

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1000-4-12

Première édition
First edition
1995-05

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 4:

Techniques d'essai et de mesure –

Section 12: Essai d'immunité aux ondes oscillatoires

Publication fondamentale en CEM

Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 4:

Testing and measurement techniques –

Section 12: Oscillatory waves immunity test

Basic EMC Publication



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1000-4-12: 1995

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 auprès du Bureau Central 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**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

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.

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 from the IEC Central Office.

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**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

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

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1000-4-12

Première édition
First edition
1995-05

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 4:

Techniques d'essai et de mesure –

Section 12: Essai d'immunité aux ondes oscillatoires

Publication fondamentale en CEM

Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 4:

Testing and measurement techniques –

Section 12: Oscillatory waves immunity test

Basic EMC Publication

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	12
3 Généralités	12
4 Définitions	14
5 Niveaux d'essai	14
6 Matériel d'essai	16
6.1 Générateurs d'essai	16
6.2 Vérification des caractéristiques des générateurs d'essai	20
6.3 Réseau de couplage/découplage	22
7 Installation d'essai	24
7.1 Connexions de mise à la terre	24
7.2 Matériel en essai	26
7.3 Réseau de couplage/découplage	28
7.4 Générateurs d'essai	30
8 Procédure d'essai	30
8.1 Conditions de référence du laboratoire	30
8.2 Exécution de l'essai	30
9 Résultats d'essai et rapport d'essai	40
Figures	
1 Forme d'onde de l'onde sinusoïdale amortie (tension en circuit ouvert et courant de court-circuit)	42
2 Exemple de schéma du circuit du générateur d'essai pour onde sinusoïdale amortie	42
3 Forme d'onde de l'onde oscillatoire amortie	44
4 Exemple de schéma du circuit du générateur d'essai pour onde oscillatoire amortie	44
5 Exemple d'installation d'essai pour matériel de table utilisant le plan de référence	46
6 Exemple d'installation d'essai pour matériel posé sur le sol utilisant le plan de référence	46
7 Essai en mode commun des accès d'alimentation continue ou alternative monophasée	48
8 Essai en mode commun des accès d'alimentation alternative triphasée	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	13
3 General	13
4 Definitions	15
5 Test levels	15
6 Test equipment	17
6.1 Test generators	17
6.2 Verification of the characteristics of the test generators	21
6.3 Coupling/decoupling network	23
7 Test set-up	25
7.1 Earthing connections	25
7.2 Equipment under test	27
7.3 Coupling/decoupling network	29
7.4 Test generators	31
8 Test procedure	31
8.1 Laboratory reference conditions	31
8.2 Execution of the test	31
9 Test results and test report	41
Figures	
1 Waveform of the ring wave (open-circuit voltage and short-circuit current)	43
2 Example of schematic circuit of the test generator for ring wave	43
3 Waveform of the damped oscillatory wave	45
4 Example of schematic circuit of the test generator for damped oscillatory wave	45
5 Example of test set-up for table-top equipment using the ground reference plane	47
6 Example of test set-up for floor-standing equipment using the ground reference plane	47
7 A.C./D.C. power supply port, single phase, line-to-ground test	49
8 A.C. power supply port, three phases, line-to-ground test	51

Figures	Pages
9 Essai en mode commun des accès pour circuit unique	52
10 Essai en mode commun des accès pour groupe de circuits avec retour commun	54
11 Essai en mode différentiel des accès d'alimentation continue ou alternative monophasée	56
12 Essai en mode différentiel des accès d'alimentation alternative triphasée	58
13 Essai en mode différentiel des accès pour circuit unique	60
14 Essai en mode différentiel des accès pour groupe de circuits avec retour commun	62
15 Dispositions pour les essais en mode différentiel avec sortie du générateur d'essai non flottante	64
16 Essai des accès communication pour signaux rapides (sortie générateur à la terre)	64
 Annexes	
A Informations sur les phénomènes, choix de l'essai	66
B Choix des niveaux d'essai	74
C Impédance des générateurs d'essai	80
D Bibliographie	84

