

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 340

Première édition — First edition

1970

**Méthodes d'essais des amplificateurs et préamplificateurs pour
détecteurs semiconducteurs 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

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 340

Première édition — First edition

1970

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

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



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Prescriptions générales	6
3.1 Généralités	6
3.2 Simulation de l'impulsion fournie par un détecteur	8
3.3 Bruit d'un amplificateur	10
3.4 Non-linéarité de l'amplificateur	10
4. Bruit total	10
4.1 Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions (méthode recommandée)	10
4.2 Mesure du bruit au moyen d'un oscilloscope et d'un voltmètre de valeur efficace vraie	12
5. Bruit du préamplificateur	14
5.1 Influence du circuit de mise en forme	14
5.2 Mesure de la résistance équivalente au bruit	16
5.3 Bruit exprimé en fonction de la charge capacitive extérieure et des constantes de temps de mise en forme	18
6. Bruit de l'amplificateur principal	20
6.1 Bruit équivalent ramené à l'entrée	20
6.2 Influence des circuits de mise en forme de l'amplificateur principal sur le bruit total	24
7. Linéarité en amplitude	24
7.1 Mesure de la non-linéarité intégrale par la méthode du pont	24
7.2 Non-linéarité différentielle	26
7.3 Amplificateurs à seuil	30
8. Influence du taux de comptage	30
8.1 Déplacement du pic du spectre des amplitudes	30
8.2 Modification de la forme du spectre	34
9. Influence de la surcharge	34
9.1 Généralités	34
9.2 Temps de restitution du gain de l'amplificateur	34
10. Influence du temps de montée sur l'amplitude des impulsions de sortie	36
10.1 Généralités	36
10.2 Influence d'une charge capacitive sur l'impulsion de sortie du préamplificateur	38
10.3 Influence d'une charge capacitive sur l'amplitude de l'impulsion de sortie de l'ensemble	40
10.4 Influence de la durée d'une impulsion de charge à l'entrée sur l'amplitude de l'impulsion de sortie	40
11. Stabilité en amplitude	42
11.1 Influence des variations de la tension du réseau	42
11.2 Influence de la température	42
11.3 Stabilité du gain	42
12. Déplacement de l'instant du passage à zéro	44
12.1 Déplacement en fonction de l'amplitude de sortie	44
12.2 Déplacement en fonction du réglage du gain	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. General requirements	7
3.1 General	7
3.2 Simulating the charge pulse of a detector	9
3.3 Amplifier noise	11
3.4 Amplifier non-linearity	11
4. Total noise	11
4.1 Noise measurement by pulse-height distribution (preferred method)	11
4.2 Noise measurement by oscilloscope and true root mean square voltmeter	13
5. Preamplifier noise	15
5.1 Pulse-shaping effects	15
5.2 Measurement of equivalent noise resistance	17
5.3 Noise expressed as a function of external capacitive loading and pulse-shaping time constant	19
6. Main amplifier noise	21
6.1 Equivalent noise referred to input	21
6.2 Effects of main amplifier pulse shaping on total noise	25
7. Pulse-height linearity	25
7.1 Integral non-linearity measurement by the bridge method	25
7.2 Differential non-linearity	27
7.3 Biased amplifiers	31
8. Count-rate effects	31
8.1 Pulse-height distribution peak shift	31
8.2 Spectral line-shape change	35
9. Overload effects	35
9.1 General	35
9.2 Amplifier gain recovery time	35
10. Rise time effects on output pulse amplitude	37
10.1 General	37
10.2 Capacitive loading effects on the preamplifier output pulse	39
10.3 Capacitive loading effects on system output-pulse height	41
10.4 Charge-pulse duration effects on pulse-height	41
11. Pulse-height stability	43
11.1 Mains voltage variations effects	43
11.2 Temperature effects	43
11.3 Gain stability	43
12. Crossover walk	45
12.1 Crossover walk as a function of output amplitude	45
12.2 Crossover walk as a function of gain control setting	45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

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

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

Afrique du Sud
Allemagne
Australie
Belgique
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
France
Israël
Italie
Japon

Pays-Bas
Pologne
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

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

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation.

