

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD

Publication 340

Deuxième édition — Second edition

1979

**Méthodes d'essais des amplificateurs
et préamplificateurs pour semicteurs pour rayonnements ionisants**

**Test procedures for amplifiers and
preamplifiers for semiconductor detectors for ionizing radiation**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

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**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **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 (V.E.I.), 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 V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., 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.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère 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**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), 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 I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. 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.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists 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 340

Deuxième édition — Second edition

1979

**Méthodes d'essais des amplificateurs
et préamplificateurs pour semicteurs pour rayonnements ionisants**

**Test procedures for amplifiers and
preamplifiers for semiconductor detectors for ionizing radiation**

Descripteurs : mesures électriques de rayonnements ionisants, semicteurs, amplificateurs, mesure et essais.

Descriptors : electrical measurement of ionizing radiation, semiconductor detectors, amplifiers, measurement and testing.



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Page
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
SECTION UN — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES	
3. Critères de spécification (caractéristiques essentielles)	8
4. Simulation de l'impulsion fournie par un semicteur	10
5. Gain de conversion du préamplificateur	12
6. Constante de temps de décroissance de l'impulsion de sortie du préamplificateur	14
7. Mesure du gain de l'amplificateur principal	16
8. Spécifications relatives au bruit de l'amplificateur	16
9. Spécifications relatives à la non-linéarité de l'amplificateur	16
10. Spécifications relatives aux circuits de mise en forme de l'amplificateur principal	16
11. Centroïde du pic	20
12. Largeur à mi-hauteur (LMH) et largeur au dixième de la hauteur (LDH) du pic	22
13. Autre méthode pour déterminer la LMH et le centroïde du pic	22
SECTION DEUX — MESURES DE LARGEUR DE BRUIT	
14. Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions	22
15. Mesure du bruit au moyen d'un oscilloscope et d'un voltmètre de valeur efficace vraie	26
SECTION TROIS — CARACTÉRISTIQUES DE BRUIT DU PRÉAMPLIFICATEUR	
16. Bruit en fonction des circuits de mise en forme de l'amplificateur	28
17. Bruit en fonction de la charge capacitive à l'entrée du préamplificateur	28
18. Effet microphonique	28
19. Tension de polarisation maximale du semicteur	30
SECTION QUATRE — BRUIT DE L'AMPLIFICATEUR PRINCIPAL	
20. Bruit équivalent ramené à l'entrée	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
Clause	
1. Scope	9
2. Object	9
SECTION ONE — GENERAL REQUIREMENTS	
3. Specification criteria	9
4. Simulating the charge pulse of a detector	11
5. Preamplifier conversion gain	13
6. Preamplifier output pulse decay time constant	15
7. Measurement of main amplifier gain	17
8. Specifying amplifier noise	17
9. Specifying amplifier nonlinearity	17
10. Specifying main amplifier shaping	17
11. Peak centre (centroid)	21
12. Full width at half maximum (FWHM) and full width at tenth maximum (FWTM) of the peak	23
13. Alternative method for determination of FWHM and peak centre (centroid)	23
SECTION TWO — NOISE LINEWIDTH MEASUREMENTS	
14. Noise measurement by pulse height distribution	23
15. Noise measurement by oscilloscope and r.m.s. voltmeter	27
SECTION THREE — PREAMPLIFIER NOISE PERFORMANCE	
16. Noise as a function of amplifier shaping	29
17. Noise as a function of external capacitive loading at preamplifier input	29
18. Microphonics	29
19. Maximum detector bias voltage	31
SECTION FOUR — MAIN AMPLIFIER NOISE	
20. Equivalent noise referred to input	31

SECTION CINQ — LINÉARITÉ EN AMPLITUDE

Articles	Pages
21. Mesure de la non-linéarité intégrale par la méthode du pont	32
22. Non-linéarité différentielle	36
23. Amplificateur à seuil	38

SECTION SIX — INFLUENCE DU TAUX DE COMPTAGE

24. Montage d'essai	40
25. Sources de signaux et caractéristiques du système	42
26. Déplacement du pic du spectre des amplitudes	42
27. Résolution spectrale en fonction du taux de comptage	42

SECTION SEPT — INFLUENCE DE LA SURCHARGE

28. Généralités	44
29. Temps de restitution du gain de l'amplificateur	44

SECTION HUIT — INFLUENCE DU TEMPS DE MONTÉE SUR L'AMPLITUDE DES IMPULSIONS DE SORTIE

30. Généralités	46
31. Influence d'une charge capacitive à l'entrée sur l'impulsion de sortie du préamplificateur	48
32. Influence de la durée d'une impulsion de charge sur son amplitude	48

SECTION NEUF — STABILITÉ EN AMPLITUDE

33. Influence des variations de la tension du réseau d'alimentation	50
34. Influence de la température	52
35. Stabilité du gain	52

SECTION DIX — DÉPLACEMENT DE L'INSTANT DE PASSAGE

36. Déplacement en fonction de l'amplitude de sortie	52
37. Déplacement en fonction du réglage du gain	54
38. Domaine d'action du circuit de compensation pôle-zéro de l'amplification principale	54

ANNEXE — Symboles et terminologie	58-65
---	-------

SECTION FIVE — PULSE HEIGHT LINEARITY

Clause	Page
21. Integral nonlinearity measurement by the bridge method	33
22. Differential nonlinearity	37
23. Biased amplifier	39

SECTION SIX — COUNTING RATE EFFECTS

24. Experimental arrangement	41
25. Signal sources and system parameters	43
26. Pulse height distribution peak shift	43
27. Spectral resolution versus counting rate	43

SECTION SEVEN — OVERLOAD EFFECTS

28. General	45
29. Amplifier gain recovery time	45

SECTION EIGHT — PULSE HEIGHT DEPENDENCE ON RISE TIME

30. General	47
31. Input capacitive loading effects on the preamplifier output pulse	49
32. Influence of charge-pulse duration on pulse height	49

SECTION NINE — PULSE HEIGHT STABILITY

33. Line voltage variations	51
34. Temperature effects	53
35. Gain stability	53

SECTION TEN — CROSSOVER WALK

36. Crossover walk versus output amplitude	53
37. Crossover walk versus gain control setting	55
38. Range of pole-zero cancellation network in main amplifier	55

APPENDIX — Symbols and glossary	66-73
---	-------

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS DES AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS
POUR SEMICTEURS POUR RAYONNEMENTS IONISANTS**

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. Elle remplace la première édition de la Publication 340 (1970) et 340A (1974). Cette révision fut discutée lors de la réunion de Baden-Baden en mars 1977. A la suite de cette réunion, le document 45(Bureau Central)109 fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1977.

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

Afrique du Sud (République d')

Allemagne

Australie

Belgique

Canada

Etats-Unis d'Amérique

Finlande

France

Italie

Japon

Pays-Bas

Pologne

Portugal

Royaume-Uni

Suède

Suisse

Turquie

Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

Publications n°s 333: Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants.

430: Méthodes d'essais des semicteurs gamma au germanium.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURES FOR AMPLIFIERS AND PREAMPLIFIERS
FOR SEMICONDUCTOR DETECTORS FOR IONIZING RADIATION**

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

The present standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation. It replaces the first edition of IEC Publication 340 (1970) and 340A (1974). This revision was discussed at a meeting held in Baden-Baden in March 1977. As a result of this meeting, Document 45(Central Office)109 was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1977.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Poland
Belgium	Portugal
Canada	South Africa (Republic of)
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Italy	Union of Soviet Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 333: Test Procedures for Semiconductors for Ionizing Radiation.
430: Test Procedures for Germanium Gamma-ray Detectors.

