

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1321-1**

Première édition
First edition
1994-11

**Techniques des essais à haute tension
avec des chocs à front très rapide –**

Partie 1:

Systemes de mesure pour les surtensions
à front très rapide produites dans les postes
sous enveloppe métallique à isolation gazeuse

**High-voltage testing techniques
with very fast impulses –**

Part 1:

Measuring systems for very fast front
overvoltages generated in gas-insulated
substations



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1321-1: 1994

Numéros des publications

Depuis le 1er 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 ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

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*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* 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 revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

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*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 2
TECHNICAL
REPORT – TYPE 2**

**CEI
IEC
1321-1**

Première édition
First edition
1994-11

**Techniques des essais à haute tension
avec des chocs à front très rapide –**

Partie 1:

Systemes de mesure pour les surtensions
à front très rapide produites dans les postes
sous enveloppe métallique à isolation gazeuse

**High-voltage testing techniques
with very fast impulses –**

Part 1:

Measuring systems for very fast front
overvoltages generated in gas-insulated
substations

© CEI 1994 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 pro-
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	12
3 Définitions	12
3.1 Surtensions à front très rapide (FTR)	12
3.2 Surtensions à front très rapide internes	12
3.3 Tensions transitoires d'enveloppe (TTE)	12
3.4 Surtensions à front très rapide externes	12
4 Recommandations pour la mesure des surtensions à front très rapide internes	16
4.1 Caractéristiques des surtensions à front très rapide internes	16
4.2 Prescriptions pour le système de mesure	18
4.2.1 Généralités	18
4.2.2 Emplacement et mise en oeuvre du capteur	18
4.2.3 Caractéristique de transfert du système de mesure	20
4.3 Conception possible du système de mesure	20
4.4 Etalonnage du système de mesure	22
4.4.1 Généralités	22
4.4.2 Détermination de la caractéristique de transfert du système de mesure	22
4.4.3 Détermination du coefficient de conversion	24
4.5 Evaluation de l'incertitude totale sur la mesure de la valeur de crête d'une surtension à front très rapide interne	26
4.5.1 Sources d'incertitude lors de l'utilisation de la fonction de transfert ...	26
4.5.2 Sources d'incertitude lors de l'utilisation de la réponse indicielle normée	26
4.5.3 Procédures générales pour évaluer l'incertitude globale sur la valeur de crête d'une surtension à front très rapide	26
4.5.4 Exemple de l'incertitude sur la mesure de la valeur de crête d'une surtension à front très rapide interne	32
5 Recommandations pour la mesure de la tension transitoire d'enveloppe	36
5.1 Caractéristiques des tensions transitoires d'enveloppe	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	13
3 Definitions	13
3.1 Very fast front (VFF) overvoltages	13
3.2 Internal very fast front overvoltages	13
3.3 Transient enclosure voltages (TEV)	13
3.4 External very fast front overvoltages	13
4 Recommendations for the measurement of internal very fast front overvoltages	17
4.1 Characteristics of internal very fast front overvoltages	17
4.2 Requirements for the measuring system	19
4.2.1 General	19
4.2.2 Location and implementation of the sensor	19
4.2.3 Transfer characteristic of the measuring system	21
4.3 Possible design of the measuring system	21
4.4 Calibration of the measuring system	23
4.4.1 General	23
4.4.2 Determination of the transfer characteristic of the measuring system	23
4.4.3 Determination of the scale factor	25
4.5 Evaluation of the total uncertainty on the measurement of peak value of an internal very fast front overvoltage	27
4.5.1 Sources of uncertainty when using the amplitude/frequency response	27
4.5.2 Sources of uncertainty when using the unit step response	27
4.5.3 General procedure to evaluate the overall uncertainty on the peak value of a very fast front overvoltage	27
4.5.4 Example of uncertainty on the measurement of the peak value of an internal very fast front overvoltage	33
5 Recommendations for measurements of transient enclosure voltage	37
5.1 Characteristics of transient enclosure voltage	37

Articles	Pages
5.2 Prescriptions pour le système de mesure	38
5.2.1 Généralités	38
5.2.2 Emplacement et mise en oeuvre du capteur	40
5.2.3 Caractéristique de transfert du système de mesure	40
5.3 Conception possible du système de mesure	40
5.3.1 Sonde de champ électrique	40
5.3.2 Diviseur résistif spécial (sonde de Newi [4])	42
5.4 Etalonnage du système de mesure	46
5.4.1 Généralités	46
5.4.2 Détermination de la caractéristique de transfert du système de mesure	46
5.4.3 Détermination du coefficient de conversion	48
6 Recommandations pour la mesure des surtensions à front très rapide externes	48
6.1 Caractéristiques des surtensions à front très rapide externes	48
6.2 Prescriptions pour le système de mesure	52
6.2.1 Généralités	52
6.2.2 Emplacement et mise en oeuvre du capteur	52
6.2.3 Caractéristique de transfert du système de mesure	52
6.3 Conception possible du système de mesure	52
6.4 Etalonnage du système de mesure	52
6.4.1 Généralités	52
6.4.2 Détermination de la caractéristique de transfert du système de mesure	52
6.4.3 Détermination du coefficient de conversion	54
Tableaux	28
Figures	14
Annexes	
A Cellule électromagnétique transversale	56
B Génération des TTE et de surtensions à front très rapide externes [5]	58
C Bibliographie	62

Clause	Page
5.2 Requirements for the measuring system	39
5.2.1 General	39
5.2.2 Location and implementation of the sensor	41
5.2.3 Transfer characteristic of the measuring system	41
5.3 Possible design of the measuring system	41
5.3.1 Electric field probe	41
5.3.2 Special resistor-characteristic-impedance divider (Newi probe [4])	43
5.4 Calibration of the measuring system	47
5.4.1 General	47
5.4.2 Determination of the transfer characteristic of the measuring system	47
5.4.3 Determination of the scale factor	49
6 Recommendations for the measurement of external very fast front overvoltages	49
6.1 Characteristics of external very fast front overvoltages	49
6.2 Requirements for the measuring system	53
6.2.1 General	53
6.2.2 Location and implementation of the sensor	53
6.2.3 Transfer characteristic of the measuring system	53
6.3 Possible design of the measuring system	53
6.4 Calibration of the measuring system	53
6.4.1 General	53
6.4.2 Determination of the transfer characteristic of the measuring system	53
6.4.3 Determination of the scale factor	55
Tables	29
Figures	15
Annexes	
A Transverse electromagnetic cell	57
B Generation of TEV and external very fast front overvoltages [5]	59
C Bibliography	62

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION AVEC DES CHOC À FRONT TRÈS RAPIDE -

Partie 1: Systèmes de mesure pour les surtensions à front très rapide produites dans les postes sous enveloppe métallique à isolation gazeuse

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 1321-1, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 42 de la CEI: Technique des essais à haute tension.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE TESTING TECHNIQUES
WITH VERY FAST IMPULSES -****Part 1: Measuring systems for very fast front
overvoltages generated in gas-insulated
substations**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 1321-1, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage testing techniques.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapports de vote
42(SEC)93	42(SEC)100 42(SEC)100A

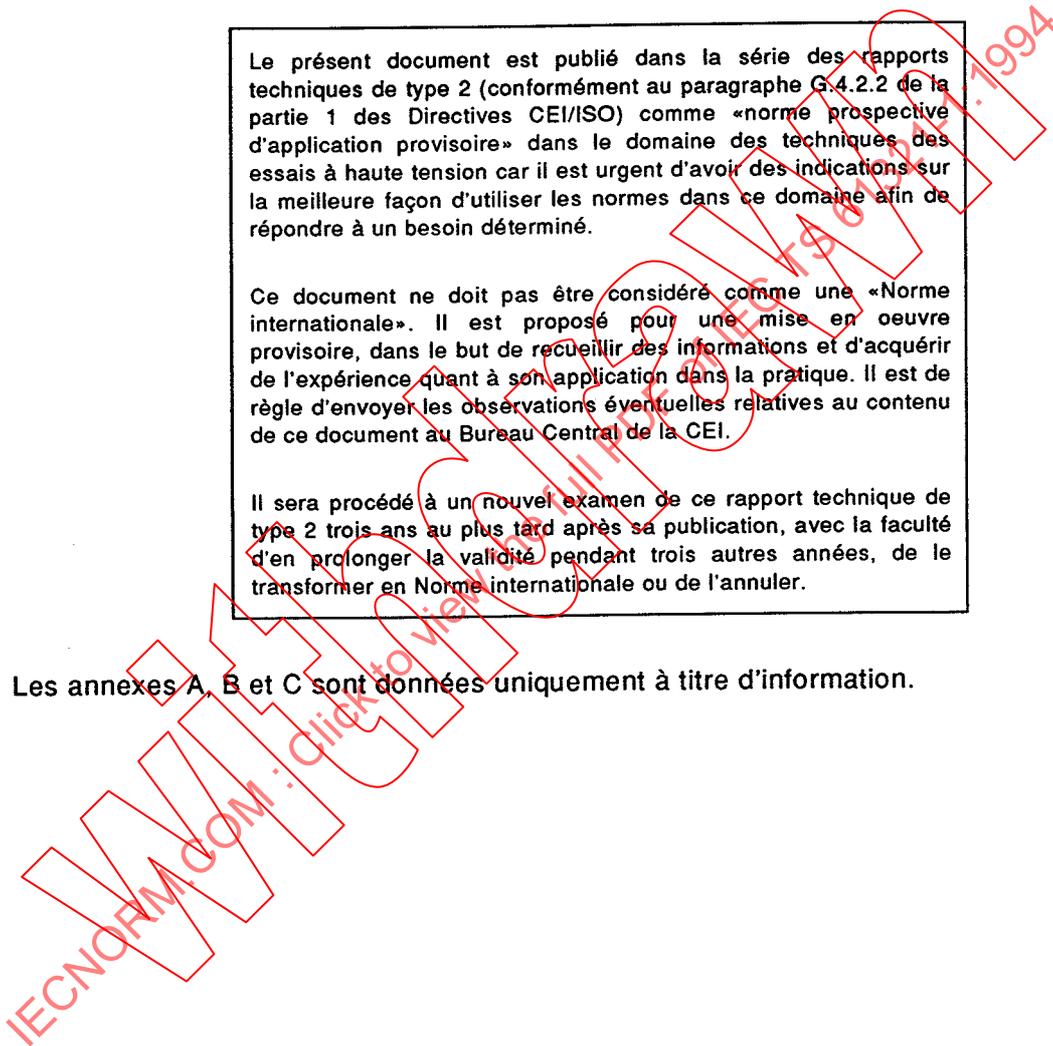
Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des techniques des essais à haute tension car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.



The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Reports on voting
42(SEC)93	42(SEC)100 42(SEC)100A

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the reports on voting indicated in the above table.

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of high-voltage testing techniques because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

Annexes A, B and C are for information only.

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION AVEC DES CHOCS À FRONT TRÈS RAPIDE –

Partie 1: Systèmes de mesure pour les surtensions à front très rapide produites dans les postes sous enveloppe métallique à isolation gazeuse

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique s'applique aux dispositifs et aux systèmes de mesure complets utilisés pour la mesure des surtensions à front très rapide produites par les manoeuvres ou en raison de décharge disruptive dans les postes sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (PSEM) et particulièrement pour les trois surtensions à front très rapide suivantes [1]*:

- a) surtensions à front très rapide internes;
- b) tensions transitoires d'enveloppe (TTE);
- c) et surtensions à front très rapide externes.

Les paramètres de temps considérés dans ce rapport sont limités à moins de 10 μ s.

La procédure pour évaluer l'incertitude sur la mesure décrite s'applique aux niveaux d'essai des surtensions à front très rapide internes énoncées dans la CEI 1259. L'évaluation de l'incertitude est basée sur la forme d'onde de surtension à front très rapide typique (décrite dans la CEI 1259) des surtensions à front très rapide internes produites par les circuits d'essai définis dans la CEI 1259.

Ce rapport:

- a) définit les termes utilisés;
- b) décrit des caractéristiques générales des surtensions à front très rapide;
- c) donne les caractéristiques des surtensions à front très rapide pour chacun des trois types de surtensions à front très rapide;
- d) donne les prescriptions pour les systèmes de mesure;
- e) décrit certains systèmes de mesure possibles (d'autres détails peuvent être trouvés dans la littérature technique, par exemple [2]);
- f) décrit des procédures d'étalonnage pour les systèmes de mesure;
- g) donne des recommandations pour évaluer l'incertitude sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide typique pour la mesure d'une surtension à front très rapide interne seulement (l'évaluation de l'incertitude sur la valeur de crête d'une tension transitoire d'enveloppe ou d'une surtension à front très rapide externe serait semblable).

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée dans l'annexe C.

HIGH-VOLTAGE TESTING TECHNIQUES WITH VERY FAST IMPULSES -

Part 1: Measuring systems for very fast front overvoltages generated in gas-insulated substations

1 Scope

This technical report is applicable to devices and to complete measuring systems used for the measurement of very fast front overvoltages generated by switching or due to disruptive discharge within gas-insulated metal-enclosed substations (GIS) and particularly the three following very fast front overvoltages [1]*:

- a) internal very fast front overvoltages;
- b) transient enclosure voltage (TEV);
- c) and external very fast front overvoltages.

The time parameters considered in this report are limited to less than 10 μ s.

The procedure to evaluate the uncertainty on the measurement described applies to test levels of internal very fast front overvoltages stated in IEC 1259. The uncertainty evaluation is based on the typical very fast front overvoltage waveform described in IEC 1259 of the expected internal very fast front overvoltages generated by the test circuits defined in IEC 1259.

This report:

- a) defines the terms used;
- b) describes general characteristics of very fast front overvoltages;
- c) gives the characteristics of very fast front overvoltages for each of the three kinds of very fast front overvoltage;
- d) gives the requirements for measuring systems;
- e) describes some possible measuring systems (further details can be found in the technical literature, for example [2]);
- f) describes calibration procedures for the measuring systems;
- g) gives guides to evaluate the uncertainty on the peak value of the typical very fast front overvoltage for the measurement of internal very fast front overvoltages only (the uncertainty evaluation of the peak value of a transient enclosure voltage or an external very fast front overvoltage would be similar).

* Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex C.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent les dispositions, qui par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. 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 le présent rapport technique 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 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60-2: 1994, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure (en préparation)*

CEI 517: 1990, *Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV*

CEI 1259: 1994, *Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV – Prescriptions pour l'établissement et la coupure de courants de jeux de barres à vide par les sectionneurs*

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions suivantes sont applicables.

3.1 surtensions à front très rapide (FTR): Tensions produites par une manoeuvre de sectionneurs ou de disjoncteurs de PSEM, ou produites par une décharge disruptive à l'intérieur d'un PSEM. Elles résultent de la superposition d'échelons de tension réfléchis et réfractés se propageant, produits par la variation très rapide de tension (moins de 10 ns caractéristiques du PSEM) se produisant lors des manoeuvres ou lors de décharges disruptives dans les PSEM.

3.2 surtensions à front très rapide internes: Surtensions à front très rapide se produisant dans le PSEM entre le conducteur/jeu de barres à haute tension et l'enveloppe.

3.3 tensions transitoires d'enveloppe (TTE): Surtensions à front très rapide se produisant en dehors du PSEM entre l'enveloppe de PSEM et la terre; elles résultent des réfractions de l'échelon de tensions se propageant à chaque interruption de l'enveloppe (c'est-à-dire jonctions de câble ou de ligne aérienne) (voir l'annexe B).

3.4 surtensions à front très rapide externes: Surtensions à front très rapide se produisant en dehors du PSEM sur ou dans le matériel extérieur au PSEM; elles résultent des réfractions de l'échelon de tension se propageant à chaque interruption de l'enveloppe (c'est-à-dire jonctions de câble ou de ligne aérienne).

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this technical report 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 normative documents.

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60-2: 1994, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring Systems* (in preparation)

IEC 517: 1990, *Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 Kv and above*

IEC 1259: 1994, *Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages 72,5 kV and above – Requirements for switching of bus-charging currents by disconnectors*

3 Definitions

For the purpose of this technical report the following definitions apply.

3.1 very fast front (VFF) overvoltages: Voltages generated by a switching operation of GIS disconnectors or circuit-breakers, or generated by a disruptive discharge inside a GIS. They result from the superposition of reflected and refracted travelling step voltages initiated by the very fast voltage collapses (less than 10 ns characteristic of GIS) occurring at switching or at disruptive discharge in GIS.

3.2 internal very fast front overvoltages: Very fast front overvoltages occurring within the GIS between the high-voltage conductor/duct and the enclosure.

3.3 transient enclosure voltages (TEV): Very fast front overvoltages occurring outside the GIS between the GIS enclosure and the earth; they result from the refractions of the travelling step voltages at each interruption of the enclosure (i.e. cable or overhead line junctions) (see annex B).

3.4 external very fast front overvoltages: Very fast front overvoltages occurring outside the GIS on/in equipment external to the GIS; they result from the refractions of the travelling step voltages at each interruption of the enclosure (i.e. cable or overhead line terminations).

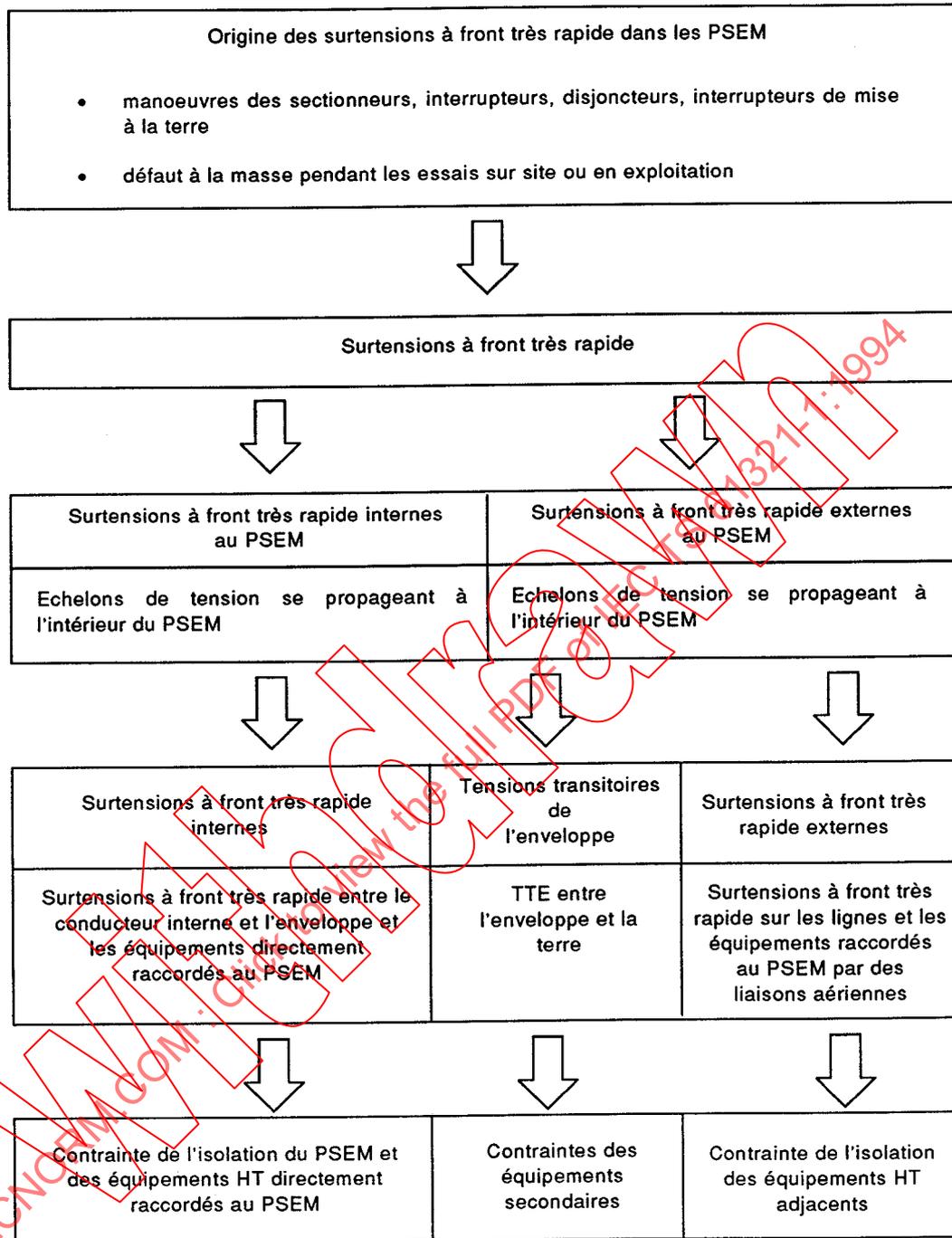


Figure 1 – Origine et classification des surtensions à front très rapide à l'intérieur et à l'extérieur du PSEM [3]

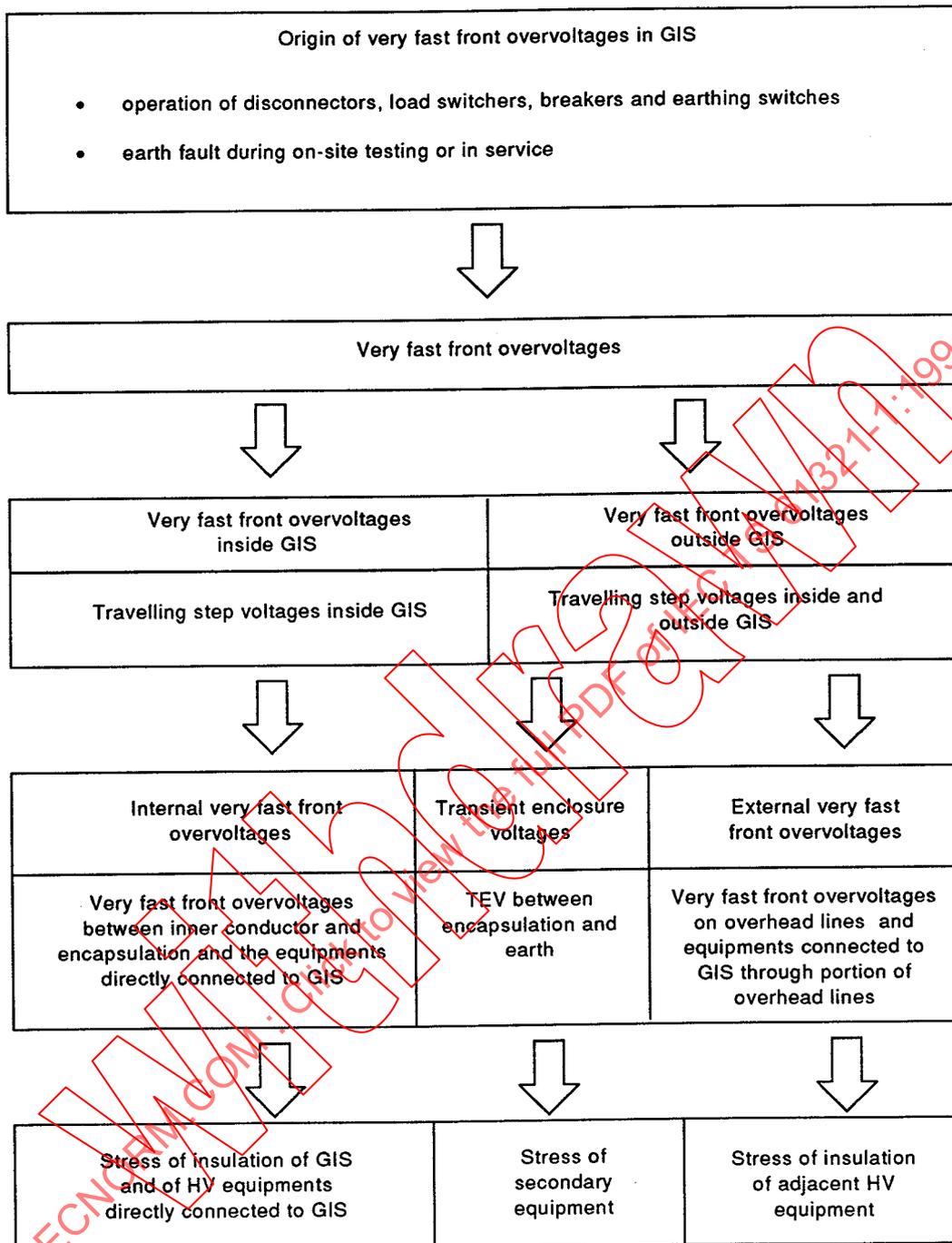


Figure 1 – Origin and classification of the very fast front overvoltages inside and outside GIS [3]

4 Recommandations pour la mesure des surtensions à front très rapide internes

Les recommandations suivantes sont relatives à l'évaluation de la valeur de crête des surtensions à front très rapide internes.

4.1 Caractéristiques des surtensions à front très rapide internes

Une surtension à front très rapide interne dans le PSEM résulte de la propagation de deux échelons de tension se propageant produits par la variation très rapide de tension inhérente à la manoeuvre d'un sectionneur ou d'un disjoncteur et aux décharges disruptives. Ces ondes se propagent dans tout le PSEM et les appareils reliés. A chaque discontinuité d'impédance, une partie de chaque onde incidente est réfléchiée et une partie est transmise: généralement à la fois les parties réfléchiées et transmises sont déformées, par exemple par la capacité localisée en un point de discontinuité. La superposition de la propagation des différentes ondes produit la forme d'onde de surtension à front très rapide.

La forme d'onde globale est souvent complexe mais comporte généralement quatre composantes:

- a) un échelon de tension;
- b) une gamme de très hautes fréquences f_1 (jusqu'à 100 MHz) produite par de nombreux mais légers changements de l'impédance caractéristique à l'intérieur du jeu de barres du PSEM (c'est-à-dire électrodes, coudes, etc.);
- c) une gamme de hautes fréquences f_2 (jusqu'à 30 MHz) produite par réflexions des changements significatifs de l'impédance caractéristique tels que l'extrémité d'un jeu de barres du PSEM ou la jonction à un câble ou une ligne aérienne;
- d) une gamme de basses fréquences f_3 (de 0,1 MHz à 5 MHz) produite par des résonances dues aux fortes capacités des appareils externes, tels que les transformateurs capacitifs de tension ou les condensateurs de couplage des systèmes de transport d'énergie.

De là, la forme d'onde des surtensions à front très rapide internes dépend à la fois de la configuration interne et externe du PSEM. En outre, du fait de la nature des surtensions à front très rapide qui se propagent, les formes d'onde peuvent varier sensiblement avec la position (dans certains cas, des variations significatives se produisent sur des distances de 1 m). La gamme d'amplitude des surtensions à front très rapide internes est de 1 p.u. à 2,5 p.u. de la tension du système. La figure 2 montre un exemple de surtension à front très rapide interne.

4 Recommendations for the measurement of internal very fast front overvoltages

The following recommendations are related to the evaluation of the peak value of internal very fast front overvoltages.

4.1 Characteristics of internal very fast front overvoltages

An internal very fast front overvoltage in GIS is caused by two travelling step voltages generated by the rapid voltage collapse inherent in disconnecter and breaker operation and in disruptive discharges. These travelling waves propagate throughout the GIS and connected apparatus. At each impedance discontinuity, part of each incident wave is reflected and part is transmitted: usually both reflected and transmitted parts are distorted, for example by lumped capacitance at the discontinuity. The superposition of the various travelling waves produces the very fast front overvoltage waveform.

The overall waveform is often complex, but generally comprises four components:

- a) a step voltage;
- b) a very high frequency range f_1 (up to 100 MHz) produced by numerous slight changes of surge impedance inside the GIS bus-duct (i.e. corona shield, elbows, etc.);
- c) a high-frequency range f_2 (up to 30 MHz) produced by reflections from the significant changes of surge impedance such as the end of the GIS bus-duct and the cable or overhead line terminations;
- d) a low-frequency range f_3 (from 0,1 MHz to 5 MHz) produced by resonances caused by the large capacitance external apparatus, such as capacitive voltage transformers or coupling capacitors of the power-line carrier systems.

Hence, the internal very fast front overvoltage waveform depends on both internal and external GIS configuration. In addition, as a result of the travelling wave nature of very fast front overvoltages, waveforms can vary substantially with position (in some cases, significant variations occur over distances of 1 m). The range of amplitudes of internal very fast front overvoltages is from 1 p.u. to 2,5 p.u. of the voltage of the system. Figure 2 shows an example of internal very fast front overvoltage.

