

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 (semitteur 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
Austria
Belgium
Bulgaria
Canada
Finland
France
German Democratic Republic
Germany
Italy

Netherlands
New Zealand
Romania
Spain
Sweden
Union of Soviet
Socialist Republics
United Kingdom
United States of America

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 dépassés, 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.

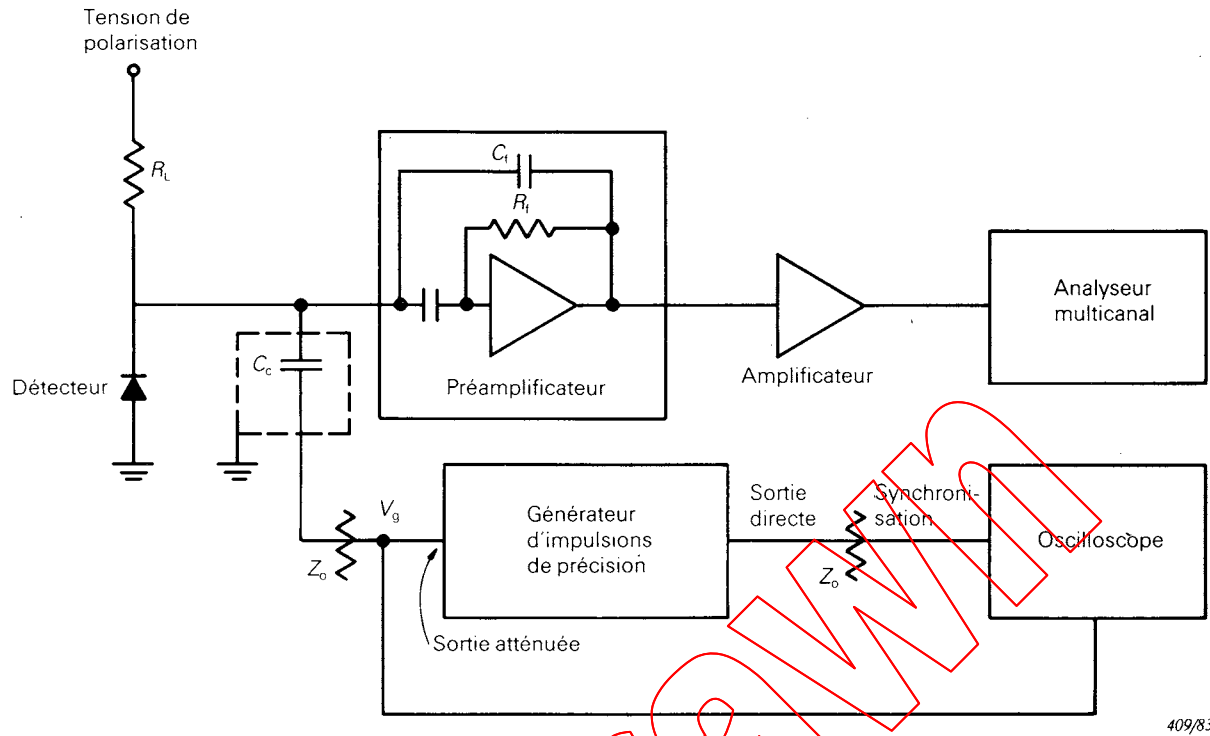


FIG. 1. - Configuration du montage pour les mesures spectrales.

