

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 333

Deuxième édition — Second edition
1983

Méthodes d'essais des semicteurs pour particules chargées

Test procedures for semiconductor charged-particle detectors



© CEI 1983

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur les pages 3 et 4 de la couverture, qui énumèrent les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to pages 3 and 4 of the cover, which list other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 333

Deuxième édition — Second edition

1983

Méthodes d'essais des semicteurs pour particules chargées

Test procedures for semiconductor charged-particle detectors



© CEI 1983

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

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Prescriptions générales	6
4. Mesures de résolutions	8
4.1 Résolution en énergie	8
4.2 Résolution en temps	12
4.3 Localisation de l'impact, résolution et linéarité du détecteur à localisation	20
5. Mesure du bruit	26
5.1 Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions (méthode recommandée)	26
5.2 Mesure du bruit avec un oscilloscope et un voltmètre de valeur efficace vraie	28
5.3 Mesure du bruit électronique sans le semicteur	32
5.4 Détermination de la contribution du détecteur au bruit et à la résolution	32
5.5 Largeur (LMH) du bruit en fonction des constantes de temps de l'amplificateur	34
6. Influence des conditions d'ambiance	34
6.1 Influence de la pression atmosphérique	34
6.2 Essais à cycle thermique sous vide	34
6.3 Essais mécaniques et d'ambiance	36
6.4 Sensibilité à la lumière	36
6.5 Mesure des dégâts dus au rayonnement	36
7. Autres mesures	38
7.1 Caractéristiques courant-tension	38
7.2 Perte d'énergie dans la zone morte	38
7.3 Surface sensible	40
7.4 Epaisseur sensible (semicteur à transmission)	40
7.5 Caractéristiques capacité-tension	40
ANNEXE A - Symboles et glossaire	44
ANNEXE B - Informations générales sur la détection des particules chargées par semicteurs	60

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. General requirements	7
4. Resolution measurements	9
4.1 Energy resolution	9
4.2 Time resolution	13
4.3 Position, resolution and linearity of a position-sensitive detector	21
5. Noise measurement	27
5.1 Noise measurement by pulse height distribution (preferred method)	27
5.2 Noise measurement by oscilloscope and true root-mean-square voltmeter	29
5.3 Measurement of electronic noise with the detector removed	33
5.4 Determination of detector contribution to noise and resolution	33
5.5 Noise linewidth (FWHM) as a function of amplifier time constants	35
6. Sensitivity to ambient conditions	35
6.1 Atmospheric sensitivity	35
6.2 Vacuum thermal cycle test	35
6.3 Mechanical and environmental tests	37
6.4 Light sensitivity	37
6.5 Radiation damage measurements	37
7. Other measurements	39
7.1 Current-voltage characteristics	39
7.2 Dead layer energy loss	39
7.3 Sensitive area	41
7.4 Detector thickness (transmission detectors)	41
7.5 Capacitance-voltage characteristics	41
APPENDIX A – Symbols and glossary	52
APPENDIX B – General information concerning semiconductor charged-particle detectors	61

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS DES SEMICTEURS POUR PARTICULES
CHARGÉES**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI 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 l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme 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 Tokyo en 1981. A la suite de cette réunion, un projet, document 45(Bureau Central)158, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1982.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Allemagne
Australie
Autriche
Belgique
Bulgarie
Canada
Espagne
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France

Italie
Nouvelle-Zélande
Pays-Bas
République Démocratique Allemande
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 50(391): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 391: Détection et mesure par voie électrique des rayonnements ionisants.
340: Méthodes d'essais des amplificateurs et préamplificateurs pour semicteurs pour rayonnements ionisants.
759: Méthodes d'essais normalisés des spectromètres d'énergie X à semicteurs.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURES FOR SEMICONDUCTOR CHARGED-PARTICLE
DETECTORS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC 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 international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45: Nuclear Instrumentation.

A first draft was discussed at the meeting held in Tokyo in 1981. As a result of this meeting, a draft, Document 45(Central Office)158, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1982.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Austria	New Zealand
Belgium	Romania
Bulgaria	Spain
Canada	Sweden
Finland	Union of Soviet
France	Socialist Republics
German Democratic Republic	United Kingdom
Germany	United States of America
Italy	

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 50(391): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 391: Detection and Measurement of Ionizing Radiation by Electric Means.
340: Test Procedures for Amplifiers and Preamplifiers for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation.
759: Standard Test Procedures for Semiconductor X-energy Spectrometers.

MÉTHODES D'ESSAIS DES SEMICTEURS POUR PARTICULES CHARGÉES

INTRODUCTION

Les symboles et le glossaire se trouvent dans l'annexe A et des informations générales sur la détection des particules chargées par semicteurs dans l'annexe B.

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux semicteurs utilisés pour la détection et la spectrométrie à haute résolution des particules chargées. Les techniques de mesure décrites ont été choisies pour leurs facilités d'application par tous les fabricants et utilisateurs de semicteurs pour particules chargées. Des techniques plus évoluées n'ont pas été retenues du fait de la complexité de leurs méthodes ou parce qu'elles font appel à un équipement (tel qu'un accélérateur de particules) difficilement disponible.

Les méthodes d'essais concernant les préamplificateurs et amplificateurs associés sont décrites dans la Publication 340 de la CEI: Méthodes d'essais des amplificateurs et préamplificateurs pour semicteurs pour rayonnements ionisants.

2. Objet

L'objet de cette norme est d'établir des méthodes d'essais normalisées pour les semicteurs de particules chargées. Ces semicteurs sont largement utilisés dans la détection et la spectrométrie à haute résolution des particules chargées. Il a paru souhaitable que soient établies des méthodes d'essais normalisées de façon que toutes les mesures aient la même signification tant pour les fabricants que pour les utilisateurs.

La présente norme n'implique pas l'obligation d'effectuer tous les essais décrits. Elle suppose seulement que si de tels essais sont effectués, ils doivent être menés conformément aux méthodes indiquées.

3. Prescriptions générales

Les prescriptions suivantes s'appliquent à tous les essais et mesures décrits ici:

- 3.1 Toutes les mesures devront être effectuées en plaçant le dispositif dans l'obscurité totale, sauf prescription contraire.
- 3.2 Les conditions d'ambiance devront être de 20°C pour la température et inférieures à 10^{-4} Pa (10^{-6} mm Hg) pour la pression, sauf spécification contraire. (Dans le domaine de pressions - de l'ordre de 10^{-2} à 10 Pa (10^{-4} à 10^{-1} mm Hg) - le dispositif peut ne pas être utilisable à cause des effluves. Ainsi, des détecteurs peuvent fonctionner de façon satisfaisante à des pressions supérieures à $\approx 10^{-4}$ Pa (10^{-6} mm Hg) et présenter des dégradations à des pressions inférieures.)
- 3.3 Les valeurs des paramètres mesurés devront être reproductibles dans le domaine spécifié de précision après l'exécution de l'un ou de la totalité des essais.

TEST PROCEDURES FOR SEMICONDUCTOR CHARGED-PARTICLE DETECTORS

INTRODUCTION

Symbols and glossary are to be found in Appendix A and general information regarding semiconductor charged particle detectors in Appendix B.

1. Scope

This standard applies to semiconductor radiation detectors which are used for the detection and high-resolution spectroscopy of charged particles. The measurement techniques described have been selected to be readily available to all manufacturers and users of semiconductor charged particle detectors. Some superior techniques are not included because the methods are too complex or require equipment (such as particle accelerators) which may not be readily available.

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

The object of this standard is to establish standard test procedures for semiconductor charged particle detectors. These detectors are in widespread use for the detection and high-resolution spectroscopy of charged particles. It is desirable to maintain standard test procedures so that measurements may have the same meaning to all manufacturers and users.

Not all tests described in this standard are mandatory, but tests which are used to specify performance shall be performed in accordance with the procedures described herein.

3. General requirements

The following requirements apply for all the tests and measurements described herein:

- 3.1 All measurements shall be performed with the device itself in total darkness, unless otherwise specified.
- 3.2 The ambient conditions shall be 20°C and a pressure of less than 10^{-4} Pa (10^{-6} mm Hg), unless otherwise specified. (Precautions should be taken when working in the pressure region 10^{-2} to 10 Pa (10^{-4} to 10^{-1} mm Hg) because of corona discharge. Thus, some detectors that work satisfactorily at higher pressures may show degradation at pressures lower than $\approx 10^{-4}$ Pa (10^{-6} mm Hg).)
- 3.3 The values of the parameters measured shall be reproducible, within the specified precision after any and all of the tests have been performed.

- 3.4 La source de polarisation du détecteur et les autres dispositifs d'essais (amplificateur, analyseur multicanal, etc.) ne devront pas avoir d'influence significative sur les mesures des paramètres du détecteur.
- 3.5 La tension maximale sur la jonction, le courant, les taux des flux de rayonnements et autres limites fixées par le constructeur ne doivent en aucun cas être dépassées, sans quoi il pourrait en résulter des altérations permanentes des caractéristiques du dispositif.
- 3.6 Confirmation doit être apportée que les sources radioactives utilisées ne contribuent pas à l'élargissement de la résolution (ceci peut particulièrement survenir avec les sources de particules alpha, par suite d'effets d'auto-atténuation et de vieillissement).
- 3.7 Toutes les valeurs relevées doivent correspondre à des conditions d'équilibre, à moins qu'elles ne soient clairement notées autrement.
- 3.8 Toutes les mesures doivent être effectuées et relevées conformément à l'éthique scientifique. Aucun changement dans la composition du système d'essai (par exemple substitution d'un préamplificateur ou d'un détecteur) ou des paramètres du système (par exemple modification du gain ou de la capacité équivalente du détecteur) ne doit être effectué sans nouvel étalonnage du système tout entier. Les résultats qui sont dus au changement de plus d'un paramètre doivent indiquer de façon explicite les effets de chacun de ces paramètres sur la mesure.

4. Mesures de résolutions

4.1 *Résolution en énergie*

La résolution d'un système détecteur à une énergie spécifique est déterminée par la mesure de la largeur à mi-hauteur (LMH) du pic spectral. On utilise une source de rayonnement ionisant émettant une ou plusieurs raies remarquables.

Le détecteur est relié à un préamplificateur intégrateur (sensible à la charge), à un amplificateur principal et à un analyseur multicanal, comme le montre la figure 1, page 10. La forme de l'impulsion fournie par l'amplificateur doit être quasi gaussienne avec un Δt de 3 μ s. On peut utiliser d'autres formes, mais leurs caractéristiques doivent être clairement établies. Le générateur d'impulsions de précision doit être hors circuit lors de la mesure de la résolution d'une radiation ionisante.

- 3.4 The detector bias supply and other test equipment (amplifier, multichannel analyzer, etc.) shall not significantly influence the detector parameter measurements.
- 3.5 Maximum diode voltage, current, radiation flux ratings and other manufacturer-specified limits should not be exceeded or permanent changes of the device characteristics may result.
- 3.6 It shall be confirmed that radioactive sources used do not contribute to the resolution broadening. (This may occur especially with alpha particle sources due to self-attenuation and ageing effects.)
- 3.7 All data reported shall correspond to equilibrium conditions, unless otherwise clearly noted.
- 3.8 All measurements shall be made and reported in accordance with proper scientific practice. No changes in test system components (e.g. substituting a different preamplifier or detector) or changes in system parameters (e.g. changing gain or equivalent detector capacitance) may be made without complete system recalibration. Results which contain the effects of changing more than one parameter shall explicitly show the effects of each parameter on the measurement.

4. Resolution measurements

4.1 Energy resolution

The resolution of a detector system at a specific energy is determined by measuring the full width at half maximum (FWHM) of a spectral peak. A source of ionizing radiation emitting one or more prominent lines is used.

The detector is connected to an integrating (charge sensitive) preamplifier, main amplifier and multichannel analyzer as in Figure 1, page 11. The amplifier pulse shaping shall be quasi-Gaussian with a Δt of 3 μ s. Alternatively, other shaping may be used, but the shaping characteristics shall then be clearly stated. The precision pulse generator should be switched off when measuring the resolution for ionizing radiation.

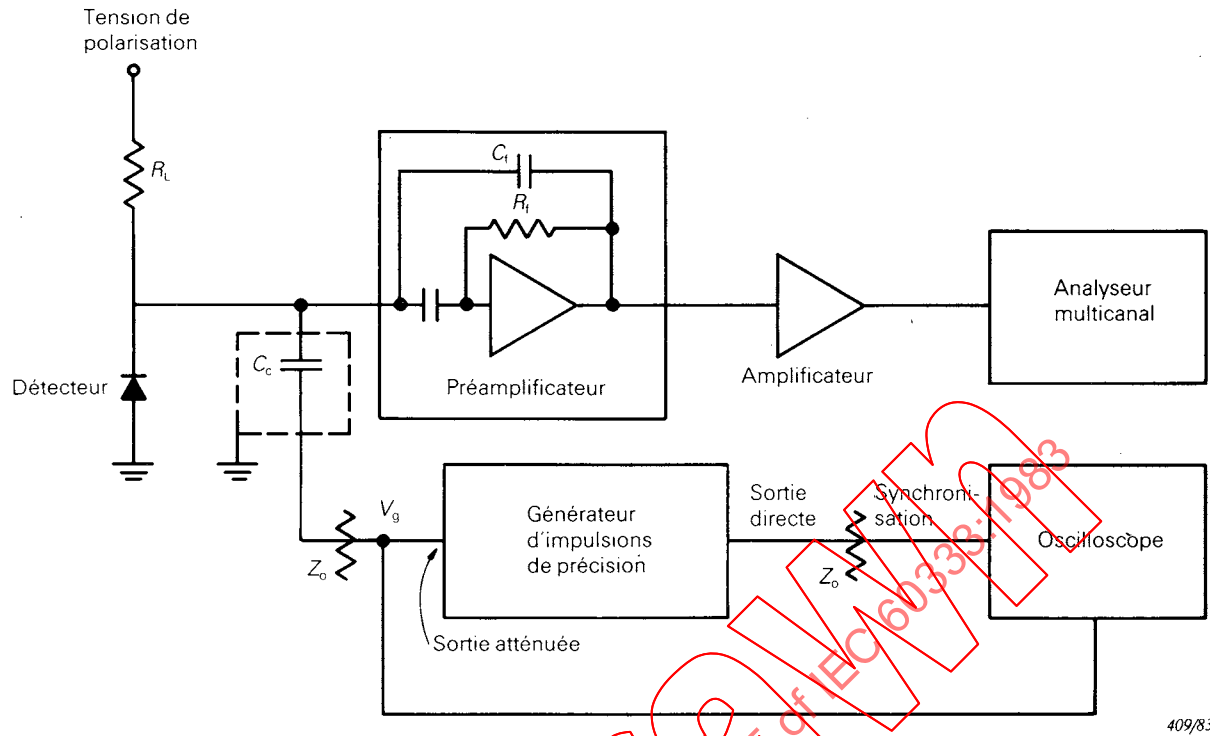


FIG. 1. - Configuration du montage pour les mesures spectrales.

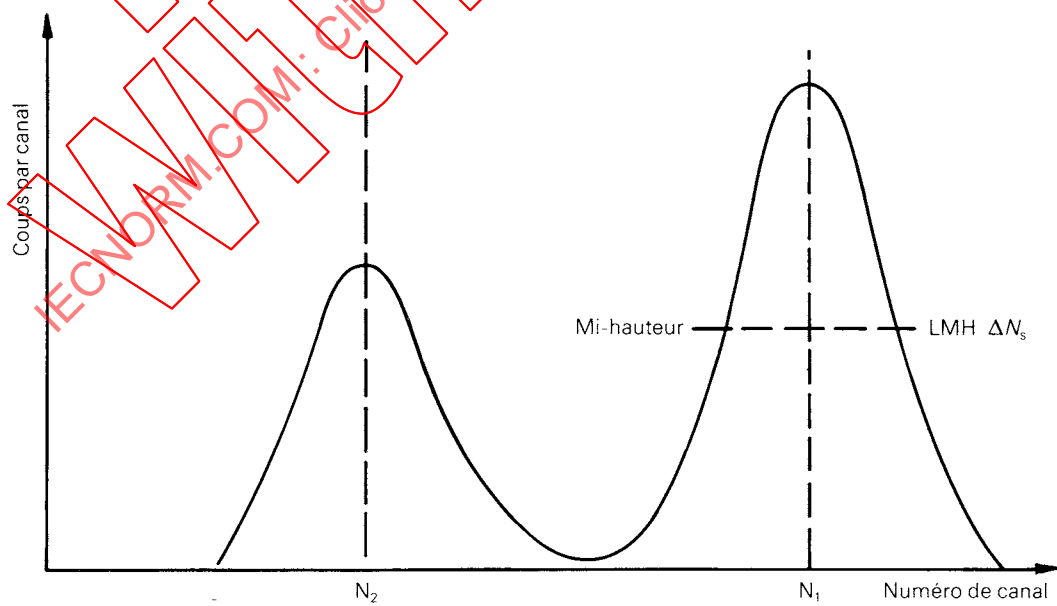


FIG. 2. - Spectre type.

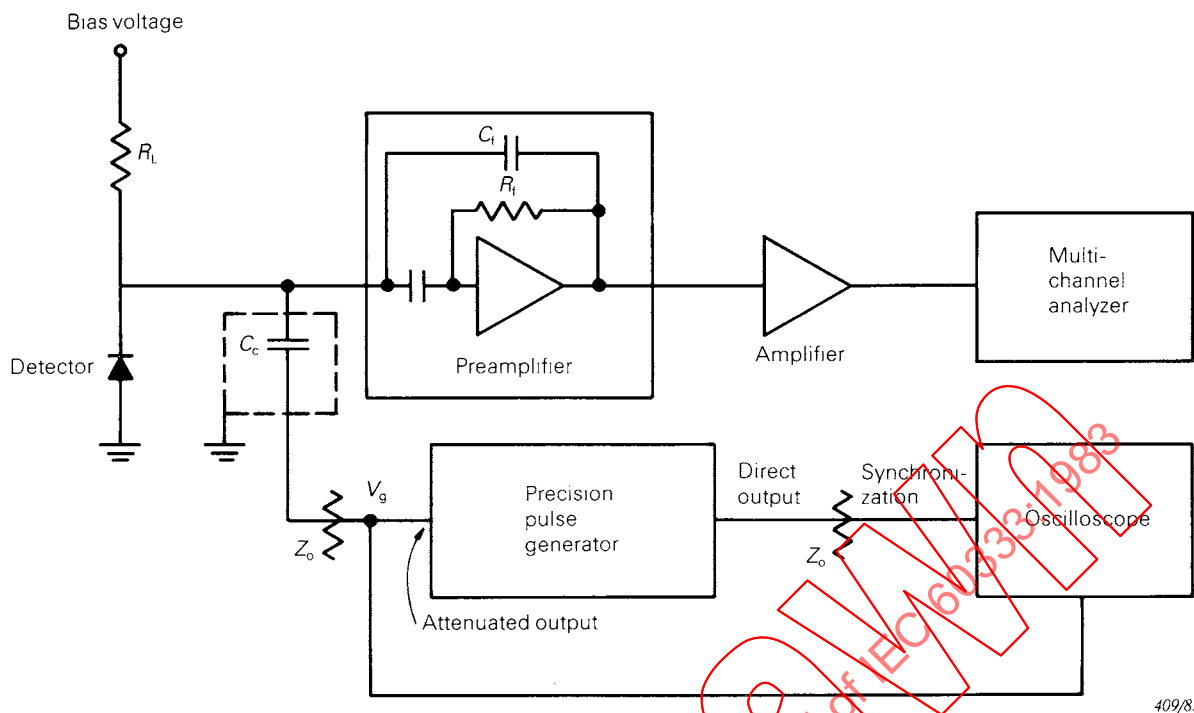


FIG. 1. - System configuration for spectral measurements.