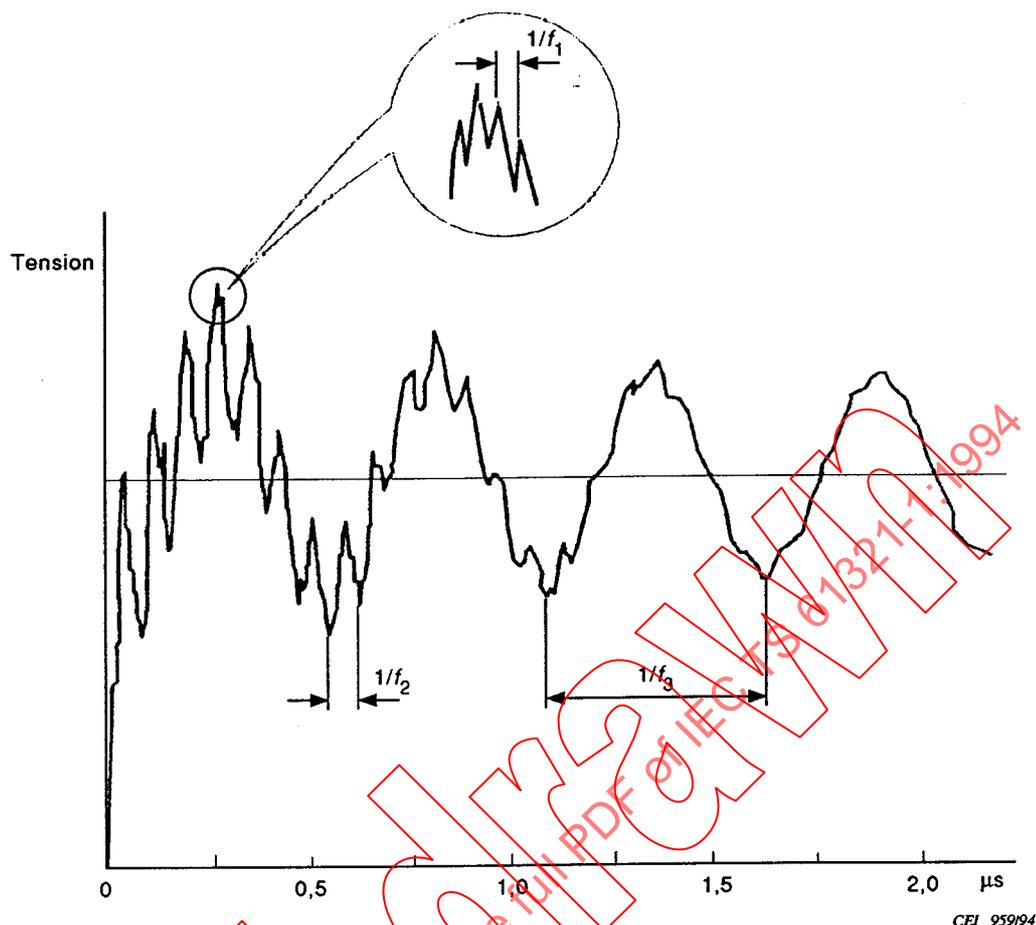


Figure 2 - Exemple de surtension à front très rapide interne due à la fermeture d'un sectionneur

4.2 Prescriptions pour le système de mesure

4.2.1 Généralités

Le système de mesure consiste en un dispositif de conversion (le capteur), un instrument enregistreur et un système de transmission reliant ces deux composants (voir la figure 3). Ces trois composants ont une influence réciproque sur leurs caractéristiques. Par conséquent, le système de mesure doit être vérifié et étalonné globalement.

4.2.2 Emplacement et mise en oeuvre du capteur

Le capteur doit être placé à l'intérieur de l'enveloppe et aussi près que possible de l'endroit où la mesure est exigée. Selon la configuration du PSEM, la position du capteur ne peut pas toujours coïncider avec l'endroit où la mesure est exigée. Dans ce cas, la surtension à front très rapide mesurée peut différer sensiblement de la surtension à front très rapide apparaissant à l'emplacement désiré, particulièrement si l'impédance caractéristique varie brusquement entre l'emplacement désiré et l'emplacement réel du capteur. Dans ces cas, une approximation de la surtension à front très rapide apparaissant à l'emplacement requis peut être déterminée par analyse sur ordinateur. Cette analyse contribuera une erreur supplémentaire. L'amplitude de cette erreur peut être estimée en appliquant la même analyse consistant à calculer la tension à l'emplacement du capteur et en comparant cette tension calculée à la tension mesurée.

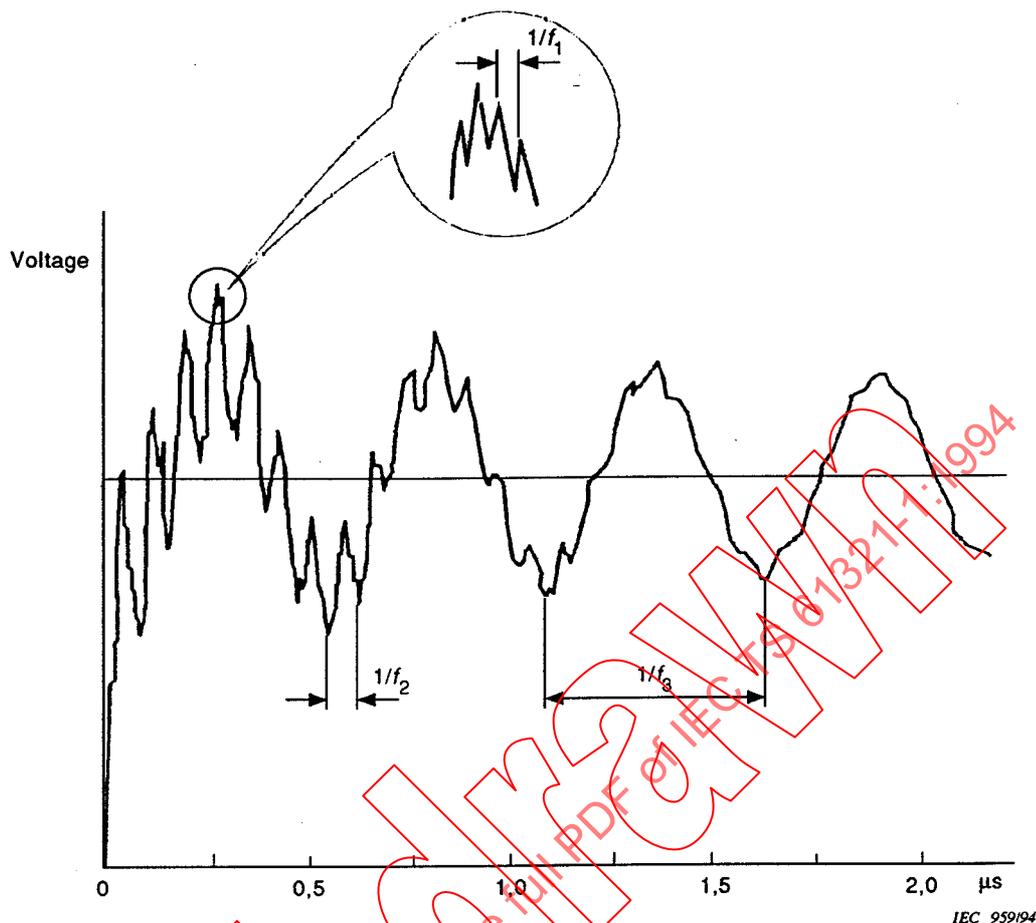


Figure 2 – Example of internal very fast front overvoltage waveform caused by a disconnector closing

4.2 Requirements for the measuring system

4.2.1 General

The measuring system consists of a converting device (sensor), the recording instrument and the transmission system connecting these two components (see figure 3). These three components influence the performance of each other. Therefore the measuring system has to be checked and calibrated as a unit.

4.2.2 Location and implementation of the sensor

The sensor shall be placed inside the enclosure and located as close as possible to the place where the measurement is needed. Depending on the GIS configuration, the position of the sensor cannot always coincide with the place where the measurement is needed. In this case, the measured very fast front overvoltage may differ significantly from the very fast front overvoltage appearing at the desired location, especially if the surge impedance varies abruptly between the desired location and the actual location of the sensor. In such cases, an approximation to the very fast front overvoltage appearing at the specified location may be determined by computer analysis. This analysis will contribute an additional error. The size of this error can be estimated by applying the same analysis to calculate the voltage at the location of the sensor and comparing this calculated voltage with the measured voltage.

Le capteur doit être conçu afin de ne pas compromettre l'intégrité diélectrique ou l'impédance caractéristique du PSEM en essai: il ne doit pas causer d'effet couronne, de modification significative du champ électrique ni de réflexion significative des échelons de tension se propageant.

4.2.3 Caractéristique de transfert du système de mesure

La caractéristique de transfert du système de mesure peut être déterminée dans le domaine fréquentiel ou dans le domaine temporel.

a) Si la caractéristique de transfert est évaluée par la fonction de transfert, il est recommandé que la fonction de transfert d'un système de mesure pour surtension à front très rapide interne soit constante à ± 1 dB de 10 kHz jusqu'à 100 MHz.

En cas de détermination du coefficient de conversion à la fréquence industrielle, la caractéristique de transfert mesurée du système de mesure doit être constante à ± 1 dB jusqu'à la fréquence industrielle (si besoin au moyen d'étalonnages multiples avec différents dispositifs ayant des bandes passantes qui se chevauchent).

b) Si la caractéristique de transfert du système de mesure doit être évaluée avec la réponse indicielle normée, alors les paramètres de la réponse doivent être dans les limites suivantes:

- temps d'établissement t_s : < 20 ns;
- valeur absolue du temps de réponse expérimental: $|T_N| < 5$ ns;
- valeur absolue du temps de réponse résiduel: $T_R(t_1) = |T_\alpha - T_N| < 5$ ns

où

T_α est le temps de réponse partiel;

t_1 est l'instant où la réponse indicielle coupe pour la première fois le niveau de stabilisation;

- la réponse indicielle normée doit être constante à ± 10 % de 2,5 ns jusqu'à 25 μ s.

Tous les paramètres de temps et la constance de la réponse indicielle normée doivent être évalués jusque:

- au temps jusqu'à la crête de l'impulsion utilisée pour la détermination du coefficient de conversion;
- à un temps correspondant à $T/4$ si la fréquence industrielle est utilisée pour la détermination du coefficient de conversion, T étant la période correspondant à la fréquence industrielle utilisée.

NOTE - Il convient de contrôler la réponse indicielle pour déceler une éventuelle évolution du niveau de référence avec le temps due aux caractéristiques différentes des matériaux diélectriques dans les bras basse tension et haute tension.

4.3 Conception possible du système de mesure

Le capteur peut être une sonde de champ électrique installée dans l'enveloppe du jeu de barres dans une position appropriée. La sonde agit comme le bras basse tension d'un diviseur; le bras haute tension est constitué par la capacité entre sa surface exposée et le conducteur sous tension (voir la figure 3).

The sensor shall be designed so as not to adversely affect the dielectric integrity or the surge impedance of the GIS under test: it shall not cause corona, significant field alteration nor significant reflection of travelling step voltages.

4.2.3 Transfer characteristic of the measuring system

The transfer characteristic of the measuring system can be determined either in the frequency domain or in the time domain.

a) If the transfer characteristic is evaluated on the basis of the amplitude/frequency response, then the measured response of a measuring system for internal very fast front overvoltage should be flat from 10 kHz up to 100 MHz within ± 1 dB.

In case of scale factor determination at power frequency, the measured response of the measuring system shall be flat within ± 1 dB down to power frequency (by multiple calibrations with different devices with overlapping bandwidths if needed).

b) If the transfer characteristic of the measurement system is to be evaluated with the unit step response, then the response parameters shall be within the following limits:

- settling time t_s : < 20 ns;
- absolute value of the experimental response time: $|T_N| < 5$ ns;
- absolute value of the residual response time: $T_R(t_1) = |T_\alpha - T_N| < 5$ ns

where

T_α is the partial response time;

t_1 is the time when the step response first crosses the settling level;

- the unit step response shall be flat within ± 10 % from 2,5 ns up to 25 μ s.

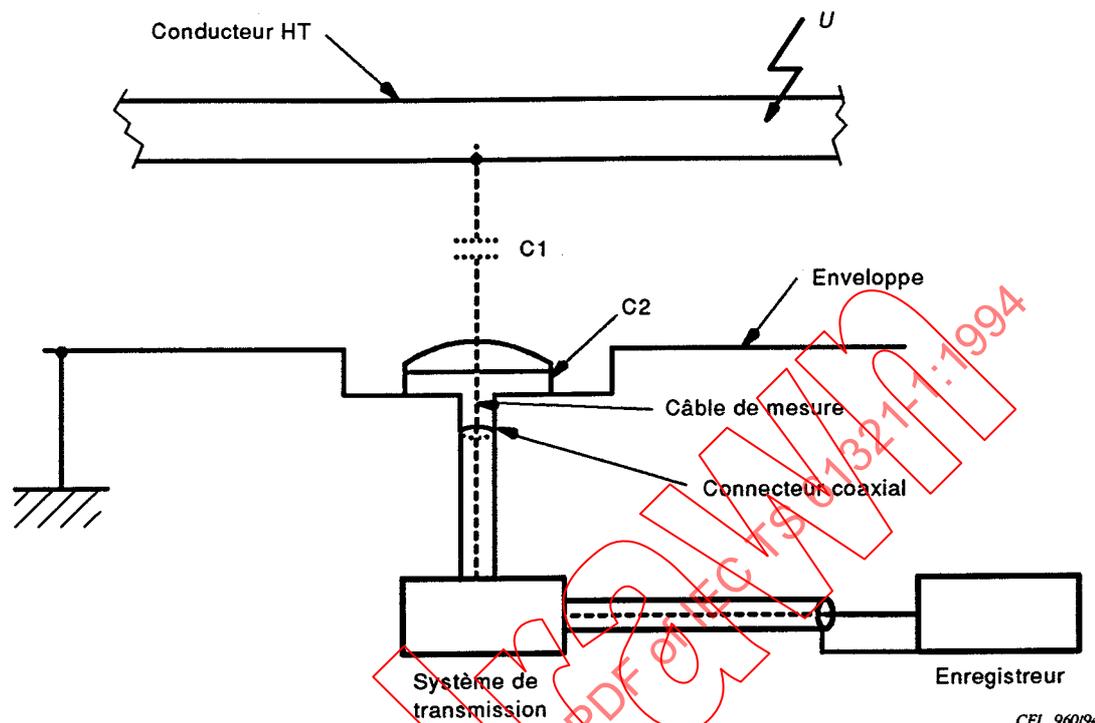
All the time parameters and the flatness of the unit step response shall be evaluated up to:

- the time to peak of the impulse used for determination of the scale factor;
- a time corresponding to $T/4$ if power frequency is used for determination of the scale factor, T being the period corresponding to the power frequency used.