MÉTHODES D'ESSAIS DES AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS POUR SEMICTEURS POUR RAYONNEMENTS IONISANTS

1. Domaine d'application

Les présentes méthodes d'essais s'appliquent aux amplificateurs et préamplificateurs utilisés avec les détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants (semicteurs). Les méthodes d'essais pour les détecteurs associés sont décrites dans la Publication 333: Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants, et dans la Publication 430: Méthodes d'essais des semicteurs gamma au germanium. La présente publication remplace les Publications 340, première édition (1970) et 340A (1974).

2. Objet

Etablir des méthodes normales d'essais pour les amplificateurs et les préamplificateurs utilisés avec les semicteurs.

L'emploi des semicteurs s'est largement répandu ces dernières années dans la détection des rayonnements ionisants et la spectroscopie à haute résolution. Les semicteurs au silicium ont trouvé leur principale application dans la détection et l'analyse des particules lourdes chargées des rayons X et des rayons gamma de faible énergie. Les semicteurs de grand volume au germanium se sont révélés très utiles pour la détection et l'analyse des rayons gamma. Ce développement rapide a stimulé le développement d'amplificateurs et de préamplificateurs électroniques dotés de caractéristiques permettant d'exploiter les possibilités des semicteurs. Ceci a rendu souhaitable l'établissement de méthodes d'essais normalisées, afin que les résultats des mesures puissent avoir la même signification pour tous les constructeurs et utilisateurs.

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

SECTION UN — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

3. Critères de spécification (caractéristiques essentielles)

Il convient de choisir les sous-ensembles électroniques utilisés avec les semicteurs en fonction de la totalité ou d'une partie des qualités utiles de ces détecteurs: bonne résolution, temps de montée rapide, excellente linéarité en énergie et faible mouvement propre. La qualité de tout composant d'un système électronique peut être déterminée par comparaison avec un comportement idéal. Etant donné que les informations recherchées par l'utilisateur du semicteur concernent l'amplitude des impulsions et le temps, il est raisonnable de caractériser un amplificateur par la distorsion spectrale de l'amplitude des impulsions et la distorsion en temps. Il est essentiel que les brouillages transmis par le réseau ou par rayonnement ainsi que le bruit introduit par les circuits de terre n'influencent pas les mesures de façon importante. De même, l'ondulation, le ronflement, etc., provenant de la source de polarisation du semicteur, des alimentations du préamplificateur et de l'amplificateur et d'autres sources ne doivent pas influencer le résultat des mesures de manière significative.

TEST PROCEDURES FOR AMPLIFIERS AND PREAMPLIFIERS FOR SEMICONDUCTOR DETECTORS FOR IONIZING RADIATION

1. Scope

These test procedures apply to amplifiers and preamplifiers for semiconductor detectors for ionizing radiation. Test procedures for associated detectors are described in IEC Publication 333, Test Procedures for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation, and IEC Publication 430, Test Procedures for Germanium Gamma-ray Detectors. This publication supersedes IEC Publications 340, First Edition (1970) and 340A (1974).

2. Object

To lay down standard test procedures for amplifiers and preamplifiers used with semiconductor detectors.

Semiconductor detectors have come into widespread use in recent years in the detection and high resolution spectroscopy of ionizing radiation. Silicon detectors have found their principal application in the detection and analysis of heavy charged particles, X-ray quanta and low energy gamma rays. Large volume detectors made of germanium have proved very useful in the detection and analysis of gamma radiation. The rapid development of these detectors has stimulated the development of electronic amplifiers and preamplifiers with characteristics that permit exploitation of the capabilities of the detectors. This has made desirable the establishment of standard test procedures so that measurements may have the same significance to all manufacturers and users.

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

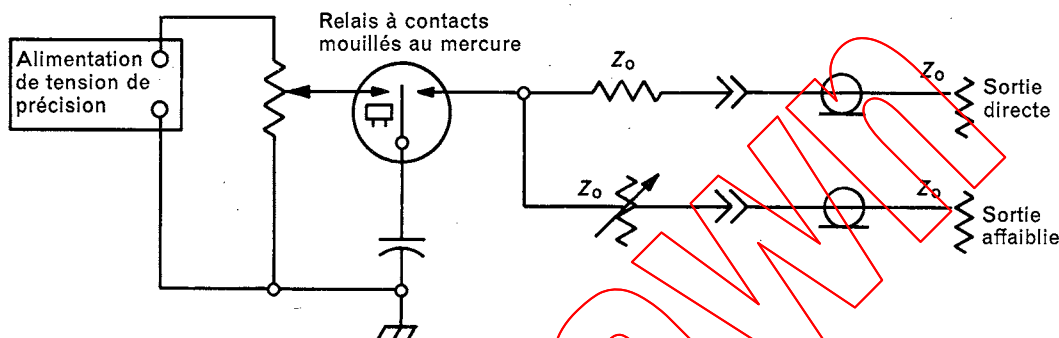
SECTION ONE — GENERAL REQUIREMENTS

3. Specification criteria

The electronics for semiconductor radiation detectors should be selected to complement some or all of the following useful characteristics of these detectors: good resolution, fast pulse rise time, excellent energy linearity, and low inherent noise. The performance of any component of an electronic system can be described in terms of its deviation from ideal behaviour. Since the detector user seeks pulse height and timing information, it is reasonable to specify amplifier performance in terms of pulse height spectral distortion and timing distortion. It is essential that line and RF interference and ground loop noise do not influence the measurements substantially. Also, ripple, hum, etc., resulting from the detector bias supply, preamplifier and amplifier power supplies and other sources shall not significantly influence the parameter measurements.

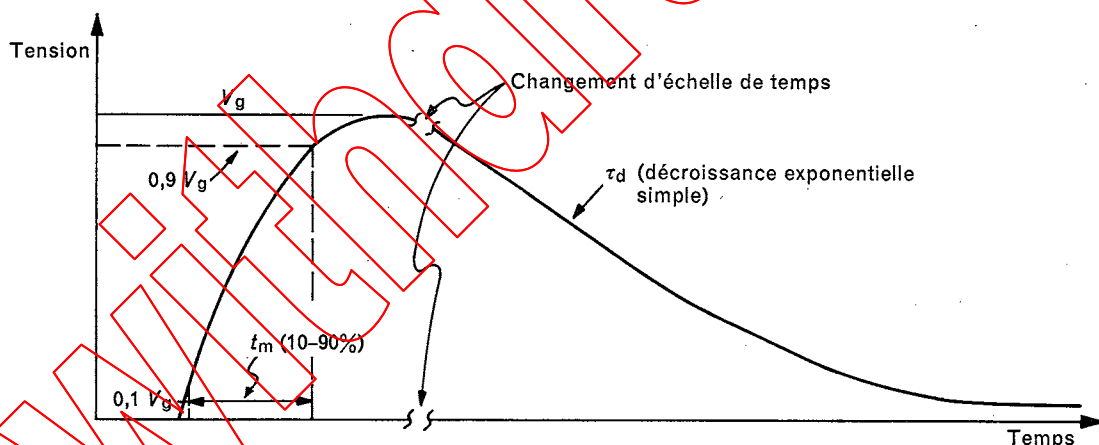
4. Simulation de l'impulsion fournie par un semicteur

Le signal de sortie d'un semicteur est constitué par une charge électrique. Cette charge correspond à une impulsion de courant de 10^{-9} à 10^{-6} s environ, dépendant de la configuration du semicteur, de la tension de polarisation, du type et de la direction de l'événement ionisant, etc. Cette impulsion de charge peut être simulée en appliquant un échelon de tension à une petite capacité connectée en série à l'entrée du préamplificateur. Un échelon de tension approprié peut être produit par un générateur d'impulsions utilisant un relais à contacts mouillés au mercure ou un générateur de caractéristiques équivalentes. Le schéma de montage d'un générateur type d'impulsion « à queue » et la forme de son impulsion de sortie sont représentés sur les figures 1 et 2.