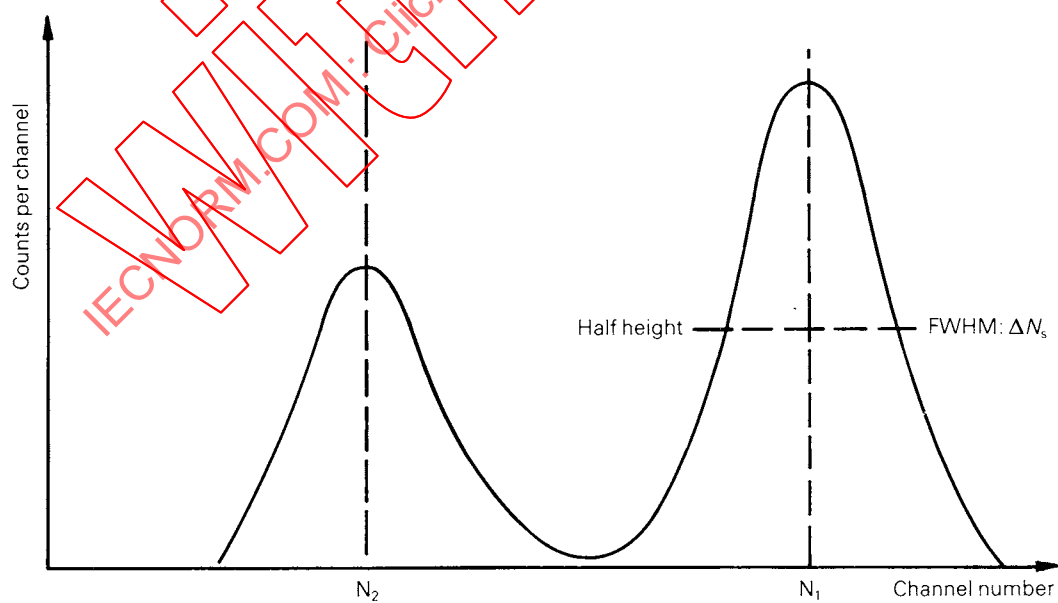


FIG. 2. - A typical spectrum.

Un spectre est correctement acquis lorsque la LMH de son pic occupe au moins six canaux et que le comptage dans le canal du pic atteint au minimum 4 000 coups. Un autre pic, ou plus, permettant l'étalonnage en énergie devra se situer dans le spectre. Il peut être constitué par une raie d'énergie connue d'une source de rayonnement ionisant. Il peut être aussi une raie produite par un générateur d'impulsions de précision. La figure 2, page 10, montre un spectre type pour cette mesure.

La LMH du pic est mesurée en canaux ΔN_S (interpolé). La position du canal du centre du pic peut être déterminée par la méthode décrite dans la section deux de la Publication 340 de la CEI. L'énergie E_1 du pic doit être connue et la position N_1 de son canal, relevée. Si un deuxième pic correspondant à l'énergie E_2 est connu, la LMH en unités d'énergie est alors donnée par:

$$\Delta E_S = \frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \Delta N_S \quad (1)$$

Si le pic correspondant à l'énergie E_2 est produit par un générateur d'impulsions de précision, on règle au moyen de son atténuateur l'amplitude V_{p1} de ses impulsions de sortie, de façon à obtenir dans l'analyseur multicanal un pic correspondant à une énergie connue E_1 située dans le canal N_1 . L'obtention d'un second pic est réalisée au moyen d'impulsions de tension V_{p2} . L'énergie correspondant à ce nouveau pic est donnée par $E_2 = V_{p2} (E_1 / V_{p1})$. La valeur de E_2 peut alors être utilisée dans l'équation (1) pour déterminer la LMH en unités d'énergie ΔE_S . L'étalonnage en énergie peut aussi être réalisé par un réglage particulier des impulsions de sortie du générateur. Par exemple, l'atténuateur de sortie est réglé pour obtenir une valeur d'énergie multiple de E_1 . Ensuite, un deuxième atténuateur (réglage particulier) est ajusté jusqu'à ce que la tension de sortie soit V_{p1} . Cette tension est atteinte lorsque les impulsions de sortie donnent un pic dans le canal N_1 correspondant à l'énergie E_1 . L'atténuateur linéaire peut être alors réglé à la valeur choisie E_2 , et la tension de sortie sera V_{p2} . Il n'est pas nécessaire de connaître les valeurs réelles de V_{p1} et V_{p2} puisque leurs valeurs relatives sont données par réglage de l'atténuateur. Si cette méthode est employée, le générateur d'impulsions de précision doit avoir une non-linéarité intégrale de moins de 0,5%.

Le recueil des informations concernant la résolution en énergie doit contenir les éléments suivants:

- 1) Type et énergie de la particule incidente.
- 2) Paramètres de la forme de l'impulsion de l'amplificateur (Δt , t_p , t_i) et type de forme d'impulsion utilisé.
- 3) Description détaillée du détecteur, y compris la surface active et la profondeur sensible.
- 4) LMH du bruit de l'ensemble du système, le détecteur étant relié et en fonctionnement.
- 5) Conditions de fonctionnement du détecteur (polarisation, température, environnement).
- 6) Configuration détecteur-source, y compris désignation du côté où pénètre le rayonnement incident.
- 7) Taux de comptage.
- 8) Méthode utilisée pour déterminer la position du canal du centre du pic et la LMH en fraction de canaux.

4.2 Résolution en temps

La méthode de mesure indiquée ici est recommandée pour sa commodité et sa reproductibilité. Cependant, les résultats seront en général meilleurs que ce que l'on obtiendra en

A spectrum shall be acquired in which the peak to be measured has a FWHM of at least six channels and a peak channel count of at least 4 000 counts. At least one other peak should be located in the spectrum for the purpose of energy calibration. This may be a line of known energy from a source of ionizing radiation. Alternatively, it may be a line produced by a precision pulse generator. A typical spectrum for this measurement is shown in Figure 2, page 11.

The FWHM of the peak is measured in channels ΔN_S (interpolated). The channel location of the peak centre can be determined by the method described in Section Two of IEC Publication 340. The energy E_1 of the peak should be known and its channel location N_1 noted. If a second peak corresponding to energy E_2 is known, then the FWHM in energy units is given by:

$$\Delta E_S = \frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \Delta N_S \quad (1)$$

If the peak corresponding to energy E_2 is produced by a precision pulse generator, then the pulse generator is calibrated by adjusting the attenuation of the output until pulses of voltage V_{p1} are shown to produce a peak of channel location N_1 on the multichannel analyzer. This is the same location as that of the peak of known energy E_1 . Then a second peak is generated using pulses of voltage V_{p2} . The energy corresponding to this peak is given by $E_2 = V_{p2} (E_1 / V_{p1})$. The value of E_2 can then be used in equation (1) to find the FWHM in energy units ΔE_S . Energy calibration may also be accomplished by appropriate normalization of the pulser output. For example, the linear attenuator output of the pulser is set to a multiple of the numerical value of the peak energy E_1 . Then a second (normalization) attenuator is adjusted until the output voltage is V_{p1} . This voltage is achieved when the output pulses produce a peak at channel location N_1 corresponding to energy E_1 . The linear attenuator may then be set to the desired value of E_2 , and the output voltage will be V_{p2} . The actual values of V_{p1} and V_{p2} do not need to be known since their relative values are given by the attenuator setting. If this method is employed, the precision pulse generator shall have an integral nonlinearity of less than 0.5%.

In recording information on energy resolution, the following shall be noted:

- 1) Incident particle type and energy.
- 2) Amplifier pulse shaping parameters (Δt , t_p , t_i) and type of pulse shaping utilized.
- 3) Detailed description of the detector including active area and sensitive depth.
- 4) System total noise FWHM with the detector connected and operating.
- 5) Detector operating conditions (bias, temperature, ambient atmosphere).
- 6) Detector-source geometry, including identification of the detector face on which the radiation is incident.
- 7) Count rate.
- 8) Procedure used in determining channel location and FWHM in fractional channels.

4.2 Time resolution

The measurement technique given here is recommended for its convenience and reproducibility. However, the results will be generally better than can be obtained when using charged

utilisant des particules chargées. Dans le cas des particules chargées, les effets de plasma et la plus grande dispersion spatiale des charges produites par le long parcours des particules altèrent le temps de résolution. Les résultats obtenus, par la méthode ci-après, offrent les meilleures caractéristiques possibles pour un système détecteur-préamplificateur donné.

Les caractéristiques en temps d'un système détecteur-préamplificateur peuvent être mesurées en excitant le détecteur avec une impulsion lumineuse fournie par un générateur à diode laser (GDL). Un système à coïncidence, comme sur la figure 3, page 16, est utilisé pour cette mesure. Un signal de départ provenant du GDL et un signal d'arrêt du détecteur en cours d'essai sont nécessaires. Un convertisseur temps-amplitude suivi d'un analyseur multicanal mesurent et enregistrent les différences de temps entre les signaux de départ et d'arrêt. Le spectre de temps obtenu à l'aide de l'analyseur multicanal représente la distribution de ces différences de temps. Les LMH et LDH (largeur au dixième de la hauteur) du pic mesurées à différentes énergies doivent être retenues pour caractériser les propriétés en temps du système. Les énergies choisies doivent couvrir la gamme de fonctionnement et être séparées par des intervalles d'énergie à peu près égaux.

Le signal détecté provenant du préamplificateur est envoyé à un amplificateur rapide de mise en forme suivi par un discriminateur à fraction constante. Cette fraction constante doit être réglée à 20%. Un retard de mise en forme égal à 1,1 fois le temps de montée (10% à 90%) doit être utilisé. Les temps de mise en forme doivent être réglés pour optimiser les performances en temps. (Une mise en forme sans intégration et une constante de temps de différenciation parfois plus grande que le temps de montée de l'impulsion de sortie du préamplificateur sont habituellement optimales.)

L'énergie équivalente des impulsions lumineuses du GDL doit être connue. On utilise une chambre à vide dans laquelle le détecteur peut tourner pour présenter sa face sensible soit au GDL soit à une source de ^{241}Am . La précision du générateur d'impulsions est préalablement étalonnée pour la raie α de 5,48 MeV de ^{241}Am . Ensuite, on choisit l'énergie du générateur d'impulsions et le GDL est réglé pour fournir un signal de même amplitude. Habituellement, on effectue de nombreuses mesures de temps dans des gammes d'énergie s'étendant de ≈ 1 MeV à ≈ 100 MeV. Le générateur d'impulsions de précision est mis hors circuit pendant la mesure de temps.

Par cette méthode on doit obtenir un pic d'une LMH d'au moins six canaux et avec au moins 4 000 coups dans le canal central. En variante, si un ajustement de la courbe par calculateur est utilisé, une détermination de la LMH à $\pm 5\%$ (niveau de confiance de 90%) est acceptable.

Après avoir calibré l'axe des temps avec au moins deux retards étalonnés, les LMH et LDH doivent être mesurées et exprimées en nanosecondes. Des mesures à trois valeurs d'énergie ou plus s'étendant de ≈ 1 MeV à ≈ 100 MeV, obtenues en diaphragmant le faisceau (figure 3), sont recommandées. (On peut utiliser une soustraction quadratique pour déterminer la résolution en temps du détecteur lui-même à partir de la résolution en temps du système que l'on a préalablement mesurée.) Les paramètres suivants doivent être notés pour chaque mesure:

- 1) Caractéristiques spectrales de l'impulsion lumineuse.
- 2) Tension de polarisation du détecteur.
- 3) Affichage du discriminateur à fraction constante et constante de temps de la mise en forme.
- 4) Temps de différenciation et temps de montée de l'amplificateur rapide de mise en forme.

particles. In the case of charged particles, plasma effects and the greater spatial dispersion of charge produced by long range particles will degrade the time resolution. The results obtained with this method should represent the best performance possible with a given detector-preamplifier timing system.

The timing characteristics of a detector-preamplifier system can be measured by exciting the detector with a light pulse from a laser diode pulser (LDP). A coincidence system, as in Figure 3, page 17, is used for this measurement. A start signal from the LDP and a stop signal from the detector under test are needed. A time-to-amplitude converter followed by a multi-channel analyzer measures and records the time differences between the start and stop signals. The time spectrum obtained with the multichannel analyzer represents the distribution of these time differences. The FWHM and FWTM (full width at tenth maximum) of the peak measured at several energies should be stated to characterize the timing properties of the system. The energies selected should cover the operating range and should be separated by approximately equal energy intervals.

The signal from the detector preamplifier is routed through a fast shaping amplifier followed by a constant fraction discriminator. The constant fraction should be set at 20%. A shaping time delay equal to 1.1 times the pulse rise time (10% to 90%) shall be used. Shaping times should be adjusted to optimize the timing performance. (Shaping with no integration and a differentiation time constant somewhat greater than the preamplifier output signal rise time is usually optimum.)

The equivalent energy of the light pulses from the LDP shall be known. A vacuum chamber is used in which the detector may be rotated to face either the LDP or a ^{241}Am source. The precision pulse generator is first calibrated for the 5.48 MeV α line of ^{241}Am . Then the desired energy is selected with the pulser, and the LDP adjusted to produce the same signal amplitude. Typically, several timing measurements are made at energies ranging from ≈ 1 MeV to ≈ 100 MeV. The precision pulser output should be off while the timing measurement is being made.

Using this method, a timing peak should be obtained with a FWHM of at least six channels, and with at least 4000 counts contained in the peak channel. Alternatively, if computer curve-fitting is used, determination of the FWHM within $\pm 5\%$ (90% confidence level) is adequate.

After calibrating the time axis with at least two calibrated delays, the FWHM and FWTM shall be measured and stated in units of nanoseconds. Measurements at three or more energies ranging from ≈ 1 MeV to ≈ 100 MeV, as obtained by adjustment of the Iris diaphragm (Figure 3), are recommended. (Quadrature subtraction can be used to determine the time resolution of the detector itself from the system time resolution that is measured.) The following parameters shall be stated for each measurement:

- 1) Spectral characteristics of the pulsed light.
- 2) Detector bias voltage.
- 3) Constant fraction discriminator setting and shaping time delay.
- 4) Differentiation time and rise time of the fast shaping amplifier.