NOTE - The response should be checked for "creeping" caused by different frequency characteristics of the dielectric materials in the low-voltage and high-voltage arms.

4.3 Possible design of the measuring system

The sensor can be an electric field probe which is installed in the enclosure of the bus duct in an appropriate position. The probe acts as the low-voltage arm of a divider; the high-voltage arm is formed by the capacitance between its exposed surface and the energized conductor (see figure 3).



CEI 960/94

Figure 3 – Exemple d'un système de mesure utilisant une sonde de champ dans un jeu de barres de PSEM

Bien que la géométrie soit généralement très simple, l'évaluation du coefficient de conversion basée sur l'analyse du champ n'est pas appropriée pour obtenir une précision suffisante du fait de tous les facteurs influençant la mesure réelle; une procédure d'étalonnage est donc exigée.

NOTE – La dimension du capteur limite la fréquence supérieure.

4.4 Etalonnage du système de mesure

4.4.1 Généralités

Pour étalonner le système de mesure, le coefficient de conversion et sa gamme d'applicabilité en ce qui concerne la gamme de fréquences liée aux transitoires à mesurer doivent être déterminés.

4.4.2 Détermination de la caractéristique de transfert du système de mesure

Le système de mesure a certaines particularités comparé aux systèmes basés sur les diviseurs classiques: il n'y a aucune sortie haute tension spécifique et le bras haute tension peut être considéré comme un condensateur presque idéal.

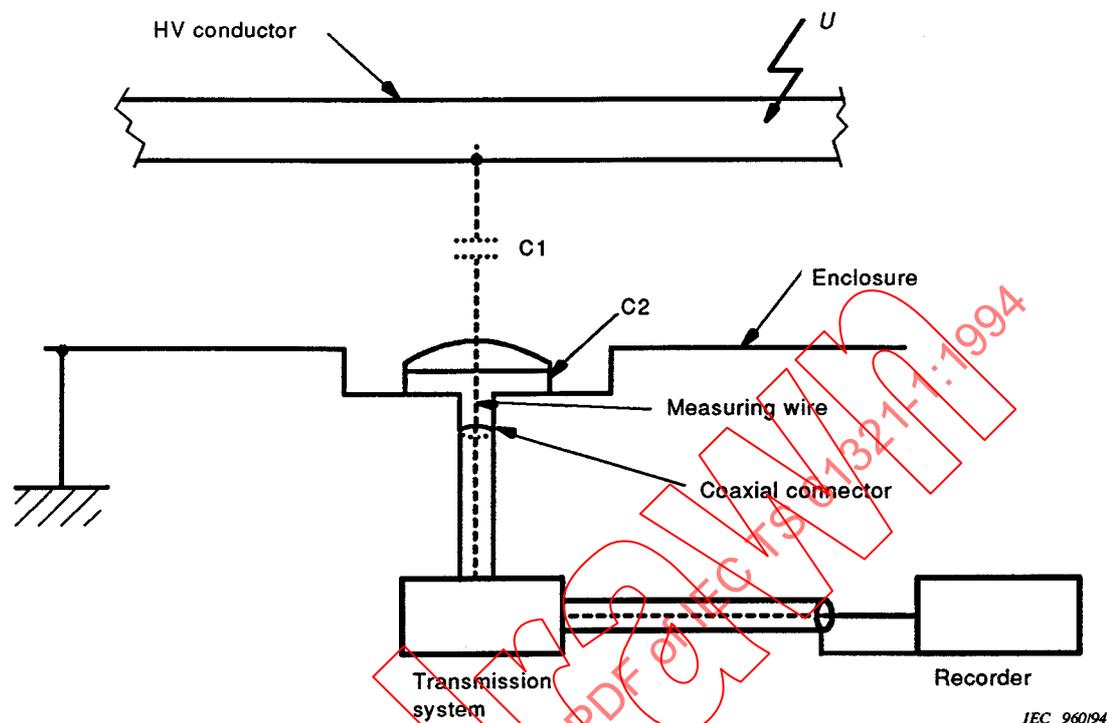


Figure 3 – Example of a measuring system using a field probe in a GIS busbar

Despite the fact that the geometry is usually very simple, the evaluation of the scale factor based on field analysis is not adequate to achieve sufficient accuracy with respect to all influencing factors in the real measurement and hence a calibration procedure is required.

NOTE – The size of the sensor limits the upper limit frequency.

4.4 Calibration of the measuring system

4.4.1 General

To calibrate the measuring system, the scale factor and its range of applicability with respect to the range of frequencies associated with the transients to be measured shall be determined.

4.4.2 Determination of the transfer characteristic of the measuring system

The measuring system has some peculiarities compared with systems based on conventional dividers: there is no specific high-voltage lead and the high-voltage arm can be considered as an almost ideal capacitor.

La détermination de la caractéristique de transfert peut être faite en reproduisant une disposition semblable au système de mesure installé dans le PSEM, par exemple, une cellule électromagnétique transversale (EMT) ou un système coaxial avec des extrémités adaptées (voir l'annexe A). Elle peut être exécutée par l'une ou l'autre des méthodes suivantes:

méthode A: la mesure de la fonction de transfert $G(f)$ du système de mesure; ou

méthode B: la mesure de la réponse indicielle normée $g(t)$ du système de mesure.

Il est recommandé de prendre en considération ce qui suit:

- a) pendant la détermination de la fonction de transfert ou de la réponse indicielle normée, tout dispositif électronique utilisé pour conditionner le signal mesuré pendant la mesure réelle doit être présent et fonctionner de la manière habituelle;
- b) le système de transmission (le câble ou le lien optique) doit être de même type et de même longueur que pendant la mesure réelle;
- c) la géométrie physique de la disposition d'essai ou de mesure peut affecter des résultats d'essai. Par conséquent, les caractéristiques de transfert doivent être déterminées avec les mêmes géométries relatives qui se produiront quand les mesures réelles seront effectuées.

4.4.3 Détermination du coefficient de conversion

Le coefficient de conversion doit être déterminé avec le capteur installé dans le matériel où la mesure est requise.

Puisque l'impédance d'entrée de l'instrument enregistreur est en parallèle avec le bras à basse tension, le capteur est fondamentalement un filtre passe-haut. La détermination du coefficient de conversion peut être effectuée avec une tension de forme quelconque pourvu qu'on puisse établir que le coefficient de conversion déterminé peut être appliqué jusqu'à la plus haute fréquence à mesurer (voir 4.2.3).

Dans la pratique trois possibilités sont permises:

méthode A: détermination du coefficient de conversion par application d'une tension élevée à fréquence industrielle et en faisant référence à un diviseur de tension de précision, si les conditions appropriées de 4.2.3 sont réunies;

méthode B: détermination du coefficient de conversion en impulsion, en faisant référence à un diviseur d'impulsion rapide si les conditions appropriées de 4.2.3 sont réunies. Dans ce cas, des soins doivent être pris pour que la tension mesurée par le diviseur rapide soit en fait appliquée au capteur;

méthode C: quand les conditions de 4.2.3 pour l'étalonnage à fréquence industrielle ne sont pas réunies mais que les conditions de 4.2.3 pour l'étalonnage en impulsion sont réunies, alors l'étalonnage à fréquence industrielle et l'étalonnage en impulsion sont faits dans un local habituel d'étalonnage (voir l'annexe A) pour déterminer le rapport entre le coefficient de conversion à fréquence industrielle et le coefficient de conversion en impulsion. Le coefficient de conversion à fréquence industrielle est ensuite mesuré dans les conditions réelles de mesure et corrigé en utilisant le rapport ci-dessus pour obtenir le coefficient de conversion assigné en impulsion (l'incertitude sur le rapport est une contribution supplémentaire et doit être incluse dans l'estimation de l'incertitude globale (voir 4.5.3)).

The determination of the transfer characteristic can be done by reproducing a similar arrangement to the measurement system in the GIS, for example a transverse electromagnetic (TEM) cell or a coaxial system with matched ends (see annex A). It can be carried out by either:

method A: the measurement of the amplitude/frequency response $G(f)$ of the measuring system; or

method B: the measurement of the unit step response $g(t)$ of the measuring system.

The following should be taken into account:

- a) during the determination of the amplitude/frequency response or the unit step response (USR), any electronic device which would be used to condition the measured signal during the actual measurement shall be present and operating in the usual way;
- b) the transmission system (cable or optical link) shall be the same type and length as during the actual measurement;
- c) the physical geometry of the test or measurement arrangement can affect test results. Therefore, the transfer characteristics shall be determined with the same relative geometry as will occur when the actual measurements are performed.

4.4.3 Determination of the scale factor

The scale factor shall be determined with the sensor installed in the equipment where the measurement is needed.

Because the input impedance of the recording instrument is in parallel with the low-voltage arm, the sensor is basically a high-pass filter. The scale factor determination can be carried out with a voltage of any shape, provided it can be established that the determined scale factor can be applied up to the highest frequency to be measured (see 4.2.3).

In practice three possibilities are allowed:

method A: determination of the scale factor by applying a high voltage at power frequency and by making reference to a precision voltage divider, provided the relevant conditions of 4.2.3 are met;

method B: determination of the scale factor under impulse conditions, by making reference to a fast impulse divider provided the relevant conditions of 4.2.3 are met. In this case, care shall be taken that the voltage measured by the fast divider is in fact applied to the sensor;

method C: when the conditions of 4.2.3 for power-frequency calibration are not met but the conditions of 4.2.3 for impulse calibration are met, then both power frequency and impulse calibration are made in a custom calibration facility (see annex A) to determine the conversion factor from the power-frequency scale factor to the impulse scale factor. The power-frequency scale factor is measured under the actual measurement conditions and corrected using the above conversion factor to obtain the assigned impulse scale factor (the uncertainty of the conversion factor is an additional contribution and shall be included in the estimate of the overall uncertainty (see 4.5.3)).

4.5 *Evaluation de l'incertitude totale sur la mesure de la valeur de crête d'une surtension à front très rapide interne*

4.5.1 *Sources d'incertitude lors de l'utilisation de la fonction de transfert*

Quand la caractéristique de transfert du système de mesure est déterminée à partir de la fonction de transfert, les sources d'incertitude dans la mesure de la valeur de crête d'une surtension à front très rapide interne sont les suivantes:

- a) l'incertitude ε_1 sur le coefficient de conversion mesuré avec une tension alternative donne une incertitude ε_1' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide;
- b) l'incertitude ε_2 de l'analyseur de fréquence donne une incertitude ε_2' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide;
- c) l'incertitude ε_3 sur la «constance» mesurée de la fonction de transfert du système de mesure sur la largeur de bande nécessaire donne une incertitude ε_3' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide (ε_3' est divisé en deux parties, ε_3' et ε_4' , dans l'estimation numérique donnée au tableau 2);
- d) l'incertitude ε_5 due au changement entre l'endroit où est déterminée la caractéristique de transfert établie et l'endroit où se fait la mesure réelle, donne une incertitude ε_5' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide.

4.5.2 *Sources d'incertitude lors de l'utilisation de la réponse indicielle normée*

- a) L'incertitude ε_1 sur le coefficient de conversion en impulsion déterminé avec une impulsion de tension donne une incertitude ε_1' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide.
- b) L'incertitude ε_2 dans l'établissement du niveau de référence de l'instrument (bruit du convertisseur analogique-numérique ou trace sur l'oscilloscope) sur l'amplitude de chacune des trois composantes de fréquence de la surtension à front très rapide interne donne une incertitude ε_2' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide.
- c) L'incertitude ε_3 due à l'extension du niveau de stabilisation de la réponse indicielle normée (la constante de temps de stabilisation) influence la forme de la partie haute fréquence et donne une incertitude ε_3' sur la valeur crête de la surtension à front très rapide.
- d) L'incertitude ε_4 due à la constante de temps d'évolution du niveau de référence avec le temps (variation de la caractéristique de transfert entre le point du coefficient de conversion en impulsion (plusieurs μs) et le point 100 ns) sur l'amplitude de chacune des trois composantes de fréquence de la surtension à front très rapide interne donne une incertitude ε_4' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide.
- e) L'incertitude ε_5 due au changement entre l'endroit où est déterminée la caractéristique de transfert et l'endroit où se fait la mesure réelle donne une incertitude ε_5' sur la valeur de crête de la surtension à front très rapide.

4.5.3 *Procédures générales pour évaluer l'incertitude globale sur la valeur de crête d'une surtension à front très rapide*

NOTE - Cette procédure est un premier traitement qui doit être révisé pour suivre la CEI 60-1, annexe D (à l'étude).

Les formes d'onde des surtensions à front très rapide varient selon la configuration du PSEM. A la différence d'autres tensions d'essai normalisées traditionnelles, il n'y a jusqu'à présent aucune forme d'onde normalisée de surtension à front très rapide.

4.5 Evaluation of the total uncertainty on the measurement of peak value of an internal very fast front overvoltage

4.5.1 Sources of uncertainty when using the amplitude/frequency response

When the transfer characteristic of the measuring system is determined from the amplitude/frequency response, the sources of uncertainty in the measurement of the peak value of an internal very fast front overvoltage are the following:

- a) uncertainty ε_1 on the scale factor measured with an alternating voltage gives an uncertainty ε_1' on the peak value of the very fast front overvoltage;
- b) uncertainty ε_2 from the frequency analyser gives an uncertainty ε_2' on the peak value of the very fast front overvoltage;
- c) uncertainty ε_3 on the measured "flatness" of the frequency response of the measuring system over the required bandwidth gives an uncertainty ε_3' on the peak value of the very fast front overvoltage (ε_3' is divided into two parts ε_3'' and ε_4' in the numerical estimate given in table 2);
- d) uncertainty ε_5 due to the change from the transfer characteristic determination set up to the actual measurement point gives an uncertainty ε_5' on the peak value of the very fast front overvoltage.

