

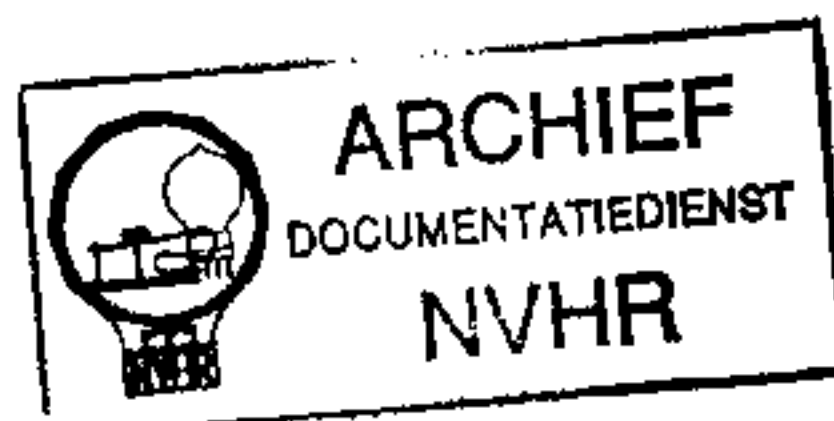
UN CAPACIMETRE

A

LECTURE DIRECTE

(HEATHKIT CM1)

Ned. Ver. v. Historie v/d Radio



CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

4 gammes de mesures se répartissant comme suit :

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. — 0 à 100 pF ; | 3. — 0 à 0,01 μ F ; |
| 2. — 0 à 1000 pF ; | 4. — 0 à 0,1 μ F ; |

Fonctionnement sur secteur 105 à 125 V, 50 à 60 Hz.

Consommation : 25 W.

Dimensions réduites : 19 x 12 x 10,5 cm.

Appareils de mesure HEATHKIT précédemment décrits

Radio Constructeur

Voltmètre électronique V-6 N° 96 (février 1954), p. 46
Pont d'impédance IB-2 N° 106 (février 1955), p. 54

Toute la Radio

Présentation de la formule N° 183 (février 1954), p. 55
Q-Mètre QM-1 N° 191 (décembre 1954), p. 458
Analyseur B.F. AA-1 N° 206 (juin 1956), p. 203
Distorsiomètre harmonique HD-1 N° 207 (juillet-août 1956), p. 250

Télévision

Oscilloscope O-9 N° 41 (février 1954), p. 49
Commutateur électronique S-2 N° 42 (mars-avril 1954), p. 92
Wobulateur TS-4 N° 44 (juin 1954), p. 151

Electronique Industrielle

Fréquence-mètre électronique AF-1 N° 6 (janvier-février 1956), p. 217

Pont ou capacimètre ?

Le pont de mesures pour résistances et capacités est un appareil indispensable chaque fois qu'une grande précision est nécessaire. Mais un ohmmètre ou un capacimètre à lecture directe sont d'utilisation beaucoup plus rapide et commode, et, pour peu qu'ils soient conçus de façon à assurer une précision de quelques centièmes, suffisent au travail le plus consciencieux en radio et en télévision.

Malgré cela, les capacimètres à lecture directe sont des appareils encore très rares. Certains contrôleurs universels comportent bien une échelle pour la mesure des condensateurs. Mais, ladite mesure étant effectuée en courant à 50 Hz, seuls les condensateurs de valeurs élevées peuvent être mesurés, alors que ce sont justement les petites capacités qu'il importe le plus souvent de bien connaître.

L'appareil que nous allons décrire appartient à la série des fameux *Heathkits*, ces appareils extrêmement répandus aux U.S.A., vendus en pièces détachées et assemblés par l'utilisateur avec l'aide d'un manuel de montage très détaillé. *Radio Constructeur* et ses revues-sœurs ont déjà d'ailleurs présenté plusieurs appareils de la série, et l'on trouvera les références des articles en question dans le tableau ci-contre.

On va voir que le capacimètre CM-1 est d'une simplicité bien sympathique, tout en s'écartant de la technique classique de la mesure en régime sinusoïdal.

Principe du fonctionnement

C'est en effet un signal de forme rectangulaire qui est utilisé pour mesurer les capacités inconnues. Avant de décrire l'appareil proprement dit, il nous semble indispensable de dire quelques mots du comportement des condensateurs lorsqu'on leur applique un signal à front raide.

Rappelons tout d'abord qu'un signal rectangulaire est tout simplement celui que l'on obtiendrait, par exemple, avec une pile de poche reliée à un manipulateur. Si l'on représente la tension en fonction du temps, on obtient la forme en créneau bien connue (fig. 1). On a dessiné ici un signal symétrique, c'est-à-dire dans lequel les alternances positives sont de même durée et de même amplitude que les alternances négatives. Mais on peut très bien imaginer des formes plus « boîtes » telles que celles de la figure 2. L'habitude veut que l'on réserve plutôt le nom d'impulsions à cette dernière catégorie de signaux.

Pour la bonne compréhension de ce qui va être dit plus loin, précisons que l'on appelle fréquence de récurrence, la fréquence de répétition des impulsions lorsqu'elles sont périodiques, autrement dit lorsqu'elles sont séparées entre elles par des intervalles de temps égaux; qu'on appelle largeur d'une impulsion le temps t de la figure 2 (on pourrait tout aussi bien parler de la largeur L de l'autre impulsion, puisque, obligatoirement, toute succession d'impulsions d'une certaine polarité peut aussi être interprétée comme une succession d'impulsions de polarité opposée; il suffit pour cela, en quelque sorte, de retourner mentalement le diagramme...). La période de récurrence se mesurerait dans le cas de notre figure 2 par $t + L$.