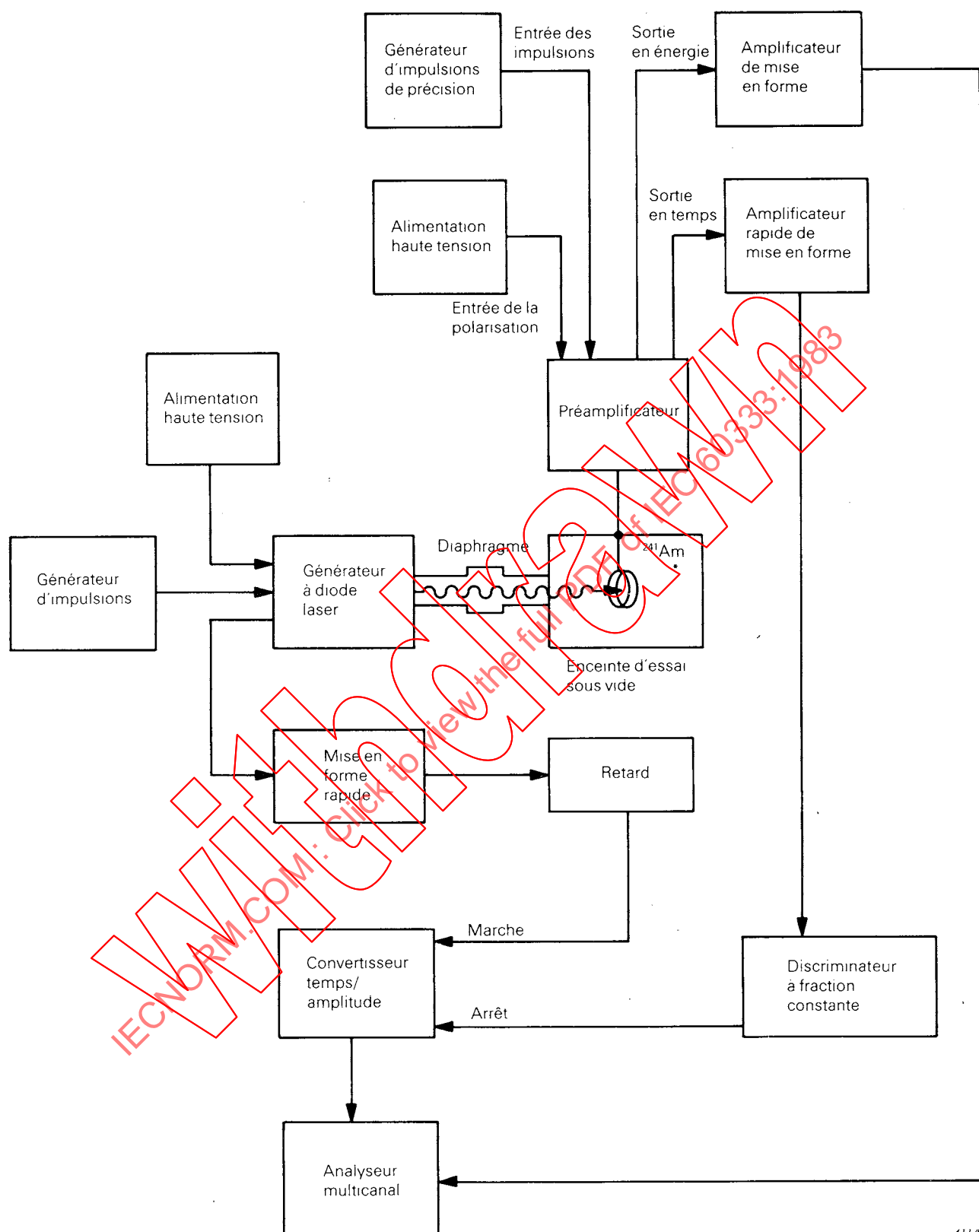
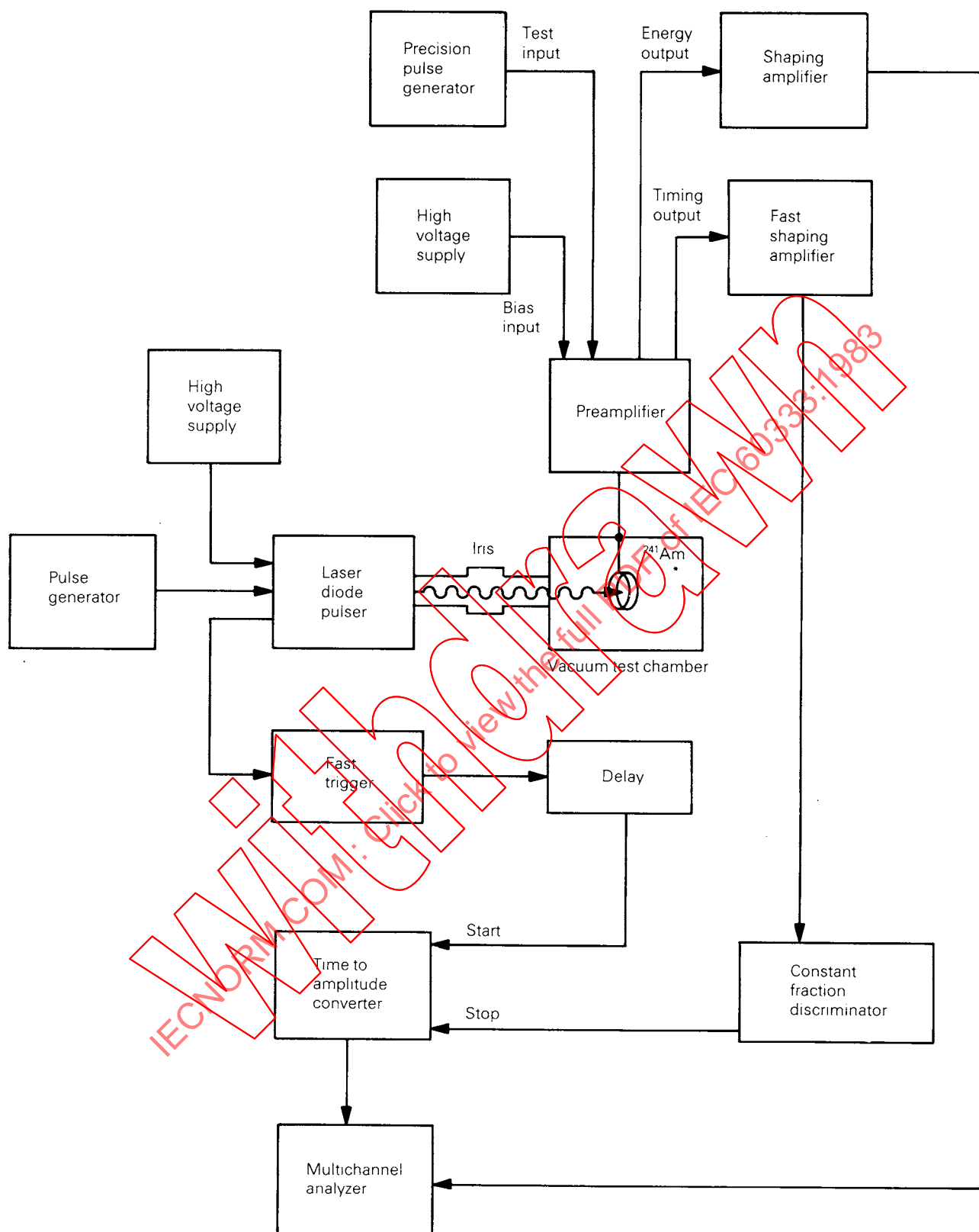


FIG. 3. - Dispositif de mesure du temps de résolution.



411/83

FIG. 3. - Time resolution measurement system.

4.2.1 Temps de montée électrique du détecteur

En utilisant le montage de la figure 4, on applique une succession d'échelons de tension de valeur V_p . La valeur de V_p ne doit pas dépasser le dixième de la tension de la bande interdite ou de la tension de polarisation, la plus petite des deux valeurs étant applicable. La différence quadratique entre le temps de montée du signal de sortie du préamplificateur avec le détecteur connecté et le temps de montée du préamplificateur seul est définie comme étant le temps de montée électrique du détecteur.

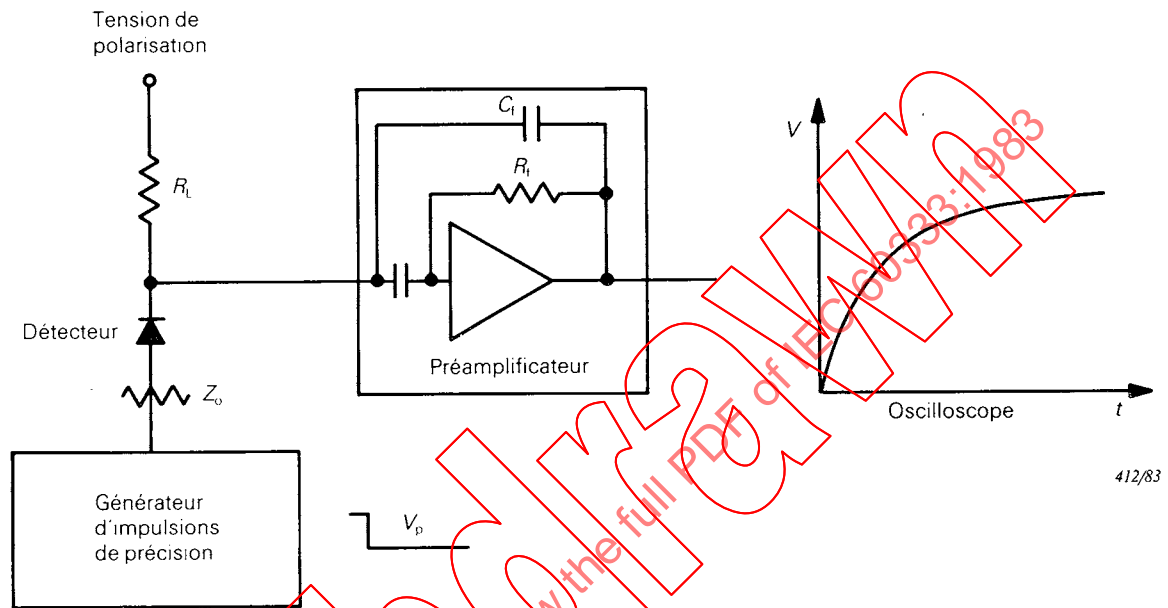


FIG. 4. - Mesure du temps de montée électrique du détecteur.

4.2.2 Temps de collection des charges

La mesure directe du temps de collection des charges t_c pour les porteurs de charges de même signe dans des détecteurs relativement «lents» peut être effectuée en utilisant une source monoénergétique de particules de faible parcours et en observant directement le signal d'impulsion à la sortie d'un préamplificateur intégrateur. Si le temps de montée entre 10% et 90% de l'impulsion de sortie est t_o , alors que le temps de montée correspondant aux impulsions du générateur de précision est t_m , le temps de collection des charges est donnée par:

$$t_c = \sqrt{t_o^2 - t_m^2} \quad (2)$$

Pour que cette mesure soit significative, t_o et t_m doivent différer d'au moins 20%.

La réponse pour les détecteurs rapides est plus facile à mesurer en utilisant un accélérateur ou une source de lumière à impulsions rapides pour y produire un grand nombre de paires électron-trou; l'observation des impulsions de courant résultantes peut être directement effectuée sur un oscilloscope à échantillonnage.

4.2.1 Detector electrical rise time

Using the apparatus of Figure 4, a series of steps of V_p volts is applied to the detector. The value of V_p shall not exceed one-tenth of the band gap voltage, or one-tenth of the bias voltage, whichever is the smaller. The quadrature difference between the rise time of the preamplifier output signal with the detector connected and the preamplifier rise time is defined as the electrical rise time.

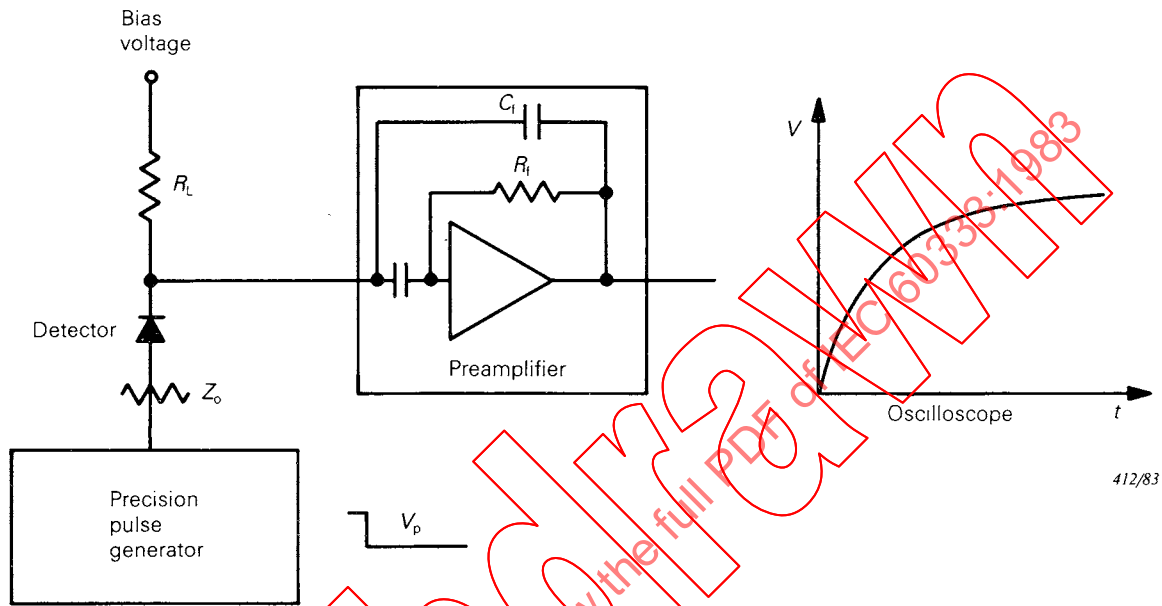


FIG. 4. - Detector electrical rise time measurement.

4.2.2 Charge collection time

Direct measurement of charge collection time t_c for one sign of charge carrier in relatively "slow" detectors can be made by using a monoenergetic source of short range particles and observing the signal pulse directly at the output of an integrating preamplifier. If the observed 10% to 90% output pulse rise time is t_0 , while the rise time observed by injecting pulses into the preamplifier input from a precision pulse generator is t_r , then the detector charge collection time is given by:

$$t_c = \sqrt{t_0^2 - t_r^2} \quad (2)$$

For this measurement to be significant, t_0 and t_r shall differ by at least 20%.

The response of a fast detector is most easily measured by using a fast pulsed accelerator or a fast pulsed light source to generate a large number of hole-electron pairs in a detector and monitoring the resulting current pulse directly using a sampling oscilloscope.

Dans les deux cas, il est essentiel de déterminer le temps de montée électrique des détecteurs par des mesures séparées (voir paragraphe 4.2.1) et de faire la distinction entre son effet et celui qui est dû au mouvement des porteurs de charge dans la zone désertée.

Les relevés du temps de collection des charges doivent préciser la nature du rayonnement incident, son orientation et sa position, ainsi que le temps de montée de l'amplificateur.

4.3 Localisation de l'impact, résolution et linéarité du détecteur à localisation

La figure 5, page 22, montre un détecteur à localisation d'impact de type courant. Ce détecteur possède un contact de résistivité relativement élevée dont une extrémité est mise à la masse et l'autre reliée à l'entrée d'un préamplificateur. Le contact résistif agit comme un diviseur de courant et il en résulte que la hauteur de l'impulsion de sortie est proportionnelle à la distance entre le point d'impact et l'extrémité mise à la masse. La tension de polarisation est appliquée au contact opposé.

Les deux mesures, de position et énergie, concernant ce type de détecteur peuvent être effectuées en utilisant le montage indiqué par la figure 6, page 22, (méthode recommandée) ou un montage équivalent. On peut aussi utiliser des diviseurs analogiques d'impulsions du commerce. Les constantes de temps et les autres réglages devront être optimisés. Le montage, utilisé tel quel, doit pouvoir effectuer simultanément les mesures de position et d'énergie. Cela est indispensable car un montage réalisé uniquement en vue de mesures d'énergie peut avoir une meilleure résolution que celui qui est envisagé pour des mesures simultanées de position et d'énergie. Un montage prévu uniquement pour la mesure d'énergie peut renseigner utilement sur la qualité du détecteur mais ne saurait être entièrement représentatif de ses performances dans de nombreuses applications.

Les mesures de résolution en position et de linéarité sont exécutées au moyen d'un masque pourvu de fentes et placé sur la face avant du détecteur comme le montre la figure 9, page 30. Les fentes sont perpendiculaires à la direction le long de laquelle la position est mesurée. Cinq fentes au minimum devront être à peu près uniformément réparties sur le masque, face à la zone active du détecteur. Une image de fente doit être située à chaque extrémité et près du milieu de la longueur active utile du détecteur, car l'écart de linéarité est habituellement plus important à ces endroits. Les sources de rayonnement ionisant monoénergétique doivent être placées face au masque de façon que le rayonnement forme une image des fentes à la surface du détecteur.

Les particularités concernant la collimation, la position de la source et la configuration doivent être assurées de manière que les conditions suivantes se trouvent réunies:

- 1) Correspondance stricte entre les fentes du masque et les images des fentes sur le détecteur.
- 2) Largeur de l'image de chaque fente suffisamment étroite pour ne pas introduire d'erreur significative dans les mesures de résolution en position. (Si des corrections doivent être faites pour une largeur définie de fente, une simple soustraction quadratique n'est pas suffisante. Aucune correction ne doit dépasser 10% du résultat enregistré.)
- 3) Erreur de détermination des distances entre les images de fentes suffisamment petite pour ne pas être significative dans la mesure de linéarité en position. (Ceci amène habituellement à placer les fentes aussi près que possible de la surface du détecteur.)
- 4) L'image de chaque fente aux extrémités doit être à moins de deux largeurs de fente des extrémités de la longueur utile active du détecteur.

On doit relever un spectre au moyen des méthodes décrites. Chaque pic doit avoir une LMH d'au moins six canaux avec un minimum de 4 000 coups dans le canal du pic. La linéarité en position et la résolution seront déterminées à partir de ce spectre.

In either case, it is essential to determine the detector electrical rise time (see Sub-clause 4.2.1) by separate measurements and to distinguish its effect from that due to carrier motion in the depletion layer.

Charge collection time data shall include details of the nature of the incident radiation, track orientation and position and amplifier rise time.

4.3 *Position, resolution and linearity of a position-sensitive detector*

One common type of position-sensitive detector is shown in Figure 5, page 23. This detector has one contact of relatively high resistivity which has one end grounded and the other end connected to a preamplifier input. The resistive contact acts as a current divider, and as a result, the output pulse height is proportional to the distance of the position of impact from the grounded end of the detector. Bias voltage is applied to the opposite contact.

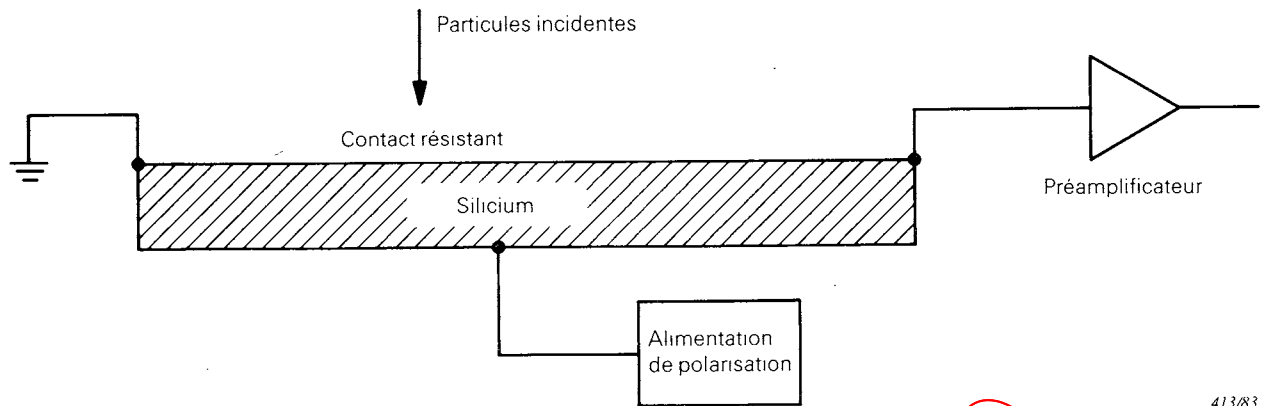
Both position and energy measurements for this type of detector should be made using the system shown in Figure 6, page 23, (preferred method) or an equivalent system. As an alternative, commercially available analog pulse dividers may be used. Time constants and other settings should be optimized. The system, as it is used, shall be capable of simultaneously measuring position and energy. This is required since a system configured only for energy measurements may have measurably better resolution than a system configured for the simultaneous measurement of energy and position. An energy-only system may provide a useful measurement of the detector quality, but it is not fully representative of the detector performance in many applications.

Position resolution and linearity measurements are performed with a mask having slits in it placed in front of the detector face as shown in Figure 9, page 31. The slits are perpendicular to the direction along which position is measured. A minimum of five slits should be approximately uniformly distributed across the mask in front of the active region of the detector. A slit image shall be located at each end and near the middle of the useful active length of the detector because the deviation from linearity is usually largest at these positions. Sources of monoenergetic ionizing radiation shall be located in front of the mask in such a way that the radiation exposes regions of the detector to form an image of the slits on the detector surface.