4.5.2 Sources of uncertainty when using the unit step response

- a) Uncertainty ε_1 on the impulse scale factor determined with an impulse voltage gives an uncertainty ε_1' on the peak value of the very fast front overvoltage.
- b) Uncertainty ε_2 in establishing the reference level of the instrument (noise of digitizer or trace of the scope) on the amplitude of each of the three frequency components of the internal very fast front overvoltages gives an uncertainty of ε_2' on the peak value of the very fast front overvoltage.
- c) Uncertainty ε_3 due to the extension of the settling level of the unit step response (settling time constant) influences the shape of the high-frequency content and gives an uncertainty ε_3' on the peak value of the very fast front overvoltage.
- d) Uncertainty ε_4 due to the creeping time constant (variation of the transfer characteristic between impulse scale factor point (several μs) and the 100 ns point) on the amplitude of each of the three frequency components of the internal very fast front overvoltage gives an uncertainty ε_4' on the peak value of the very fast front overvoltage.
- e) Uncertainty ε_5 due to the change from the transfer characteristic determination set-up to the actual measurement set-up gives an uncertainty ε_5' on the peak value of the very fast front overvoltage.

4.5.3 General procedure to evaluate the overall uncertainty on the peak value of a very fast front overvoltage

NOTE - This procedure is a first treatment which will be revised to follow IEC 60-1, annex D (under consideration).

Very fast front overvoltage waveforms vary depending on GIS configuration. Unlike other traditional standard testing voltages, there is up to now no standard very fast front overvoltage waveform.

L'incertitude totale sur la valeur de crête mesurée des surtensions à front très rapide dépend des valeurs pondérées des composantes (tableau 1):

- certaines incertitudes s'appliquent également à toutes les composantes et c'est pourquoi le facteur de pondération est égal à un;
- d'autres s'appliquent différemment à chaque composante et c'est pourquoi le facteur de pondération est inférieur à un et dépend de l'amplitude de la composante de fréquence impliquée.

Une incertitude totale ne peut pas être énoncée tant que la forme d'onde réelle de la tension à front très rapide n'est pas connue.

Afin de montrer la procédure d'évaluation pour l'incertitude totale, la forme d'onde de surtension à front très rapide interne qui est présentée à la figure 2 (représentation de la forme d'onde attendue pour l'essai de sectionneurs de PSEM selon la description donnée dans la CEI 1259) doit être définie selon les pourcentages des composantes de fréquence à l'instant de la valeur de crête.

La tension à front très rapide (voir figure 2) contient l'amplitude $A(f_i)$ pour les trois composantes des gammes de fréquence principales à l'instant de la crête (le composant échelon n'est pas considéré). Comparé à la valeur de crête, P , de la surtension à front très rapide qui se produit entre 100 ns et 500 ns, les facteurs de pondération $w_i = A(f_i)/P$ qui ont défini la composition de la valeur de crête sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1 – Facteurs de pondération pour les surtensions à front très rapide internes

$i =$	1	2	3
$w_i = A(f_i) / P$	w_1	w_2	w_3
NOTE - Les facteurs de pondération réels doivent être déterminés à partir des formes d'onde des surtensions à front très rapide mesurées.			

Selon ces facteurs de pondération, les tableaux 2 et 3 décrivent le passage de chaque composant d'incertitude à l'incertitude totale sur la valeur de crête selon la méthode employée pour déterminer la caractéristique de transfert du système de mesure.

The total uncertainty on the measured peak value of very fast front overvoltage depends on weighted values of the contributing components (see table 1):

- some uncertainties apply equally to all components and hence the weighting factor is one;
- others apply differently to each component and hence the weighting factor is less than one and depends on the amplitude of frequency component involved.

A total uncertainty can not be stated so long as the actual waveform of the very fast front overvoltage is not known.

In order to show the evaluation procedure for total uncertainty, the internal very fast front overvoltage waveform which is shown in figure 2 (representative of the waveform expected for GIS disconnecters test as described in IEC 1259) has to be defined according to the percentage of frequency component at the instant of occurrence of the peak value.

The very fast front overvoltage (see figure 2) contains amplitude $A(f_i)$ for the three components of the main frequency ranges at the instant of the peak (the step component is not considered). Compared to the peak value, P , of the very fast front overvoltage which occurs between 100 ns and 500 ns, the weighting factors $w_i = A(f_i)/P$ which defined the composition of the peak value are given in table 1.

Table 1 – Weighting factors for internal very fast front overvoltage

$i =$	1	2	3
$w_i = A(f_i) / P$	w_1	w_2	w_3
NOTE – The actual weighting factors shall be determined from the measured very fast front overvoltage waveforms.			

According to these weighting factors, tables 2 and 3 describe the passage of each uncertainty component to the total uncertainty on the peak value according to the method used to determine the transfer characteristic of the measuring system.

Tableau 2 – Origine des incertitudes sur la mesure de la valeur de crête des surtensions à front très rapide, incertitudes associées et détermination de l'incertitude totale dans le cas où la détermination de la caractéristique de transfert a été obtenue par la fonction de transfert et où le coefficient de conversion a été obtenu avec une tension alternative

Origine des incertitudes ε_i	Incertitude associée sur la valeur de crête de surtensions à front très rapide ε'_j
Détermination du coefficient de conversion avec une tension alternative ε_1	Coefficient de conversion: $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1$
Analyseur de spectre ε_2	Cette incertitude couvre l'incertitude sur les trois facteurs de pondération des composantes des trois gammes de fréquences: $\varepsilon'_2 = (w_1 + w_2 + w_3) \varepsilon_2$
Ondulation de la fonction de transfert du système de mesure ε_3	Une première composante de l'incertitude pour les composantes f_2 et f_3 : $\varepsilon'_3 = (w_2 + w_3) \varepsilon_3$
	Une seconde composante de l'incertitude pour la composante f_1 : $\varepsilon'_4 = w_1 \varepsilon_3$
Modification de la fonction de transfert entre l'endroit où elle a été déterminée et l'endroit où la mesure est réalisée ε_5	$\varepsilon'_5 = \varepsilon_5$
Incertitude totale sur la valeur de crête	$\varepsilon'_1 = \sqrt{\sum_j \varepsilon'_j{}^2}$

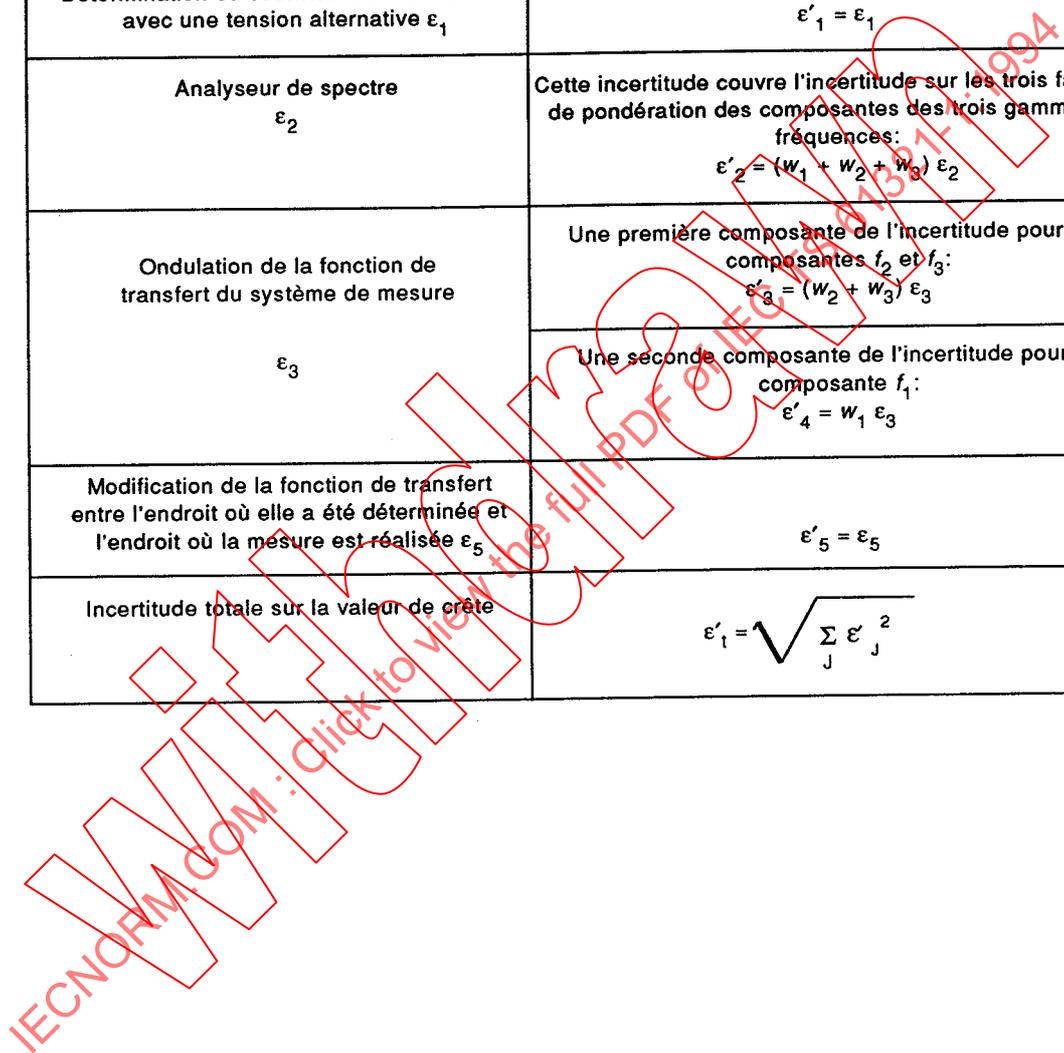


Table 2 – Sources of uncertainties on the very fast front overvoltage peak value measurement, associated uncertainties and determination of the total uncertainty in case of transfer characteristic determination obtained by the amplitude/frequency response and scale factor obtained by an a.c. voltage

Uncertainty source ε_i	Associated uncertainty on the peak value of the very fast front overvoltage ε'_j
Determination of the scale factor with an a.c. voltage ε_1	Scale factor $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1$
Frequency analyser ε_2	This uncertainty covers the uncertainty on the three weighting factors of the components of the three frequency ranges $\varepsilon'_2 = (w_1 + w_2 + w_3) \varepsilon_2$
Ripple of frequency response of the measuring system ε_3	A first uncertainty component for the f_2 and f_3 components: $\varepsilon'_3 = (w_2 + w_3) \varepsilon_3$
	A second uncertainty component for the f_1 component: $\varepsilon'_4 = w_1 \varepsilon_3$
Change from the transfer characteristic set up to the actual measurement position ε_5	$\varepsilon'_5 = \varepsilon_5$
Total uncertainty on the peak value	$\varepsilon'_1 = \sqrt{\sum_j \varepsilon_j^2}$

Tableau 3 – Origine des incertitudes sur la mesure de la valeur de crête des surtensions à front très rapide, incertitudes associées et détermination de l'incertitude totale dans le cas où la détermination de la caractéristique de transfert a été obtenue par la réponse indicielle normée et où le coefficient de conversion a été obtenu avec une tension de choc de foudre

Origine des incertitudes ϵ_i	Incertitude associée sur la valeur de crête de surtensions à front très rapide ϵ'_j
Détermination du coefficient de conversion avec une tension de choc de foudre ϵ_1	$\epsilon'_1 = \epsilon_1$
Etablissement du niveau de référence de l'enregistreur: bruit du convertisseur analogique-numérique ou trace de l'oscilloscope ϵ_2	$\epsilon'_2 = \epsilon_2$
Extension du niveau de stabilisation de la réponse indicielle normée (constante de temps de stabilisation) ϵ_3	Influence seulement sur la partie haute fréquence de la surtension à front très rapide: $\epsilon'_3 = \epsilon_3$
Constante de temps d'évolution du niveau de référence avec le temps: changement de la caractéristique de transfert entre le point d'étalonnage et le point 100 ns ϵ_4	$\epsilon'_4 = \epsilon_4$
Modification de la caractéristique de transfert entre l'endroit où elle a été déterminée et l'endroit où la mesure est réalisée ϵ_5	$\epsilon'_5 = \epsilon_5$
Incertitude totale sur la valeur de crête	$\epsilon' = \sqrt{\sum_j \epsilon_j'^2}$

4.5.4 Exemple de l'incertitude sur la mesure de la valeur de crête d'une surtension à front très rapide interne

Les exemples suivants de l'estimation d'incertitude sont faits en utilisant des méthodes reconnues et la meilleure instrumentation actuellement disponible.

NOTE - Si les limites complètes sur les incertitudes données en 4.2.3 et dans la CEI 60-1 sont utilisées, alors l'incertitude totale sera plus élevée que celle estimée dans les tableaux 4 et 5.

Les facteurs de pondération sont choisis pour représenter la surtension à front très rapide interne qui peut se produire pendant l'essai demandé dans la CEI 1259 et sont: $w_1=0,02$, $w_2=0,15$, $w_3=0,3$.

Bien que les prescriptions d'essai établies par la CEI 1259 énoncent qu'il est recommandé que l'incertitude totale du système de mesure soit meilleure que 5 %, les tableaux 4 et 5 montrent que l'incertitude est d'environ 10 % pour l'une ou l'autre méthode de détermination de la caractéristique de transfert.