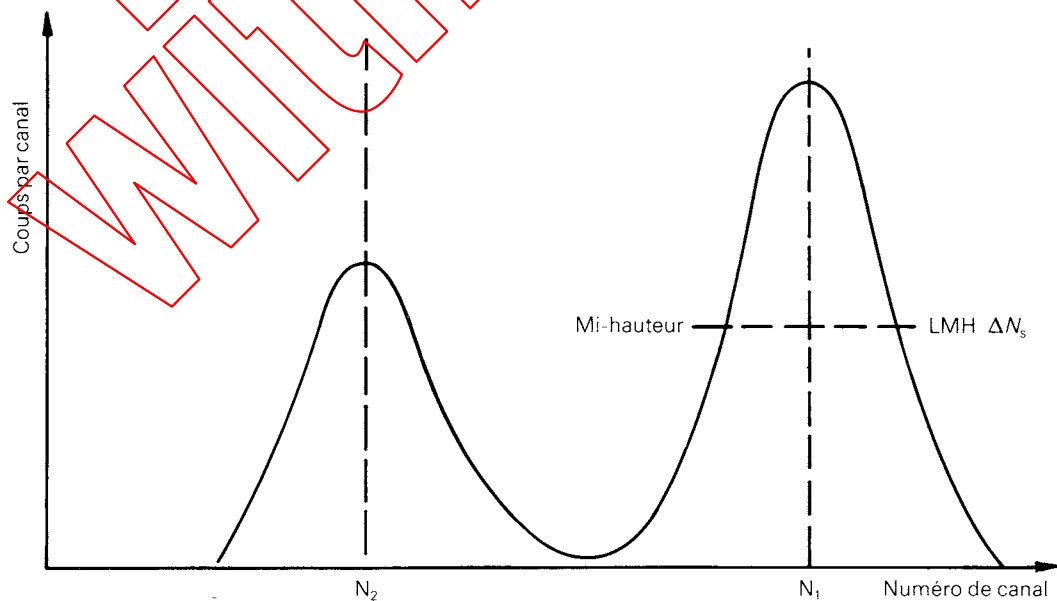


FIG. 2. - Spectre type.

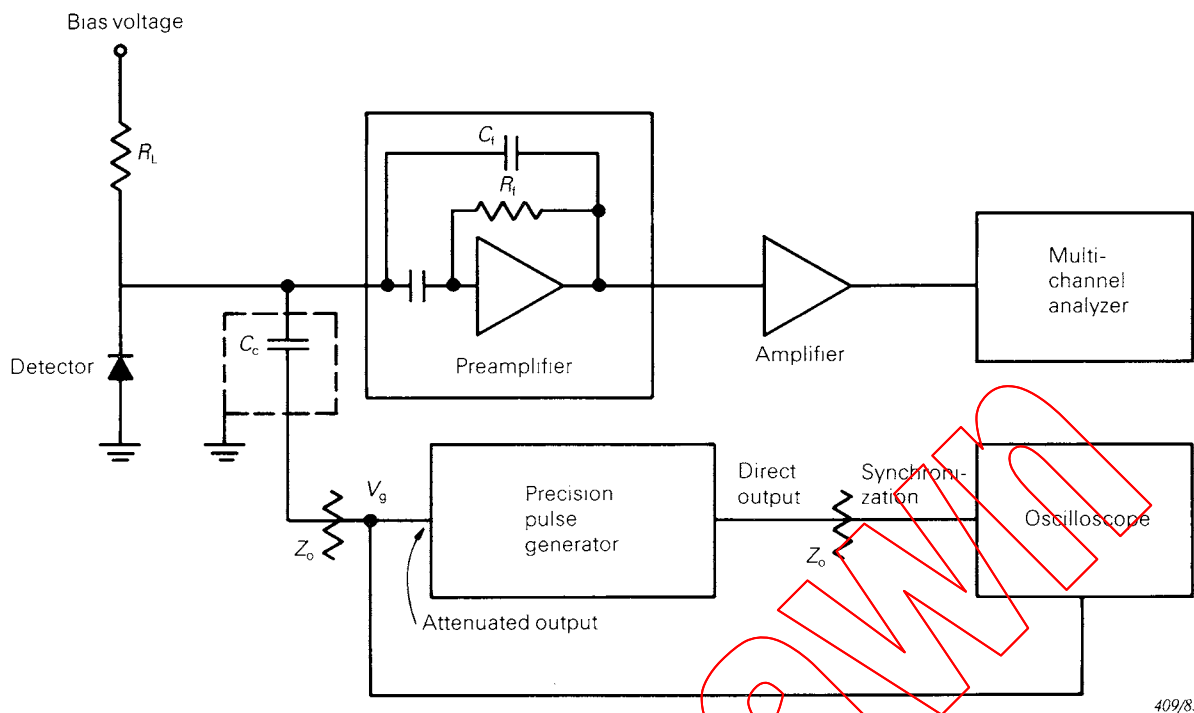


FIG. 1. - System configuration for spectral measurements.

