSISTOR	25
CAPACIMETRE A COMPARAISON D'IMPEDANCE	27
CAPACIMETRE-OHMETRE SIMPLE	30
CAPACIMETRE D'ATELIER A PLUSIEURS CALIBRES	31
<u>III/ A L I M E N T A T I O N</u>	32
<u>IV/ C A L C U L T H E O R I Q U E</u>	33
<u>V/ R E A L I S A T I O N</u>	
SCHEMA	34
EXPLICATION	35
DONNEES	36
<u>VI M E S U R E S</u>	50
<u>VII C O N C L U S I O N</u>	56

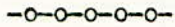
I è r e P A R T I E



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



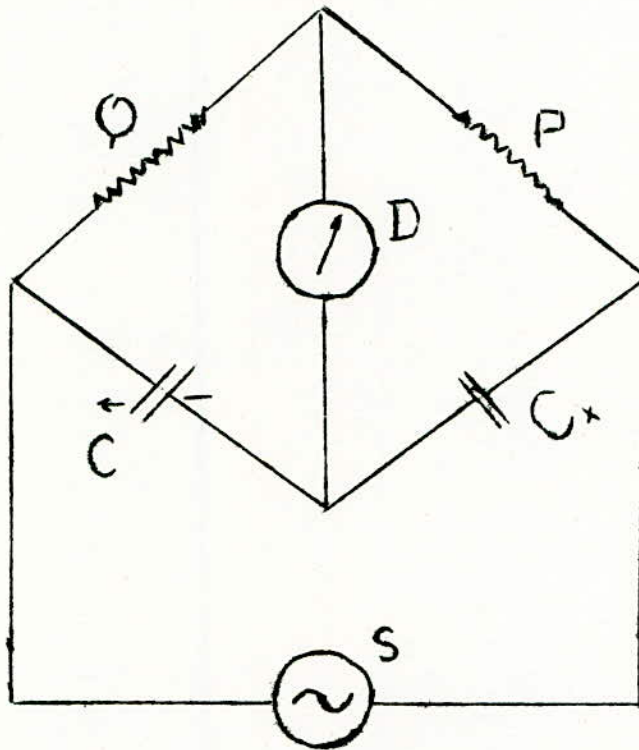
MESURES DES CAPACITES.



Le circuit de base utilisé pour la mesure des capacités est le pont de Sauty qui compose essentiellement en principe une tête de pont, constituée par deux résistances fixes P et Q par deux capacités pures : l'inconnue  $C_x$  et l'étalon C.

En pratique, les condensateurs réels ont toujours des pertes et il est nécessaire d'introduire une résistance dans la branche étalon  $Z_4$  pour compenser ces pertes.

Ces cas doivent alors être considérés suivant l'importance des pertes, c'est à dire l'angle de pertes de la capacité à mesurer.



fig

II/ PONT DE SAUTY-PARALLELE (Pont de NERNST)



Dans le cas au contraire d'une capacité à très fortes pertes, ou mieux d'une résistance positive, l'emploi du schéma "série" conduirait à l'utilisation de capacités de grande valeurs pratiquement irréalisables. Il est alors préférable d'utiliser le schéma "parallèle" ce qui permet de schématiser le condensateur à étudier par une résistance et une capacité respectivement égales à celles de l'inconnue. On est alors conduit à adopter la même disposition pour l'étalon et à utiliser le Pont de Sauty-Parallèle, représenté sur la figure qu'on désigne parfois sous le nom de Pont de Nernst.

les conditions d'équilibre s'écrivent :

$$\frac{1}{Q} \left( \frac{1}{R_x} + j C_x \omega \right) = \frac{1}{P} \left( \frac{1}{R} + j C \omega \right)$$

D'où l'on tire :

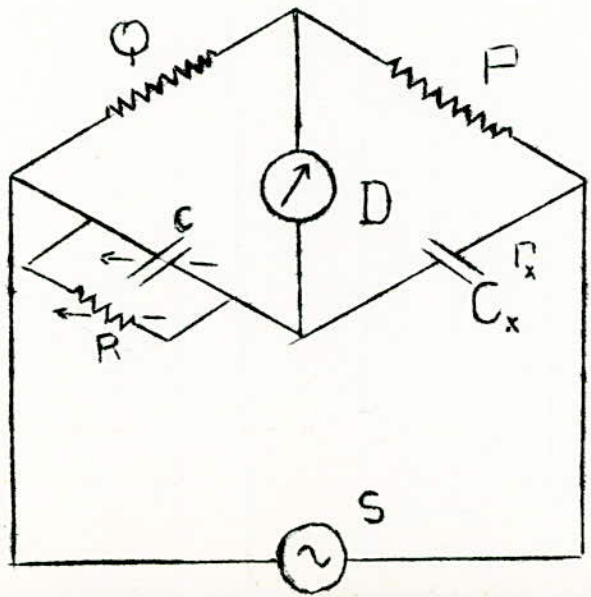
$$\begin{cases} R_x = R \frac{P}{Q} \\ C_x = C \frac{Q}{P} \end{cases}$$

l'expression de l'angle de pertes de la capacité résistante:

$$\tan \delta = \frac{1}{R_x C_x \omega} = \frac{1}{R C \omega}$$

l'angle de phase de la résistance capacitive:

$$\tan \phi = R_x C_x \omega = R C \omega$$





I/ PONT DE SAUTY ( ou WIEN )



Dans le cas d'un condensateur usuel de bonne qualité, on est conduit à schématiser le condensateur inconnu par un condensateur parfait, égal à la capacité de l'inconnu, en série avec une faible résistance. On doit réaliser la branche étalon du pont sous cette forme en disposant, en série avec le condensateur étalon, une faible résistance variable. On obtient alors le Pont de SAUTY-série, représenté sur (la figure 1) et qu'on désigne parfois sous le nom de Pont de Wein.

En désignant par  $R_x$  et  $C_x$  les éléments de l'inconnu, les conditions d'équilibre du pont s'écrivent :

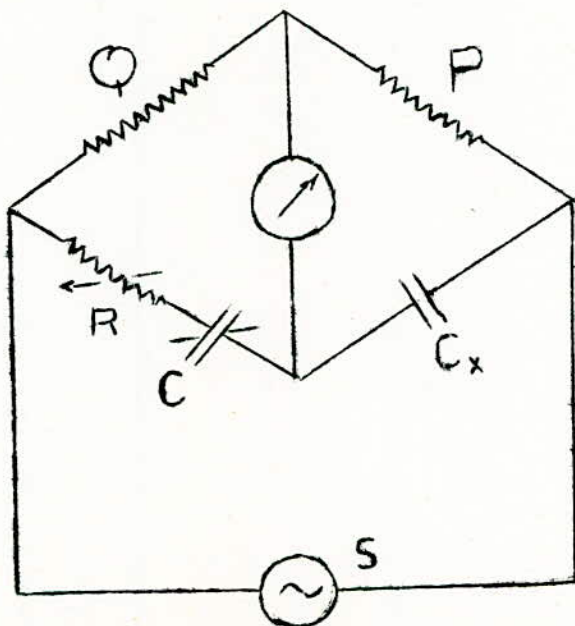
$$G \left( R_x - j \frac{1}{C_x \omega} \right) = P \left( R - j \frac{1}{C \omega} \right)$$

où l'on tire :

$$\begin{cases} R_x = R \frac{P}{G} \\ C_x = C \frac{G}{P} \end{cases}$$

Le  $\delta$  de pertes du condensateur inconnu est alors :

$$\delta = R_x C_x \omega = RC \omega$$



III/ LE PONT DE SCHERING.



Pour les mesures de capacités sous tension élevée, alternative ou continue, on utilise souvent le pont de Schering, représenté sur la figure 3.

$C_2$  est une capacité étalonnée, pratiquement sans pertes, ajustable, mais laissée fixe au tiers de la mesure, capable de supporter la tension élevée de la source S que l'on veut appliquer aux bornes de la capacité inconnue  $C_x$  et du même ordre de grandeur que  $C_x$ .

$R_2$  est une résistance étalonnée fixe et de faible valeur.  $R_1$  est une résistance étalonnée variable de faible valeur également et  $C_1$  une capacité étalon variable.

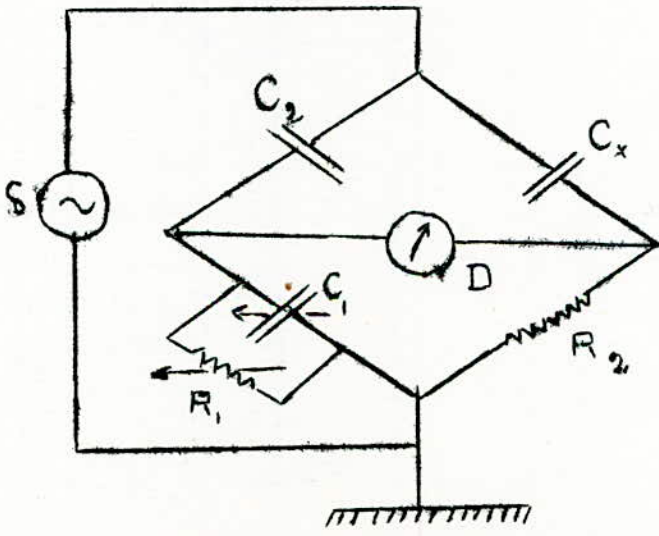
Le choix de la disposition et de la valeur des organes constituant ce pont permet de mettre à la masse les organes réglables  $R_1$ ,  $C_1$  et de ne leur appliquer qu'une faible fraction de la tension de la source qui est pratiquement reportée aux bornes de  $C_x$  et  $C_2$ . On peut alors opérer en toute sécurité quelle que soit de la valeur de la tension d'alimentation.

En désignant par  $R_x$  et  $C_x$  les éléments "série" de l'inconnue, la condition d'équilibre du pont s'écrit:

$$-j \frac{R_2}{C_2 \omega} = \frac{R_x - j \frac{1}{C_x \omega}}{\frac{1}{R_1} + j C_1 \omega}$$

$$\begin{cases} R_x = R_2 \frac{C_1}{C_2} \\ C_x = C_2 \frac{R_1}{R_2} \\ R_x C_x \omega = R_1 C_1 \omega \end{cases}$$

Dans certains cas, on place également une capacité en parallèle sur  $R_2$ ;



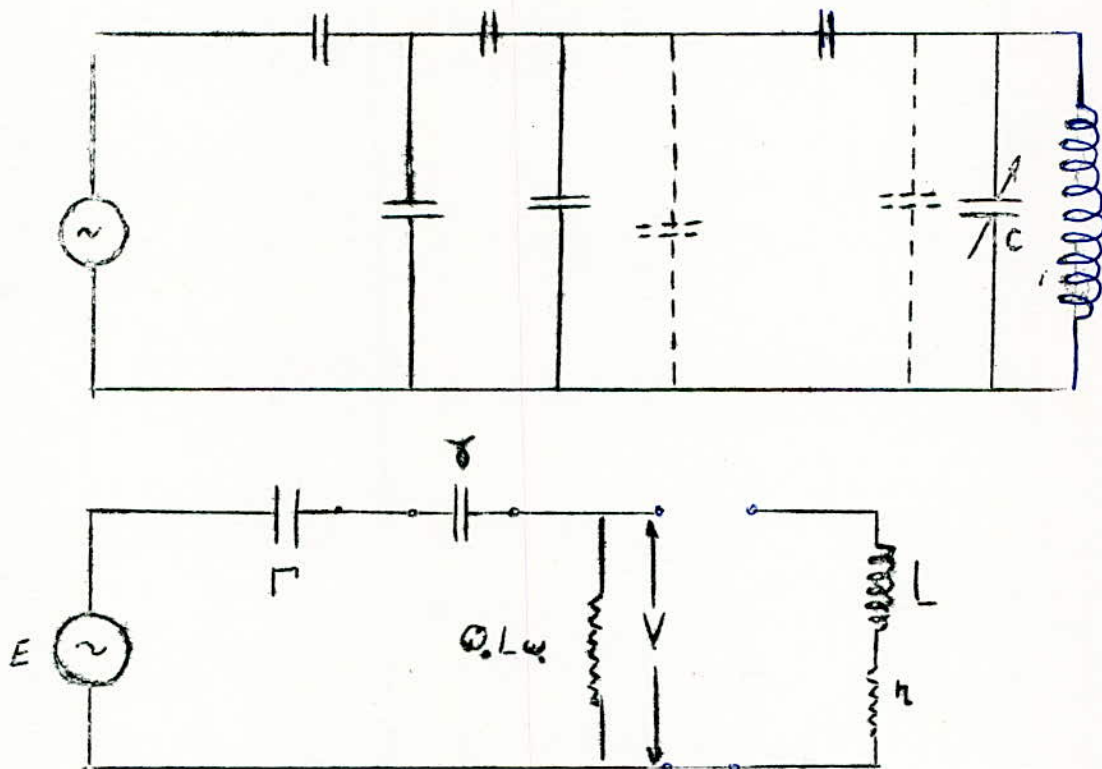


MESURES DE CAPACITES PARTIELLES DE TRES  
FAIBLES VALEURS PAR LA METHODE DE  
JOUBERT

I/ - P R I N C I P E :

Méthodes de résonance

La source a pour impédance interne 1 capacité M relativement élevée qui, sert à masquer l'une des capacités à la masse accompagnant la capacité partielle à mesurer. A cet effet elle est constituée par un oscillateur à fréquence fixe débitant dans un atténuateur capacitif affaiblissement. La source débite à travers une capacité partielle  $T$  et un circuit bouchon fermé d'une inductance fixe  $L$  dont le coefficient de qualité est  $Q$  d'un condensateur variable  $C$  et de la 2ème capacité à accompagner. On amène ce circuit à la résonance, ce qu'on constate à la sortie du voltmètre à lampe  $V$  branché à ses bornes. A ce moment on peut réduire le schéma de la figure 1 au schéma de la figure 2.



$$R = \frac{L \omega^2}{r} = \frac{L \omega}{r} = Q.$$

$$V = \frac{E Q L \omega}{Q L \omega + \frac{1}{j\omega} + \frac{1}{j\Gamma\omega}} = \frac{E}{1 + \frac{1}{Q L \omega^2} + \frac{1}{Q \Gamma L \omega^2}}$$

$$E = V \left[ 1 + \frac{1}{\gamma Q.L.\omega^2} + \frac{1}{Q.L.\Gamma\omega^2} \right]$$

$$E-V = V \left[ \frac{1}{\gamma\alpha} + \frac{1}{\Gamma\alpha} \right]$$

Posons :  $\alpha = Q.L.\omega^2$

$$\alpha \left[ \frac{E-V}{V} \right] = \frac{1}{j\gamma} + \frac{1}{j\Gamma}$$

$$\alpha \left[ \frac{E}{V} - 1 \right] - \frac{1}{j\Gamma} = \frac{1}{j\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{Q.L.\omega^2 \sqrt{\left(\frac{E}{V}\right)^2 - 1} - \frac{1}{\Gamma}}$$

$$\frac{E}{U} \gg 1$$

$$Q.L.\omega^2 > \frac{1}{\Gamma}$$

$\gamma \approx \frac{1}{Q.L.\omega^2} \frac{ V }{ E }$
---

Le voltmètre peut être gradué directement en capacités, on mesure aisément une capacité partielle de l'ordre de  $10^{-5}$  p.f. Il est naturellement nécessaire qu'un écran et icace soit disposé entre les bornes de branchement de l'inconnue pour réduire la capacité partielle entre ces bornes à une valeur extrêmement faible

## LE CAPACIMÈTRE

Le capacimètre est un appareil qui mesure les très faibles capacités qu'entendons-nous par faibles capacités ?