Table 3 – Sources of uncertainties on the very fast front overvoltage peak value measurement, associated uncertainties and determination of the total uncertainty in case of the transfer characteristic determination obtained by the unit step response method and scale factor obtained by a lightning impulse voltage

Uncertainty source ε_i	Associated uncertainty on the peak value of the very fast front overvoltage ε'_j
Determination of the scale factor with a lightning impulse voltage ε_1	$\varepsilon'_1 = \varepsilon_1$
Establishing reference level of the instrument: noise of digitizer or trace of the scope ε_2	$\varepsilon'_2 = \varepsilon_2$
Extension of the settling level of the USR (settling time constant) ε_3	Influence the high-frequency shape of the VFI voltage $\varepsilon'_3 = \varepsilon_3$
Creeping time constant: variation of the transfer characteristic between calibration point and 100 ns point ε_4	$\varepsilon'_4 = \varepsilon_4$
Change from transfer characteristic determination set-up to actual measurement position ε_5	$\varepsilon'_5 = \varepsilon_5$
Total uncertainty on the peak value	$\varepsilon' = \sqrt{\sum_j \varepsilon_j'^2}$

4.5.4 Example of uncertainty on the measurement of the peak value of an internal very fast front overvoltage

The following examples of uncertainty estimation are made using accepted methods and the best presently available instrumentation.

NOTE – If the full limits on uncertainties given in 4.2.3 and IEC 60-1 are used then the total uncertainty will be higher than that estimated in tables 4 and 5.

The weighting factors are chosen to represent the internal very fast front overvoltage that can occur during the test requested by IEC 1259 and are: $w_1=0,02$, $w_2=0,15$, $w_3=0,3$.

Although the test requirements established by IEC 1259 state that the total uncertainty of the measuring system should be better than 5 %, tables 4 and 5 show that the uncertainty is about 10 % for either method of determining the transfer characteristic.

Tableau 4 – Evaluation de l'incertitude totale sur la valeur de crête des surtensions à front très rapide pour un système de mesure dont la caractéristique de transfert a été obtenue par la fonction de transfert

$i =$	$\epsilon_i =$	$\epsilon'_J =$	$\epsilon'_J =$	$J =$
1	2 % avec calibration à fréquence alternative industrielle	2 %	2 %	1
2	12 % (1 dB)	$(0,02 + 0,15 + 0,3) \times 12 = 5,6$	5,6 %	2
3	12 % (1 dB)	$(0,15 + 0,3) \times 12 = 5,4$	5,4	3
	12 % (1 dB)	$(0,02) \times 12 = 0,24$	0,24	4
5	5 %	5 %	5 %	5
			9,5 %	Incertitude totale sur la valeur de crête de la tension
<p>NOTES</p> <p>1 Pour l'incertitude ϵ_5, la valeur de 5 % ici estimée est issue de l'expérience du groupe de travail.</p> <p>2 La valeur de 12 % utilisée pour ϵ_2 et ϵ_3 est le plus mauvais cas d'estimation basée sur la limite de ± 1 dB sur la constance de la fonction de transfert: les estimations statistiques peuvent être calculées par les méthodes de «Monte Carlo».</p> <p>3 Il est souligné que les tolérances constituent les différences permises entre les valeurs spécifiées et celles effectivement mesurées. Il convient de distinguer ces différences des erreurs de mesures qui sont la différence entre les valeurs effectivement enregistrées et les valeurs vraies. Les valeurs citées pour les incertitudes dans les tableaux 4 et 5 sont des estimations des limites probables sur les erreurs de mesure. Les informations complémentaires sur l'estimation des incertitudes seront fournies dans la CEI 60-1, annexe D (à l'étude).</p>				

IECNORM.COM · click to view PDF · IEC 60-1:1994

Table 4 – Evaluation of the total uncertainty on the peak value of the very fast front overvoltage for measuring system whose transfer characteristic is determined by the amplitude/frequency response

$i =$	$\varepsilon_i =$	$\varepsilon'_i =$	$\varepsilon'_j =$	$J =$
1	2 % with a.c. calibration	2 %	2 %	1
2	12 % (1 dB)	$(0,02 + 0,15 + 0,3) \times 12 = 5,6$	5,6 %	2
3	12 % (1 dB)	$(0,15 + 0,3) \times 12 = 5,4$	5,4	3
	12 % (1 dB)	$(0,02) \times 12 = 0,24$	0,24	4
5	5 %	5 %	5 %	5
			9,5 %	Total uncertainty on the peak voltage
<p>NOTES</p> <p>1 For uncertainty ε_5, the value of 5 % assumed here is based on the experience of the working group.</p> <p>2 The value of 12 % used for ε_2 and ε_3 is a worst-case estimate based on the ± 1 dB limit on the flatness of the amplitude/frequency response: statistical estimates can be calculated by "Monte-Carlo" methods.</p> <p>3 It is emphasized that tolerances constitute the permitted differences between specified values and those actually measured. These differences should be distinguished from measuring errors which are the difference between the values actually recorded and the true values. The values quoted for the uncertainties in tables 4 and 5 are estimates of the likely bounds on measuring errors. Further information on estimating uncertainties will be provided in IEC 60-1, annex D (under consideration).</p>				

Tableau 5 – Evaluation de l'incertitude totale sur la valeur de crête des surtensions à front très rapide pour un système de mesure dont la caractéristique de transfert a été obtenue par la réponse Indicielle normée

$i =$	$\epsilon_i =$	$\epsilon'_j =$	$J =$
1	3 % calibration avec le choc de foudre	3 %	1
2	2 %	2 %	2
3	5 %	5 %	3
4	5 %	5 %	4
5	5 %	5 %	5
		9,4 %	Incertitude totale sur la valeur de crête de la tension
NOTE – Les valeurs d'incertitude estimées ici sont issues de l'expérience du groupe de travail.			

5 Recommandations pour la mesure de la tension transitoire d'enveloppe

NOTE – Pour ce qui concerne la mesure des tensions transitoires d'enveloppe, il ne s'agit que de donner des indications puisqu'il n'y a aucune technique de mesure universellement applicable (l'approche de mesure est spécifique à l'installation et dépend des raisons pour lesquelles des mesures sont effectuées).

5.1 Caractéristiques des tensions transitoires d'enveloppe

Les principes de la génération des TTE sont expliqués dans l'annexe B. Les TTE sont fondamentalement une conséquence des surtensions à front très rapide internes. La valeur de crête des TTE dépend de la hauteur de l'enveloppe au-dessus du sol, de la façon dont l'enveloppe est reliée au système de mise à la terre et du système de mise à la terre lui-même.

Généralement, les TTE des PSEM impliquent des composantes de trois gammes principales de fréquences superposées à un échelon de tension. L'échelon de tension s'altère généralement dans les premières nanosecondes du fait de l'impédance très faible des connexions de mise à la terre des PSEM. Les trois composantes sont:

- une gamme de très hautes fréquences f_1 (jusqu'à 100 MHz) due à de nombreux mais légers changements d'impédance caractéristique sur ou dans l'enveloppe du PSEM (c'est-à-dire entretoises, coudes, connexions de mise à la terre, etc);
- une gamme de hautes fréquences f_2 (jusqu'à 30 MHz) due aux réflexions causées par des changements significatifs de l'impédance caractéristique tels que les liaisons de mise à la terre de l'enveloppe des PSEM;
- une gamme de basses fréquences f_3 (0,1 MHz à 1 MHz) produite par des résonances dues aux fortes capacités localisées des grands appareils externes, tels que les condensateurs de couplage des systèmes de transport d'énergie.

Quand il y a amortissement important (c'est-à-dire qu'il y a beaucoup de connexions de terre de faible impédance), la durée des TTE est inférieure à quelques microsecondes. Dans ce cas, les composantes de plus basse fréquence sont petites.

Table 5 – Evaluation of the total uncertainty on the peak value of the very fast front overvoltage for measuring system whose transfer characteristic is determined by the unit step response

$i =$	$\epsilon_i =$	$\epsilon'_J =$	$J =$
1	3 % with LI calibration	3 %	1
2	2 %	2 %	2
3	5 %	5 %	3
4	5 %	5 %	4
5	5 %	5 %	5
		9,4 %	Total uncertainty on the peak voltage
NOTE – The uncertainty values assumed here are based on the experience of the working group.			

5 Recommendations for measurements of transient enclosure voltage

NOTE – Concerning the measurement of transient enclosure voltage, only guidance is given, as there is no universally applicable measuring technique (the measurement approach is installation specific and depends on the reasons for the measurements being carried out).

5.1 Characteristics of transient enclosure voltage

Principles of TEV generation are explained in annex B. TEVs are basically a consequence of internal very fast front overvoltages. The peak value of TEV depends on the height of the enclosure above earth, on the way the enclosure is connected to the earthing system and on the earthing system itself.

Usually, TEVs on GIS enclosures involve components of three main frequency ranges superimposed on a "step voltage". The step voltage usually decays within the first few nanoseconds due to the very low impedance of the GIS earthing connections. The three components are:

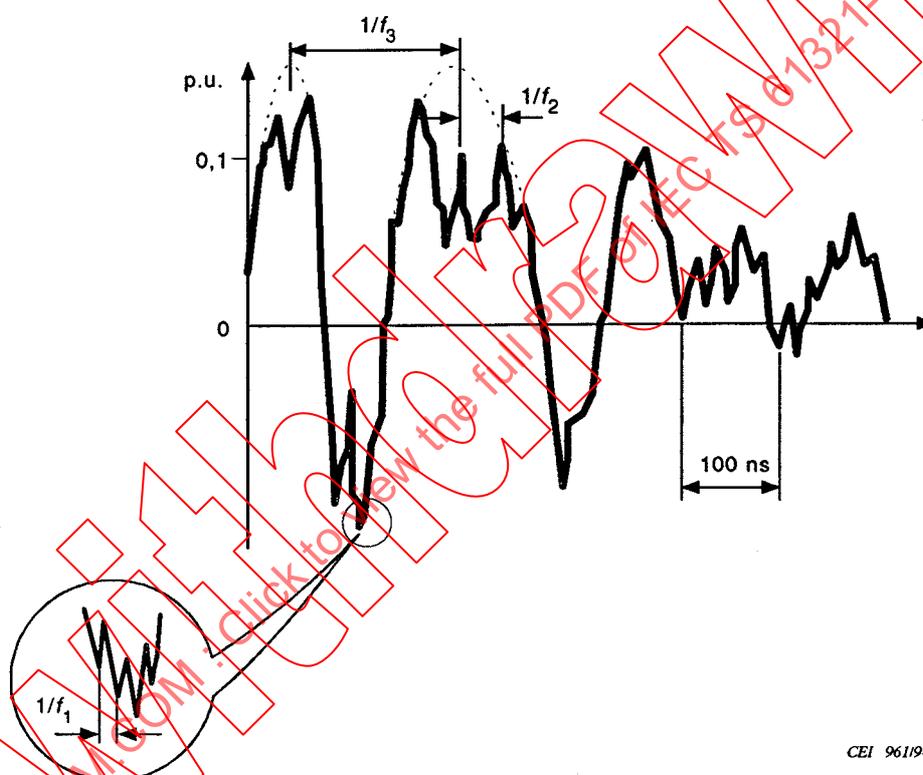
- a very high frequency range f_1 (up to 100 MHz) due to numerous slight changes of surge impedance in/on the GIS enclosure (i.e. spacers, elbows, earthing connections, etc.);
- a high-frequency range f_2 (up to 30 MHz) due to reflections from the significant changes of surge impedance such as earthing leads of GIS enclosures;
- a low-frequency range f_3 (0,1 MHz to 1 MHz) produced by resonances caused by lumped capacitance of large external apparatus, such as the coupling capacitors of the power-line carrier systems.

When there is heavy damping (i.e. there are many low-impedance earth connections), the duration of TEV is less than a few microseconds. In this case, the lower frequency components are small.

De là, la forme d'onde des TTE dépend principalement des connexions de mise à la terre du PSEM et leurs valeurs de crête peuvent être de 0,01 p.u. jusqu'à 0,5 p.u. de la plus haute tension du système. La figure 4 montre un exemple de TTE. Des gammes de facteurs de pondération de la gamme de fréquence de trois composantes sont données au tableau 6 (l'amplitude A_i de la composante de la gamme de fréquence i à l'instant de la crête de la TTE comparée à la valeur de crête P , qui se produit entre 25 ns et 100 ns, donne le facteur de pondération $w_i = A_i/P$).

Tableau 6 – Facteurs de pondération pour la TTE

$i =$	1	2	3
$w_i = A(f_i) / P$	0,1 à 0,2	0,7 à 0,8	0,05 à 0,1



CEI 961/94

Figure 4 – Exemple de TTE

5.2 Prescriptions pour le système de mesure

5.2.1 Généralités

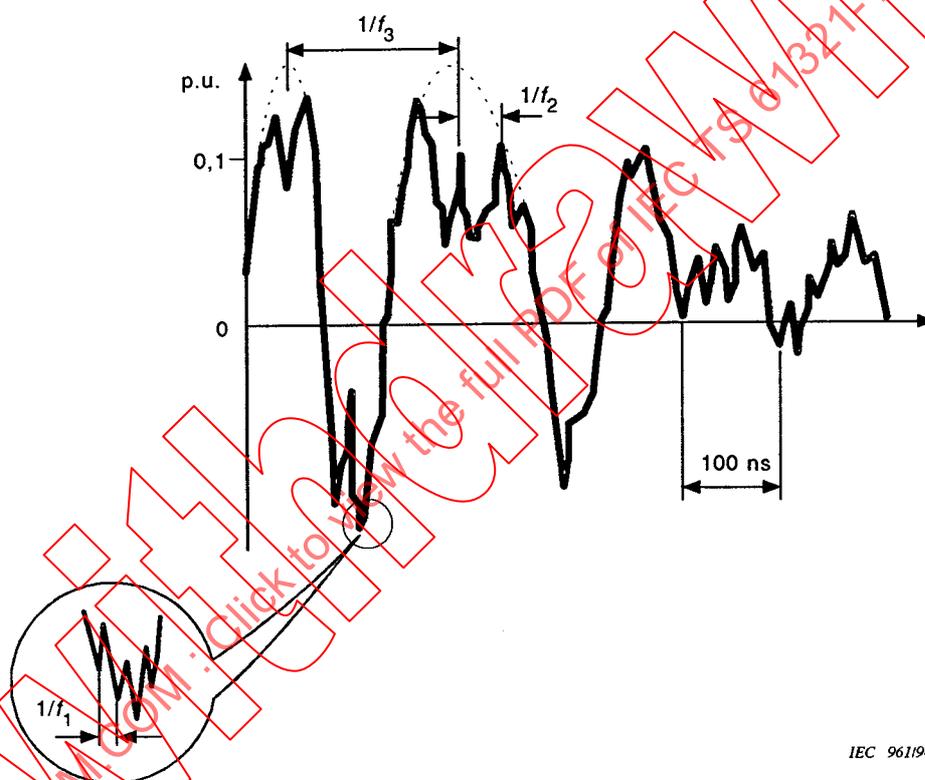
Le système de mesure consiste en un dispositif de conversion (le capteur), un instrument enregistreur et un système de transmission reliant ces deux composants. Ces trois composants ont une influence réciproque sur leurs caractéristiques. Par conséquent, le système de mesure doit être vérifié et étalonné globalement.

