

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC RECOMMENDATION**

**Publication 333**

Première édition — First edition

1970

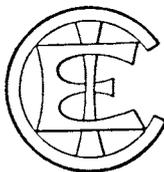
---

**Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour  
rayonnements ionisants**

---

**Test procedures for semiconductor detectors for ionizing radiation**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60333:1970

# Withdrawn

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC RECOMMENDATION**

**Publication 333**

Première édition — First edition

1970

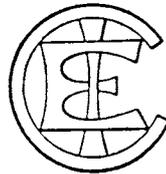
---

**Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour  
rayonnements ionisants**

---

**Test procedures for semiconductor detectors for ionizing radiation**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

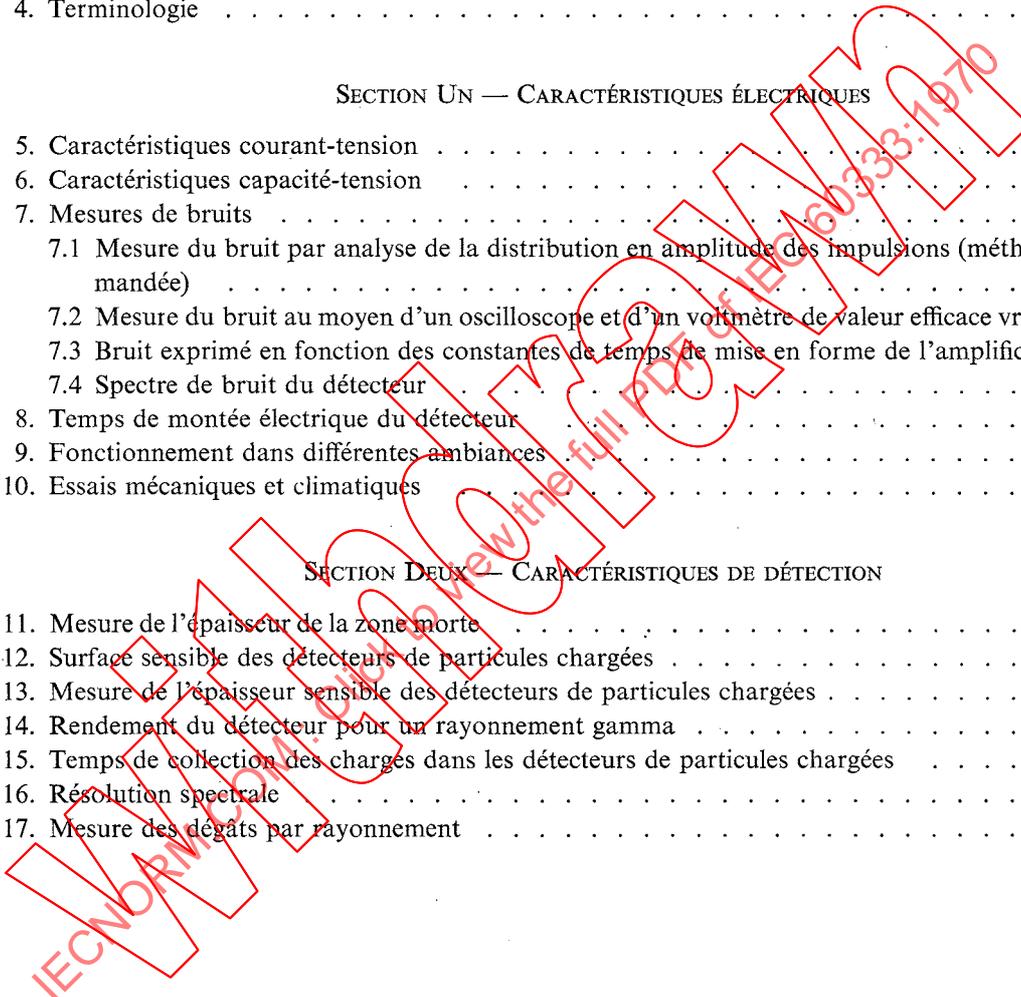
Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

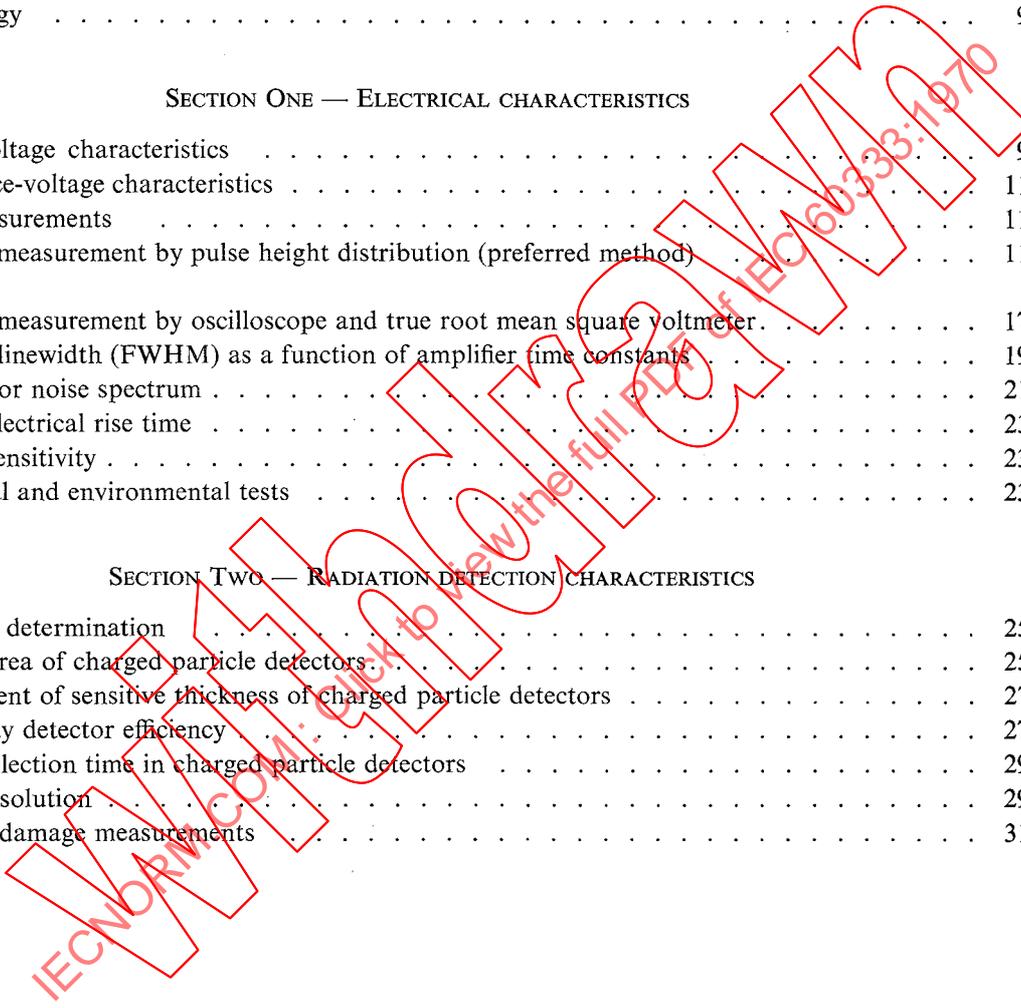
## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Domaine d'application . . . . .	6
2. Objet . . . . .	6
3. Prescriptions générales . . . . .	6
4. Terminologie . . . . .	8
SECTION UN — CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES	
5. Caractéristiques courant-tension . . . . .	8
6. Caractéristiques capacité-tension . . . . .	10
7. Mesures de bruits . . . . .	10
7.1 Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions (méthode recommandée) . . . . .	10
7.2 Mesure du bruit au moyen d'un oscilloscope et d'un voltmètre de valeur efficace vraie . . . . .	16
7.3 Bruit exprimé en fonction des constantes de temps de mise en forme de l'amplificateur . . . . .	18
7.4 Spectre de bruit du détecteur . . . . .	20
8. Temps de montée électrique du détecteur . . . . .	22
9. Fonctionnement dans différentes ambiances . . . . .	22
10. Essais mécaniques et climatiques . . . . .	22
SECTION DEUX — CARACTÉRISTIQUES DE DÉTECTION	
11. Mesure de l'épaisseur de la zone morte . . . . .	24
12. Surface sensible des détecteurs de particules chargées . . . . .	24
13. Mesure de l'épaisseur sensible des détecteurs de particules chargées . . . . .	26
14. Rendement du détecteur pour un rayonnement gamma . . . . .	26
15. Temps de collection des charges dans les détecteurs de particules chargées . . . . .	28
16. Résolution spectrale . . . . .	28
17. Mesure des dégâts par rayonnement . . . . .	30



## CONTENT

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Scope . . . . .	7
2. Object . . . . .	7
3. General requirements . . . . .	7
4. Terminology . . . . .	9
SECTION ONE — ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
5. Current-voltage characteristics . . . . .	9
6. Capacitance-voltage characteristics . . . . .	11
7. Noise measurements . . . . .	11
7.1 Noise measurement by pulse height distribution (preferred method) . . . . .	11
7.2 Noise measurement by oscilloscope and true root mean square voltmeter . . . . .	17
7.3 Noise linewidth (FWHM) as a function of amplifier time constants . . . . .	19
7.4 Detector noise spectrum . . . . .	21
8. Detector electrical rise time . . . . .	23
9. Ambient sensitivity . . . . .	23
10. Mechanical and environmental tests . . . . .	23
SECTION TWO — RADIATION DETECTION CHARACTERISTICS	
11. Dead layer determination . . . . .	25
12. Sensitive area of charged particle detectors . . . . .	25
13. Measurement of sensitive thickness of charged particle detectors . . . . .	27
14. Gamma ray detector efficiency . . . . .	27
15. Charge collection time in charged particle detectors . . . . .	29
16. Spectral resolution . . . . .	29
17. Radiation damage measurements . . . . .	31



---

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS DES DÉTECTEURS SEMICONDUCTEURS  
POUR RAYONNEMENTS IONISANTS**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à New York en 1965, puis révisé lors des réunions tenues à Tel-Aviv en 1966, à Stockholm en 1967 et à Vienne en 1968. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1968.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud	Pays-Bas
Australie	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Japon	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**TEST PROCEDURES FOR SEMICONDUCTOR DETECTORS  
FOR IONIZING RADIATION**

---

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by I E C Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation.

A first draft was discussed at the meeting held in New York in 1965, and was revised during meetings held in Tel-Aviv in 1966, in Stockholm in 1967, and in Vienna in 1968. As a result of this latter meeting, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1968.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Poland
Belgium	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

---

## MÉTHODES D'ESSAIS DES DÉTECTEURS SEMICONDUCTEURS POUR RAYONNEMENTS IONISANTS

### 1. **Domaine d'application**

La présente recommandation s'applique aux détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants.