540/78

FIG. 1. — Générateur d'impulsions de précision.



541/78

FIG. 2. — Forme du signal fourni par le générateur d'impulsions de précision.

Une impulsion de charge fournie par cette forme d'onde a deux défauts:

- 1) elle ne simule pas les effets de collection de charge dans le détecteur, et
- 2) la charge injectée dans le préamplificateur pendant le temps de montée de l'impulsion est alors enlevée pendant le temps de descente. Le retrait de cette charge produit un dépassement négatif (distorsion de la ligne de base) après chaque impulsion.

Dans un circuit comme celui de la figure 3, page 12, la charge maximale Q fournie à l'amplificateur est:

$$Q = C_e V_g \frac{1}{1 + C_e / A_o C_f}$$

4. Simulating the charge pulse of a detector

The output of a semiconductor detector is a quantity of charge. This charge amounts to a current pulse lasting from $\approx 10^{-9}$ to $\approx 10^{-6}$ s, depending upon detector geometry, bias voltage, type and orientation of ionizing event, etc. This charge pulse can be simulated by applying a voltage step to a small capacitor connected in series with the preamplifier input. A suitable voltage step can be produced by a mercury wetted contact relay type of pulse generator or a generator with equivalent characteristics. The circuit diagram of a typical "tail pulse" generator and its output pulse waveform are shown in Figures 1 and 2.

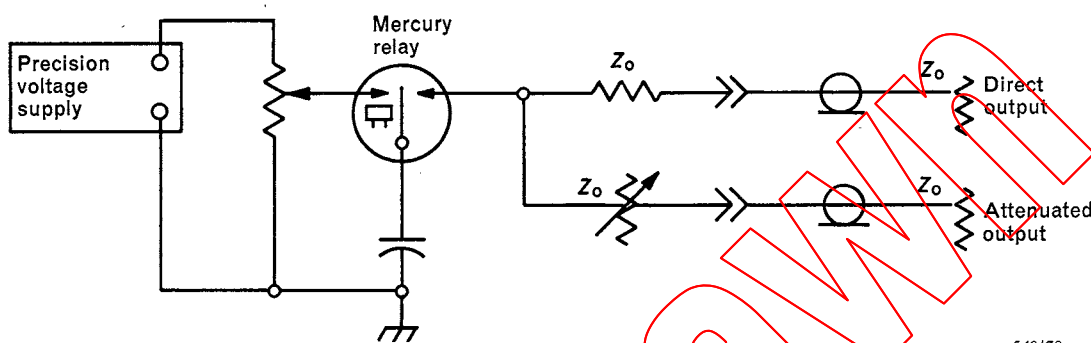


FIG. 1. — Precision pulse generator.

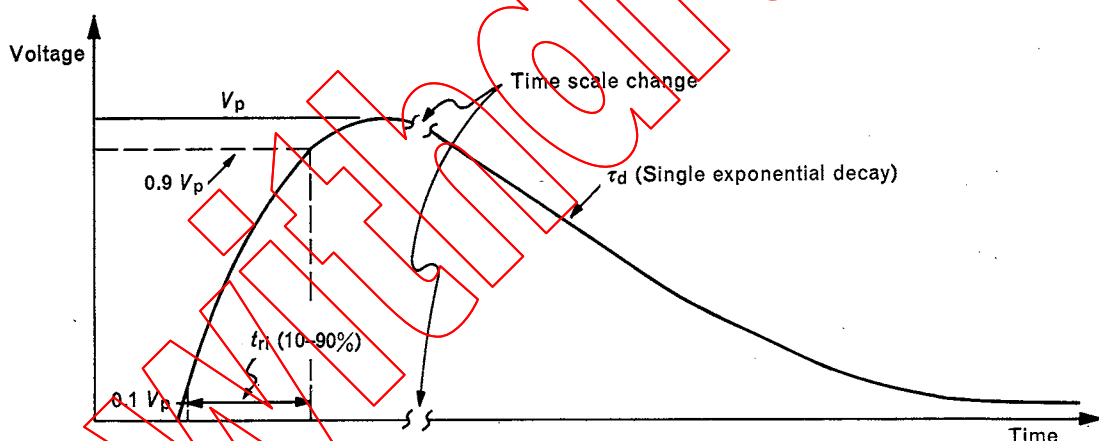


FIG. 2. — Precision pulse generator waveform.

A charge pulse generated by this waveform has two shortcomings:

- 1) it does not simulate the charge collection effects in the detector, and
- 2) the charge that is injected into the preamplifier during the rise time of the pulse is then removed during the fall time of the pulse. The removal of this charge causes an undershoot (baseline distortion) after each pulse.

In a circuit as shown in Figure 3, page 13, the maximum charge Q delivered to the preamplifier is:

$$Q = C_c V_p \frac{1}{1 + C_c/A_0 C_f}$$

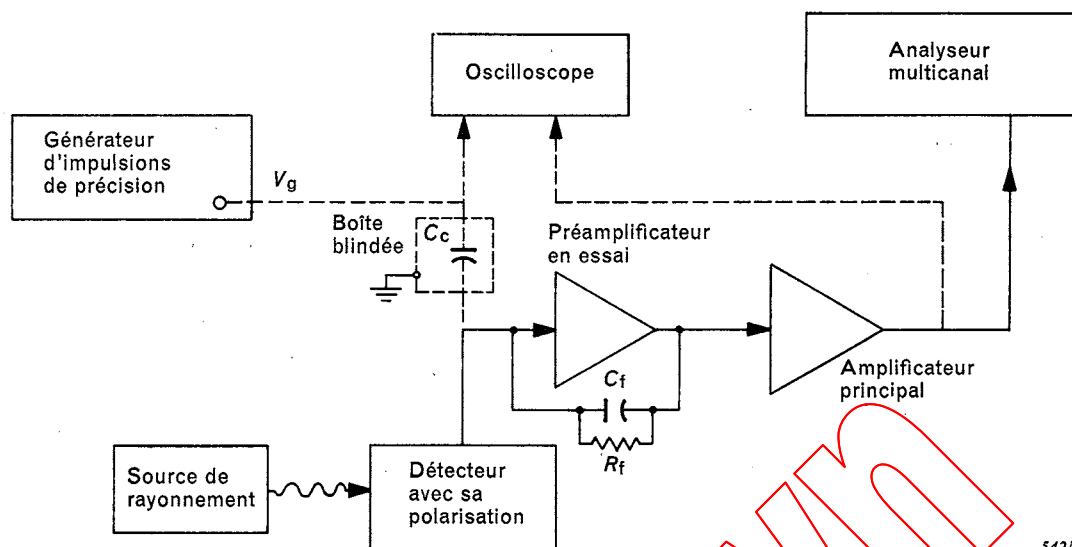


FIG. 3. — Mesure du spectre de distribution en amplitude.

où;

C_c est la capacité en série

V_g est l'amplitude de l'échelon de tension fournie par le générateur de précision

A_0 est le gain en boucle ouverte du préamplificateur

C_f est la capacité de contre-réaction pour le préamplificateur sensible à la charge

Si $A_0 C_f \gg C_c$, on a :

$$Q \approx C_c V_g.$$

La sortie du générateur d'impulsions, comme le montre la figure 2, page 10, décroît avec une constante de temps τ_d . Dans la plupart des cas, la réponse du préamplificateur sera du même type avec une constante de temps $\tau_f = R_f C_f$. Cela signifie que la réponse du préamplificateur au générateur d'impulsions ne sera pas une exponentielle simple et donc on ne pourra pas faire la compensation pôle-zéro dans l'amplificateur principal (voir l'article 10). Donc, quand on utilise un générateur d'impulsions à long front de descente pour simuler une entrée de charge en parallèle avec une entrée venant du détecteur, le spectre dû au détecteur aura des distorsions à cause du dépassement négatif produit par le générateur. Ces distorsions seront plus sensibles à mesure que le taux de comptage augmente. Si le générateur fournit des impulsions périodiques à long front de descente, le spectre correspondant à la sortie du générateur d'impulsions n'aura pas de distorsions dues aux dépassements négatifs lorsque le taux de comptage du détecteur varie.