La nature de l'onde des TTE implique que le signal à enregistrer dépend fortement de l'emplacement où la mesure est effectuée. L'impédance d'entrée du système de mesure peut influencer l'amplitude et la forme de la TTE à mesurer.

Hence, the TEV waveform depends mainly on GIS earthing connections and their peak values may be from 0,01 p.u. up to 0,5 p.u. of the voltage of the system. Figure 4 shows an example of TEV. Ranges of weighting factors of the three frequency range of components are given in table 6 (amplitude A_i of the component of frequency range i at the instant of the peak of the TEV compared to the peak value P , which occurs between 25 ns and 100 ns, gives the weighting factor $w_i = A(f_i)/P$):

Table 6 – Weighting factors for TEV

$i =$	1	2	3
$w_i = A(f_i) / P$	0,1 to 0,2	0,7 to 0,8	0,05 to 0,1



IEC 961194

Figure 4 – Example of TEV

5.2 Requirements for the measuring system

5.2.1 General

The measuring system consists of a converting device (sensor), the recording instrument and the transmission system connecting these two components. These three components influence each other. Therefore, the measuring system has to be checked and calibrated as a unit.

The travelling wave nature of the TEV implies that the signal to be recorded strongly depends on the location where the measurement is made. The input impedance of the measuring system may influence the amplitude and shape of the TEV to be measured.

5.2.2 *Emplacement et mise en oeuvre du capteur*

Le capteur doit être placé en dehors de l'enveloppe et situé aussi près que possible de l'endroit où la mesure est requise. Selon la configuration du PSEM, le capteur ne peut pas être toujours placé à l'endroit où la mesure est requise. Dans ce cas, la TTE mesurée peut sensiblement différer de la TTE apparaissant à l'emplacement désiré si l'impédance caractéristique varie brusquement entre l'emplacement désiré et l'emplacement réel du capteur.

Le système de mesure doit être conçu pour minimiser son influence sur les phénomènes à mesurer.

5.2.3 *Caractéristique de transfert du système de mesure*

Les prescriptions sont identiques à celles des surtensions à front très rapide interne (voir 4.2.3) sauf que la fréquence de coupure la plus faible peut être plus élevée (jusqu'à 10 fois).

5.3 *Conception possible du système de mesure*

5.3.1 *Sonde de champ électrique*

Le capteur peut être une sonde de champ électrique installée entre l'enveloppe du PSEM et la terre. La sonde de champ mesure la composante verticale du champ électrique $E_z(t)$ qui est liée à la tension de l'enveloppe au point vertical par la relation:

$$E_z(t) = G(z) \cdot V(t)$$

où

$V(t)$ est la tension d'enveloppe et $G(z)$ est donné par:

$$G(z) = \frac{1}{\log(2h/R)} \times \left(\frac{1}{(h-z+R)} + \frac{1}{(h+z+R)} \right)$$

où

R est le rayon de l'enveloppe du PSEM;

h est la hauteur de l'enveloppe du PSEM au-dessus du sol;

z est la hauteur de la sonde au-dessus du sol (voir figure 5).

5.2.2 Location and implementation of the sensor

The sensor shall be placed outside the enclosure and located as closely as possible to the place of the required measurement. Depending on the GIS configuration, the sensor cannot always be placed at the location of the required measurement. In this case, the measured TEV may significantly differ from the TEV appearing at the desired location if the surge impedance varies abruptly between the desired location and the actual location of the sensor.

The measuring system shall be designed to minimize its influence on the phenomena to be measured.

5.2.3 Transfer characteristic of the measuring system

The requirements are the same as for the internal very fast front overvoltages (see 4.2.3) except that the lower cut-off frequency can be higher (up to 10 times).

5.3 Possible design of the measuring system

5.3.1 Electric field probe

The sensor can be an electric field probe installed between the enclosure of the GIS and the earth. The field probe measures the vertical component of the electrical field $E_z(t)$ which is related to the enclosure voltage at the vertical point by the relation:

$$E_z(t) = G(z) \cdot V(t)$$

where

$V(t)$ is the enclosure voltage and $G(z)$ is given by:

$$G(z) = \frac{1}{\log(2h/R)} \times \left(\frac{1}{(h-z+R)} + \frac{1}{(h+z+R)} \right)$$

where

R is the radius of the GIS enclosure;

h is the height of the GIS enclosure above the earth;

z is the height of the field probe above the earth (see figure 5).

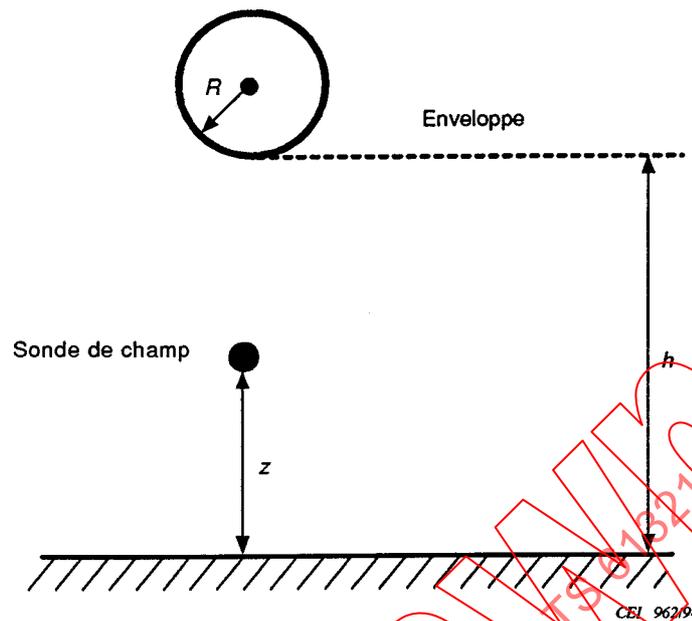


Figure 5 - Sonde de champ *In situ* avec R , h , z

La relation ci-dessus ne donne pas une valeur suffisamment exacte du coefficient de conversion de la sonde de champ *in situ*, beaucoup de facteurs d'influence sont négligés et la détermination *in situ* du coefficient de conversion est nécessaire.

5.3.2 Diviseur résistif spécial (sonde de Newi [4])

Le capteur peut être un diviseur spécial résistif (sonde de Newi, figure 6). Le coefficient de conversion de la sonde pour des temps inférieurs à deux fois le temps de transit τ depuis la résistance jusqu'au dispositif d'enregistrement le long de Z_1 est:

$$A_1 = (Z_0 + Z_1 + R)/Z_0$$

où

Z_0 est l'impédance caractéristique du câble de mesure;

Z_1 est l'impédance caractéristique de la ligne de transmission gaine-terre constituée par le câble de mesure (la terre peut être la gaine externe d'un câble triaxial);

R est la résistance du bras à haute tension de la sonde de Newi (supposée être une résistance pure);

τ est le temps de transit spatial libre de la ligne de transmission gaine-terre constituée par le câble de mesure.

Pour des temps plus longs (au besoin), le coefficient de conversion est:

$$A_2 = (Z_0 + R)/Z_0$$

Pour les grandes valeurs de R , A_1 est approximativement égal à A_2 .

Exemple: les valeurs types sont $Z_0 = 50 \Omega$, $Z_1 = 200 \Omega$ et $R = 10 \text{ k}\Omega$, donnant $A_1 = 205$ et $A_2 = 201$ ($\Delta A = 2 \%$).

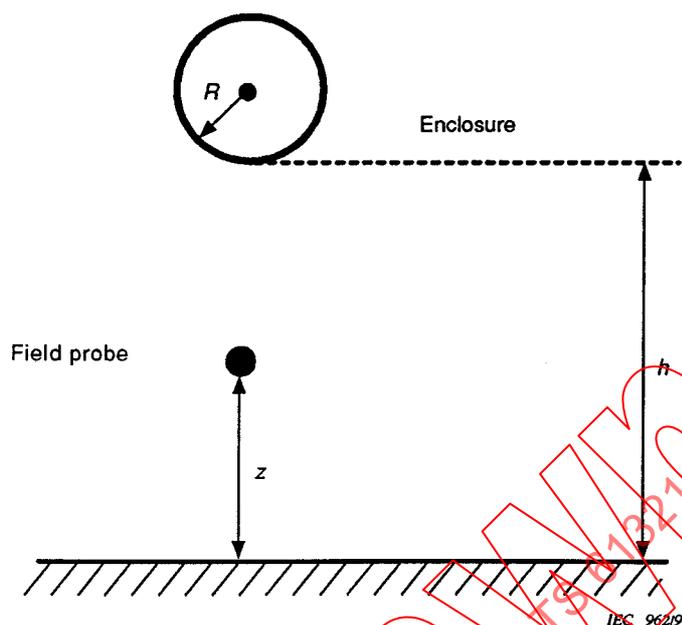


Figure 5 – Field probe *in situ* with R , h , z

The above relation does not give a sufficiently accurate value of the scale factor of the field probe *in situ*; many influencing factors are neglected and *in situ* determination of the scale factor is needed.

5.3.2 Special resistor-characteristic-impedance divider (Newi probe [4])

The sensor can be a special resistor-characteristic-impedance divider (Newi probe, figure 6). The probe scale factor at times less than twice the transit time τ from the resistor to the recording device along Z_1 is:

$$A_1 = (Z_0 + Z_1 + R)/Z_0$$

where

Z_0 is the characteristic impedance of the measurement cable;

Z_1 is the characteristic impedance of the sheath-to-earth transmission line formed by the measurement cable (earth can be the outer sheath of a triaxial cable);

R is the resistance of the high-voltage arm of the Newi probe (assumed to be pure resistance);

τ is the free-space transit time of the sheath-to-earth transmission line formed by the measurement cable.

For longer times (if necessary) the scale factor is:

$$A_2 = (Z_0 + R)/Z_0$$

For large values of R , A_1 is approximately equal to A_2 .

Example: typical values are $Z_0 = 50 \Omega$, $Z_1 = 200 \Omega$ and $R = 10 \text{ k}\Omega$, giving $A_1 = 205$ and $A_2 = 201$ ($\Delta A = 2 \%$).

Dans beaucoup de situations pratiques, les fréquences intéressantes sont assez hautes pour qu'un câble suffisamment long puisse être utilisé de sorte que seul A_1 est à utiliser.

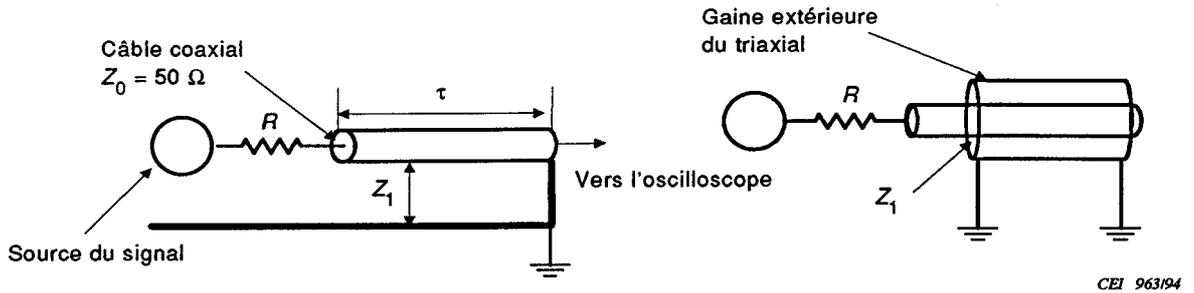


Figure 6a1

Figure 6a2

Figure 6a - Configurations de mesure

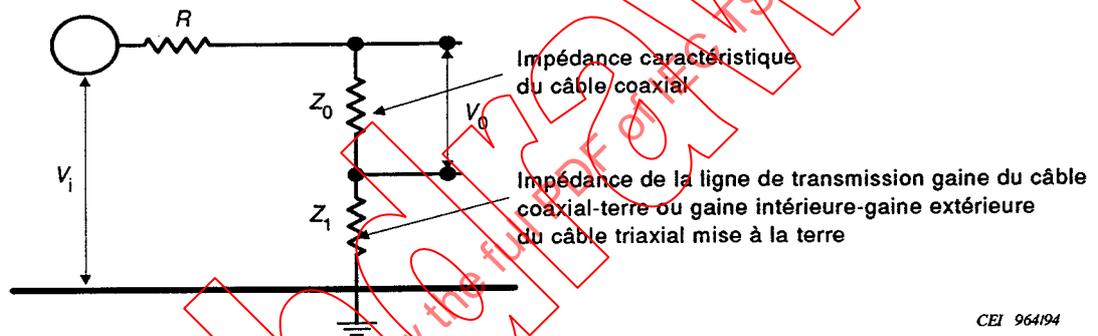


Figure 6b - Schématisation pour les temps de réponse courts

τ = Temps de transit spatial libre de la ligne de transmission gaine du câble coaxial-terre ou gaine intérieure-gaine extérieure du câble triaxial mise à la terre

R = Résistance «haute tension» (supposée être une résistance pure)

Figure 6 - Schéma du diviseur résistif spécial (sonde de Newi)

In many practical situations, the frequencies of interest are high enough that a sufficiently long cable can be used so that only A_1 need be used.