Enfin, on appelle amplitude de l'impulsion la hauteur A , qui s'exprimera par exemple en volts s'il s'agit d'une tension. Pour être complet, il nous faudrait encore définir le temps de montée, qui serait nul

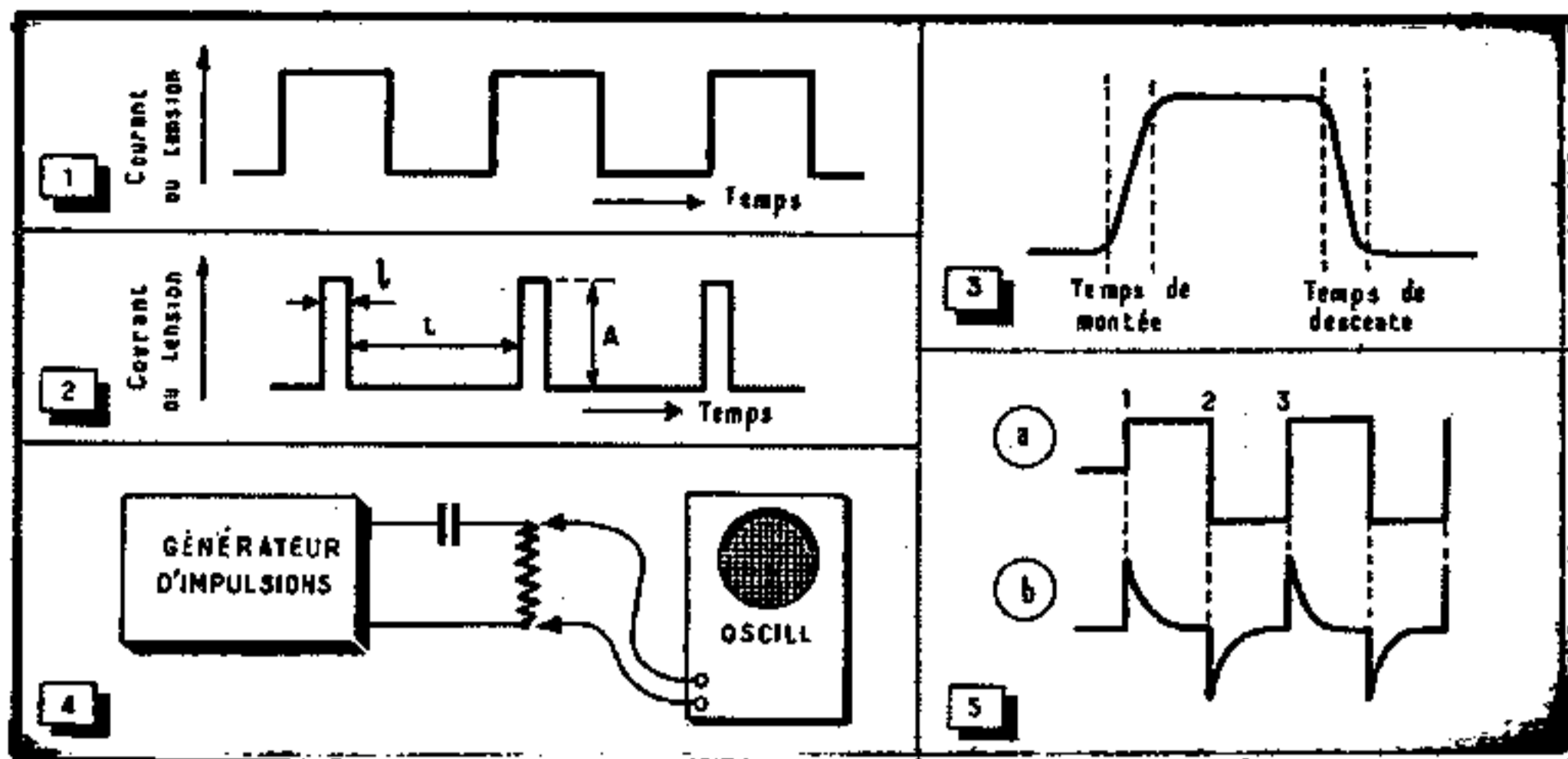


Fig. 1. — Un signal rectangulaire est en somme un courant alternatif à variation brusque de direction.

Fig. 2. — Un tel signal rectangulaire est le plus souvent appelé « impulsions ».

Fig. 3. — En fait, les fronts raides ne sont jamais strictement verticaux, ce qui permet de définir des temps de montée et de descente.

Fig. 4. — Montage pour l'étude du comportement d'un condensateur en régime d'impulsions. En électronique, un tel circuit serait appelé dérivateur.

Fig. 5. — Si le générateur fournit une tension ayant la forme a, l'oscilloscope montrera aux bornes de la résistance un signal de la forme b.

si l'on était capables de fabriquer des impulsions parfaites, mais qui, en pratique, n'est jamais négligeable (fig. 3). Il serait d'ailleurs très injuste de ne pas mentionner aussi le temps de descente, qui lui aussi est généralement très petit. Tous deux s'expriment souvent en microsecondes, et nous pourrions déjà préciser que, dans le *Capacimètre CM-1*, temps de montée et temps de descente sont de l'ordre de $0,1 \mu s$.

Imaginons maintenant que nous ayons réalisé le montage de la figure 4.

Supposons, pendant que nous y sommes, que la résistance interne du générateur puisse être considérée comme négligeable, et examinons l'écran de notre tube cathodique. Si le signal fourni par le générateur a l'allure que nous montre la figure 5 a, nous y verrons une trace semblable à celle de la figure 5 b.