Figures	Page
9 Input/output port, single circuit, line-to-ground test	53
10 Input/output port, group of circuits with common return, line-to-ground test	55
11 A.C./D.C. power supply port, single phase, line-to-line test	57
12 A.C. power supply port, three phases, line-to-line test	59
13 Input/output port, single circuit, line-to-line test	61
14 Input/output port, group of circuits with common return, line-to-line test	63
15 Provisions for line-to-line tests with test generator output not floating	65
16 Test of a system with communication ports with fast operating signals (generator output earthed)	65
 Annexes	
A Information on the phenomena, selection of the test	67
B Selection of the test levels	75
C Impedance of the test generators	81
D Bibliography	85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 12: Essai d'immunité aux ondes oscillatoires

Publication fondamentale en CEM

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 Norme internationale CEI 1000-4-12 a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la section 12 de la partie 4 de la norme CEI 1000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de la CEI.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
77B/141/DIS	77B/151/RVD

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4: Testing and measurement techniques –
Section 12: Oscillatory waves immunity test****Basic EMC Publication**

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.

International Standard IEC 1000-4-12 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms section 12 of part 4 of IEC 1000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

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

DIS	Report on voting
77B/141/DIS	77B/151/RVD

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

Annexes A, B, C and D are for information only.

INTRODUCTION

La présente norme fait partie de la série des normes 1000 de la CEI, selon la répartition suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produit)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guide d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 9: Divers

Chaque partie est, à son tour, subdivisée en sections qui seront publiées soit sous forme de normes internationales soit sous forme de rapports techniques.

Ces normes et rapports seront publiés dans un ordre chronologique et numérotés en conséquence.

La présente section constitue une norme internationale qui traite des prescriptions en matière d'immunité et des procédures d'essai qui s'appliquent aux «ondes oscillatoires».

INTRODUCTION

This standard is part of the IEC 1000 series, according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into sections which are to be published either as international standards or as technical reports.

These standards and reports will be published in chronological order and numbered accordingly.

This section is an international standard which gives immunity requirements and test procedures related to "oscillatory waves".

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 12: Essai d'immunité aux ondes oscillatoires

Publication fondamentale en CEM

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 1000-4 traite des exigences en matière d'immunité et des méthodes d'essai des matériels électriques et électroniques dans leurs conditions d'exploitation, contre les ondes oscillatoires. Ces ondes oscillatoires sont représentées par:

- a) des oscillations transitoires amorties non répétitives (ondes sinusoïdales amorties) se manifestant sur les alimentations basse tension ainsi que sur les lignes de commande et de signal raccordées aux réseaux publics ou privés;
- b) des ondes oscillatoires répétitives amorties se produisant principalement dans des câbles d'énergie, de commande et de signal implantés dans tous les types de postes haute tension et moyenne tension (HT et MT).

NOTE – Compte tenu des fréquences considérées dans cette norme, elle est uniquement applicable aux appareils isolés par l'air.

La présente norme fondamentale a pour objet d'établir les exigences d'immunité et de constituer une référence commune pour l'évaluation en laboratoire des performances d'équipements électriques et électroniques destinés aux applications résidentielles, commerciales et industrielles, ainsi que d'équipements destinés aux postes électriques, le cas échéant.

La présente norme a pour objet de définir les paramètres suivants:

- tension d'essai et formes d'ondes de courant;
- gammes de niveaux d'essais;
- matériel d'essai;
- installation d'essai;
- procédure d'essai.

Cette norme ne vise pas à spécifier les essais devant s'appliquer à des appareils ou systèmes particuliers. Le but principal est de donner une référence de base d'ordre général à tous les comités de produits CEI concernés. Les comités des produits (ou les utilisateurs et fabricants de matériel) restent responsables du choix approprié des essais et du niveau de sévérité à appliquer à leur matériel.

Afin de ne pas entraver la tâche de coordination et de normalisation, il est fortement recommandé aux comités de produits ou aux utilisateurs et fabricants d'envisager d'adopter les essais d'immunité appropriés et spécifiés dans cette norme (lors de futurs travaux ou révisions d'anciennes normes).

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4: Testing and measurement techniques – Section 12: Oscillatory waves immunity test

Basic EMC Publication

1 Scope

This section of IEC 1000-4 relates to the immunity requirements and test methods for electrical and electronic equipment, under operational conditions, to oscillatory waves represented by:

- a) non-repetitive damped oscillatory transients (ring wave) occurring in low-voltage power, control and signal lines supplied by public and non-public networks;
- b) repetitive damped oscillatory waves occurring mainly in power, control and signal cables installed in high voltage and medium voltage (HV/MV) stations.

