

Informations TECHNIQUES

ÉLECTROMÉTRIE

TUBES
INDUSTRIELS



BULLETIN ÉDITÉ PAR LE BUREAU DE DOCUMENTATION DE LA S. A. LA RADITECHNIQUE
DIVISION TUBES ÉLECTRONIQUES ET SEMICONDUCTEURS

DÉCEMBRE 1964

IND 16

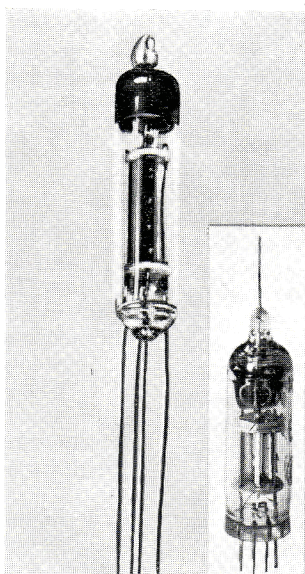
ÉLECTROMÉTRIE

Il est très souvent nécessaire, dans l'industrie comme dans les laboratoires, d'amplifier et de mesurer de faibles signaux continus engendrés aux bornes de très fortes résistances, tout en exerçant sur la source le minimum d'influence possible. Pour cette application spéciale, on utilise soit des tubes électromètres, soit des tubes semi-électromètres. Le choix entre ces catégories est délimité par plusieurs exigences, en particulier celle de la résistance externe.

La présente information décrit quelques faits d'expérience et indique un certain nombre de principes applicables en vue d'obtenir le meilleur fonctionnement possible des équipements d'électrométrie.

Courants de grille des tubes «S.-Q.» et des tubes semi-électromètres

Les travaux et les spécifications relatifs aux tubes de la série « Sécurité-Qualité » mentionnent des courants de grille inférieurs à une fraction de micro-ampère et la pratique montre qu'on peut, générale-



Tubes électromètres

ment, mesurer des courants dont la valeur minimale peut descendre jusqu'à 10^{-8} ampère.

Le tube subminiature EC 1000, dont la connexion de grille est sortie au sommet de l'ampoule, a un courant de grille maximal de 10^{-8} A et la valeur moyenne de ce courant est de l'ordre de 10^{-9} A. Le tube triode nuvistor 7586 utilisé comme semi-électromètre permet d'obtenir des résultats légèrement plus favorables.

Pour l'utilisation des tubes en semi-électromètre, on sous-chauffe le filament et l'on applique une tension d'anode réduite. Dans ces conditions, il est possible d'obtenir des courants de grille plus faibles que ceux indiqués ci-dessus et, notamment, ceux qui figurent dans le tableau A (voir page 2).

Des courants dans le domaine des 10^{-9} à 10^{-10} A peuvent être mesurés à l'aide des tubes semi-électromètres, tels que les types E 80 F ou ME 1400. Ils peuvent également être utilisés en triodes (voir les spécifications publiées).

TABLEAU A.

Tubes semi-électromètres			
E 80 F pentode		7586 triode nuvistor	
V_f	4,5	5	V
V_{g1}	— 2,15	— 1,5	V
V_a	40	26,5	V
V_{g2}	40		V
V_{g3}	0		V
I_a	40	13	μA
I_{g2}	9		μA
I_{g1}	$\approx 3,10^{-11}, \ll 10^{-10}$	$1,5 \times 10^{-12}$	A

Tubes spéciaux pour courants et tensions très faibles : électromètres

Des courants continus très faibles, compris entre 10^{-11} et 10^{-15} ampère, ou de faibles tensions continues présentes aux bornes d'une impédance très élevée nécessitent, pour leur mesure, soit des électromètres à condensateur vibrant, soit des tubes électromètres. Les tubes sont plus économiques, plus faciles à miniaturiser, leur emploi est simple et certains d'entre eux permettent la construction des amplificateurs logarithmiques nécessaires, en particulier, pour les besoins de l'énergie nucléaire.

On exige du tube électromètre que son courant de grille soit extrêmement faible, de 10^{-15} A à 10^{-13} A, suivant les types envisagés et, autant que possible, que sa stabilité ne soit troublée ni par la microphonie, ni par des dérives fortuites d'aucune sorte. En particulier, pour certaines applications logarithmiques, on demande aux tubes électromètres de pouvoir obtenir de 3 à 10 décades de fonctionnement, ce qui constitue une plage très large.

Pour obtenir et maintenir ces résultats, il reste absolument nécessaire de s'affranchir des courants de fuite, ce qui conduit à diminuer le nombre des supports des électrodes. Cela accroît la sensibilité de ces tubes aux diverses causes d'instabilité que nous venons de mentionner. L'étude des tubes électromètres impose au fabricant la nécessité de tenir le juste milieu entre les exigences d'isolement et la robustesse de la structure du tube. Si les supports sont trop nombreux, l'isolement devient un problème difficile. Si les isolants sont touchés par des électrons ou par une lumière, ils donnent lieu à des dérives. Afin d'obtenir les conditions de fonctionnement idéales ou de s'en approcher, il convient d'appliquer des précautions opératoires et nous allons d'abord en exposer les raisons.

Étude du courant de grille I_g

La fig. 1 représente le courant de grille total d'un tube quelconque I_g , ainsi que ses différentes composantes (de I_1 à I_5), en fonction de la tension de la grille V_g .