The details of collimation, source location and geometry shall be such that the following conditions are met:

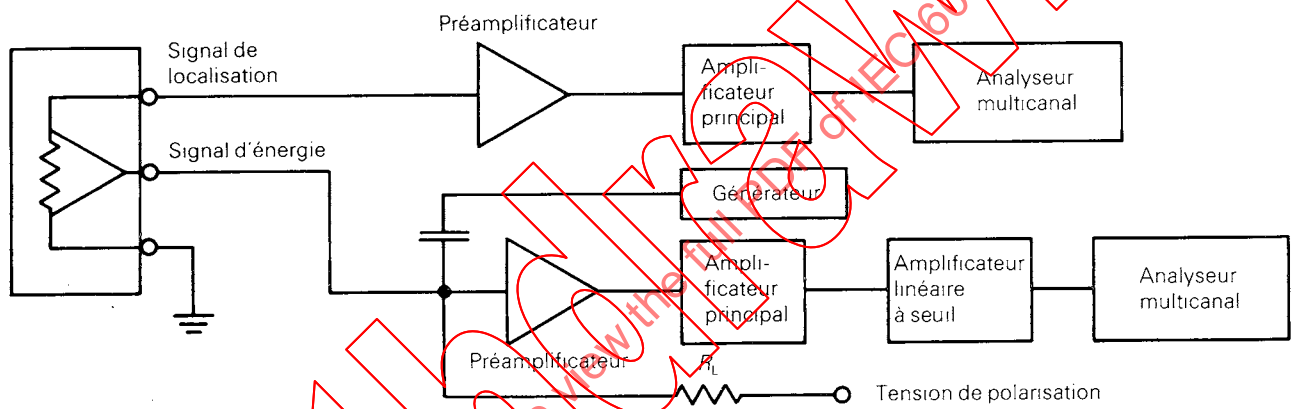
- 1) There is a one-to-one correspondence between the slits on the mask and the slit images on the detector.
- 2) The width of the image of each slit is small enough that it does not introduce any significant error into the position resolution measurements. (If any corrections are made for finite slit width, a simple quadrature subtraction is not adequate. Any correction shall not exceed 10% of the reported result.)
- 3) The error in determining distances between the slit images is small enough that it does not introduce any significant error into the position linearity measurement. (This usually requires placing slits as close to the detector surface as possible.)
- 4) The image of each outermost slit used shall be located within two slit widths of the ends of the useful active length of the detector.

A spectrum shall be acquired using the described methods. Each peak must have a FWHM of at least six channels with a minimum of 4 000 counts in the peak channel. Position linearity and resolution are determined from this spectrum.



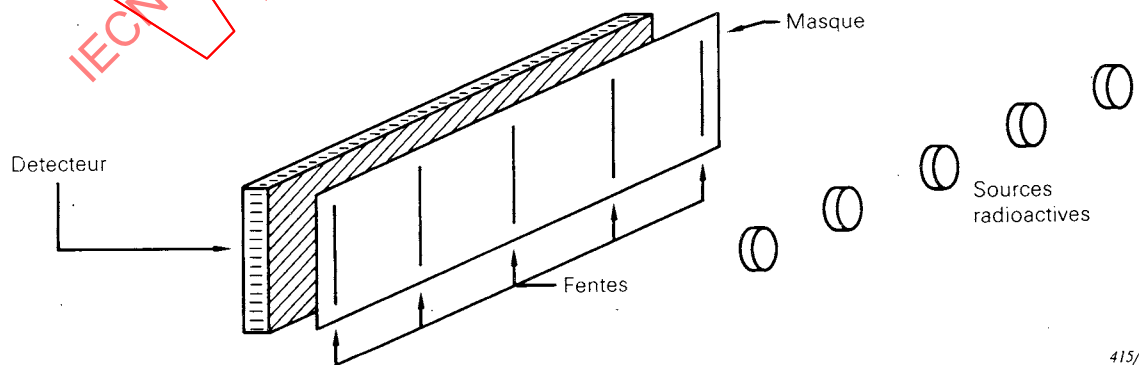
413/83

FIG. 5. - Détecteur à localisation d'impact.



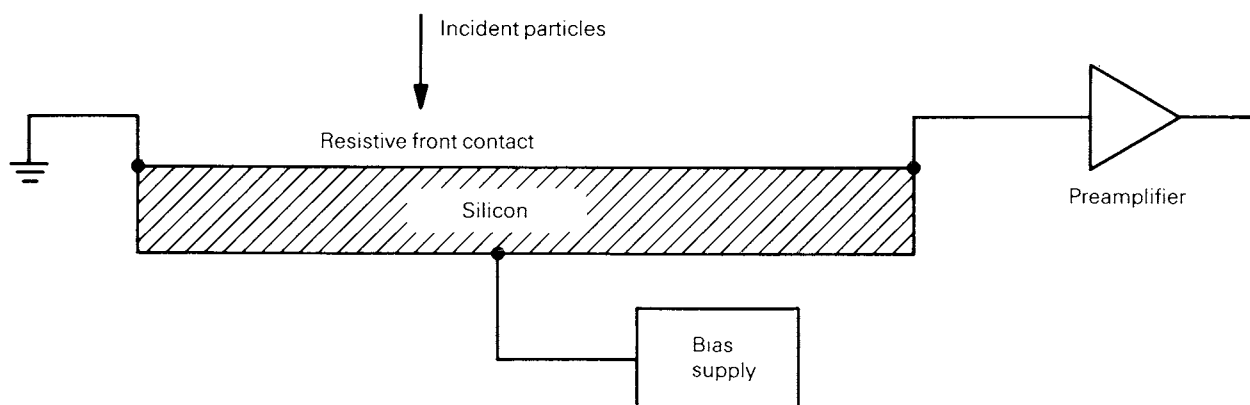
414/83

FIG. 6. - Système de mesure pour un détecteur à localisation d'impact.



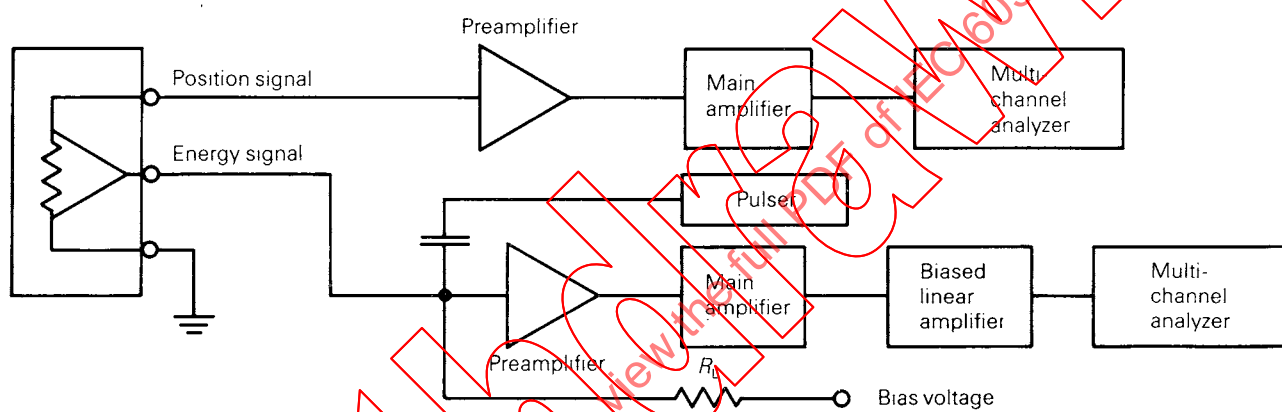
415/83

FIG. 7. - Appareillage pour les mesures d'impact.



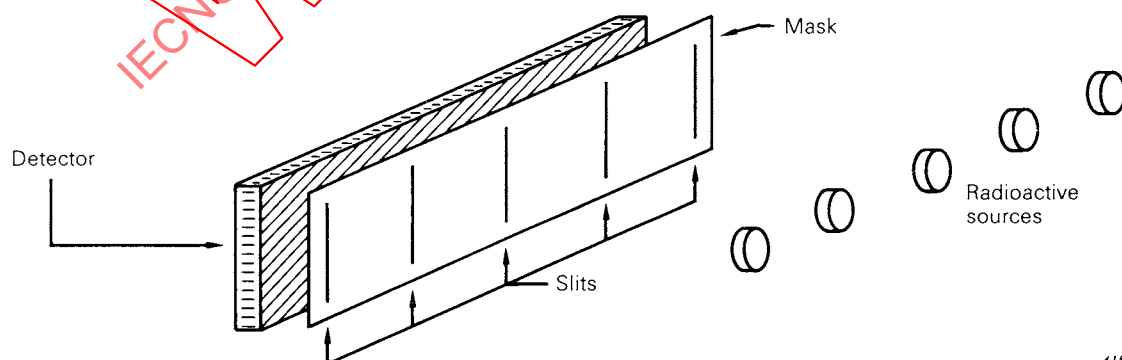
413/83

FIG. 5. - Position-sensitive detector.



414/83

FIG. 6. - System for position-sensitive detector measurements.



415/83

FIG. 7. - Apparatus for position measurements.

La non-linéarité intégrale (en position) d'un détecteur d'impact est définie comme l'écart maximal de position, à partir de la linéarité exprimée en pourcentage de la longueur totale sur laquelle la mesure est effectuée. L'écart de linéarité doit être mesuré pour chaque image de fente et la non-linéarité intégrale du détecteur est déterminée par la plus grande des valeurs mesurées.

Symbolisons par S le numéro de canal et soient $S_0, S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_m$ les numéros de canal de pic où S_0 et S_m sont respectivement les plus petits et plus grands numéros de canal de pic. Appelons la distance mesurée depuis l'extrémité à la masse du détecteur et la première image de fente D_0 et $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_m$ les distances respectives entre cette première image et les autres images successives.

Fixons $D_0 = 0$ et soit D_m la distance entre les deux fentes d'extrémité utilisées pour la mesure. On ajuste ensuite convenablement par la méthode des moindres carrés, une droite à l'ensemble des points figuratifs définis par $(D_0, S_0), (D_1, S_1), (D_2, S_2), \dots, (D_i, S_i), \dots, (D_m, S_m)$. Appelons $\Delta D_{\max}$ la différence maximale entre une valeur de D_i et la valeur correspondante de D sur la droite au point où $S = S_i$. La non-linéarité intégrale du détecteur est donnée par:

$$L_p = \frac{\Delta D_{\max}}{D_m} \quad (3)$$

La résolution en position est calculée pour chaque image de fente. Si ΔN_p est la LMH d'un pic (exprimée en nombre de canaux), la résolution en position ΔD_p , en unités de longueur, est donnée par:

$$\Delta D_p = \frac{D_m}{S_m - S_0} \Delta N_p \quad (4)$$

Si une valeur de la résolution de position est donnée pour caractériser le détecteur tout entier, ce doit être la plus grande LMH obtenue à partir de n'importe quelle image. Les informations à noter pour cette mesure seront les mêmes que celles qui sont prescrites pour la mesure d'énergie au paragraphe 4.1.

Les renseignements suivants devront être fournis en même temps que les résultats de cette mesure de linéarité:

- 1) Longueur active totale du détecteur.
- 2) Longueur active utile du détecteur.
- 3) Constantes de temps (caractéristiques de mise en forme) utilisées pour les mesures d'énergie et de position.
- 4) Description détaillée du détecteur, y compris l'épaisseur de sa zone sensible et sa configuration.
- 5) Conditions de mesure.
- 6) Type de particule incidente et son énergie.

The integral nonlinearity (in position) of a position-sensitive detector is defined as the maximum positional deviation from linearity expressed as a percentage of the total length over which the measurement is made. The deviation from linearity should be measured for each slit image, and the integral nonlinearity of the detector is determined from the largest of these values.

Let the channel number be represented by S and the peak channel numbers by $S_0, S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_m$, where S_0 and S_m are the smallest and largest peak channel numbers respectively. Let $D(D_0, D_1, D_2, \dots, D_m)$ be the perpendicular distance measured from the first slit image (at the grounded end of the detector). The distances from the first slit image to successive slit images are represented by $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_m$.

Set $D_0 = 0$, and let D_m be the distance between the two outermost slits used in the measurement. A straight line is then fitted to the set of points $(D_0, S_0), (D_1, S_1), (D_2, S_2) \dots (D_i, S_i) \dots (D_m, S_m)$ by the method of least squares. Let $\Delta D_{\max}$ be the maximum difference between any value of D_i and the corresponding value of D on the fitted line at the point where $S = S_i$. The integral nonlinearity of the detector is given by:

$$L_p = \frac{\Delta D_{\max}}{D_m} \quad (3)$$

Position resolution is calculated for each slit image. Given the FWHM of a peak in channels ΔN_p , the position resolution in units of length ΔD_p is given by:

$$\Delta D_p = \frac{D_m}{S_m - S_0} \Delta N_p \quad (4)$$

If one value of positional resolution is given to characterize the entire detector, it shall be the largest FWHM value obtained for any slit image. Record the same information with this measurement as requested for the energy measurement in Sub-clause 4.1.

The following information shall be supplied with the results of this linearity measurement:

- 1) Total active length of the detector.
- 2) Useful active length of the detector.
- 3) Time constants (shaping time characteristics) used for energy and position measurements.
- 4) Detailed description of the detector including sensitive depth and detector geometry.
- 5) Operating conditions.
- 6) Incident particle type and energy.

5. Mesure du bruit

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

5.1.1 Mesure avec une source radioactive étalonnée

La contribution totale du bruit à l'élargissement du spectre (incluant le courant de fuite du détecteur) peut être mesurée en déterminant la LMH d'un pic obtenu à l'aide d'un générateur d'impulsions de précision.

L'équipement doit être conforme à celui qui est indiqué par la figure 1, page 10. La forme de l'impulsion amplifiée doit être quasi gaussienne avec un Δt de 3 μs . On peut également utiliser une autre forme proche appropriée au détecteur, mais ses caractéristiques doivent être alors clairement établies et être les mêmes que celle que l'on utilise pour définir la résolution en énergie. Une méthode simple pour étalonner le système est semblable à celle qui est décrite au paragraphe 4.1, en utilisant une source de rayonnement ionisant monoénergétique et un générateur d'impulsions de précision. Néanmoins, le rayonnement (d'énergie connue E_1) ne doit être utilisé que jusqu'à ce que soit connue de façon précise la position N_1 du pic. La source est alors retirée et le générateur réglé pour donner un pic au même endroit. Un second pic équivalant à l'énergie E_2 à l'emplacement N_2 est fourni par le générateur, E_2 ayant été déterminé par l'étalonnage indiqué au paragraphe 4.1.

Le spectre du second pic fourni par le générateur doit être réalisé par accumulation d'au moins 4 000 coups dans un seul canal. La LMH doit être d'au moins six canaux. Cependant, un nombre inférieur de coups peut suffire si on emploie un ajustement par ordinateur pour déterminer la LMH à $\pm 5\%$ (niveau de confiance de 90%). La résolution totale due au bruit est déterminée à partir de la largeur de pic, ΔN_T , exprimée en nombre de canaux, par:

$$\Delta E_T = \left[\frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \right] \Delta N_T \quad (5)$$

L'intervalle entre les pics doit être d'au moins trois fois la LMH.

5.1.2 Mesure avec un condensateur et un générateur d'impulsions étalonné

Comme variante à la méthode du paragraphe 5.1.1, on utilise un générateur d'impulsions avec un condensateur étalonné pour introduire une charge connue à chaque impulsion à l'entrée du préamplificateur. Cela conduit directement à la détermination de la largeur du bruit en unités de charge. Si on utilise cette méthode, le condensateur étalonné C_c est relié à l'entrée du préamplificateur, en série avec un générateur d'impulsions de précision. Le condensateur C_c doit être de préférence à trois bornes; la capacité est mesurée entre les deux bornes isolées, la troisième borne est mise à la terre. La mesure de la capacité entre les deux bornes isolées, avec une très grande précision, peut être obtenue avec un pont de condensateur et cette capacité ne doit pas dépendre des connexions du circuit extérieur. Le générateur doit fournir des signaux de la forme indiquée par la figure 8, page 28, où le temps de montée t_m 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 τ_d est telle que l'amplitude V_p de l'impulsion 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 équivalente d'entrée du préamplificateur intégrateur doit être supérieure à 100 C_c .

5. Noise measurement

5.1 Noise measurement by pulse height distribution (preferred method)

5.1.1 Measurement with radioactive source calibration

The total noise contribution to spectral broadening (including detector leakage current) can be measured by determining the FWHM of a peak produced with a precision pulse generator.

The equipment shall be configured as shown in Figure 1, page 11. The preamplifier pulse shaping shall be quasi-Gaussian with a Δt of 3 μ s. Alternatively, other shaping suitable for the detector may be used, but the shaping characteristics shall then be clearly stated and the same as those used to specify energy resolution. A simple method for system calibration is similar to that described in Sub-clause 4.1 using a source of monoenergetic ionizing radiation and a precision pulse generator. However, the radiation (of known energy E_1) need only be counted until the peak location N_1 is accurately known. The source is then removed, and the pulser is adjusted to generate a peak at this same location. A second peak, equivalent to energy E_2 at location N_2 is generated with E_2 determined from the calibration as in Sub-clause 4.1.

The spectrum of the second pulse generator peak shall be accumulated until it reaches 4 000 counts in one channel. The width shall be at least six channels at FWHM. However, a lesser number of counts may suffice if computer fitting that determines the FWHM to within $\pm 5\%$ (90% confidence level) is employed. The total noise resolution is determined from the width of this peak in channels ΔN_T by:

$$\Delta E_T = \left[\frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \right] \Delta N_T \quad (5)$$

The separation of the peaks should be at least three times the FWTM.

5.1.2 Measurement with capacitor and pulse generator calibration

An alternative to the method of Sub-clause 5.1.1 uses a pulse generator with a calibrated capacitor to introduce a known quantity of charge with each pulse to the preamplifier input. This leads directly to the determination of noise linewidth in units of charge. If this method is to be used, 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 grounded. 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 8, page 29, where the rise time t_r is no more than 20% of the main amplifier differentiating time constant and the decay time constant τ_d is such that the pulse V_p does not drop 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 shall be not less than 100 C_c .

Dans ces conditions, la charge injectée à chaque impulsion par le générateur est $V_p C_c$ coulombs à $\pm 1\%$ (si les conditions fixées ne sont pas satisfaites, un calcul doit être effectué pour déterminer la charge réellement injectée à chaque impulsion). Tous les éléments de la chaîne de mesure fonctionnant dans leur domaine linéaire, deux réglages du générateur d'impulsions, correspondant aux tensions V_{p1} et V_{p2} , doivent donner en sortie de l'analyseur multicanal un spectre formé de deux pics séparés centrés sur les canaux N_1 et N_2 comme le montre la figure 4, page 18. Le gain du système et les amplitudes des impulsions doivent être tels que la largeur à mi-hauteur (LMH) ΔN_T de chaque pic soit au moins de six canaux.