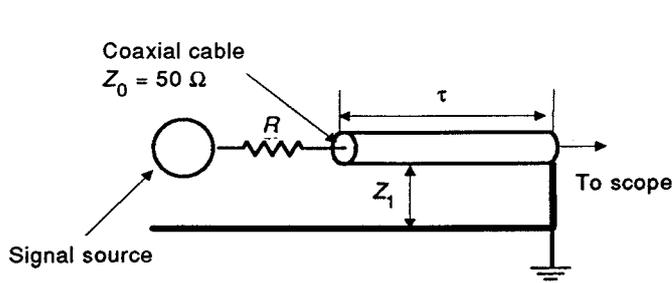


Figure 6a1

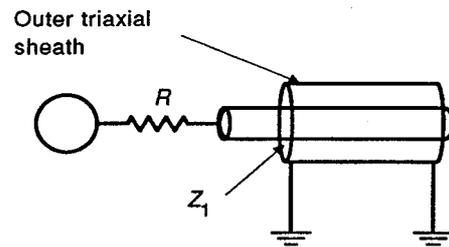


Figure 6a2

Figure 6a - Measurement configurations

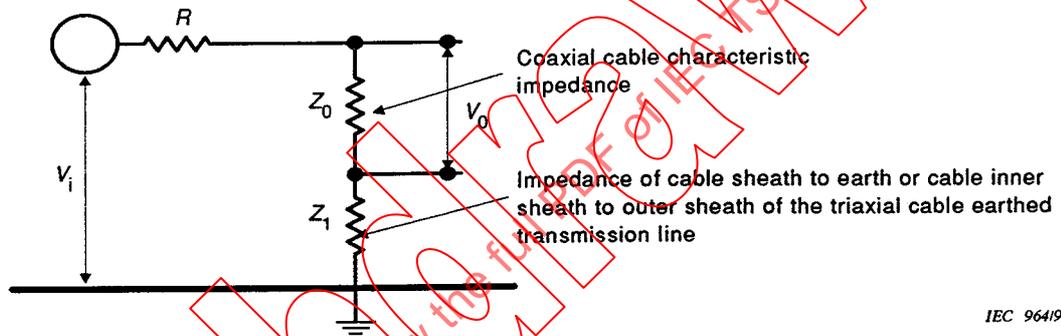


Figure 6b - Schematic for short-time response

τ = Free space transit time of cable sheath to earth or cable inner sheath to outer sheath of the triaxial cable earthed transmission line

R = "High-voltage" resistance (assumed to be a pure one)

Figure 6 - Special resistor-characteristic-impedance probe (Newi probe) arrangement

5.4 Etalonnage du système de mesure

5.4.1 Généralités

Pour étalonner le système de mesure complet, le coefficient de conversion et sa gamme d'applicabilité en ce qui concerne la gamme de fréquences liées aux transitoires à mesurer doivent être déterminés.

Le coefficient de conversion doit être déterminé avec le capteur installé près du point de l'enveloppe du PSEM où la mesure est requise.

Cependant, il est recommandé de déterminer la caractéristique de transfert dans une disposition d'essai spécifique avec tous les composants impliqués du système de mesure.

5.4.2 Détermination de la caractéristique de transfert du système de mesure

Le système de mesure a certaines particularités comparées aux diviseurs classiques:

- a) pour la sonde de champ, il n'y a aucune connexion haute tension spécifique et le bras haute tension peut être considéré comme un condensateur presque idéal. Les effets parasites dus à la géométrie du dispositif d'essai peuvent introduire une incertitude;
- b) le diviseur résistif spécial est utilisé le plus facilement dans un domaine de temps inférieur à deux fois le temps de propagation spatial libre de la longueur du câble. Pour les mesures après ce temps, il convient d'admettre un changement du coefficient de conversion. En outre, si le triaxial n'est pas utilisé, Z_1 peut être influencé par les effets parasites de la géométrie et il convient de prendre des précautions spéciales pour maintenir Z_1 constant.

La détermination de la caractéristique de transfert peut être faite en reproduisant une disposition semblable au système de mesure dans le PSEM. Elle peut être exécutée par l'une ou l'autre des méthodes suivantes:

méthode A: la mesure de la fonction de transfert $G(f)$ du système de mesure;

méthode B: la mesure de la réponse indicielle normée $g(t)$ du système de mesure. Il est recommandé de prendre en considération ce qui suit:

- 1) pour la sonde de champ électrique, il y a généralement une différence de matière entre celui constituant le bras haute tension (l'air) et le diélectrique du bras basse tension;
- 2) pour le diviseur résistif spécial (sonde de Newi), la réponse dépend fortement de la façon dont la résistance est une résistance pure et une résistance localisée. Dans la pratique, ses auto-inductances et capacités parasites doivent être prises en considération. En outre, des gradients de tension élevés et transitoires peuvent se développer le long de la résistance. La possibilité de décharge disruptive externe et l'effet du coefficient de tension de la matière résistive doivent être également pris en considération;
- 3) pendant la détermination de la fonction de transfert ou la réponse indicielle normée, il convient que tout dispositif électronique qui pourrait être présent pour conditionner le signal mesuré soit présent et fonctionne de la manière habituelle;
- 4) il est recommandé que le système de transmission (le câble ou le lien optique) soit de mêmes type et longueur que pendant la mesure réelle.

5.4 Calibration of the measuring system

5.4.1 General

To calibrate the complete measuring system, the scale factor and its range of applicability with respect to the range of frequencies associated with the transients to be measured shall be determined.

The scale factor shall be determined with the sensor installed near the GIS enclosure point where the measurement is needed.

However, the determination of the transfer characteristics should be carried out within a specific test arrangement with all the involved components of the measuring system.

5.4.2 Determination of the transfer characteristic of the measuring system

The measuring system has some peculiarities compared with conventional dividers:

- a) for the field probe, there is no specific high-voltage lead and the high-voltage arm can be considered as an almost ideal capacitor. Stray effects due to geometry of the test arrangement can introduce uncertainty;
- b) the special resistive divider is most easily used in the time domain less than twice the free space travel time of the length of the cable. For measurements after this time, allowance should be made for the change in scale factor. Also, if the triaxial is not used, Z_1 can be influenced by geometry stray effects, and special care should be taken to maintain Z_1 constant.

The determination of the transfer characteristic can be done by reproducing a similar arrangement to the measurement system in the GIS. It can be carried out by either:

method A: the measurement of the amplitude/frequency response $G(f)$ of the measuring system;

method B: the measurement of the unit step response $g(t)$ of the measuring system. The following should be taken into account:

- 1) for electric field probe, there is usually a difference in the material constituting the high-voltage arm (air) and the dielectric of the low-voltage arm;
- 2) for the special resistor-characteristic-impedance probe (Newi probe), the response depends strongly on how close the resistor is to an ideal, lumped resistance. In practice, its self-inductance and stray capacitance shall be taken into consideration. In addition, high transient voltage gradients can develop within the resistor. The possibility of external disruptive discharge and the effect of voltage coefficient of the resistive material shall also be taken into account;
- 3) during the determination of the amplitude/frequency response or the unit step response (USR), any electronic device which might be present to condition the measured signal should be present and operating in the usual way;
- 4) the transmission system (cable or optical link) should be the same type and length as during the actual measurement.

5.4.3 Détermination du coefficient de conversion

Le coefficient de conversion doit être déterminé avec le dispositif de conversion installé aussi près que possible de l'endroit où la mesure est exigée.

La détermination du coefficient de conversion peut être effectuée avec une tension de forme quelconque pourvu qu'on puisse établir que le coefficient de conversion déterminé peut être appliqué jusqu'à la plus haute fréquence à mesurer (voir 4.2.3).

Dans la pratique deux possibilités peuvent être considérées:

méthode A: détermination du coefficient de conversion par application d'une tension élevée à fréquence industrielle et en faisant une mesure simultanée avec un système de mesure de référence, si la caractéristique de transfert est constante (moins de ± 1 dB) depuis la fréquence industrielle jusqu'à la gamme de fréquence d'intérêt (voir 4.2.3).

méthode B: détermination du coefficient de conversion en impulsion, en appliquant une impulsion haute tension et en faisant une mesure simultanée avec un système de mesure de référence, si les paramètres de la réponse indicielle normée sont dans les limites spécifiées. Il est recommandé de s'assurer que la tension mesurée par le système de mesure de référence est appliquée au dispositif de conversion à étalonner.

Pour la méthode A, la constance de la réponse indicielle normée doit être vérifiée jusqu'à la gamme des millisecondes, pour démontrer que l'état de stabilité est atteint et reste constant à ± 10 %. Il est recommandé de prendre en compte le phénomène d'évolution du niveau de référence pour les temps courts associé à des dépendances en fréquence différentes pour les bras basse tension et haute tension, particulièrement dans le cas d'une sonde de champ.

Le coefficient de conversion pour le diviseur résistif spécial doit être déterminé en utilisant un échelon de tension avec un temps de front inférieur à deux fois le temps de transit de la sonde.

6 Recommandations pour la mesure des surtensions à front très rapide externes

6.1 Caractéristiques des surtensions à front très rapide externes

Les principes de génération des surtensions à front très rapide externes sont expliqués dans l'annexe B. Les surtensions à front très rapide externes sont fondamentalement une conséquence des surtensions à front très raide internes, donc elles ont une forme d'onde semblable. La valeur de crête d'une surtension à front très rapide externe dépend principalement de l'équipement externe du PSEM mais également du PSEM et du système de mise à la terre du PSEM.

Généralement, les surtensions à front très rapide externes sur le matériel à proximité immédiate des bornes du PSEM (dizaines de mètres) impliquent des composantes de quatre gammes principales de fréquence:

- a) un échelon de tension;
- b) une gamme de très hautes fréquences f_1 (jusqu'à 100 MHz) produite par de nombreux et légers changements de l'impédance caractéristique à l'intérieur du jeu de barres du PSEM (c'est-à-dire entretoises, coudes, etc.);
- c) une gamme de hautes fréquences f_2 (jusqu'à 30 MHz) produite par les réflexions dues à des changements significatifs de l'impédance telles que l'extrémité d'un jeu de barres du PSEM ou la jonction à un câble ou une ligne aérienne;

5.4.3 Determination of the scale factor

The scale factor shall be determined with the converting device installed as close as possible to where the measurement is needed.

The scale factor determination can be carried out with a voltage of any shape provided it can be established that the determined scale factor can be applied up to the highest frequency to be measured (see 4.2.3).

In practice two possibilities can be considered:

method A: determination of the scale factor with alternating voltage by applying a high voltage at power frequency and by making a simultaneous measurement with a reference measuring system, provided the transfer characteristic is flat (less than ± 1 dB difference) from the power frequency up to the range of frequency of interest (see 4.2.3);

method B: determination of the impulse scale factor, by applying a high-voltage impulse and by making a simultaneous measurement with a reference measuring system provided the unit step response parameters are within the specified limits. Care should be taken to ensure that the voltage measured by the reference measuring system is applied to the converting device being calibrated.

For method A, the constancy of the unit step response shall be verified up to the millisecond region to demonstrate that the steady state is reached and remains constant within ± 10 %. Creeping phenomena associated with different frequency dependence of the low-voltage and high-voltage arms should be considered, especially in the case of field probe.

The scale factor for the special resistor-characteristic-impedance probe shall be determined by using a step voltage with a front time less than two times the travel time of the probe.

6 Recommendations for the measurement of external very fast front overvoltages

6.1 Characteristics of external very fast front overvoltages

Principles of generation of external very fast front overvoltages are explained in annex B. External very fast front overvoltages are basically a consequence of internal very fast front overvoltages, therefore they have a similar waveform. The peak value of an external very fast front overvoltage depends mainly on the equipment external to GIS but also on the GIS and earthing arrangement of the GIS.

Usually, external very fast front overvoltages on equipment in the immediate vicinity of GIS termination (tens of metres) involve four main frequency ranges of components:

- a) a step voltage;
- b) a very high-frequency range f_1 (up to 100 MHz) produced by numerous slight changes of surge impedance inside the GIS bus duct (i.e. spacers, elbows, etc.);
- c) a high-frequency range f_2 (up to 30 MHz) produced by reflections from the significant changes of surge impedance such as the end of the GIS bus-duct and the cable or overhead line terminations;

d) une gamme de basses fréquences f_3 (de 0,1 MHz à 5 MHz) produite par des résonances dues aux fortes capacités des appareils externes, telles celles des condensateurs de couplage des systèmes de transport d'énergie.

De là, la forme d'onde externe des TTE dépend à la fois de la configuration interne et externe du PSEM mais principalement de la configuration externe au PSEM. L'amplitude des surtensions à front très rapide externes s'étend de 1 p.u. à 2,5 p.u. de la tension du système.

La figure 7 montre un exemple d'une surtension à front très rapide externe.

Les gammes des facteurs de pondération des composantes des trois gammes de fréquence sont données dans le tableau 7 (l'amplitude A_i de la composante de la gamme de fréquence i à l'instant de la crête de la surtension à front très rapide externe comparée à la valeur de crête, P , qui se produit entre 500 ns et 1 000 ns, donne la fonction de pondération $w_i = A(f_i)/P$).

Tableau 7 – Facteurs de pondération pour les surtensions à front très rapide externes

$i =$	1	2	3
$w_i = A(f_i) / P$	< 0,01 (note)	0,05 à 0,1	0,4 à 0,5
NOTE – La gamme de très haute fréquences f_1 est présentée seulement pour la plénitude car du point de vue de l'incertitude de la mesure, elle n'a aucune importance.			

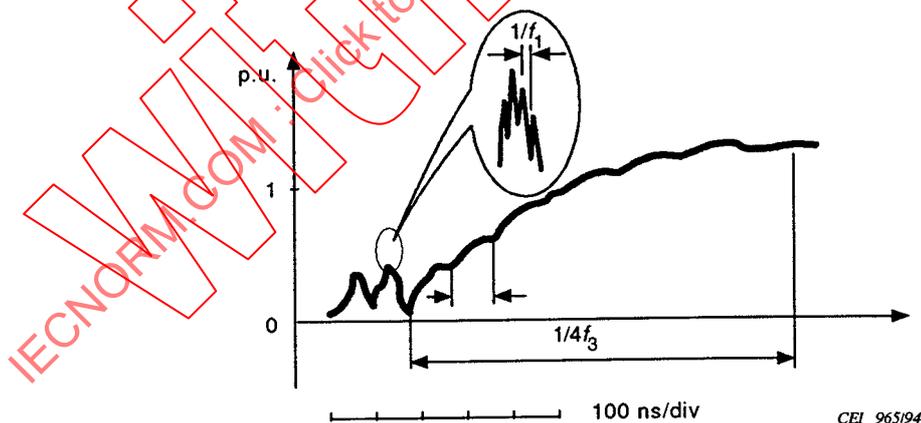


Figure 7 – Exemple de surtension à front très rapide externe