

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61151

Première édition
First edition
1992-08

**Instrumentation nucléaire –
Amplificateurs et préamplificateurs utilisés
avec des détecteurs de rayonnements ionisants –
Méthodes d'essais**

**Nuclear instrumentation –
Amplifiers and preamplifiers
used with detectors of ionizing radiation –
Test procedures**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61151: 1992

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61151

Première édition
First edition
1992-08

**Instrumentation nucléaire –
Amplificateurs et préamplificateurs utilisés
avec des détecteurs de rayonnements ionisants –
Méthodes d'essais**

**Nuclear instrumentation –
Amplifiers and preamplifiers
used with detectors of ionizing radiation –
Test procedures**

© IEC 1992 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XC**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	10
INTRODUCTION	12
Articles	
1 Généralités	14
1.1 Domaine d'application et objet	14
1.2 Références normatives	14
1.3 Définitions particulières	16
1.4 Symboles et abréviations	26
1.5 Constantes et facteurs de conversion	30
2 Spectromètre	32
2.1 Détecteurs	32
2.1.1 Signal du détecteur	34
2.1.2 Temps de montée et temps de descente	36
2.2 Préamplificateur	36
2.3 Amplificateur principal (amplificateur de mise en forme)	38
2.4 Amplificateur à seuil	40
2.5 Analyseur multicanal	40
3 Appareils d'essais	42
3.1 Montage d'essai	42
3.1.1 Précision des appareils d'essais	42
3.1.2 Précision des mesures	44
3.2 Générateurs d'impulsions	44
3.2.1 Générateur d'impulsions, essais du préamplificateur	44
3.2.2 Générateur d'impulsions, essais de l'amplificateur principal	46
3.3 Atténuateur à pas (à échelons)	46
3.3.1 Adaptation terminale de l'atténuateur	46
3.4 Boîtier de condensateur	48
3.5 Amplificateur de mise en forme	48
3.6 Voltmètre alternatif	48
3.7 Oscilloscope	48
3.8 Pont de non-linéarité	50
3.9 Etalonnage de l'oscilloscope par rapport au générateur	52
4 Mesures et spécifications relatives à l'amplificateur principal	52
4.1 Paramètres de mise en forme	52
4.1.1 Terminologie du panneau avant, mise en forme unipolaire	54

CONTENTS

	Page
FOREWORD	11
INTRODUCTION	13
Clause	
1 General	15
1.1 Scope and object	15
1.2 Normative references	15
1.3 Specialized definitions	17
1.4 Symbols and abbreviations	27
1.5 Constants and conversion factors	31
2 Spectrometer	33
2.1 Detectors	33
2.1.1 Detector signal	35
2.1.2 Rise time and fall time	37
2.2 Preamplifier	37
2.3 Main amplifier (shaping amplifier)	39
2.4 Biased amplifier	41
2.5 Multichannel analyzer	41
3 Test instruments	43
3.1 Test set-up	43
3.1.1 Test instrument accuracy	43
3.1.2 Measurement accuracy	45
3.2 Pulse generators	45
3.2.1 Pulse generator, preamplifier tests	45
3.2.2 Pulse generator, main amplifier tests	47
3.3 Step attenuator	47
3.3.1 Attenuator termination	47
3.4 Capacitor box	49
3.5 Shaping amplifier	49
3.6 A.C. voltmeter	49
3.7 Oscilloscope	49
3.8 Nonlinearity bridge	51
3.9 Oscilloscope/generator calibration	53
4 Main amplifier measurements and specifications	53
4.1 Pulse-shape parameters	53
4.1.1 Front panel nomenclature, unipolar shaping	55

4.1.2	Terminologie du panneau avant, mise en forme bipolaire	56
4.2	Largeur d'impulsion	56
4.3	Restitution après surcharge	56
4.3.1	Temps de restitution après surcharge, unipolaire	58
4.3.2	Temps de restitution après surcharge, bipolaire	60
4.3.3	Blocage (paralysie)	60
4.3.4	Artefacts de la ligne de base	62
4.4	Etalonnage de la commande de réglage du gain et mesure du gain de l'amplificateur principal	62
4.4.1	Etalonnage du gain principal (grossier)	62
4.4.2	Etalonnage du gain fin	64
4.5	Mesure du bruit	64
4.6	Gain de transition du bruit	64
4.7	Domaine de compensation pôle/zéro	66
4.8	Non-linéarité	66
4.9	Résistance interne	70
4.10	Sensibilité à la température	74
4.11	Sensibilité à la tension d'alimentation	74
4.12	Fluctuation du temps de recouvrement	74
5	Mesures relatives au préamplificateur	76
5.1	Sensibilité à la charge	78
5.1.1	Sensibilité à la charge en fonction de la capacité	78
5.1.2	Sensibilité à la charge en fonction de la capacité, méthode de l'AMC ...	78
5.1.3	Sensibilité à la charge en fonction de la capacité, méthode de l'équilibre de pont	80
5.1.4	Spécifications relatives à la sensibilité à la charge en fonction de la capacité	80
5.2	Valeur de la capacité d'injection-test interne	80
5.3	Temps de montée en fonction de la capacité	80
5.4	Bruit, préamplificateurs	82
5.4.1	Mesure du bruit, préamplificateurs pour détecteurs en germanium	82
5.4.2	Mesure du bruit, préamplificateurs pour détecteurs en silicium	84
5.4.3	Bruit, unités de charge équivalente efficace et nombre de paires d'ions équivalent efficace	84
5.4.4	Correction relative au bruit de l'amplificateur principal	84
5.5	Non-linéarité du préamplificateur	86
5.6	Produit énergie x taux de comptage (PETC)	88
5.6.1	Détermination de C_r	90
5.6.2	Détermination du produit $R_f C_r$	90
5.6.3	Limite du taux de comptage, préamplificateur à liaison continue	94
5.6.4	Limite du taux de comptage, préamplificateur à liaison capacitive	94
6	Mesures relatives à un amplificateur à seuil	98
6.1	Non-linéarité, amplificateur à seuil	98

4.1.2	Front panel nomenclature, bipolar shaping	57
4.2	Pulse width	57
4.3	Overload recovery	57
4.3.1	Overload recovery time, unipolar	59
4.3.2	Overload recovery time, bipolar	61
4.3.3	Blocking (paralysis)	61
4.3.4	Baseline artifacts	63
4.4	Gain control calibration and main amplifier gain measurement	63
4.4.1	Coarse gain calibration	63
4.4.2	Fine gain calibration	65
4.5	Noise measurement	65
4.6	Noise transition gain	65
4.7	Pole/zero range	67
4.8	Nonlinearity	67
4.9	Source resistance	71
4.10	Temperature sensitivity	75
4.11	Supply voltage sensitivity	75
4.12	Crossover walk	75
5	Preamplifier measurements	77
5.1	Charge sensitivity	79
5.1.1	Charge sensitivity versus capacitance	79
5.1.2	Charge sensitivity versus capacitance, MCA method	79
5.1.3	Charge sensitivity versus capacitance, bridge balance method	81
5.1.4	Charge sensitivity versus capacitance specifications	81
5.2	Size of the internal test capacitor	81
5.3	Rise time versus capacitance	81
5.4	Noise, preamplifiers	83
5.4.1	Noise, preamplifiers for germanium detectors	83
5.4.2	Noise, preamplifiers for silicon detectors	85
5.4.3	Noise, units of equivalent r.m.s., charge and equivalent r.m.s. ion pairs	85
5.4.4	Correction for main amplifier noise	85
5.5	Preamplifier nonlinearity	87
5.6	Energy x count-rate product (ECRP)	89
5.6.1	Determination of C_f	91
5.6.2	Determination of R_f , C_f	91
5.6.3	Count-rate limit, d.c.-coupled preamplifier	95
5.6.4	Count-rate limit, a.c.-coupled preamplifier	95
6	Biased amplifier measurements	99
6.1	Nonlinearity, biased amplifier	99

ANNEXES

A	Spectromètre	104
B	Appareils d'essais	116
C	Mesures et spécifications relatives à l'amplificateur principal	132
D	Mesures relatives au bruit du préamplificateur	146
E	Mesures relatives à l'amplificateur à seuil	152
F	Bibliographie	154

FIGURES

1	Spectromètre	32
2	Résolution en énergie en fonction de $t_{1/2}$	38
3	Montage d'essai	42
4	Oscillogramme d'équilibre de pont	50
5	Impulsions unipolaires et bipolaires	54
6	Bruit à la sortie de l'amplificateur en fonction du réglage du gain	66
7	Caractéristique dynamique illustrant la non-linéarité intégrale	68
8	Mesure de la résistance interne r_o	72
9	Montage d'essai pour la mesure de la non-linéarité différentielle d'un préamplificateur	86
10	Courbes de décroissance exponentielle	92
11	Montage pour la mesure de la non-linéarité d'un amplificateur à seuil	100
A.1a	Préamplificateur de tension	104
A.1b	Préamplificateur sensible à la charge	104
A.2	Réponses à la fonction échelon des circuits de mise en forme, échelle linéaire	112
A.3	Réponses à la fonction échelon des circuits de mise en forme, échelle semi-logarithmique	114
B.1	Générateur d'impulsions à long front de descente, avec un relais comme élément de commutation	116
B.2	Pont de capacité	120
B.3	Montage d'essai pour étalonnage de C_c	120
B.4	Entrée test d'un préamplificateur	122
B.5	Pont de non-linéarité avec amplificateur	128
C.1	Influence de la compensation pôle/zéro sur la restitution du signal	132
C.2	Montage d'essai pour la mesure du déplacement dû à l'atténuateur	142
E.1	Amplificateur à seuil de référence pour mesure de la non-linéarité	152

ANNEXES

A	Spectrometer	105
B	Test instruments	117
C	Main amplifier measurements and specifications	133
D	Preamplifier noise measurements	147
E	Reference biased amplifier	153
F	Bibliography	154

FIGURES

1	Spectrometer	33
2	Energy resolution versus $t_{1/2}$	39
3	Test set-up	43
4	Oscillogram of bridge balance	51
5	Unipolar and bipolar pulses	55
6	Output noise versus gain setting	67
7	Dynamic characteristic illustrating integral nonlinearity	69
8	Measurement of source resistance r_o	73
9	Test set-up for measuring preamplifier differential nonlinearity	87
10	Curves of exponential decay	93
11	Test set-up for measuring nonlinearity of a biased amplifier	101
A.1a	Voltage-sensitive preamplifier	105
A.1b	Charge-sensitive preamplifier	105
A.2	Step function responses of pulse shaping networks, linear scale	113
A.3	Step function responses of pulse shaping networks, semilog scale	115
B.1	Tail pulse generator with a relay as the switching element	117
B.2	Capacitance bridge	121
B.3	Test set-up for calibrating C_c	121
B.4	Test input to a preamplifier	123
B.5	Nonlinearity bridge with amplifier	129
C.1	Effect of pole/zero compensation on pulse recovery	133
C.2	Test set-up for measuring attenuator walk	143
E.1	Reference biased amplifier for nonlinearity measurement	153

TABLEAUX

A.1	Comparaison (approximative) des paramètres dans les préamplificateurs de tension et les préamplificateurs sensibles à la charge	106
A.2	Circuits de mise en forme, facteur de mérite et paramètres de durée d'impulsion	112

TABLES

A.1	Parameter proportionalities (approximate) in voltage-sensitive and charge-sensitive preamplifiers	107
A.2	Pulse shaping networks, figures of merit and pulse width parameters	113

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS UTILISÉS AVEC DES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS IONISANTS – MÉTHODES D'ESSAIS

AVANT-PROPOS

- 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.
- 4) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

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

Cette norme annule et remplace la deuxième édition de la CEI 340, parue en 1979. Par rapport à la deuxième édition de la CEI 340, le titre a été modifié car les mêmes amplificateurs, utilisés pour les détecteurs semi-conducteurs, sont applicables à d'autres types de détecteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
45(BC)206	45(BC)214

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les annexes A à E font partie intégrante de la présente Norme internationale.

L'annexe F est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR INSTRUMENTATION –
AMPLIFIERS AND PREAMPLIFIERS
USED WITH DETECTORS OF IONIZING RADIATION –
TEST PROCEDURES**

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.
- 4) The IEC has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45: Nuclear instrumentation.

This standard cancels and replaces the second edition of IEC 340, issued in 1979. With respect to the second edition of IEC 340, the title has been changed because the amplifiers used for semiconductor detectors are also applicable to other types of detectors.

The text of this standard is based on the following documents:

DIS	Report on Voting
45(CO)206	45(CO)214

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Report on Voting indicated in the above table.

Annexes A to E form an integral part of this International Standard.

Annex F is for information only.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale décrit les méthodes d'essais des amplificateurs et des préamplificateurs utilisés avec des détecteurs semi-conducteurs, des compteurs proportionnels et des détecteurs à scintillation, en spectrométrie des rayonnements ionisants.

La technologie des amplificateurs a évolué jusqu'au point où les performances des spectromètres peuvent être limitées aussi bien par l'analyseur multicanal (AMC) que par l'amplificateur. En raison de cela et en raison de l'impossibilité de normaliser un AMC donné, compte tenu du grand nombre existant sur le marché, les AMC, à quelques exceptions près, ne font pas partie de la méthode de mesure préconisée dans la présente norme.

Dans la présente norme, les méthodes de mesure sont décrites de façon plus détaillée que dans la CEI 340 qu'elle remplace, car avec les amplificateurs modernes, les performances obtenues dépendent souvent des détails de la mesure. Par conséquent, il est nécessaire de normaliser les détails des méthodes ainsi que les spécifications relatives aux amplificateurs.