Pourquoi cette curieuse forme d'onde? L'explication en est très simple: au temps 1, la tension fournie par le générateur est passée brusquement d'une valeur nulle à

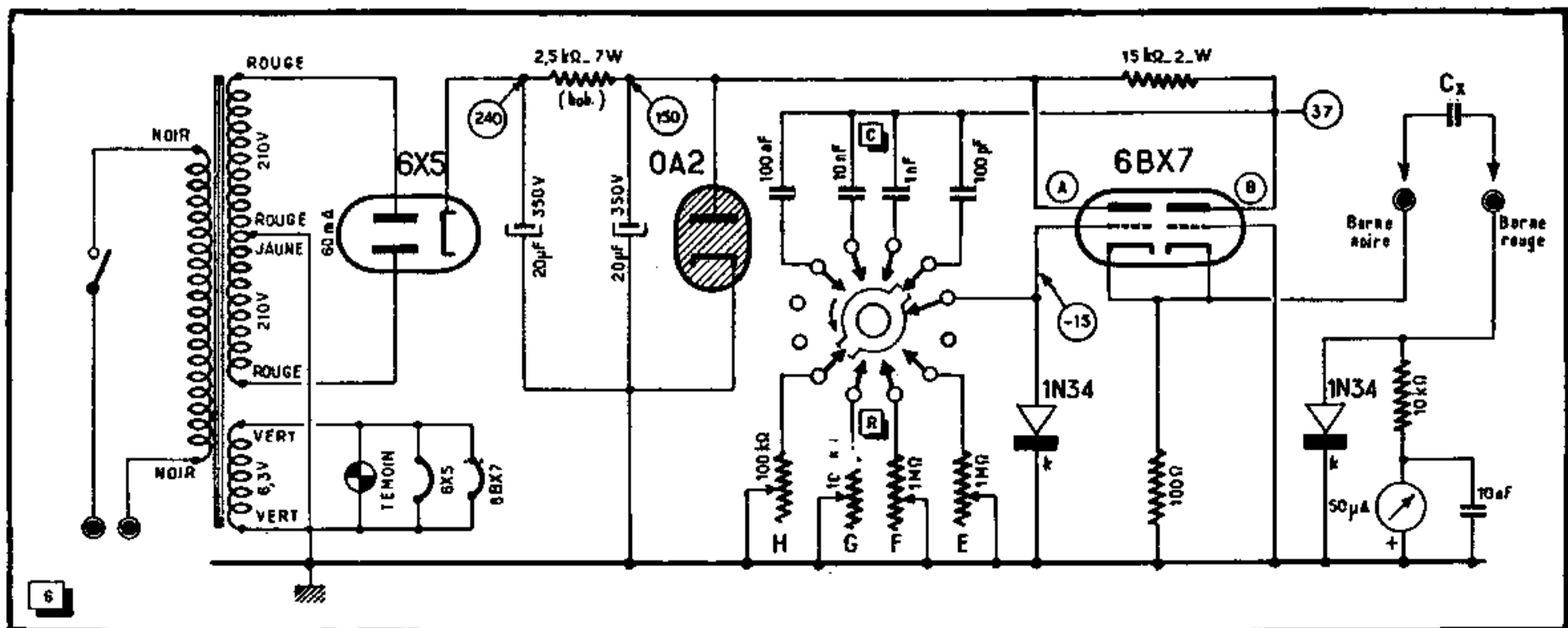
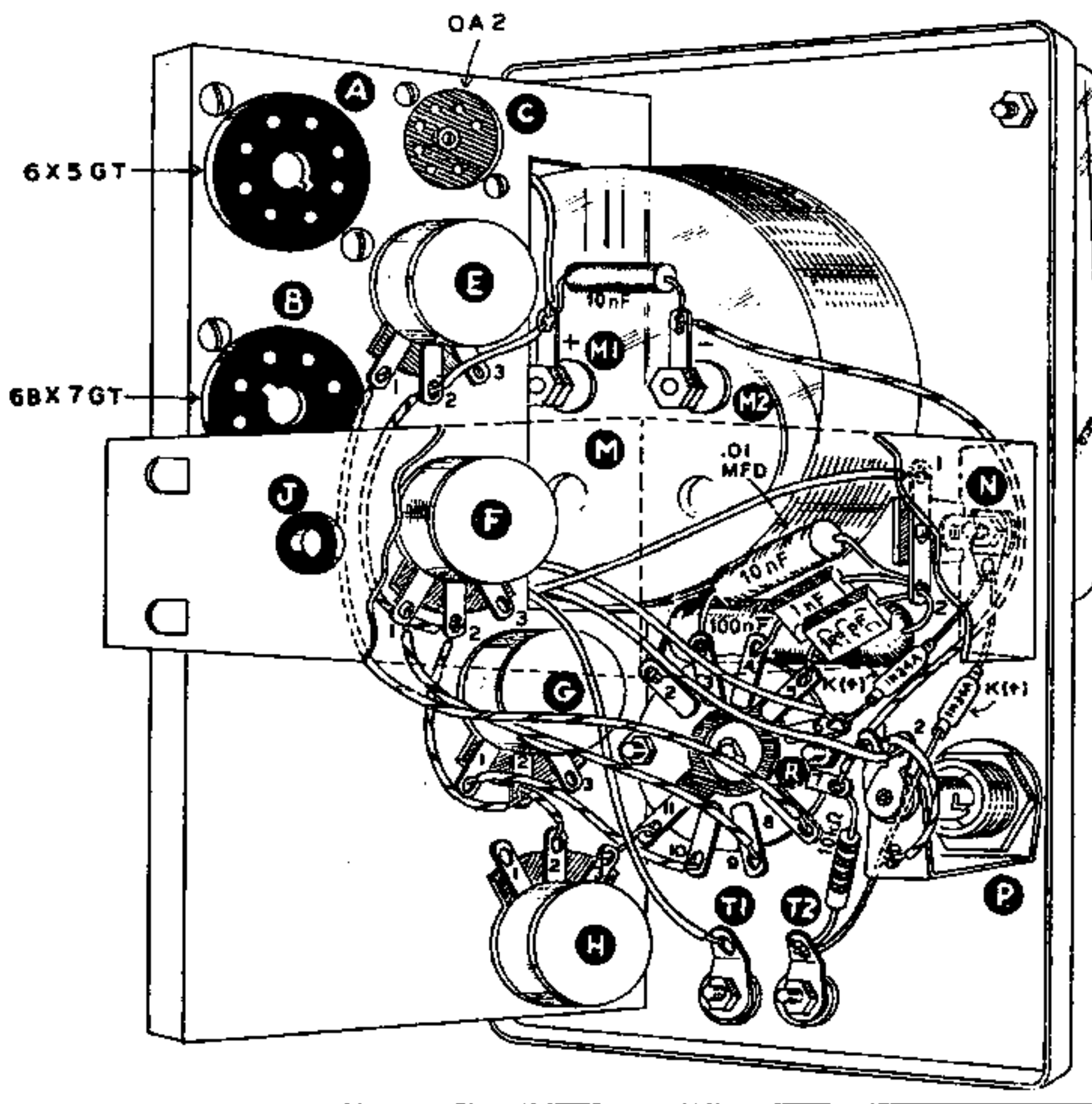
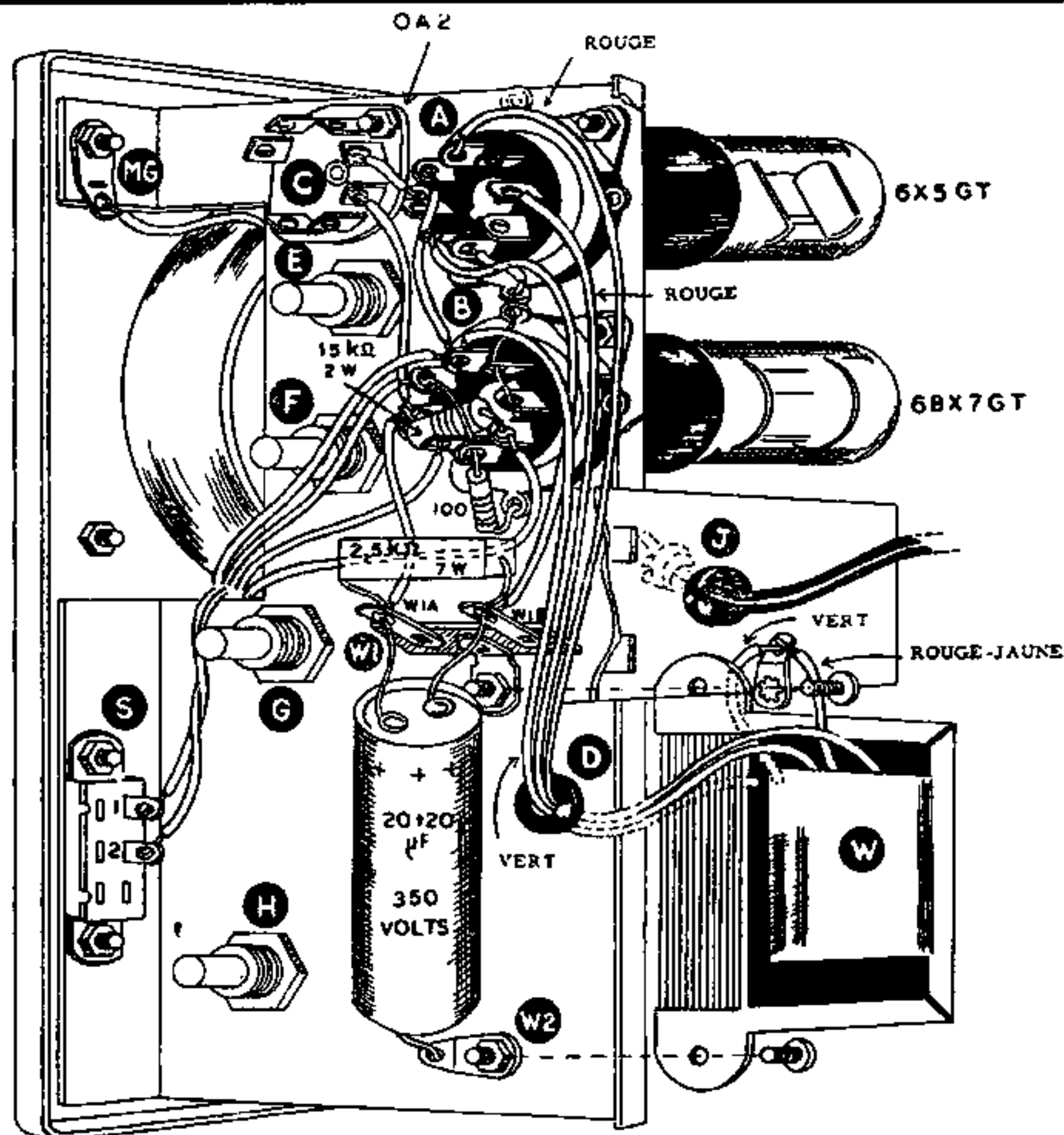