La rapidité de l'évolution dans ce domaine, par exemple, l'utilisation récente de détecteurs liés au préamplificateur de façon non séparative, peut dans certains cas rendre nécessaire la modification des méthodes d'essais indiquées.

Les méthodes d'essais pour l'électronique associée sont décrites dans la Publication 340 de la C E I: Méthodes d'essais des amplificateurs et préamplificateurs pour détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants.

### 2. **Objet**

Etablir des méthodes d'essais pour les détecteurs semiconducteurs.

L'emploi de ces détecteurs s'est largement répandu ces dernières années dans les domaines de la détection des rayonnements ionisants et de la spectroscopie à haute résolution. Les détecteurs au silicium ont trouvé leur principale application dans la détection et l'analyse des particules lourdes chargées. Les détecteurs de grand volume au germanium se sont révélés très utiles pour la détection et l'analyse des rayonnements gamma. Le développement rapide de ces détecteurs a rendu souhaitable l'établissement de méthodes d'essais normalisées, afin que les résultats des mesures puissent avoir la même signification pour tous les constructeurs et utilisateurs.

La présente recommandation n'implique pas l'obligation d'effectuer tous les essais décrits ci-après. Elle implique seulement que si de tels essais sont effectués sur des dispositifs terminés, ils doivent être exécutés conformément aux méthodes indiquées.

### 3. **Prescriptions générales**

Il est recommandé de prendre les précautions et d'appliquer les spécifications suivantes lorsque l'on effectue un des essais décrits.

- 3.1 Les valeurs limites fixées pour la tension, le courant, les conditions d'irradiation et les autres paramètres du détecteur ne devront être dépassées en aucun cas car il pourrait en résulter des modifications permanentes du dispositif.
- 3.2 Toutes les mesures doivent être effectuées en plaçant le dispositif dans l'obscurité totale.
- 3.3 La température et les conditions d'environnement du dispositif doivent être précisées, ainsi que les autres conditions de mesure.
- 3.4 Les valeurs des paramètres mesurés devront être reproductibles, compte tenu de la précision des mesures, après l'achèvement d'un quelconque ou de l'ensemble des essais effectués.
- 3.5 La source assurant la polarisation du détecteur ne devra pas influencer de manière significative les mesures des paramètres du détecteur par son ondulation, son ronflement, etc.

## TEST PROCEDURES FOR SEMICONDUCTOR DETECTORS FOR IONIZING RADIATION

---

### 1. Scope

This Recommendation applies to semiconductor detectors for ionizing radiation.

Rapid advances in this field, for example the introduction of integral assemblies of detectors and preamplifiers, may make modification of the test procedures necessary in some cases.

Test procedures for the associated amplifiers and preamplifiers are described in IEC Publication 340, Test Procedures for Amplifiers and Preamplifiers for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation.

### 2. Object

To establish test procedures for semiconductor radiation detectors.

These detectors have come into widespread use in recent years in the detection and the high resolution spectroscopy of ionizing radiation. Silicon detectors have found their principal application in the detection and analysis of heavy charged particles. Large volume detectors made of germanium have proved very useful in the detection and analysis of gamma radiation. The rapid development of these detectors has made desirable the establishment of standard test procedures so that measurements may have the same meaning to all manufacturers and users.

This Recommendation is not intended to imply that all tests described herein are mandatory; but only that such tests as are carried out on completed devices shall be performed in accordance with the procedures given.

### 3. General requirements

The following general precautions and specifications are recommended for all of the procedures described.

- 3.1 Maximum diode voltage, current, radiation flux ratings and other specification limits should not be exceeded or permanent changes of the device characteristics may result.
- 3.2 All measurements shall be performed with the device itself in total darkness.
- 3.3 The temperature and the ambient conditions of the device shall be specified, together with other relevant conditions.
- 3.4 The values of the parameters measured should be reproducible, within the precision of the measurements, after any one or all of the tests have been performed.
- 3.5 The detector bias supply shall not significantly influence the detector parameter measurements with ripple, hum, etc.

## 4. Terminologie

### 4.1 Détecteur semiconducteur

Détecteur à ionisation dans lequel un champ électrique permet la collection sur les électrodes de l'excédent des porteurs de charge produit dans un semiconducteur par un rayonnement ionisant.

### 4.2 Rendement d'un détecteur

Rapport du nombre de particules détectées au nombre de particules de même nature ayant frappé l'enveloppe du volume utile du détecteur pendant le même temps.

### 4.3 Rendement de détection

Pour des conditions de détection données, rapport du nombre de particules détectées au nombre de particules de même nature émises par la source de rayonnement pendant le même temps.

### 4.4 Largeur à mi-hauteur (LMH)

Dans une courbe représentant une distribution et ne comportant qu'un seul pic, différence des abscisses des deux points de la courbe dont les ordonnées sont égales à la moitié de l'ordonnée de ce pic.

### 4.5 Fluence (de particules)

En un point donné de l'espace, quotient du nombre  $\Delta N$  de particules qui pénètrent en un intervalle de temps donné dans une sphère convenablement petite centrée en ce point, par l'aire  $\Delta a$  du grand cercle de cette sphère.

Symbole:  $\Phi$       $\Phi = \frac{\Delta N}{\Delta a}$  (voir note)

### 4.6 Débit de fluence (de particules)

Quotient de l'accroissement  $\Delta\Phi$  de la fluence de particules pendant un intervalle de temps convenablement petit  $\Delta t$ , par cet intervalle de temps.

Il est identique au produit du nombre volumique des particules par leur vitesse moyenne.

Symbole:  $\varphi$       $\varphi = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  (voir note)

## SECTION UN — CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

### 5. Caractéristiques courant-tension

Le détecteur étant placé dans l'obscurité totale, on trace point par point la courbe représentative de son courant inverse en fonction de la tension de polarisation appliquée  $V_d$  à une température maintenue constante (voir figure 1, page 10). Il faut laisser au dispositif un temps suffisant pour atteindre l'équilibre à chaque tension appliquée. Les deux caractéristiques à tension croissante et à tension décroissante doivent être tracées. Les variations de tension doivent être suffisamment lentes pour bien mettre en évidence tout effet d'hystérésis.

*Note.* — Les définitions de fluence, débit de fluence, etc., figurent dans le rapport N° 11 de la Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques (CIUR).

## 4. Terminology

### 4.1 Semiconductor detector

An ionizing detector in which an electric field is provided for the collection at the electrodes of the excess free charge carriers produced in a semiconductor by ionizing radiation.

### 4.2 Detector efficiency

The ratio of the number of detected particles to the number of similar particles which are incident in the same time interval on the envelope limiting the sensitive volume.

### 4.3 Detection efficiency

Under stated conditions of detection, the ratio of the number of detected particles to the number of similar particles emitted by the radiation source in the same time interval.

### 4.4 Full width at half maximum (FWHM)

In a distribution curve comprising a single peak, the distance between the abscissa of the two points on the curve whose ordinates are half of the ordinate of the peak.

### 4.5 (Particle) fluence

At a given point of space, the quotient of the number  $\Delta N$  of particles incident during a given time interval on a suitably small sphere centred at that point, by the cross-sectional area  $\Delta a$  of the sphere.

Symbol:  $\Phi$       $\Phi = \frac{\Delta N}{\Delta a}$  (see Note)

### 4.6 (Particle) fluence rate, particle flux density

The quotient of the increment of fluence  $\Delta\Phi$  during a suitably small interval of time  $\Delta t$ , by that interval of time.

It is identical with the product of the volume particle density and the average speed.

Symbol:  $\varphi$       $\varphi = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  (see Note)

## SECTION ONE — ELECTRICAL CHARACTERISTICS

## 5. Current-voltage characteristics

With the detector in total darkness, a point-by-point plot is made of the reverse bias leakage current as a function of the detector voltage  $V_d$  at a constant temperature (see Figure 1, page 11). Sufficient time should be allowed for the device to reach equilibrium at each applied bias voltage. Both the points corresponding to successively increasing and successively decreasing voltage should be recorded. The voltage changes should be made slowly enough to properly exhibit any hysteresis effects.

---

*Note.* — The definitions of fluence, fluence rate, etc., are included in Report No. 11 of the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU).

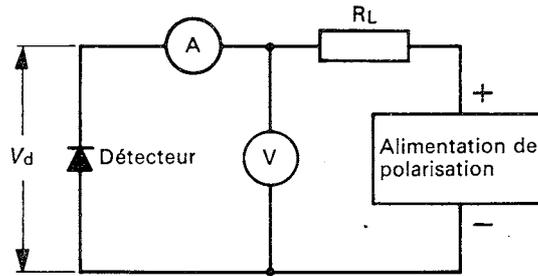


FIG. 1. — Mesure de la caractéristique courant-tension.

## 6. Caractéristiques capacité-tension

La capacité d'un détecteur en fonction de sa tension de polarisation peut être mesurée à l'aide d'un pont haute fréquence. Ce pont doit fonctionner dans la gamme  $10^3$  Hz à  $10^6$  Hz. Pour chaque valeur de la polarisation, l'amplitude crête à crête du signal alternatif appliqué au détecteur n'excédera pas 10% de la valeur de la tension de polarisation en courant continu ou 10% de la largeur de la bande interdite (la plus grande de ces deux valeurs étant applicable). La température du détecteur, la tension de polarisation et les conditions d'environnement seront relevées. La courbe capacité-tension sera tracée en coordonnées logarithmiques.

## 7. Mesures de bruits

### 7.1 Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions (méthode recommandée)

7.1.1 Le détecteur est relié à un préamplificateur « intégrateur » (sensible à la charge), à un amplificateur principal et à un analyseur d'amplitude multicanal, comme l'indique la figure 2, page 12. Les constantes de temps de mise en forme de l'amplificateur sont choisies égales à  $1 \mu\text{s}$  dans le cas d'une mise en forme RC-CR. D'autres mises en forme convenant au détecteur pourront être utilisées, mais leurs caractéristiques devront alors être précisées clairement. Un condensateur étalonné  $C_c$  est relié à l'entrée du préamplificateur et placé en série avec un générateur d'impulsions de précision. Ce condensateur  $C_c$  sera de préférence du type à trois bornes, la capacité étant mesurée entre les deux bornes isolées et la troisième borne étant reliée à la terre. Une mesure extrêmement précise de la capacité entre les deux bornes isolées peut être réalisée avec un pont de capacités, et cette capacité est indépendante des connexions aux circuits extérieurs. Le générateur d'impulsions fournit des signaux dont la forme est indiquée par la figure 3, page 12, le temps de montée  $t_r$  est inférieur à 20% de la valeur de la constante de temps de différentiation de l'amplificateur principal et la constante de temps de décroissance  $\tau_d$  est telle que l'amplitude  $V_g$  du signal fourni par le générateur ne diminue pas de plus de 2% pendant un temps égal à la constante de temps de différentiation du circuit de mise en forme. De plus, la capacité d'entrée équivalente du préamplificateur « intégrateur » doit être supérieure à  $100 C_c$ .