Les essais spécifiques aux amplificateurs munis de filtres de mise en forme d'impulsions variant dans le temps ne sont pas inclus dans la présente norme; il en est de même pour les essais relatifs aux circuits de rejet d'empilements. Les filtres variant dans le temps permettent des temps de mise en forme plus courts que ceux permis par les filtres linéaires, pour le même rapport signal à bruit (RSB) et les circuits de rejet d'empilement, qui comme leur nom l'indique, arrêtent les impulsions qui chevauchent des impulsions précédentes, permettent des taux de comptage plus élevés pour une résolution spectrale donnée. Les deux techniques trouvent leur plus large application à des énergies extrêmes: à des énergies très faibles, car des impulsions de longue durée doivent être obligatoirement utilisées pour optimiser le rapport signal à bruit (RSB), et à des énergies élevées, où des artefacts des détecteurs provoquent un traînage sur le flanc basse énergie des raies spectrales. Le traînage perturbe les raies de faible intensité situées juste en dessous des raies d'énergies plus élevées, et le phénomène d'empilement entraîne l'apparition de pics fictifs à des énergies multiples de celles des raies spectrales.

Dans la présente norme, $t_{0,5}$ ou $t_{1/2}$ (la durée d'impulsion à 50 % de l'amplitude du pic) indique le temps de mise en forme à l'amplificateur principal, car ce paramètre constitue le meilleur moyen de comparer les caractéristiques de différents amplificateurs. En outre, comparé à d'autres paramètres, ce paramètre est celui qui se prête le plus facilement à une mesure précise au moyen d'un oscilloscope et d'un générateur d'impulsions.

INTRODUCTION

This International Standard describes test procedures for amplifiers and preamplifiers that are used with semiconductor, scintillation and proportional detectors in the spectrometry of ionizing radiation.

Amplifier technology has progressed to the point where the spectrometer performance may be limited as much by the multi-channel analyser (MCA) as by the amplifier. Because of this and because of the impracticality of standardizing on one MCA with so many on the market, MCAs, with minor exceptions, are not a part of the measurement procedure in this standard.

In this standard, measuring procedures are given in greater detail than in IEC 340, which it replaces, because with modern amplifiers, perceived performance often depends on the details of measurement. Thus, many of the details of the procedures need to be standardized as well as the amplifier specifications.

Tests that are specific to amplifiers with time-variant pulse-shaping filters are not included in this standard, nor are tests for pile-up rejectors. Time variant filters allow shorter pulse shaping times than linear filters for the same signal-to-noise ratio (SNR), and pile-up rejectors, as the name implies, block pulses that overlap earlier ones, allowing higher count rates for a given spectral-line resolution. Both techniques have the greatest application at the energy extremes: at very low energies because wide pulses need to be used to optimize the SNR, and at high energies where detector artifacts cause low-side tailing of spectrum lines. The tailing obscures low intensity lines falling just below higher energy ones and pile-up causes phantom peaks to appear at energy multiples of the spectrum lines.

In this standard, $t_{0.5}$ or $t_{1/2}$ (the pulse width at 50 % of peak amplitude) is the main amplifier indicator of shaping time because this parameter best enables a performance comparison among different amplifiers. Also, compared with other parameters, this one is the easiest to measure accurately with an oscilloscope and pulse generator.

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS UTILISÉS AVEC DES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS IONISANTS – MÉTHODES D'ESSAIS

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

Les méthodes d'essais de cette Norme internationale concernent les systèmes d'amplificateurs et de préamplificateurs munis de circuits de mise en forme linéaire et destinés à être utilisés avec des détecteurs semi-conducteurs, des détecteurs à scintillation et des compteurs proportionnels, dans la spectrométrie des rayonnements ionisants. Le but est de fournir un langage commun et une méthodologie commune aux utilisateurs et aux fabricants de systèmes d'amplificateurs d'impulsions.

Les méthodes d'essais relatives aux détecteurs associés sont décrites dans la CEI 333, ainsi que dans la CEI 973.

Les essais décrits dans la présente norme ne sont pas tous obligatoires, mais ceux qui sont effectués dans le but de déterminer les spécifications relatives aux préamplificateurs et aux amplificateurs doivent être exécutés conformément aux prescriptions de la présente norme.

L'accent mis sur les méthodes de mesure a pour objet d'accroître la sensibilité et d'améliorer la précision en contournant les limitations des appareils d'essais, notamment les oscilloscopes qui ne disposent que d'un écran de visualisation pour la lecture. Une méthode de zéro est employée, autant que possible, ce qui permet de réduire les erreurs intrinsèques, à l'imprécision d'un couple de résistances de précision. Lorsque l'utilisation d'un pont n'est pas adaptée, comme dans le cas de mesures d'amplitude au moyen d'un oscilloscope, l'impulsion est générée de façon à avoir une amplitude et une position verticale fixes sur le tube cathodique. Certaines mesures nécessitent des appareils ou des montages d'essais qui ne sont pas encore disponibles dans le commerce, au moment de la rédaction de la présente norme; les schémas de circuits relatifs à leur construction sont présentés dans les annexes. L'utilisation d'un tiroir standard d'instrumentation nucléaire pour vérifier les performances d'un amplificateur n'est pas admise, à moins qu'il ne soit possible de corriger les erreurs introduites par ce tiroir ou de démontrer que ces erreurs sont inférieures à l'erreur engendrée par l'amplificateur. L'utilisation d'un module de détection de l'instant de passage pour mesurer le déplacement de cet instant dans un amplificateur bipolaire et celle d'un analyseur multicanal (AMC) pour mesurer la non-linéarité et le bruit en sont des exemples.

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 313: 1983, *Connecteurs de câbles coaxiaux utilisés en instrumentation nucléaire*.

NUCLEAR INSTRUMENTATION – AMPLIFIERS AND PREAMPLIFIERS USED WITH DETECTORS OF IONIZING RADIATION – TEST PROCEDURES

1 General

1.1 *Scope and object*

The test procedures of this International Standard cover amplifier and preamplifier systems with linear pulse shaping networks for use with semiconductor, scintillation and proportional detectors in the spectrometry of ionizing radiation. The object is to provide a common language and methodology for users and manufacturers of pulse-amplifier systems.

Test procedures for associated detectors are described in IEC 333 and IEC 973.

Not all of the tests described in this standard are mandatory, but those that are performed to determine preamplifier and amplifier specifications shall conform to this standard.

The emphasis on the methods of measurement is to enhance sensitivity and improve accuracy by working around the limitations of the test instruments, particularly oscilloscopes which have only a visual display for read-out. A null technique is used where possible, thereby reducing basic errors to the inaccuracy of a pair of precision resistors. When use of a bridge is inappropriate, such as in measurements of pulse height with an oscilloscope, the pulse is made to occupy a fixed amplitude and vertical position on the face of the cathode ray tube. Some measurements require test instruments or fixtures not commercially available at this writing; circuit diagrams for their construction are given in the annexes. The use of a standard nuclear instrument module to test the performance of an amplifier is not acceptable unless the errors introduced by that module can be corrected for or shown to be less than the error caused by the amplifier. Examples are the use of a crossover pickoff module to measure crossover walk in a bipolar amplifier and an MCA to measure nonlinearity and noise.

1.2 *Normative references*

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 313: 1983, *Coaxial cable connectors used in nuclear instrumentation*.

CEI 333: 1983, *Méthodes d'essais des semicteurs pour particules chargées*.

CEI 973: 1989, *Méthodes d'essais de détecteurs gamma en germanium*.

1.3 Définitions particulières

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

1.3.1 résistance d'adaptation de sortie: Résistance qui relie l'étage de sortie d'un amplificateur ou d'un générateur de signaux à son connecteur de sortie.

1.3.2 déficit ballistique: Dans un amplificateur, la perte d'amplitude qui se produit lorsque le temps de montée du signal en entrée n'est pas négligeable par rapport à la durée de l'impulsion mise en forme par l'amplificateur.

1.3.3 largeur de bande (d'un voltmètre): Bande de fréquences sur laquelle l'indication du voltmètre alternatif est constante à $\pm 0,25$ dB près, tombant à 3 dB aux extrémités. La largeur de bande est définie comme la différence entre les hautes et basses fréquences auxquelles les points à -3 dB se produisent.

1.3.4 ligne de base: Moyenne des niveaux à partir desquels part une impulsion et vers lesquels elle revient, en absence d'une impulsion suivante chevauchante.

1.3.5 dérive de la ligne de base: Phénomène au cours duquel la ligne de base change au fur et à mesure que le coefficient d'occupation croît à partir de zéro. (Généralement, la polarité de la dérive est opposée à celle du signal.)

1.3.6 restaurateur de ligne de base: Circuit qui rétablit rapidement la ligne de base après l'impulsion de sortie de l'amplificateur (ou une série d'impulsions) au niveau existant avant elle.

1.3.7 seuil: Dans un amplificateur à seuil, niveau de tension (ou de courant) en dessous duquel le gain est nul.

1.3.8 polarisation: Dans un détecteur, champ électrique permettant la collection des charges.

1.3.9 amplificateur à seuil: Amplificateur ne donnant aucun signal en sortie pour des signaux d'entrée inférieurs à un seuil réglable, et ayant un gain constant au-dessus de ce seuil, jusqu'à un signal en sortie maximal spécifié.

1.3.10 résistance de polarisation (détecteur): Résistance à travers laquelle la tension fournissant la polarisation est appliquée à un détecteur.

1.3.11 impulsion bipolaire: Impulsion ayant deux lobes situés de part et d'autre de la ligne de base. Une telle impulsion est obtenue en incluant un second différenciateur dans le circuit de mise en forme unipolaire d'un amplificateur.

1.3.12 bloqué: Situation dans laquelle le gain d'un amplificateur est réduit à zéro, pendant un temps supérieur à la durée d'une impulsion normale, par un signal provoquant une importante saturation.

IEC 333: 1983, *Test procedures for semiconductor charged particle detectors*.

IEC 973: 1989, *Test procedures for germanium gamma-ray detectors*.

1.3 Specialized definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions are applicable.

1.3.1 back termination, back terminating resistor: Resistor joining the output stage of an amplifier or signal generator to its output connector.

1.3.2 ballistic deficit: In an amplifier, the loss in pulse height that occurs when the rise time of the input signal is not negligible compared with the width of the shaped amplifier pulse.

1.3.3 bandwidth (of a voltmeter): Band of frequencies over which the a.c. voltmeter indication is constant within $\pm 0,25$ dB, rolling off 3 dB at the ends. The bandwidth is defined as the difference between the high and low frequencies at which the -3 dB points occur.

1.3.4 baseline: Average of the levels from which a pulse departs and to which it returns in the absence of a following overlapping pulse.

1.3.5 baseline shift: Phenomenon in which the baseline changes as the duty cycle increases from zero. (Usually, the shift is opposite in polarity to that of the signal.)

1.3.6 baseline restorer: Circuit that rapidly restores the baseline following an amplifier's output pulse (or series of pulses) to the level existing prior to it.

1.3.7 bias (amplifier): In a biased amplifier, the applied threshold voltage (or current) below which the gain is zero.

1.3.8 bias (detector): In a detector, the electric field that causes charge to be collected.

1.3.9 biased amplifier: Amplifier giving zero output for input signals below an adjustable threshold and having constant gain above that threshold up to a specified maximum output.

1.3.10 bias resistor (detector): Resistor through which the polarizing voltage is applied to a detector.

1.3.11 bipolar pulse: Pulse having two lobes, one on each side of the baseline. Such a pulse is obtained by including a second differentiator in the unipolar pulse shaping network of an amplifier.

1.3.12 blocked: Situation in which amplifier gain is reduced to zero for longer than a normal pulse width by a heavily overloaded signal.

1.3.13 buck: (La traduction française du passage comportant ce terme ne présente pas de terme nécessitant une définition spéciale.)

1.3.14 tampon: Circuit interposé entre une source de signaux et sa charge, pour éviter une interaction inopportune entre les deux.

1.3.15 capacité (d'entrée froide): Capacité mesurée entre les bornes d'entrée d'un préamplificateur, toutes les tensions continues étant appliquées, mais la voie signal étant inactivée.

1.3.16 capacité (d'un détecteur): Capacité mesurée, pour des signaux faibles, entre les bornes d'un détecteur dans des conditions spécifiées de polarisation et de fréquence.

1.3.17 capacité (d'entrée chaude): Capacité mesurée entre les bornes d'entrée d'un préamplificateur en fonctionnement.

1.3.18 résistance caractéristique (impédance): Résistance interne (impédance) d'un circuit (tel qu'un câble coaxial ou un atténuateur). Lorsque ce circuit est raccordé à cette même résistance (impédance), les réflexions de signaux sont éliminées et le signal en sortie est réduit de moitié.

1.3.19 préamplificateur sensible à la charge: Préamplificateur dans lequel le signal de sortie est proportionnel à la charge injectée à l'entrée, indépendamment de la capacité du circuit d'entrée.

1.3.20 écrêtage: Opération de limitation telle que 1) l'utilisation d'un filtre passe-haut (différenciateur) ou 2) une opération non linéaire destinée à limiter l'amplitude ou la durée d'une impulsion. La première méthode est archaïque.

1.3.21 temps de collection: Dans un détecteur, temps nécessaire pour que le courant intégré, consécutif à un événement ionisant, augmente de 10 % à 90 % de sa valeur finale.

1.3.22 facteur de crête (dans un voltmètre alternatif): Rapport le plus élevé entre la tension de crête et la tension efficace qu'un voltmètre alternatif est susceptible de tolérer avant d'être surchargé. Il est possible que le facteur de crête dépende du réglage en pleine échelle.