Fig. 6. — Schéma complet du capacimètre CM-1 Heathkit. Le contacteur de gammes est représenté sur la sensibilité 0-100 pF.



une certaine valeur. Le condensateur s'est chargé, d'où un courant dans la résistance, donc une tension à ses bornes, tension qui a provoqué la déviation verticale du spot lumineux. Du temps 1 au temps 2, la tension s'est maintenue aux bornes du générateur, mais, puisqu'un condensateur ne laisse pas passer le courant continu, le courant, lui, n'a pu demeurer constant. Au contraire, le condensateur s'est déchargé, à travers le générateur, dans la résistance, ce qui se traduit par la partie incurvée de la courbe *b*.

Au temps 2, inversion de polarité aux bornes du générateur. Le condensateur se charge à nouveau, mais en sens inverse, et la trace lumineuse de l'oscilloscope dévie vers le bas. De 2 à 3, nouvelle décharge lente du condensateur et ainsi de suite.

Si, avec le même générateur, nous essayons dans le circuit des condensateurs de valeur différente, nous observerons sur l'écran de l'oscilloscope des traces de forme différente. Il y aura donc déjà là un moyen approché de juger la valeur d'un condensateur d'après sa réaction à une tension rectangulaire. Mais l'idéal serait de faire apparaître l'indication, non pas sur un tube cathodique, mais sur le cadran d'un galvanomètre. Cela serait possible, par exemple, en supprimant au moyen d'une diode toutes les pointes du signal de la figure *b* situées d'un côté de l'axe horizontal, et en « empilant » les autres aux bornes d'un condensateur. En mesurant la tension aux bornes de ce condensateur, on aurait une indication proportionnelle à la valeur du condensateur inconnu.

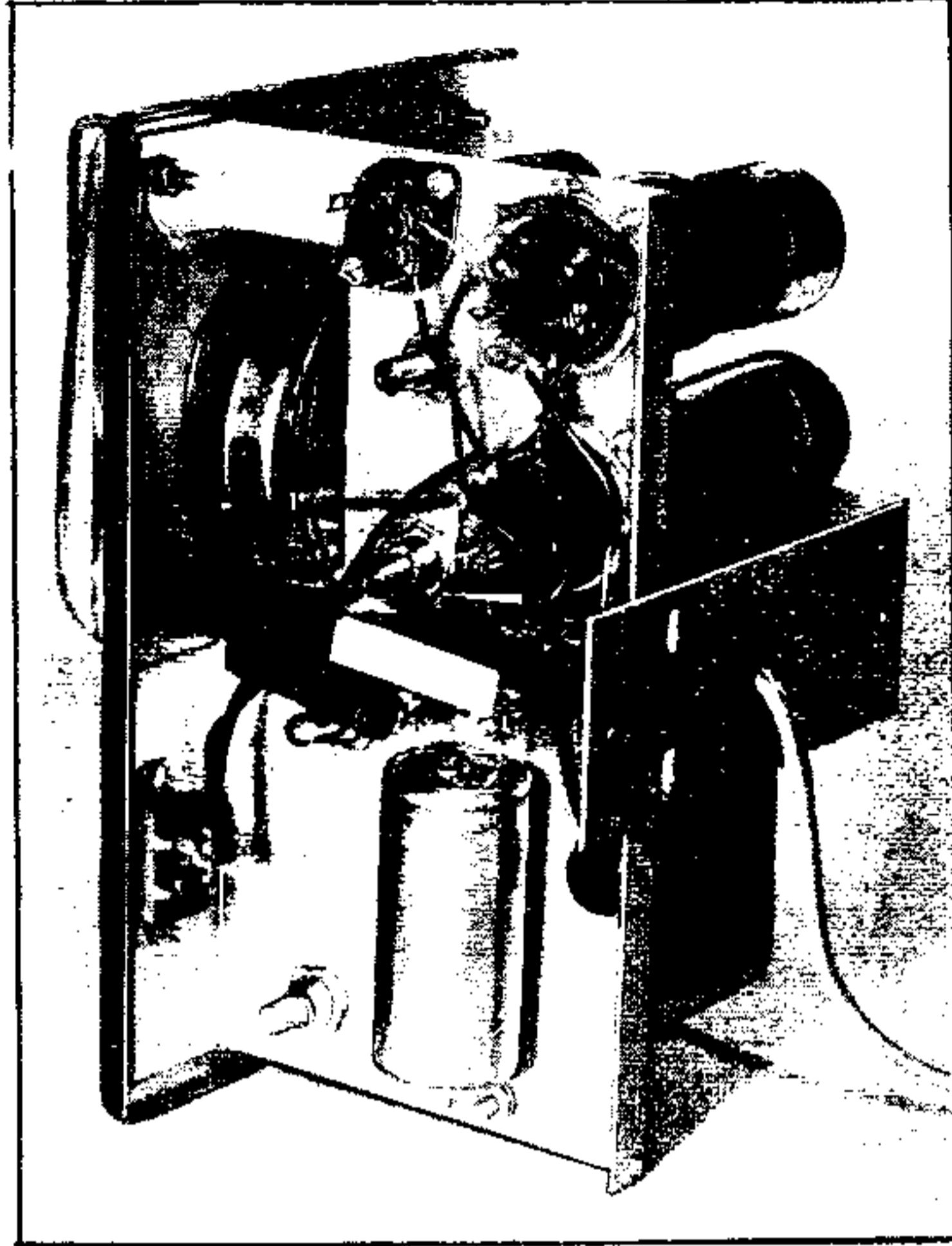
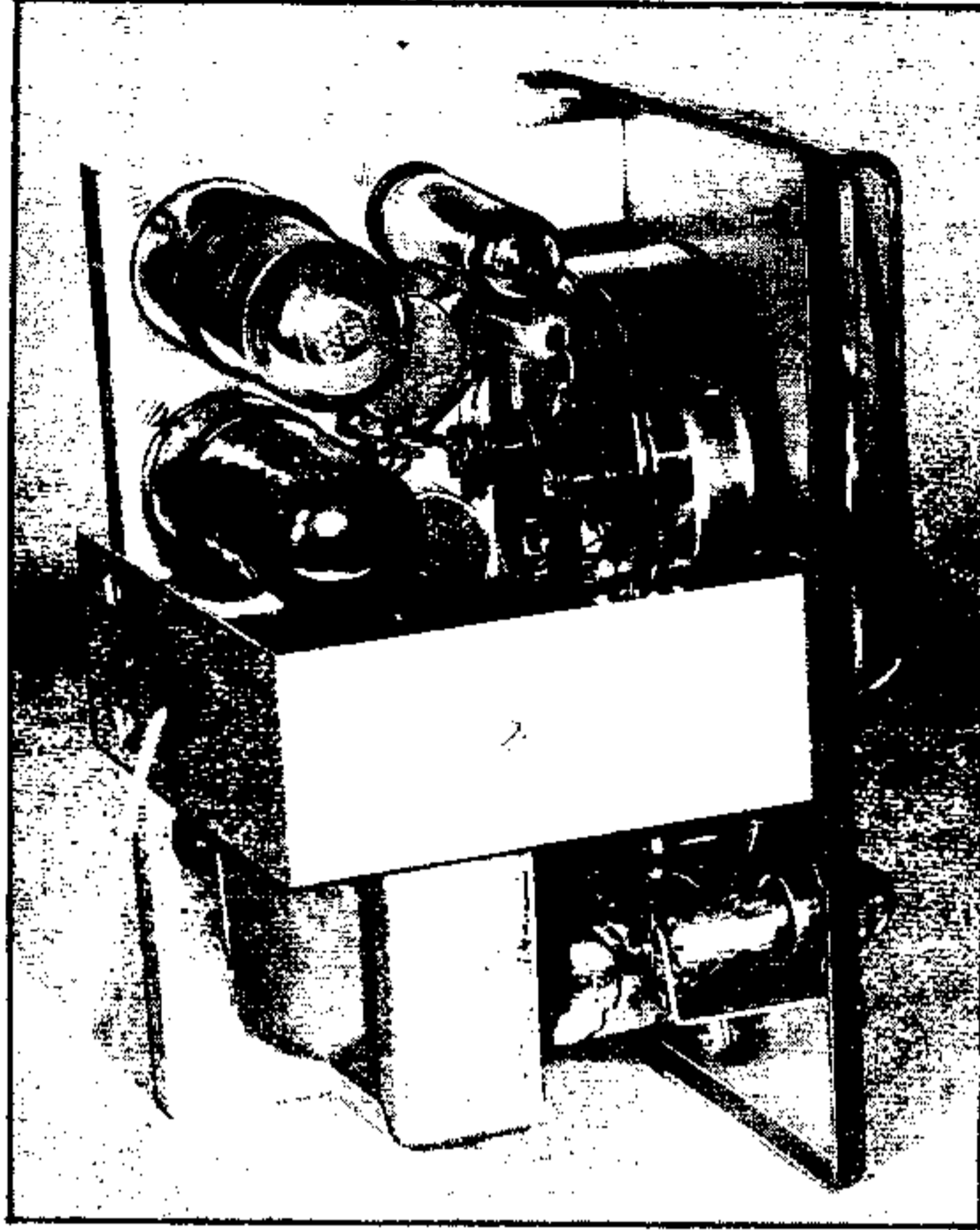
Nous allons voir que c'est ce qui est fait dans le CM-1.