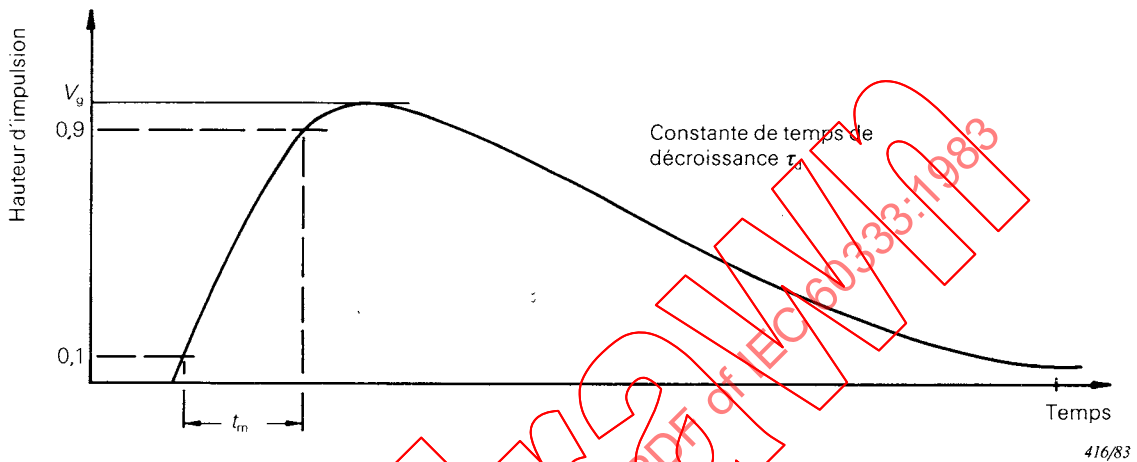


FIG. 8. - Forme d'onde du générateur d'impulsions de précision.

La largeur totale (LMH) du bruit du système, exprimée en coulombs, est donnée par:

$$\Delta Q_T = \frac{V_{p1} - V_{p2}}{N_1 - N_2} C_c \Delta N_T \quad (6)$$

ΔN_T étant déterminée sur le plus large des deux pics.

5.2 Mesure du bruit avec un oscilloscope et un voltmètre de valeur efficace vraie

Une autre méthode de mesure du bruit utilise le schéma de la figure 9, page 30. Il ne diffère de celui de la figure 1, page 10, que par le remplacement de l'analyseur multicanal par un voltmètre de valeur efficace vraie. Cette méthode peut utiliser soit une source radioactive, soit un condensateur et un générateur d'impulsions étalonné.

Pour que cette méthode soit précise, 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. (On suggère une bande passante de 3 dB à 10 MHz.)
- 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.

On peut obtenir une estimation du bruit au moyen d'un voltmètre efficace. Dans ce cas $e_{be} \approx 1,12 e_{eff}$ où e_{eff} est la valeur de la tension lue sur le voltmètre.

Under these conditions the charge injected per pulse from the pulse generator is $V_p C_c$ 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 voltages V_{p1} and V_{p2} , should result in a spectrum consisting of two separated peaks centred at channels N_1 and N_2 as shown in Figure 4, page 19. The system gain and pulse amplitudes must be such that the full width at half maximum (FWHM) ΔN_T of each peak is at least six channels.



FIG. 8. - Precision pulse generator waveform.

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

$$\Delta Q_T = \frac{V_{p1} - V_{p2}}{N_1 - N_2} C_c \Delta N_T \quad (6)$$

with ΔN_T being determined from the wider of the two peaks.

5.2 Noise measurement by oscilloscope and true root-mean-square voltmeter

An alternative method of measuring noise employs the system shown in Figure 9, page 31. It is similar to the system used for pulse height distribution measurements (Figure 1, page 11), but it differs in that a true r.m.s. voltmeter replaces the multichannel analyzer. This method may use either a radioactive source or capacitor and pulse generator calibration.

If this method is to be accurate, two conditions must be fulfilled.

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

An estimate of the noise can be obtained by means of an effective voltmeter. In this case, $e_{no} \approx 1.12 e_{eff}$, where e_{eff} is the voltmeter reading.

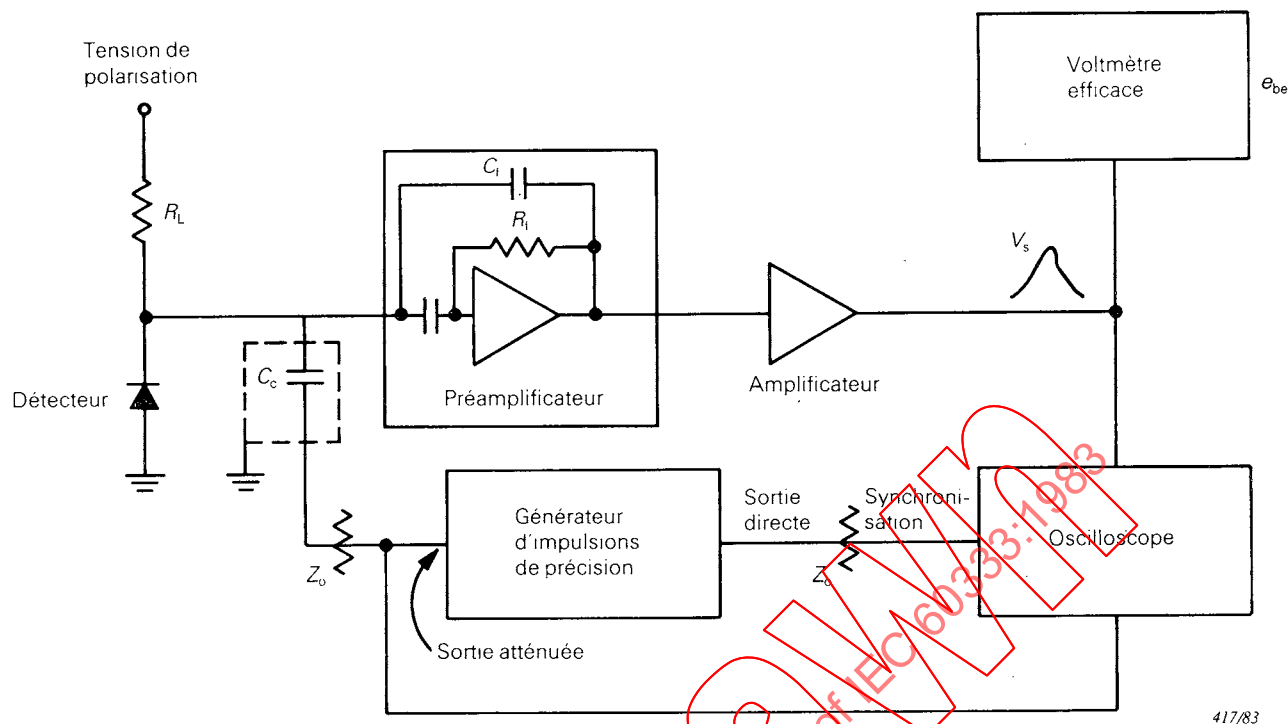


FIG. 9. - Mesure du bruit au moyen d'un oscilloscope et d'un voltmètre de valeur efficace vraie.

5.2.1 Mesure avec une source radioactive étalonnée

Le détecteur est exposé à une source qui possède une raie remarquable facilement résoluble, d'énergie connue E . Après avoir réglé le gain du système à un niveau convenable, l'amplitude V_s de l'impulsion de sortie est lue sur l'oscilloscope pour des impulsions de valeurs correspondant à l'énergie E . On retire alors la source et on lit sur le voltmètre la tension efficace e_{be} . La LMH totale du bruit du système est donnée par:

$$\Delta E_T = 2,355 \frac{E}{V_s} e_{be} \quad (7)$$

5.2.2 Mesure avec un condensateur et un générateur d'impulsions étalonné

On utilise un générateur d'impulsions et un condensateur étalonné C_c , comme au paragraphe 5.1.2, pour introduire, à l'entrée du préamplificateur, une quantité de charge connue avec chaque impulsion. Après avoir réglé le gain du système à un niveau convenable, les impulsions d'amplitude V_p sont appliquées au condensateur étalonné. L'amplitude V_s des impulsions à la sortie du système est lue sur l'oscilloscope. On coupe ensuite la sortie du générateur d'impulsions et la tension efficace du bruit e_{be} est lue sur le voltmètre. La LMH totale du bruit du système (en unités de charge) est donnée par:

$$\Delta Q_T = 2,355 V_g C_c \frac{e_{be}}{V_s} \quad (8)$$

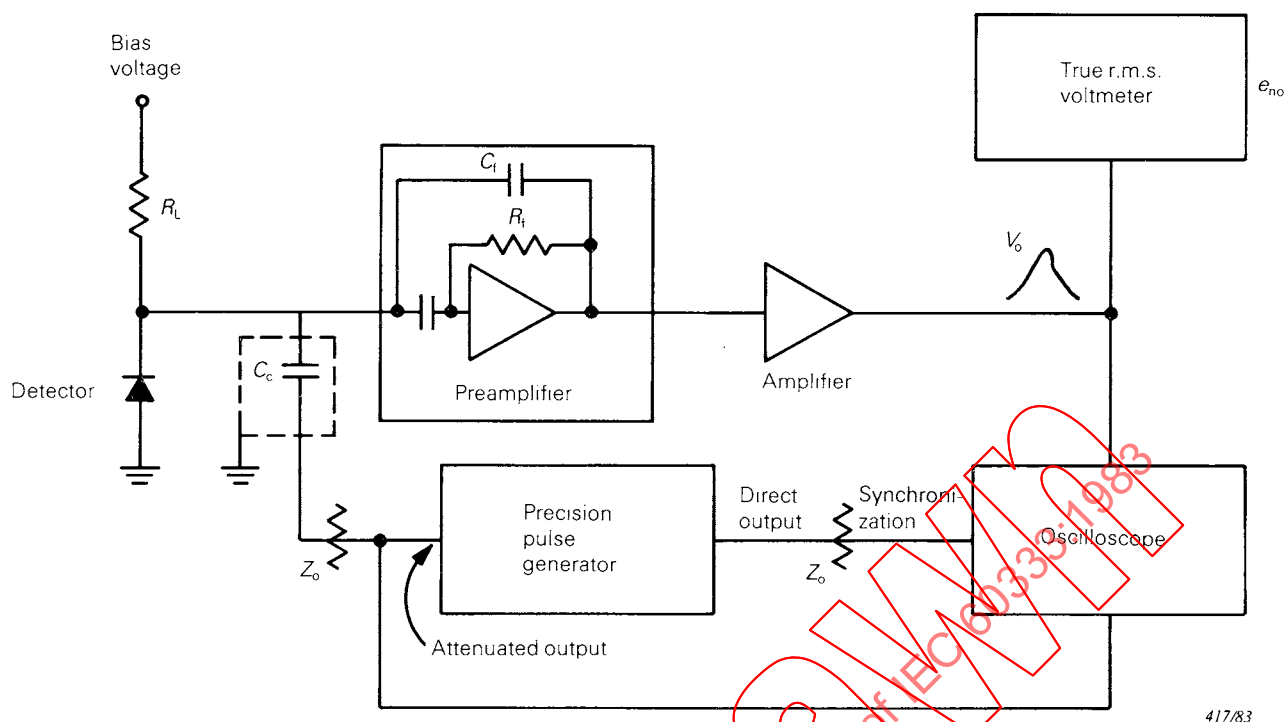


FIG. 9. - Noise measurement by oscilloscope and true r.m.s. voltmeter.

5.2.1 Measurement with radioactive source calibration

The detector is exposed to a source which has a prominent, easily resolvable line of known energy E . After the system gain has been set to a convenient level, the output pulse amplitude V_o is read from the oscilloscope for pulses corresponding to energy E . The source is then removed, and the r.m.s. voltage e_{no} is read from the voltmeter. The total system noise FWHM is given by:

$$\Delta E_T = 2.355 \frac{E}{V_o} e_{no} \quad (7)$$

5.2.2 Measurement with capacitor and pulse generator calibration

A pulse generator is used with a calibrated capacitor C_c , as in Sub-clause 5.1.2, to introduce a known quantity of charge with each pulse into the preamplifier input. After the system gain is set to a convenient level, pulses of amplitude V_p are applied to the calibrated capacitor. The system output pulse amplitude V_o is read from the oscilloscope. The pulse generator output is switched off, and the r.m.s. noise voltage e_{no} is read from the voltmeter. The total system noise FWHM (in units of charge) is given by:

$$\Delta Q_T = 2.355 V_g C_c \frac{e_{no}}{V_o} \quad (8)$$

5.3 Mesure du bruit électronique sans le semicteur

La LMH du bruit électronique peut être déterminée par les méthodes indiquées aux paragraphes 5.1 et 5.2 après avoir déconnecté le semicteur du circuit et lui avoir substitué un condensateur convenable ne contribuant pas au bruit, et de capacité sensiblement égale à celle du détecteur essayé (voir paragraphe 7.2).

Si on utilise une source radioactive étalonnée, la mesure doit être effectuée avant d'enlever le détecteur. On doit prendre soin de ne pas changer le gain du système avant de faire la mesure. L'étalonnage du condensateur et du générateur d'impulsions peut être effectué, le détecteur ou le condensateur de substitution étant en place.

La LMH du bruit est déterminée en nombre de canaux, unités de charge ou en unités d'énergie selon les méthodes des paragraphes 5.1 et 5.2; les symboles utilisés sont respectivement ΔN_E , ΔQ_E ou ΔE_E . Ces valeurs représentent le bruit électronique sans contribution au bruit du détecteur.

5.4 Détermination de la contribution du détecteur au bruit et à la résolution

Dans les articles 4 et 5, on a donné des méthodes pour déterminer la résolution en énergie (ΔN_S , ΔE_S), le bruit total du système (ΔN_T , ΔQ_T , ΔE_T) et le bruit électronique autre que celui du semicteur (ΔN_E , ΔQ_E , ΔE_E). Ces quantités sont respectivement exprimées en nombre de canaux (ΔN), unités de charge (ΔQ) et unités d'énergie (ΔE).

Puisque tous ces effets d'élargissement de spectre s'additionnent en quadrature, on peut calculer les valeurs intéressantes suivantes pour une répartition gaussienne ou quasi gaussienne:

- 1) Contribution du détecteur à l'élargissement du spectre attribuable à des facteurs autres que le bruit: ΔN_0 ou ΔE_0 .

$$\Delta N_0 = \sqrt{\Delta N_S^2 - \Delta N_T^2} \quad (9)$$

ou

$$\Delta E_0 = \sqrt{\Delta E_S^2 - \Delta E_T^2} \quad (10)$$

- 2) Contribution à l'élargissement du spectre due au seul bruit du détecteur ΔN_D , ΔQ_D ou ΔE_D .

$$\Delta N_D = \sqrt{\Delta N_T^2 - \Delta N_E^2} \quad (11)$$

ou encore

$$\Delta Q_D = \sqrt{\Delta Q_T^2 - \Delta Q_E^2} \quad (12)$$

ou

$$\Delta E_D = \sqrt{\Delta E_T^2 - \Delta E_E^2} \quad (13)$$

5.3 Measurement of electronic noise with the detector removed

The electronic noise linewidth FWHM can be determined by the methods of Sub-clauses 5.1 and 5.2 after disconnecting the detector from the circuit and substituting for it a suitable capacitor which has been shown not to contribute noise and which is of capacitance substantially equal to that which the detector exhibited under test conditions (see Sub-clause 7.2).

If radioactive source calibration is used, then it shall be performed before the detector is removed. Care shall be taken not to change the system gain before the measurement is made. The capacitor and pulse generator calibration may be performed with either the detector or the substituted capacitor in place.

The noise FWHM is determined in number of channels, units of charge or in units of energy according to the methods of Sub-clauses 5.1 and 5.2, and the symbols used are ΔN_E , ΔQ_E or ΔE_E respectively. These values represent the electronic noise without the detector noise contribution.

5.4 Determination of detector contribution to noise and resolution

In Clauses 4 and 5, methods are given to determine energy resolution (ΔN_S , ΔE_S), total system noise (ΔN_T , ΔQ_T , ΔE_T) and electronic noise other than detector noise (ΔN_E , ΔQ_E , ΔE_E). These quantities are expressed in channels (ΔN), and units of charge (ΔQ), and in units of energy (ΔE), respectively.

Since all of these spectral broadening effects add in quadrature, the following quantities of interest may be calculated for Gaussian or quasi-Gaussian distributions:

- 1) The detector contribution to spectral broadening attributable to factors other than noise, ΔN_0 or ΔE_0 .

$$\Delta N_0 = \sqrt{\Delta N_S^2 - \Delta N_T^2} \quad (9)$$

or

$$\Delta E_0 = \sqrt{\Delta E_S^2 - \Delta E_T^2} \quad (10)$$

- 2) The contribution to spectral broadening of detector noise alone ΔN_D , ΔQ_D , or ΔE_D .

$$\Delta N_D = \sqrt{\Delta N_T^2 - \Delta N_E^2} \quad (11)$$

or

$$\Delta Q_D = \sqrt{\Delta Q_T^2 - \Delta Q_E^2} \quad (12)$$

or

$$\Delta E_D = \sqrt{\Delta E_T^2 - \Delta E_E^2} \quad (13)$$

5.5 *Largeur (LMH) du bruit en fonction des constantes de temps de l'amplificateur*

L'information relative au spectre de bruit du détecteur peut être obtenue à partir de la LMH du bruit en fonction des constantes de temps de l'amplificateur. On emploie la méthode du paragraphe 4.1 avec une forme d'impulsion quasi gaussienne. La LMH du bruit doit être tracée en fonction de Δt pour différentes valeurs de la tension de polarisation du détecteur. En notant les résultats, on devra donner la valeur de la résistance série équivalente au bruit à l'entrée du préamplificateur (voir la Publication 340 de la CEI).

6. *Influence des conditions d'ambiance*

Dans l'exécution des mesures suivantes, les spécifications du constructeur ne devront pas être dépassées, sinon il pourrait en résulter des dommages permanents pour l'appareillage.

Dans certains essais, il peut être préférable d'essayer le détecteur avant et après l'exposition, selon les conditions prescrites, plutôt que pendant. D'autres essais peuvent être exécutés pendant l'exposition. Lorsque l'on note les résultats, on doit clairement indiquer ceux qui correspondent à l'essai pendant, avant ou après l'exposition. Les limites de reproductibilité des mesures devront être mentionnées avec les résultats.

6.1 *Influence de la pression atmosphérique*

Le détecteur doit être monté dans une enceinte dans laquelle il pourra être essayé, tout en étant soumis au vide ou à différents gaz dans les conditions spécifiques de pression, de température et d'humidité. De telles conditions peuvent, par exemple, inclure de l'oxygène pur à température et pression normales. D'autres conditions appropriées peuvent être spécifiées pour des applications particulières.

Pour chaque environnement, on doit attendre suffisamment longtemps pour que les caractéristiques du détecteur atteignent leur équilibre. On doit, chaque fois, enregistrer le temps passé dans chaque ambiance. Pour chaque réglage des conditions d'ambiance, les essais décrits aux paragraphes 4.1, 4.3 et 4.4 peuvent être répétés.