### I/ FAIBLES CAPACITÉS

Dans la gamme des basses fréquences nous appellerons faibles capacités des capacités inférieures à 1/1 000 de microfarad, c'est à-dire de l'ordre de grandeur de la capacité d'appoint du condensateur étalon. En règle générale ces capacités sont constituées par des condensateurs à air ou à diélectrique de bonne qualité, par exemple du mica ou des porcelaines spéciales à faibles pertes, et se comportent comme des capacités pratiquement pures. En principe la mesure peut s'effectuer comme celle de n'importe quelle autre capacité à l'aide d'un pont de Sauty-série. Cependant, en raison même de la faible valeur de la capacité, son impédance  $\frac{1}{Cx\omega}$  devient grande; les capacités parasites et les fuites jouent un rôle de moins en moins négligeable et la compensation du pont à être faite avec beaucoup de soin.

Il est possible d'atténuer pratiquement cet effet perturbateur en utilisant comme tête de pont deux résistances P et Q de faibles valeurs, par exemple 100 ou 1000  $\Omega$  et, en connectant à la masse le sommet A du pont, point milieu de la tête de pont PQ, de telle sorte que les impédances parasites viennent se placer en parallèle sur P et non pas sur les capacités Cx et C.

Mais en général il est plus commode de procéder par exemple par la méthode de substitution ou de différence. On met en circuit dans un pont de Sauty-série, à la place de la capacité inconnue Cx, une capacité auxiliaire quelconque Co (figure I). La capacité à mesurer Cx est connectée en parallèle sur la capacité étalon C par l'intermédiaire d'un interrupteur I qui permet de la mettre en ou hors circuit.

On effectue alors la mesure en deux temps :

a) On ouvre l'interrupteur I (Cx hors circuit) et on réalise l'équilibre du pont en agissant sur C et r. On note la valeur C, correspondante sur la capacité étalon.

b) On ferme l'interrupteur I (Cx en parallèle sur C) et on réalise l'équilibre en ajustant C à une nouvelle valeur C<sub>2</sub> inférieure à que :

$$C_1 = C_2 + C_x,$$

On en déduit la valeur de l'inconnue :

$$(1) \quad \boxed{C_x = C_1 - C_2}$$



Cette façon d'opérer permet de faire la mesure en utilisant dans les branches du pont des capacités  $C_0$  et  $C$  suffisamment grandes pour rendre négligeables les influences des capacités parasites. Elle permet en outre de bénéficier des avantages de toute méthode de substitution (compensation) et d'éliminer automatiquement les erreurs provenant d'une compensation imparfaite du pont.

Par contre, sous la forme simple dont nous venons de poser les problèmes, elle suppose explicitement que la capacité inconnue  $C_x$  puisse être assimilée pratiquement à une capacité pure sans aucune perte.

Dans le cas où  $C_x$  comporterait des pertes, la mesure restera faisable sous réserve de retoucher également dans la seconde opération la valeur de la résistance  $r$  de façon à compenser l'influence des pertes du condensateur  $C_x$ . En outre, les relations reliant les caractéristiques de ces condensateurs aux valeurs lues sur les talons dans chaque opération seraient plus compliquées.

Pour les établir, il suffit d'écrire que, pour chacune, d'elle l'impédance totale de la branche étalon AB conserve la même valeur. En désignant par  $C_1$   $r_1$   $C_2$   $r_2$  les valeurs de  $C$  et  $r$  réalisant l'équilibre avec l'interrupteur ouvert et fermé et par  $C_x$  et  $R_x$  les éléments parallèles du condensateur inconnu, on a l'égalité :

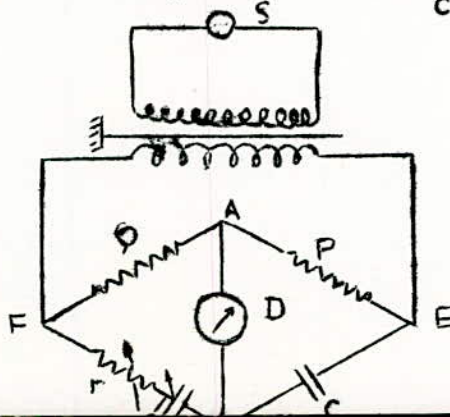
$$r_1 - j \frac{1}{C_1 \omega} = r_2 + \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j(C_2 + C_x)\omega}$$

d'où l'on tire :

$$\begin{cases} C_x = \frac{C_1}{1 + (r_1 - r_2)^2 C_1^2 \omega^2} - C_2 \\ R_x = (r_1 - r_2) + \frac{1}{(r_1 - r_2) C_1^2 \omega^2} \end{cases}$$

Dans le cas d'un condensateur  $C_x$  de bonne qualité, les valeurs  $r_1$  et  $r_2$  de  $r$  dans les deux opérations restent voisines et le terme  $(r_1 - r_2)^2 C_1^2 \omega^2$  reste petit devant l'unité. On a alors pratiquement

$$\begin{aligned} C_x &\approx C_1 - C_2 \\ R_x &\approx \frac{1}{(r_1 - r_2) C_1^2 \omega^2} \\ \text{tg } \delta &= \frac{1}{R_x C_x \omega} \approx \frac{(r_1 - r_2) C_1 \omega}{1 - \frac{C_2}{C_1}} \end{aligned}$$



## CONDENSATEURS ETALONS

Etant donnée la gamme très étendue des fréquences d'utilisation, les valeurs et les caractéristiques électriques et mécaniques des condensateurs étalons dépendent fortement de la fréquence. En fait, les condensateurs étalons usuels se classent en deux types distincts, respectivement conçus pour les usages en basses et en hautes fréquences.

Condensateurs pour les basses fréquences.— Pour les mesures en basses fréquences, on est conduit à utiliser des condensateurs de valeurs importantes pouvant atteindre et dépasser le microfarad. De plus, la faible valeur de la fréquence d'utilisation limite des valeurs acceptables les pertes diélectriques dans les isolants usuels. Pour ces deux raisons on est conduit à utiliser comme étalons des condensateurs fixes à diélectrique solide, en général du mica.

Ces condensateurs peuvent être employés individuellement sous forme de blocs étalonnés et interchangeable dont les valeurs s'échelonnent depuis quelques dizaines de picofarads jusqu'aux environs de un microfarad.

Pour les usages courants de laboratoire ils sont en général assemblés en boîtes à décades variables par plots et par bonds de 1 nF depuis 1 jusqu'à 1110 nanofarads. Un condensateur variable à air, de valeur maximale légèrement supérieure à 1 nF, sert d'appoint et permet d'ajuster la capacité totale à une valeur quelconque. L'ensemble est en général disposé dans une boîte munie d'un écran métallique, formant blindage, qui aboutit à une borne marquée "écran" et qu'on connecte à l'une ou l'autre des bornes du condensateur suivant les particularités du montage utilisé.

— La précision d'étalonnage des condensateurs fixes est en général de l'ordre de 1 %. Leur angle de pertes dans la gamme normale d'utilisation est très faible ; le plus souvent inférieur à  $1/1\ 000$  ; il peut descendre en dessous de  $1/10\ 000$  ( $10^{-4}$ ) pour les condensateurs de précision. Les condensateurs variables utilisés comme appoints permettent une précision de lecture de 1 à 2 picofarads ; leur angle de pertes est pratiquement nul (en basse fréquence).

— Les appareils de cette catégorie sont prévus pour être utilisés dans la gamme des fréquences musicales définie dans l'introduction ; dans cette gamme, l'influence des connexions usuelles est pratiquement négligeable.

La tension d'utilisation est limitée par l'échauffement négligeable du diélectrique ; elle dépend du choix de ce dernier et des caractéristiques de construction de l'appareil. Pour un type de construction et un boîtier de dimensions données, l'échauffement est fonction de la puissance apparente absorbée par le condensateur, la tension maximale d'utilisation varie alors en raison inverse de la racine carrée de la capacité et de la fréquence ; elle est en général indiquée sur les notices des constructeurs.



FACTEUR DE PUISSANCE ET PERTES D'UN  
CONDENSATEUR

Tout condensateur comporte une capacité C et des pertes de différentes sortes matérialisées par une résistance série R (figure C-2). Lorsqu'on lui applique une tension alternative E, le courant I qui le traverse est déphasé de  $\frac{\pi}{2}$  en avant de E. La capacité donne lieu à une réactance  $X_C = \frac{1}{\omega C} I$  avec  $\omega = 2\pi f$ , f étant la fréquence de la source. Porté vectoriellement,  $X_C$  est perpendiculaire à R qui est en phase avec I. L'impédance Z est la résultante de la composition vectorielle de  $X_C$  et R. Soit:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{I^2}{\omega^2 C^2}}$$

Normalement R est petit devant  $X_C$ . L'angle de phase  $\varphi$  formé par les vecteurs R et Z s'approche donc de  $90^\circ$ . Son complément  $\delta = 90^\circ - \varphi$  est appelé angle de pertes; il est normalement faible.

On peut exprimer les pertes d'un condensateur de différentes manières:  $\cos \varphi = \sin \delta = \frac{R}{Z}$  = facteur de puissance.

$\cotg \varphi = \tg \delta = \frac{R}{X_C}$  = facteur de dissipation ou tangente (à l'angle de pertes).

$\tg \varphi = \cotg \delta = \frac{X_C}{R} = Q$  = facteur de surtension.

Si le condensateur a des pertes faibles, ce qui est généralement le cas,  $R^2$  devient négligeable devant  $\frac{I^2}{\omega^2 C^2}$ , et on

peut confondre Z et  $X_C$ . Dans ces conditions  $\cos \varphi = \sin \delta = \delta$  exprimé en rd,  $\text{Ird} = \frac{I^2 R}{\omega^2 C}$ . Un bon condensateur a donc des valeurs de  $\cos \varphi$ ,  $\tg \delta$  et  $\delta$  voisines de 0.

Les pertes d'un condensateur peuvent être représentées par une résistance série (faible)  $R_s$  ou par une résistance parallèle élevée  $R_p$  (figure C-2b).

On a alors

$$R_s = \frac{\tg \delta}{\omega C} \quad \text{et} \quad R_p = \frac{I}{\tg \delta \omega C}$$

d'où l'on tire

$$R_s = I R_p \omega^2 C^2 \quad \text{et} \quad R_p = \frac{I}{R_s \omega^2 C^2} ;$$

ces équations permettent de passer d'une expression à l'autre.



Fig. C-2A Composition vectorielle des composantes résistive et réactive.

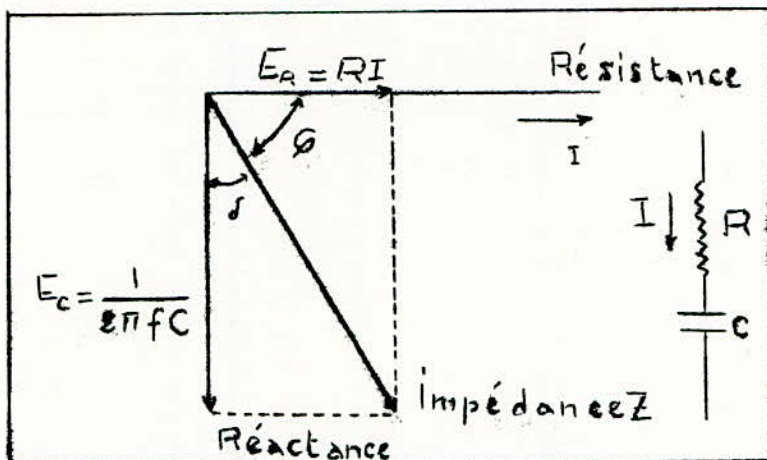
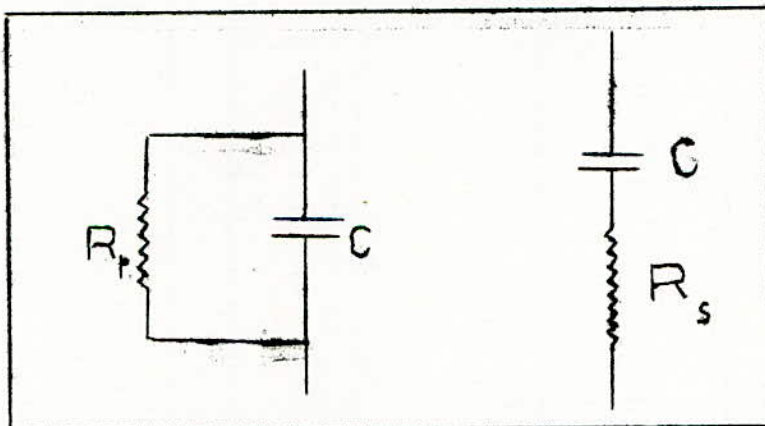


Fig. C2B Représentation série et parallèle de la résistance d'un condensateur.



II è m e P A R T I E



C A P A C I M E T R E S



CAPACIMETRE HEATHKIT

A LECTURE - DIRECTE

La mesure de capacitance est accomplie en redressant une impulsion carrée et en lisant la valeur moyenne sur le capacimètre; l'impédance du circuit du capacimètre en conjonction avec la capacité inconnue détermine la formule et en conséquence la valeur moyenne du voltage redressé.

1) transformateur de puissance avec 1 primaire bobiné séparément, utilisé avec un redresseur au séténum et un stabilisateur de tension OA2 fournissent les tensions d'utilisation nécessaire. 1 interrupteur à 2 poles (ouvert, fermé) isolé complètement l'instrument quand on coupe le circuit,

L'oscillateur utilise 2 valves EL 84 connectées comme des triodes et travaillant comme un multivibrateur couplé par 1 cathode. 1 résistance de 100  $\mu$  dans le circuit des cathodes fournit l'impédance comme nécessaire pour maintenir l'oscillation et est aussi la source d'impédance de l'impulsion utilisée pour mesurer la capacité.

Le commutateur sélectif choisit la valeur de la capacité "réaction", et le potentiomètre de calibrage. Les valeurs établissant la fréquence de répétition de l'impulsion et de ce fait la capacité maximum qui peut être lue sur cette gamme.

Les fréquences utilisées de 80 Hz à 80 K hz.