Parmi les causes de ces courants de grille partiels (composantes), nous pouvons distinguer :

1 - les électrons provenant de la cathode. Ils forment un courant de grille positif dont la croissance est exponentielle (I_1).

2 - le courant I_2 est dû à des causes diverses : ions positifs provenant de la cathode, électrons dus à l'émission thermique et photoélectrique de la grille, ionisation du gaz par les radiations X molles produites par le bombardement électronique de l'anode. Cet élément de courant de grille I_2 tend vers zéro, avec la tension de la grille.

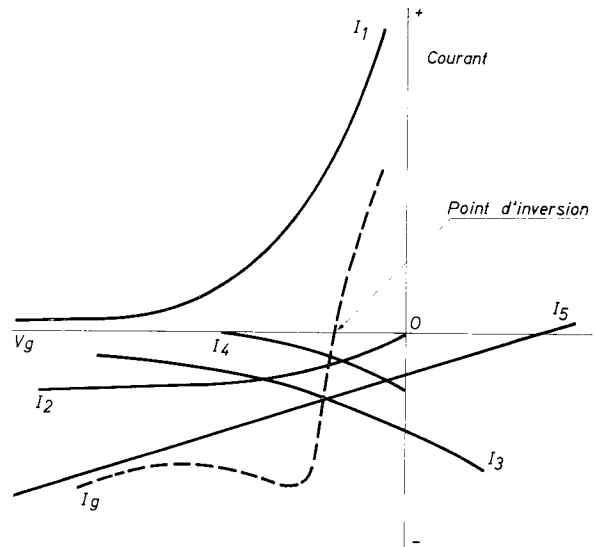


Fig. 1. — Variation du courant de grille I_g et de ses composantes (I_1 à I_5) en fonction de la tension négative de la grille. Au point d'inversion, le courant de grille I_g s'annule.

3 - les électrons rapides et l'émission thermique de l'anode forment des ions en agissant sur les gaz résiduels. Cet élément de courant I_3 diminue lorsque la polarisation négative de grille augmente.

4 - l'émission secondaire de la grille bombardée par les ions positifs est la cause de l'élément de courant de grille I_4 . Il diminue lorsque la polarisation négative de grille augmente.

5 - le dernier élément du courant de grille, à ne pas négliger dans la manipulation des tubes électromètres, est dû aux courants de fuite le long du verre et dans le montage. Ce courant I_5 correspond à une fuite presque ohmique, représentée approximativement par une droite sur le graphique.

La courbe I_g résulte de la superposition des divers courants élémentaires de I_1 à I_5 . On la voit, en traits interrompus, sur la fig. 1.

UTILISATION DES TUBES ÉLECTROMÈTRES

Point de fonctionnement

Il convient de remarquer, sur la fig. 1, que le courant de grille s'annule à une certaine valeur de la tension de grille (point d'intersection et tension d'inversion du courant de grille). Il est malheureusement impossible de choisir ce point de fonctionnement car il varie d'un échantillon à l'autre et la variation de I_g est très forte autour de ce point particulier. Il est préférable de situer le point de fonctionnement au minimum du courant de grille où sa variation reste la plus faible. Ce point de fonctionnement est également le plus favorable pour ce qui touche au bruit propre du tube. Mais, il y a lieu de distinguer le mode d'utilisation du tube électromètre car certains tubes peuvent être employés soit pour une application logarithmique, soit pour une application linéaire.

Amplificateurs à mode d'action logarithmique

Les amplificateurs à mode logarithmique ont pour objet d'agrandir la gamme des mesures de courant sans avoir à manœuvrer un commutateur de sensibilité. Dans cette catégorie d'application, le courant à mesurer est appliqué directement à la grille du tube par la source de courant. Le tube n'est pas muni d'une résistance de fuite de grille car il fonctionne comme amplificateur de courant (fig. 2 et 3). La grille de commande est positive par rapport au point d'intersection de la fig. 1. Donc, le courant de grille va être constitué principalement par le courant électronique I_1 . La grille étant polarisée négativement par rapport à la cathode, le système grille-cathode constitue une diode à champ de retardement. Dans ces conditions, le courant de grille varie en fonction de la tension négative de grille selon une courbe exponentielle et nous pouvons dire que le logarithme du courant de grille est proportionnel à la tension de la grille.

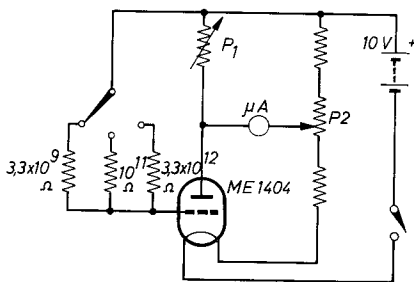


Fig. 2. — Montage d'essai de tube électromètre (ME 1404).

A partir de cette relation fondamentale, et d'après les caractéristiques des tubes connues, nous pouvons établir d'autres relations d'utilité pratique.

Dans le cas des triodes, en supposant que la pente reste raisonnablement constante, dans le domaine de fonctionnement envisagé, à une tension constante de l'anode, la tension de la grille est proportionnelle au courant anodique. Par conséquent, on peut également dire que le logarithme du courant de

grille est proportionnel au courant anodique. De manière analogue, si le courant anodique est maintenu constant par une variation de la tension de l'anode, la tension de l'anode est alors proportionnelle à la tension de la grille et l'on peut dire que le logarithme du courant de grille est proportionnel à la tension de l'anode.