Dans ces conditions, la charge injectée à chaque impulsion par le générateur est  $V_g C_c$  coulombs, à environ 1% près. (Si ces conditions ne sont pas satisfaites, un calcul peut être effectué pour déterminer la charge réellement injectée par impulsion.) Tous les éléments de la chaîne de mesure fonctionnant dans leur domaine linéaire, deux réglages du générateur d'impulsions, correspondant aux tensions  $V_{g1}$  et  $V_{g2}$ , doivent faire apparaître à la sortie de l'analyseur multicanal un spectre formé de deux pics

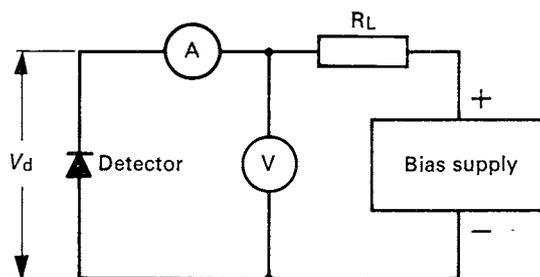


FIG. 1. — Detector current-voltage characteristic measurement.

## 6. Capacitance-voltage characteristics

The capacitance of a detector as a function of detector bias can be measured by using an h.f. bridge. The bridge should operate in the range  $10^5$  Hz to  $10^6$  Hz. At each value of applied bias the peak-to-peak a.c. signal amplitude applied to the detector shall not exceed 10% of d.c. bias voltage or 10% of the band gap voltage, whichever is the greater. The detector temperature, bias voltage and ambient must be recorded. A log-log plot should be made to display the capacitance-voltage characteristics.

## 7. Noise measurements

### 7.1 Noise measurement by pulse height distribution (preferred method)

7.1.1 The detector is connected to an integrating preamplifier, main amplifier, and multichannel analyser as shown in Figure 2, page 13. The amplifier pulse shaping time constants should be  $1 \mu\text{s}$  RC-CR. Alternatively, other shaping suitable for the detector may be used but the shaping characteristics must then be clearly stated. A calibrated capacitor  $C_c$  is connected to the preamplifier input in series with a precision pulse generator. The capacitor  $C_c$  should preferably be of the three-terminal type; the capacitance is measured between two insulated terminals, and the third terminal is earthed. A highly accurate measurement of the capacitance between the two insulated terminals can be obtained with a capacitance bridge, and this capacitance is invariant with external circuit connections. The pulse generator should provide signals of the form shown in Figure 3, page 13, where the rise time  $t_r$  is no more than 20% of the main amplifier differentiating time constant and the decay time constant  $\tau_d$  is such that the pulse  $V_g$  does not droop more than 2% in a time equal to the differentiating time constant of the system pulse shaping network. In addition, the equivalent input capacitance of the integrating preamplifier should be not less than  $100 C_c$ .

Under these conditions the charge injected per pulse from the pulse generator is  $V_g C_c$  coulombs to within about 1%. (If the stated conditions are not satisfied, a calculation can be made to determine the quantity of charge actually injected by each pulse.) With all elements of the system operating within their linear range, two settings of the pulse generator, corresponding to voltage  $V_{g1}$  and  $V_{g2}$ , should result in a spectrum consisting of two separated peaks centred at channels  $N_1$  and  $N_2$  as

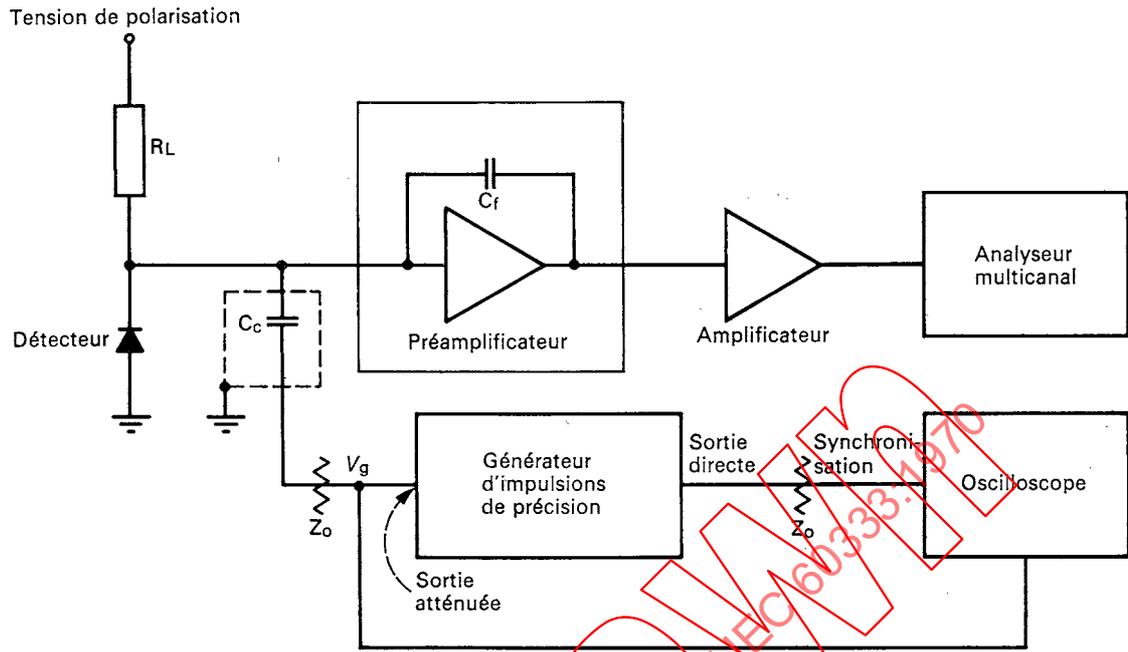


FIG. 2. — Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions.

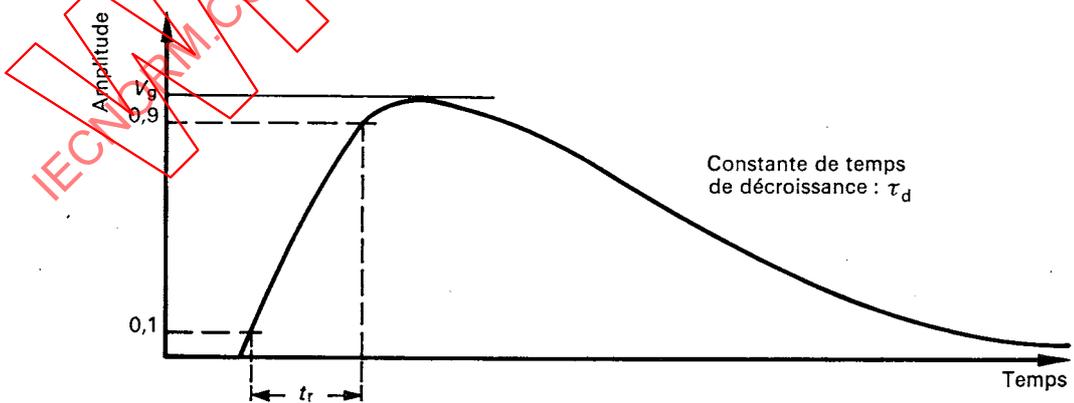


FIG. 3. — Forme du signal fourni par le générateur d'impulsions de précision.

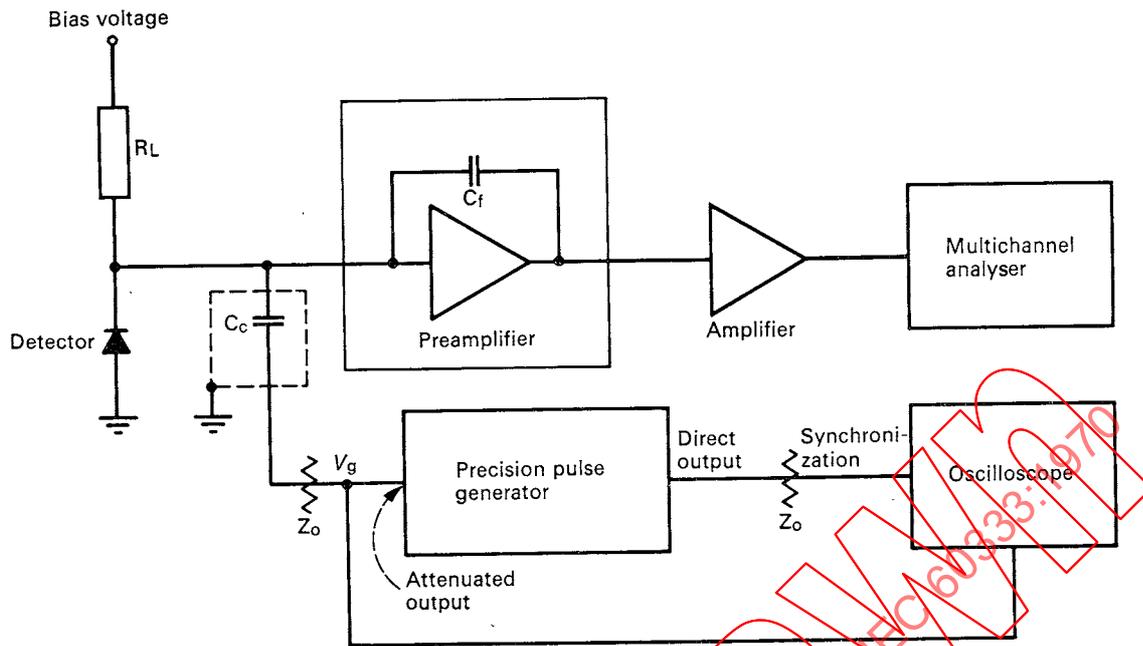


FIG. 2. — Noise measurement by pulse height distribution.