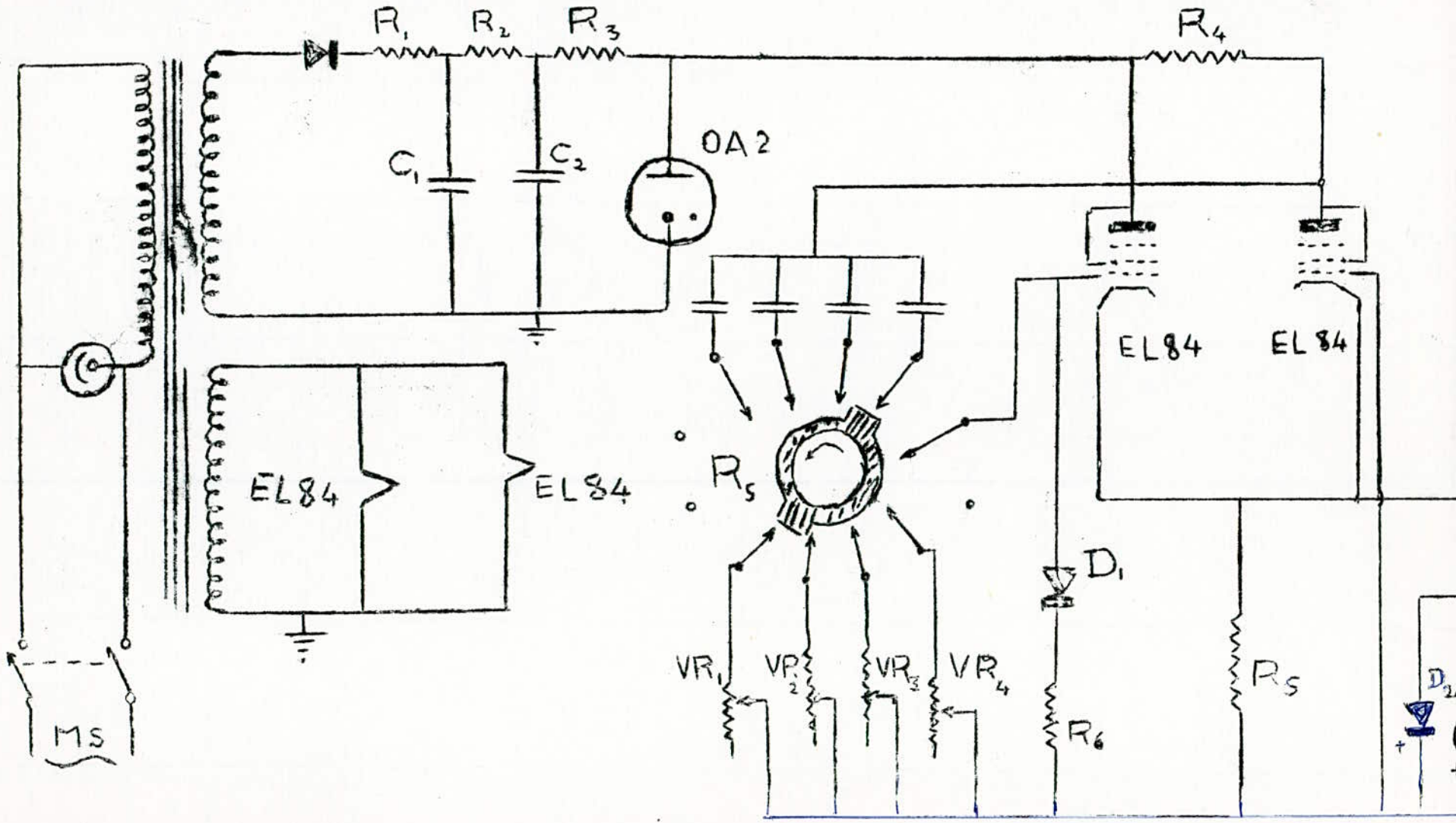
La fréquence de répétition de l'impulsion est telle qu'à la déflexion maximum du capacimètre sur n'importe quelle gamme, la forme du signal tendrait vers zéro pendant l'interval entre les impulsions.

Ceci est nécessaire pour le maintien de la linéarité de la lecture sur toute la gamme de l'instrument.

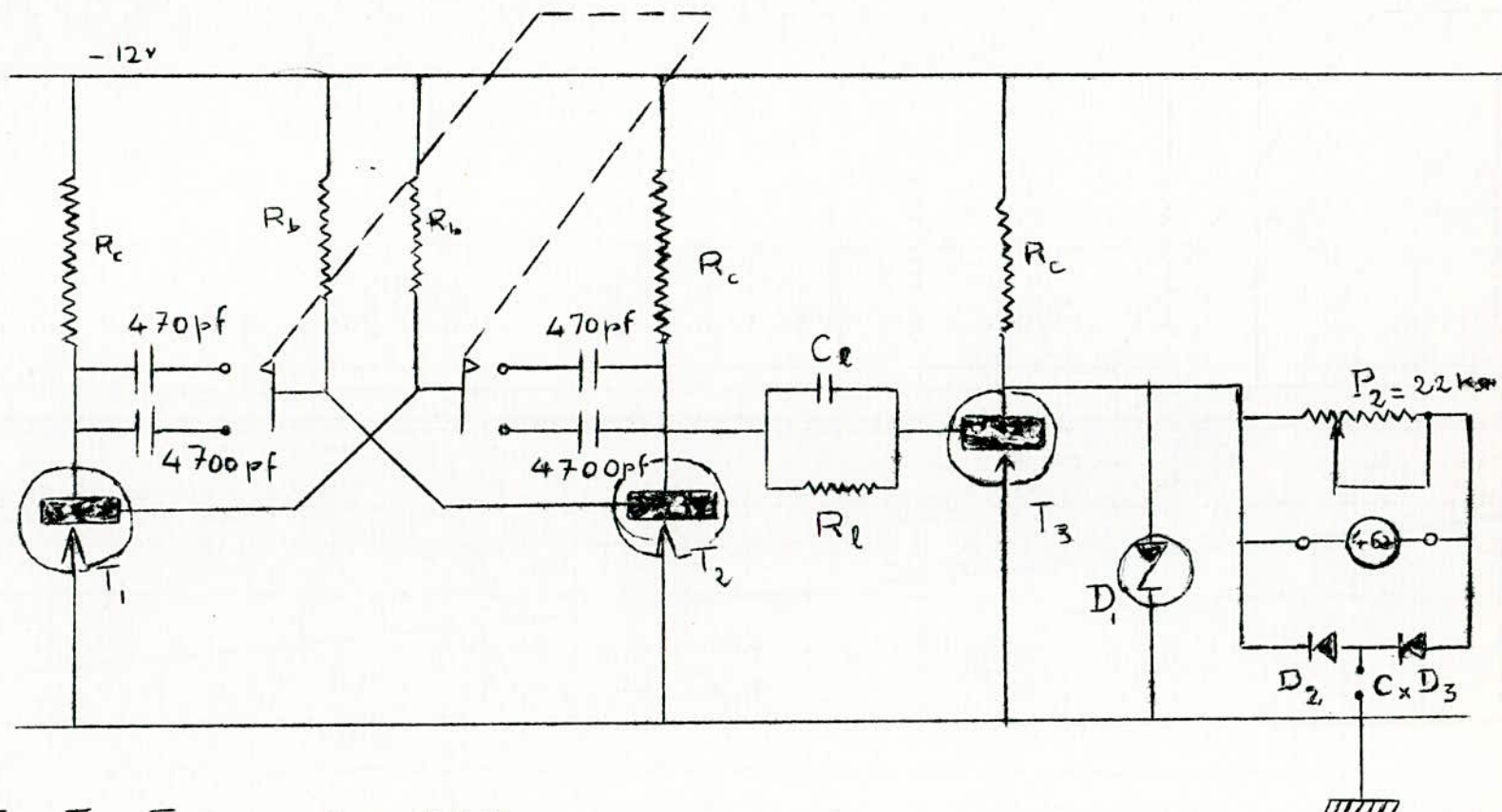


# CAPACIMETRE - HEATHKIT

- I5 -



16 -



$T_1, T_2, T_3$  2N 527  
 $D_1 = 13Z4$   
 $D_2, D_3 = 0A85$

CAPACIMETRE SIMPLE POUR LA MESURE DES CONDENSATEURS  
DE FAIBLE VALEUR

La mesure des condensateurs se fait ordinairement au pont de Wheatstone ou de Sauty alimenté en alternatif.

Malheureusement on est souvent amené à constater la mauvaise précision de ces méthodes pour les condensateurs de faible capacité.

Le capacimètre utilise un tout autre principe, il fait appel à un montage oscillateur dont la fréquence est fonction du condensateur à mesurer. Il promet ainsi de mesurer les condensateurs dont la valeur se situe entre 0 et 1000 pF.

Le montage décrit ici utilise une triode 6C4 montée en oscillatrice " TP.TG", soit plaque accordée, grille accordée (fig 1).

Il est cependant bien certain que n'importe quelle triode, voir pentode, HF, conviendrait parfaitement.

Le fonctionnement de l'appareil est très simple : on branche la capacité à mesurer en A et B, puis on fait varier le condensateur variable de façon à obtenir la déviation minimum du milliampèremètre. La valeur du condensateur est alors indiquée par le cadran du C.V.

Le condensateur est à monter isolé de la mesure, et sa commande se fait par l'intermédiaire d'un flector isolant, afin d'éviter l'effet de main qui fausserait les mesures.

Remarquons que ces deux cages sont branchées en parallèle.

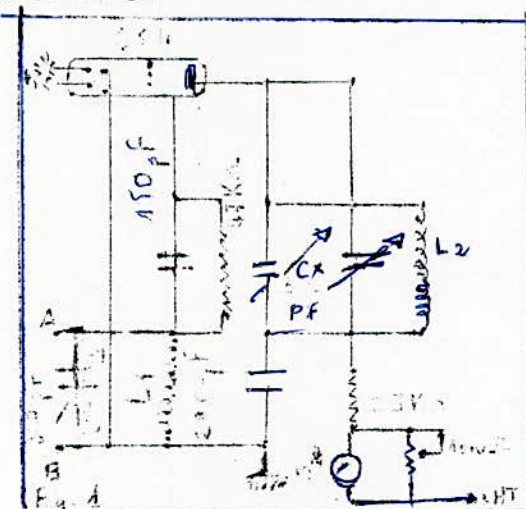
Les deux bobines L 1 et L2 doivent lorsque la capacité du C.V. est la plus faible, osciller exactement sur la même fréquence. Or même lorsque le C.V. a ses lames complètement sorties la self L 2



a toujours à ses bornes la capacité résiduelle propre au C.V. C'est la raison pour laquelle il a été nécessaire d'adjoindre un condensateur ajustable aux bornes de LI pour égaliser les deux résiduelles.

Les deux bobinages sont constituées de 50 spires jointives de fil 5/10, bobinées sur un mandrin de 30 mm.

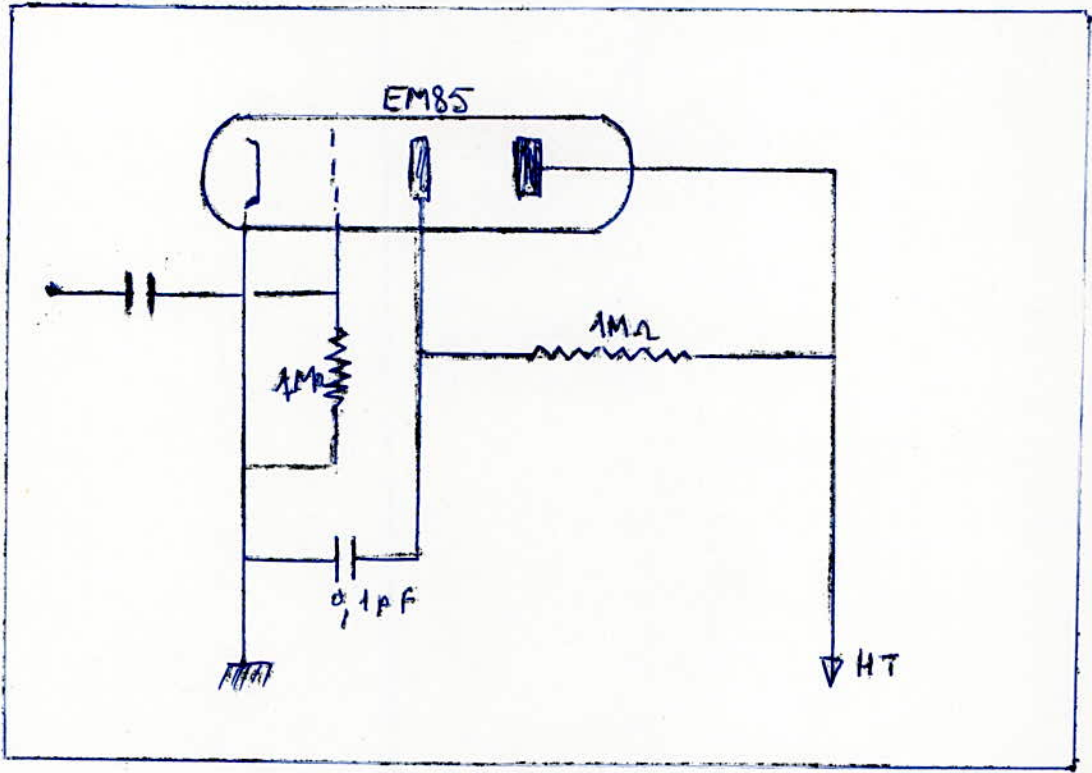
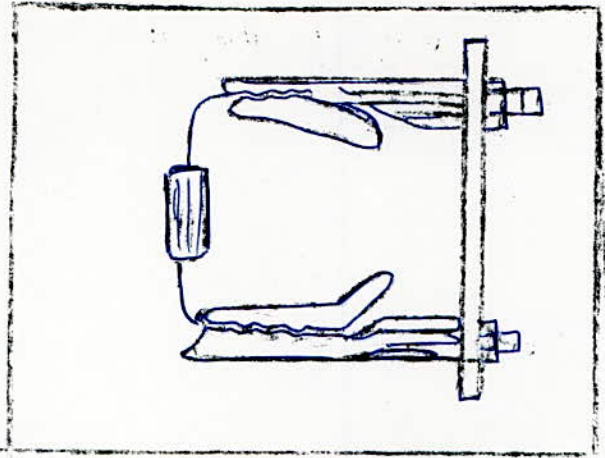
Ces valeurs ne sont absolument pas critiques, mais l'on veillera à ce que les deux bobines L1 et L2 soient les plus semblables possible.



La fréquence de l'oscillateur ainsi constituée se situe aux environs de 3 Mc pour la capacité la plus faible du C.V. Cette valeur a semblé la meilleure après plusieurs essais, car elle conjugue précision et stabilité de l'oscillateur.

Le milliampèremètre utilisé est un modèle miniature de 1mA. Cette valeur étant trop faible, un shunt variable, constitué par un potentiomètre de 1000 a été prévu.

Un milliampèremètre de 5 ou de 10 mA conviendrait mieux et permettrait de supprimer le potentiomètre. Si l'on ne désire pas nobiliser spécialement un milliampèremètre, il sera facile de munir notre appareil de fiches qui permettront de raccorder un appareil extérieur quelconque.



Un contrôleur universel conviendra parfaitement, et l'on pourra toujours ajuster sa sensibilité à l'aide du potentiomètre.