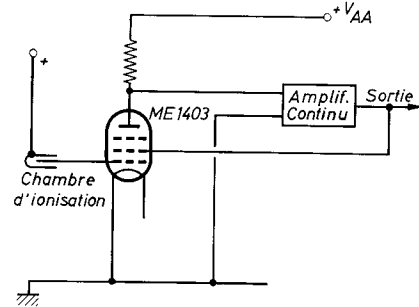


Fig. 3. — Schéma de principe d'utilisation (ME 1403).

Dans le cas des pentodes, si l'on suppose le maintien de la constance du courant anodique à l'aide d'une variation de la tension de la grille-écran, la tension de la grille de commande peut rester proportionnelle à la tension de la grille-écran et l'on peut dire que le logarithme du courant de la grille de commande est proportionnel à la tension de la grille-écran.

Il existe toutefois des limitations au mode d'action logarithmique aux faibles et aux forts courants de l'échelle des mesures. Aux faibles valeurs du courant de grille positif, la courbe de I_g s'écarte de la courbe exponentielle de I_1 , de la fig. 1, en raison de l'influence des autres composantes du courant de grille. Ainsi, le courant de grille positif minimal que l'on peut utiliser dans les applications à lecture logarithmique présente approximativement le même ordre de grandeur que le courant négatif de grille utilisé dans le cas du fonctionnement normal (linéaire). Les résultats expérimentaux montrent qu'aux fortes valeurs de courant de grille positif, l'écart vis-à-vis de la relation logarithmique se produit, soit lorsque la grille devient positive par rapport à la cathode, car la loi exponentielle pour I_1 devient une loi de puissance $3/2$, soit lorsque le courant de grille devient comparable au courant anodique. La limitation ne s'exerce pas de la même manière, ni dans le même domaine, selon le type de tube choisi. Par exemple, le tube ME 1403 est surtout limité par la seconde influence tandis que le tube ME 1402, en raison de son courant anodique plus élevé, est surtout affecté par l'effet de grille positive.

Amplificateurs à mode d'action linéaire

On emploie le mode d'action linéaire pour les mesures de tensions et de courants et la polarisation employée est alors de 1 à 2 V négative par rapport au point d'inversion du courant de grille (fig. 1).

Pour la mesure de courants, on utilise soit la méthode 1 par chute de tension, soit la méthode 2 par charge de condensateur. Selon la méthode 1, le courant circule dans une forte résistance de valeur connue. La chute de tension sur cette résistance est mesurée à l'aide du tube électromètre et le courant est déterminé par la loi d'Ohm. Selon la méthode 2, le courant d'entrée vient s'ajouter effectivement au courant de grille. Le taux de variation du potentiel de grille correspondant se déduit de la variation corré-

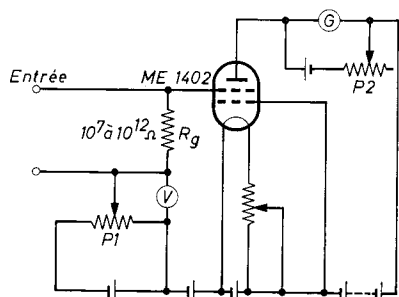


Fig. 4. — Méthode par compensation de la tension d'entrée ou méthode slide-back (ME 1402).

lative du courant anodique. On calcule alors le courant d'entrée. Il est égal au produit du taux de variation du potentiel de grille en fonction du temps et de la capacité totale d'entrée ($i = C \cdot \frac{dV}{dt}$). Pour la mesure des tensions, on relie à l'entrée de l'amplificateur une source de tension. Une résistance de fuite de grille peut alors devenir nécessaire, mais cela dépend de l'impédance de la source considérée.

Montages pratiques

Quelques montages pratiques utilisant des tubes électromètres sont donnés par les fig. 2 à 5. Ceux des fig. 2 et 3 correspondent à un mode logarithmique

de fonctionnement et ceux des autres figures à un mode linéaire.

Le montage de la fig. 4 applique les principes connus du voltmètre à compensation de signal (slide-back). En l'absence de courant d'entrée, on ajuste P₁ pour remettre à zéro la lecture du voltmètre V. On ajuste P₂ pour la remise à zéro de la lecture du galvanomètre G. On applique alors le courant d'entrée et l'on règle finement P₁ pour obtenir le retour à zéro de la lecture du galvanomètre. On note alors la lec-