5. Gain de conversion du préamplificateur

Le gain de conversion A_c du préamplificateur sensible à la charge (ou intégrateur de charge) se définit comme l'amplitude de l'impulsion de sortie, exprimée en volts, divisée par la charge d'entrée, exprimée en coulombs. Le gain de conversion peut aussi s'exprimer en volts par kiloelectron-volt pour un matériau détecteur donné. En principe, le préamplificateur sensible à la charge consiste en un amplificateur de tension à large bande ayant un gain élevé muni d'une contre-réaction capacitive C_f comme à la figure 4.

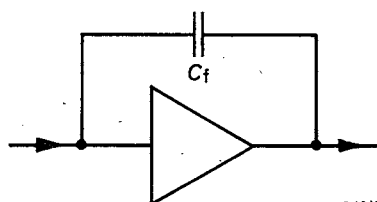


FIG. 4. — Schéma d'un préamplificateur sensible à la charge.

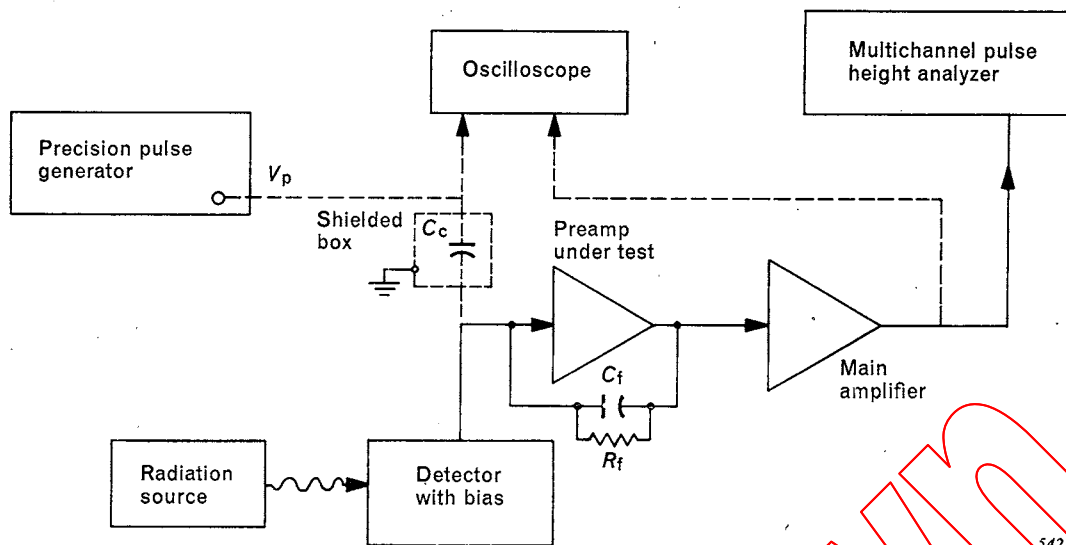


FIG. 3. — Measurement of pulse height distribution linewidth.

where:

C_c is the value of the series capacitor

V_p is the amplitude of the voltage step from the precision pulser

A_o is the preamplifier open loop gain

C_f is feedback capacitor for charge sensitive preamplifier

If $A_o C_f \gg C_c$, then

$$Q \approx C_c V_p.$$

The pulse generator output as shown in Figure 2, page 11, decays with a time constant τ_d . In most cases, preamplifier response will be of the same type with a time constant $\tau_f = R_f C_f$. This means that the preamplifier response to the pulse generator will not be a simple exponential and, consequently, it will be impracticable to perform pole-zero cancellation in the main amplifier (see Clause 10). Consequently, when a tail pulse generator is used to simulate a charge input in parallel with an input from a detector, the spectrum from the detector will be distorted because of the undershoot produced by the tail pulse generator. This distortion will become more noticeable as the counting rate is increased. If the tail pulse generator is periodic, then the spectrum corresponding to the pulse generator output will not be distorted due to undershoot as the counting rate from the detector is varied.

5. Preamplifier conversion gain

The conversion gain A_c of a charge sensitive preamplifier (or charge integrator) is defined by its output pulse amplitude, expressed in volts, divided by its input charge, expressed in coulombs. The conversion gain can also be expressed in volts per kiloelectron volt for a given detector material. In principle, the charge sensitive preamplifier consists of a high-gain wide-band voltage amplifier with a capacitive negative feedback C_f as depicted in Figure 4.

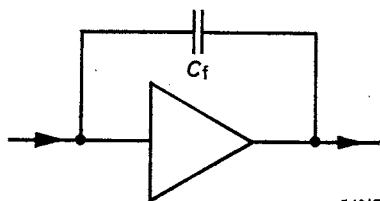


FIG. 4. — Circuit diagram of a charge sensitive preamplifier.

Pour mesurer le gain de conversion A_c du préamplificateur, on utilise un générateur d'impulsions de précision pour fournir un échelon de tension à un petit condensateur étalon blindé*, ce qui permet d'injecter une impulsion de charge à l'entrée du préamplificateur par la méthode décrite à l'article 4. L'impulsion de sortie V_a du préamplificateur est mesurée au moyen d'un oscilloscope.

Le gain de conversion est donné par:

$$A_c = \frac{V_a}{Q} = \frac{V_a}{C_c \cdot V_g}$$

où:

C_c = capacité, en farads, du condensateur injectant la charge

Q = charge, en coulombs, à l'entrée du préamplificateur

V_a = amplitude, en volts, de l'impulsion de sortie du préamplificateur

V_g = amplitude, en volts, de l'impulsion de sortie du générateur d'impulsions

6. Constante de temps de décroissance de l'impulsion de sortie du préamplificateur

La constante de temps de décroissance de l'impulsion de sortie du préamplificateur peut être mesurée au moyen du montage de la figure 5.

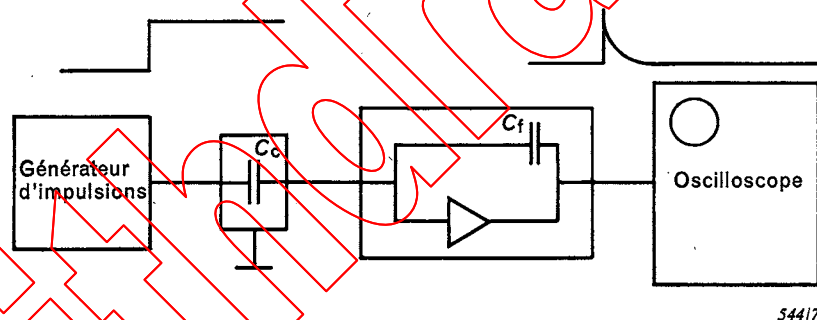


FIG. 5 — Schéma de montage pour mesurer la constante de temps de décroissance de l'impulsion de sortie du préamplificateur.