1.3.23 temps de recouvrement: Instant auquel le front arrière du lobe primaire d'une impulsion bipolaire passe par un niveau déterminé (habituellement, la ligne de base).

1.3.24 circuit de mise en forme $(CR)^m - (RC)^n$: Circuit de mise en forme comprenant m différenciateurs et n intégrateurs, ayant tous la même constante de temps. Si $m = 1$, la forme de l'impulsion est unipolaire et sa réponse à une fonction échelon est $K(t/\tau)^n e^{-t/\tau}$. Ce circuit appartient à la classe des circuits de mise en forme quasi-gaussienne.

1.3.25 temps de descente (décroissance): Intervalle de temps nécessaire pour qu'une impulsion décroisse de 90 % de sa valeur de crête jusqu'à 10 %, sauf spécification contraire.

1.3.26 constante de temps de descente (décroissance): Pour une impulsion qui décroît avec une forme d'onde exponentielle, l'intervalle de temps nécessaire pour qu'elle décroisse jusqu'à 1/e de tout niveau sélectionné sur l'asymptote de la dernière transition.

1.3.13 buck: Balancing two opposite polarity signals against each other to produce a null.

1.3.14 buffer: Circuit interposed between a signal source and its load to prevent undesired interaction between the two.

1.3.15 capacitance (cold Input): Capacitance measured between the input terminals of a preamplifier with all d.c. voltages applied but with the signal path inactivated.

1.3.16 capacitance (detector): Small signal capacitance measured between the terminals of a detector under specified conditions of bias and frequency.

1.3.17 capacitance (hot Input): Capacitance measured between the input terminals of a working preamplifier.

1.3.18 characteristic resistance (Impedance): Internal resistance (impedance) of a network (such as a coaxial cable or an attenuator). When terminated in that same resistance (impedance), signal reflections are avoided and the output signal is halved.

1.3.19 charge-sensitive preamplifier: Preamplifier in which the output signal is proportional to input charge, independent of input capacitance.

1.3.20 clip, clipping: Limiting operation such as 1) the use of a high-pass filter (differentiator) or 2) a nonlinear operation to limit the amplitude or the duration of a pulse. The first usage is archaic.

1.3.21 collection time: In a detector, the time required for the integrated current following the occurrence of an ionizing event to increase from 10 % to 90 % of its final value.

1.3.22 crest factor (In an a.c. voltmeter): Highest ratio of peak to r.m.s. voltage that an a.c. voltmeter can tolerate before overload sets in. The crest factor may depend on the full-scale setting.

1.3.23 crossover time: Instant at which the trailing edge of the primary lobe of a bipolar pulse passes through a designated level (usually the baseline).

1.3.24 $(CR)^m - (RC)^n$ network: Shaping network comprising m differentiators and n integrators, all of the same time constant. If $m = 1$, the pulse shape is unipolar and its response to a step function is $K(t/\tau)^n e^{-t/\tau}$. This network is one of the class of quasi-Gaussian shaping networks.

1.3.25 decay time (last transition time): Time required for a pulse to decay from 90 % of its peak value to 10 % unless otherwise specified.

1.3.26 decay time constant: With a pulse that decays with a single exponential waveform, the time required for it to decay to $1/e$ of any selected level on the asymptote of the last transition.

1.3.27 décibel (dB): Vingt fois le logarithme (en base 10) du rapport de deux tensions. Par exemple, si un voltmètre alternatif indique 7,07 V à une certaine fréquence f_h , mais 10,0 V à une fréquence de référence $f_{réf}$, il est dit que cette indication à f_h est égale à $20 \log_{10} (7,07/10,0) = -3$ dB, par rapport à celle mesurée à $f_{réf}$.

1.3.28 non-linéarité différentielle: Variation de gain différentiel sur la gamme dynamique d'un amplificateur, habituellement exprimée comme un pourcentage du gain de référence.

1.3.29 différenciateur: Filtre passe-haut habituellement composé d'un condensateur et d'une résistance destinés à réduire la durée d'un signal et la réponse à des basses fréquences.

1.3.30 coefficient d'occupation: Dans un train d'impulsions, le rapport entre la durée d'une impulsion mesurée à un niveau défini et l'espacement moyen entre les impulsions, mesuré à ce même niveau. Sauf spécification contraire, le niveau défini correspond à 1 % de l'amplitude d'impulsion moyenne.

1.3.31 rapport cyclique: Voir coefficient d'occupation.

1.3.32 dynamique: Gamme d'amplitude de signaux dans laquelle un amplificateur donne une réponse nominalement linéaire.

1.3.33 produit énergie x taux de comptage: Dans un préamplificateur couplé en continu à un détecteur exposé à un rayonnement monoénergétique, ou dans un préamplificateur couplé en alternatif à un détecteur soumis à des bouffées de taux de comptage, le plus grand produit du taux de comptage par l'énergie pour lequel moins de 1 % des impulsions saturent le préamplificateur.

1.3.34 produit énergie au carré x taux de comptage: Dans un préamplificateur couplé en alternatif à un détecteur exposé à un rayonnement monoénergétique, le plus grand produit du taux de comptage par l'énergie au carré pour lequel moins de 1 % des impulsions saturent le préamplificateur.

1.3.35 bruit équivalent à l'entrée: Dans un amplificateur, le signal de bruit en sortie, divisé par le gain de l'amplificateur.

1.3.36 résistance équivalente de bruit, bruit série: Dans un amplificateur supposé exempt de bruit, la résistance qui, connectée entre la source de signaux et l'amplificateur, produira le bruit observé à la sortie de l'amplificateur.

Cette définition s'applique uniquement au bruit dont la densité spectrale est constante (bruit blanc).

1.3.37 résistance équivalente de bruit, bruit parallèle: Dans un amplificateur supposé exempt de bruit, la résistance qui, placée entre les bornes d'entrée de l'amplificateur, produira le bruit observé à la sortie de l'amplificateur.

Cette définition s'applique uniquement au bruit dont la densité spectrale est constante (bruit blanc).

1.3.38 Concerne le texte anglais uniquement.

1.3.27 decibel (dB): Twenty times the logarithm (to the base 10) of the ratio of two voltages. For example, if an a.c. voltmeter indicates 7,07 V at some frequency f_h , but 10,0 V at a reference frequency f_{ref} , its indication at f_h is said to be $20 \log_{10} (7,07/10,0) = -3$ dB (or "3 dB down") with respect to that at f_{ref} .

1.3.28 differential nonlinearity: Change in incremental gain over the dynamic range of an amplifier, usually expressed as a percentage of a reference gain.

1.3.29 differentiator: High-pass network usually comprising a capacitor and a resistor for the purpose of reducing the duration of a signal and the response to low frequencies.

1.3.30 duty cycle: In a train of pulses, the ratio of pulse width measured at a defined level to the mean spacing between pulses measured at that same level. Unless otherwise specified, 1 % of the average pulse height is the defined level.

1.3.31 duty factor: See duty cycle.

1.3.32 dynamic range: Range of signal heights over which an amplifier gives nominally linear response.

1.3.33 energy count rate product: In a preamplifier d.c.-coupled to a detector exposed to monoenergetic radiation, or in an a.c.-coupled preamplifier/detector subject to count-rate bursts, the highest product of counting rate and energy that causes no more than 1 % of the pulses to overload the preamplifier.

1.3.34 energy squared count-rate product: In a preamplifier a.c.-coupled to a detector exposed to monoenergetic radiation, the highest steady-state product of counting rate and energy squared that causes no more than 1 % of the pulses to overload the preamplifier.

1.3.35 equivalent input noise: In an amplifier, the output noise signal divided by the amplifier gain.

1.3.36 equivalent noise resistance, series noise: In a hypothetically noise-free amplifier, that resistance which, when connected between the signal source and the amplifier, will produce the observed output noise.

This definition applies only to noise with a constant spectral density (white noise).

1.3.37 equivalent noise resistance, parallel noise: In a hypothetically noise-free amplifier, that resistance which, when placed across the input terminals of the amplifier, will produce the observed output noise.

This definition applies only to noise with a constant spectral density (white noise).

1.3.38 fall time: See decay time.

1.3.39 gain (de l'amplificateur): Rapport entre l'amplitude de l'impulsion nominale de sortie et l'amplitude de l'impulsion nominale d'entrée (voir nominal).

1.3.40 filtre passe-haut: Circuit qui laisse passer toutes les fréquences supérieures à une fréquence de transition $f = 1/2 \pi \tau$ (voir différenciateur).

1.3.41 ronflement: Signal parasite à la fréquence de l'alimentation secteur ou à un harmonique de celle-ci.

1.3.42 Intégrateur: 1) Dans un circuit de mise en forme, une partie passe-bas du circuit du filtre; 2) Circuit dans lequel le signal de sortie est l'intégrale mathématique du signal d'entrée.

1.3.43 non-linéarité intégrale (pourcent): Ecart par rapport à la réponse linéaire exprimé comme un pourcentage de l'amplitude nominale du signal de sortie.

1.3.44 filtre passe-bas: Circuit qui nominalement laisse passer toutes les fréquences inférieures à $f = 1/2 \pi \tau$ (voir intégrateur).

1.3.45 amplificateur principal: Dans un système d'amplification, amplificateur qui suit habituellement le préamplificateur et qui contient le filtre de mise en forme du système.

1.3.46 gain de transition du bruit: Dans un amplificateur principal, le réglage du gain en-dessous duquel le bruit de sortie est pratiquement indépendant de ce réglage et au-dessus duquel le bruit de sortie est pratiquement proportionnel à celui-ci.

1.3.47 résolution électrique: Largeur d'une raie spectrale obtenue par substitution d'une impulsion électrique exempte de bruit au signal généré par une source radioactive.

1.3.48 nominal: Qualificatif se rapportant à une forme d'impulsion idéalisée ou à une autre caractéristique idéalisée.

1.3.49 décalage: Décalage c.c. par rapport à un niveau de tension (courant) définie. Sauf indication contraire, le niveau défini est la ligne de base.

1.3.50 dépassement: Région suivant immédiatement la première transition (d'un signal) qui dépasse la valeur nominale de ce signal.

1.3.51 temps de passage au sommet (impulsion mise en forme): Intervalle de temps entre le point 1 % sur la première transition et l'axe médian du sommet (crête).

1.3.52 compensation pôle/zéro: Méthode permettant d'éliminer, au niveau d'une impulsion unipolaire nominale, un dépassement négatif inopportun, habituellement provoqué par la constante de temps de décroissance d'un préamplificateur.

1.3.53 préamplificateur: Dans un système d'amplificateur, partie de l'amplificateur qui est physiquement fixée au détecteur, ou qui est située à proximité de celui-ci.

1.3.54 lobe primaire: Premier lobe d'une impulsion.

1.3.39 gain (amplifier): Ratio of nominal peak output pulse height to nominal peak input pulse height (see nominal).

1.3.40 high-pass network: Network that, nominally, passes all frequencies above a transition frequency $f = 1/2\pi\tau$ (see differentiator).

1.3.41 hum: Interfering signal at the power line frequency or harmonic thereof.

1.3.42 Integrator: 1) In a pulse shaper, a low-pass section of the filter network. 2) Circuit in which the output signal is the mathematical integral of the input signal.

1.3.43 Integral nonlinearity (percent): Departure from linear response expressed as a percentage of the rated output pulse amplitude.

1.3.44 low-pass network: Network that, nominally, passes all frequencies below $f = 1/2\pi\tau$ (see integrator).

1.3.45 main amplifier: In an amplifier system, the amplifier which usually follows the preamplifier and which contains the system's pulse shaping filter.

1.3.46 noise transition gain: In a main amplifier, the gain setting below which the output noise is nearly independent of that setting and above which the output noise is nearly proportional to it.

1.3.47 noise line width: Width of a spectral line obtained by substituting a noise-free electrical pulse for the signal generated by a radioactive source.

1.3.48 nominal: Relating to an idealized pulse shape or to some other idealized characteristic.

1.3.49 offset: D.C. shift from a defined voltage (current) level. Unless otherwise stated, the defined level is the baseline.

1.3.50 overshoot: Region immediately following the first transition (of a signal) that exceeds the nominal value of that signal.

1.3.51 peaking time (shaped pulse): Time interval between the 1 % point on the first transition and the top centre line.

1.3.52 pole-zero cancellation: Technique for eliminating from a nominal unipolar pulse an undesired undershoot, usually caused by the decay time constant of a preamplifier.

1.3.53 preamplifier: In an amplifier system, the amplifier section physically attached to or located close to the detector.

1.3.54 primary lobe: First lobe of a pulse.

1.3.55 quasi-gaussien: Qualifie la forme d'un signal (ou le circuit électrique qui le génère) qui se rapproche de celle d'une distribution normale.

Dans cette norme, sauf spécification contraire, le terme se rapporte à une forme d'impulsion produite par un différenciateur agissant conjointement avec quatre intégrateurs ou plus. Voir différenciateur et intégrateur.

1.3.56 impulsion rectangulaire: Impulsion à sommet horizontal, avec des transitions habituellement courtes par rapport à la durée du sommet de l'impulsion.

1.3.57 résolution en énergie: Sauf spécification contraire, il s'agit de la largeur totale à mi-hauteur (LTMH) d'un pic de spectre exprimé comme un incrément d'énergie δE , ou comme un pourcentage de l'énergie du pic $100 \delta E/E$. La largeur totale à mi-hauteur (LTMH) d'une distribution normale est $2\sqrt{2 \ln 2} = 2,355$ fois l'écart type σ . La valeur efficace et σ sont des synonymes.