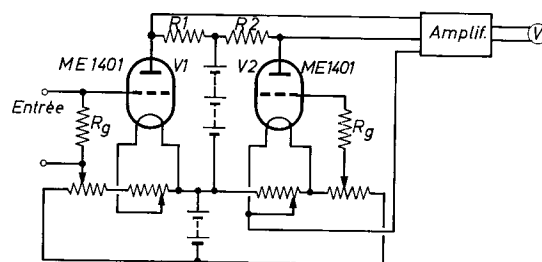
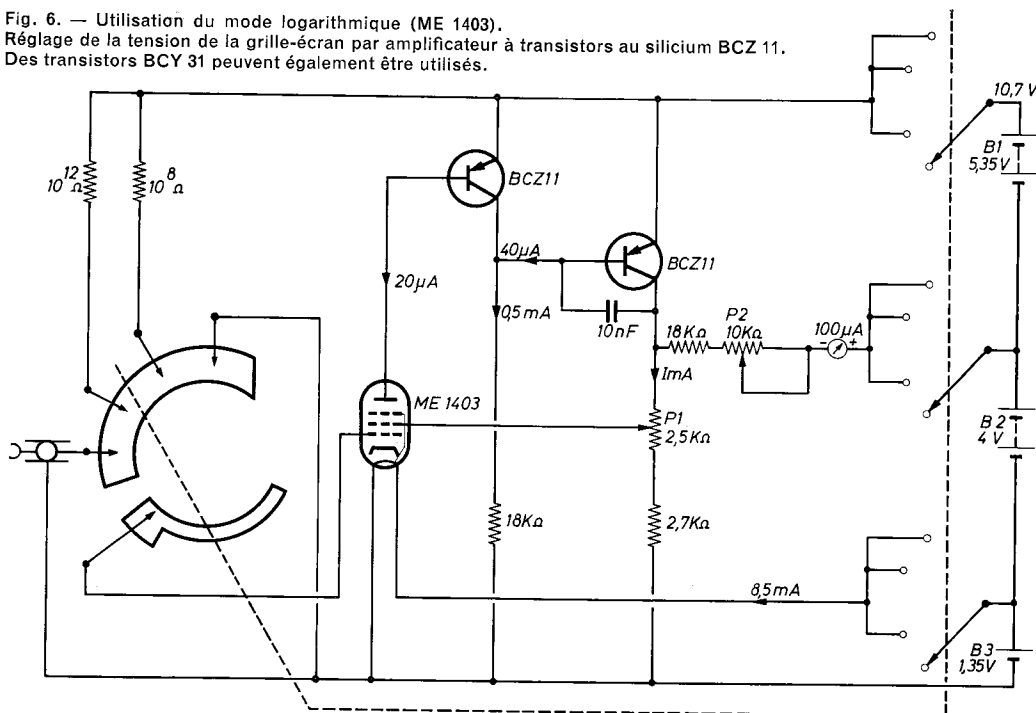


Fig. 5. — Montage équilibré à triodes (ME 1401).

ture du voltmètre. On calcule finalement le courant d'entrée par application de la loi d'Ohm d'après la lecture du voltmètre et la valeur connue de la résistance de fuite de grille R_g.

Le montage différentiel de la fig. 5 a été étudié pour diminuer l'influence des variations des tensions d'alimentation (réf. 3). On a pu voir à la fig. 2, un montage fondamental pour l'essai d'un tube électromètre. Pour étalonner ce dispositif, on applique à l'entrée, et successivement, des courants de 3×10^{-12} A et 3×10^{-9} A et l'on règle, à l'aide de P₁, la remise à zéro et, à l'aide de P₂, la déviation totale du galvanomètre. Ces opérations doivent être répétées plusieurs fois, en raison de l'influence mutuelle de ces deux réglages.

Fig. 6. — Utilisation du mode logarithmique (ME 1403). Réglage de la tension de la grille-écran par amplificateur à transistors au silicium BCZ 11. Des transistors BCY 31 peuvent également être utilisés.



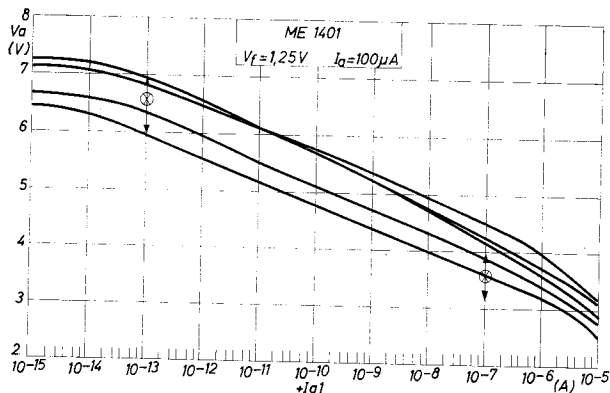


Fig. 7 a.

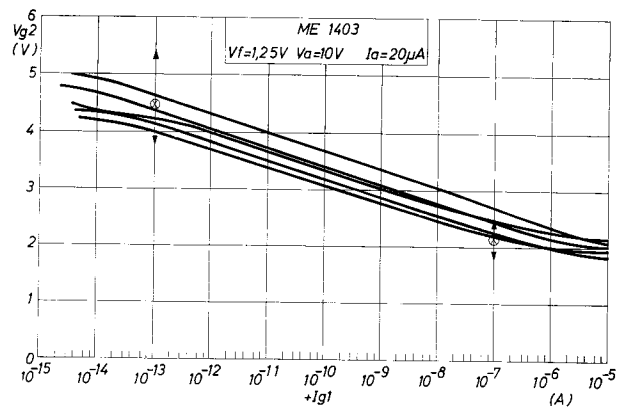


Fig. 7 c.