On peut également se passer totalement du milliampèremètre en utilisant un quelconque indicateur visuel, de type EM 85 ou autre

La figure 2 indique le mode de branchement de ce tube, qui est simplement relié à la plaque de la 6C4 par l'intermédiaire d'un condensateur de 600 P.F. L'accord du C.V. est donc réalisé lorsque le secteur lumineux de la EM 85 est le plus écarté.



### Réalisation pratique :

Il est évident que l'on peut réaliser cet appareil de plusieurs façons. Cependant on veillera à ne pas trop allonger les connexions dans le montage de la 6C4 qui fonctionne, ne l'oublions pas, en oscillatrice.

Notons un petit détail d'ordre pratique : on peut éprouver certaines difficultés à maintenir les condensateurs à mesurer dans des douilles de type ordinaire.

Il ne peut être question d'autre part de tenir les condensateurs à la main car cela fausserait les mesures. C'est la raison pour laquelle j'aurais utilisé le petit montage de la figure 3 : deux pinces crocodile sont maintenues par l'intermédiaire de tiges filetées de 3mm de diamètre contre une plaquette de pléxiglass, laquelle est fixée elle-même sur le panneau avant.

Le condensateur est ainsi solidement fixé pendant que l'on effectue la mesure. La figure 4 montre l'aspect d'une version de l'appareil milliampèremètre. L'ensemble occupe un coffret de 23 X 63 X 13 cm. Il est évident que ces dimensions pourraient être réduites, mais on serait alors obligé de réduire l'encombrement du cadran, ce qui donnerait des lectures moins précises.

La commande du C.V. se fait par l'intermédiaire d'un grand bouton flèche du type utilisé sur les hétérodynes, qui assure une excellente lecture. On utilise une alimentation de type quelconque, qui doit débiter 200V environ. On pourrait aussi alimenter l'appareil directement sur l'alternatif sans passer par aucun redresseur. On obtient alors un oscillateur modulé à 50 p/s, ce qui n'offre aucun inconvénient dans cette utilisation.

### ÉTALONNAGE :

Il faut avant tout régler le condensateur ajustable. Pour cela on commence par placer le C.V. sur sa capacité la plus faible (lames complètement sorties), puis on règle le condensateur ajustable de façon à obtenir la déviation minimum du milliampèremètre. On peut alors procéder à l'étalonnage. Si l'on dispose d'une boîte de substitution, cela n'offre évidemment aucune difficulté.

Dans le cas contraire on pourra toujours utiliser des condensateurs neufs dont la valeur est certaine.

.../...



Il faut alors toujours donner la préférence aux condensateurs mica beaucoup plus précis que les condensateurs céramiques.

On pourra porter directement les valeurs de capacité sur le cadran, ou bien le graduer simplement en degrés à l'aide d'un rapporteur, et tracer une courbe d'étalonnage.

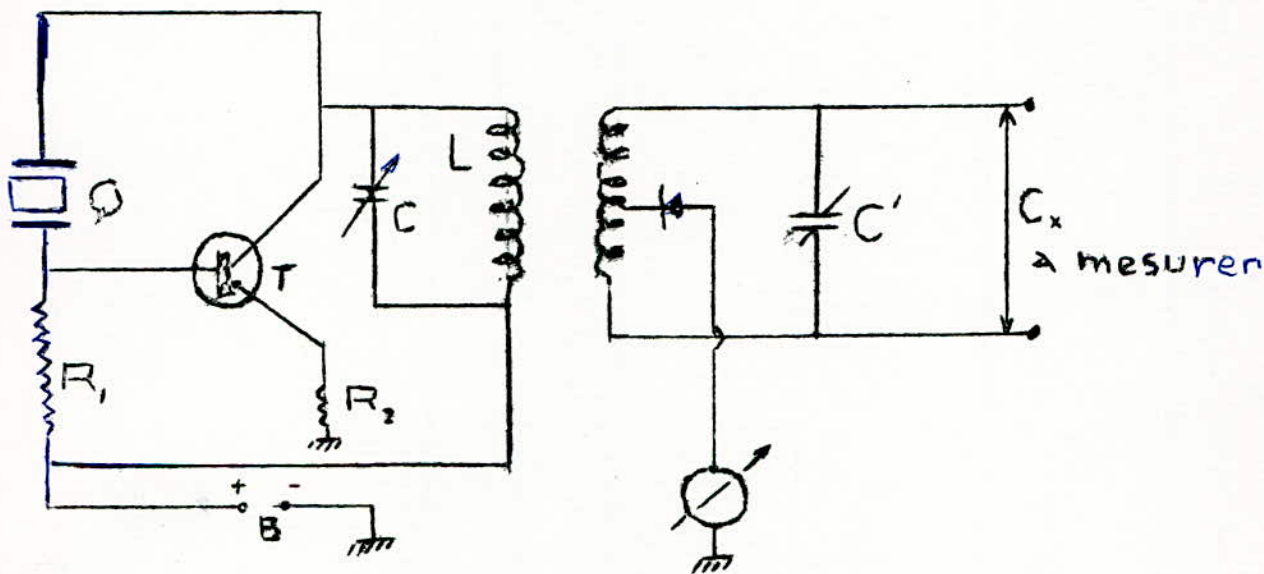
Si la première méthode est plus difficile à appliquer elle se montre plus pratique à l'usage.

Ainsi constitué, notre capacimètre nous permettra non seulement de vérifier les valeurs de condensateurs fixes (mica, céramique, etc...), mais aussi la résiduelle d'un C.V., la capacité existant dans un câble coaxial, blindé, entre les broches d'un tube électronique, ou d'un contacteur, etc...

## CAPACIMETRE POUR LA MESURE DES CONDENSATEURS DE FAIBLE VALEUR

### I/ - P R I N C I P E

Permettant la mesure des condensateurs dont la valeur est inférieure à 500 pF, cet appareil utilise un circuit à un seul transistor (figure 1.). Le fonctionnement est très simple ; le transistor du type 2N ou équivalent est monté en oscillateur à cristal. Le circuit parallèle formé par la bobine L et le condensateur C est accordé sur la fréquence du quartz fréquence qui sera choisie de préférence vers 400 à 500 Khz. Le circuit secondaire L'C' est également accordé sur la même fréquence. Au tiers du bobinage, pour éviter l'amortissement important du circuit, on place une diode qui redresse une partie de signal HF et alimente un galvanomètre



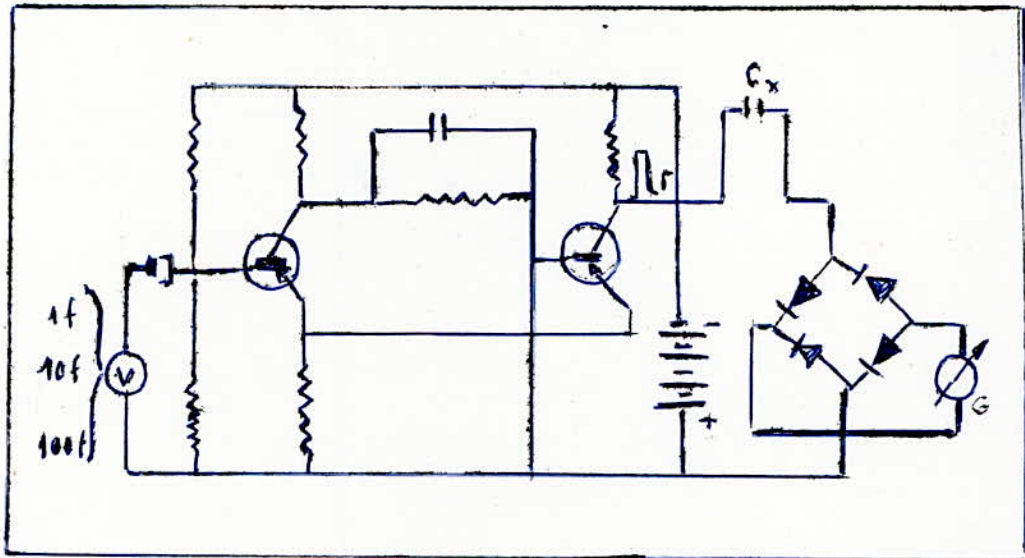
d'une sensibilité de 200  $\mu$ A. La déviation sera maximum pour l'accord des circuits LC et L'C' sur la fréquence du quartz, par contre lorsque l'un des deux circuits est désaccordé la déviation est plus réduite. On place donc le condensateur à mesurer en parallèle sur  $C'$ . Pour l'étalonnage il suffit de prendre quelques condensateurs de précision et de tracer différents points de lecture. Les bobinages peuvent être constitués, soit par deux bobines G0; dans ce cas il faudra réaliser une prise au 1/3 sur la bobine secondaire. On peut également réaliser soi-même ces bobinages sur les du commerce. A titre d'exemple, signalons que sur un mandrin de 8mm de diamètre, il faut pour L, 210 spires jointives fil émaillé  $\phi$  2/10 mm et pour L' 145 spires même fil avec une prise à 30 spires.

CAPACIMETRE A COMPTAGE D'IMPULSIONS .

I/ PRINCIPE :

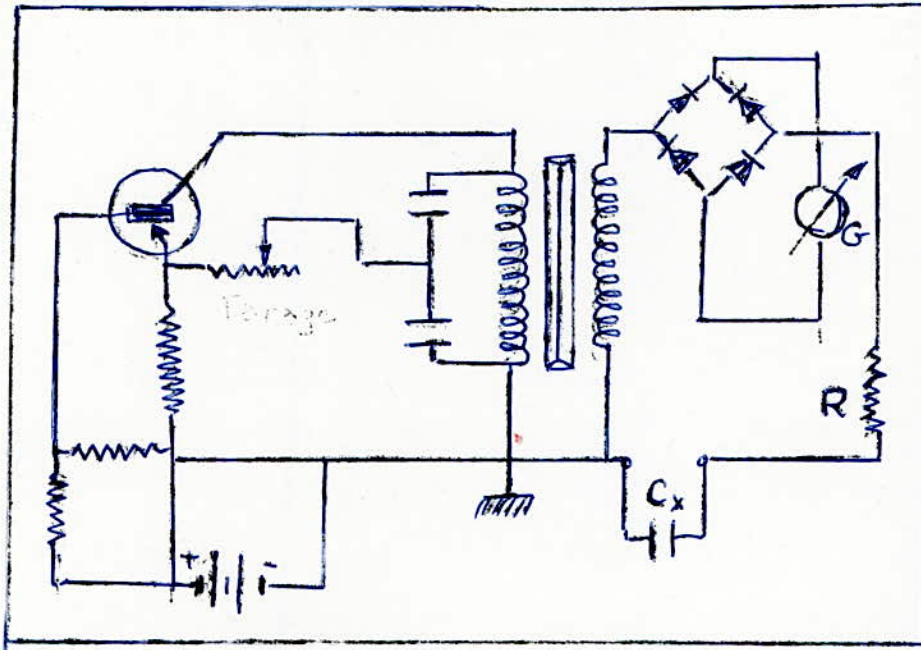
L'amplitude des impulsions étant toujours maintenue constante, tout comme dans le fréquencesnètre. On alimente l'appareil par des fréquences fixes choisies selon les gammes désirées, le condensateur C définissant la gamme étant remplacé par le condensateur à mesurer  $C_x$ . Le courant dans le galvanomètre est alors très sensiblement proportionnel à  $C_x$ , et on obtient une échelle pratiquement linéaire, constatant avec les échelles fortement resserrées aux extrémités qui caractérisent les ohmètres et capacimètres.

II/ S C H E M A :





Pour de fortes capacités, il est alors nécessaire d'accorder l'oscillateur à une fréquence basse, ce qui ne pose pas de problèmes. 3 donne un exemple d'un tel montage; les valeurs dépendent des composants utilisés et des gammes choisies.



CAPACIMETRE ALIMENTE PAR UN OSCILLATEUR A TRANSISTOR

## CAPACIMETRE A TRANSISTORS

### I/- P R I N C I P E

Si dans un montage de nombreuses capacités n'ont pas à être connues avec précision - capacité de découplage, de liaison - d'autres capacités d'accord, en particulier, (\*) doivent avoir une valeur précise. Ces capacités sont généralement comprises entre 10 et 100 pF. L'appareil décrit ci-dessous répond à ce besoin : il mesure à 1 pF près les valeurs comprises entre 0 et 180 pF. Par mise en série avec une valeur connue 200 pF, par exemple, on peut étendre la gamme entre 180 et 1 000 pF. Un transistor HF germanium AF115 (AF.102 conviennent également.) Un quartz de surplus à 200 F, un vieux CVOC du genre 2 x 100 pF feront l'affaire. Le montage est dérivé de l'oscillateur Clapp, le cristal étant rajouté en série dans la base. Lorsque l'appareil oscille sur la fréquence du cristal, ce dernier se comporte comme un court-circuit.

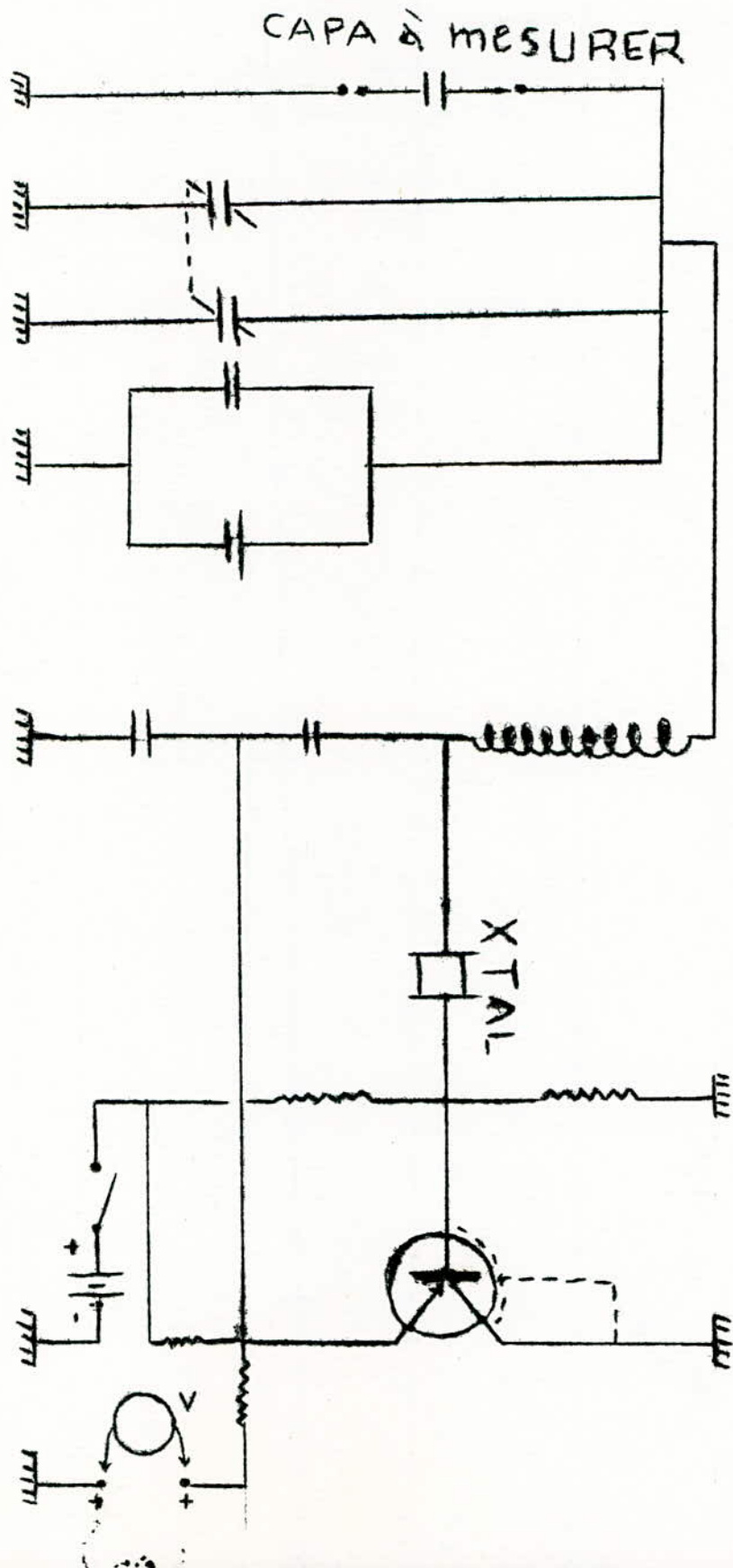
Un contrôleur universel sur l'échelle 3 V entre les points marqués "mesure" constate par un minimum l'accord du icrcuit LC sur la fréquence du cristal. Le CV étant sur la valeur zéro, l'adjonction d'une capacité à mesurer entre les bornes X, oblige pour ramener le voltmètre au minimum, à diminuer le CV d'une capacité C. C'est la valeur cherchée.