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

The following countries voted explicitly in favour of publication:

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

MÉTHODES D'ESSAIS DES AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS POUR DÉTECTEURS SEMICONDUCTEURS POUR RAYONNEMENTS IONISANTS

1. Domaine d'application

La présente recommandation s'applique aux amplificateurs et préamplificateurs utilisés avec les détecteurs semiconducteurs (pour rayonnements ionisants), notamment aux amplificateurs de charge, aux amplificateurs linéaires d'impulsions et aux amplificateurs linéaires à seuil définis dans les Publications 181: Inventaire d'appareils électriques de mesure utilisés en relation avec les rayonnements ionisants, et 181B, Deuxième complément à la Publication 181 (1964), de la C E I. Il faut noter que les préamplificateurs sont des amplificateurs, bien que la réciproque ne soit pas vraie.

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

Les méthodes d'essais pour les détecteurs associés sont décrites dans la Publication 333 de la C E I: Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants.

2. Objet

Etablir des méthodes d'essais pour les amplificateurs et les préamplificateurs utilisés avec les détecteurs semiconducteurs.

L'emploi de ces détecteurs s'est largement répandu ces dernières années dans la détection des rayonnements ionisants et la spectroscopie à haute résolution. Les détecteurs au silicium ont trouvé leur principale application dans la détection et l'analyse des particules lourdes chargées. Les détecteurs de grand volume au germanium se sont révélés très utiles pour la détection et l'analyse des rayons gamma. Ce développement rapide a stimulé le développement d'amplificateurs et de préamplificateurs électroniques dotés de caractéristiques permettant d'exploiter les possibilités des détecteurs. 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 recommandation n'implique pas l'obligation d'effectuer tous les essais décrits ci-après. Elle implique seulement que, si de tels essais sont effectués sur des dispositifs terminés, ils doivent être exécutés conformément aux méthodes indiquées.

3. Prescriptions générales

3.1 Généralités

Les sous-ensembles électroniques utilisés avec les détecteurs de rayonnement à semiconducteurs sont généralement choisis pour compléter certaines (ou la totalité) des caractéristiques utiles de ces détecteurs: bonne résolution, temps de montée rapide, excellente linéarité en énergie et faible mouvement propre.

Etant donné que les informations recherchées par l'utilisateur du détecteur concernent l'amplitude des impulsions et le temps, il est raisonnable de caractériser les performances d'un amplificateur par la distorsion spectrale des impulsions en amplitude et la distorsion en temps.

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

1. Scope

This Recommendation applies to amplifiers and preamplifiers for semiconductor detectors (for ionizing radiation), particularly to the charge pulse amplifiers, linear pulse amplifiers and biased linear pulse amplifiers defined in I E C Publications 181, Index of Electrical Measuring Apparatus Used in Connection with Ionizing Radiation, and 181B, Second Supplement to Publication 181 (1964). It should be noted that all preamplifiers are amplifiers though the converse is not true.

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

Test procedures for the associated detectors are described in I E C Publication 333, Test Procedures for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation.

2. Object

To establish test procedures for amplifiers and preamplifiers used with semiconductor detectors.

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

3. General requirements

3.1 General

The electronics for semiconductor radiation detectors are usually selected to complement some or all of the useful characteristics of these detectors: good resolution, fast pulse rise time, excellent energy linearity, and low inherent noise.

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.

Il est essentiel que le ronflement et l'ondulation résiduels n'influencent pas les mesures de manière significative.