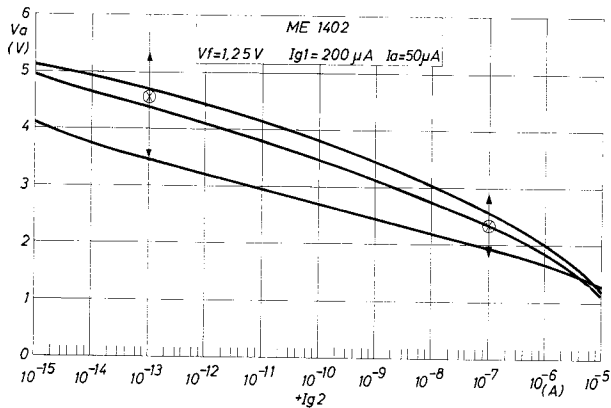


Fig. 7 b 1.

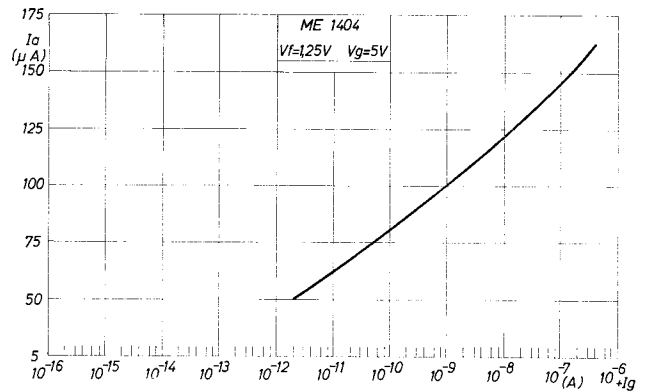


Fig. 7 d.

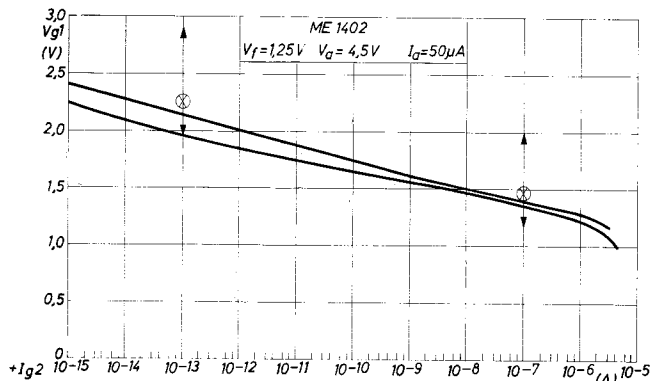


Fig. 7 b 2.

Fig. 7. — Résultats obtenus sur des lots de tubes utilisés sur le mode logarithmique. Les flèches verticales indiquent la dispersion des mesures sur 25 tubes. Les valeurs médianes sont indiquées dans les petits cercles.

La commande de la tension de la grille-écran d'un électromètre pentode est indiquée à la fig. 3. Cette commande tend à maintenir constante la tension de l'anode et le courant anodique qui en résulte à travers le tube. On obtient ainsi une relation linéaire entre la tension de la grille-écran et $\log I_1$, (réf. 4) (mode logarithmique).

Le montage complet pour une indication logarithmique de courant de 10^{-13} A à 10^{-6} A est représenté à la fig. 6. Le courant anodique de la pentode électromètre ME 1403 (4068) devient le courant d'entrée d'un

amplificateur à courant continu équipé de deux transistors au silicium BCZ 11. La sortie de cet amplificateur est reliée à la grille-écran du tube électromètre et attaque également le microampèremètre indicateur ($100 \mu\text{A}$). Pour l'étalonnage, la résistance de $10^{12} \Omega$ correspond à un courant approximatif de 10^{-11} A avec lequel on ajuste P_1 ; la résistance de $10^8 \Omega$ correspond à un courant approximatif de 10^{-7} A avec lequel on ajuste P_2 . A 10^{-13} A, la résistance d'entrée du tube est de l'ordre de $10^{12} \Omega$. Par conséquent, la résistance d'isolation du commutateur et de la fiche d'entrée doit être grande par rapport à $10^{12} \Omega$ (commutateur sur céramique, entrée coaxiale en polystyrène). Pour l'alimentation, nous recommandons l'emploi des piles au mercure.

FONCTIONNEMENT DES TUBES ÉLECTROMÈTRES

Les résultats mentionnés ont été obtenus sur des lots comprenant un petit nombre de tubes de chaque type et ils ne sont pas forcément représentatifs du fonctionnement individuel.

Mode logarithmique

Il existe certaines relations logarithmiques pratiques entre les caractéristiques d'entrée et de sortie. Les fig. 7 a, 7 b, 7 c et 7 d indiquent le fonctionnement possible sur un mode logarithmique des tubes ME 1401 (4065), ME 1402 (4066), ME 1403 (4068) et ME 1404 (4069). Il convient de remarquer que le nombre approximatif de décades peut atteindre six pour ME 1401, huit pour ME 1402, sept pour ME 1403 et trois pour ME 1404.

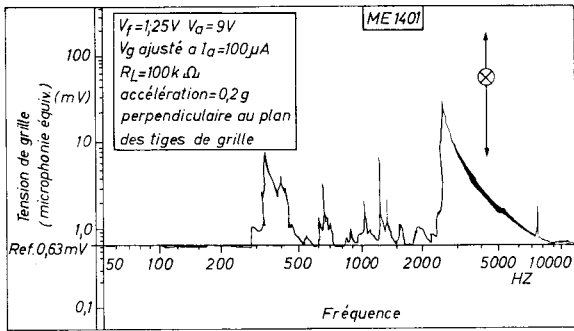


Fig. 8 a.