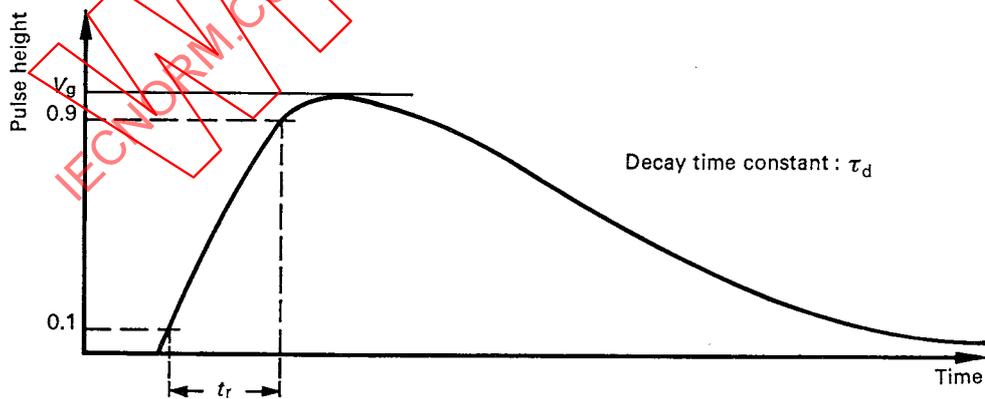


FIG. 3. — Precision pulse generator waveform.

séparés, centrés sur les canaux  $N_1$  et  $N_2$  (voir figure 4). Le gain de l'ensemble et l'amplitude des impulsions doivent être réglés de manière que la largeur à mi-hauteur (LMH)  $\Delta N_T$  de chaque pic soit au moins égale à cinq canaux.

Le bruit total de l'ensemble en coulombs est alors défini par la relation :

$$\Delta Q_T = \frac{V_{g1} - V_{g2}}{N_1 - N_2} C_c \cdot \Delta N_T$$

$\Delta N_T$  étant déterminé sur le plus large des deux pics.

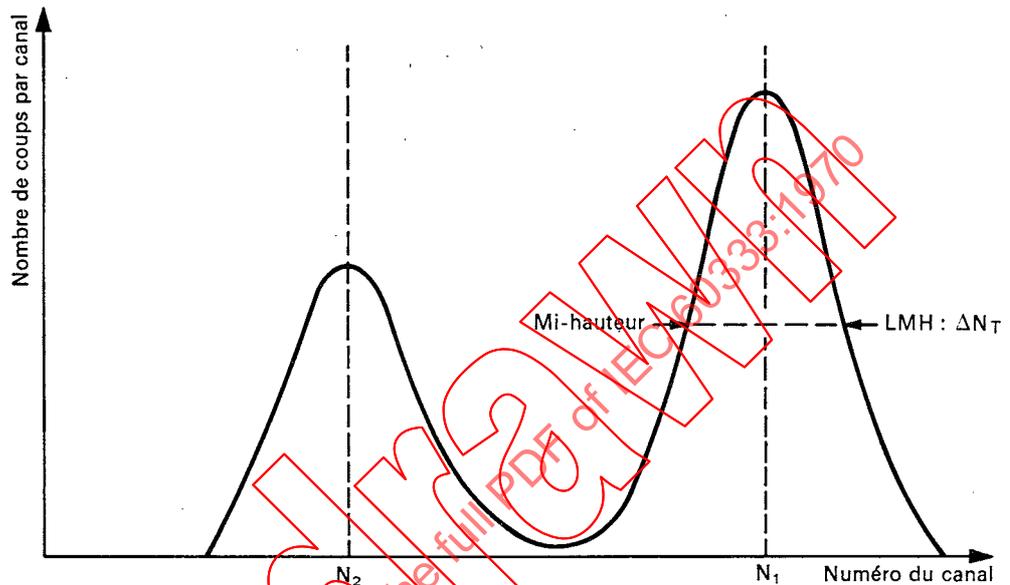


FIG. 4. — Spectre d'amplitude type pour une mesure de bruit.

Le bruit des sous-ensembles électroniques  $\Delta Q_E$  peut être déterminé par des mesures semblables, après avoir déconnecté le détecteur du circuit de la figure 2, page 12, et l'avoir remplacé par un condensateur de bonne qualité à faibles fuites, à diélectrique mica, céramique à coefficient de température nul ou air, de capacité pratiquement égale à celle du détecteur dans les conditions d'essais précédemment décrites. (Voir l'article 6 pour les méthodes de mesure de la capacité du détecteur.)

Le bruit du détecteur  $\Delta Q_D$  en coulombs est donné par la relation :

$$\Delta Q_D = \sqrt{\Delta Q_T^2 - \Delta Q_E^2}$$

7.1.2 La charge injectée à chaque impulsion par le générateur peut aussi être déterminée à partir de rayonnements d'énergies connues  $E_1$  et  $E_2$ , plutôt qu'à partir de la connaissance de  $V_g \cdot C_c$ . On applique la méthode indiquée ci-dessus afin d'obtenir une distribution en amplitude des impulsions similaires à celle de la figure 4 ci-dessus.

Si l'on a déterminé au préalable que le canal  $N_1$  correspond à des événements d'énergie  $E_1$  et le canal  $N_2$  à des énergies  $E_2$  (en keV), à partir de l'observation de la largeur à mi-hauteur du pic d'impulsion le plus large  $\Delta N_T$ , le bruit total de l'ensemble sera donné en keV par :

$$\Delta E_T = \frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \cdot \Delta N_T$$

De même, à partir de la largeur à mi-hauteur mesurée en l'absence de détecteur, on obtient le bruit des sous-ensembles électroniques  $\Delta E_E$  en keV.

shown in Figure 4. The system gain and pulse amplitudes must be such that the full width at half maximum (FWHM)  $\Delta N_T$  of each peak is at least equal to five channels.

The system total noise linewidth (FWHM), in coulombs, is given by:

$$\Delta Q_T = \frac{V_{g1} - V_{g2}}{N_1 - N_2} C_c \cdot \Delta N_T$$

$\Delta N_T$  being determined from the widest of the two peaks.

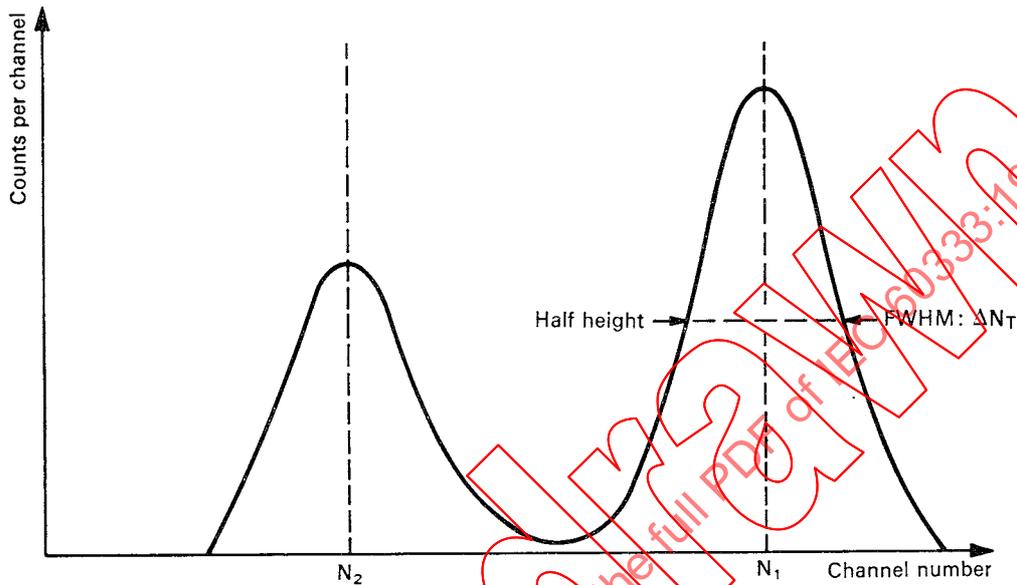


FIG. 4. — Typical noise measurement pulse-height spectrum.

The electronic noise linewidth (FWHM)  $\Delta Q_E$  can be found by similar measurements after disconnecting the detector from the circuit shown in Figure 2, page 13, and substituting for it a good-quality, low leakage, mica or zero temperature coefficient ceramic, or air dielectric capacitor of a capacitance substantially equal to that which the detector exhibited under the previously described test conditions. (See Clause 6 for the procedure to be followed in measuring detector capacitance.) The detector noise linewidth (FWHM)  $\Delta Q_D$  in coulombs is given by:

$$\Delta Q_D = \sqrt{\Delta Q_T^2 - \Delta Q_E^2}$$

7.1.2 The charge injected per pulse by the pulse generator can also, alternatively, be calibrated with radiations of known energies  $E_1$  and  $E_2$  rather than from a knowledge of  $V_g \cdot C_c$ . The procedure given above is then followed in order to obtain a pulse height distribution similar to that shown above in Figure 4.

If it has been previously determined that channel  $N_1$  corresponds to events of energy  $E_1$  and channel  $N_2$  to energy  $E_2$  (both in keV), from the observed full width at half maximum of the widest peak  $\Delta N_T$ , the system total noise linewidth (FWHM) in keV, will be obtained as:

$$\Delta E_T = \frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \cdot \Delta N_T$$

Similarly, from the full width at half maximum measured in the absence of the detector, the electronic noise linewidth (FWHM) in keV,  $\Delta E_E$ , is obtained.

Le bruit du détecteur  $\Delta E_D$  est alors donné en keV par :

$$\Delta E_D = \sqrt{\Delta E_T^2 - \Delta E_E^2}$$

Pour que cette détermination de  $\Delta Q_D$  (ou de  $\Delta E_D$ ) ait un sens, les valeurs de  $\Delta Q_T$  et  $\Delta Q_E$  (ou  $\Delta E_T$  et  $\Delta E_E$ ) doivent différer d'au moins 20%.

On peut alors tracer la courbe représentative des variations de  $\Delta Q_D$  (ou  $\Delta E_D$ ) en fonction de la tension de polarisation. Les conditions d'environnement et la température du détecteur doivent être spécifiées.

### 7.2 Mesure du bruit au moyen d'un oscilloscope et d'un voltmètre de valeur efficace vraie

Une autre méthode de mesure du bruit utilise le schéma de la figure 5, ci-dessous. Il ne diffère de celui de la figure 2, page 12, que par le remplacement de l'analyseur multicanal par un voltmètre de valeur efficace vraie, et les mêmes restrictions s'appliquent aux conditions de mesure.