L'étalonnage de l'appareil se fait en mesurant les capacités connues, (un CV et une capacité de 10 pF à 1% près).

---

\* Mentionnons à titre indicatif : diode à capacité variable - CV ou ajustable, valeurs résiduelles - Capacité de sortie du transistor - Capacité d'entrée de lampe.

CAPACIMETRE - A - TRANSISTORS





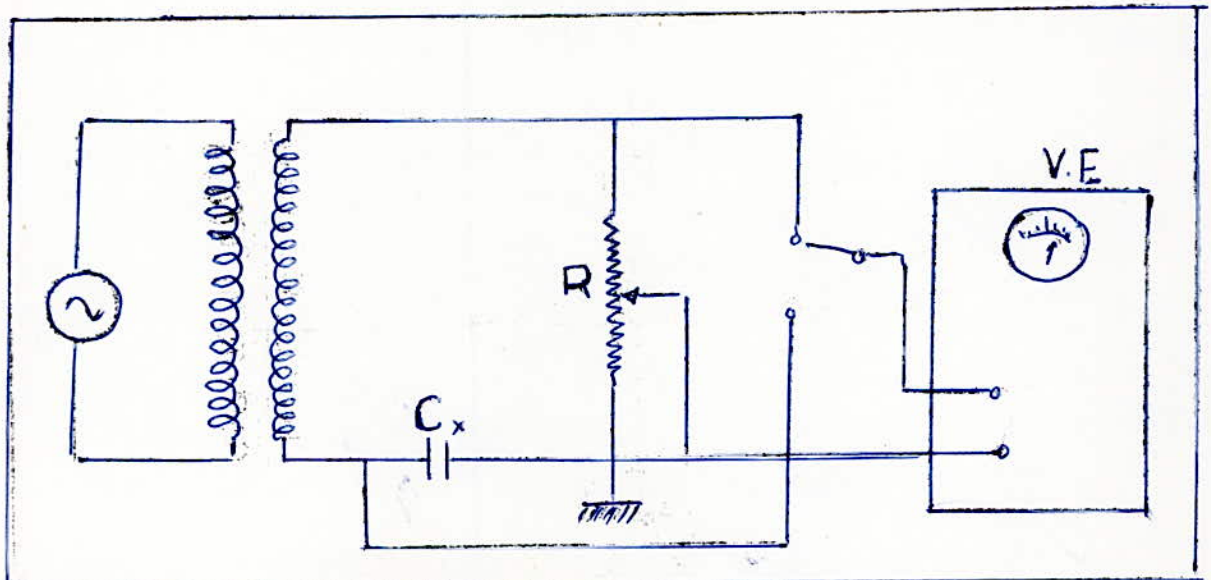
CAPACIMETRE A COMPARAISON D'IMPEDANCE .

I/ Principe :

Dans cette méthode illustrée par la figure 1, un courant alternatif issu d'un enroulement de transformateur T parcourt en série la capacité à mesurer  $C_x$  et une résistance variable étalonnée  $R$ , une boîte à décades par exemple. A l'aide d'un commutateur  $K$ , un V.E. peut être branché sur  $C_x$  et  $R$  afin de permettre d'égaliser les chutes de tension  $V_c$  et  $V_R$ . Si cette égalité est réalisée, on a  $C = 1/R$ . Comme les deux amplitudes sont ici mesurées séparément, il n'y a pas de composition vectorielle, et on peut comparer directement une capacité à une résistance.

En remplaçant la décade de résistances par une décade de capacités, on a évidemment  $C_x = C_2$ , et la lecture est directe (comparaison d'impédances de même nature). De plus, elle est indépendante de la fréquence, ce qui est avantageux du fait qu'il est nécessaire de mesurer les faibles capacités à une fréquence plus élevée. Mais, tout compte fait la manipulation est plus compliquée que le réglage d'un pont de Sauty, pour une précision plutôt inférieure. Cette méthode n'est donc défendable que pour des mesures rapides en l'absence d'un pont de Sauty ou d'un capacimètre à lecture directe. Elle ne donne aucune information sur les pertes du condensateur examiné.

II/ S C H E M A :





C A P A C I M E T R E à  
Resonance

A la resonance, un circuit oscillant est gouverné par la relation  $LC\omega' = 1$  que l'on écrit encore  $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$ . Connaissant deux variables de cette dernière équation, on peut déterminer la troisième.

Le phénomène de la resonance est généralement applicable à la mesure des condensateurs et de très nombreux schémas découlant de différentes méthodes sont utilisables. Le condensateur inconnu  $C_x$  peut faire partie du circuit oscillant d'un oscillateur dont la fréquence est alors fonction de  $C_x$ , et la variation est détectée par battements avec un oscillateur fixe.  $C_x$  peut aussi accorder un circuit oscillant passif précédant un détecteur, et c'est alors l'oscillateur qu'il faut désaccorder pour trouver la resonance. La variation de capacité peut être directement chiffrée en unités de capacité, en substituant au besoin à  $C_x$  un condensateur variable étalonné.

La méthode que nous proposons est différentielle à fréquence fixe. La fréquence d'un oscillateur ECO à pentode (fig. ) est déterminée par le circuit oscillant  $L, C$ . Dans la plaque de la pentode, on trouve un circuit oscillant  $L_2 C_2$  accordé à la fréquence  $f$  qui correspond à la capacité maximum du condensateur variable  $C$ , (lames complètement engagées). Un enroulement  $L_3$  couple avec  $L_2$  alimente le détecteur  $D$  suivi de l'indicateur de resonance (oeil magique ou galvanomètre).

A la resonance l'oeil magique se "ferme". (on peut ajuster l'angle de fermeture par une polarisation de la cathode.) Le branchement de  $C_x$  en parallèle sur  $C$ , déplace la fréquence, et l'oeil magique s'ouvre. En réduisant maintenant  $C$ , on rétablit la resonance par une capacité  $C_0$ , et on a alors  $C_x = C_0$ . On peut étalonner le cadran de  $C$ , pour lire directement  $C_x$ , c'est une méthode de simple soustraction, la fréquence et les inductances n'ont pas besoin d'être connues on pourrait ainsi mesurer des capacités jusqu'à 1000 pF environ en utilisant un condensateur variable de même valeur à plusieurs cages mises en parallèle.

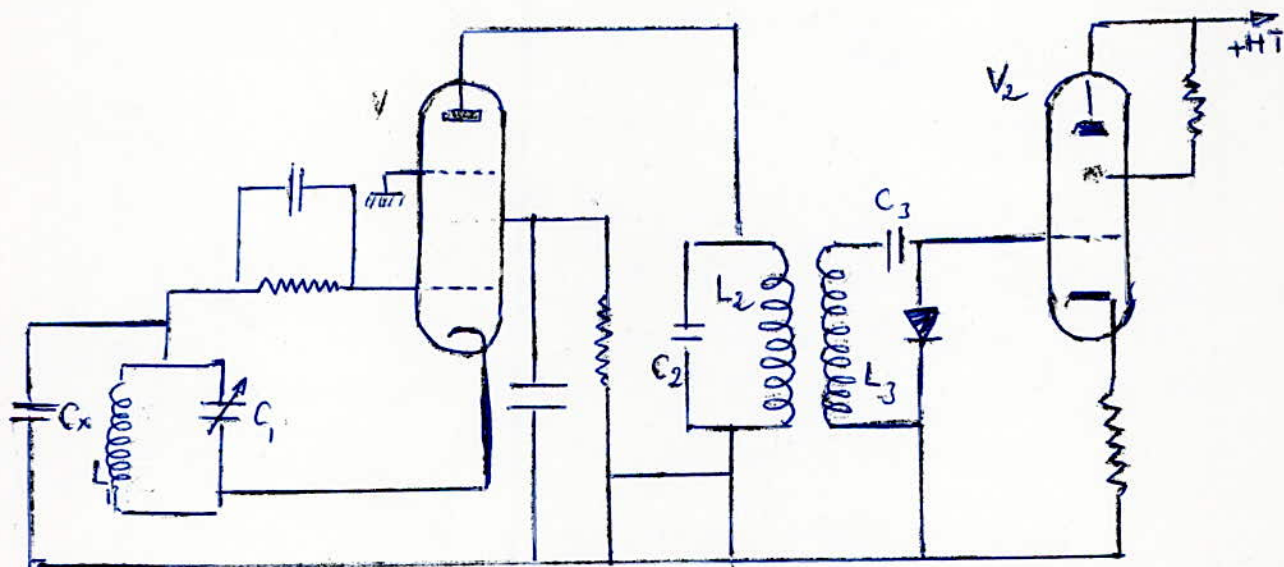
Toutefois, avec un tel condensateur variable ayant une  $C$  max de 15 à 50 pF on pourrait descendre à 1 à 15 pF. Une fréquence de resonance de 400 à 1000 / $\sqrt{2}$  Hz convient parfaitement. Dans ces conditions, on peut utiliser pour  $L_2$  un enroulement de transformateur F.I de 455 à 472 k Hz.

Avec des capacinètres à battements, il est possible de descendre à 1 pF, et cette méthode est à envisager lorsqu'il s'agit de mesurer des capacités aussi faibles. Toutefois, l'appareil est nettement plus compliqué, et des précautions sont à prendre (stabilisation des oscillateurs notamment) pour que l'appareil ne se dérègle pas constamment. D'ailleurs ici aussi, une mesure différentielle (par soustraction) est indiquée.

.../...

Les mesures de resonances sont surtout commodes entre 100 k Hz et même 300 M Hz, et interessent de ce fait les capacités inferieures à 1 pF. En B.F. ; il n'y a ni capacités ni inductances variables, et il ne reste qu'à faire varier la fréquence .On peut toujours substituer une boîte à decades de capacités à un condensateur  $C_x$  dans un oscillateur B.F., et rétablir la fréquence initiale en s'aidant d'une figure de Lissajous; mais d'autres méthodes sont alors préférables. De plus, la précision et l'ajustage de la resonance dépend du coefficient de surtension  $Q$  du bobinage  $L_2$ , et comme le  $Q$  des bobinages B.F. est relativement faible, la resonance n'est pas très prononcée.

SCHEMA



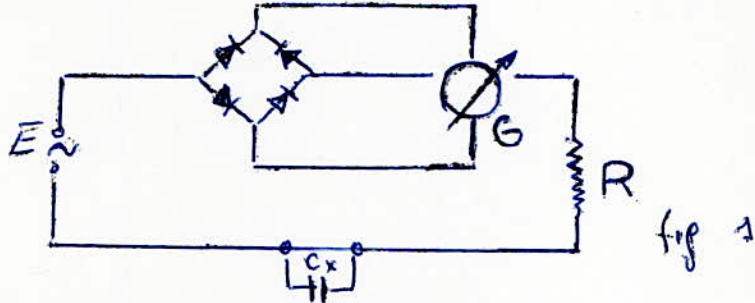


L'appareil ci-dessus mesures des impédances et l'échelle peut-être graduée en unités de capacités. On a alors le schéma de principe de la figure 1. Comme la résistance R et la réactance  $1/\omega C_x$  s'ajoutent vectoriellement, le courant i dans le redresseur est (en négligeant la résistance de l'ensemble galvanomètre + redresseur) :

$$i = E / \sqrt{R^2 + 1/\omega^2 C_x^2}$$

Si  $i_0$  est le courant pour la déviation totale du galvanomètre obtenu par tarage avec les bornes court-circuitées, soit  $i_0 = E/R$ , on a la relation donnant  $C_x$  en fonction de la déviation :  $C_x = 1/R$

Cette graduation est inversée par rapport à celle d'un ohmmètre correspondant : les grandes capacités se lisent, comme les résistances faibles, à droite de l'échelle.

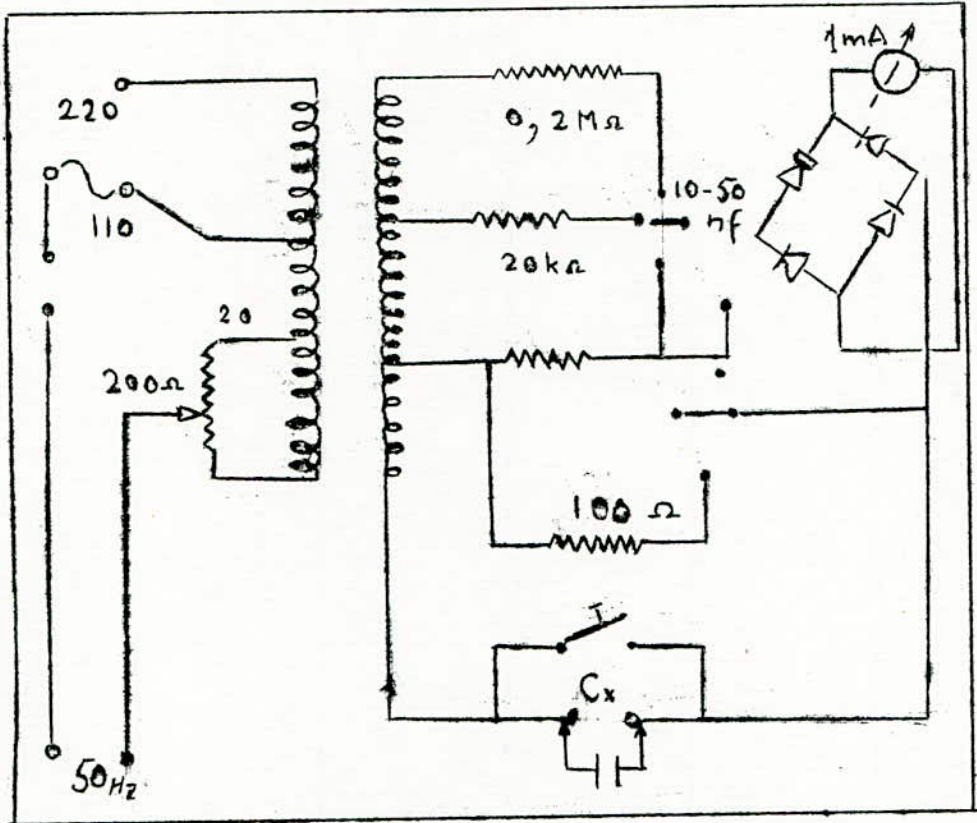


(fig. I). CAPACIMETRE OHMETRE SIMPLE

A noter que, dans cette méthode, les pertes se confondent avec la capacité (en s'y ajoutons) et ne peuvent donc pas être mesurées.