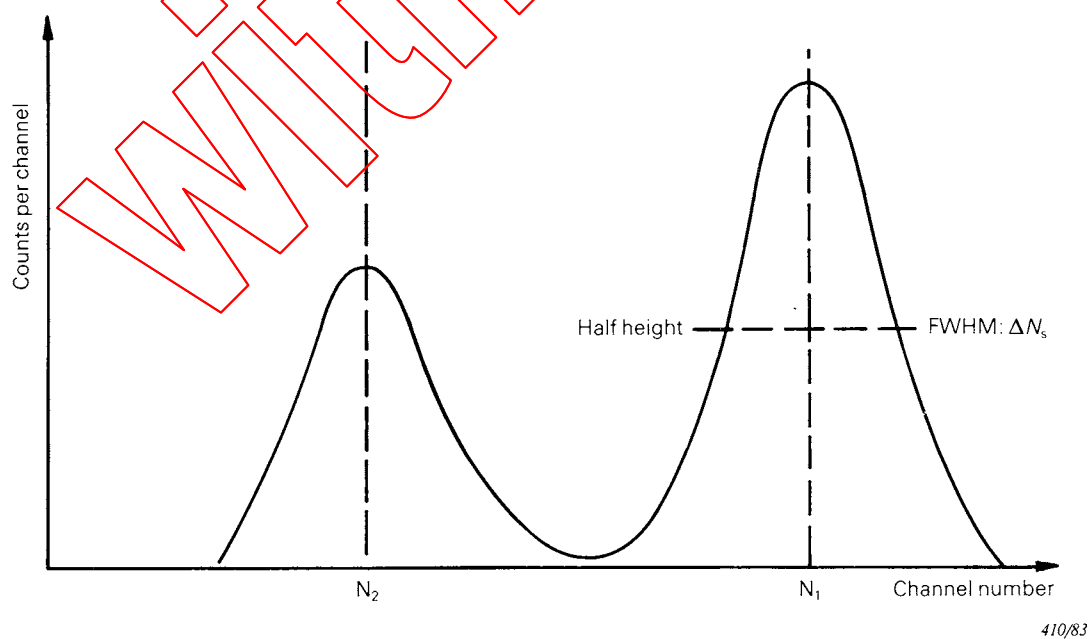


FIG. 2. - A typical spectrum.

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.