3.2 Simulation de l'impulsion fournie par un détecteur

Le signal de sortie d'un détecteur semiconducteur est constitué par une charge électrique. Cette charge correspond à une impulsion de courant dont le temps de montée peut être compris entre 10^{-9} s et 10^{-6} s environ, suivant la résistivité du matériau, la tension de polarisation, le type et l'orientation 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 convenable peut être produit, par exemple par un générateur d'impulsions utilisant un relais à contacts mouillés au mercure. Le schéma de montage d'un tel générateur et la forme de son impulsion de sortie sont représentés sur les figures 1 et 2. Si la capacité en série C_c de la figure 3, page 10, est très faible vis-à-vis de la capacité dynamique d'entrée du préamplificateur essayé, la charge Q fournie à l'amplificateur est donnée par la relation:

$$Q = C_c \cdot V_g$$

où:

C_c est la capacité en série

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

Une résistance R_c en parallèle avec C_c est nécessaire pour les essais relatifs à l'influence du taux de comptage et de la surcharge des articles 8 et 9.

Dans les cas où l'adjonction de R_c perturberait la polarisation à l'entrée du préamplificateur, une forte capacité peut être utilisée en série avec R_c .

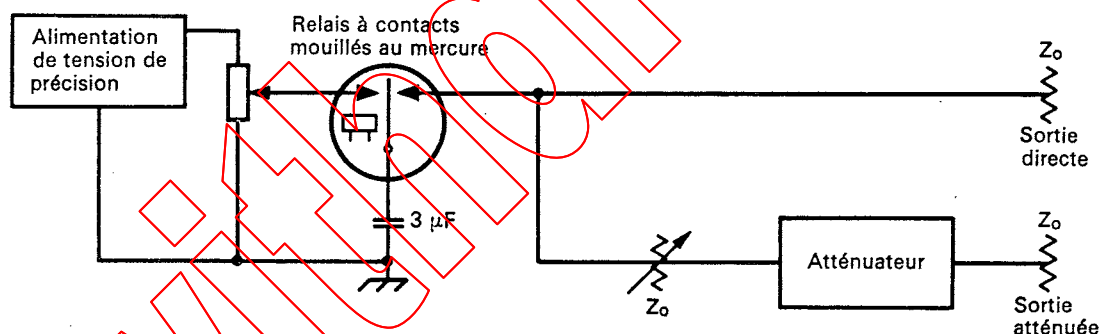


FIG. 1. — Générateur d'impulsions de précision.

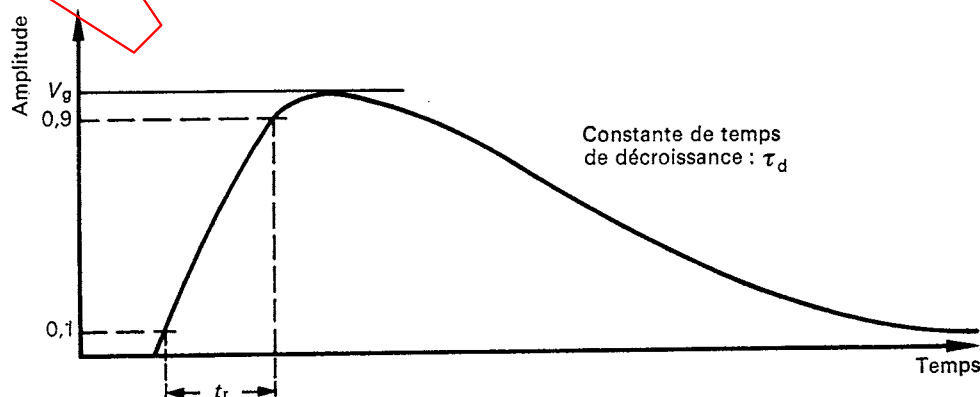


FIG. 2. — Forme du signal fourni par le générateur d'impulsions de précision.

It is essential that the hum and ripple do not significantly influence the measurements.