Le générateur d'impulsions doit fournir des impulsions carrées, ayant une décroissance d'amplitude négligeable et une durée grande par rapport à la constante de temps de décroissance à mesurer. La constante de temps de décroissance du préamplificateur, c'est-à-dire l'intervalle de temps pour que l'amplitude du front de descente de l'impulsion de sortie décroisse de 100% à 100%/e où $e = 2,72$, peut être lue sur l'oscilloscope. Certains préamplificateurs ont un circuit de différenciation incorporé. Pour éliminer un dépassement négatif indésirable, qui aurait une constante de temps égale à la constante de temps de décroissance de la partie sensible à la charge du préamplificateur, un circuit de compensation est généralement incorporé au préamplificateur (circuit de compensation pôle-zéro). Ce circuit doit d'abord être ajusté convenablement au sous-dépassement minimal avant d'effectuer la mesure de la constante de temps de décroissance de l'impulsion de sortie du préamplificateur. Le constructeur doit indiquer la constante de temps de décroissance du préamplificateur et les conditions dans lesquelles elle a été mesurée.

* Dans un condensateur blindé C_c , la capacité est mesurée entre les deux bornes isolées et le blindage (connecté au champ électrostatique entourant la capacité) est relié à la terre.

To measure the preamplifier conversion gain A_c , a precision pulse generator is used to apply a voltage step to a small and accurately known capacitor of the three-terminal type,* thereby injecting a charge pulse into the preamplifier input by the method described in Clause 4. The preamplifier output pulse V_a is measured with an oscilloscope.

The conversion gain is:

$$A_c = \frac{V_a}{Q} = \frac{V_a}{C_c \cdot V_p}$$

where:

C_c = capacitance, in farads, of charge injection capacitor

Q = charge, in coulombs, into the preamplifier input

V_a = preamplifier output voltage, in volts

V_p = pulse generator output pulse amplitude, in volts

6. Preamplifier output pulse decay time constant

The preamplifier output pulse decay time constant can be measured by the circuit arrangement depicted in Figure 5.

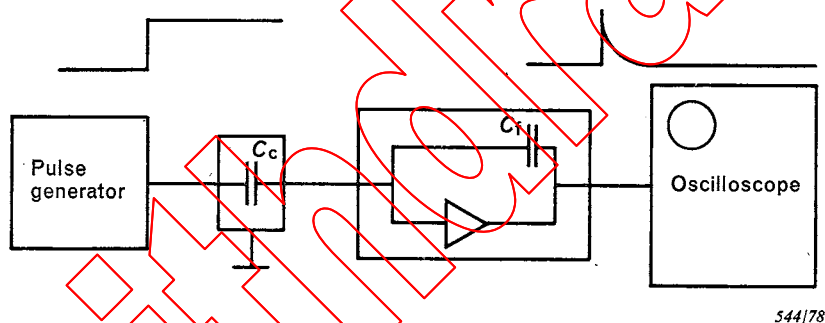


FIG. 5. — Circuit arrangement to measure preamplifier output pulse decay time constant.

The pulse generator must deliver a square wave pulse with negligible drop, and pulse length long with respect to the preamplifier decay time constant to be measured. The preamplifier decay time constant, i.e. time interval for the trailing edge of the output pulse amplitude to decrease from 100% to 100%/e, where $e = 2.72$, can be read from the oscilloscope. Some preamplifiers have a built-in differentiating network. To eliminate an undesirable undershoot, having a time constant equal to the decay time constant of the charge sensitive section of the preamplifier, a compensation network (pole-zero cancellation network) is usually included in the preamplifier. The pole-zero cancellation network should first be properly adjusted for minimum undershoot before preamplifier output pulse decay time constant is measured. The manufacturer shall state the decay time constant of the preamplifier, and the conditions under which it was measured.

* In the three-terminal type capacitor C_c the capacitance is measured between two insulated terminals and the third terminal (connected to an electrostatic shield surrounding the capacitor) is grounded.

7. Mesure du gain de l'amplificateur principal

Il convient de mesurer le gain de l'amplificateur principal en appliquant à son entrée un signal échelon d'amplitude connue et en mesurant l'amplitude de l'impulsion de sortie à l'aide d'un oscilloscope. Le gain de l'amplificateur principal est défini comme le quotient de l'amplitude de l'impulsion de sortie par l'amplitude de l'impulsion d'entrée. Il convient de spécifier le gain de l'amplificateur principal pour des réglages égaux des constantes de temps d'intégration et de différentiation. De plus, les gains pour chacune des sorties unipolaires et bipolaires doivent en principe être les mêmes. Toute exception à l'une ou l'autre de ces conditions doit être indiquée.

8. Spécifications relatives au bruit de l'amplificateur

Les caractéristiques de bruit d'un amplificateur peuvent être exprimées sans ambiguïté en unités de tension pour une source de signaux résistive et en unités de charge ou d'énergie pour une source de signaux capacitive.

Le bruit à la sortie e_{bs} d'un amplificateur de gain A peut s'exprimer comme une tension de bruit équivalente e_{be} , rapportée à l'entrée par :

$$e_{be} = \frac{e_{bs}}{A}$$

Le bruit peut s'exprimer comme une valeur efficace e_b mesurée avec un voltmètre de valeur efficace vraie ou comme A , la largeur à mi-hauteur mesurée d'après la distribution en amplitude. La relation entre les deux mesures, pour un bruit à distribution gaussienne est :

$$A = 2 (2 \ln 2)^{1/2} e_b = 2,355 e_b$$

Le bruit peut être exprimé en unités d'énergie ou de charge par les formules de l'article 15. On doit s'assurer que pour toutes les mesures de résolution, l'amplitude de l'impulsion de sortie se trouve dans la région linéaire de l'amplificateur. Sauf dans le cas où un amplificateur coupe ou déforme une portion quelconque du bruit, la mesure du bruit avec un voltmètre efficace est équivalente à la mesure avec un analyseur multicanal, dans la limite de la précision respective des deux appareils (voir article 15). Deux cas pour lesquels un voltmètre efficace ne donne pas une mesure vraie du bruit sont l'utilisation d'un amplificateur à seuil (voir article 23) ou d'un rétablisseur de ligne de base (voir article 10). Quand on détermine le bruit d'un amplificateur à seuil ou d'un amplificateur principal ayant un rétablisseur de ligne de base, on doit utiliser la méthode avec l'analyseur multicanal.

9. Spécifications relatives à la non-linéarité de l'amplificateur

La non-linéarité de l'amplificateur provoque une distorsion en amplitude du spectre d'impulsions. La non-linéarité peut être mesurée en non-linéarité intégrale (NLI) et en non-linéarité différentielle (NLD). La non-linéarité intégrale est l'écart avec une réponse linéaire, exprimé en pourcentage de l'impulsion de sortie nominale maximale. La non-linéarité différentielle est la variation exprimée en pourcentage du gain différentiel de l'amplificateur par rapport à des points de référence (voir articles 21 et 22).

10. Spécifications relatives aux circuits de mise en forme de l'amplificateur principal

Les amplificateurs pour semicteurs peuvent utiliser différentes méthodes de mise en forme du signal. Habituellement on utilise une mise en forme « quasi-gaussienne » dont le schéma peut être représenté par la figure 6, page 18. Dans cette figure un différentiateur unique et n intégrateurs effectuent le filtrage du signal d'entrée et du bruit. Le circuit de compensation pôle-zéro donne au

7. Measurement of main amplifier gain

The main amplifier gain should be measured by driving its input with a step function of known amplitude and measuring its output pulse amplitude with an oscilloscope. The main amplifier gain is numerically equal to the output pulse amplitude divided by the input pulse amplitude. The specified main amplifier gain should be for equal settings of the integrating and differentiating time constants. Furthermore, the gain for both unipolar and bipolar outputs should be the same. Any exception to either of these conditions shall be stated.