Schéma du CM-1

Il est représenté en figure 6. Les techniciens radio y retrouveront sans difficulté une alimentation en haute tension, et même une alimentation stabilisée par le tube à gaz OA2.

Cette H.T. est destinée à la double triode 6 BX 7 qui constitue le générateur d'impulsions. Le circuit utilisé est un multivibrateur avec couplage par résistance commune dans les circuits de cathodes. Il fonctionne de la façon suivante : Toute variation du potentiel de la grille de la triode A entraîne une variation du potentiel de sa cathode, donc évidemment de celui de la cathode de la triode B. Or, la grille de cette dernière est à la masse. Le tube va donc être commandé par la cathode, d'où variation du courant de plaque. Mais la plaque de B est à son tour reliée par un condensateur à la grille de A : la variation de tension se retrouve donc, amplifiée, sur la grille de départ. Le tube se trouve très vite bloqué. A ce moment, le condensateur se décharge dans la

Les deux dessins ci-contre montrent tous les détails de la disposition des pièces sur le châssis et sous ce dernier



Les deux photographies ci-dessus complètent les dessins de la page ci-contre et montrent l'aspect réel du montage

résistance de fuite de grille correspondante, et le tube est débloqué au bout d'un temps dépendant de la valeur de C et de R. A ce moment, une impulsion de signe opposé est transmise, toujours par le couplage cathodique et le couplage anode B-grille A : cette nouvelle aventure se termine par le blocage de l'autre triode, suivi à son tour d'une décharge du circuit C-R, après quoi, le cycle entier se répète.

Cette sorte d'oscillateur par tout ou rien est appelé multivibrateur par les électroniciens ; les valeurs des éléments, ici, sont telles que l'on obtient non pas un signal rectangulaire symétrique, mais des impulsions comme celles présentées dans la figure 2. Une diode au germanium intercalée entre grille A et masse permet d'obtenir des signaux aux sommets bien horizontaux et d'amplitude constante. La H.T. étant par ailleurs stabilisée, la fréquence de récurrence est également constante, ce qui garantit la stabilité de l'étalonnage.

Il n'aurait pas été possible de mesurer avec une précision suffisante l'échelle entière des capacités couramment utilisées en une seule gamme ; c'est pourquoi l'appareil comporte 4 gammes de mesure, obtenues simplement en variant la fréquence de récurrence des impulsions fournies par le multivibrateur. Pratiquement, cette variation de fréquence est obtenue en modifiant simultanément la valeur du condensateur et de la résistance connectés à la grille de la triode A.