3.2 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 which has a rise time from about 10^{-9} s to 10^{-6} s, depending upon bulk resistivity, 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, for example, by a mercury-wetted-contact relay type of pulse generator. The circuit diagram of a typical pulse generator and its output pulse waveform are shown in Figures 1 and 2. If the series capacitor C_o of Figure 3, page 11, is very small compared with the dynamic input capacitance of the preamplifier under test, the charge Q delivered to the amplifier is:

$$Q = C_o \cdot V_g$$

where:

C_o is the value of the series capacitor

V_g is the height of the voltage step from the pulse generator

A resistor R_o in parallel with C_o is required for the overload and counting rate tests of Clauses 8 and 9.

Where incorporating R_o would upset the bias condition at the preamplifier input, a large capacitor may be used in series with R_o .

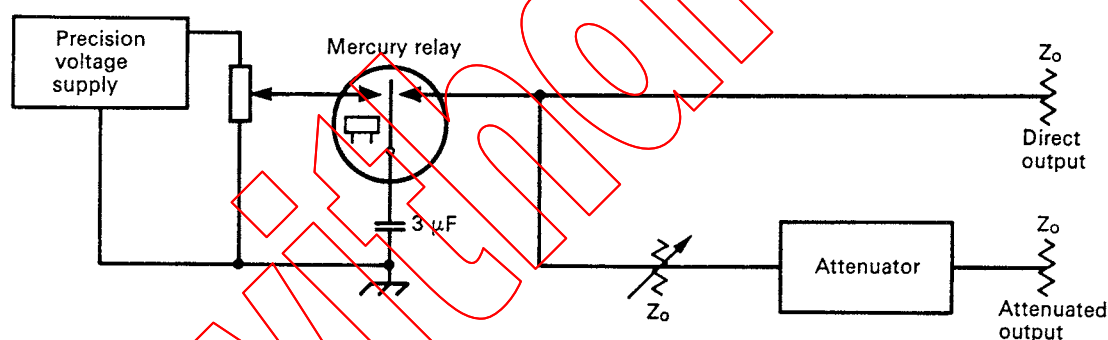


FIG. 1. — Precision pulse generator.

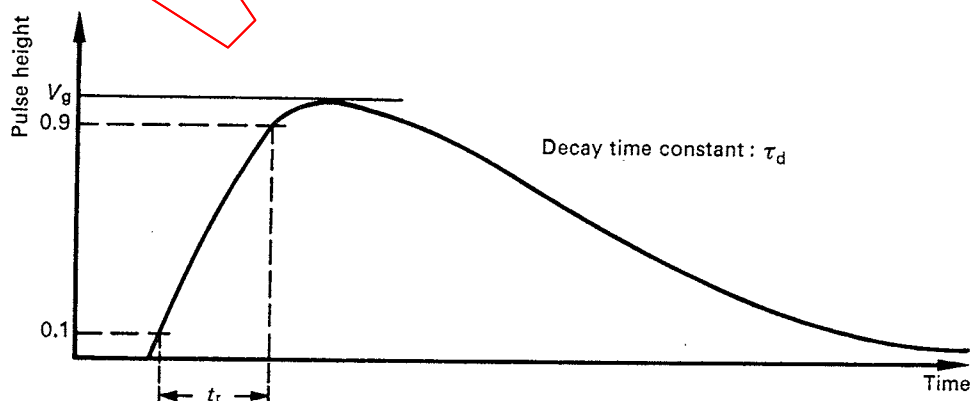


FIG. 2. — Precision pulse generator waveform.

3.3 Amplifier noise

The noise performance of an amplifier may be given unambiguously in units of charge. The amplifier noise may be given in number of r.m.s. electronic charges ΔN_e , since the electronic charge is of a convenient size (1.602×10^{-19} C). The user may interpret this specification to his particular application in units of energy (eV) by the relationship between the full width at half maximum (FWHM) and ΔN_e :

$$\text{FWHM} = 2(2 \log_e 2)^{1/2} \cdot \varepsilon \cdot \Delta N_e = 2.355 \cdot \varepsilon \cdot \Delta N_e$$

where:

ε = average energy absorbed in electronvolts per hole-electron pair formed (3.60 for silicon at room temperature, 2.97 for germanium at liquid nitrogen temperature)

If amplifier noise is specified in units of energy, the semiconductor material to which it refers must also be specified. Care must be taken that, for all measurements of resolution, the output pulse amplitude is within the linear region of the amplifier.