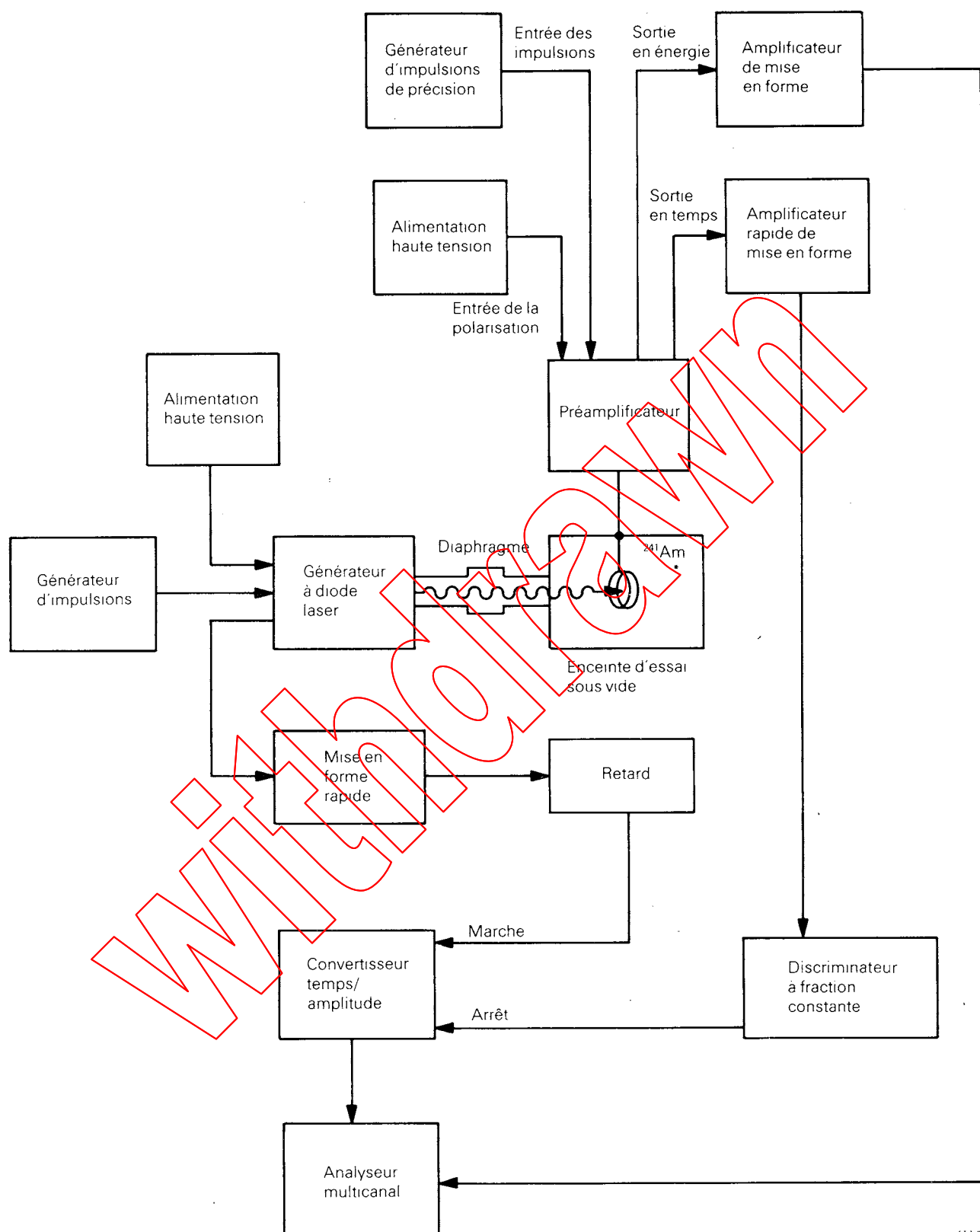
The signal from the detector preamplifier is routed through a fast shaping amplifier followed by a constant fraction discriminator. The constant fraction should be set at 20%. A shaping time delay equal to 1.1 times the pulse rise time (10% to 90%) shall be used. Shaping times should be adjusted to optimize 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.