En utilisant le secteur comme source, il est prudent de passer par un transformateur. Il faut éviter le risque de court circuit. Avec un transformateur à prises, on peut réaliser un capacimètre à sensibilités multiples. Le montage de la figure 2 mesure en trois gammes, dont les points milieux sont 0,01, 0,1 et 1 UF environ, les capacités comprises entre 1nF et 10 UF. (Avec un shunt sur la première sensibilité, on pourrait aller jusqu'à 100 uF.) Les sensibilités sont obtenues par des prises à 220 et 200 V. sur les secondaire du transformateur, mises en série avec des résistances adéquates. Le tarage pour toutes les gammes se fait ici par un potentiomètre de 200 Q, 20W, monté sur une portion de 20 V du primaire. A 50 Hz, la mesure des petites capacités est difficile : 1nF "vaut" déjà 3.M. En opérant à une fréquence de 1 à 10kHz, la réactance serait 20 à 200 fois plus faible, donc plus facilement mesurable. Avec un oscillateur à transistor muni d'un transformateur éleveur, il est facile de descendre à quelques dizaines de pF, et de plus, l'appareil alimenté par piles est réellement portatif et indépendant du secteur.

CAPACIMETRE D'ATELIER A PLUSIEURS CALIBRES





Alimentation des tubes électroniques

Diverses tensions à fournir:

- Le fonctionnement des tubes électroniques nécessite 3 tensions, chargées d'assurer :
  - a) Le chauffage du filament
  - b) Le potentiel positif de l'anode.
  - c) La polarisation de la grille.

- La 1<sup>o</sup> de ces tensions pourrait être en principe continue ou alternative. (Mais en général elle est alternative et de 6,3 V.)

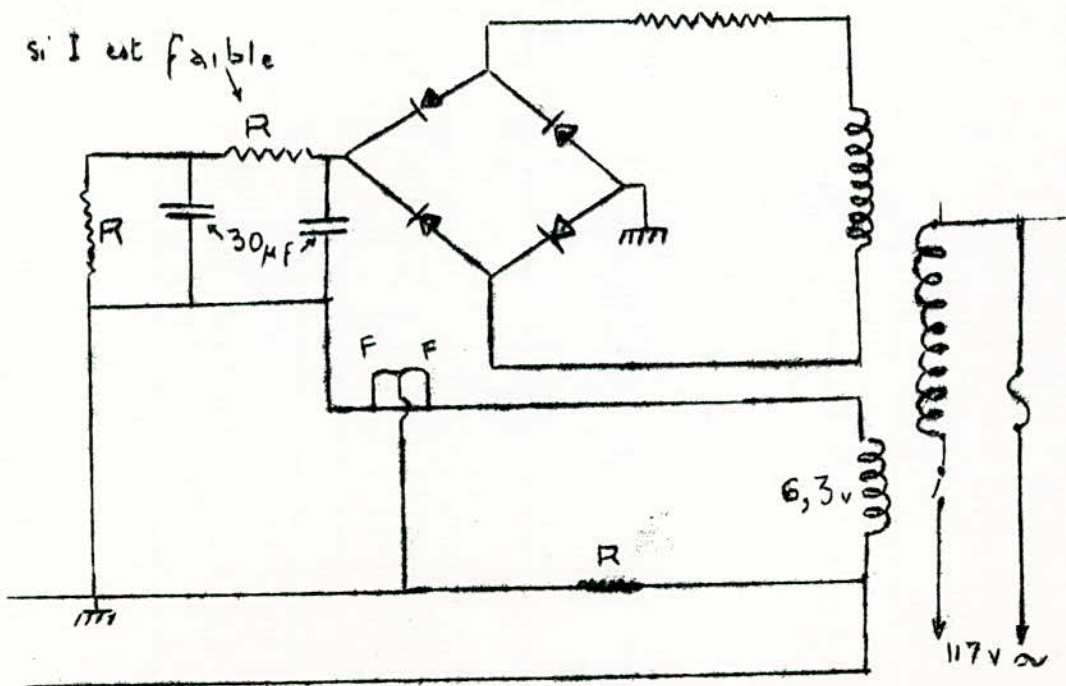
-Les 2 autres doivent nécessairement être continues, mais peuvent souvent être produites par la même source, (comme pour la polarisation automatique).

Ces diverses tensions peuvent être fournies par des batteries appropriées, ou même par des piles sèches dans le cas des petites puissances ; mais le cas le plus fréquent est celui de l'alimentation par un réseau alternatif.

-Avec les cathodes à chauffage indirect, le chauffage des filaments peut se faire en alternatif sans ronflement exagéré, il suffira d'un transformateur pour alimenter les filaments branchés en parallèle. Mais l'alimentation des anodes et des grilles nécessitera toujours un redresseur parfaitement filtré; un filtrage insuffisant qui laisserait dans la tension redressée une composante alternative appréciable, provoquerait de ce fait un ronflement inadmissible.

C'est pourquoi finalement le réseau alternatif conviendrait beaucoup mieux qu'un réseau continu pour assurer l'alimentation des tubes ; par suite de la souplesse que donne l'emploi des transformateurs pour réaliser n'importe quelle valeur de tension et de la facilité avec laquelle on peut redresser les tensions ainsi obtenues. La rigidité de la tension d'un réseau continu est par contre un inconvénient : il est matériellement impossible d'élever cette tension, et le seul moyen de l'abaisser est de faire usage de résistances qui provoquent des pertes d'énergie et échauffent le matériel environnant. Ce qui me concerne j'ai pris une alimentation stabilisée pour faire les essais. Quoiqu'elle soit encombrante elle présente l'avantage suivant: C'est celui de visualiser les tensions plaques ainsi que les tensions des filaments du tube électronique.

EXEMPLE : D'ALIMENTATION





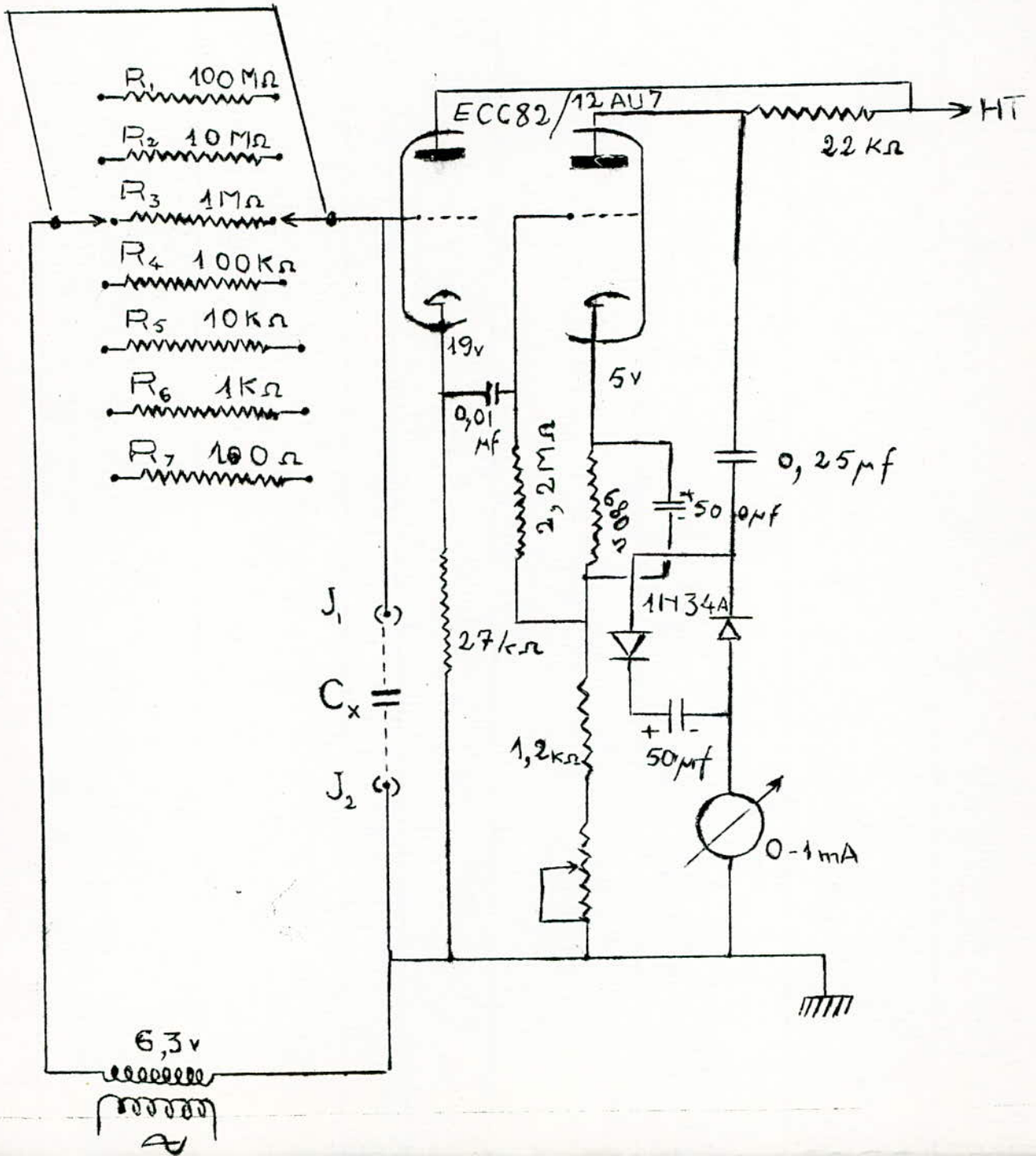
I V      è m e      P A R T I E

-----

C A L C U L      T H E O R I Q U E

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

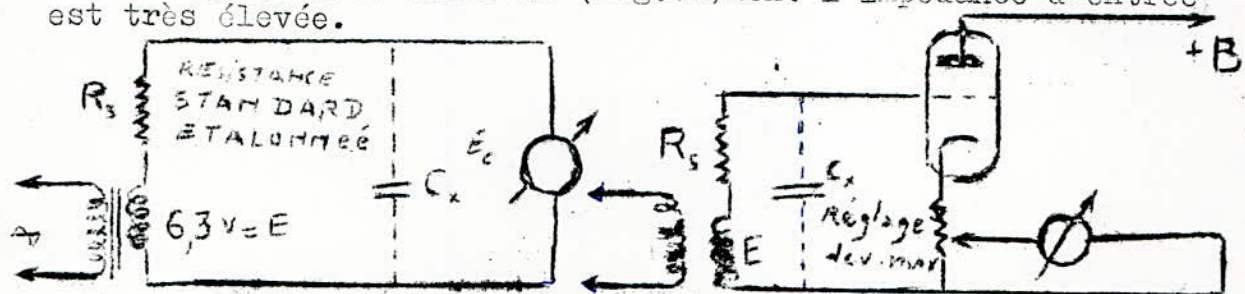
# I) SCHEMA



CAPACIMETRE

POUR CONDENSATEURS DE 1 PICOFARAD A 500 MICROFARADS

Le schéma fonctionnel du capacinètre est indiqué par la figure 1 A. le voltmètre doit mesurer avec précision la tension entre les armatures du condensateur. Son impédance doit donc être très élevée et c'est la raison pour laquelle on le fait précéder d'un étage cathode follower (fig. 1B) dont l'impédance d'entrée est très élevée.



Pour ce montage, le voltmètre doit être un voltmètre électronique alternatif de qualité. La tension de sortie de l'étage cathode follower présenterait de la distorsion dans le cas de l'utilisation d'un voltmètre de faible résistance d'entrée? C'est la raison pour laquelle le voltmètre de la figure 1B est remplacé par un amplificateur linéaire dont la tension de sortie est indiquée par un milliampèremètre 0-1 mA. Le schéma complet et celui de la figure 2.

La réalisation de ce capacinètre n'est pas critique. La seule précaution à prendre est de réduire le plus possible les longueurs des connexions de grilles pour diminuer les capacités parasites. Le commutateur doit être un modèle en steatite à deux galettes. Dans ces conditions, la capacité résiduelle d'entrée est de l'ordre de 15pF.

Un voltmètre électronique dont la réponse est assez linéaire peut servir d'indicateur de sortie. En utilisant l'échelle de la figure 3, on convertit les mesures de tensions en mesures de capacités.

Sur le schéma de la figure 2, un milliampèremètre de 1mA est utilisé pour deux raisons :

- 1) La précision des lectures croît lorsque le courant traversant l'appareil de mesure augmente.
- 2°) l'augmentation de l'intensité traversant les redresseurs améliore leur linéarité.

L'appareil de mesure est un microampèremètre 40. Adont la sensibilité a été réduite à 400/μA grâce à un ressort. A l'aide d'un shunt supplémentaire la déviation complète de l'aiguille nécessite 1 mA.

Les sensibilités du capacinètre sont les suivantes :

Si la sensibilité 1 correspond à la position du commutateur dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la déviation de l'aiguille est dans le même sens que la rotation du bouton de commande. R3 à R7 doivent être des résistances de faible tolérance.

Sur les sensibilités 1 et 2 il est nécessaire de tenir compte des capacités parasites résiduelles.



C A L C U L   T H E O R I Q U E .

A) Données

Fixons-nous le point de fonctionnement du tube, et la haute-tension (H.T.)

— la lampe utilisée est une I2 A U 7/E C C 8 2 double triode dont les caractéristiques d'après le catalogue sont les suivantes:

$V_A$ v	$I_A$ mA	$V_G$	S mA/v	Coefficient d'amplification	Résistance interne $K_A$
250	10,5	-8,5	2,2	I7	7,7

— Nous imposerons au point de fonctionnement les limitations suivantes:

- a) ne jamais entrer dans la région des tensions-grille positives.
- b) se trouver en-dessous de l'hyperbole de dissipation maximum.  $P_a = 2,75 \text{ w}$
- c) être en-dessous de la région des courants plaque faibles. (Distorsions inadmissibles.)

— Nous négligerons dans cette étude l'influence des capacités parasites entre électrodes (étant donné que nous travaillons à 50 Hz.)