On doit dûment noter que certaines ambiances peuvent être très préjudiciables à de nombreux détecteurs. Il est connu que certains gaz embouteillés peuvent être contaminés par des substances nocives, comme certains acides. Certains dessiccateurs peuvent dégager des acides résiduels. De nombreux solvants et composés nettoyants peuvent émettre des vapeurs nuisibles. Les vapeurs ammoniacales et autres atmosphères réductrices peuvent être dommageables.

6.2 *Essais à cycle thermique sous vide*

L'aptitude d'un dispositif à supporter sous vide un cycle thermique sans dégradation est importante dans certaines applications. On préconise l'exécution d'un cycle de température dans un domaine déterminé, sous un vide de 10^{-4} Pa ($\approx 10^{-6}$ mm Hg).

On mesure d'abord le bruit du détecteur à 20°C. Le détecteur est ensuite soumis au cycle thermique prescrit. On enregistre alors les valeurs du bruit à 20°C, et aux températures maximales et minimales. Finalement, on remesure le bruit du détecteur à 20°C. Pour le détecteur qui subit cet essai, l'écart entre la valeur du bruit mesuré en dernier lieu et la première valeur mesurée à 20°C ne devra pas sortir des limites fixées de reproductibilité.

Le détecteur peut être soumis à un cycle thermique sous vide sans application de sa tension de polarisation. Dans ce cas, on mesure son bruit à 20°C après avoir appliqué la tension de polarisation avant et après le cycle thermique. Là encore, les deux mesures du bruit ne devront pas sortir des limites fixées de reproductibilité.

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

Information related to the detector noise spectrum can be obtained from the noise linewidth FWHM as a function of the amplifier time constants. The method of Sub-clause 4.1 is employed with quasi-Gaussian pulse shaping. The noise linewidth FWHM should be plotted versus Δt 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).

6. Sensitivity to ambient conditions

In performing the following measurements, the manufacturer's specifications should not be exceeded or permanent damage to the device may result.

For certain tests it may be appropriate to test the detector before and after exposure to specified conditions rather than during exposure. Other tests may be performed during exposure. When test results are quoted, it should be clearly stated whether they were obtained during exposure or before and after exposure. The limits of reproducibility of the measurements should be stated with the results.

6.1 Atmospheric sensitivity

The detector shall be mounted in a chamber in which it can be tested while exposed to vacuum or to various gases under specific conditions of pressure, temperature and humidity. Such conditions may include, for example, dry oxygen at standard temperature and pressure. Other appropriate conditions may be specified for particular applications.

In each environment, sufficient time shall be allowed to enable the detector characteristics to reach equilibrium. Alternatively, the time spent in each environment shall be recorded. Under each set of ambient conditions, the appropriate tests described in Sub-clauses 4.1, 4.3, and 4.4 may be repeated.

It should be noted that certain environments may be very harmful to many detectors. Bottled gas has been known to become contaminated with harmful substances such as certain acids. Some desiccants may give off a residual acid. Various solvents and cleaning compounds may evolve harmful vapours. Ammonia vapour and other reducing atmospheres may be harmful.

6.2 Vacuum thermal cycle test

The ability of a device to withstand vacuum thermal cycling without degradation is important for certain applications. A temperature cycle over a specified range with a vacuum of 10^{-4} Pa ($\approx 10^{-6}$ mm Hg) is suggested.

The noise of a detector should first be measured at 20°C. Then the detector should be taken through the required thermal cycle. Noise values at 20°C, at maximum temperature and at minimum temperature should be recorded. Finally, the temperature of the detector should be returned to 20°C and the noise measured again. The final measured noise value should not differ from the initial noise value at 20°C by more than the stated limits of reproducibility in order for the detector to pass this test.

The detector may be taken through a thermal cycle while under vacuum with no applied bias voltage. The detector should have a noise measurement at 20°C with the same bias voltage both before and after such a thermal cycle. Again, the two noise measurements should not differ by more than the stated limits of reproducibility for the detector to pass this test.

6.3 *Essais mécaniques et d'ambiance*

Les détecteurs peuvent être essayés avant, pendant et après toute épreuve mécanique, thermique ou d'autre ambiance. Tous les essais indiqués aux paragraphes 4.1, 4.3, 4.4 et 5.6 peuvent être effectués. On devra, pour le moins, mesurer le bruit et le courant de fuite avant et après chaque épreuve. Sauf autres spécifications valables pour des applications particulières, les caractéristiques mesurées du détecteur ne devront pas s'écarter des limites fixées de reproductibilité.

Dans certains cas, comme celui d'un long séjour dans le vide, il peut être nécessaire d'effectuer les essais électriques aussi bien pendant qu'avant et après le séjour.

6.4 *Sensibilité à la lumière*

La plupart des détecteurs sont sensibles à la lumière et devront être utilisés et essayés dans l'obscurité. Quelques détecteurs sont construits de telle sorte qu'ils soient relativement insensibles à la lumière. La sensibilité d'un détecteur à la lumière devra être définie comme l'augmentation en pourcentage du bruit du système résultant de son passage de l'obscurité totale à une exposition à la lumière aux conditions définies.

La condition recommandée d'exposition à la lumière peut être obtenue en plaçant le détecteur à 45 cm d'une lampe normalisée, la face sensible du détecteur étant placée perpendiculairement à la lumière. La lampe normalisée, de 250 W, est du type quartz halogène à filament de tungstène, ayant une température de couleur de 3 000 K.* Le courant de filament maintenu devra être de $2,08 \pm 0,05$ A en courant continu. Les conditions d'essais doivent prévoir la minimalisation des lumières réfléchies et de la contribution d'autres sources de lumière.

On remarquera que l'augmentation du bruit observée pour un détecteur sensible à la lumière peut être beaucoup plus grande lorsque la lumière est modulée que lorsqu'elle est d'intensité constante. Cela est particulièrement frappant dans le cas de détecteurs exposés à la lumière fluorescente. Les détecteurs employés dans des conditions de lumière modulée devront être essayés en sensibilité pour cette lumière.

D'autres conditions d'exposition à la lumière peuvent être employées lorsque certaines applications l'imposent. Ces conditions devront être établies si une valeur de la sensibilité à la lumière est donnée. Il faut remarquer qu'au-dessus d'un certain niveau, l'intensité de la lumière produira une augmentation sensible de la température du détecteur et que des effets thermiques en résulteront.

6.5 *Mesure des dégâts dus au rayonnement*

Après irradiation, il peut arriver que les propriétés du détecteur soient affectées et que chaque essai doive être recommencé. Pour obtenir des éléments d'information valables, il convient de relever tous les autres renseignements suivants:

- 1) Résultats d'essai avant irradiation.
- 2) Type et énergie du rayonnement, flux et fluence.
- 3) Température du détecteur, tension de polarisation et conditions ambiantes durant l'irradiation.
- 4) Intervalle de temps entre la fin de l'irradiation et le début des essais et conditions du détecteur dans cet intervalle.

* Cette lampe doit avoir les mêmes configurations d'ampoule et de filament que dans la Norme ENH de l'ANSI et être conforme à toutes ses autres spécifications ou spécifications équivalentes.

6.3 *Mechanical and environmental tests*

Detectors may be tested both before, during and after any specified mechanical, thermal or other environmental exposure. All of the tests indicated in Sub-clauses 4.1, 4.3, 4.4 and 5.6 may be performed. As a minimum the noise and leakage current should be measured before and after such exposure. Unless other specifications suitable for the particular application are stated, the measured characteristics of the detector should not change by more than the stated limits of reproducibility for it to pass such a test.

In certain cases, such as long-term exposure to a vacuum environment, it may be necessary to perform electrical tests during the exposure period as well as before and after it.

6.4 *Light sensitivity*

Most detectors are light sensitive and should be used and tested in the dark. Some detectors are constructed in such a way that they are relatively insensitive to light. The light sensitivity of a detector should be specified as that percentage increase in system noise which results from moving the detector from total darkness to specific conditions of light exposure.

The recommended condition of light exposure shall be achieved by placing the detector 45.0 cm away from the standard lamp with the face of the detector perpendicular to a line connecting the lamp and the detector. The standard lamp shall be a 250 W tungsten filament quartz-halogen bulb with a colour temperature of 3 000 K.* A filament current of 2.08 ± 0.05 A d.c. shall be maintained. Test conditions shall be provided in which reflected light and contribution of light from other sources are minimized.

It should be noted that the noise increase observed for a detector with some light sensitivity can be much greater if the light is modulated rather than constant in intensity. This is particularly relevant for detectors exposed to fluorescent lighting. Detectors to be used under conditions of modulated light should be tested for sensitivity to such light.

Other conditions of light exposure may be used as required for certain applications. Such conditions should be stated if a value of light sensitivity is given. Note that light intensity above a certain level will significantly heat the detector and result in thermal effects.

6.5 *Radiation damage measurements*

Following irradiation, properties of the detector may be affected and each test may have to be repeated. To obtain meaningful data, it is important that all the following be recorded:

- 1) Test data obtained before irradiation.
- 2) Type and energy of radiation, flux and fluence.
- 3) Detector temperature, bias voltage and ambient conditions during irradiation.
- 4) Time between termination of irradiation and commencement of tests, and detector conditions in the intervening period.

* It shall have the same bulb and filament configurations and meet all other specifications of ANSI designation ENH or equal.

7. Autres mesures

7.1 Caractéristiques courant-tension

On effectue une mesure point par point du courant inverse de fuite en fonction de la tension V_p de polarisation du détecteur, à température constante (voir figure 10).

Les points correspondant successivement à la croissance et à la décroissance de la tension devront être enregistrés en même temps. Les variations de la tension devront être effectuées lentement pour mettre en évidence tout effet d'hystérésis.

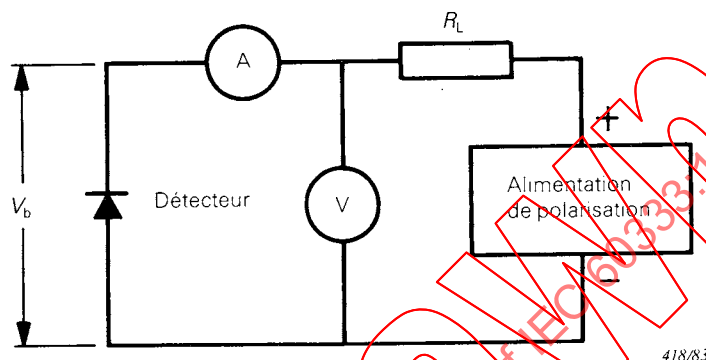


FIG. 10. - Mesure de la caractéristique courant-tension du détecteur.

7.2 Perte d'énergie dans la zone morte

Un faisceau de particules lourdes monoénergétiques ionisantes est envoyé sur un détecteur dont on veut mesurer la zone morte. Le total de l'énergie perdue dans la région de la zone morte doit être d'une si faible partie de l'énergie totale qu'elle ne saurait être significative dans l'élargissement du spectre. Les particules doivent être collimatées dans un demi-angle ne dépassant pas 5° et orientées de façon à pénétrer dans le détecteur normalement à sa surface. On relève alors un spectre. Puis on fait tourner le détecteur d'un angle θ et on relève un autre spectre. En utilisant le générateur d'impulsions de référence, on peut déterminer l'origine de l'échelle d'énergie et par conséquent la différence en énergie δE des deux spectres. A partir de cette différence, la perte effective d'énergie par les particules utilisées peut être aussi évaluée. Les particules α de 5,48 MeV émises par le ^{241}Am sont proposées en référence, encore que d'autres types de particules d'énergies différentes puissent être également employés.

Si la perte d'énergie spécifique dans la zone morte est sensiblement constante, l'énergie perdue dans la zone morte par des particules d'incidence normale à celle-ci est donnée par:

$$\text{PZMN} = \delta E \frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \quad (14)$$

où:

PZMN = perte d'énergie dans la zone morte pour l'incidence normale

δE = différence d'énergie, en MeV, entre les mesures à incidence normale et après rotation d'un angle θ

θ = angle de rotation du détecteur pour une incidence oblique des particules (45° est une valeur recommandée pour θ)

7. Other measurements

7.1 Current-voltage characteristics

A point-by-point measurement is made of the reverse bias leakage current as a function of the detector voltage V_b at a constant temperature (see Figure 10).

Both the points corresponding to successively increasing and successively decreasing voltage should be recorded. The voltage changes should be made slowly enough to exhibit any hysteresis effects.

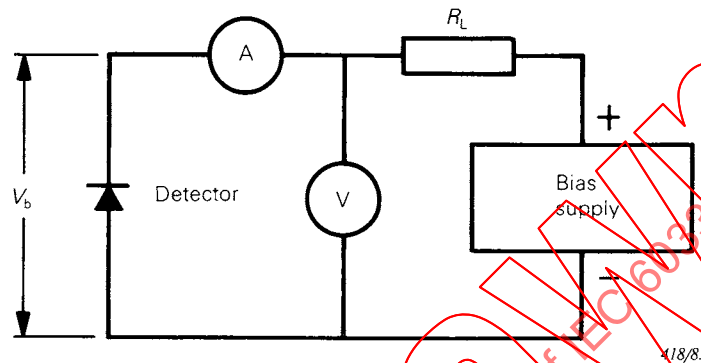


FIG. 10. - Detector current-voltage characteristic measurement.

7.2 Dead layer energy loss

A beam of monoenergetic heavy ionizing particles is caused to impinge upon a detector whose dead layer is to be measured. The amount of energy lost in the dead layer region shall be such a small part of the total energy that there is no significant spectral broadening. The particles shall be collimated to a semi-angle not exceeding 5° and oriented so that the incident particles enter the detector normal to the surface. A spectrum is then obtained. The detector is subsequently rotated by an angle θ and another spectrum is obtained. Using the reference pulse generator, the energy origin of the multichannel analyzer and hence the energy difference δE between the two spectra can be determined. From this difference, the effective energy loss for the particles used in the test may be determined. The 5.48 MeV α particles emitted by ^{241}Am are suggested as a standard, although other particle types and energies may be used.

If the specific energy loss within the dead layer is essentially constant, the energy lost in the dead layer by particles at normal incidence is given by:

$$\text{DLLN} = \delta E \frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \quad (14)$$

where:

DLLN = dead layer energy loss at normal incidence

δE = energy difference, in MeV, between measurements at normal incidence and after a rotation through angle θ

θ = angle of rotation of detector for non-normal incidence of particles (45° is a recommended value for θ)

Comme l'énergie perdue dans la zone morte dépend de la tension de polarisation du détecteur, cette tension devra être précisée. Pour les détecteurs à transmission, les mesures doivent être exécutées à la fois pour les faces d'entrée et de sortie. La méthode n'est applicable qu'aux détecteurs de particules chargées dont la zone désertée a une profondeur supérieure au parcours de la particule incidente et si la résolution en énergie l'autorise.

7.3 Surface sensible

Tout en contrôlant le courant de fuite du détecteur, on parcourt sa surface avec un pinceau lumineux. Les bords de la zone sensible peuvent être définis par la limite au-delà de laquelle le courant photo-électrique décroît d'environ 10%. Le diamètre du pinceau lumineux doit être petit en comparaison des dimensions de la surface sensible et l'intensité lumineuse suffisante pour que le courant photo-électrique soit grand par rapport au courant de fuite. Pour les détecteurs ayant une fenêtre d'entrée opaque, les bords de la zone sensible peuvent être déterminés en utilisant un faisceau collimaté de particules chargées lourdes monoénergétiques et en prenant, par définition, la limite de cette zone comme étant celle au-delà de laquelle la LMH du pic du spectre double en valeur.

La surface sensible, indépendamment de sa délimitation, peut être évaluée en exposant le détecteur à un flux de particules lourdes chargées et en mesurant le taux de comptage avec ou sans collimateur de dimensions connues.

7.4 Epaisseur sensible (semicteur à transmission)

Une source radioactive est employée pour produire un étroit faisceau collimaté de photons monoénergétiques (rayons X ou γ de basse énergie). On doit prendre les dispositions nécessaires pour déterminer la position du détecteur de particules chargées dans ce faisceau. Le faisceau doit également arriver sur un détecteur faisant partie d'un système de spectroscopie de photons de basse énergie. Un détecteur à haute résolution est nécessaire pour diminuer les effets de rayonnement diffusés au moment de la mesure. L'intensité du rayonnement, d'après la raie intéressante, arrivant sur le détecteur est mesurée avec et sans présence du détecteur de particules chargées.

L'épaisseur est alors déterminée d'après l'atténuation par le détecteur de particules chargées de l'énergie spécifique des photons utilisés. Cette technique peut être employée pour mesurer l'uniformité de l'épaisseur au moyen d'un faisceau fortement collimaté. L'appariement de l'énergie des photons à l'épaisseur du détecteur de particules chargées doit être tel que l'on parvienne à une atténuation comprise entre 15% au moins et 85% au plus. Les raies de 6,4 keV, 14,4 keV et 122 keV du ^{57}Co sont souvent employées pour cette mesure. On doit noter que la technique d'atténuation par rayons X donne la mesure de l'épaisseur effective totale du détecteur et non celle de son épaisseur sensible.

Cette mesure d'épaisseur peut être effectuée sans dommage pour les appareils du commerce. Des techniques plus simples sont possibles au cours de la fabrication.

7.5 Caractéristiques capacité-tension

La capacité d'un détecteur peut être mesurée en fonction de sa tension de polarisation à l'aide d'un pont alternatif. Le pont doit fonctionner dans la gamme 10^3 Hz à 10^5 Hz. Pour chaque valeur de la polarisation, l'amplitude crête à crête du signal alternatif appliqué au détecteur ne doit pas dépasser 10% de la valeur de la tension continue de polarisation ou 10% de la tension de la bande interdite; on doit prendre la plus petite des deux valeurs.

Since the dead layer energy loss may depend on the detector bias voltage, this voltage should be stated. For transmission detectors, the measurement shall be performed for both the entrance and exit faces. The method is applicable only to charged-particle detectors with a depletion depth exceeding the incident particle range and if the energy resolution permits.

7.3 Sensitive area

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 shall 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 in value.

The sensitive area, without regard to delineation, may be measured by exposing the detector to a known flux of heavy charged particles and measuring the counting rate with and without a collimator of known dimensions.

7.4 Detector thickness (transmission detectors)

A radioactive source is used to provide a narrow collimated beam of monoenergetic photons (X-rays or low energy γ -rays). Provision shall be made to determine the location of the charged-particle detector in this beam. The beam shall also be incident upon a detector which is part of a low energy photon spectroscopy system. A high resolution detector is needed to minimize the effect of scattered radiation on this measurement. The intensity of the radiation, from the line of interest, incident on the photon detector is measured both with and without the presence of the charged particle detector.