Une impulsion de charge est appliquée à l'entrée du préamplificateur et l'amplitude  $V_a$  de l'impulsion de sortie résultante est mesurée sur l'oscilloscope. Le générateur d'impulsions est ensuite déconnecté et la valeur efficace  $e_{no}$  de la tension de bruit est lue sur le voltmètre. Le bruit total de l'ensemble (en coulombs LMH) est donné par la relation :

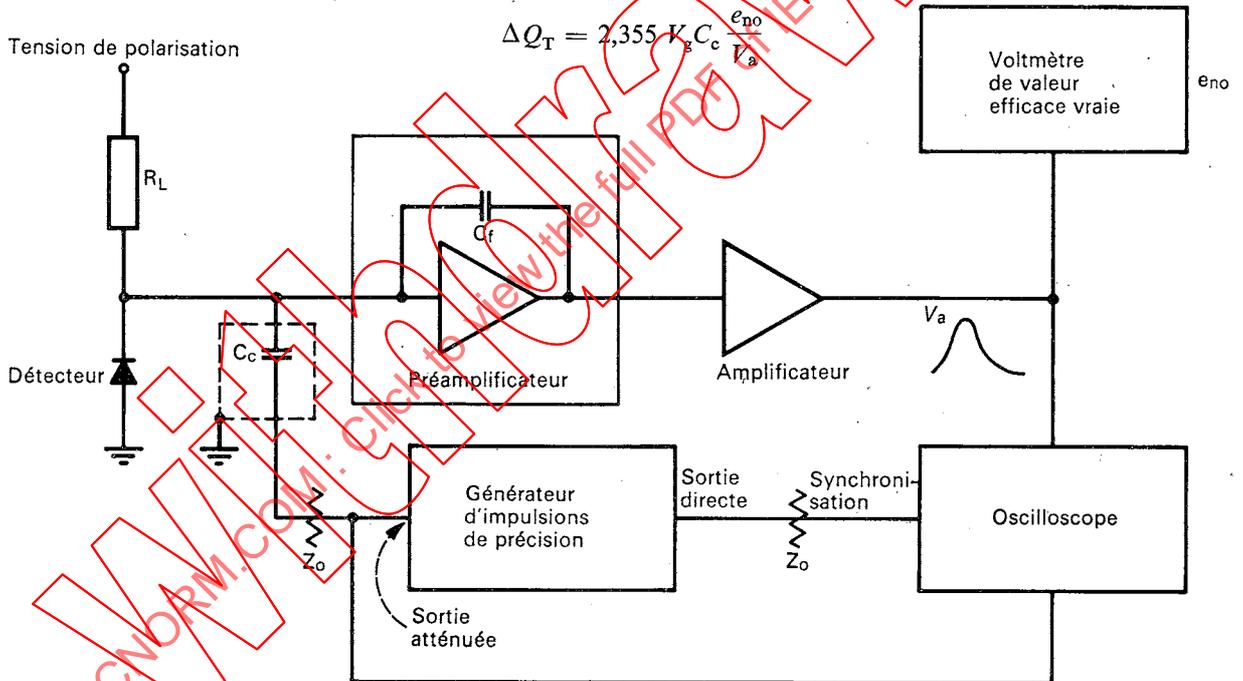


FIG. 5. — Mesure du bruit au moyen d'un oscilloscope et d'un voltmètre de valeur efficace vraie.

D'une manière analogue à celle qui est décrite dans le paragraphe 7.1, le détecteur peut être remplacé par une capacité équivalente, ce qui permet la mesure de  $\Delta Q_E$  et le calcul de  $\Delta Q_D$ .

Cette méthode est considérablement plus pratique que celle du paragraphe 7.1. Cependant, si l'on veut une bonne précision, deux conditions doivent être remplies :

- 1) Le voltmètre doit avoir une courbe de réponse plate dans toute l'étendue de la bande passante de l'amplificateur et permettre une lecture de la valeur efficace vraie (une bande passante minimale suggérée est 10 MHz à 3 dB).
- 2) Le gain différentiel de l'amplificateur doit être constant jusqu'aux niveaux bien inférieurs à celui du bruit, ce qui exclut l'emploi d'un amplificateur à seuil.

The detector noise linewidth (FWHM)  $\Delta E_D$  in keV is then given by:

$$\Delta E_D = \sqrt{\Delta E_T^2 - \Delta E_E^2}$$

For this determination of  $\Delta Q_D$  (or  $\Delta E_D$ ) to be significant,  $\Delta Q_T$  (or  $\Delta E_T$ ) and  $\Delta Q_E$  (or  $\Delta E_E$ ) must differ by at least 20%.

A plot should be made of  $\Delta Q_D$  (or  $\Delta E_D$ ) as a function of bias voltage, and the ambient conditions and temperature of the detector shall be recorded.

### 7.2 Noise measurement by oscilloscope and true root mean square voltmeter

An alternative method of measuring noise employs the system shown in Figure 5 hereunder. This is similar to the configuration of Figure 2, page 13, and the same constraints regarding operating conditions apply, but it differs in that a true r.m.s. voltmeter replaces the multichannel analyser.

A charge pulse is applied to the input of the preamplifier system and the peak amplitude  $V_a$  of the resulting output pulse is measured on the oscilloscope. The pulse generator is then switched off and the r.m.s. noise voltage  $e_{no}$  is read from the voltmeter. The system total noise linewidth (coulombs FWHM) is given by:

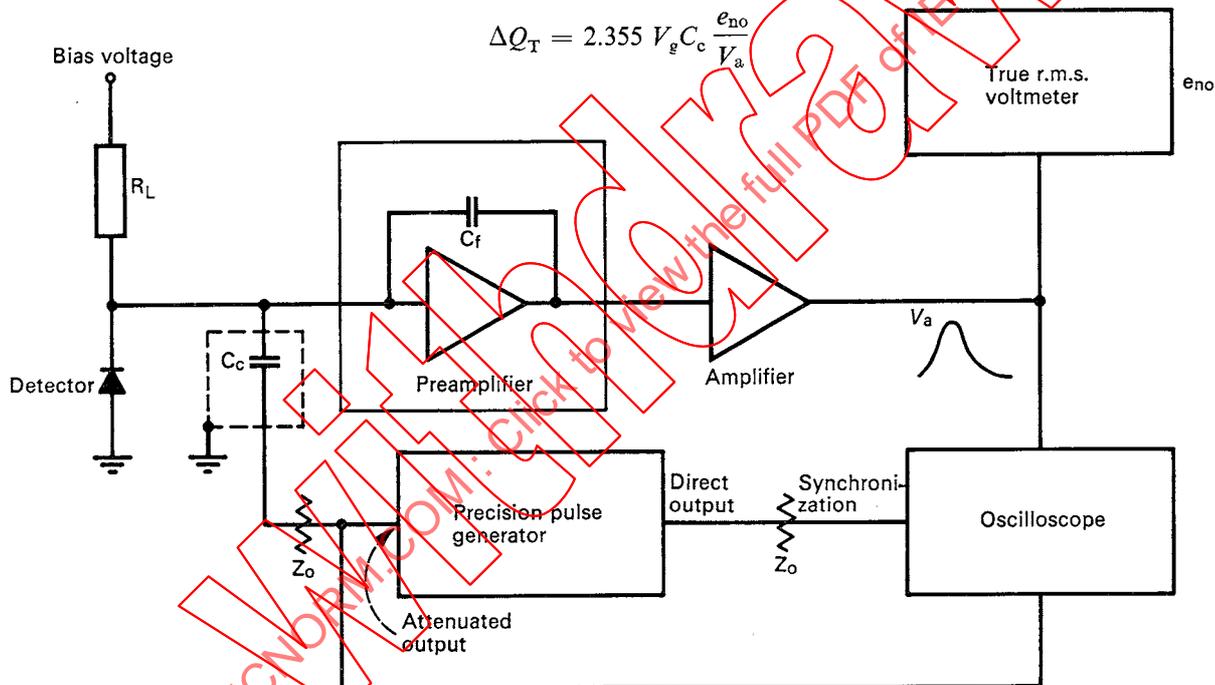


FIG. 5. — Noise measurement by oscilloscope and true r.m.s. voltmeter.

In an identical fashion to that described in Sub-clause 7.1, the detector can be replaced by an equivalent capacitor allowing  $\Delta Q_E$ , and hence  $\Delta Q_D$ , to be found.

Once it is set up, this method is considerably more convenient to use than that of Sub-clause 7.1. However, if it is to be accurate, two conditions need to be fulfilled:

- 1) The voltmeter must have a flat frequency response over the entire amplifier bandwidth, coupled with true r.m.s. readout. (A suggested minimum 3 dB bandwidth is 10 MHz.)
- 2) The amplifier incremental gain must be constant down to well below the noise level (e.g. a biased amplifier must not be used).

Dans les méthodes décrites aux paragraphes 7.1 et 7.2, il est important de vérifier que le détecteur est dans l'obscurité totale. Si ce n'était pas le cas, on pourrait obtenir une valeur erronée trop forte pour le bruit.

Le bruit du détecteur peut aussi être exprimé en keV équivalent (silicium ou germanium). Les formules de conversion sont :

$$\text{LMH (keV Si)} = 2,25 \times 10^{16} \Delta Q; \text{ et}$$

$$\text{LMH (keV Ge)} = 1,86 \times 10^{16} \Delta Q,$$

dans lesquelles  $\Delta Q$  représente la LMH en coulombs. Ces nombres proviennent de la valeur moyenne de l'énergie nécessaire pour créer une paire électron-trou, soit 3,60 eV dans le silicium (à température ambiante) et 2,97 eV dans le germanium (à la température de l'azote liquide). Comme ces valeurs moyennes varient légèrement avec la température et le type de rayonnement, le nombre d'électrons-volts par paire d'ions utilisé pour les calculs doit être précisé quand la LMH est donnée en keV.

### 7.3 Bruit exprimé en fonction des constantes de temps de mise en forme de l'amplificateur

Des informations relatives au spectre de bruit du courant de fuite du détecteur peuvent être obtenues en traçant la courbe caractéristique du bruit en fonction des constantes de temps de mise en forme de l'amplificateur. Pour effectuer ces mesures, on emploie la méthode du paragraphe 7.1 avec un circuit de mise en forme comprenant un circuit différentiateur CR de constante de temps  $T_1$  et un circuit intégrateur RC de constante de temps  $T_2$ , toutes deux ajustables. La mesure consiste, après avoir réalisé l'égalité  $T_1 = T_2 = T$ , à tracer la courbe représentative du bruit en fonction de  $T$ , pour diverses valeurs de la tension de polarisation du détecteur. En donnant les résultats, on précisera la valeur de la résistance série équivalente au bruit relative à l'entrée du préamplificateur. (Voir Publication 340 de la CEI, article 5.)