8. Specifying amplifier noise

The noise performance of an amplifier may be given unambiguously in units of voltage for a resistive signal source and in units of charge or energy for a capacitive signal source.

The output noise e_{no} of an amplifier of gain A can be expressed as an equivalent noise voltage e_{ni} , referred to the input, by:

$$e_{ni} = \frac{e_{no}}{A}$$

Noise can be expressed as a root-mean-square (r.m.s.) value e_n as measured with a true r.m.s. meter, or as Δ , the full width at half maximum (FWHM), as measured from a pulse amplitude distribution. The relation between the two measures, for noise having a Gaussian distribution, is

$$\Delta = 2 (2 \log_e 2)^{1/2} e_n = 2.355 e_n$$

The noise can be expressed in units of energy or charge by expressions given in Clause 15. Care must be taken that for all measurements of resolution the output pulse amplitude is within the linear region of the amplifier. Except in the case where an amplifier cuts off or distorts any portion of the noise, the measurement of noise with a true r.m.s. voltmeter is equivalent to noise measurement with a multichannel analyzer, within the respective accuracy of the two instruments (see Clause 15). Two examples where an r.m.s. noise meter will not give a true indication are the use of a biased amplifier (see Clause 23) and of a baseline restorer (see Clause 10). When measuring noise from a biased amplifier or a main amplifier with a baseline restorer (BLR), the multichannel analyzer method must be used.

9. Specifying amplifier nonlinearity

Amplifier nonlinearity results in distortion of pulse height spectra. Nonlinearity may be measured as integral nonlinearity (INL) and as differential nonlinearity (DNL). The integral nonlinearity is the departure from linear response expressed as a percentage of the maximum rated output pulse amplitude. The differential nonlinearity is the percentage deviation in incremental amplification of the amplifier referred to some standard points (see Clauses 21 and 22).

10. Specifying main amplifier shaping

Amplifiers for semiconductor radiation detectors may use different signal shaping methods. Usually they employ “quasi-gaussian” shaping and can be represented by the block diagram of Figure 6, page 19. Here the single differentiator and n integrators perform the filtering of the input signal and noise. The pole-zero cancellation network transforms the preamplifier output signal into

signal de sortie du préamplificateur la forme requise pour minimiser le dépassement négatif après la différentiation. Le domaine des constantes de temps de décroissance qui peuvent être adaptées par le circuit de compensation pôle-zéro doit être spécifié en donnant les constantes de temps de décroissance d'entrée maximale et minimale.

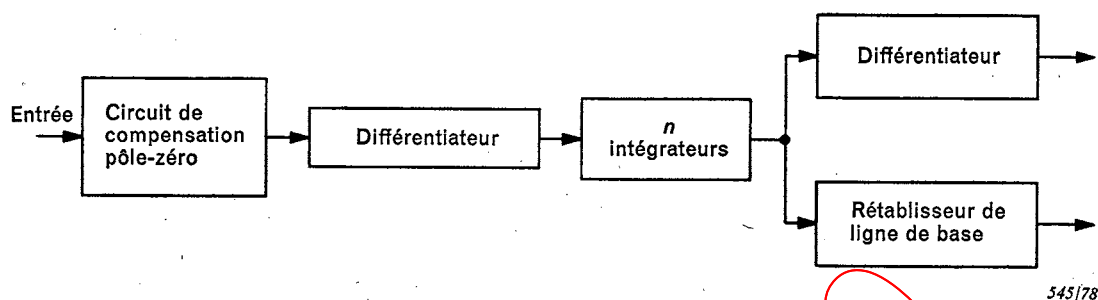


FIG. 6. — Représentation schématique de la mise en forme dans l'amplificateur principal.

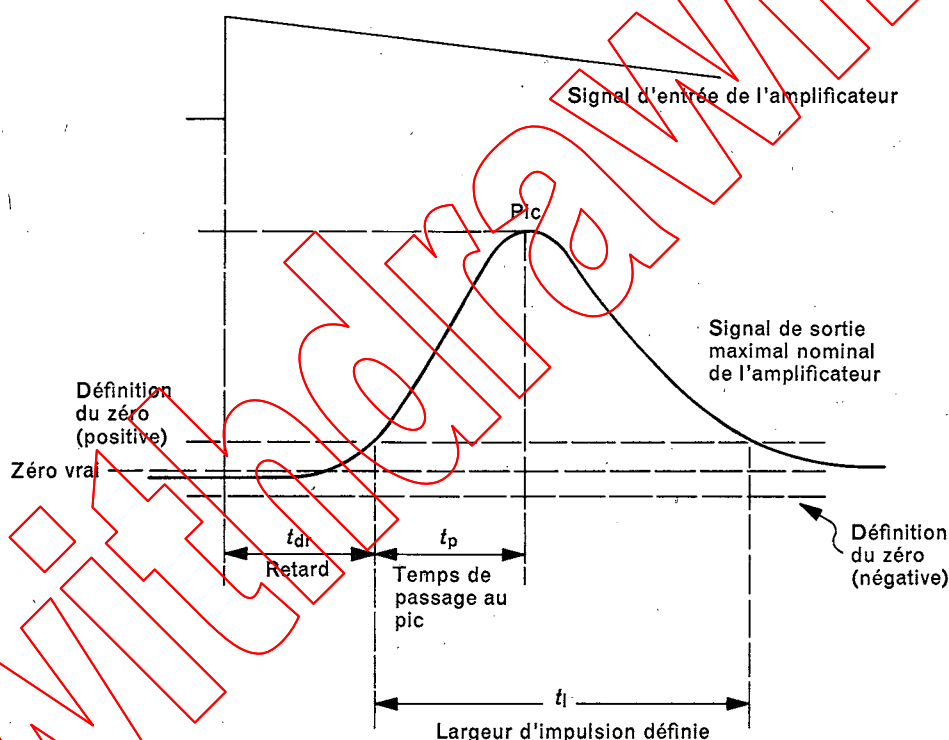


FIG. 7. — Caractéristiques du signal de sortie.

Les caractéristiques du signal de sortie de l'amplificateur indiquées dans la figure 7 et décrites dans cet article doivent être spécifiées. La « définition du zéro » est un niveau de tension arbitrairement choisi pour le signal de sortie de l'amplificateur qui peut être distingué du zéro par l'appareil de mesure. Elle dépend de la précision et des prescriptions concernant la mesure. Il est recommandé qu'elle soit égale à 1/100 ou 1/1 000 de l'amplitude maximale de crête en échelle linéaire*. Le symbole t_l représente le temps pendant lequel l'impulsion dépasse sa définition du zéro et peut être spécifié à 0,1% et (ou) à 1% de l'amplitude maximale de l'impulsion. Le circuit de la figure 8, page 20, est recommandé pour mesurer t_l .

* Habituellement on utilisera un zéro défini à 1/100 pour la spécification des amplificateurs à rayons X ou un zéro défini à 1/1 000 pour les amplificateurs utilisés avec des systèmes à rayons gamma de haute résolution et les autres systèmes à haute résolution.

the shape required to minimize undershoot after the differentiation. The range of preamplifier decay time constants that can be accommodated by the pole-zero network must be specified by giving the maximum and minimum input decay time constants.