3.4 Amplifier non-linearity

The pulse-height distortion of a pulse amplifier caused by amplitude non-linearity is given as a percentage of integral non-linearity (INL) or of differential non-linearity (DNL).

Integral non-linearity is the departure from linear response expressed as a percentage of the maximum rated output pulse.

Differential non-linearity is the percentage deviation in incremental gain of the amplifier amplitude transfer function referenced to some standard point. (See Sub-clause 7.2.)

4. Total noise

4.1 Noise measurement by pulse-height distribution (preferred method)

The preamplifier and amplifier are connected into a test set up as shown in Figure 3.

A calibrated capacitor C_0 is connected to the preamplifier input in series with a precision pulse generator. The capacitor C_0 should preferably be of the three terminal type, i.e. the capacitance is measured between two insulated terminals, and the third terminal is earthed. A highly accurate measurement of the capacitance between the two insulated terminals can be obtained with a capacitance bridge, and this capacitance is invariant with external circuit connections. Any built-in

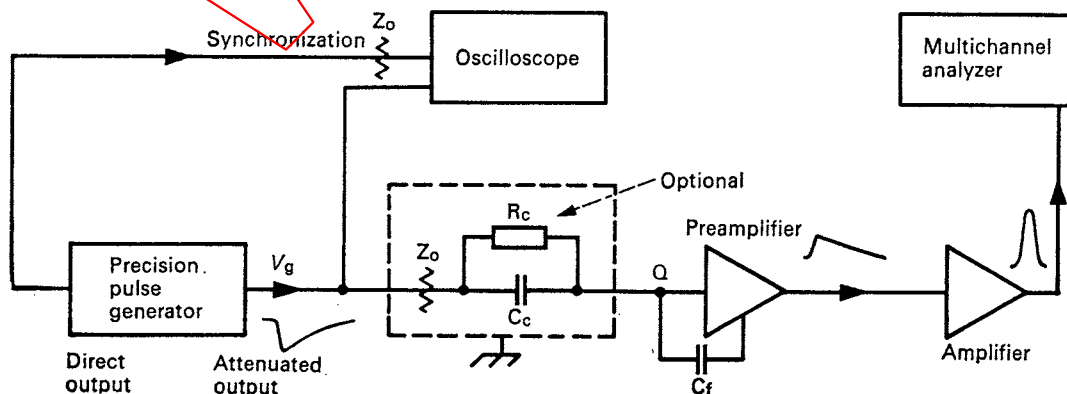


FIG. 3. — Noise measurement by pulse height distribution.

N'importe quelle capacité étalon incorporée au préamplificateur peut être comparée avec ce condensateur de précision à trois bornes. De plus, la capacité dynamique d'entrée du préamplificateur ne devrait pas être inférieure à 100 fois C_e . Une valeur proposée pour C_e est 1 pF.

Le générateur d'impulsions fournit des signaux dont la forme est indiquée par la figure 2, page 8. Le temps de montée t_r est inférieur à 20 % de la valeur de la plus faible constante de temps de différenciation de l'amplificateur principal, et la constante de temps de décroissance τ_d est telle que le signal fourni par le générateur ne diminue pas de plus de 2 % pendant la durée nécessaire à l'impulsion de sortie pour atteindre sa valeur maximale. Les valeurs suivantes sont proposées: $t_r < 20$ ns et $\tau_d > 100$ μ s.