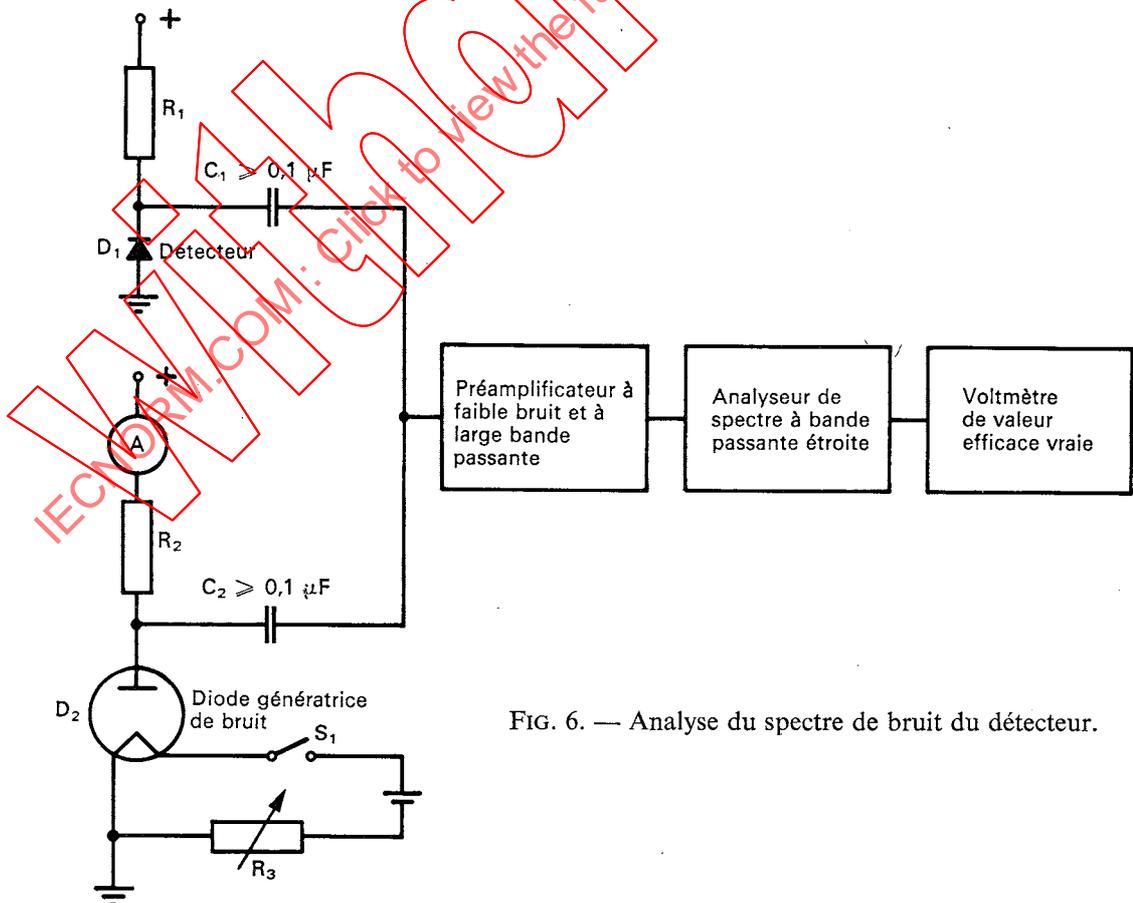


FIG. 6. — Analyse du spectre de bruit du détecteur.

In both the methods of Sub-clauses 7.1 and 7.2, it is important to check that the detector is in total darkness. If this is not the case, an erroneously high value for the noise can be obtained.

An alternative method of expressing detector noise is in terms of keV equivalent (silicon or germanium). The conversion formulae are:

$$\begin{aligned} \text{FWHM in keV (Si)} &= 2.25 \times 10^{16} \Delta Q; \text{ and} \\ \text{FWHM in keV (Ge)} &= 1.86 \times 10^{16} \Delta Q, \end{aligned}$$

where  $\Delta Q$  corresponds to the FWHM in coulombs. These numbers are derived from the average value of the energy absorbed per hole-electron pair formed, 3.60 eV in silicon (at room temperature) and 2.97 eV in germanium (at liquid nitrogen temperature). Since these average values are slightly affected by the temperature and the type of radiation, the value used for electron volts per ion pair shall be stated when the FWHM is given in keV.

7.3 Noise linewidth (FWHM) as a function of amplifier time constants

Information related to the detector leakage current noise spectrum can be obtained by plotting noise linewidth (FWHM) as a function of the amplifier time constants. To perform this measurement, the method of Sub-clause 7.1 is employed with a pulse shaping system comprising one CR differentiator of time constant  $T_1$  and one RC integrator of time constant  $T_2$ , both of which are adjustable. The measurement consists in setting  $T_1 = T_2 = T$  and plotting noise linewidth (FWHM) versus  $T$  for a number of values of detector bias voltage. In quoting the results, the series equivalent noise resistance of the input element of the preamplifier should be given. (See IEC Publication 340, Clause 5.)

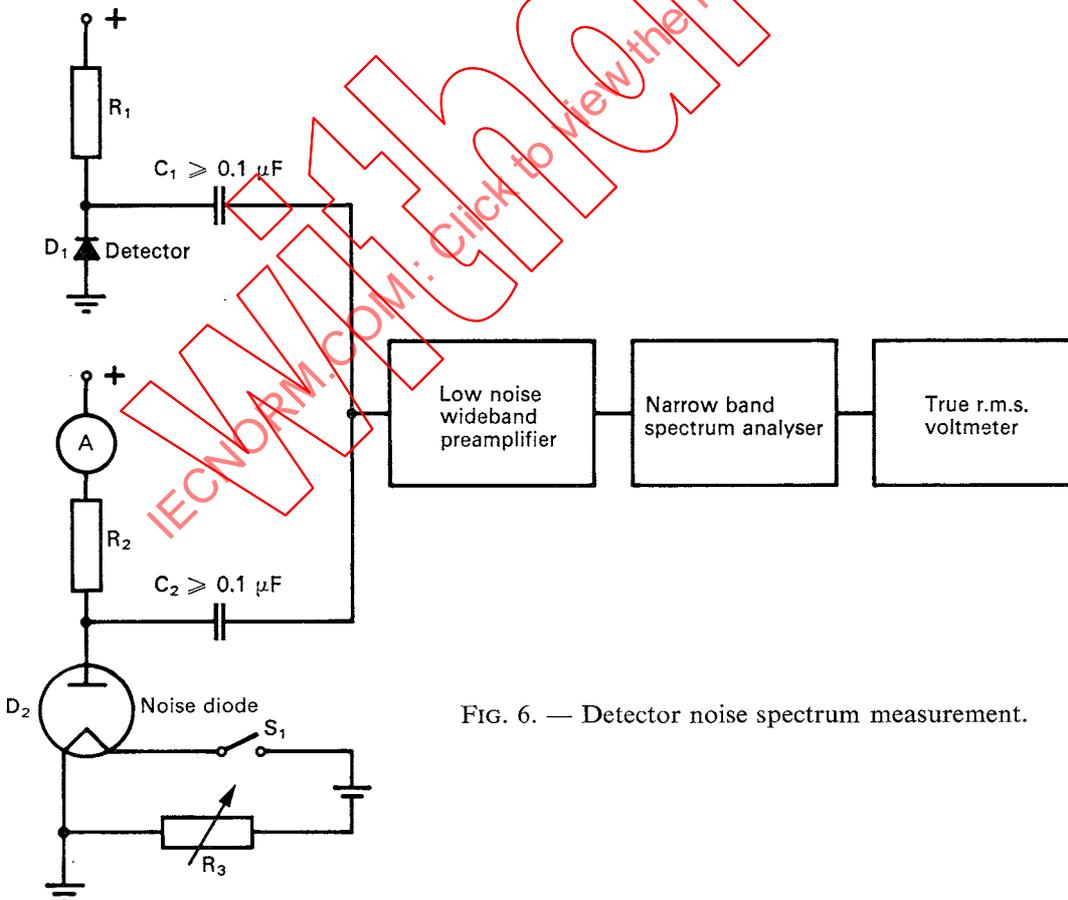


FIG. 6. — Detector noise spectrum measurement.

#### 7.4 Spectre de bruit du détecteur

Le spectre de bruit du courant de fuite d'un détecteur peut être analysé en utilisant le montage de la figure 6. Le bruit du détecteur  $D_1$  est comparé à celui d'un générateur de bruit étalon constitué par une diode  $D_2$ .

Cette comparaison s'effectue pour plusieurs bandes de fréquences sélectionnées par un analyseur de spectre à bande passante étroite. En général, il est nécessaire de faire précéder l'analyseur d'un préamplificateur à large bande passante et à faible bruit, pour être certain que le détecteur essayé est bien la source principale de bruit de l'ensemble. Dans chaque bande de fréquences, on note la valeur efficace de la tension de sortie  $V_1$  pour une valeur donnée de la tension de polarisation du détecteur. L'interrupteur  $S_1$  est ensuite fermé et la résistance  $R_3$  ajustée jusqu'à ce que la déviation du voltmètre augmente de 41 %. On note la valeur du courant résultant  $I_0$  de la diode  $D_2$  qui est représentatif du courant de fuite équivalent au bruit blanc du détecteur dans la bande de fréquences considérée.

Dans le montage de la figure 6, page 18, il est important que les résistances  $R_1$  et  $R_2$  soient choisies en fonction des critères ci-dessous:

Si l'on suppose que le courant de fuite  $I_d$  du détecteur a un spectre de bruit blanc, le courant de bruit efficace  $\bar{i}$  correspondant est donné par:

$$\bar{i}^2 = 2 q I_d \Delta f$$

où:

$q$  = charge de l'électron

$\Delta f$  = largeur de bande de l'ensemble

En outre, une résistance  $R$  ohms à la température  $T$  est un générateur de bruit Johnson dont la tension efficace  $\bar{V}$  est donnée par:

$$\bar{V}^2 = 4 h T R \Delta f$$

où:

$h$  = constante de Boltzmann

$T$  = température absolue

En écrivant que  $\bar{i}^2 = \frac{\bar{V}^2}{R^2}$  nous obtenons:

$$R I_d = \frac{2 h T}{q}$$

ainsi, si la chute de tension à travers la résistance de charge due au courant du détecteur est  $\frac{2 h T}{q}$  (environ 50 mV à la température ambiante), les contributions du bruit Johnson et du bruit Schottky sont égales. Pour que la valeur du bruit Johnson soit négligeable devant celle du courant de fuite  $I_d$ , il est nécessaire de choisir  $R_1$  telle que la chute de tension continue  $y$  soit notablement supérieure à 50 mV (par exemple 1 V environ) pour tous les courants avec lesquels on opérera. Il est commode de prendre  $R_2 = R_1$ .

De plus, il est important que  $R_1$  et  $R_2$  ne créent pas de bruit supplémentaire quand un courant les traverse. Ceci est aisé à obtenir lorsqu'on essaie des détecteurs à fort courant de fuite, par exemple si  $I_d$  est de l'ordre de 1  $\mu A$ ,  $R_1$  et  $R_2$  peuvent être de valeurs aussi faibles que 2 M $\Omega$ , donc être constituées par des résistances à couche d'oxyde métallique, connues comme ne donnant qu'un bruit supplémentaire négligeable.