Nous traçons la droite de charge dans le cas où:

— Résistance de charge = 22  $K\Omega$

— Haute tension = 250 v

L'équation de la droite de charge s'écrit:

$$V_p = E - R_A I_p$$

$$\frac{V_p}{R_A} = \frac{E}{R_A} - I_p \quad \equiv \quad -I_p + \frac{E}{R_A}$$

$$V_p = f(I_p)$$

$$\rho I_p = V_p + \mu V_g$$

$$V_p = -V_s$$

$$I_p = \frac{V_s}{R_K}$$

$$V_g = (V_e - V_s)$$

$$\rho \frac{V_s}{R_K} = -V_s + \mu (V_e - V_s) = -V_s + \mu V_e - \mu V_s$$

$$V_s \left( \frac{\rho}{R_K} + 1 + \mu \right) = \mu V_e$$

$$G = \frac{V_s}{V_e} = \frac{\mu R_K}{\rho + (\mu + 1) R_K}$$

Comme

$$\mu = \rho s = 7,7 \cdot 2,2 = 17$$

$$R_K = 27 \cdot 10^3 \Omega$$

$$G = \frac{\mu R_K}{\rho + (\mu + 1) R_K} = \frac{17 \cdot 27 \cdot 10^3}{18 \cdot 27 \cdot 10^3 + 7,7 \cdot 10^3}$$

$G \approx 0,93$

--Le gain est bien inférieur à 1. Si  $R_K$  est assez grand par rapport à  $\rho$ . On a  $G = 1$

--On remarque qu'il n'y a pas de déphasage  $V_e$  et  $V_s$ .

L'amplificateur cathodyne n'amplifie pas en tension.

Schéma équivalent

Le courant traversant le tube s'écrit:

$$\rho i_p = v_p + \mu v_g$$

$$v_p = -R_K i_p$$

$$v_g = v_e - R_K i_p$$

$$\rho i_p = -R_K i_p + \mu (v_e - R_K i_p)$$

$$\rho i_p = -R_K i_p + \mu v_e - \mu R_K i_p$$

$$i_p (\rho + R_K + \mu R_K) = \mu v_e$$

$V_p$  = tension plaque  
 $E$  = haute tension  
 $I_p$  = courant plaque  
 $R_A$  = résistance de charge

H.T. = 250 v

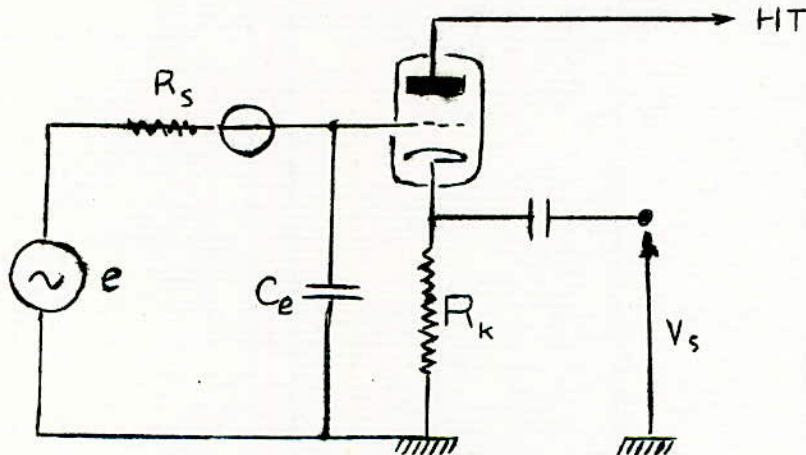
S = 2,2 mA/v

$\rho$  = 7,7 K $\Omega$

$$P_I \begin{cases} V_{giK} = -19 \text{ v} \\ I_{piK} = 0,7 \text{ mA} \\ V_{piK} = 231 \text{ v} \end{cases}$$

B) Calcul de la polarisation automatique.

Traçons d'abord la droite de charge statique de pent.  $tg \alpha = -I_p / R_k$  connaissant la haute tension = 250 v. Dans le réseau  $I_p = f(V_p)$  et la résistance  $R_k$  sera choisie pour nous donner la polarisation désirée; la résistance  $R_k$  est en même temps capable de produire la polarisation.



$$V_K = - R_K I_K$$

$$-19 \text{ v} = - R_K \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}$$

$$R_K = 27 \text{ K}\Omega$$

Cet ampli est une cathode Follower dont les propriétés sont les suivantes:

C'est un ampli de puissance à contre réaction car si nous calculons le gain

Calcul du gain

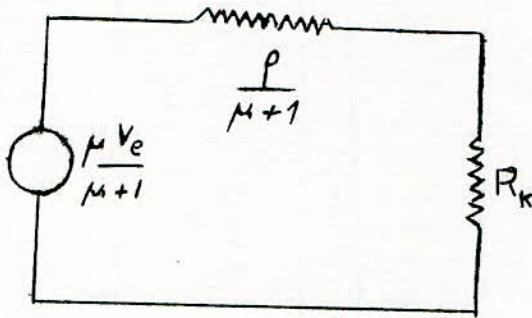
Ecrivons l'équation générale de la triode:



$$i_p \rightarrow \frac{\mu v_G}{\rho + R_K + \mu R_K}$$

Comme  $\mu \gg I$

$$i_p = \frac{\mu v_G}{\rho + R_K(\mu + I)} = \frac{\frac{\mu v_G}{\mu + I}}{\frac{\rho}{\mu + I} + R_K}$$



$$i_p = \frac{\frac{\mu v_G}{\mu + I}}{R_K + \frac{\rho}{\mu + I}}$$

Nous remarquons qu'il y a une diminution apparente de la résistance interne du tube.

Impédance de sortie

On avait trouvé que

$$g = \frac{\mu R_K}{\rho + (\mu + I) R_K} = s R_s = \frac{\rho s R_K}{\rho + \rho s R_K} = \frac{s R_K}{I + s R_K}$$

$$g = s F$$

En lisant sur le schéma équivalent, d'où

$$R_{\text{sortie}} = \frac{R_K}{1 + s R_K} = \frac{27}{I + 2,27} = 4,5 \text{ K}\Omega$$

L'impédance de sortie est faible

L'intérêt du montage cathodyne est:

- a) que l'impédance d'entrée est très élevée
- b) que l'impédance de sortie est faible. ( donc la puissance est plus grande à la sortie qu'à l'entrée)
- c) c'est un amplificateur de puissance. (En effet le

gain est sensiblement égal à 1). On a la même tension à l'entrée qu'à la sortie.

e) on a une réaction de courant .

f) il diminue la distorsion non linéaire

g) le taux de distorsion de contre réaction est

$$k_{cr} = \frac{1 I_{20}}{k I_{10}}$$

h) stabilisation de courant.

C) La capacité de livraison est choisie telle que le signal est transmis à la grille du tube suivant intégralement.

$$C = 0,01 \mu f$$

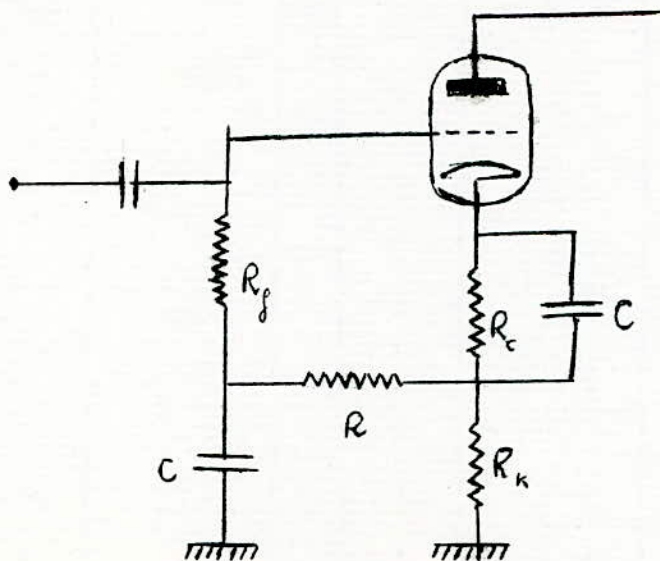
D) La résistance de grille  $R_{g2}$

Pour compenser l'excès de polarisation , on peut

1°/ en rendant la grille positive par rapport à la cathode au moyen d'un diviseur de tension (ceci dans le cas où l'excès de polarisation est de l'ordre de 20 à 30 v

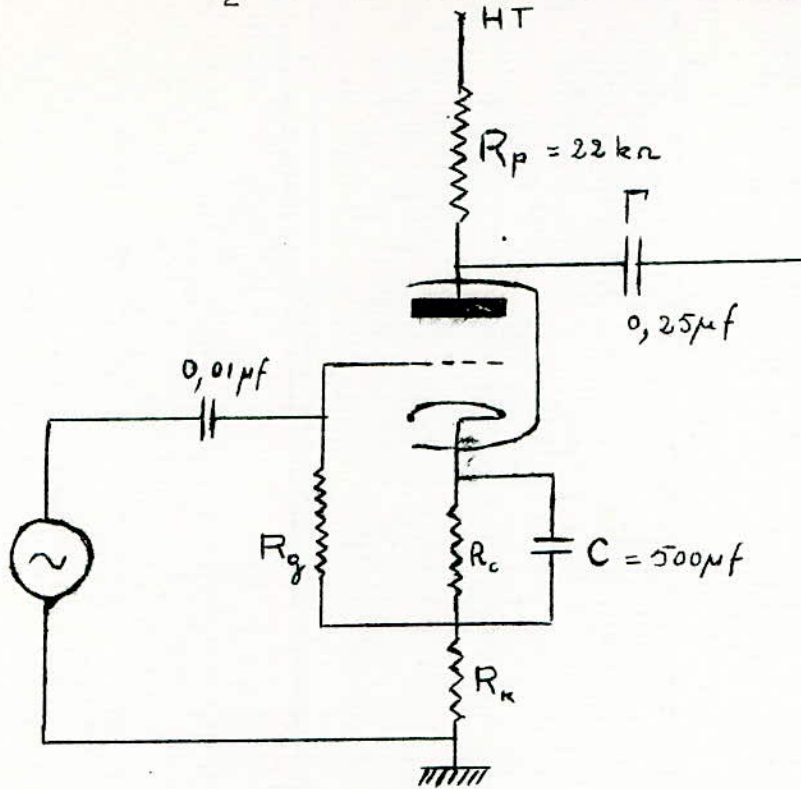
2°/ dans notre cas nous utiliserons une résistance de grille  $R_{g2}$  très élevée égale à 2,2 M $\Omega$ .

On peut toute-fois ajouter une cellule de découplage R C formant filtre afin d'éviter que les variations de tension qui se produisent aux bornes de la résistance de contre réaction soient transmises à la grille du tube.



- 4I -

Le tube  $T_2$  est un amplificateur à contre réaction de tension.



La tension de contre réaction est dérivée à la sortie du tube c'est-à-dire aux bornes de  $R_K$ .

On effectue une rotation de phases de  $\pi$  à partir du diviseur de résistances qui ne déphase pas la tension. Il s'agit donc bien du cas de contre réaction.

Détermination des propriétés de cet amplificateur.

Tube I2 AU 7 / E CC 82

Pente  $s=2,2$   $\mu A/v$      $\rho = 7,7$   $K \Omega$      $\mu = 17$     HT = 250

de la même manière nous nous fixons notre point de fonctionnement:

$$V_{p2K} = 150 \text{ v} - 5 \text{ v} = 145 \text{ v}$$

$$V_{g2K} = 5 \text{ v}$$

$$I_{p2K} = 4,55 \text{ mA}$$



1°/ Résistance de charge

$$R_p = \frac{H T - V_p}{I_p} = \frac{250 - 150}{4,55} = \frac{100}{4,55} = 22 \text{ K}\Omega.$$

2°/ Calcul de la polarisation

$$V_g = R_c I_K = R_c I_p$$

$$R_c = 680 \Omega$$

La capacité doit être plus faible que  $R_c$

$$\frac{1}{C_K} = R_c \text{ pour } \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz}$$

Choisissant  $C_K = \frac{100}{R_K}$

$$C_K = 500 \mu\text{F}$$

3°/ Impédance de sortie sans réaction

$$\frac{1}{Z_s} = \frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_K}$$

$$Z_s = \frac{R_K}{\rho + R_K} = \frac{7,7 \cdot 10^3 (1,2) 10^3}{7,7 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 10^3} = \frac{7,7 \cdot 1,2 \cdot 10^3}{8,9} = \frac{9,25}{8,9}$$

$$Z_s = 1,04 \text{ K}\Omega = 1 \text{ K}\Omega$$

4°/ Impédance de sortie avec réaction

$$Z_{sT} = \frac{Z_s}{K} = \frac{1}{k}$$

$$k = 1 - \beta A_o$$

$$\beta = 6 \text{ I (contre réaction)}$$

$$A_o = -S_d R_K = s \frac{R_K}{\rho + R_K} = 2,2$$

$$k = 1 + A_o = 1 + 2,2 = 3,3$$

$$Z_{sT} = \frac{1000}{3,3} = 303 = 300 \Omega$$

Impédance d'entrée sans réaction

$$Z_e = R_s = 2,2 \text{ M}\Omega .$$

Impédance d'entrée avec réaction

$$Z_{e0} = Z_e k = 2,2 \cdot 2,2 = 4,84 \text{ M} .$$

$$Z_c = 5 \text{ M}\Omega .$$

Calcul de la capacité

Le courant d'entrée I traverse la résistance stand  $R_s$  en série avec la réactance X du condensateur de capacité inconnue; donc,

$$(R_s^2 + X_c^2)^{\frac{1}{2}} \cdot I = E \quad (\text{tension d'entrée})$$

La relation entre  $E_c$  et E est la suivante:

$$\frac{X_c I}{I \cdot (R_s^2 + X_c^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{E}{E_c}$$

ce qui peut s'écrire:

$$\frac{E_c}{E} = \frac{\sqrt{\frac{X_c^2}{R_x^2 + X_c^2}} + \frac{X_c^2 R_x}{(R_x^2 + X_c^2)^2}}{\sqrt{(R_x^2 + X_c^2)^2 + \frac{X_c^4}{(R_x^2 + X_c^2)^2}}}$$

$$\frac{E_c}{E} = \sqrt{X_c^2 \left( \frac{X_c^2}{(R_x^2 + X_c^2)^2} + \frac{R_x^2}{(R_x^2 + X_c^2)^2} \right)} = X_c \sqrt{\frac{I}{R_x^2 + X_c^2}}$$

$$= X_c \sqrt{\frac{I}{X_c^2 \left( \frac{R_x^2}{X_c^2} + I \right)}} = \sqrt{\frac{I}{\left( \frac{R_x}{X_c} \right)^2 + I}} = \frac{I}{(R_x^2 C_x^2 + I)^{\frac{1}{2}}}$$

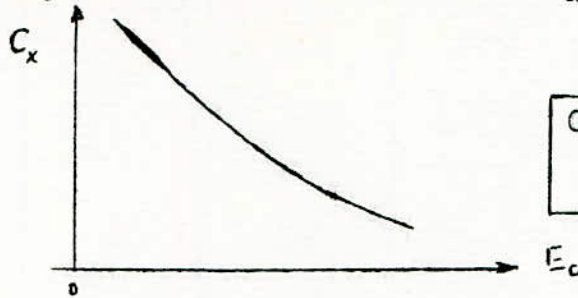
Comme nous fixons  $R_s$  et  $X_c = 2\pi f = 314$  avec  $f = 50$  Hz  
ce qui fait  $k = 4\pi^2 f^2 R_x^2 C_x^2$

$$\frac{E_c}{E} = \frac{I}{[4\pi^2 f^2 R_x^2 C_x^2 + I]^{\frac{1}{2}}} = \frac{I}{(k C_x^2 + I)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\left( \frac{E_c}{E} \right)^2 = \frac{I}{k C_x^2 + I} \quad k C_x^2 + I = \left( \frac{E}{E_c} \right)^2$$

$$\left(\frac{E}{E_c}\right)^2 - I = k C_x^2$$

$$C_x = \frac{1}{k} \left[ \left(\frac{E}{E_c}\right)^2 - I \right]$$



$$C_x = \frac{K I}{E_c} - \infty$$

S E N S I B I L I T E .