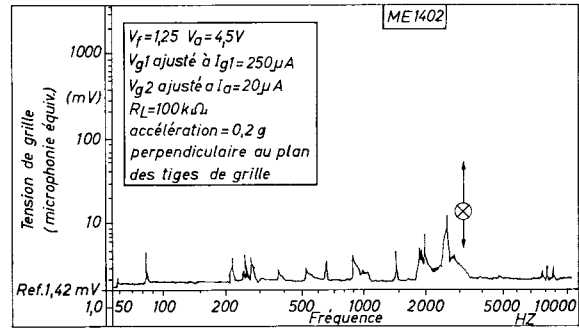


Fig. 8 b.

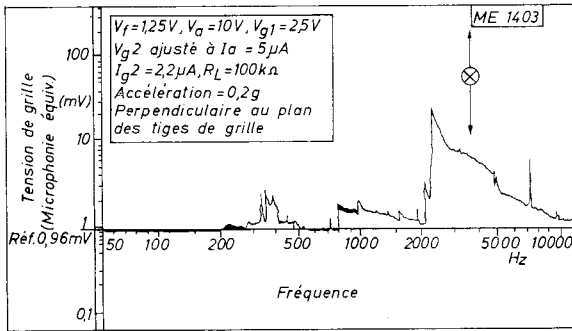


Fig. 8 c.

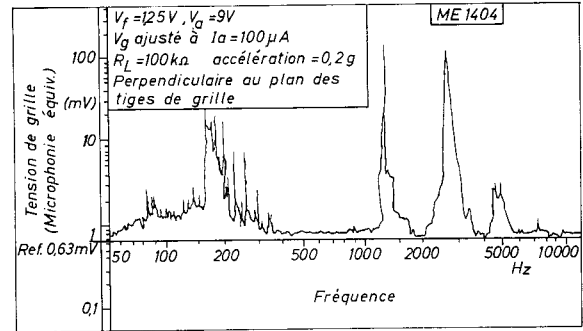


Fig. 8 d.

Fig. 8. — Microphonie en fonction de la fréquence excitatrice. Les flèches verticales indiquent la dispersion des mesures sur 25 tubes. Les valeurs médianes sont indiquées dans les petits cercles.

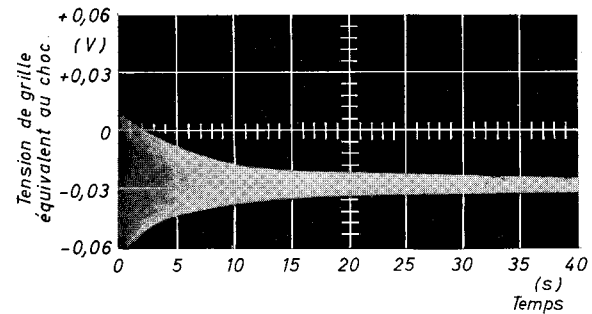
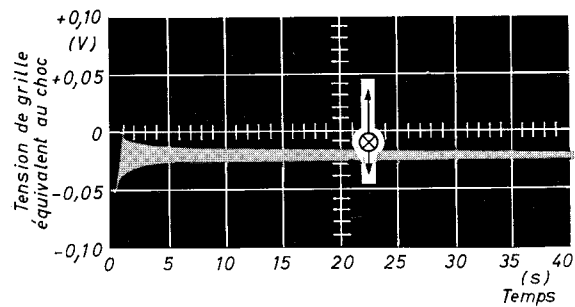
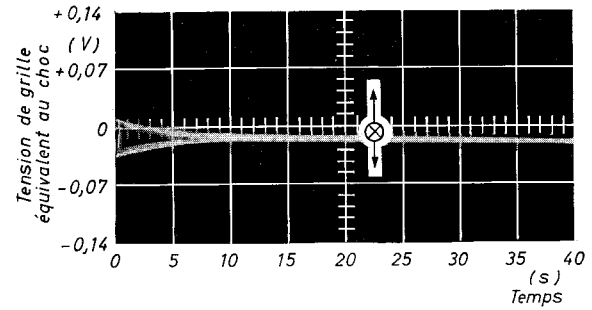
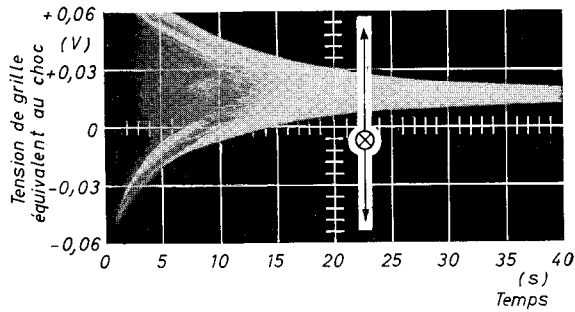


Fig. 9. — Excitation par chocs. Les flèches verticales indiquent la dispersion des mesures sur 25 tubes. Les valeurs médianes sont indiquées dans les petits cercles.

Vibrations et chocs

Les fig. 8 et 9 montrent l'effet électrique des chocs et des vibrations sur les quatre types de tubes électromètres. Normalement, comme on le voit sur la fig. 9, un choc déplace à partir de sa valeur initiale le courant anodique continu et une composante alternative amortie est superposée. Sa fréquence est égale à la fréquence naturelle du filament du tube.