Par contre, pour les détecteurs à faible courant de fuite, des résistances de très hautes valeurs (plusieurs centaines de mégohms) peuvent être nécessaires. Elles seront sélectionnées pour leur faible bruit et contrôlées en remplaçant  $D_1$  par  $R_2$  et en notant l'incidence de la tension de polarisation sur le bruit supplémentaire: (Des considérations analogues s'appliquent évidemment dans le choix d'une résistance de charge pour n'importe quelle combinaison détecteur-préamplificateur à faible bruit.)

#### 7.4 Detector noise spectrum

The noise spectrum of the leakage current of a detector can be investigated using the apparatus shown in Figure 6. Here the detector  $D_1$  has its noise compared with that of a standard noise generator diode  $D_2$ .

This comparison is carried out in a number of frequency bands selected by a narrow band spectrum analyser. In general, it is necessary to precede the spectrum analyser by a low noise wideband pre-amplifier to ensure that the diode under test is the dominant noise source in the system. In each frequency band, the value of the r.m.s. output voltage  $V_1$  is noted for a given value of detector bias. Following this, the switch  $S_1$  is closed and  $R_3$  is adjusted until the r.m.s. voltmeter reading increases by 41%. The resulting noise diode current  $I_0$  is noted as representing the equivalent white noise leakage current in the specified frequency range.

In using the configuration shown in Figure 6, page 19, it is important that resistors  $R_1$  and  $R_2$  be chosen appropriately from the following considerations:

If the diode leakage current  $I_d$  is assumed to have a white noise spectrum, the associated mean square noise current  $\bar{i}^2$  is given by:

$$\bar{i}^2 = 2 q I_d \Delta f$$

where:

$q$  = electronic charge

$\Delta f$  = system bandwidth

On the other hand, a resistor of  $R$  ohms at temperature  $T$  generates a mean squared Johnson noise voltage  $\bar{V}^2$  given by:

$$\bar{V}^2 = 4 h T R \Delta f$$

where:

$h$  = Boltzmann's constant

$T$  = absolute temperature

Since  $\bar{i}^2 = \frac{\bar{V}^2}{R^2}$  :

$$R I_d = \frac{2 h T}{q}$$

i.e. if the voltage drop across the load resistor due to the diode current is  $\frac{2 h T}{q}$  (about 50 mV at room temperature), the shot noise and Johnson noise contributions are equal. For the Johnson noise contribution to be negligible compared to the leakage current noise  $I_d$ , it is necessary to choose  $R_1$  such that the d.c. voltage drop across it is considerably larger than 50 mV (e.g. about 1 V) at all operating currents. It is convenient to choose  $R_2 = R_1$ .

In addition, it is important that  $R_1$  and  $R_2$  generate no significant excess noise when a current passes through them. This is easy to achieve when investigating high leakage detectors, e.g. if  $I_d$  is about 1  $\mu A$  then  $R_1$  and  $R_2$  may be as low as 2 M $\Omega$  and can therefore be metal film resistors which are known to exhibit negligible excess noise.

For low leakage detectors, however, very high values of resistors (hundreds of megohms) can be required. These resistors should be selected for low noise and can be checked by replacing  $D_1$  by  $R_2$  and noting the occurrence of excess noise on applying bias voltage. (Similar considerations, of course, apply in choosing a load resistor for any low noise detector-preamplifier combination.)

Les valeurs obtenues peuvent être reportées sur un graphique à échelles logarithmiques représentant  $I_o$  en fonction de  $f_n$ ,  $f_n$  étant la fréquence centrale de la bande étudiée. Chaque courbe de la famille correspond à une valeur de la tension de polarisation du détecteur. Pour que les résultats soient d'une plus grande utilité, il est nécessaire que la capacité parasite totale  $C_T$ , shuntant le détecteur, soit minimale.

Parmi les résultats, on indiquera les valeurs de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $C_T$  en plus des autres informations telles que les résultats des mesures décrites aux articles 5 et 6.

#### 8. Temps de montée électrique du détecteur

On utilise le montage représenté par la figure 7. Un échelon de tension  $|V_g|$  est ajouté à la tension appliquée au détecteur. L'amplitude de  $V_g$  ne devra pas excéder un dixième de la valeur de la tension de polarisation ou de la largeur de la bande interdite (la plus grande de ces deux valeurs étant applicable). Le temps de montée du signal de sortie du préamplificateur, corrigé comme il convient du temps de montée  $t_p$  de ce dernier, est défini comme le temps de montée électrique du détecteur.

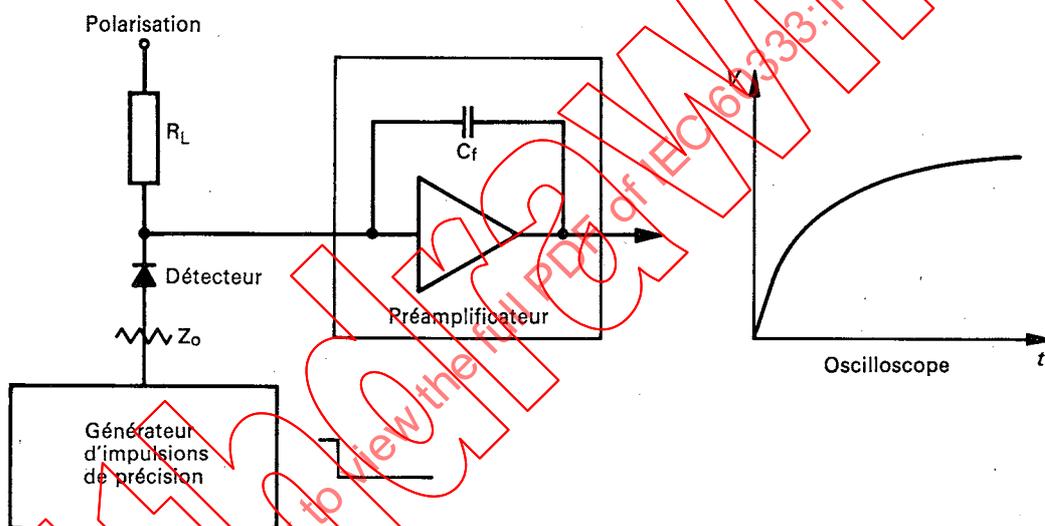


FIG. 7. — Mesure du temps de montée électrique du détecteur.

#### 9. Fonctionnement dans différentes ambiances

Le détecteur doit être placé dans une enceinte convenable dans laquelle il est soumis successivement aux ambiances prévues dans les spécifications particulières: vide, atmosphère d'oxygène sec (t.p.n.), mélange azote-vapeur d'eau saturante (t.p.n.), etc. A chaque essai, il faudra attendre un temps suffisant pour permettre aux paramètres du détecteur d'atteindre leurs valeurs d'équilibre. La durée du séjour dans chaque ambiance sera relevée. Pour chaque série de conditions climatiques prévues dans les spécifications pour les applications particulières, les essais auxquels on s'intéresse devront être répétés.

Les mesures de détermination de la sensibilité à la lumière doivent être faites selon les montages des figures 2 ou 5, page 12 ou 16.

#### 10. Essais mécaniques et climatiques

Ces essais sont précisés dans les spécifications particulières.

Après les différents essais de résistance mécanique, thermique et climatique, les détecteurs doivent subir à nouveau les essais prévus aux articles 5, 6 et 9 et aux paragraphes 7.1 et 7.2.

Dans certains cas, par exemple celui d'un long séjour du détecteur dans le vide, il peut être nécessaire d'effectuer les mesures de caractéristiques électriques pendant ce séjour, de même qu'avant et après.

The noise spectrum information for the detector should be plotted as a family of log-log plots of  $I_o$  against  $f_n$ , where  $f_n$  is the midband frequency in each region. Each curve of the family corresponds to one value of the detector bias voltage. For the results to be of greatest use, it is necessary that the total stray capacitance  $C_T$ , shunting the detector diode, be minimized.

In quoting the results, the values of  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  and  $C_T$  shall be noted in addition to other relevant information such as the results of Clauses 5 and 6.

### 8. Detector electrical rise time

Using the apparatus of Figure 7, a step of  $|V_g|$  volts is applied in series with the detector. The value of  $V_g$  shall not exceed one tenth of the band-gap voltage, or one tenth of the bias voltage, whichever is the greater. The rise time of the preamplifier output signal, suitably corrected for preamplifier rise time  $t_p$ , is defined as the detector electrical rise time.

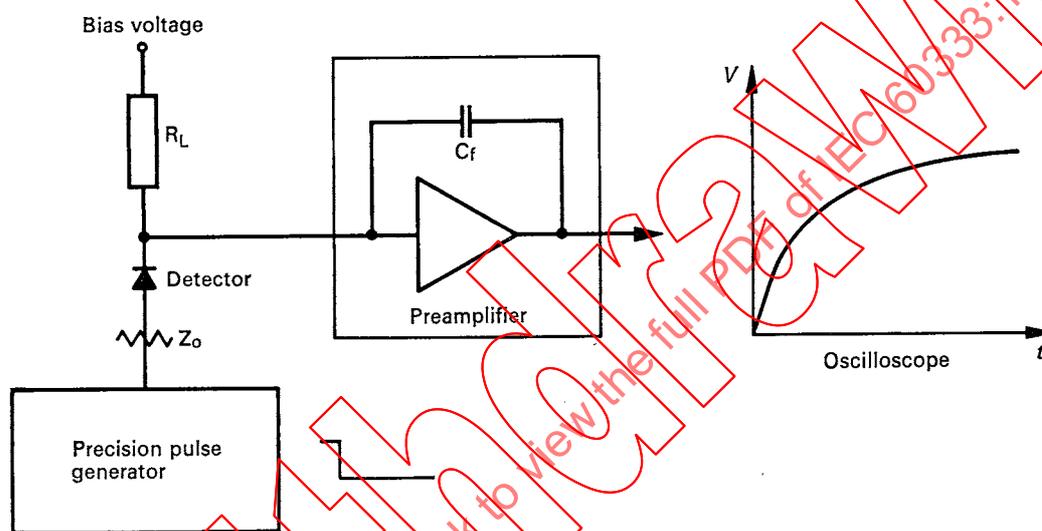


FIG 7. — Detector electrical rise time measurement.

### 9. Ambient sensitivity

The detector shall be mounted in a suitable container and exposed to the atmosphere(s) specified in the relevant specifications: vacuum, dry oxygen (s.t.p.), water vapour saturated nitrogen (s.t.p.), etc. In each ambient, sufficient time must be allowed to enable the detector characteristics to reach equilibrium. The time spent in each ambient shall be recorded. Under each set of ambient conditions, as specified for the particular application, the detector tests of interest should be repeated.

Measurements to determine sensitivity to light shall use the arrangements in Figures 2 or 5, page 13 or 17.