Dans ces conditions, la charge injectée à chaque impulsion par le générateur est $V_g C_e$ coulombs, à environ 1 % près. (Si ces conditions ne sont pas satisfaites, un calcul peut être effectué pour déterminer la charge réellement injectée par impulsion.) Tous les éléments de la chaîne de mesure fonctionnant dans leur domaine linéaire, deux réglages du générateur d'impulsions, correspondant aux tensions V_{g1} et V_{g2} doivent faire apparaître à la sortie de l'analyseur multicanal un spectre formé de deux pics séparés, centrés sur les canaux N_1 et N_2 (figure 4). Le gain de l'ensemble et l'amplitude des impulsions doivent être réglés de manière que la largeur à mi-hauteur (LMH) ΔN_E de chaque pic soit au moins égale à cinq canaux. Le bruit total des sous-ensembles électroniques en coulombs est alors défini par la relation:

$$\Delta Q_E = \frac{V_{g1} - V_{g2}}{N_1 - N_2} \cdot C_e \cdot \Delta N_E$$

ΔN_E étant déterminé sur le plus large des deux pics

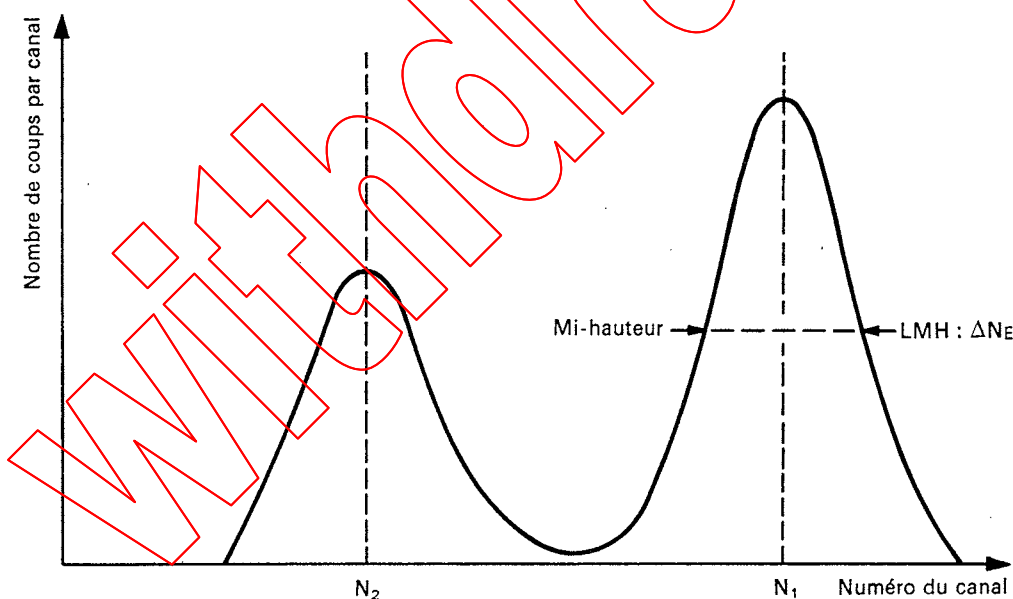


FIG. 4. — Spectre d'amplitude type pour une mesure de bruit.

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

Une autre méthode de mesure du bruit utilise le schéma de la figure 5, page 14. Il ne diffère de celui de la figure 3, page 10, que par le remplacement de l'analyseur multicanal par un voltmètre de valeur efficace vraie et les mêmes restrictions s'appliquent aux conditions de mesure.

Une impulsion de charge est appliquée à l'entrée du préamplificateur et l'amplitude V_a de l'impulsion de sortie résultante est mesurée sur l'oscilloscope. La tension efficace du bruit e_{no} est indiquée par un voltmètre possédant une courbe de réponse plate s'étendant au moins jusqu'à dix fois la

calibrating capacitor in the preamplifier may be compared with this precision three-terminal type capacitor. In addition, the dynamic input capacitance of the preamplifier should be not less than 100 times C_c . A suggested value of C_c is 1 pF.