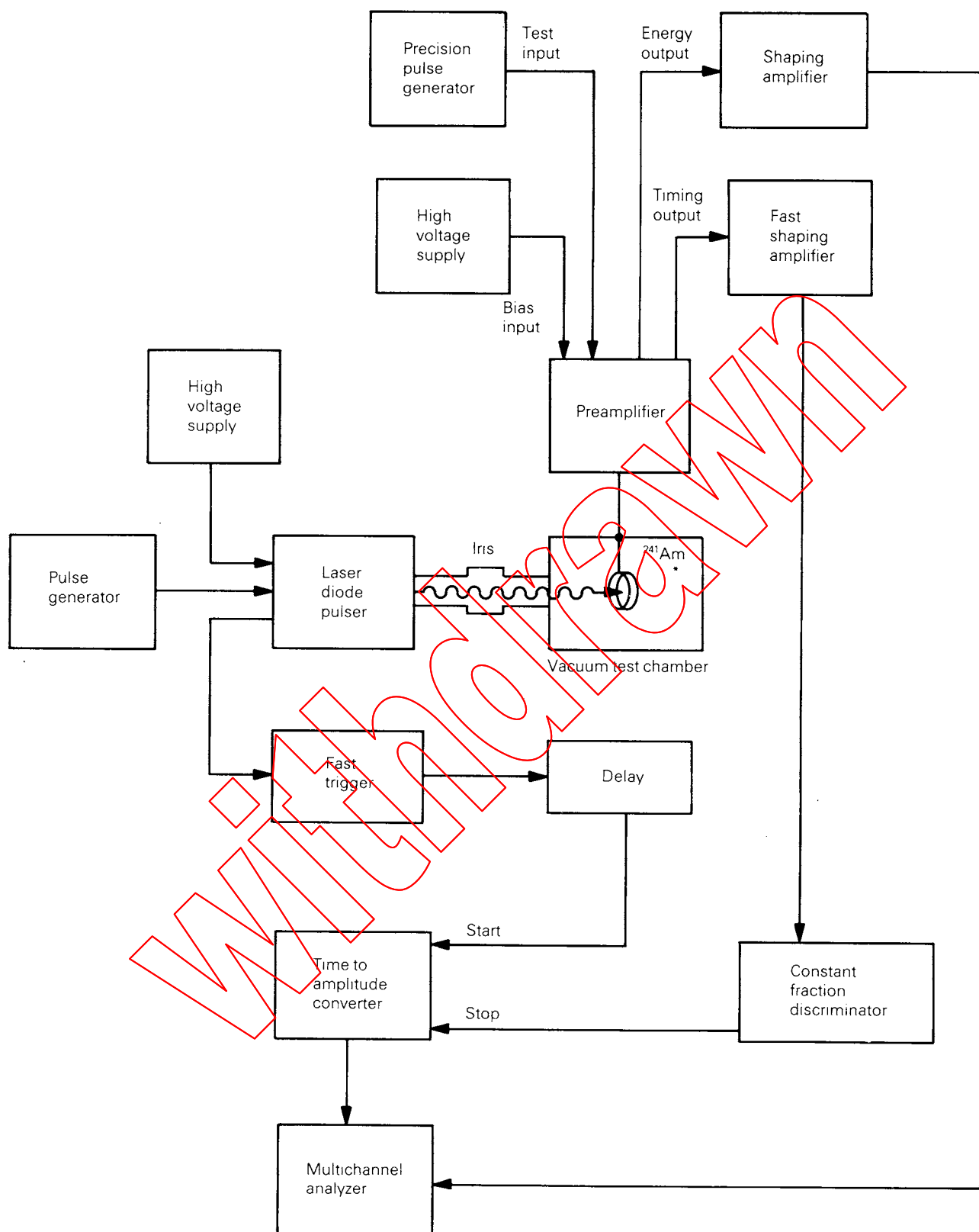
After calibrating the time axis with at least two calibrated delays, the FWHM and FWTM shall be measured and stated in units of nanoseconds. Measurements at three or more energies ranging from ≈ 1 MeV to ≈ 100 MeV, as obtained by adjustment of the Iris diaphragm (Figure 3), are recommended. (Quadrature 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.



411/83

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.