### 10. Mechanical and environmental tests

These tests are listed in the relevant specifications.

After specified mechanical, thermal or other environmental exposure, detectors shall be retested as indicated in Clauses 5, 6 and 9 and Sub-clauses 7.1 and 7.2.

In certain cases, e.g. long term exposure of the detector to a vacuum ambient, it may be necessary to perform electrical tests during the exposure period as well as before and after it.

## SECTION DEUX — CARACTÉRISTIQUES DE DÉTECTION

### 11. Mesure de l'épaisseur de la zone morte

On utilise le montage de la figure 2, page 12, et une source de particules ionisantes lourdes mono-énergétiques, dont le parcours est au moins égal à deux fois l'épaisseur de la fenêtre d'entrée. Les particules doivent être collimatées suivant un demi-angle d'ouverture n'excédant pas  $5^\circ$  et être orientées de manière à pénétrer dans le détecteur normalement à sa surface: on obtient ainsi un premier spectre. On fait tourner alors le détecteur d'un angle  $\theta$  et l'on obtient un second spectre. En utilisant le générateur d'impulsions de référence, on peut déterminer l'origine de l'échelle des énergies sur l'analyseur multicanal, par suite la différence d'énergie  $\Delta E$  entre les deux spectres. A partir de cette différence, l'épaisseur effective de la zone morte du détecteur peut être calculée. On peut exprimer cette épaisseur en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ , à partir des relations parcours-énergie, ou l'enregistrer comme une perte d'énergie donnée, pour les particules utilisées lors de l'essai.

Si la perte d'énergie par unité de longueur dans la zone morte est rigoureusement constante, l'épaisseur de la zone morte est donnée par:

$$\text{épaisseur de la zone morte} = \Delta E \frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \frac{1}{dE/dx}$$

où:

$\Delta E$  = différence d'énergie

$\theta$  = angle de rotation du détecteur pour une incidence oblique des particules ( $45^\circ$  est une valeur recommandée pour  $\theta$ )

$dE/dx$  = perte d'énergie par unité de longueur

Pour avoir cette épaisseur en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ , on multiplie cette valeur par la masse volumique  $\rho$ .

Comme l'épaisseur de la zone morte peut dépendre de la tension de polarisation du détecteur, cette tension doit être précisée.

Pour des détecteurs à transmission, les mesures doivent être effectuées à la fois pour la face d'entrée et pour la face de sortie. La méthode n'est applicable que pour les détecteurs de particules chargées dont la profondeur de la zone de déplétion est supérieure au parcours de la particule incidente et à condition que la résolution en énergie soit suffisante.

Dans le cas des détecteurs pour rayonnement  $\gamma$  ou X, la zone morte peut être caractérisée en utilisant les méthodes de l'article 14 pour déterminer le rendement d'absorption totale, en fonction de l'énergie, relatif aux  $\gamma$  ou aux X mous. Cette information peut être exprimée utilement sous forme de pourcentages du rendement d'absorption totale, relatif à des  $\gamma$  durs dans le même détecteur. Dans ce cas, le rendement d'absorption totale absolu des  $\gamma$  durs doit aussi être précisé.

### 12. Surface sensible des détecteurs de particules chargées

La méthode consiste à mesurer le courant de fuite du détecteur tout en explorant sa surface avec un pinceau lumineux. La surface sensible peut être définie comme la région au-delà de laquelle le courant photoélectrique décroît d'environ 10%. Le diamètre du pinceau lumineux doit être petit par rapport aux dimensions de la surface sensible, et l'intensité lumineuse telle que le courant photoélectrique soit grand par rapport au courant de fuite. Pour les détecteurs ayant une fenêtre d'entrée opaque, la limite de la région sensible peut être déterminée en utilisant un faisceau collimaté de particules chargées lourdes, monoénergétiques et en définissant comme région sensible celle au-delà de laquelle la LMH du pic obtenu double de valeur.

La surface sensible, indépendamment de sa délimitation, doit être mesurée en exposant le détecteur à un débit de fluence connu pour déterminer le rendement de détection résultant de la géométrie. La diffusion pouvant être cause de résultats erronés pour les rayonnements gamma et les électrons de

SECTION TWO — RADIATION DETECTION CHARACTERISTICS

11. **Dead layer determination**

Using the apparatus shown in Figure 2, page 13, and monoenergetic heavy ionizing particles, of range at least twice the window thickness, a spectrum is obtained. The particles shall be collimated to a semi-angle not exceeding  $5^\circ$  and oriented so that the incident particles enter the detector normal to the surface. The detector is then rotated by an angle  $\theta$  and another spectrum is obtained. Using the reference pulse generator, the energy origin of the multichannel analyser can be determined and hence the energy difference  $\Delta E$  between the two spectra can be found. From this difference, the effective dead layer of the detector can be determined. The dead layer can either be quoted in  $\text{mg}/\text{cm}^2$ , by using known particle range-energy data, or else recorded as a specified energy loss for the particles used in the test.

If the specific energy loss within the dead layer is essentially constant, the dead layer thickness is given by:

$$\text{dead layer thickness} = \Delta E \frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \cdot \frac{1}{dE/dx}$$

where:

$\Delta E$  = energy difference

$\theta$  = angle of rotation of detector for non-normal incidence of particles ( $45^\circ$  is a recommended value for  $\theta$ )

$dE/dx$  = specific energy loss

The dead layer thickness in  $\text{mg}/\text{cm}^2$  is obtained by multiplying this value by the density  $\rho$ .

Since the thickness of the dead layer may depend on the detector bias voltage, this voltage should be stated.

For transmission type detectors, the measurement shall be performed for both the entrance and exit faces. The method is only applicable to charged particle detectors with a depletion depth exceeding the incident particle range and if the energy resolution permits.

In the case of  $\gamma$  or X ray detectors, the effective dead layer can be characterized by using the methods of Clause 14 to determine the total absorption efficiency as a function of energy for low energy  $\gamma$  or X rays. This information can usefully be quoted in the form of percentages of the total absorption efficiency for higher energy  $\gamma$  rays in the same detector. If this is done then the absolute total absorption efficiency of the higher energy  $\gamma$  ray must also be quoted.

12. **Sensitive area of charged particle detectors**

While monitoring the detector leakage current, the surface is explored with a small light spot. The edge of the sensitive region can be defined as that boundary beyond which the photocurrent decreases by approximately 10%. The light spot diameter must be small compared with the dimensions of the sensitive area and the light intensity such that the photocurrent is large compared to the leakage current. For detectors having an opaque front window the edge of the sensitive region can be found by using a collimated beam of monoenergetic heavy charged particles and defining the boundary as that region beyond which the FWHM of the spectral peak doubles its value.

The sensitive area, without regard to delineation, shall be measured by exposing the detector to a known fluence rate of ionizing radiation and measuring the resulting geometric counting efficiency.

grande énergie, le type, l'énergie et la direction du rayonnement seront précisés et la diffusion externe devra être réduite au minimum.

### 13. Mesure de l'épaisseur sensible des détecteurs de particules chargées

Des mesures précises de l'épaisseur sensible peuvent être faites en utilisant un faisceau collimaté de particules chargées lourdes, monoénergétiques, de parcours connu. L'épaisseur sensible du dispositif est déterminée en notant le parcours des particules incidentes au-delà duquel la dérivée de la courbe représentant l'amplitude de l'impulsion de sortie du détecteur en fonction de l'énergie de la particule incidente décroît de 10%, par rapport à sa valeur pratiquement constante pour les énergies plus basses.

La détermination de l'uniformité d'épaisseur des détecteurs minces à transmission est difficile parce que ces dispositifs peuvent présenter des phénomènes d'effet de canalisation qui affectent gravement leurs performances.

L'essai le plus satisfaisant est probablement celui qui consiste à enregistrer la totalité du spectre de distribution en amplitude des impulsions (et non à mesurer uniquement la LMH), correspondant à l'interaction d'un faisceau collimaté de particules chargées lourdes dont le parcours excède largement l'épaisseur du détecteur. Le faisceau devra être bien collimaté et l'on notera à la fois les angles d'incidence pour lesquels on obtient des spectres identiques et la divergence angulaire du faisceau incident.

Les mesures de l'épaisseur sensible décrites ici ont été limitées aux mesures non destructives qui peuvent être effectuées sur des dispositifs terminés. En cours de fabrication, des techniques plus simples peuvent être utilisées.

### 14. Rendement du détecteur pour un rayonnement gamma

L'interaction du rayonnement gamma avec la matière est compliquée et peut comprendre trois processus différents. Ces processus, l'effet photoélectrique, l'effet Compton et la production de paires, dépendent fortement de l'énergie et du numéro atomique. De plus, de multiples processus en cascade peuvent jouer un rôle important dans l'effet global d'interaction, et par suite la recherche du rendement de détection pour un rayonnement gamma peut être un problème difficile.

Le rendement d'absorption totale doit être déterminé pour une ou plusieurs énergies. Les sources utilisées doivent être d'activité connue et présenter des transitions gamma bien marquées. Des isotopes convenables à cet égard et aussi en raison de l'énergie de leur rayonnement sont par exemple le  $^{57}\text{Co}$  (122 keV et 136 keV), le  $^{137}\text{Cs}$  (661 keV), le  $^{60}\text{Co}$  (1,17 MeV et 1,33 MeV) et le  $^{208}\text{Tl}$  (2,61 MeV).

Le détecteur doit être placé à une distance de la source supérieure à dix fois la dimension linéaire maximale de sa région sensible et cette distance sera relevée. Après une durée de comptage connue, en employant le montage de la figure 2, page 12, le nombre de coups correspondant au pic d'absorption totale peut être déterminé. Le rendement d'absorption totale, pour une énergie donnée, pourra alors être exprimé en pourcentage du nombre de photons par seconde reçus par le détecteur.

De nombreux calculs du rendement d'absorption totale ont été effectués pour des détecteurs au germanium de géométrie variée. Ils concordent très bien avec les résultats expérimentaux.

Toutefois, certains dispositifs peuvent présenter un rendement d'absorption totale beaucoup plus faible que celui que l'on peut calculer en tenant uniquement compte de la géométrie de la zone de déplétion du détecteur. Ceci est dû au fait que, en raison de petites différences dans le rendement de collection des charges d'une région à l'autre du détecteur, des coups sont perdus pour le pic d'absorption totale et se retrouvent soit dans la partie basse énergie de ce pic, soit dans la distribution Compton.

Le dispositif de fixation et de montage ainsi que la géométrie détaillée du détecteur jouent aussi un rôle important. Deux facteurs doivent être pris en considération à ce sujet: d'abord la présence d'interactions gamma dans les parois, les fenêtres et toutes les zones insensibles du dispositif, et