1.3.58 temps de résolution (dans un système d'amplificateur): Espacement le plus étroit entre deux impulsions mises en forme, qui permet de les analyser séparément. Sauf spécification contraire, le temps de résolution est défini comme $t_{0,01}$ (voir $t_{0,01}$, paragraphe 1.4).

1.3.59 oscillation après impulsion: Oscillation amortie pouvant exister immédiatement après une transition d'impulsion.

1.3.60 temps de montée (temps de première transition): Sauf spécification contraire, temps nécessaire à un signal pour passer de 10 % à 90 % de sa valeur finale.

1.3.61 lobe secondaire: Second lobe d'une impulsion bipolaire.

1.3.62 temps d'établissement (d'une impulsion): Temps nécessaire à une impulsion pour se stabiliser à un pourcentage spécifié de son amplitude.

1.3.63 amplificateur de mise en forme: Voir amplificateur principal.

1.3.64 constante de temps de mise en forme: Voir index de mise en forme.

1.3.65 index de mise en forme: Indicateur de la durée de l'impulsion mise en forme. Sauf spécification contraire, cette durée est de $t_{1/2}$ (voir $t_{1/2}$, paragraphe 1.4). (Parfois désigné dans la présente norme par «constante de temps de mise en forme».)

1.3.66 circuit de mise en forme: Combinaison entre un circuit de filtre passe-haut (un ou deux différenciateurs) et un circuit de filtre passe-bas (plusieurs intégrateurs), pour réduire la durée du signal de sortie d'un préamplificateur, améliorant ainsi son temps de résolution et son rapport signal à bruit.

1.3.67 circuit sinusⁿ ou sinⁿ: Type de circuit de mise en forme qui transforme une fonction échelon en la forme d'onde définie par la relation $V = Ke^{-at/\tau} \sin^n t/\tau$. Il s'agit d'un circuit faisant partie de la classe des circuits de mise en forme quasi-gaussienne.

1.3.68 taux de balayage: Taux le plus élevé de changement de tension (habituellement, volts par microsecondes) qu'un étage d'amplificateur est capable de produire.

1.3.55 quasi-Gaussian: Description of a signal shape (or the electrical network that produces it) which approximates that of a normal distribution.

In this standard, unless otherwise stated, the term refers to a pulse shape produced by one differentiator in conjunction with four or more integrators. See differentiator and integrator.

1.3.56 rectangular pulse: Flat-topped pulse, usually with transitions short compared with the duration of the top.

1.3.57 resolution, energy: Unless otherwise specified, the full width at half maximum (FWHM) of a spectrum peak expressed as an increment of energy δE or as a percentage of the energy of the peak, $100 \delta E/E$. FWHM of a normal distribution is $2\sqrt{(2 \ln 2)} = 2,355$ times the standard distribution σ . The root-mean-square value and σ are synonymous.

1.3.58 resolving time (In an amplifier system): Closest spacing between two shaped pulses that permits them to be analyzed separately. Unless otherwise specified, the resolving time is defined as $t_{0,01}$ (see $t_{0,01}$, subclause 1.4).

1.3.59 ringing: Damped oscillation which may exist immediately following a pulse transition.

1.3.60 rise time (first transition time): Unless otherwise specified, the time required for a signal to increase from 10 % to 90 % of its final value.

1.3.61 secondary lobe: Second lobe of a bipolar pulse.

1.3.62 settling time (pulse): Time required for a pulse to equilibrate to a specified percentage of its amplitude.

1.3.63 shaping amplifier: See main amplifier.

1.3.64 shaping Index: See shaping time index.

1.3.65 shaping time Index: An indicator of shaped pulse width. Unless otherwise specified, that width is $t_{1/2}$ (see $t_{1/2}$, subclause 1.4). (Sometimes referred to in this standard as "shaping index".)

1.3.66 shaping network: Combination of a high-pass network (one or two differentiators) with a low-pass network (several integrators) to reduce the width of a preamplifier output signal, thereby improving its resolving time and signal-to-noise ratio.

1.3.67 sine^n or $\sin^n$ network: Type of shaping network that transforms a step function to the waveform described by $V = Ke^{-at/\tau} \sin^n t/\tau$. This is one of the class of quasi-Gaussian shaping networks.

1.3.68 slew rate: Greatest rate of change of voltage (usually, volts per microseconds) that an amplifier stage can produce.

1.3.69 résistance de source: Résistance interne d'un amplificateur ou d'un générateur de signaux, vue par la résistance d'adaptation de sortie ou, si aucune résistance de ce type n'est utilisée, vue par la charge externe.

1.3.70 spectre (d'amplitude): Distribution du nombre d'impulsions tombant dans un incrément d'amplitude, en fonction de l'amplitude de l'impulsion.

1.3.71 spectre (de rayonnement): Distribution du nombre d'événements ionisants (intensité) compris dans un incrément d'énergie, en fonction de l'énergie.

1.3.72 fonction échelon: Forme d'onde caractérisée par une montée rapide jusqu'à un niveau qui demeure, par la suite, constant.

1.3.73 impulsion à long front de descente: Forme d'impulsion caractérisée par une montée rapide suivie d'une décroissance exponentielle relativement longue par rapport au temps de montée.

1.3.74 résistance d'adaptation de sortie: Résistance raccordée aux bornes d'un câble, ou à la borne de sortie d'un amplificateur ou d'un générateur de signaux. (Avec un câble de connexion, le but est, habituellement, d'éliminer les signaux réfléchis aux extrémités.)

1.3.75 transition (impulsion): Région de changement entre la ligne de base et le pic et vice versa.

1.3.76 dépassement négatif: Extrémité d'une queue d'impulsion qui traverse la ligne de base pour générer un signal ayant une polarité de signe opposé à celui de la portion précédente. Une impulsion unipolaire idéale décroît de façon monotone jusqu'à la ligne de base; une impulsion bipolaire constitue un exemple d'impulsion ayant un dépassement négatif extrême.

1.3.77 impulsion unipolaire: Signal ayant, nominalement, un seul lobe au-dessus (ou en dessous) de la ligne de base.

1.3.78 préamplificateur de tension: Préamplificateur dans lequel le signal de sortie est proportionnel à la tension d'entrée.

1.3.79 déplacement: Variation en temps, en fonction de l'événement inducteur, d'un point de référence d'une impulsion en fonction de l'amplitude.

1.4 Symboles et abréviations

A	gain de l'amplificateur
A_{br}	gain d'un amplificateur à pont de non-linéarité
A_T	gain de transition de bruit
CAN	convertisseur analogique-numérique
RLB	restaurateur de ligne de base
AS	amplificateur à seuil
BNC	connecteur de câbles coaxiaux (voir article 3 de la CEI 313)
LB	bande passante, largeur de bande
c/s	chocs par seconde

1.3.69 source resistance: Internal resistance of an amplifier or signal generator seen by the back terminating resistor or, if no resistance is used, seen by the external load.

1.3.70 spectrum (pulse height): Distribution of the number of pulses falling within a pulse height increment as a function of pulse height.

1.3.71 spectrum, radiation: Distribution of the number of ionizing events (intensity) falling within an energy increment as a function of energy.

1.3.72 step function: Waveform characterized by a rapid rise to a level that remains constant thereafter.

1.3.73 tail pulse: Pulse shape characterized by a rapid rise followed by an exponential decay long compared with the rise time.

1.3.74 termination, terminating resistor: Resistor connected across a cable or across the output of an amplifier or signal generator. (With a connecting cable, the purpose usually is to eliminate signal reflections at the ends.)

1.3.75 transition (pulse): Region of change between the baseline and the peak, or vice versa.

1.3.76 undershoot: Tail end of a pulse which crosses the baseline to produce a signal opposite in polarity to the preceding portion. An ideal unipolar pulse decays monotonically to the baseline; a bipolar pulse is an example of one with an extreme undershoot.

1.3.77 unipolar pulse: Signal nominally having a single lobe above (or below) the baseline.

1.3.78 voltage-sensitive preamplifier: Preamplifier in which the output signal is proportional to the input voltage.

1.3.79 walk: Change in time, with respect to the initiating event, of a reference point on a pulse as a function of pulse height.

1.4 Symbols and abbreviations

A	amplifier gain
A_{br}	gain of nonlinearity bridge amplifier
A_T	noise transition gain
ADC	analog-to-digital converter
BLR	baseline restorer
BA	biased amplifier
BNC	coaxial cable connector (see clause 3 of IEC 313)
BW	bandwidth
c/s	counts per second

C	capacité électrique
C_b	coulomb
C_c	condensateur étaloné, utilisé pour coupler un générateur d'impulsions à un préamplificateur
C_d	capacité du détecteur
C_r	condensateur de contre-réaction dans un préamplificateur de tension
C_t	condensateur relié aux bornes d'entrée d'un préamplificateur, pour déterminer l'effet sur les performances
CRT	tube cathodique
$^{\circ}\text{C}$	degrés Celsius
Δ	variation incrémentale
ΔV_{br}	tension de sortie du pont (à zéro, $\Delta V_{br} = 0$)
dB	décibels
div	division mineure. Sur le graticule d'un oscilloscope, 5 div sont habituellement égales à 1 DIV
DIV	division majeure sur le graticule d'un oscilloscope
DVM	voltmètre à affichage numérique
E	énergie d'une particule ou d'un photon
PETC	produit énergie x taux de comptage
PE^2TC	produit énergie au carré x taux de comptage
e, exp	base des logarithmes népériens
ϵ	énergie moyenne pour former une paire d'ions
e_b	valeur efficace d'une tension de bruit
e_{be}	valeur efficace équivalente d'une tension de bruit rapportée à l'entrée d'un amplificateur ou d'un préamplificateur
e_{bs}	valeur efficace de la tension de bruit à la sortie de l'amplificateur
TEC	transistor à effet de champ
LTMH	largeur totale à mi-hauteur
LT0, 1H	largeur totale au dixième de la hauteur
LT0, 01H	largeur totale au centième de la hauteur
Hz	hertz
$ x $	valeur absolue de x (x pouvant représenter n'importe quelle valeur numérique)
kc/s	kilochocs par seconde
K	1) kelvin (unité de température thermodynamique), 2) une constante arbitraire (d'après le contexte, il sera possible de voir clairement si il s'agit de 1) ou de 2))
NL_D	non-linéarité différentielle
NL_I	non-linéarité intégrale
AMC	analyseur multicanal
MHz	mégahertz
Ω	ohms
ppm	parties par million
P/Z	pôle/zéro
Q	charge électrique
q_b	charge efficace du bruit
q_{be}	valeur efficace équivalente d'une charge de bruit rapportée à l'entrée d'un préamplificateur

C	electrical capacitance
C_b	coulomb
C_c	calibrated capacitor used to couple a pulse generator to a preamplifier
C_d	detector capacitance
C_f	feedback capacitor in a charge-sensitive preamplifier
C_t	capacitor connected across the input of a preamplifier to determine the effect on performance
CRT	cathode ray tube
°C	degrees Celsius
Δ	incremental change
ΔV_{br}	bridge output voltage (at null, ΔV _{br} = 0)
dB	decibel(s)
div	minor division. On an oscilloscope graticule, 5 div usually equals 1 DIV
DIV	major division on an oscilloscope graticule
DVM	digital voltmeter
E	energy of a particle or photon
ECRP	energy count-rate product
E²CRP	energy squared count-rate product
e, exp	base of natural logarithms
ε	average energy required to form one ion pair
e_n	r.m.s. noise voltage
e_{ni}	equivalent r.m.s. noise voltage referred to the input of an amplifier or preamplifier
e_{no}	r.m.s. noise voltage at the output of an amplifier
FET	field-effect transistor
FWHM	full width at half maximum
FW0, 1M	full width at tenth maximum. FWTM shall not be used for this abbreviation
FW0, 01M	full width at one-hundreth maximum
Hz	hertz
 x 	absolute value of x (x may be any numeral)
kc/s	kilocounts per second
K	1) kelvin (unit of thermodynamic temperature), 2) an arbitrary constant (whether 1) or 2) applies will be clear from the context)
L_D	differential nonlinearity
L_I	integral nonlinearity
MCA	multichannel analyser
MHz	megahertz
Ω	ohms
ppm	parts per million
P/Z	pole/zero
Q	electrical charge
q_n	r.m.s. noise charge
q_{ni}	equivalent r.m.s. noise charge referred to the input of a preamplifier

q	charge de l'électron, $1,602 \times 10^{-19}$ coulombs
R	résistance électrique
R_d	résistance de polarisation du détecteur
r_o	résistance interne (résistance de source)
R_o	résistance caractéristique ou résistance de raccordement de sortie
R_r	résistance de réaction dans un préamplificateur de tension
ASR	amplificateur à seuil, de référence
RSB	rapport du signal de crête au bruit efficace
t	temps
t_{ds}	temps de descente d'une impulsion, de 90 % à 10 % de l'amplitude de crête
t_m	temps de montée d'une impulsion, de 10 % à 90 % de l'amplitude de crête
t_p	temps de passage au sommet d'une impulsion, mesuré entre 1 % de l'amplitude et le centre du sommet
t_{p1}	temps de passage au sommet d'une impulsion bipolaire, mesurée entre 1% de l'amplitude du lobe primaire et le centre de son sommet
t_{p2}	temps de passage au sommet d'une impulsion bipolaire, mesurée entre 1 % de l'amplitude du lobe primaire et le centre du sommet du lobe secondaire
t_{xo}	temps de recouvrement d'une impulsion bipolaire
$t_{0,5}$	index de mise en forme (durée d'une impulsion mise en forme à 50 % de son amplitude de crête)
$t_{1/2}$	identique à $t_{0,5}$
t_n	durée d'une impulsion, à la fraction n de son amplitude de crête, où n est spécifié aux valeurs 0,1, 0,01, etc.
τ	constante de temps
V	tension électrique
V_a	amplitude de l'impulsion à la sortie de l'amplificateur
V_{en}	amplitude de l'impulsion à l'entrée de l'amplificateur
V_m	tension de sortie maximale assignée d'un amplificateur
Z_o	impédance caractéristique