Les résultats expérimentaux indiquent trois faits importants à considérer :

1 - Les tubes électromètres sont extrêmement sensibles aux vibrations et aux chocs.

2 - Les chocs mécaniques ou les vibrations peuvent causer une variation permanente de la structure géométrique des électrodes, ce qui produit des variations correspondantes des caractéristiques du tube.

3 - Tous les autres facteurs étant maintenus constants, les tétrodes avec grille à charge d'espace (ME 1402) sont moins sensibles aux chocs et aux vibrations que les triodes classiques.

Précautions générales pour la réduction du courant de grille d'un tube à vide

Les différents éléments du courant de grille ont déjà été représentés à la fig. 1. Il est possible de réduire ces courants par les procédés suivants :

1 - Pour les électrons provenant de la cathode, par l'utilisation d'une polarisation négative de grille suffisamment forte.

2 - Pour les ions positifs provenant de la cathode, par l'utilisation d'une faible valeur de tension de chauffage du filament ou par l'utilisation de tubes avec grille à charge d'espace.

3 - Pour l'émission thermique de la grille, par l'utilisation d'une faible valeur de la tension de chauffage du filament.

4 - Pour l'émission photoélectrique de la grille, par l'utilisation d'une faible valeur de la tension de chauffage du filament et, également, d'un blindage du tube vis-à-vis de la lumière externe.

5 - Pour les fuites sur la surface de l'ampoule, par le maintien de la propreté et de la sécheresse.

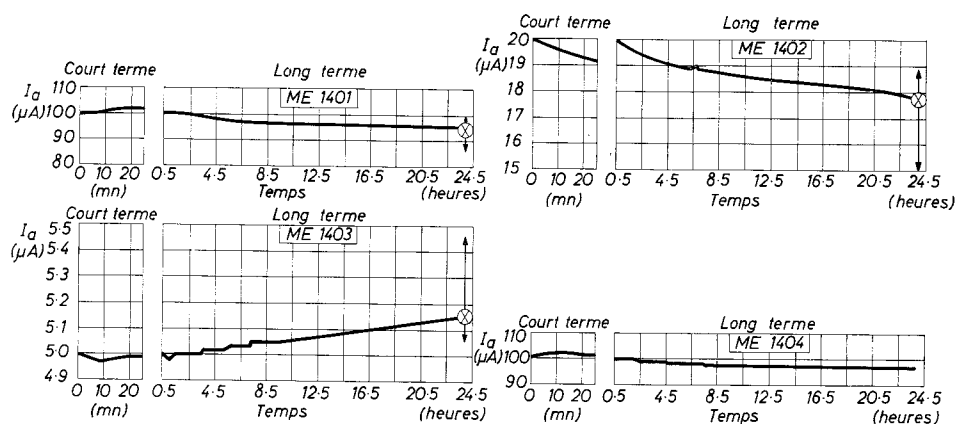


Fig. 10. — Dérive à long et à court termes. Les flèches verticales indiquent la dispersion des mesures sur 25 tubes. Les valeurs médianes sont indiquées dans les petits cercles.

Dérive

Les caractéristiques de dérive à court terme et à long terme sont indiquées à la fig. 10. Les mesures de dérive à court terme ont été obtenues en appliquant d'abord les tensions de fonctionnement spécifiées, puis en pratiquant les lectures de courant à des intervalles réguliers de cinq minutes pendant une durée d'essai totale de trente minutes, environ.

Les mesures à long terme ont été faites directement, à la suite de celles à court terme, avec des intervalles de trente minutes entre les seize premières lectures et de seize heures entre les deux dernières lectures. Au début des mesures de dérive à long terme, les tensions de fonctionnement ont été ajustées conformément aux spécifications publiées. Avant chaque lecture suivante, ces tensions ont été ajustées de nouveau, si elles étaient différentes des valeurs initiales, aux valeurs utilisées au début des mesures à long terme.

6 - Pour les autres éléments du courant de grille, y compris I_s , par l'utilisation du tube à des tensions suffisamment faibles entre les électrodes.

Les conditions de fonctionnement publiées pour chaque type de tube tiennent compte de toutes ces considérations.

Ces tensions de chauffage et d'alimentation étant appliquées au tube, le courant de grille dépend, dans une large mesure, de l'émission photoélectrique et des composantes de fuite. Par exemple, des expériences, faites avec un tube ME 1402 fonctionnant aux tensions spécifiées, ont montré que le courant de grille négatif augmente à partir de sa valeur initiale de $1,3 \times 10^{-15}$ A dans l'obscurité complète jusqu'à 10^{-13} A, environ, dans une salle éclairée. Lorsque le même tube est disposé à nouveau dans un boîtier à l'abri de la lumière, après avoir été contaminé par la poussière et par l'air humide, son courant de grille augmente de $1,3 \times 10^{-15}$ A jusqu'à 3×10^{-13} A. Nielson indiquait (réf. 5) qu'une ouverture de 6 mm de diamètre dans le boîtier de l'électromètre suffisait pour

la production d'un courant photoélectrique atteignant par moments 10^{-12} A, en raison de l'éclairage de son laboratoire.