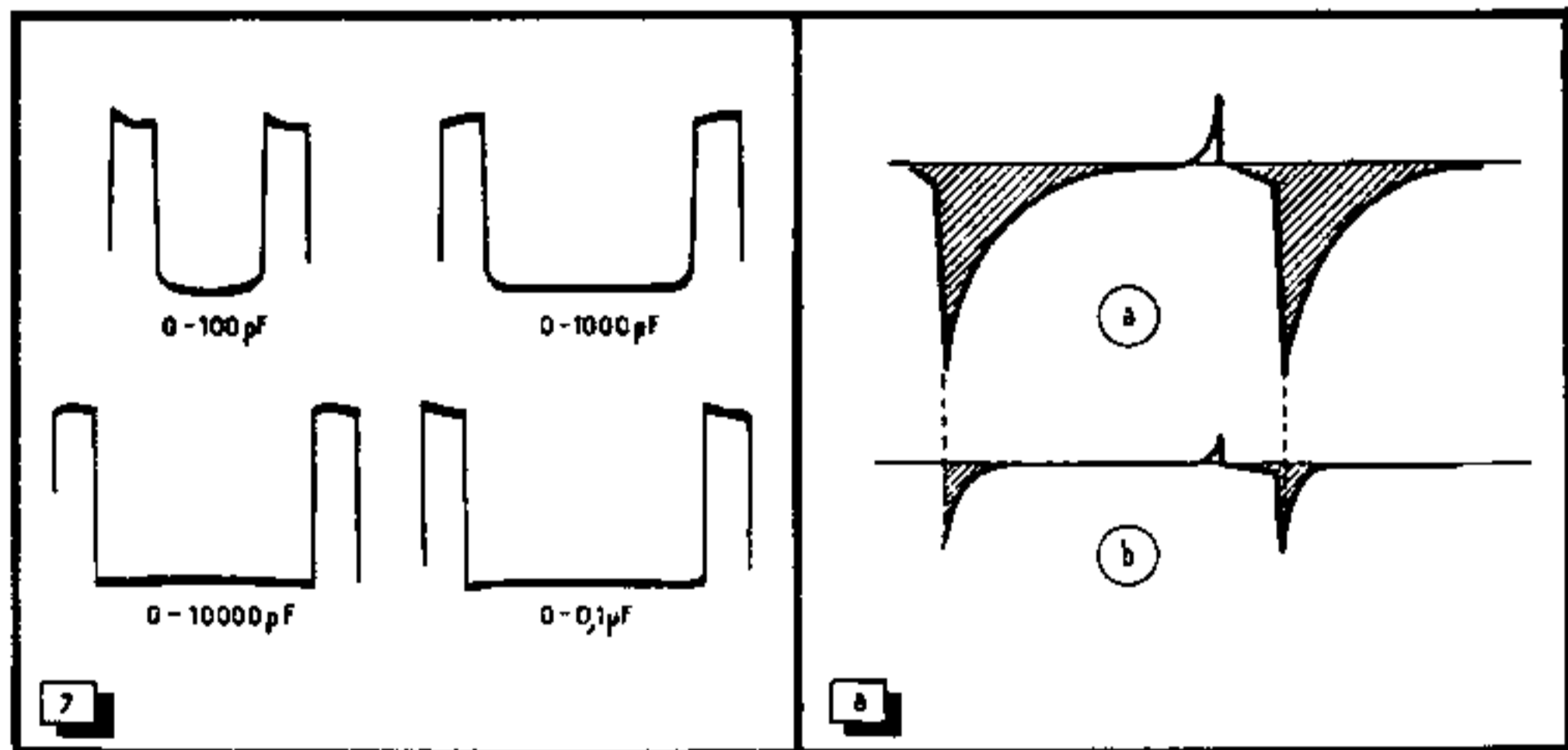


Fig. 7. — Oscillogrammes relevés sur le CM-1, entre masse et borne noire, pour chacune des quatre gammes. On a presque affaire à des impulsions parfaites.

Fig. 8. — Pour une même gamme (0 à 100 pF), on relève entre masse et borne rouge l'oscillogramme a pour une capacité mesurée de 100 pF et l'oscillogramme b pour une capacité de 10 pF. Les petites impulsions résiduelles situées au-dessus de l'axe horizontal sont négligeables ; dans chaque cas, la déviation du galvanomètre est proportionnelle à la surface hachurée.

Le découpage est fait de la façon décimale, ce qui fait que la déviation totale est obtenue pour la première gamme, pour 100 pF, et pour la quatrième, pour 0,1 μF. Les résistances de grille correspondant à

chacune des gammes sont en fait des potentiomètres ajustables, car l'étalonnage, dont il sera parlé plus loin, est fait par modification de la fréquence de récurrence. Cette dernière est approximativement de

100 kHz pour la 1^{re} gamme, de 10 kHz pour la 2^e, de 1 kHz pour la 3^e et de 100 Hz pour la 4^e.

Les impulsions ont une amplitude de l'ordre de 7,5 V de crête à crête. Elles sont prélevées sur la résistance commune de cathode, donc sur une impédance assez basse, puisque cette résistance n'est que de 100 Ω. De la sorte, l'approche des mains ou la proximité d'un objet métallique est sans influence sur la précision de lecture.

Le circuit de mesure comprend, comme le montre la figure 6, la diode au germanium qui élimine une des séries d'impulsions transmises par le condensateur essayé, la résistance de charge du circuit et le galvanomètre mesurant le courant moyen, le condensateur en parallèle étant justement destiné à empiler les impulsions non écrêtées pour fournir au cadre de l'appareil de mesure un courant continu.

Le rapport cyclique des impulsions, c'est-à-dire le rapport de leur largeur au temps de récurrence, a été choisi de telle sorte

leur à l'intérieur de l'électrode cylindrique. Le galvanomètre doit rester à zéro sur les 4 gammes si aucune capacité n'est reliée aux bornes.

Quatre condensateurs étalons sont fournis avec le jeu de pièces détachées. Prendre le plus petit (100 pF ± 1 %) et le raccorder aux bornes de mesure en employant au besoin les deux fiches banane doubles et les deux pinces crocodiles également (curnies (fig. 9)). Mettre le contacteur sur la première gamme (100 μF). Vérifier avant de procéder à l'étalonnage que les quatre potentiomètres E à H sont tournés à fond dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. En effet, on trouve parfois deux points de la course de chaque potentiomètre qui procurent la déviation maximum de l'aiguille pour le condensateur étalon. Seul le premier point correspond au fonctionnement normal. Tourner le potentiomètre ajustable du bas de l'appareil (repère H) jusqu'à ce que l'aiguille dévie à pleine échelle, avec le condensateur de 0,1 μF et le potentiomètre E.

La précision globale du capacimètre dépend du soin apporté à la construction et à l'étalonnage ; elle est normalement meilleure que 4 %. La précision maximum sera obtenue comme suit : laisser chauffer l'appareil une demi-heure au moins dans son coffret, de façon que toutes les pièces prennent leur température définitive. Etalonner une gamme et remettre l'appareil dans son boîtier pour vérifier si l'étalonnage est toujours bon. Procéder ainsi pour chaque gamme. Eventuellement, rechercher d'autres condensateurs étalons pour les deux dernières gammes, ceux qui sont fournis avec l'appareil (0,01 et 0,1 μF) n'étant donnés qu'à ± 2 %.