1.5 Constantes et facteurs de conversion

q	$1,602 \times 10^{-19}$ coulombs (Cb)
ϵ_{Ge}	2,97 eV $\pm$ 1 % par paire électron-trou à 77 K pour les rayons X et les rayons gamma
ϵ_{Si}	3,63 eV $\pm$ 1 % par paire électron-trou à 290 K – 300 K pour les particules
ϵ (pour du gaz P10, 90 % d'argon, 10 % de méthane)	25 eV par paire ionique
Valeur efficace à LTMH	multiplier par 2,355
Valeur moyenne à valeur efficace (voltmètre)	multiplier par 1,1284

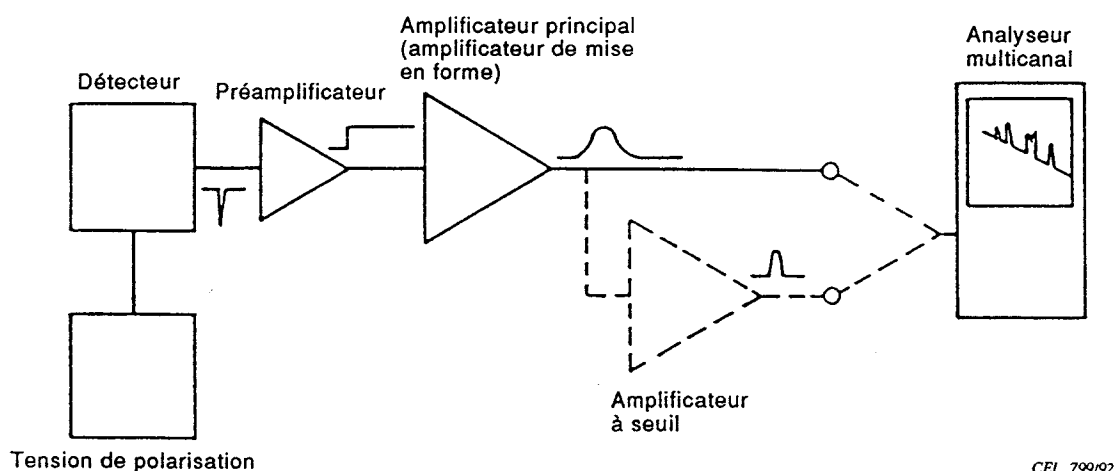
q	charge of the electron, $1,602 \times 10^{-19}$ coulombs
R	electrical resistance
R_d	detector bias resistor
r_o	internal resistance (source resistance)
R_o	characteristic resistance or terminating resistance
R_f	feedback resistor in a charge-sensitive preamplifier
RBA	reference biased amplifier
SNR	ratio of the peak signal to the r.m.s. noise
t	time
t_f	pulse fall time, 90 % to 10 % of the peak height
t_r	pulse rise time, 10 % to 90 % of the peak height
t_p	pulse peaking time, measured from 1 % of the peak height to the centre of the peak
t_{p1}	bipolar pulse peaking time, measured from 1 % of the peak height of the primary lobe to the centre of its peak
t_{p2}	bipolar pulse peaking time, measured from 1 % of the peak height of the primary lobe to the peak of the undershoot
t_{xo}	crossover time of a bipolar pulse
$t_{0,5}$	shaping time index (width of a shaped pulse at 50 % of its peak height)
$t_{1/2}$	same as $t_{0,5}$
t_n	width of a pulse at the fraction n of its peak height, where n is specified as 0,1, 0,01, etc.
τ	time constant
V	electrical voltage
V_a	pulse height at amplifier output
V_{in}	pulse height at amplifier input
V_m	rated maximum output voltage of an amplifier
Z_o	characteristic impedance

1.5 Constants and conversion factors

q	$1,602 \times 10^{-19}$ coulombs (Cb)
ϵ_{Ge}	2,97 eV $\pm$ 1 % per hole-electron pair at 77 K for X-rays and γ -rays
ϵ_{Si}	3,63 eV $\pm$ 1 % per hole-electron pair at 290 K – 300 K for α -particles
ϵ (for P10 gas, 90 % argon, 10 % methane)	25 eV per ion pair
r.m.s. to FWHM	multiply by 2,355
average to r.m.s. (voltmeter)	multiply by 1,1284

2 Spectromètre

La figure 1 illustre un spectromètre simple, destiné à déterminer le spectre d'un rayonnement ionisant. Il se compose d'un détecteur muni de son alimentation de polarisation, d'un préamplificateur, d'un amplificateur principal, éventuellement d'un amplificateur à seuil, et d'un analyseur multicanal.



CEI 799/92

Figure 1 - Spectromètre

2.1 Détecteurs

Les détecteurs appartiennent à plusieurs classes: les détecteurs à gaz, les détecteurs semiconducteurs et les détecteurs à scintillation.

Les détecteurs à gaz, tels que les chambres d'ionisation à grille, sont utilisés pour la spectrométrie d'échantillons émetteurs α de grande surface (résolution en énergie 0,7 % à 1 %, pour des émetteurs α de 5 MeV). En spectrométrie, les compteurs proportionnels sont principalement utilisés pour la mesure de rayons X de faible énergie (résolution inférieure à 12 % à 10 keV). Le faible pouvoir d'arrêt des photons de grande énergie fait que ces détecteurs sont inadaptés pour la spectrométrie des rayonnements gamma.

Les semiconducteurs, tels que le germanium et le silicium, associent haute densité et faible potentiel d'ionisation, et conviennent particulièrement bien pour la détection. Les détecteurs en germanium sont utilisés en spectrométrie à très haute résolution des rayonnements gamma (0,2 % pour un rayonnement gamma de 1 MeV). Les détecteurs en silicium sont principalement utilisés dans la détection et la spectrométrie de rayonnement X et des particules lourdement chargées (résolution spectrale de 0,25 % à 0,4 % pour des particules α de 5 MeV).

2 Spectrometer

A simple spectrometer for determining the spectrum of ionizing radiation is shown in figure 1. It comprises a detector with its bias supply, a preamplifier, a main preamplifier, possibly a biased amplifier and a multichannel analyzer.

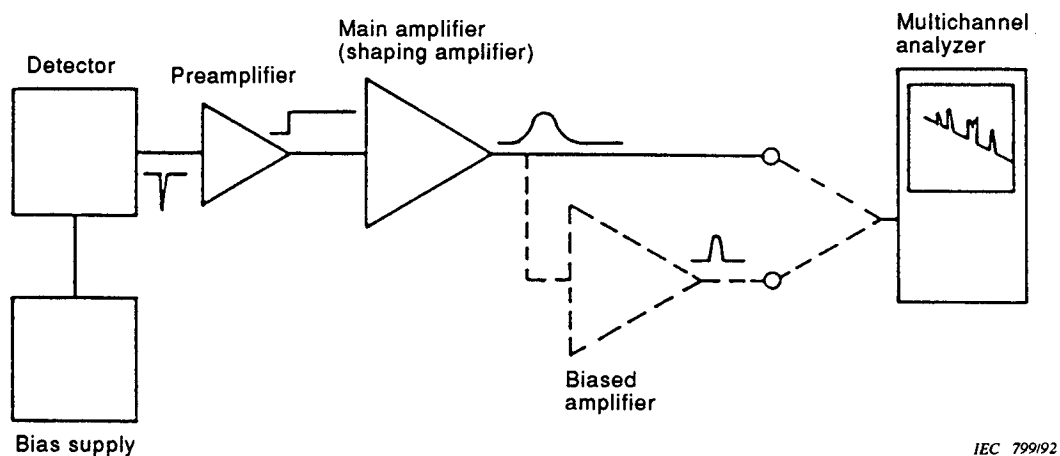


Figure 1 - Spectrometer

2.1 Detectors

Detectors fall into several classifications: gas-filled, semiconductor, and scintillation.

Gas-filled detectors, such as gridded ionization chambers, are used for spectroscopy of large-area α samples (0,7 % to 1 % energy resolution for 5 MeV α emitters). Proportional detectors in spectroscopy applications are used principally for the measurement of low-energy x-rays (< 12 % resolution at 10 keV). The poor stopping power for energetic photons makes these detectors unsuitable for gamma ray spectroscopy.

Semiconductors, such as germanium and silicon, combine high density and low ionization potential, making them very suitable as detectors. Germanium detectors are used for the highest resolution spectroscopy of gamma-rays (0,2 % for a 1 MeV gamma ray). Silicon detectors are used principally in the detection and spectroscopy of x-rays and heavy charged particles (spectral resolution of 0,25 % to 0,4 % for 5 MeV α -particles).

Les détecteurs à scintillation associent un scintillateur à un photomultiplicateur ou une photodiode. Un scintillateur tel que l'iodure de sodium activé au thallium (NaI(Tl)) est plus dense que le germanium et constitue un détecteur gamma efficace. En outre, il est possible de le présenter sous forme de détecteurs de dimensions beaucoup plus importantes que celles permises par le germanium. Cependant, la résolution en énergie du NaI(Tl) est relativement faible: 5 % à 6 % pour un rayonnement gamma de 1 MeV.

2.1.1 *Signal du détecteur*

Indépendamment du type de détecteur, le rayonnement incident est, en cas d'interaction, converti en une quantité de charge qui est collectée sous l'influence d'une tension de polarisation appliquée entre anode et cathode.

La charge est déposée sur le condensateur de contre-réaction du préamplificateur sensible à la charge, pour générer un échelon de tension de Q/C_r volts (voir l'article A.1). Cet échelon de tension est le signal voulu.

Dans les détecteurs à gaz, le rayonnement incident ionise les molécules gazeuses. Dans les détecteurs semiconducteurs, le support interactif est constitué par le réseau cristallin du semiconducteur: les électrons et les trous sont libérés par le rayonnement ionisant.

Dans les détecteurs à scintillation, un processus à deux étapes est impliqué: le rayonnement incident provoque la fluorescence du phosphore et la lumière émise libère des électrons de la cathode d'un tube photomultiplicateur couplé optiquement. Les électrons sont multipliés au cours de leur passage à travers la structure de la dynode, puis collectés au niveau de l'anode. En physique des hautes énergies et dans certaines autres applications, il est possible de remplacer les photomultiplicateurs par des photodiodes.

Il est préférable d'exprimer la sensibilité du préamplificateur en termes de volts par unité d'énergie du rayonnement ionisant. Cela ne s'applique pas aux détecteurs à scintillation et aux détecteurs proportionnels, car il se produit une multiplication des charges proportionnelle à la tension de polarisation du détecteur à une puissance pouvant atteindre 10; pour cette raison, la relation entre l'énergie de l'événement ionisant et la charge collectée au niveau de la borne de sortie n'est pas fixe. Pour ce qui concerne les préamplificateurs utilisés avec des détecteurs multiplicateurs, la sensibilité doit être exprimée en volts par coulomb, par opposition aux volts par unité d'énergie, et le bruit doit être exprimé en unités de charge (ou électrons) équivalente rapportée à l'entrée.

Dans les détecteurs semiconducteurs et les chambres d'ionisation à grille, la charge et l'énergie sont reliées par des constantes qui sont réellement indépendantes de la tension de polarisation. Pour ce qui concerne les préamplificateurs utilisés avec des détecteurs non multiplicateurs, la sensibilité doit être exprimée en volts par unité d'énergie (volts par eV, keV ou MeV), et le bruit doit être exprimé en unités d'énergie équivalente rapportée à l'entrée (eV, keV ou MeV). En outre, le type de détecteur auquel s'applique la sensibilité (germanium, silicium, etc.) doit être spécifié.

Le détecteur est simulé par un générateur d'impulsions rectangulaires couplé au préamplificateur par l'intermédiaire d'un petit condensateur stable, à faible bruit (0,1 pF à 10 pF). Le détecteur et le préamplificateur traités comme une seule unité, sont simulés par un générateur d'impulsions à long front de descente, directement relié à l'amplificateur principal.

Scintillation detectors combine a scintillator with a photomultiplier or photodiode. A scintillator such as thallium-activated sodium iodide (NaI(Tl)) is denser than germanium and makes an efficient detector of energetic gamma rays. Also, it can be formed into much larger detectors than is possible with germanium. However, the energy resolution of NaI(Tl) is relatively poor: 5 % to 6 % for a 1 MeV gamma ray.

2.1.1 *Detector signal*

Regardless of the type of detector, if an interaction occurs, the incoming radiation produces a quantity of charge that is collected under the influence of the bias voltage applied between anode and cathode.

The charge is deposited on the feedback capacitor of the charge-sensitive preamplifier to produce a voltage step of magnitude Q/C_f volts (see clause A.1). This voltage step is the desired signal.

In gas-filled detectors, incoming radiation ionizes the gas molecules. In semiconductor detectors, the interactive medium is the crystal lattice of the semiconductor: electrons and holes are released by the ionizing radiation.

In scintillation detectors, a two-step process is involved: the incoming radiation causes the phosphor to fluoresce, and the emitted light releases electrons from the cathode of an optically coupled photomultiplier tube. The electrons are multiplied in their transit through the dynode structure, then collected at the anode. In high energy physics and some other applications, photodiodes may be used instead of photomultipliers.