Les causes principales de difficultés dans les mesures : perturbation, instabilité, dérive, microphonie sont dues :

- 1 - à l'influence de champs parasites ou d'une énergie rayonnée
- 2 - aux variations de tension d'alimentation
- 3 - aux variations des valeurs des composants
- 4 - aux potentiels de contact dans les circuits
- 5 - aux fortes constantes de temps dans le montage
- 6 - à l'oubli de laisser un délai assez long pour que l'équilibre thermique soit atteint
- 7 - à l'empoisonnement du mécanisme d'émission
- 8 - à des variations temporaires ou permanentes des distances entre les électrodes du tube
- 9 - à des fuites en surface, dues à la contamination ou à une mauvaise manipulation de l'ampoule.

Certaines précautions opératoires pour la réduction du courant de grille et des phénomènes indésirables mentionnés ci-dessus peuvent maintenant être rappelées.

Tube

Le tube doit être maintenu propre, dans son sachet protecteur, jusqu'au moment où il est utilisé. Des précautions particulières doivent être toujours prises pour sa manipulation : le saisir seulement par la moitié supérieure de l'ampoule. De même, le support d'ampoule doit seulement porter sur la moitié supérieure de l'ampoule. Il faut prendre soin, lors du soudage des connexions, qu'il n'y ait jamais de résine en contact avec l'ampoule. S'il se produit une contamination, le verre doit être nettoyé à l'alcool.

Le tube doit être utilisé aux tensions de fonctionnement indiquées dans les spécifications. Il doit être inséré dans un boîtier métallique servant de blindage vis-à-vis des champs électriques et de protection vis-à-vis des champs magnétiques. L'équipement doit également être protégé contre toutes les formes de radiations possibles, y compris la lumière, les radiations γ , X, les particules à haute énergie telles que les deutérons, les photons et les électrons rapides.

Il est recommandé de mettre en service un tube électromètre trente minutes avant la série des mesures entreprises afin que l'état d'équilibre thermique du montage puisse être atteint. Le tube ainsi que les composants qui lui sont associés et les connexions doivent être mis à l'abri des sollicitations mécaniques et acoustiques de toute nature.

Tensions d'alimentation

De nombreuses applications des tubes électromètres sont faites dans le domaine des amplificateurs à courants lentement variables appelés, pour abrégé, " amplificateurs continus ". En raison de la stabilité exigée des indications de sortie, il est nécessaire d'utiliser soit des appareils fournissant des tensions d'alimentation stabilisées, soit encore des batteries de piles ou d'accumulateurs à forte capacité. Pour réduire l'influence des variations de la tension d'alimentation, il peut être nécessaire de recourir à un montage différentiel, équilibré avec soin.

Pour éviter la contamination du mécanisme d'émission du tube, il convient d'appliquer toujours la tension de chauffage de filament avant la mise en circuit des tensions d'anode et de grille-écran.

Composants

Il convient de blinder, autant que possible, toute l'isolation essentielle du montage afin d'éviter les perturbations dues aux potentiels variables. Toutes les surfaces sur lesquelles un fort isolement n'est pas exigé devraient, de préférence, être recouvertes d'une matière conductrice, afin d'éviter toute accumulation de charges. En raison de la très haute impédance du circuit de grille, seuls des composants de haute qualité peuvent être employés pour établir le circuit d'entrée.

Ce texte a été rédigé par R. Aronsson d'après les travaux de MM. Dagpunar et Hyde révisés en Août 1963 et les références suivantes :

RÉFÉRENCES

1. Yarwood J., Le Croissette D.H., " D.C. Amplifiers ". Electronic Engineering, Vol. XXVI, N° 311, Part I, Jan. 1954, pp. 14 à 19 ; N° 312, Part II, Feb. 1954, pp. 64 à 70.
2. Jervis M. W., " The Measurement of Very Small Direct Currents " Electronic Engineering, Vol. XXVI, N° 313, Mar. 1954, pp. 100 à 105.
3. Böhm H., " Elektrometrische Betriebsmessgeräte " Archiv Technisches Messen, Oct. 1959, N° 285, pp. 217 à 220.
4. Cox R.J., " Automatic Start-up of Nuclear Reactors ". I.R.E. Transactions on Nuclear Science (Professional Group on Nuclear Science), Vol. NS-3, N° 1, Feb. 1956, pp. 15 à 20.
5. Nielson C.E., " Measurement of Small Currents. Characteristics of Types 38, 954 and 959 as Reduced Grid Current Tubes ". Review of Scientific Instruments, Vol. 18, N° 1, Jan. 1947, pp. 18 à 31.
6. J. Le Gall, " Contrôle des rayonnements en électronique nucléaire ". Technique Moderne, Février 1962.

Les Informations et schémas contenus dans cette documentation sont donnés sans garantie quant à leur protection éventuelle par des brevets. La reproduction est autorisée moyennant l'indication complète de la source : Bulletin " Informations Techniques " de La Radiotechnique.

Le Gérant : R. GONDRY.

LA RADIOTECHNIQUE — DIVISION TUBES ÉLECTRONIQUES ET SEMICONDUCTEURS
130, avenue Ledru-Rollin - PARIS XI^e - Téléph. : 797-99-30 - Adr. Télégr. : TUBELEC - PARIS
USINES ET LABORATOIRES : SURESNES, CHARTRES, DREUX ET CAEN