Pour un amplificateur de courant: pour obtenir une grande sensibilité il faut choisir une lampe avec une pente statique et la résistance de charge la plus petite possible.

$$\frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{i_a}{U_g} = S_d = \frac{S}{I + \frac{R_{ch}}{R_o}}$$

si  $R_{ch} \neq 0$

$$S_d \neq S$$

N.B. Un appareil de mesure a une sensibilité maximum autant plus que sa résistance d'entrée est faible.

Si nous connaissons la sensibilité de l'appareil mesure = 0,01 mA et sa résistance d'entrée = 100Ω.

$$S = 2,2 \text{ mA/v} \qquad = 7,7 \text{ K}\Omega.$$

La variation minimum de tension de grille indiquée par l'appareil monté en milliampèremètre

$$(\Delta U_g)_{\min} = \frac{(\Delta I_a)_{\min}}{S_d}$$



Dans le cas où nous travaillons à l'état quasi-linéaire la sensibilité est donnée par:

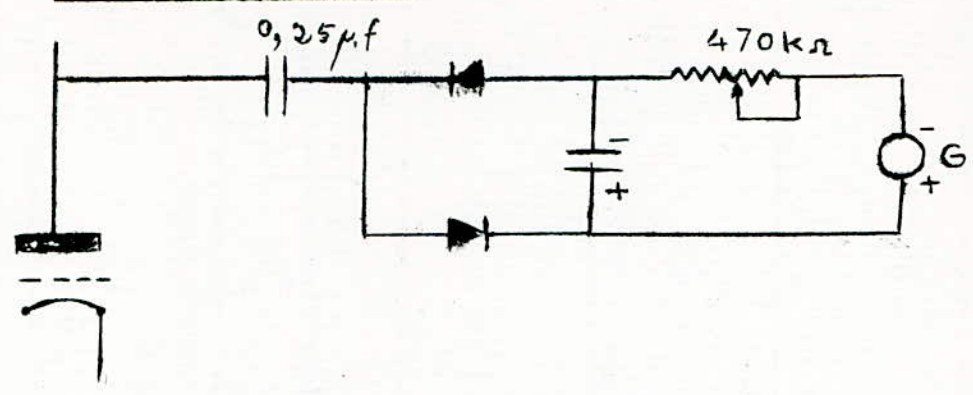
$$S_d = \frac{S}{I + \frac{R_{ch}}{\rho}} = \frac{2,2}{I + \frac{100}{7,7 \cdot 10^3}} \neq 2,2$$

On voit donc que la sensibilité en courant est identique à la pente dynamique mais nous la trouvons aussi égale à la pente statique ( mais ceci théoriquement)

$$(\Delta U_g)_{\min} = \frac{0,01}{2,2} \neq 0,005 \text{ v}$$

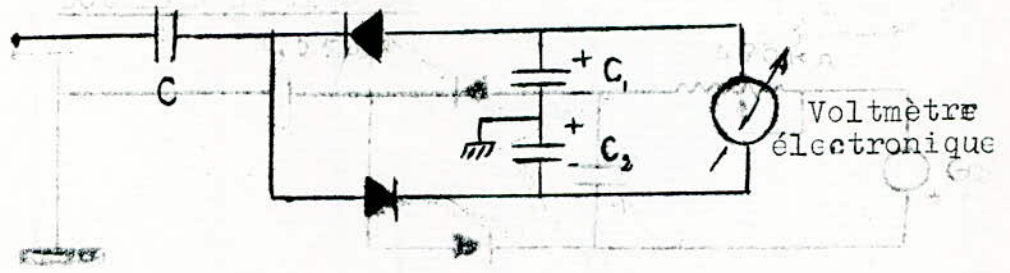
$$\Delta U_g = 0,005 \text{ v}$$

DOUBLEUR DE TENSION



Nous avons du courant alternatif. Nous le redressons par l'utilisation de deux diodes. Le schéma est un doubleur de tension utilisé dans le but d'avoir une meilleure lecture et la précision des lectures croit quand le courant traversant l'appareil de mesure augmente.

Nous aurions pu utiliser un autre doubleur de tension et placer entre ses bornes un voltmètre électronique dont la réponse est assez linéaire et qui nous servira d'indicateur de sortie.



N.B. Les diodes utilisées sont des diodes à pointe, dont les caractéristiques sont les suivantes: OA 79.



M A T E R I E L   U T I L I S E

I) Valeur des éléments

$R_1 = 100 \text{ M}\Omega .$	10%
$R_2 = 10 \text{ M}\Omega .$	10%
$R_3 = 1 \text{ M}\Omega .$	1%
$R_4 = 100 \text{ K}\Omega .$	5%
$R_5 = 10 \text{ K}\Omega .$	2%
$R_6 = 1 \text{ K}\Omega .$	1%
$R_7 = 100 \text{ K}\Omega .$	5%

— Condensateurs étalons à air

— Condensateurs étalons à

<u>Valeur</u>	<u>Tolérance</u>
0,5 $\mu\text{f}$	1%
0,2 $\mu\text{f}$	
0,3 $\mu\text{f}$	
0,05 $\mu\text{F}$	
0,02 $\mu\text{f}$	
0,01 $\mu\text{f}$	
0,005 $\mu\text{F}$	
0,002 $\mu\text{f}$	
0,001 $\mu\text{f}$	
500 pf	$\pm 1\%$
200 pf	$\pm 1\%$
100 pf	+ 1%

II) Résistances

27 $\text{K}\Omega .$	<u>+ 1%</u>
2,2 $\text{M}\Omega .$	
680 $\Omega$	
1,2 $\text{K}\Omega .$	

a) Potentiomètre      1  $\text{K}\Omega .$

22  $\text{K}\Omega .$       IW.



b) Potentiomètre 470 K $\Omega$ .

C = 500  $\mu$ f      6v  
C = 0,25  $\mu$ f      ( non pol. arisé)  
C = 50  $\mu$ f      50 v

III ) Deux diodes OA 79 (à pointe )  
ou IN 34 A

IV ) Tube utilisé

I2 AU 7 / ECC 82 .

V ) Milliampèremètre.

0 - 1 mA

VI ) Commutateurs.

Deux commutateurs

- un en stéatite
- un en bakélite

VII ) Alimentation stabilisée.

## FONCTIONNEMENT de L'APPAREIL

1°/ Mettre l'appareil en marche en ayant le potentiomètre  $P_I$  du haut complètement à droite.

Se placer sur la position qui correspond à la gamme des capacités à mesurer (par exemple sur 1 Kiloohm;  $C_x$  varie de 0-5 uf). Comme il y a deux commutateurs, si vous utilisez celui de droite, placer celui de gauche sur la position 0 et réciproquement (sinon vous introduisez deux résistances en parallèle).

2°/ N'introduire auparavant aucune capacité.

3°/ Attendez cinq minutes pour permettre au condensateur de se décharger à travers la résistance du potentiomètre.

4°/ Tournez le potentiomètre  $P_I$  dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Allez-y doucement pour ne pas détériorer l'appareil de mesure. Tournez jusqu'à ramener le potentiomètre à 0 (car au début des mesures, il était à sa valeur maximum soit 475 Kiloohms).

L'aiguille aura tendance à aller vers la déviation 1 mA. Réglez pour obtenir une déviation maximum.

5°/ L'appareil est prêt à fonctionner.

- Introduisez la capacité à mesurer; l'appareil accusera une certaine déviation. Des courbes accompagnent l'appareil (Déviation  $\alpha$  (mA) en fonction de la capacité inconnue).

- Attention aux très faibles capacités: il suffirait d'approcher la main de l'appareil pour faire dévier considérablement l'aiguille du galvanomètre, ce qui vous fausserait les mesures. Aussi, éloignez-vous le plus possible pour faire les lectures

La position 0 correspond au fait qu'il n'y a aucune résistance introduite dans le circuit de ce 2<sup>a</sup> commutateur

Sensibilité	Mesure Capacités	Multiplicateur
1	0 - 50 pf	x 100 M $\Omega$
2	0 - 500 pf	x 10 M $\Omega$
3	0 - 5000 pf	x 1 M $\Omega$
4	0 - 0,05 uf	x 100 K $\Omega$
5	0 - 0,5 uf	x 10 K $\Omega$
6	0 - 5 uf	x 1 K $\Omega$
7	0 - 50 uf	x 100 $\Omega$

plaçons

Si nous I résistance de 10  $\Omega$  (1 $\%$ ) notre gamme ira jusqu'a 500 uf .

Sur les sensibilités 1 et 2 il est nécessaire de tenir compte des capacités parasites résiduelles (elles sont si bien que les résultats 100 M $\Omega$  sont fausses pour 2 raisons:

- 1°) CAPACITÉS PARASITES et autres influences ext
- 2°) La résistance de 100 M $\Omega$  est de 10 $\%$  (elle devait être de faible tolérance).



$R_s = 10 \text{ M}\Omega$

$R_s = 100 \text{ M}\Omega$

$\alpha \text{ (mA)}$	$C_x \text{ (pf)}$		$\alpha \text{ (mA)}$	$C_x \text{ (pf)}$
0,98	100		1	0
0,88	150		0,2	38
0,8	200		0,199	40
0,74	250		0,182	45
0,68	300		0,18	50
0,62	350		0,165	55
0,57	400		0,162	60
0,53	450		0,159	65
0,49	500		0,158	70
0,445	550		0,155	75
0,425	600		0,142	80
0,40	650		0,140	85
0,38	700		0,139	90
0,36	750		0,135	95
0,33	800		0,125	100
0,30	900			
0,28	1000			

$R_s = 100 \text{ K}$

$R_s = 100 \text{ K}$

$\alpha$ (mA)	$C_x$ (uf)		$\alpha$ (mA)	$C_x$ (pf)
I	0		$\neq$ I	De 0a100 pf
0,98	500pf		0,98	200
0,96	5000pf		0,975	300
0,93	10000pf		0,97	400
0,82	0,02uf		0,96	500
0,52	0,05		0,93	1000
0,29	0,1		0,83	2000
0,14	0,2		0,52	5000
0,02	0,5		0,3	10.000
			0,15	20.000

$R_s = IK$

$\alpha$  mA

$C_x$  ( $\mu f$ )

$R_s = 10 K$

$\alpha$  mA

$C_x$  ( $\mu f$ )

I	0	I	0
0,975	0,2	0,97	0,05
0,966	0,4	0,93	0,1
0,964	0,6	0,82	0,2
0,95	0,8	0,70	0,3
0,935	I	0,605	0,4
0,915	I,2	0,52	0,5
0,895	I,4	0,45	0,6
0,865	I,6	0,40	0,7
0,842	I,8	0,38	0,8
0,82	2		
0,80	2,2		
0,78	2,4		
0,76	2,6		
0,74	2,8		
0,715	3		
0,69	3,2		
0,62	3,8		



Applications de cet Appareil

Couvrant une large gamme ce capacimètre nous permettra de mesurer des capacités allant du 1 pf à 500 uf. D'ou possibilité demesurer:

a) Capacités Parasites interélectrodes dans tubes Electroniques qui sont de l'ordre des dizaines du pf

b) Capacités parasites entre deux conducteurs

c) C'est donc un appareil qui peut aussi bier utilisé au laboratoire que dans l'industrie.

d) Sa précision (dans le cas ou toutes les va des éléments sont respectées) pour la mesure de la capac condensateurs qui ne sont pas du type électrochimique, est parable à celle d'un capacimètre à pont d'un prix beaucoup élevé.

Prix de revient de cet appareil : 250,00 DA

C'est un appareil qui n'est pas du tout encombrant (portatif)

Bibliographie

A. Revues

- Radio TV "Votre Carrière"
- Haut Parleur
- Radio Plans

B. Livres

- I.F ROMY Mesures en Radiotechnique  
(Dunod)
- II. Mesures Electroniques
- III.P BREAND Mesures Electriques  
(de l'ENST) (Eyrolles)
- IV.M CORMIER Appareils de mesure à transistor  
W SCHAFF

C. Cours de M<sup>r</sup> SLOSIAR

= CONCLUSION =

L'Etude et la réalisation pratique de ce capacimètre m'a permis d'approfondir mes connaissances. Cependant <sup>lors de</sup> cette étude certaines difficultés se sont présentées:

a) La documentation était presque <sup>mésurés</sup> inexistante et difficile à trouver non pas que les livres de étaient rares, bien au contraire, mais les ouvrages traitant les nouveaux appareils à transistors ne se trouvent pas à Alger.

b) Difficultés théoriques:

L'Etude théorique n'est pas difficile (vu le schéma constitutif) elle a été abordée avec une petite facilité.

D) Difficultés pratiques:

-Manque de pratique, nos mauvaises soudures nous ont obligé les refaire plusieurs fois car parfois à partir d'une mauvaise soudure l'appareil ne dévie pas, et cela nous fait perdre un temps "énorme".

-Cependant ceci nous a amenés jusqu'à scier; peindre; percer en tout: faire du travail mécanique, et toucher à peu près à tous les appareils mécaniques de nos ateliers.

-Le tracé des courbes diffère légèrement de la théorie, nous avons vu que la loi de variation était exponentielle. Les courbes que j'ai tracées<sup>s</sup> étaient presque linéaires ( voir parfois des droites ). Enfin pour la première courbe, j'ai dûe faire une extrapolation car pour les très faibles valeurs galvanomètre accuse déjà une déviation qui est due à la capacité d'entrée qui est de l'ordre de 15 pf à 20 pf.

-Matériel: Les valeurs de haute précision étaient introuvables en ville; j'ai dû faire une commande pour certaines de France, et pour d'autres je me suis contenté de <sup>prendre</sup> des tolérances assez importantes qui sont les causes des déformations des courbes, et qui influent aussi sur la sensibilité de l'appareil

Concluons enfin que l'idée de projet est géniale, car maintenant l'étudiant est en face des problèmes qui pourraient se poser à lui en tant qu'ingénieur. Il devra se débrouiller



ce qu'il a sous la main.

-Prix de l'appareil: il est évident qu'il nous est revenu beaucoup plus cher que si nous l'avions acheté réalisé.

Je conclurais en exprimant toute ma reconnaissance à M<sup>r</sup>SLOSIAR  
Expert de l' UNESCO et chef de département des Télécommunications

Je remercie tous mes professeurs et les autres personnes pour  
l'aide prodiguée pour l'élaboration de mon projet.

A . HOUYOU