It is desirable to express the preamplifier sensitivity in terms of volts per unit energy of the ionizing radiation. This is impractical for scintillation and proportional detectors because charge multiplication occurs that can be proportional to as much as the 10th power of the detector bias voltage. Because of this, the relationship between the energy of the ionizing event and the charge collected at the output terminal is not fixed. For preamplifiers that are used with multiplying detectors, sensitivity shall be expressed in volts per coulomb, as opposed to volts per unit energy, and noise shall be expressed in units of equivalent input charge (or electrons).

In semiconductor detectors and gridded ionization chambers, charge and energy are related by constants that are substantially independent of the bias voltage. For preamplifiers that are used with non-multiplying detectors, sensitivity shall be expressed in volts per unit energy (volts per eV, keV or MeV) and noise shall be expressed in units of equivalent input energy (eV, keV or MeV). Also, the type of detector for which the sensitivity applies (germanium, silicon, etc.) shall be stated.

The detector is simulated by a rectangular pulse generator coupled to the preamplifier through a small stable, low-noise capacitor (0,1 pF to 10 pF). The detector and preamplifier treated as a unit are simulated by a tail-pulse generator coupled directly to the main amplifier.

2.1.2 Temps de montée et temps de descente

Le temps de descente t_{ds} du signal de sortie d'un préamplificateur est commandé par son circuit de contre-réaction $R_f C_f$.

Le temps de montée t_m est commandé par le détecteur ou par le préamplificateur, le plus lent des deux. La capacité du détecteur n'a aucun effet sur le temps de montée, sauf qu'elle influence le facteur de réaction dans un préamplificateur de tension.

Dans les détecteurs non multiplicateurs (en faisant momentanément abstraction du préamplificateur), le temps de montée t_m est déterminé par le temps de collection; dans les détecteurs multiplicateurs de charge, il peut être contrôlé par d'autres facteurs. Dans les détecteurs non multiplicateurs, la plage de t_m va de 1 ns à 1 μ s, suivant le type et la taille du détecteur, ainsi que l'endroit dans le volume actif où se produit l'ionisation initiale. Pour les détecteurs en germanium, t_m est habituellement compris entre 10 ns et 100 ns, en fonction de la distance séparant les électrodes collectrices. Il semble que lors de la simulation d'un signal de détecteur, il est souhaitable que le temps de montée t_m du générateur coïncide avec celui du détecteur. Cela est possible lorsque le temps de montée ne varie pas de façon notable d'une impulsion à l'autre, comme c'est le cas avec les détecteurs à scintillation, mais impossible avec les détecteurs semiconducteurs ou les détecteurs à gaz où le temps de collection varie. Par conséquent, le temps de montée t_m relatif au générateur d'impulsions doit être inférieur ou égal à celui du signal le plus rapide qui puisse être émis par le préamplificateur. Pour les préamplificateurs associés aux détecteurs semiconducteurs, voir 3.2.1.

2.2 Préamplificateur

Le préamplificateur a la configuration d'un préamplificateur de tension ou d'un préamplificateur sensible à la charge (voir l'article A.1). Dans le préamplificateur de tension, l'amplitude et le temps de descente des impulsions dépendent de la capacité du détecteur. Dans le second, ces deux quantités sont pratiquement indépendantes de cette capacité, mais dépendent du condensateur stable de contre-réaction C_f .

La catégorie de préamplificateurs sensibles à la charge peut être subdivisée en deux sous-catégories: les préamplificateurs à contre-réaction résistive et les préamplificateurs à remise à zéro pulsée. Dans la première sous-catégorie, le signal de sortie décroît exponentiellement. Dans le deuxième cas, le signal ne décroît pas, jusqu'à ce qu'une impulsion de remise à zéro soit générée. (Le signal de remise à zéro peut être introduit optiquement vers le détecteur ou vers le TEC (transistor à effet de champ), par conduction par l'intermédiaire d'un transistor ou d'une diode, ou par l'intermédiaire d'une combinaison de méthodes.) La plupart des essais, décrits dans cette norme, s'appliqueront aux deux configurations de circuits, mais aucun essai spécifique aux préamplificateurs à remise à zéro pulsée n'est couvert par cette norme.

Au moment de la rédaction de cette norme, les préamplificateurs sensibles à la charge sont les plus couramment utilisés et, dans cette norme, c'est à cette catégorie que le terme «preamplificateur» fait référence.

2.1.2 Rise time and fall time

The fall time t_f of the output signal of a preamplifier is controlled by its feedback network $R_f C_f$.

The rise time t_r is controlled either by the detector or the preamplifier, whichever is slower. Detector capacitance has no effect on rise time except as it affects the feedback factor in a charge-sensitive preamplifier.

In non-multiplying detectors (disregarding the preamplifier for the moment), the rise time t_r is determined by the collection time; in charge-multiplying detectors, other factors may control it. The range of t_r in non-multiplying detectors is between 1 ns and 1 μ s, depending on the type and size, and where in the active volume the initial ionization occurs. For germanium detectors, t_r is usually between 10 ns and 100 ns, depending on the distance between collecting electrodes. It would seem that in simulating the detector signal, the t_r of the generator should match that of the detector. This is practical when the rise time does not vary appreciably from pulse to pulse, as is true with scintillation detectors, but impractical with semiconductor or gas-filled detectors because the collection time *does* vary. Therefore, the pulse generator t_r shall be less than or equal to that of the fastest rising signal that can emerge from the preamplifier. For semiconductor-detector preamplifiers, see 3.2.1.

2.2 Preamplifier

Preamplifier configurations are voltage-sensitive or charge-sensitive (see clause A.1). In voltage-sensitive preamplifiers, the pulse height and the fall time depend on the detector capacitance. In charge-sensitive preamplifiers, the two quantities are nearly independent of this capacitance, depending instead on a stable feedback capacitor C_f .

The charge-sensitive category can be subdivided into resistor feedback and pulsed reset. In the former, the output signal decays exponentially. In the latter, the signal does not decay until a reset pulse occurs. (The reset signal may be introduced optically to the detector or the input FET, by conduction through a transistor or diode, or through a combination of methods.) Most of the tests described in this standard will apply to both circuit configurations, but no specific tests for pulsed-reset preamplifiers are covered herein.

Charge-sensitive preamplifiers are the most widely used at this writing and, in this standard, they constitute the category to which the term "preamplifier" refers.

2.3 Amplificateur principal (amplificateur de mise en forme)

Habituellement, l'amplificateur principal a un gain réglable entre un minimum de $\times 2$ et un maximum de $\times 3\,000$, mais il n'est pas impossible que le fabricant choisisse une plage différente. Une tension de sortie nominale maximale V_m de 10 V est devenue une valeur standard de facto; cette valeur V_m sera admise par hypothèse, mais elle n'est, en aucun cas, imposée (il n'est pas exclu que de légères modifications des méthodes d'essais soient requises, si une V_m différente est utilisée). L'amplificateur principal comporte un circuit de mise en forme (d'où le terme équivalent «amplificateur de mise en forme») pour améliorer le RSB et réduire la durée des impulsions sortant de l'amplificateur (voir l'article A.2). En spectrométrie à haute résolution, la mise en forme des impulsions est un élément d'une importance capitale. (L'index de temps de mise en forme d'une impulsion unipolaire est défini par la durée de l'impulsion mesurée à 50 % de son amplitude de crête et il est désigné par « $t_{0,5}$ » ou « $t_{1/2}$ » (voir 4.1.1 et 4.1.2, pour la terminologie qui doit apparaître sur la face avant d'un amplificateur principal*.)

L'importance de cet indicateur de temps de mise en forme réside dans le fait qu'il facilite la comparaison de la résolution en énergie entre des amplificateurs munis de circuits de mise en forme différents. Cette comparaison est illustrée dans la figure 2. On a utilisé des amplificateurs principaux provenant de trois fabricants différents et ayant des circuits de mise en forme différents. Le même détecteur en germanium de haute pureté a fourni les signaux nécessaires à toutes les mesures; ces mesures ont été effectuées à 2 kc/s et à 62 kc/s, sur la raie gamma de 1,33 MeV du cobalt 60. Si $t_{1/2}$ représente l'index de temps de mise en forme, les points d'essai, aux faibles taux de comptage, tombent pratiquement tous sur la même ligne. Aux taux de comptage élevés, des différences de performances apparaissent. Si, au lieu de cela, les temps de mise en forme indiqués sur les platines avant des différents amplificateurs avaient été utilisés, chaque amplificateur aurait donné une courbe de résolution déplacée latéralement par rapport aux autres, rendant difficile la comparaison des performances.

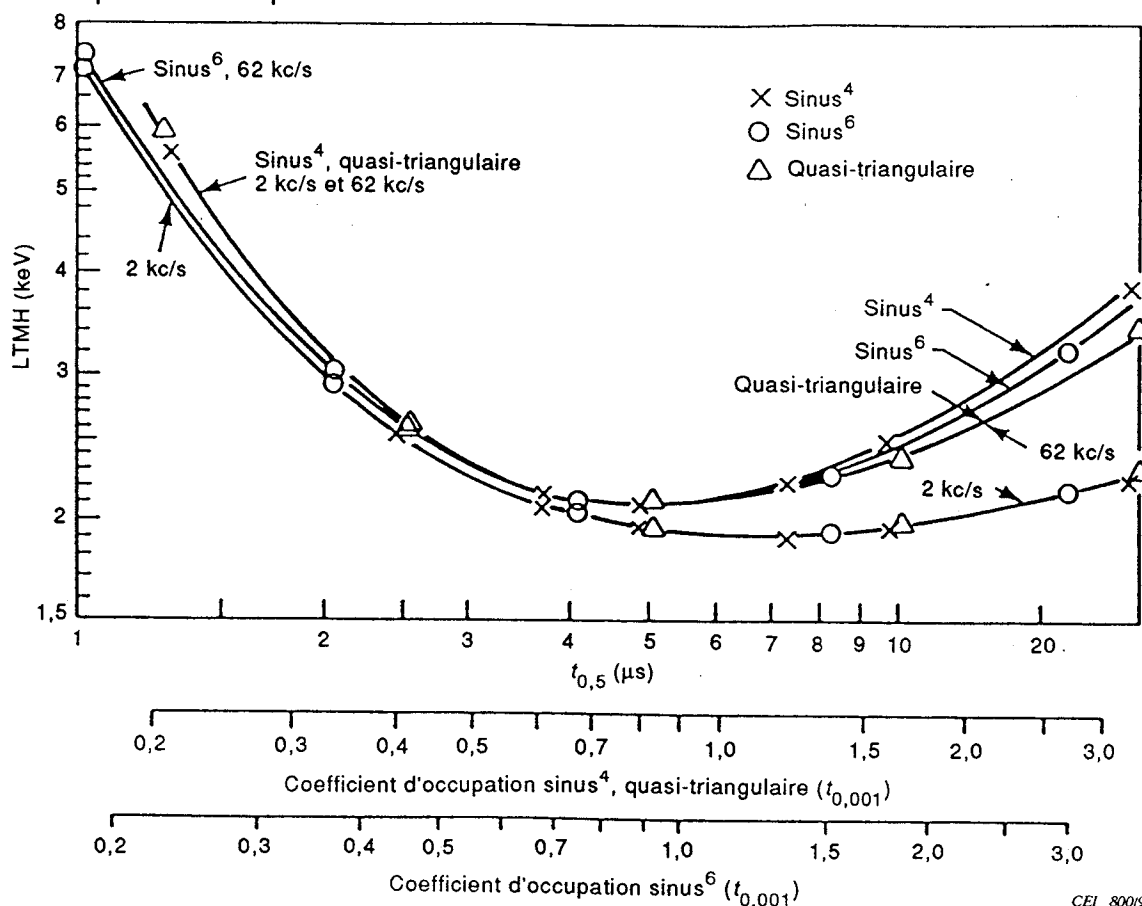


Figure 2 - Résolution en énergie en fonction de $t_{1/2}$

* Ce paramètre remplace le paramètre t_p , utilisé dans les normes précédentes.

2.3 Main amplifier (shaping amplifier)

The main amplifier usually has a gain adjustable between a minimum of $\times 2$ and a maximum of $\times 3\,000$, but a different range may be chosen by the manufacturer. A rated maximum output V_m of 10 V has become a de facto standard; this V_m will be assumed, but is not mandated (slight modifications of the test procedures may be required if a different V_m is used). The main amplifier contains a pulse shaping network (hence the alternate term "shaping amplifier") to improve the SNR and reduce the width of the pulses that emerge from the preamplifier (see clause A.2). Pulse shaping is an item of central importance in high resolution spectroscopy. (The shaping time index of a unipolar pulse is defined as the width of that pulse measured at 50 % of its peak height and is referred to as " $t_{0,5}$ " or " $t_{1/2}$ " (see 4.1.1 and 4.1.2 for nomenclature that should appear on the front panel of a main amplifier).)

The importance of this indicator of shaping time is that it facilitates energy resolution comparisons between amplifiers with different shaping networks. This comparison is illustrated in figure 2. Main amplifiers from three manufacturers were used with a different shaping network in each amplifier. The same high purity germanium detector supplied the signals to all of the measurements, which were made at 2 kc/s and 62 kc/s on the 1,33 MeV gamma ray line from a Cobalt 60 source. If $t_{1/2}$ is the index of shaping time, all of the test points at the lower counting rate fall very nearly on the same line. At the higher rate performance differences appear. If the shaping times indicated on the front panels of the different amplifiers were used instead, each amplifier would have produced a resolution curve displaced laterally from the others, making it difficult to compare their performances.