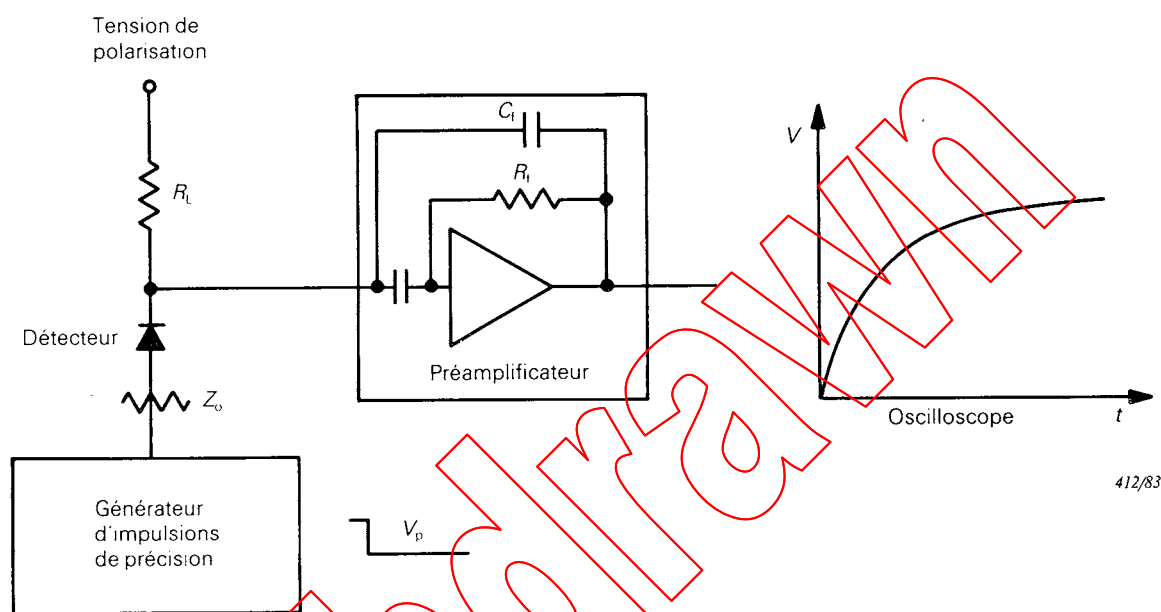


FIG. 4. - Mesure du temps de montée électrique du détecteur.

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.

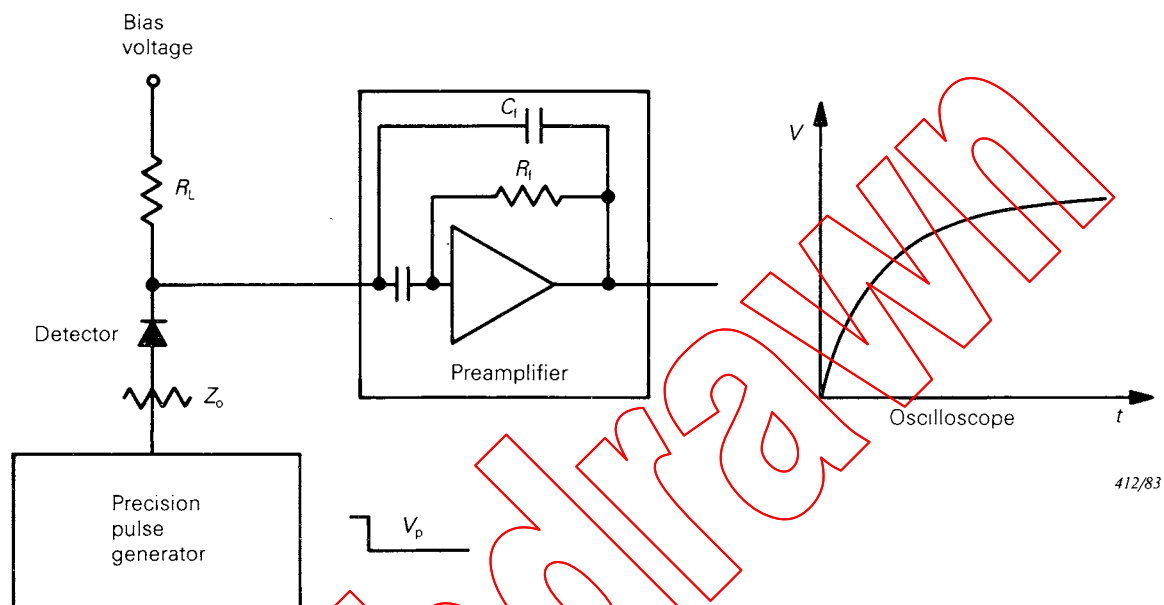


FIG. 4. - Detector electrical rise time measurement.

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.