Thickness is then determined from the attenuation by the charged-particle detector of the specific photon energy employed. This technique may be used to measure thickness uniformity by using a narrow collimated beam. The matching of photon energy to charged-particle detector thickness should be such that at least 15% but no more than 85% attenuation is achieved. The 6.4 keV, 14.4 keV and 122 keV lines from ^{57}Co are frequently useful for this measurement. It shall be noted that the X-ray attenuation technique measures the total effective detector thickness and not the detector sensitive thickness.

This thickness measurement can be performed non-destructively on finished devices. During the manufacturing process, simpler techniques are feasible.

7.5 Capacitance-voltage characteristics

The capacitance of a detector as a function of detector bias can be measured by using an a.c. bridge. The bridge should operate in the range 10^3 Hz to 10^5 Hz. At each value of applied bias the peak-to-peak a.c. signal amplitude applied to the detector shall not exceed 10% of the d.c. bias voltage or 10% of the band gap voltage, whichever is the smaller. The detector temperature, bias voltage and environment shall be recorded.

On doit relever la température du détecteur, la tension de polarisation et les conditions d'environnement. La courbe caractéristique capacité-tension peut être tracée en coordonnées logarithmiques. Des résistances en série, résultant probablement de matériau de base insuffisamment déserté de la diode, peuvent conduire à d'importantes erreurs dans les valeurs de la capacité obtenues par cette technique. Cette mesure a tendance à être sujette à l'erreur due aux effets de surface aux basses fréquences du pont. Les erreurs introduites par les capacités parasites peuvent être réduites au minimum par une mesure à trois bornes.

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60333:1983

Withdrawn

A log-log plot may be used to display the capacitance-voltage characteristics. Series resistance, possibly resulting from undepleted base material in the diode, can lead to significant errors in the capacitance values obtained by this technique. This measurement tends to be more susceptible to error from surface effects at low bridge frequencies. Errors caused by stray capacitance can be minimized by using a three-terminal measurement.

ANNEXE A

SYMBOLES ET GLOSSAIRE

A1. Symboles

C	= capacité électrique
C_c	= condensateur étalonné utilisé pour coupler un générateur d'impulsions à l'entrée du système
C_{eff}	= capacité d'entrée du préamplificateur
C_f	= capacité de contre-réaction dans la boucle d'intégration du préamplificateur sensible à la charge
C_t	= capacité totale à l'entrée du préamplificateur
D	= distance de la première image de fente mesurée le long de la surface sensible du détecteur (l'image est formée par le rayonnement ionisant traversant un masque à fentes employé pour mesurer la linéarité de position; la première fente est située du côté de l'extrémité du détecteur mise à la terre)
D_i	= distance D entre l'image de la première fente et la $i^{\text{ème}}$ fente mesurée le long de la surface sensible du détecteur (l'indice de rang i varie de $i = 0$ à $i = m$; ainsi $D_0 = 0$ et D_m est la distance comprise entre les deux fentes extrêmes)
δE	= différence en énergie mesurée dans la zone morte
Δ	= largeur à mi-hauteur (LMH) d'un spectre de pic
ε	= énergie moyenne nécessaire à la création d'une paire d'électron-trou dans un semicteur
e	= charge de l'électron
e_{be}	= valeur efficace équivalente d'une tension de bruit rapportée à l'entrée du préamplificateur
L_p	= non-linéarité intégrale en position, d'un détecteur d'impact
N, N_i	= numéro du canal utilisé pour représenter la perte énergétique de l'énergie E_i dans le détecteur
Q	= charge électrique
R	= résistance
R_c	= résistance de charge du détecteur
S	= nombre de canaux du spectre obtenu dans un analyseur multicanal pour déterminer la résolution et la linéarité de position du détecteur d'impact
S_i	= numéro du canal du pic de la $i^{\text{ème}}$ position correspondant à une position sur le détecteur d'impact équipé d'un masque à fentes (l'indice i varie de $i = 0$ à $i = m$)
T	= température absolue (K)
t	= temps
t_c	= temps de collection des charges dans un détecteur
t_o	= temps de montée d'un détecteur dû à la combinaison des effets du temps de collection des charges et du temps de montée électronique
t_d	= temps de décroissance de l'impulsion (de 90% à 10% de sa valeur de crête)
t_p	= temps de croissance jusqu'au maximum de l'impulsion
t_m	= temps de montée de l'impulsion (de 10% à 90% de sa valeur de crête)
t_t	= temps de décroissance de la traînée de l'impulsion
τ	= constante de temps
τ_d	= constante de temps de décroissance d'une impulsion
V	= tension
V_a	= amplitude de l'impulsion à la sortie de l'amplificateur
V_p	= tension de polarisation du détecteur

- V_g, V_{gi} = tension de sortie d'un générateur d'impulsions de précision et celle qui correspond à l'énergie E_i
 V_s = amplitude en tension du signal de sortie d'un amplificateur lors de la mesure de sa linéarité
 ΔD_{MAX} = valeur maximale observée pour la différence entre une valeur de D_i et la valeur de D au point (D_i, S_i) sur la droite reliant l'ensemble des points (D_i, S_i)
 ΔD_P = LMH de la résolution de position en unités de longueur
 ΔE_A = LMH, due au bruit de l'amplificateur, exprimée en unités d'énergie
 ΔE_D = LMH, due au bruit du détecteur, exprimée en unités d'énergie
 ΔE_E = LMH, due au bruit électronique sans la contribution du bruit du détecteur, exprimée en unités d'énergie
 ΔE_0 = LMH, due à tous les facteurs autres que le bruit électronique, exprimée en unités d'énergie
 ΔE_S = LMH, provenant de la mesure de la résolution du spectre d'énergie, exprimée en unités d'énergie
 ΔE_T = LMH due aux effets combinés des bruits du détecteur et de l'amplificateur, exprimée en unités d'énergie
 ΔN_A = LMH, due au bruit de l'amplificateur, exprimée en nombre de canaux
 ΔN_D = LMH due au bruit du détecteur exprimée en nombre de canaux
 ΔN_E = LMH, due au bruit électronique sans la contribution du bruit du détecteur, exprimée en nombre de canaux
 ΔN_0 = LMH, due à tous les facteurs autres que le bruit électronique exprimée en nombre de canaux
 ΔN_P = LMH, d'un pic issu des signaux correspondant à une fente déterminée du détecteur d'impact exprimée en nombre de canaux
 ΔN_S = LMH provenant de la mesure de la résolution du spectre d'énergie exprimée en nombre de canaux
 ΔN_T = LMH due aux effets combinés des bruits du détecteur et de l'amplificateur exprimée en nombre de canaux
 ΔQ_A = LMH due au bruit de l'amplificateur, exprimée en unités de charge
 ΔQ_D = LMH due au bruit du détecteur, exprimée en unités de charge
 ΔQ_E = LMH due au bruit électronique sans la contribution du bruit du détecteur exprimée en unités de charge
 ΔQ_T = LMH due aux effets combinés des bruits du détecteur et de l'amplificateur exprimée en unités de charge
 Δt = durée d'une impulsion; intervalle de temps entre les points à mi-amplitude
 ΔX_S = LMH d'un rayonnement incident monoénergétique, exprimée en nombre de canaux, incluant tous les effets élargissants du spectre
 E, E_i = énergie d'une particule ou d'un rayonnement (ou rayonnement ayant une énergie spécifique E_i , où i est un nombre entier, 1, 2, ...)
- ΔV_e = différence de tension du signal correspondant à la non-linéarité de l'amplificateur
 V_p, V_{pi} = amplitude d'un échelon de tension du générateur d'impulsion appliqué au condensateur étaloné C_c , et amplitude correspondant à l'énergie E_i
 X, X_i = numéro du canal, et numéro du canal correspondant à l'énergie E_i
 Z_0 = impédance caractéristique

A2. Glossaire

Amplificateur à fenêtre

Voir amplificateur linéaire à seuil.

Amplificateur linéaire à seuil

Amplificateur ne donnant aucun signal en sortie pour tous les signaux incidents qui sont

inférieurs à un seuil et ayant un gain incrémental constant pour tous ceux qui lui sont supérieurs jusqu'à une amplitude maximale spécifiée.

Bande interdite

Différence énergétique entre le niveau d'énergie du bas de la bande de conduction et le niveau d'énergie du haut de la bande de valence.

Barrière de contact Schottky

Structure de contact d'un métal semi-conducteur dont les propriétés de redressement dépendent fortement des différences du travail d'extraction dans les matériaux. Ces contacts utilisent souvent un composé métal/semiconducteur d'interface (par exemple un siliciure).

Canal superficiel (d'un semicteur)

Zone étroite de la surface d'un semicteur de conductivité de type P ou N, créée par un champ électrique dû, par exemple, à la charge superficielle piégée.

Capacité (d'un semicteur)

Capacité entre les bornes d'un semicteur mesurée avec des signaux faibles dans des conditions de polarisation et de fréquence spécifiées (Publication 340 de la CEI).

Claquage (d'une jonction polarisée en inverse)

Transition d'un état de haute résistance dynamique vers un état de résistance dynamique nettement plus faible, lorsque la grandeur de la tension inverse augmente (VEI 391-10-50).

Claquage par avalanche (d'une jonction)

Claquage provoqué par la multiplication cumulative des porteurs de charges dans un semi-conducteur sous l'action d'un champ électrique qui communique à des porteurs de charges un gain d'énergie suffisant pour libérer de nouvelles paires d'électron-trou (VEI 391-10-51).

Constante de temps de décroissance

Temps nécessaire pour que l'amplitude vraie d'une onde exponentielle unique décroisse jusqu'à $1/e$ de sa valeur (Publication 340 de la CEI).

Contact bloquant (d'un semicteur)

Contact à partir duquel la région désertée se développe dans le matériau semi-conducteur soumis à une tension de polarisation inverse.

Contact à ions implantés

Contact de détecteur constitué par une jonction obtenue par implantation ionique.

Contact de barrière de surface

Contact redresseur caractérisé par une barrière de potentiel associée à une couche d'inversion ou d'accumulation, ladite couche d'inversion ou d'accumulation étant due à une charge de surface résultant de l'existence de différences de l'état de surface ou de fonction de travail ou des deux (Publication 759 de la CEI).

Contact ohmique (d'un semicteur)

Contact purement résistant, c'est-à-dire ayant une caractéristique tension-courant linéaire tout le long de son domaine de fonctionnement (Publication 340 de la CEI).

Contact sans injection (d'un semicteur)

Contact pour lequel la densité des porteurs de charge dans le matériau semi-conducteur adjacent n'est pas changé par rapport à sa valeur d'équilibre (Publication 340 de la CEI).

Courant de fuite

Courant que le détecteur débite pour la tension de polarisation de fonctionnement en l'absence du rayonnement (VEI 391-10-14).

Création de charge d'espace (dans un semicteur)

Création thermique de porteurs de charge libres dans la zone de charge d'espace (Publication 340 de la CEI).

Déplacement de l'instant de passage (d'une impulsion)

Variation de l'instant de passage à un niveau déterminé en fonction d'une variable donnée, telle que l'amplitude (Publication 340 de la CEI).

Détecteur d'impact

Détecteur qui mesure la position de l'impact, dans une ou plusieurs dimensions, d'un rayonnement ionisant sur sa surface sensible.

Détecteur de rayonnement à barrière Schottky

Semicteur dont le contact bloquant est une barrière de contact Schottky.

Dimension active (d'un détecteur d'impact)

Dimension (c'est-à-dire longueur, largeur) de la zone désertée d'un détecteur d'impact.

Dimension active utile (d'un détecteur d'impact)

Dimension (c'est-à-dire longueur, largeur) de la région d'un détecteur d'impact où les caractéristiques de résolution et linéarité sont respectées.

Discriminateur à fraction constante

Discriminateur d'amplitude pour lequel le seuil d'acceptation d'une impulsion est une fraction constante de l'amplitude de l'impulsion.

Note. - Son but est de fournir une impulsion de source retardée, par rapport à l'impulsion d'entrée d'un intervalle de temps absolument indépendant de l'amplitude de l'impulsion d'entrée (Publication 340 de la CEI).

Durée d'impulsion (impulsion de sortie d'un amplificateur)

Intervalle de temps entre les deux points d'amplitude à 50 % du maximum.

Ecrêtage

Opération de limitation - 1°) par emploi d'un filtre passe-haut (voir impulsion différenciée) ou 2°) par emploi - en non-linéaire - d'une diode limitant l'amplitude de l'impulsion.

Facteur de crête (d'un voltmètre à lecture moyenne ou efficace)

Rapport entre (1) la tension de crête qu'un voltmètre à lecture moyenne ou efficace accepterait sans être surchargé et (2) la valeur maximale de l'échelle utilisée pour la mesure (Publication 340 de la CEI).

Fenêtre (d'un semicteur)

Voir Zone morte.

Fluctuations d'énergie

Fluctuations aléatoires de la perte d'énergie des particules dues au fait que particules de même énergie initiale perdent des quantités d'énergie différentes en traversant une épaisseur donnée de matière (ce processus se traduit par un élargissement des raies spectrales) (Publication 340 de la CEI).

Forme quasi gaussienne

Forme d'impulsion obtenue par une différenciation suivie par quatre intégrations ou plus. Pour n intégrations, le circuit de mise en forme est quelquefois représenté par $CR-(RC)^n$.

Fraction constante (discriminateur à . . .)

Voir Discriminateur à fraction constante.

Géométrie du détecteur

Configuration physique d'un détecteur à l'état solide (Publication 340 de la CEI).

Impédance de charge (d'un semicteur)

Impédance shuntant le semicteur aux bornes de laquelle apparaît le signal de sortie en tension de celui-ci (Publication 340 de la CEI).

Implantation ionique

Procédé suivant lequel la projection d'un faisceau ionique énergétique sur un solide provoque une implantation d'ions dans le matériau.

Impulsion différenciée

Impulsion qui est passée à travers un circuit passe-haut, par exemple un circuit CR (Publication 340 de la CEI).

Impulsion intégrée

Impulsion qui est passée à travers un circuit passe-bas, par exemple un circuit RC ou une suite de circuits RC en cascade (Publication 340 de la CEI).

Instant de passage (d'une impulsion)

Instant auquel la courbe représentative d'une impulsion passe par un niveau déterminé (Publication 340 de la CEI).

Jonction

Zone de transition entre des régions semi-conductrices de propriétés électriques différentes ou entre un semi-conducteur et une couche superficielle de type différent. Cette zone est caractérisée par l'existence d'une barrière de potentiel qui s'oppose au passage des porteurs de charge entre les deux régions (VEI 391-10-42).

Largeur à mi-hauteur (LMH)

Dans une courbe représentant une distribution et comportant 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.

Note. - Lorsque la courbe considérée comporte plusieurs pics, il existe une largeur à mi-hauteur pour chacun des pics (d'après VEI 391-15-08).

Largeur en dixième de la hauteur (LDH)

Analogue à la largeur à mi-hauteur, mais la mesure est faite au dixième de la hauteur et non à la moitié (Publication 340 de la CEI).

LMH

Voir largeur à mi-hauteur.

LDH

Voir largeur au dixième de la hauteur.

Largeur de raie due au bruit

Contribution du bruit à la largeur à mi-hauteur d'un pic spectral (Publication 340 de la CEI).

Ligne de base (au maximum de l'impulsion)

Valeur instantanée que la tension aurait au moment du maximum de l'impulsion, en l'absence de cette impulsion (Publication 340 de la CEI).

Mise en forme CR-RC (RC-CR)

Opération de mise en forme obtenue dans un amplificateur au moyen d'un simple filtre passe-haut, d'une impédance d'isolation et d'un simple filtre passe-bas, chacun des filtres étant constitué d'un condensateur et d'une résistance.

Note. - Cette définition est établie pour ce document.

Porteur de charges

Dans un semi-conducteur, électron de conduction libre ou trou mobile (VEI 391-10-53).

Profondeur de jonction (d'un semicteur P-N)

Distance en dessous de la surface du cristal où le type de conductivité change (Publication 759 de la CEI).

PZMN

Perte d'énergie dans la zone morte pour l'incidence normale.

Raie spectrale

Partie très pointue d'un spectre correspondant à une caractéristique particulière du rayonnement incident, habituellement l'énergie d'un rayonnement monoénergétique (Publication 340 de la CEI).

Région de claquage (de la caractéristique d'une jonction)

Région entière de la caractéristique tension-courant au-delà du début du claquage lorsque la grandeur de la tension inverse augmente (Publication 759 de la CEI).

Réseau de canalisation (dans un semicteur)

Phénomène résultant d'une dépendance directionnelle cristallographique du taux de perte d'énergie des particules ionisantes.

Résistance de charge (d'un semicteur)

Résistance faisant partie de l'impédance de charge (Publication 340 de la CEI).

Résistance d'équivalence au bruit (à l'entrée d'un amplificateur ou d'un préamplificateur)

Valeur de résistance qui, appliquée à l'entrée d'un amplificateur hypothétique sans bruit, de même gain et de même largeur de bande, produirait le même bruit à la sortie.

Résistance de polarisation (d'un semicteur)

Résistance à travers laquelle la tension de polarisation est appliquée au semicteur (Publication 340 de la CEI).

Résolution en énergie (d'un semicteur)

Contribution du semicteur (comprenant le bruit dû au courant de fuite), exprimée en unités d'énergie, à la LMH de la distribution en amplitude correspondant à un spectre d'énergie (Publication 340 de la CEI).

Résolution en énergie en pourcentage (d'un semicteur)

Cent fois la résolution en énergie divisée par l'énergie pour laquelle la résolution est spécifiée (Publication 340 de la CEI).

Semi-conducteur compensé

Semi-conducteur dans lequel les effets des impuretés d'un type donné sur le nombre volumique des porteurs de charge sont partiellement ou totalement annulés par les effets des impuretés du type opposé. Un tel semi-conducteur a des propriétés voisines de celles d'un semi-conducteur intrinsèque (VEI 391-05-03).

Semi-conducteur intrinsèque (type I)

Semi-conducteur pratiquement pur dans lequel, à l'équilibre thermodynamique, les nombres volumiques des porteurs de charge de chaque signe sont à peu près égaux.

Note. – Par extension, ce terme est improprement utilisé pour désigner les semi-conducteurs compensés (VEI 391-05-02).

Semicteur (détecteur semi-conducteur)

Détecteur à ionisation utilisant un milieu semi-conducteur dans lequel un champ électrique permet la collection sur les électrodes de l'excédent des porteurs de charge produits par un rayonnement ionisant (VEI 391-08-13).

Semicteur à barrière de surface

Semicteur dans lequel la barrière de potentiel due à la jonction résulte de la création en surface d'une couche d'inversion (VEI 391-09-42).

Semicteur à jonction diffusée

Semicteur dans lequel la jonction P-N ou N-P est réalisée par diffusion d'impuretés d'un type donné dans un semi-conducteur de type opposé.

Note. – La première lettre P ou N désigne le type d'impuretés diffusées (VEI 391-09-43).