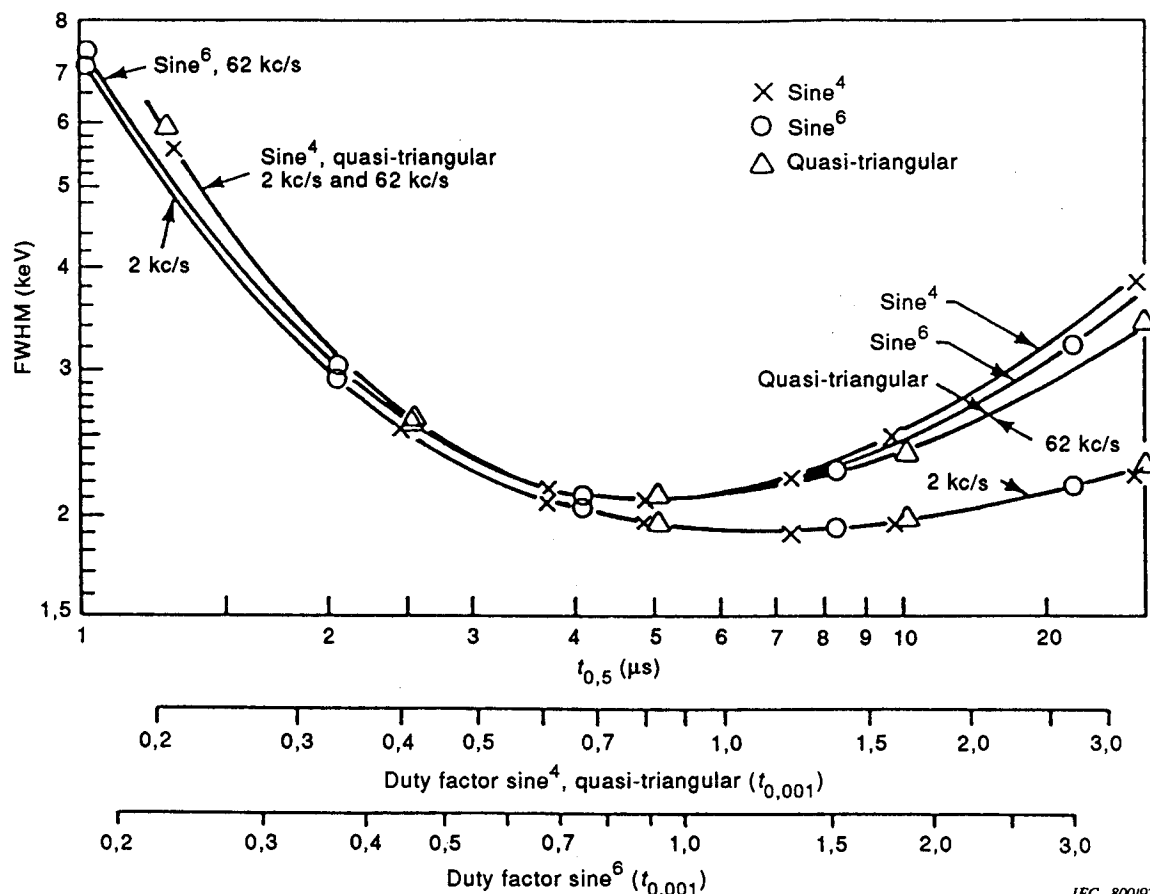


Figure 2 - Energy resolution versus $t_{1/2}$

* This parameter replaces t_p , used in earlier standards.

t_p et $t_{0,01}$ (figure 5) constituent d'autres paramètres intéressants. Le rapport $2 t_p/t_{0,01}$ représente une mesure de la symétrie de l'impulsion, et par conséquent un indicateur de la caractéristique de bruit série (figure A.2). La durée $t_{0,01}$, conjointement avec t_p indique l'espacement minimal entre deux impulsions, avant que la première n'affecte l'amplitude de la seconde. En outre, $t_{0,01}$ est proche du niveau seuil du RLB; le coefficient d'occupation mesuré à ce niveau, constitue une bonne indication sur le moment où le RLB perdra la commande de la ligne de base*. Si aucune réserve n'est faite, il doit être sous-entendu que le temps de résolution d'une impulsion mise en forme est sa durée à $t_{0,01}$.

Pour les impulsions bipolaires, les paramètres intéressants sont t_{p1} et t_{p2} , respectivement durée du lobe primaire (de 1 % à l'instant de passage), et durée du lobe secondaire (de l'instant de passage à 1 %), ainsi que V_{a2} (voir figure 5). Le rapport entre les amplitudes des lobes primaires et secondaires V_{a1}/V_{a2} , constitue une mesure de la symétrie de l'impulsion unipolaire, avant qu'elle ne subisse la seconde différentiation.

La précédente définition du temps de résolution doit s'appliquer aussi bien aux impulsions bipolaires qu'aux impulsions unipolaires.

2.4 Amplificateur à seuil

Un amplificateur à seuil a un seuil réglable au-dessous duquel l'amplification d'un signal est nulle et au-dessus duquel il est possible de la faire varier (habituellement, dans la plage $\times 1$ à $\times 10$). L'effet consiste à amplifier la portion de spectre située au-dessus du réglage du seuil (tension de seuil). Etant donné que la plupart des pics d'un spectre de particules α tombent dans une étroite bande d'énergies, l'utilisation d'un amplificateur à seuil est particulièrement pratique pour ce type de mesure. L'amplificateur étale la bande sur A fois le nombre de canaux existant auparavant, où A est le gain de l'amplificateur. Par exemple, avec $A = 8$ et avec un AMC disposant de 500 canaux, le pouvoir de résolution d'un AMC à 4 000 canaux est obtenu sur une région représentant 12,5 % du spectre. En variante, il est possible d'utiliser un AMC à 4 000 canaux, en même temps qu'un multiplexeur linéaire à huit canaux, pour acquérir des données à partir de huit spectromètres, en temps partagé, si chacun d'entre eux dispose de son propre amplificateur à seuil; chaque spectromètre aura la résolution équivalente de la totalité des 4 000 canaux, mais ses données en occuperont seulement 500.

2.5 Analyseur multicanal

Un AMC se compose principalement d'un CAN, d'une unité de mémoire et d'un afficheur. La distorsion du spectre dans le CAN rend l'utilisation d'un AMC inadaptée à la vérification d'amplificateurs et de préamplificateurs à haute résolution. Pour cette raison, les essais prescrits dans cette norme n'en font pas usage.

* Dans la CEI 340, $t_{0,001}$ correspondait à la mesure de la durée d'une impulsion. Cependant, ce faible niveau est sujet à des erreurs de mesure consécutives à un mauvais réglage du rapport P/Z, du bruit et des artefacts du générateur. A $t_{0,001}$, la durée d'une impulsion est supérieure de 10 % à 25 % à la durée d'une impulsion à $t_{0,01}$, en fonction du circuit de mise en forme particulier qui est utilisé (voir figure A.2).

Other parameters of interest are t_p and $t_{0,01}$ (figure 5). The ratio $2 t_p/t_{0,01}$ is a measure of the pulse symmetry and therefore an indicator of series noise performance (figure A.2). The width $t_{0,01}$ in conjunction with t_p shows how closely two pulses may be spaced before the first affects the height of the second. Also, $t_{0,01}$ is near the threshold level of the BLR; the duty cycle measured at this level is a good indication of when the BLR will lose control of the baseline*. If no qualifications are given, it shall be understood that the resolving time of a shaped pulse is its width at $t_{0,01}$.

Bipolar pulse parameters of interest are t_{p1} and t_{p2} , width of the leading lobe (1 % to crossover), width of the trailing lobe (crossover to 1 %), and V_{a2} (see figure 5). A measure of symmetry of the unipolar pulse, before it undergoes the second differentiation, is the ratio of the pulse heights of primary to secondary lobes, V_{a1}/V_{a2} .

The preceding definition of resolving time shall apply to bipolar pulses as well as to unipolar pulses.

2.4 *Biased amplifier*

A biased amplifier has an adjustable threshold below which the signal amplification is zero and above which it can be varied (usually, in the range of x1 to x10). The effect is to magnify the portion of a spectrum that lies above the threshold (bias) setting. Because most of the peaks in an α -particle spectrum fall into a narrow band of energies, a biased amplifier is particularly useful in this measurement; the amplifier spreads the band over A times as many channels as would otherwise occur, where A is the gain setting. For example, with $A = 8$ and with an MCA having only 500 channels, the resolving power of a 4 000-channel MCA is obtained over a 12,5 % region of the spectrum. Alternatively, a 4 000-channel MCA in conjunction with an eight-channel linear multiplexer can be used to acquire data from eight spectrometers on a time-sharing basis if each has its own biased amplifier; each spectrometer will have the equivalent resolution of the full 4 000 channels but its data will occupy only 500.

2.5 *Multichannel analyzer*

An MCA consists basically of an ADC, a memory unit and a display. The spectrum distortion in the ADC renders an MCA unsuitable for testing high-resolution amplifiers and preamplifiers. For that reason, the tests herein avoid its use.

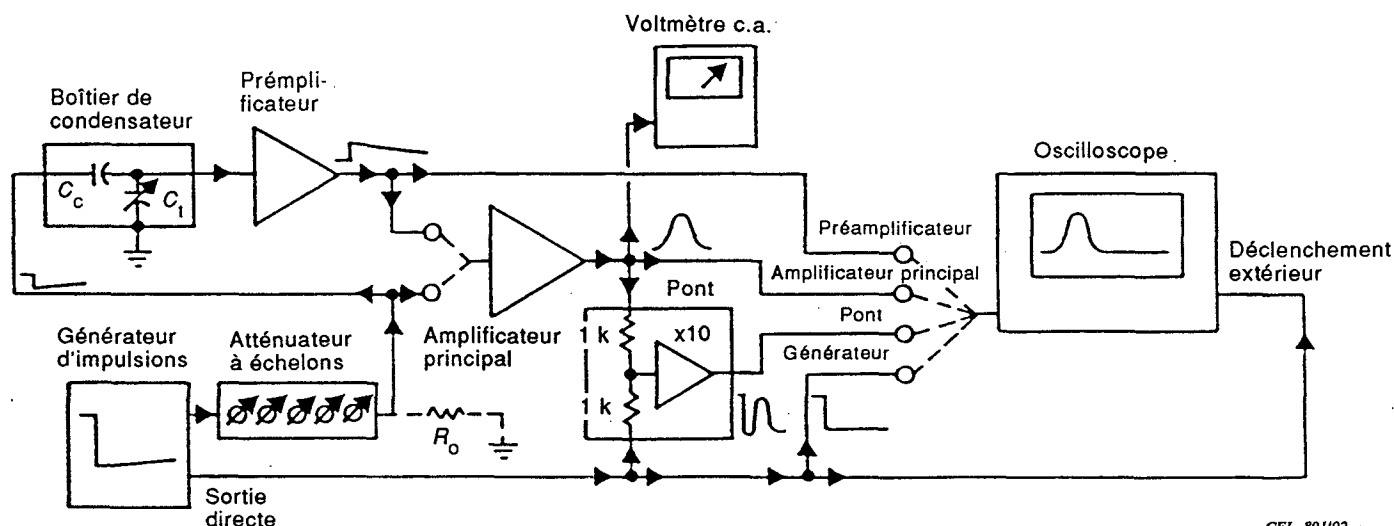
* In IEC 340, $t_{0,001}$ was the measure of the pulse width. However, this low level is subject to measurement errors caused by P/Z misadjustment, noise, and generator artifacts. The pulse width at $t_{0,001}$ is 10 % to 25 % wider than the at $t_{0,01}$ depending on the particular shaping network which is used (see figure A.2).

3 Appareils d'essais

3.1 Montage d'essai

Un montage d'essai est indiqué dans la figure 3. En modifiant les connexions câblées au niveau des lignes en pointillés, le montage peut être utilisé pour tous les essais, à l'exception du déplacement de l'instant de passage et des mesures de non-linéarité du préamplificateur et de l'amplificateur à seuil. Le voltmètre alternatif n'est pas nécessaire pour des essais de linéarité, et le pont n'est pas requis pour les mesures du bruit. Le préamplificateur et le boîtier de condensateur ne sont pas requis pour les mesures effectuées uniquement sur l'amplificateur principal.

Dans ce montage d'essai, comme dans d'autres, il est indispensable que les connecteurs BNC, situés aux extrémités des câbles, soient dans un bon état mécanique afin d'assurer des connexions électriques à faible résistance. Il en est de même pour ce qui concerne les adaptateurs, tels que les connecteurs en T ou les coudes. Dans les connecteurs câblés, il peut s'avérer nécessaire de plier légèrement (à l'aide d'un tournevis de bijoutier) les cavaliers de la bague interne de mise à la terre, pour rétablir l'action du ressort. Dans les connexions en T ou coudées, il est recommandé de visser le pivot dans sa partie d'accouplement, à l'aide de pinces à nez effilé. Il convient de noter qu'avec une source et des résistances de raccordement de sortie de $50\ \Omega$, une variation de $0,1\ \Omega$ dans un connecteur, entraîne une variation d'amplitude de $0,1\ \%$.



CEI 801/92

Figure 3 - Montage d'essai

Pour le générateur d'impulsions et les amplificateurs soumis aux essais, on suppose une résistance d'adaptation de sortie de $50\ \Omega$, mais toute valeur de R_0 est permise, pour autant que l'atténuateur et les câbles soient compatibles avec elle, c'est-à-dire que leurs bornes soient correctement reliées.