The pulse generator should provide signals of the form shown in Figure 2, page 9, where the rise time t_r is not more than 20% of the shortest differentiating time constant in the main amplifier, and the decay time constant τ_d is such that the pulse does not droop more than 2% in the time required for the output pulse of the main amplifier to reach its peak. A suggested specification is that $t_r < 20$ ns and $\tau_d > 100$ μ s.

Under these conditions, the charge injected per pulse from the pulse generator is $V_g C_c$ coulombs to within about 1%. (If the stated conditions are not satisfied, a calculation can be made to determine the quantity of charge actually injected by each pulse.) With all elements of the system operating within their linear range, two settings of the pulse generator, corresponding to voltages V_{g1} and V_{g2} , should result in a spectrum consisting of two separated peaks centred at channels N_1 and N_2 as shown in Figure 4. The system gain and pulse amplitudes must be such that the full width at half maximum (FWHM) of each peak ΔN_E is at least five channels. The electronic noise linewidth (FWHM) in coulombs is then:

$$\Delta Q_E = \frac{V_{g1} - V_{g2}}{N_1 - N_2} \cdot C_c \cdot \Delta N_E$$

ΔN_E is determined from the widest of the two peaks.

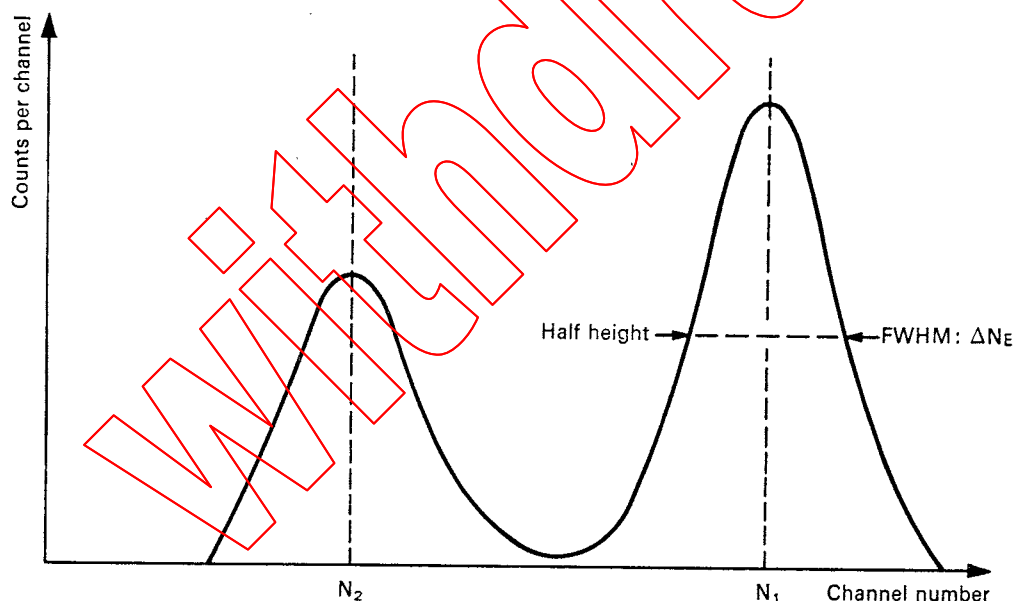


FIG. 4. — Typical noise measurement pulse-height distribution.

4.2 Noise measurement by oscilloscope and true root mean square voltmeter

An alternative method of measuring noise employs the system shown in Figure 5, page 15. This system is similar to the configuration of Figure 3, page 11, and the same constraints regarding operating conditions apply, but it differs in that a true r.m.s. voltmeter replaces the multichannel analyser.

A charge pulse is applied to the input of the preamplifier system and the peak amplitude V_a of the resulting output pulse is measured on the oscilloscope. The r.m.s. noise voltage e_{no} is indicated on a voltmeter having a flat frequency response extending to at least ten times the band-centre