Semicteur à transmission

Détecteur totalement déserté dont l'épaisseur, comprenant les fenêtres d'entrée et de sortie, est suffisamment petite pour permettre au rayonnement de le traverser complètement.

Note. – Cette définition est établie pour la présente norme.

Semicteur compensé au lithium

Semicteur compensé dont la région compensée est obtenue en provoquant, par application d'un champ électrique, la migration d'ions lithium dans un cristal de type P de façon à compenser la charge des impuretés liées au cristal (VEI 391-09-45).

Semicteur différentiel dE/dx

Semicteur à transmission dans lequel l'épaisseur de la zone de déplétion est petite par rapport au parcours des particules incidentes dans le matériau semi-conducteur (VEI 391-09-48).

Semicteur P.I.N.

Semicteur composé d'une région intrinsèque ou presque intrinsèque entre une région de type P et une région de type N (Publication 340 de la CEI).

Semicteur totalement déserté

Semicteur dans lequel l'épaisseur de la zone de déplétion est pratiquement égale à l'épaisseur du matériau semi-conducteur (VEI 391-09-49).

Spectre (d'un rayonnement ionisant)

Distribution des valeurs d'une grandeur caractéristique d'un rayonnement, en général lié à l'énergie, par exemple le débit d'émission en fonction de l'énergie des particules émises (VEI 391-15-07).

Temps d'atteinte de crête (de l'impulsion de sortie d'un amplificateur)

Intervalle de temps entre les points d'amplitude 1% et 100% sur le front de montée d'une impulsion sans plateau. Pour une impulsion à plateau, c'est l'intervalle de temps entre le point d'amplitude 1% et le point milieu du plateau.

Temps de collection des charges (d'un semicteur)

Par convention, temps nécessaire pour que le courant intégré dû aux charges collectées dans le semicteur à la suite du passage d'une particule ionisante passe de 10% à 90% de sa valeur finale (VEI 391-10-59).

Temps de descente d'une impulsion (t_d)

Temps séparant les instants auxquels la valeur instantanée du front arrière de l'impulsion atteint des limites supérieure et inférieure spécifiées, c'est-à-dire 90% et 10% de l'amplitude, sauf spécifications différentes.

Note. – Dans le cas où on applique une fonction échelon à un amplificateur qui a une simple mise en forme CR-RC, c'est-à-dire un filtre passe-haut et un filtre passe-bas RC ayant les mêmes constantes de temps, le temps de décroissance est donné par $t_f = 3,36 CR$ (Publication 340 de la CEI).

Temps de montée d'une impulsion (t_m)

Temps séparant les instants auxquels la valeur instantanée du front avant de l'impulsion atteint des limites inférieure et supérieure spécifiées, c'est-à-dire 10% et 90% de l'amplitude sauf spécifications différentes.

Note. – Dans le cas où on applique une fonction échelon à un filtre passe-bas RC, le temps de montée est donné par $t_m = 2,2 RC$. Dans le cas où on applique une fonction échelon à un amplificateur qui a une simple mise en forme RC-CR, c'est-à-dire un filtre passe-haut et un filtre passe-bas ayant les mêmes constantes de temps, le temps de montée est donné par $t_m = 0,57 RC$ (Publication 340 de la CEI).

Temps de la trainée (d'une impulsion de sortie d'un amplificateur)

Intervalle de temps entre les points d'amplitude 100% et 1% de la trainée d'une impulsion sans plateau. Pour une impulsion à plateau, c'est l'intervalle de temps entre le point milieu du plateau et le point de l'amplitude 1%.

Tension de claquage (d'une jonction)

Tension mesurée à un courant déterminé dans la région de claquage (Publication 759 de la CEI).

Tension de déplétion totale (d'un semicteur)

Tension inverse à partir de laquelle la zone de déplétion s'étend pratiquement à toute l'épaisseur du semi-conducteur (VEI 391-10-58).

Tension de polarisation (d'un semicteur)

Tension appliquée au semicteur pour produire le champ électrique permettant de collecter les charges des signaux (Publication 340 de la CEI).

Zone de charge d'espace (d'un semicteur)

Zone dans laquelle la densité de charge nette est très différente de zéro (voir également Zone de déplétion) (Publication 340 de la CEI).

Zone de déplétion ou zone désertée (d'un semicteur)

Région d'un semicteur qui constitue son volume utile. La plus grande partie de l'énergie perdue par les particules dans cette région peut contribuer à la formation du signal (VEI 391-10-56).

Zone inactive (d'un semicteur)

Région d'un semicteur dans laquelle la charge créée par le rayonnement ionisant ne contribue pas de façon significative à la charge du signal (Publication 340 de la CEI).

Zone morte (d'un semicteur)

Région d'un semicteur dans laquelle aucune partie notable de l'énergie perdue par les particules ne peut contribuer à la formation du signal (VEI 391-10-55).

APPENDIX A

SYMBOLS AND GLOSSARY

A1. Symbols

C	= electrical capacitance
C_c	= calibrated capacitor used to couple a pulse generator to circuit under test
C_{eff}	= effective input capacitance of a preamplifier
C_f	= feedback capacitance in the charge-sensitive loop of a preamplifier
C_t	= total capacitance at preamplifier input
D	= perpendicular distance from the first slit image measured along the surface of a position-sensitive detector. (The image is formed by ionizing radiation passing through a mask with slits used to measure positional linearity. The first slit is at the grounded end of the detector.)
D_i	= distance D between the images of the first slit and the i th slit measured along the surface of a position-sensitive detector. (The index i ranges from $i = 0$ to $i = m$ such that $D_0 = 0$ and D_m is the distance between the two outermost slits used.)
δE	= energy difference in dead layer measurement
Δ	= full width at half maximum (FWHM) of a spectral peak
ϵ	= the average energy required to form one hole-electron pair in a semiconductor detector
e	= the charge of the electron
e_{no}	= equivalent root-mean-square noise voltage referred to the preamplifier input
L_p	= integral nonlinearity in position of a position-sensitive detector
N, N_i	= channel number used to represent energy loss in detector of energy E_i
Q	= electric charge
R	= electrical resistance
R_L	= detector load resistor
S	= channel number for a multichannel analyzer spectrum obtained to check the positional resolution and linearity of position-sensitive detectors
S_i	= peak channel number of the i th position peak generated by a position-sensitive detector when used with a mask with slits. (The index i ranges from $i = 0$ to $i = m$)
T	= absolute temperature (K)
t	= time
t_c	= charge collection time in a detector
t_o	= observed detector rise time due to the combined effects of the charge collection time and electronic rise time
t_f	= pulse fall time (90% to 10% of its peak value)
t_p	= peaking time of a pulse
t_r	= pulse rise time (10% to 90% of its peak value)
t_t	= tailing time of a pulse
τ	= time constant
τ_d	= time constant for decay of a pulse
V	= voltage
V_a	= amplitude of pulse amplifier output
V_b	= detector bias (operating) voltage
V_g, V_{gi}	= output voltage of precision pulse generator, and that corresponding to energy E_i
V_o	= amplitude of the voltage output signal of an amplifier during measurement of amplifier linearity
ΔD_{MAX}	= maximum value observed for the difference between a value of D_i and the value of D at the point (D_i, S_i) on the line fitted to the set of points (D_i, S_i)

ΔD_p	= FWHM of the position resolution in units of length
ΔE_A	= FWHM, expressed in units of energy, due to amplifier noise
ΔE_D	= FWHM, expressed in units of energy, due to detector noise
ΔE_E	= FWHM, expressed in units of energy, due to electronic noise without the detector noise contribution
ΔE_0	= FWHM, expressed in units of energy, due to all factors other than electric noise
ΔE_S	= FWHM, expressed in units of energy, derived in spectral energy resolution measurement
ΔE_T	= FWHM, expressed in units of energy, due to the combined effect of detector and amplifier noise
ΔN_A	= FWHM, expressed in channels, due to amplifier noise
ΔN_D	= FWHM, expressed in channels, due to detector noise
ΔN_E	= FWHM, expressed in channels, due to electronic noise without the detector noise contribution
ΔN_0	= FWHM, expressed in channels, due to all factors other than electric noise
ΔN_P	= FWHM, expressed in channels, of a peak generated from the position signal of a position sensitive detector
ΔN_S	= FWHM, expressed in channels, of an absorbed spectral peak used for energy resolution determination
ΔN_T	= FWHM, expressed in channels, due to the combined effect of detector and amplifier noise
ΔQ_A	= FWHM, expressed in units of charge, due to amplifier noise
ΔQ_D	= FWHM, expressed in units of charge, due to detector noise
ΔQ_E	= FWHM, expressed in units of charge, due to the electronic noise without the detector noise contribution
ΔQ_T	= FWHM, expressed in units of charge, due to the combined effect of detector and amplifier noise
Δt	= duration of a pulse; the time interval between the half amplitude points of a pulse
ΔX_S	= FWHM for monoenergetic incident radiation, expressed in channels, including all spectral broadening effects
E, E_i	= energy of a particle or radiation (or radiation having specific energy, E_i , where i is an integer, 1, 2, ...)
ΔV_e	= a voltage difference signal related to the nonlinearity of an amplifier
V_p, V_{pi}	= amplitude of the voltage step impressed on a calibrated capacitor C_c by the pulse generator, corresponding to energy E_i
X, X_i	= channel number, of channel corresponding to energy E_i
Z_0	= characteristic impedance

A2. Glossary

Active dimension (of a position-sensitive detector)

A dimension (i.e. length, width) of that region of a position-sensitive detector which is depleted.

Avalanche breakdown (of a junction)

A breakdown caused by the cumulative multiplication of charge carriers in a semiconductor under the action of a strong electric field which causes some charge carriers to gain enough energy to liberate new hole-electron pairs (field-induced impact ionization) (IEV 391-10-51).

Band gap

The difference in energy between the energy level of the bottom of the conduction band and the energy level of the top of the valence band.

Baseline (at pulse peak)

The instantaneous value that the voltage would have had at the time of the pulse peak in the absence of that pulse. (IEC Publication 340).

Bias (of a semiconductor radiation detector)

Synonymous with bias voltage.

Bias voltage (of a semiconductor radiation detector)

The voltage applied to the detector to produce the electric field to collect the signal charge (IEC Publication 340).

Biased linear amplifier

An amplifier giving essentially zero output for all inputs below a threshold and having constant incremental gain for all inputs above the threshold up to a specified maximum amplitude.

Bias resistor (of a semiconductor radiation detector)

The resistor through which bias voltage is applied to a detector (IEC Publication 340).

Blocking contact (of a semiconductor radiation detector)

That contact from which depletion proceeds into the semiconductor material under conditions of reverse bias.

Breakdown (of a reverse biased junction)

Transition from a state of high dynamic resistance to a state of substantially lower dynamic resistance for increasing magnitude of reverse voltage (IEV 391-10-50).

Breakdown region (of a semiconductor diode characteristic)

That entire region of the voltage-current characteristic beyond the initiation of breakdown for increasing magnitude of reverse current (IEC Publication 759).

Breakdown voltage (of a semiconductor diode)

The voltage measured at a specified current in the breakdown region (IEC Publication 759).

Capacitance (of a semiconductor radiation detector)

The capacitance between terminals of the detector as measured with small signals under specified conditions of bias and frequency (IEC Publication 340).

Channel, surface (of a semiconductor radiation detector)

A thin region at a semiconductor surface of p- or n-type conductivity created by the action of an electric field; e.g. that due to trapped surface charge.

Channelling, lattice (in a semiconductor radiation detector)

A phenomenon that results in a crystallographic directional dependence of the rate of energy loss of ionizing particles.

Charge carrier (abbreviation: carrier)

In a semiconductor, a free conduction electron or a mobile hole (IEV 391-10-53).

Charge collection time (of a semiconductor radiation detector)

By convention the time interval for the integrated current due to the charge collected in the semiconductor detector, after the passage of an ionizing particle, to increase from 10% to 90% of its final value (IEV 391-10-59).

Clip, clipping (jargon)

A limiting operation such as 1) use of a high-pass filter (see differentiated), or 2) a non-linear operation such as diode limiting of pulse amplitude.

Constant fraction discriminator

A pulse amplitude discriminator in which the threshold for acceptance of a pulse is a constant fraction of the peak amplitude of the pulse.

Note. – Its purpose is to produce an output pulse delayed with respect to the input pulse by a time interval essentially independent of the input pulse amplitude (IEC Publication 340).

Crest factor (of an average reading or root-mean-square voltmeter)

The ratio of (1) the peak voltage value that an average reading or root-mean-square voltmeter will accept without overloading to (2) the full scale value of the range being used for measurement (IEC Publication 340).

Cross-over time (of a pulse)

The instant at which the waveform of a bipolar pulse passes through a designated level (IEC Publication 340).

Cross-over walk (of a pulse)

The variation of the cross-over time for some variable, such as amplitude (IEC Publication 340).

CR-RC shaping

The pulse shaping present in an amplifier that has a simple high-pass filter and a low-pass filter, each consisting of a capacitor and a resistor, with the filters, separated by impedance isolation.

Note. – This definition is for use with this document.

Dead layer (of a semiconductor detector)

An inactive region (layer) in which the energy absorbed from the passage of monoenergetic charged particles does not significantly contribute to the resulting full energy peak (IEV 391-10-55).

Decay time constant

The time for a true single-exponential waveform to decay to $1/e$ of the original step height (IEC Publication 340).

Depletion layer (in a semiconductor detector)

A layer of a semiconductor detector which constitutes its sensitive volume. Most of the energy lost by the particles in this region can contribute to the resulting signal.

Depletion region (in a semiconductor)

A region in which the charge-carrier charge density is insufficient to neutralize the net fixed charge density of ionized donors and acceptors. In a diode-type semiconductor radiation detector the depletion region is the sensitive region of the device (IEC Publication 340).

Depletion voltage (of a semiconductor radiation detector)

Synonymous with total depletion voltage.

Differential dE/dx semiconductor detector

A transmission semiconductor detector in which the thickness of the depletion layer is small compared to the range of the incident particles in the semiconductor material (IEV 391-09-48).

Differentiated pulse

A pulse that is passed through a high-pass network, such as a CR filter (IEC Publication 340).

Diffused junction semiconductor detector

A semiconductor detector in which the P-N or N-P junction is produced by an impurity of one type into a semiconductor of opposite type.

Note. – The first letter P or N designates the type of the diffused impurities (IEV 391-09-43).

DLLN

Dead layer energy loss at normal incidence.

Energy resolution (FWHM) (of a semiconductor radiation detector)

The detector's contribution (including detector leakage current noise), expressed in units of energy, to the FWHM of a pulse height distribution corresponding to an energy spectrum (IEC Publication 340).

Energy resolution (per cent) (of a semiconductor radiation detector)

One hundred times the energy resolution divided by the energy for which the resolution is specified (IEC Publication 340).

Equivalent noise resistance referred to input (of a linear amplifier or preamplifier)

That value of resistor which when applied to the input of a hypothetical noiseless amplifier with the same gain and bandwidth would produce the same output noise.

Fixed fraction discriminator (see constant fraction discriminator).

Full width at half maximum (FWHM)

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

Note. – If the curve considered comprises several peaks, a full width at half maximum exists for each peak (based on IEC 391-15-08).

Full width at tenth maximum (FWTM)

Same as full width at half maximum except that measurement is made at one-tenth the maximum ordinate rather than at one-half (IEC Publication 340).

FWHM (see full width at half maximum).

FWTM (see full width at tenth maximum).

Geometry, detector

The physical configuration of a solid-state detector (IEC Publication 340).

Ion implanted contact

A detector contact consisting of a junction produced by the process of ion implantation.

Ion implantation

A process in which a beam of energetic ions incident upon a solid results in the implantation of those ions into the material.

Inactive region (of a semiconductor radiation detector)

A region of a detector in which charge created by ionizing radiation does not contribute significantly to the signal charge.

Integrated pulse

A pulse that is passed through a low-pass network, such as a single RC network or a cascaded RC network (IEC Publication 340).

Intrinsic semiconductor (I-type)

An effectively pure semiconductor in which, under conditions of thermal equilibrium, the charge carrier densities of each sign are nearly equal.

Note. – By extension, this term is incorrectly used to designate compensated semiconductors (IEV 391-05-02).

Junction

A transition layer between semiconductor regions of different electrical properties, or between a semiconductor and a superficial layer of different type. This layer is characterized by a potential barrier impeding the charge carriers to move from one region to the other (IEV 391-10-42).

Junction depth (of a p-n semiconductor radiation detector)

The distance below the crystal surface at which the conductivity type changes (IEC Publication 759).

Leakage current

The total detector current flowing at the operating bias in the absence of radiation (IEV 391-10-14).

Lithium-drifted semiconductor detector

A compensated semiconductor detector in which the compensated region is obtained by causing lithium ions to move through a P-type crystal under an applied electric field in such a way as to compensate the charge of the bound impurities (IEV 391-09-45).

Load impedance (of a semiconductor radiation detector)

The impedance shunting the detector, and across which the detector output voltage signal is developed.

Load resistance (of a semiconductor radiation detector)

The resistive component of the load impedance.

Noise linewidth

The contribution of noise to the FWHM of a spectral peak (IEC Publication 340).

Non-injecting contact (of a semiconductor radiation detector)

A contact at which the carrier density in the adjacent semiconductor material is not changed from its equilibrium value (IEC Publication 340).

Ohmic contact (of a semiconductor radiation detector)

A purely resistive contact, i.e., one that has a linear voltage-current characteristic throughout its entire operating range.

Peaking time (of an amplifier output pulse)

The time between the 1% and the 100% amplitude points on the leading edge of a pulse (provided that the pulse does not have a flat top). For flat topped pulses the peaking time is defined as the time between the 1% amplitude point and the mid-point of the flat top.

*Per cent energy resolution (see energy resolution (per cent)).**p-i-n detector*

A detector consisting of an intrinsic or nearly intrinsic region between a p and an n region.

Position-sensitive detector

A detector which measures the impact position, in one or more dimensions, of ionizing radiation upon the detector surface.

Pulse fall time (t_f)

The interval between the instants at which the instantaneous value last reaches specified upper and lower limits, namely, 90% and 10% of the peak pulse value unless otherwise stated.

Note. – In the case of a step function applied to an amplifier that has simple CR-RC shaping, the fall time is given by $t_f = 3.36 CR$.

Pulse rise time (t_r)

The interval between the instants at which the instantaneous value first reaches specified lower and upper limits, namely 10% and 90% of the peak pulse value, unless otherwise specified.

Note. – In the case of a step function applied to an RC low-pass filter, the rise time is given by $t_r = 2.2 RC$. In the case of a step function applied to an amplifier that has simple CR-RC shaping, i.e., one high-pass and one low-pass RC filter of equal time constants, the rise time is given by $t_r = 0.57 RC$ (IEC Publication 340).