3.1.1 Précision des appareils d'essais

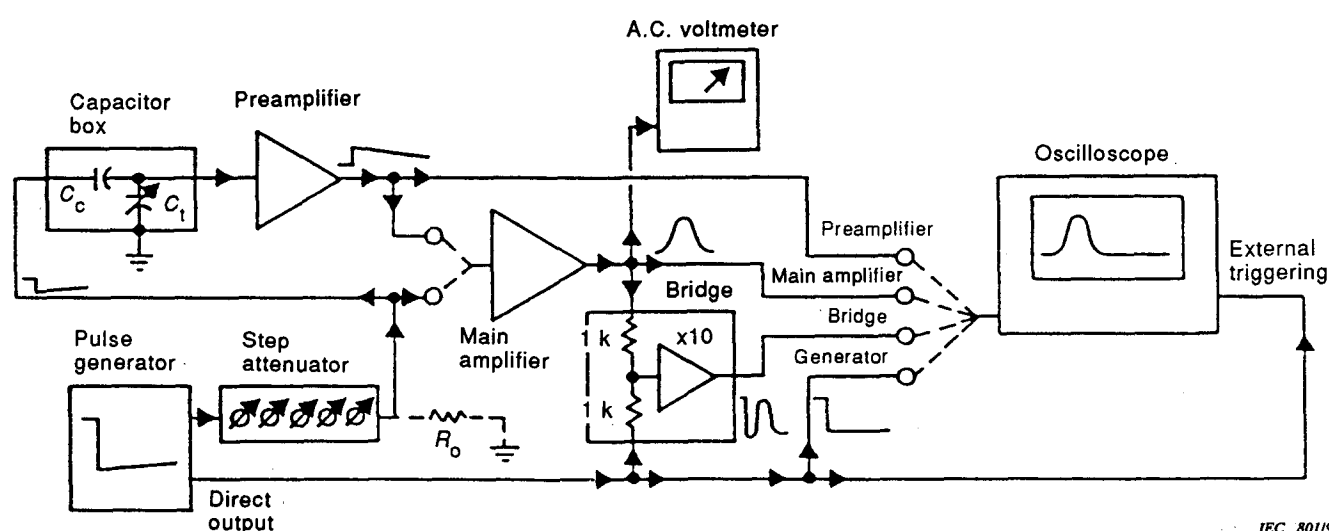
Les composants spécifiques du montage nécessitant une grande précision sont: le condensateur C_c , l'atténuateur, le voltmètre alternatif, les bras du pont de non-linéarité et le temps de balayage de l'oscilloscope. Il n'est pas nécessaire que l'amplitude du générateur et la sensibilité de l'oscilloscope soient précises séparément, si ces deux quantités ont été étalonnées l'une par rapport à l'autre (voir 3.9). Cela est également valable pour le voltmètre (voir B.3.2).

3 Test Instruments

3.1 Test set-up

A test set-up is shown in figure 3. By altering cable connections at the dotted lines, the set-up can be used for all tests except crossover walk and nonlinearity measurements of the preamplifier and biased amplifier. The a.c. voltmeter is not required for linearity tests, and the bridge is not required for noise measurements. The preamplifier and capacitor boxes are not required for measurements made only on the main amplifier.

In this and other test set-ups, it is essential that the BNC connectors at the ends of the cable be in good mechanical condition to ensure low-resistance electrical connections. The same is true of adapters, such as tees and elbows. In the cable connectors it may be necessary to slightly bend (with a jeweller's screwdriver) the ears of the internal grounding ring to restore the spring action. In tees and elbows, the centre pin should be screwed into its mating part with needle-nosed pliers. It should be recognized that with source and terminating resistors of $50\ \Omega$, a resistance variation of $0,1\ \Omega$ in a connector causes a $0,1\ \%$ variation in pulse height.



IEC 801/92

Figure 3 - Test set-up

A back terminating resistance of $50\ \Omega$ is assumed for the pulse generator and amplifiers under test, but any value of R_o may be used as long as the attenuator and cables are compatible with it, i.e. correctly terminated.

3.1.1 Test instrument accuracy

The particular components of the set-up requiring high accuracy are C_c , the attenuator, the a.c. voltmeter, the arms of the nonlinearity bridge and the oscilloscope sweep time. Neither the generator amplitude nor the oscilloscope sensitivity need be separately accurate if they are calibrated against each other (see 3.9). Also, if the a.c. voltmeter is calibrated against the generator (see B.3.2), the same may be said of the voltmeter.

3.1.2 Précision des mesures

Pour des éléments tels que le bruit, une précision de mesure de l'ordre de 1 % convient habituellement. Pour des éléments tels que la non-linéarité, il est possible qu'une plus grande précision soit requise. Cependant, aucun chiffre décimal significatif supplémentaire, autre que ceux requis pour le paramètre spécifié ou inhérents à la précision de la mesure, ne doit figurer dans les spécifications relatives aux instruments de mesure.

Etant donné que les erreurs s'additionnent, lorsque plusieurs instruments sont utilisés dans une mesure, la précision résultante est inférieure à celle de chacun des instruments utilisés lors des essais. Si les erreurs sont aléatoires, il faut supposer que les différentes erreurs s'additionnent comme la racine carrée de la somme des carrés.

3.2 Générateurs d'impulsions

La tension de sortie en circuit ouvert V_p du générateur doit être supérieure ou égale à 10,0 V et la tension de sortie doit être contrôlée avec une résolution dont la qualité doit être au moins égale à celle permise par un bouton multitour de réglage de l'amplitude, avec 1 000 divisions pleine échelle. (Sauf spécification contraire, dans les procédures d'essais, on supposera une valeur de V_p de 10 V et une commande à 1 000 divisions. Une valeur différente de V_p ou un autre moyen de réglage de cette tension peuvent affecter certains détails des essais, mais pas la méthode d'essai elle-même).

Le générateur doit comporter au moins deux bornes de sortie, chacune d'entre elles devant être munie de sa propre résistance d'adaptation de sortie, avec une résistance interne commune r_o de 0,5 Ω ou moins. La présence d'une sortie additionnelle permettant le déclenchement du balayage de l'oscilloscope, est vivement recommandée; cependant, cette sortie n'est pas indiquée dans la figure 3.

Dans le système soumis aux essais, les générateurs doivent pouvoir fonctionner à la fréquence du réseau d'alimentation et à des fréquences autres que celle-ci, pour permettre de déceler la présence d'un ronflement (un générateur fonctionnant à la fréquence du réseau d'alimentation ne détectera pas la présence d'un ronflement).

3.2.1 Générateur d'impulsions, essais du préamplificateur

Il est recommandé que le générateur d'impulsions produise une impulsion à sommet horizontal, bien qu'il soit possible d'utiliser une impulsion à long front de descente pour tous les essais, à l'exception de la restitution exponentielle de la ligne de base du préamplificateur. Pour cet essai, il est nécessaire d'utiliser une impulsion rectangulaire, car la décroissance du signal à long front de descente sera confondue avec celle du signal du préamplificateur (voir le paragraphe B.1.1 et l'article C.1).

Pour ce qui concerne la détermination de t_m , le signal du générateur doit avoir un temps de montée $\leq 1/3$ de celui du préamplificateur et doit avoir un temps d'établissement plus rapide que celui de ce dernier. Des générateurs d'impulsions à sommet horizontal avec un temps de montée $t_m \leq 1$ ns sont disponibles dans le commerce (mais ils ne disposent pas de boutons à 10 tours). Les générateurs d'impulsions à long front de descente à relais au mercure sont disponibles avec des temps de montée $t_m \leq 5$ ns (voir B.1.1). Lors des essais des préamplificateurs destinés à être utilisés avec des détecteurs à scintillation, le t_m du générateur doit, d'une part, être inférieur à celui du préamplificateur, afin de pouvoir examiner un éventuel début d'instabilité (oscillation excessive superposée à l'impulsion) et, d'autre part, être réglé de sorte que son temps de montée t_m coïncide avec celui du scintillateur, au cas où le temps de montée de ce dernier serait supérieur à celui

3.1.2 *Measurement accuracy*

For items like noise, a measurement accuracy of 1 % is usually adequate. For items like nonlinearity, higher accuracy may be required. However, no more decimal places shall be given in instrument specifications than are required for the accuracy of the parameter specified or are inherent in the accuracy of the measurement.

Because errors accumulate when several instruments are used in a measurement, the final accuracy is less than that of any one of the test instruments. If errors are random, it shall be assumed that the separate errors add as the square root of the sum of the squares.

3.2 *Pulse generators*

The open circuit output voltage V_p of the generator shall be $\geq 10,0$ V and the output shall be controlled with resolution at least as good as that afforded by a multiturn pulse height control with 1 000 divisions full scale. (In the test procedures, the 10 V V_p and a 1 000 division dial will be assumed unless otherwise stated. A different V_p or means of controlling it may affect some of the details of the tests, but not the methods.)

The generator shall be provided with at least two outputs, each with its own back terminating resistor, and with a common source resistance r_o of 0,5 Ω or less. An additional output for triggering the oscilloscope sweep is highly desirable, but is not shown in figure 3.

Generators shall be operable both at and away from the power line frequency as a means of uncovering hum pickup in the system under test (if hum is present, a generator operated at the power line frequency will not uncover it).

3.2.1 *Pulse generator, preamplifier tests*

It is recommended that the pulse generator produce a flat topped pulse, although a tail pulse can be used for all tests except examination of the preamplifier's exponential recovery to the baseline. Here, a rectangular pulse shall be used for the test because the decay of a tail pulse signal will be confused with that of the preamplifier (see subclause B.1.1 and clause C.1).

For the determination of t_r , the generator signal shall have a rise time $\leq 1/3$ that of the preamplifier's and shall have a faster settling time than that of the preamplifier's. Flat-topped pulse generators with $t_r \leq 1$ ns are commercially available (but not with 10-turn dials). Mercury relay tail pulse generators are available with $t_r \leq 5$ ns (see B.1.1). When testing preamplifiers for use with scintillation detectors, the generator t_r shall first be shorter than that of the preamplifier in order to examine it for incipient instability (excessive ringing), then be adjusted to match the t_r of the scintillator if it is longer than the t_r of the preamplifier. Usually, shunting the output terminal of the generator with a capacitor of appropriate size can be used to adjust t_r (if connections are short to avoid ringing). When testing preamplifiers for use with semiconductor and gas-filled detectors,

du préamplificateur. Il est habituellement possible de shunter la borne de sortie du générateur avec un condensateur de valeur appropriée, pour régler le temps de montée t_m (si les connexions sont courtes pour éviter les oscillations sur l'impulsion). Lors des essais de préamplificateurs destinés à être utilisés avec des détecteurs semiconducteurs ou des détecteurs à gaz, le temps de montée t_m du générateur doit être $\leq 1/3$ du temps de montée le plus court de l'ensemble combiné détecteur-préamplificateur (voir 2.1.2).

3.2.2 Générateur d'impulsions, essais de l'amplificateur principal

Il convient d'utiliser un générateur d'impulsions rectangulaires (voir B.1.2), mais il est également possible d'utiliser un générateur d'impulsions à long front de descente. Lors des essais de surcharge ou de fonctionnement P/Z, l'utilisation d'une impulsion à long front de descente est obligatoire. Il est possible d'obtenir une impulsion à long front de descente à partir d'une impulsion à sommet horizontal, en interposant un condensateur de type film entre le générateur et l'atténuateur, ou entre l'atténuateur et sa résistance d'adaptation de sortie. La première disposition est recommandée car l'atténuateur agit comme un tampon contre les variations de charge à sa sortie.

3.3 Atténuateur à pas (à échelons)

L'atténuateur peut faire partie du générateur ou être un élément externe à celui-ci. S'il fait partie du générateur, il est recommandé que son entrée soit accessible afin de permettre le contrôle de l'étalonnage. Il est également recommandé que les pas de l'atténuateur soient adaptés aux pas du réglage grossier du gain de l'amplificateur principal. On utilise la séquence courante: $x\sqrt{2}$, $x2$, $x5$, $x10$, $x10$, $x10$, pour un facteur d'atténuation maximal de $\sqrt{2} \times 10^4$. La stabilité et la précision des résistances de raccordement de sortie, internes et externes, doivent être de la même qualité que celles utilisées dans l'atténuateur. Avec tous les échelons mis en service, l'imprécision ne doit pas dépasser 1 % du signal de sortie prévu pour cette position des commutateurs.

Il est possible d'étalonner chaque pas de l'atténuateur, en appliquant une tension continue à l'entrée, en mesurant cette tension à l'aide d'un voltmètre à affichage numérique et en mesurant la tension de sortie à l'aide de ce voltmètre à affichage numérique.

3.3.1 Adaptation terminale de l'atténuateur

Si l'atténuateur n'est chargé par aucune résistance autre que sa résistance d'adaptation de sortie R_o et si la résistance interne de l'atténuateur est R_o , le retrait de l'adaptation de sortie entraîne une multiplication par deux de la tension de sortie. Si l'atténuateur est chargé par l'impédance d'entrée du dispositif suivant, la tension sera inférieure au double de sa valeur initiale.

Si la résistance interne de l'atténuateur est autre que R_o , la tension de sortie ne sera pas multipliée par deux lorsque R_o est retirée, aux faibles atténuations, mais elle sera pratiquement doublée par les atténuations $\geq x10$. A titre d'exemple extrême, même si la résistance interne est égale à zéro et que le facteur d'atténuation est $x10$, le multiplicateur de tension sera de 1,98 lorsque le raccordement de sortie est retiré; si le facteur d'affaiblissement est $x5$, le multiplicateur sera de 1,92.

Si la résistance interne de l'atténuateur est R_o , les échelons ne seront pas affectés par l'absence de résistance à l'extrémité de sortie, c'est-à-dire que la tension, apparaissant à la sortie, sera réduite d'exactement N fois lorsque l'échelon xN de l'atténuateur est commuté, indépendamment du raccordement de sortie.