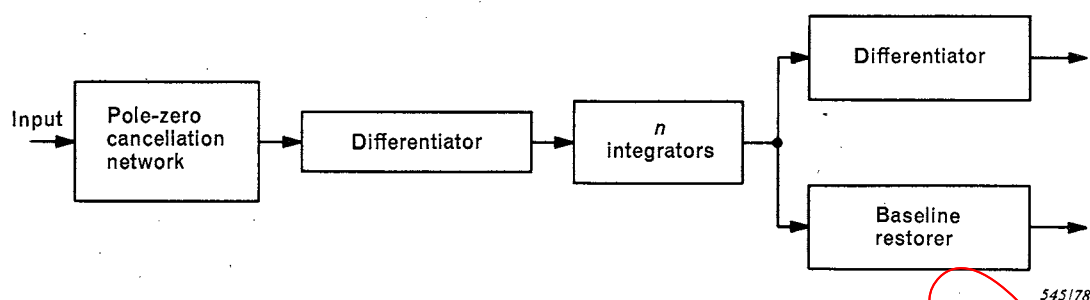


FIG. 6. — Schematic representation of the main amplifier shaping.

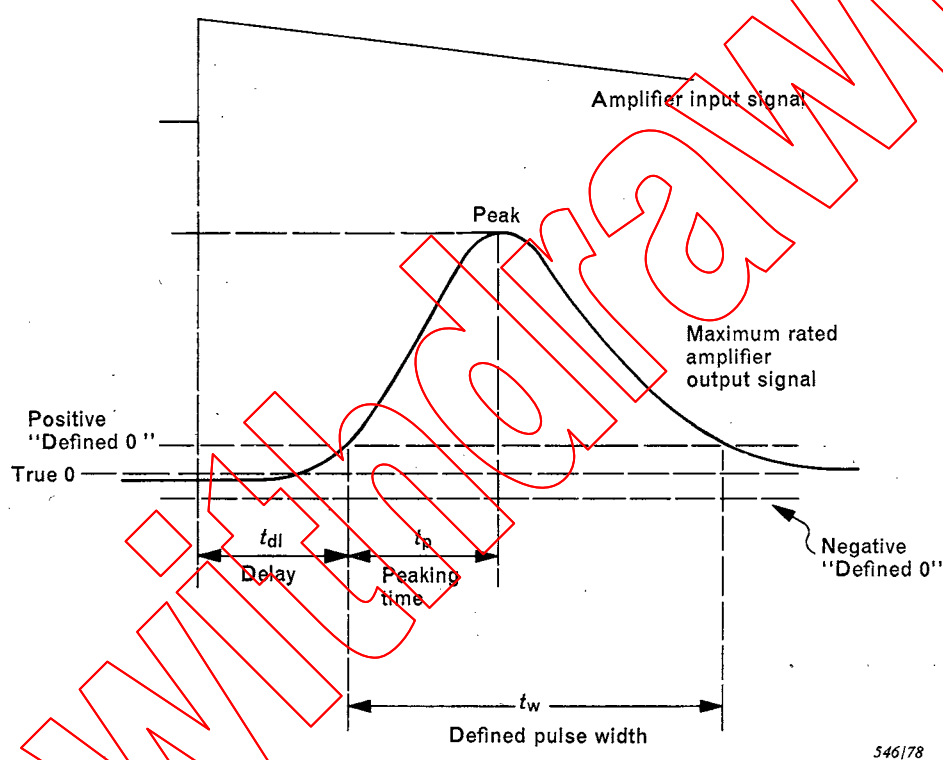


FIG. 7. — Output signal parameters.

The amplifier output signal parameters as defined in Figure 7 and described in this clause must be stated. "Defined zero" is an arbitrarily chosen voltage level at the amplifier output that is resolved from zero by the measuring apparatus and it depends on the precision and requirements of the measurement. It is recommended that it be 1/100 or 1/1000 of the maximum linear peak amplitude.* The symbol t_w represents the time the pulse exceeds its defined zero and may be specified at 0.1% and/or 1% of the maximum pulse amplitude. The circuit in Figure 8, page 21, is recommended for measuring t_w .

* Normally a 1/100 defined zero level will be used for specifying X-ray amplifiers, and a 1/1000 for amplifiers to be used with high resolution gamma-ray systems and other high resolution systems.

Régler le gain du générateur et de l'amplificateur pour obtenir la tension de sortie maximale permise de l'amplificateur. Régler la sensibilité de l'oscilloscope de façon que l'on puisse identifier facilement 1% ou 0,1% de la tension de sortie maximale permise. L'effet de surcharge sur l'oscilloscope peut être réduit en utilisant un limiteur de surcharge. Le limiteur de surcharge peut consister par exemple en diodes semi-conductrices à faible capacité et haute fréquence (telles que des diodes de Schottky) connectées comme indiquées dans la figure 8. Le temps de passage au pic t_p est l'intervalle de temps entre le passage de l'impulsion à la définition du zéro et le moment où elle quitte l'amplitude maximale. Le retard t_{dr} est l'intervalle de temps entre l'arrivée de l'impulsion d'entrée sur l'amplificateur et le premier passage au niveau de la définition du zéro à la sortie de l'amplificateur.

Note. — Si l'amplificateur comporte des fonctions de traitement de déformation des impulsions (tels que des extenseurs d'impulsion, des rétablisseurs de ligne de base et des amplificateurs à seuil), ces caractéristiques doivent être spécifiées à la sortie du réseau de filtrage principal.

Quand on spécifie la fonction de mise en forme de l'amplificateur principal, on doit indiquer l'amplitude maximale de sortie, la définition du zéro, t_{dr} , t_p et t_1 . Si on utilise un second différentiateur, t_1 est prolongé jusqu'au second passage par la définition du zéro négative de la partie négative de l'impulsion.

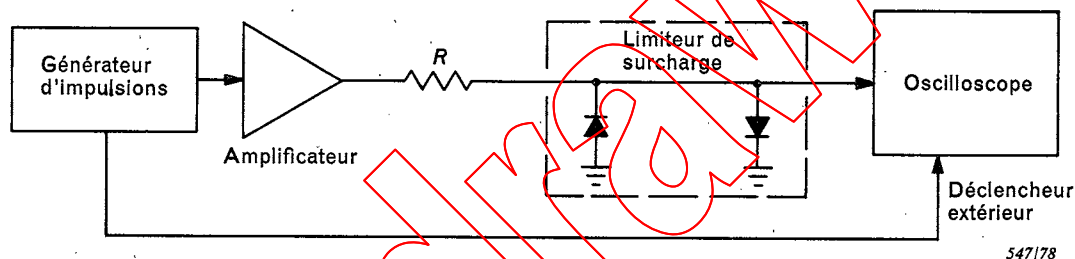


FIG. 8. — Circuit de mesure de t_1 .

On utilise couramment d'autres méthodes pour spécifier la forme des impulsions avec une caractéristique unique. Ces méthodes utilisent comme caractéristique la constante de temps $\tau = RC$ d'un filtre équivalent « semi-gaussien », $CR(RC)^n$ où n est le nombre d'étages d'intégration RC . En raison de leur ambiguïté, ces méthodes ne sont pas recommandées. Leur emploi est néanmoins acceptable si la relation entre τ et t_p , t_{dr} et t_1 est clairement définie.

Le rétablissement de la ligne de base est presque partout utilisé pour stabiliser la ligne de base à la sortie de l'amplificateur. Elle influence la résolution de l'amplificateur et les caractéristiques du taux de comptage, et parfois la linéarité et la stabilité. Habituellement, les réglages du rétablissement de ligne de base sont prévus en nombre limité. Quand on donne les spécifications de l'amplificateur, le réglage du rétablissement de ligne de base doit être indiqué ou, sinon, on doit présumer le cas le plus mauvais.

11. Centroïde du pic

Calculer point par point le nombre de coups par canal diminué du bruit de fond ($N_x - B_x$) en fonction du numéro de canal X . Déterminer le centroïde du pic $\hat{x}$ par son numéro équivalent de canal (nombre fractionnaire). Une technique commode est la méthode de la moyenne pondérée pour les valeurs de N_x dans la partie où le pic est symétrique, par exemple au-dessus de la mi-hauteur.

$$\hat{x} = \frac{\sum X (N_x - B_x)}{\sum (N_x - B_x)}$$

(Voir la Publication 430 de la CEI, article 4, pour informations complémentaires.)