Utilisation

Ce chapitre est presque inutile, étant donné la facilité d'emploi. Notons simplement que la notice d'origine recommande de laisser chauffer l'appareil au moins 5 minutes avant toute série de mesures.

Veiller également à éviter de mesurer de grosses capacités sur les petites gammes, ce qui risque de faire souffrir le galvanomètre. En cas de doute, commencer par la quatrième gamme et revenir en arrière tant que l'aiguille ne dépasse pas le dixième de sa course. Inutile de prendre des précautions spéciales pour le raccordement des condensateurs, puisque la tension de mesure ne dépasse pas 8 V. Aucun risque d'électrocution !

Pour les très petites capacités, lire avant la mesure la capacité résiduelle éventuelle (1) indiquée sur l'appareil et la soustraire de la mesure faite lorsque le condensateur est en place. De même, si l'on mesure un condensateur en employant des cordons, faire d'abord une lecture avec les cordons seuls, et la déduire de la lecture finale.

Et voilà comment, avec quelques pièces détachées et une bonne dose de matière grise, on a construit un excellent serviteur qui ne demandera qu'à renseigner sur la valeur d'un condensateur douteux, mal marqué, ou, ce qui arrive le plus souvent, marqué à un code que l'on ignore... Grâce à lui, les condensateurs variables qui traînent dans les fonds de tiroirs cesseront d'être anonymes ; même leur capacité résiduelle peut être mesurée. Ne pas oublier que les capacités interélectrodes d'un tube sont des grandeurs physiques tout à fait mesurables, et non pas seulement quelques chiffres imprimés dans un manuel. Enfin, se souvenir que, lorsque dans un filtre B.F. par exemple, des condensateurs appariés sont nécessaires, le plus important est que leurs valeurs soient égales entre elles, une certaine différence par rapport à la valeur théorique étant la plupart du temps acceptable. Pour un tel travail, le *Capacimètre CM-1* est également très commode.

V. LIZY

(1) En principe inférieure à 1 pF, donc négligeable.

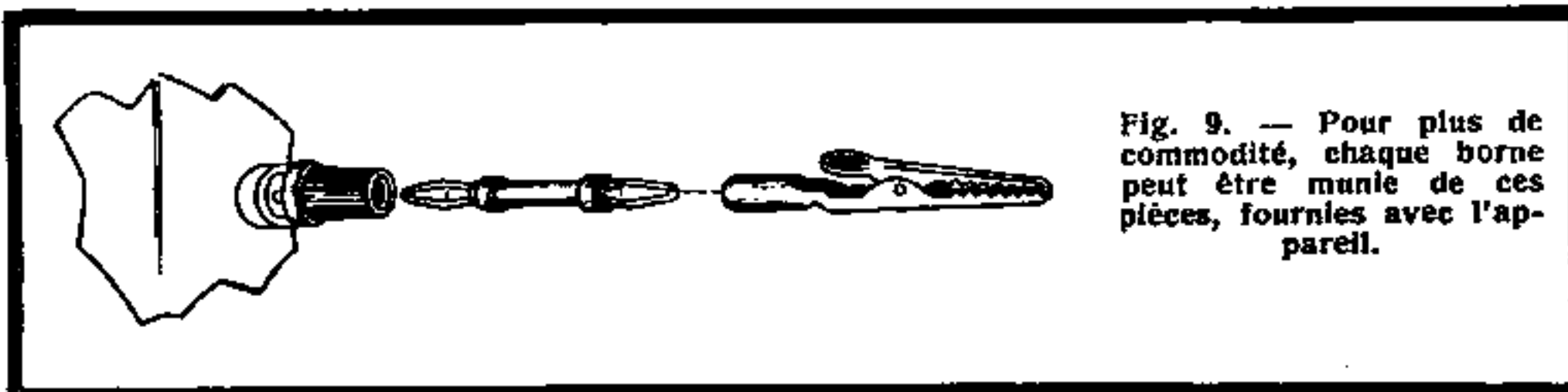


Fig. 9. — Pour plus de commodité, chaque borne peut être munie de ces pièces, fournies avec l'appareil.

que, même pour la plus grande capacité susceptible d'être mesurée dans chaque gamme, l'impulsion transmise par le condensateur ait eu le temps de décroître à une valeur pratiquement nulle avant qu'arrive l'impulsion suivante. Les figures 7 et 8, qui sont des oscillogrammes effectivement relevés sur un capacimètre CM-1, montrent que le résultat est parfaitement obtenu.

Etalonnage

Après câblage de l'appareil et vérification des connexions, le mettre sous tension en surveillant la valve, qui doit rougir sans présenter de lueurs violettes (ce qui indiquerait un court-circuit total ou partiel de la haute tension) et le tube régulateur OA2 qui, lui, doit normalement montrer une

Laisser l'appareil chauffer pendant une dizaine de minutes et vérifier à nouveau l'étalonnage sur les quatre gammes. Il est possible qu'il ait légèrement varié. Retoucher en conséquence les réglages des quatre potentiomètres. Si l'on éprouve quelque difficulté à établir le tarage pour la gamme de 100 pF, ajouter une résistance de 22, 47 ou 100 kΩ, selon le cas, entre le contacteur de sensibilités et le potentiomètre G. L'étalonnage doit alors devenir possible.

Passer sur la gamme suivante et brancher le condensateur de 1000 pF ± 1 %. Répéter le réglage en agissant cette fois sur le potentiomètre G. Même opération ensuite pour la troisième gamme, avec le condensateur de 0,01 μF et le potentiomètre F ; enfin, réglage de la dernière gamme

Installer ensuite l'appareil dans son boîtier. Il est désormais prêt pour l'emploi.