Adjust the pulser and amplifier gain to obtain the maximum rated output voltage from the amplifier. Adjust the oscilloscope sensitivity so that 1% or 0.1% of the maximum rated output voltage is easily identifiable. The overload effect on the oscilloscope can be reduced by using an overload limiter. The overload limiter may consist, for example, of low-capacitance high-frequency semiconductor diodes (such as Schottky barrier diodes) connected as shown in Figure 8. Peaking time t_p is the time interval between the pulse crossing the defined zero and its departure from maximum amplitude. Delay time t_{dl} is the time interval between arrival of the input pulse to the amplifier and the first crossing of the defined zero level at the output of the amplifier.

Note. — If the amplifier includes pulse distorting processing functions (such as stretchers, baseline restorers and biased amplifiers) these parameters must be specified at the output of the main filter network.

When specifying main amplifier shaping, maximum outpeak amplitude, defined zero, t_{dl} , t_p and t_w must be specified. If the second differentiator is used, t_w extends to the second crossing of the defined zero level by the negative lobe of the pulse.

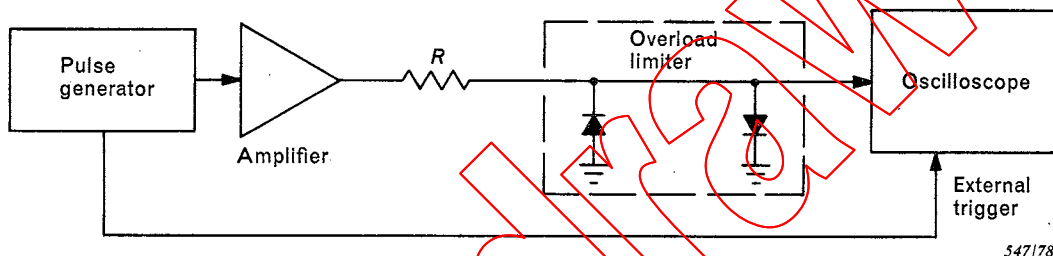


FIG. 8. — Circuit for measuring t_w .

There are other pulse shape specification methods in common use for which a single parameter characterizes the shaping. These methods use as a signal parameter the time constant $\tau = RC$ of an equivalent "semi-gaussian" filter, $CR/(RC)^n$, where n is the number of integrating RC stages. Because of their ambiguity, these methods are not recommended. Their use is acceptable, however, if the relationship between τ and t_p , t_{dl} , and t_w is clearly stated.

Baseline restoration is almost universally used to stabilize the baseline at the output of the amplifier. It influences amplifier resolution and counting rate performance, and sometimes linearity and stability. Usually only a few settings of the baseline restorer are provided. When specifying the amplifier, the BLR setting must be specified or it must represent the worst case.

11. Peak centre (centroid)

Calculate, point by point, the number of counts per channel less background ($N_x - B_x$) as a function of channel number X . Determine the peak location $\hat{x}$ in terms of channel (and fractional channel) number. A convenient technique is the weighted average method of values of N_x in the symmetrical portion of the peak, e.g. above the half maximum height:

$$\hat{x} = \frac{\sum X (N_x - B_x)}{\sum (N_x - B_x)}$$

(Refer to IEC Publication 430, Clause 4, for additional information.)

12. Largeur à mi-hauteur (LMH) et largeur au dixième de la hauteur (LDH) du pic

La LMH et la LDH sont déterminées en mesurant la largeur du pic spectral à la moitié et au dixième de l'ordonnée maximale d'une courbe de $(N_x - B_x)$ en fonction de X . (Des informations complémentaires sont données dans la Publication 430 de la CEI.)

13. Autre méthode pour déterminer la LMH et le centroïde du pic

Une autre méthode pour déterminer la LMH et le centroïde du pic consiste à utiliser une interpolation linéaire entre les canaux ou une courbe interpolée et de considérer que le centroïde du pic correspond au milieu des points qui définissent la largeur à mi-hauteur. La figure 9 donne ainsi un exemple de courbe d'un analyseur pour l'étalonnage et la mesure de la largeur de bruit. Les interpolations linéaires sont faites entre les canaux X_1 et X_2 et entre X_3 et X_4 sur la figure 9.

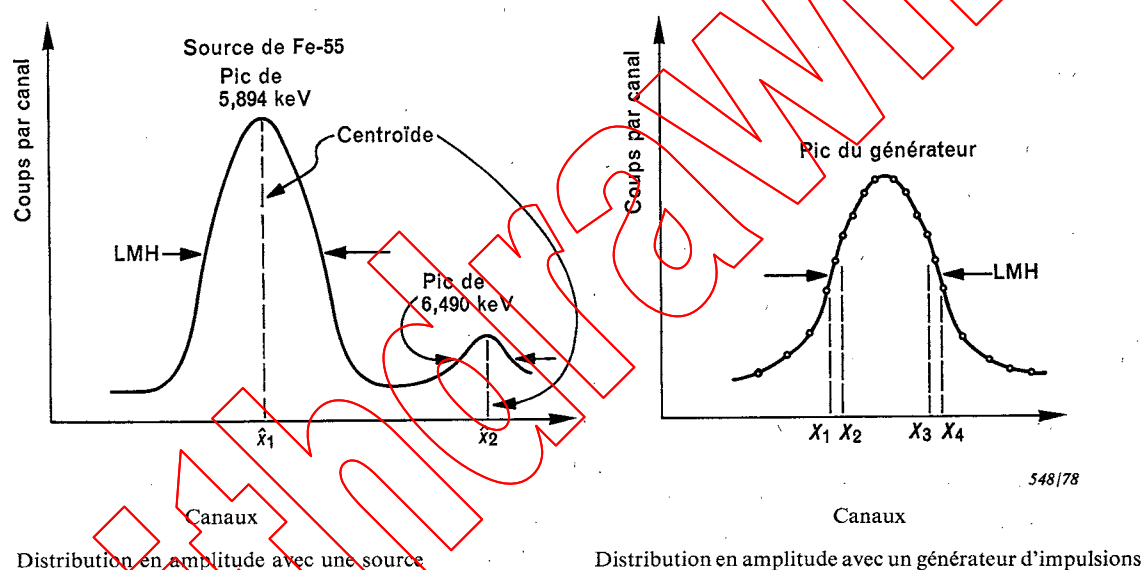


FIG. 9. — Courbes caractéristiques pour la mesure de bruit avec un analyseur.

SECTION DEUX — MESURES DE LARGEUR DE BRUIT

14. Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions

Le bruit du système, à l'exclusion du bruit statistique de collection de charge, peut s'exprimer commodément en unités d'énergie. Pour un préamplificateur indépendant à température ordinaire, la mesure de largeur de bruit peut être utilisée pour déterminer la contribution au bruit du préamplificateur. Avec un système cryogénique dans lequel le premier étage d'amplification n'est pas accessible, le bruit est également une fonction de certaines caractéristiques du semicteur. La capacité du semicteur et le courant de fuite à travers celui-ci sont présents au moment de l'essai du préamplificateur du système cryogénique et par conséquent influencent la mesure de bruit.

La méthode recommandée pour déterminer la largeur de bruit utilise une source (ou des sources) radioactive connue pour étalonner l'analyseur. Après étalonnage en énergie par canal, utiliser un générateur d'impulsions pour déterminer la largeur de bruit du système (ou du préamplificateur).