NOTE – According to the frequencies considered in this standard, it is only relevant for an insulated switchgear.

The object of this basic standard is to establish the immunity requirements and a common reference for evaluating in a laboratory the performance of electrical and electronic equipment intended for residential, commercial and industrial application, as well as of equipment intended for electrical stations, as applicable.

The purpose of this standard is to define:

- test voltage and current waveforms;
- ranges of test levels;
- test equipment;
- test set-up;
- test procedure.

This standard does not intend to specify the tests to be applied to particular apparatus or systems. Its main aim is to give a general basic reference to all concerned product committees of the IEC. The product committees (or users and manufacturers of equipment) remain responsible for the appropriate choice of the tests and the severity level to be applied to their equipment.

In order to impede the task of coordination and standardization, the product committees or users and manufacturers are strongly recommended to consider (in their future work or revision of old standards) the adoption of the relevant immunity tests specified in this standard.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 1000-4. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 1000-4 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 50(161): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 68-1: 1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*

CEI 1010-1: 1990, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Prescriptions générales*

3 Généralités

Les ondes oscillatoires auxquelles est soumis le matériel peuvent influencer le bon fonctionnement de celui-ci et des ensembles qui y sont reliés.

Les principaux paramètres des ondes oscillatoires considérés ici concernent leur fréquence de répétition. Celle-ci peut être faible (phénomène isolé) ou élevée (salves). Les transitoires oscillatoires isolés sont appelés «ondes sinusoïdales amorties» et les salves de transitoires oscillatoires amorties «ondes oscillatoires amorties».

L'onde sinusoïdale amortie peut se manifester aux bornes de l'équipement (accès de l'équipement) suite à une manœuvre des circuits d'alimentation ou de commande, ou suite à un coup de foudre. Les caractéristiques les plus significatives des phénomènes produits par cet essai sont leur caractère isolé et leur forme d'onde oscillatoire décroissante.

L'onde oscillatoire amortie peut se manifester aux bornes d'un équipement suite à une manœuvre accompagnée de réamorçages d'arc, phénomène courant dans les centrales électriques, les postes à haute et moyenne tension (HT/MT), ainsi que les grandes installations industrielles.

Les paramètres les plus significatifs des phénomènes produits par cet essai sont leur temps de montée relativement bref, leur forme d'onde oscillatoire décroissante amortie, leur fréquence de répétition élevée et la durée des salves.

Les formes d'onde produites par ces deux types d'essais sont définies en 6.1.1. et 6.1.2. L'annexe A fournit des informations sur les phénomènes primaires et le choix de l'essai.

C'est aux Comités de produit qu'il incombe d'établir quel est le phénomène pertinent parmi ceux envisagés dans la présente norme, et de décider si l'essai considéré est applicable.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 1000-4. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 1000-4 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(161): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 68-1: 1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 1010-1: 1990, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

3 General

The oscillatory waves to which equipment is subjected may influence the reliable operation of equipment and systems.

The main parameters of the oscillatory waves are considered here, mainly the repetition rates: low repetition rate (single shot), or high repetition rate (bursts). The single-shot oscillatory transients are known by the term "ring wave" and the bursts of damped oscillatory transients by the term "damped oscillatory wave".

The ring wave appears at the terminals of equipment (equipment ports) as a consequence of switching in power and control lines, as well as a consequence of lightning. The single-event type and the decaying oscillatory waveform are the most significant parameters of this test.

The damped oscillatory wave appears at the terminals of equipment as a consequence of switching with restriking of the arc, typical of electrical plants, HV/MV stations, as well as of heavy industrial installations.

The relative fast rise time, the decaying oscillatory waveform, the high repetition rate and the duration of the burst are the most significant parameters of this test.

The test waveforms are defined in 6.1.1 and 6.1.2. Information on the primary phenomena and selection of the test is given in annex A.

It is the responsibility of the product committees to establish which phenomenon, among the ones considered in this standard, is relevant and to decide the applicability of the test.

4 Définitions

Pour les besoins de la présente section, les définitions et termes suivants s'appliquent. Ils concernent uniquement le domaine des oscillations transitoires et ne sont pas tous répertoriés dans la CEI 50(161).

4.1 **EST:** Matériel en essai.

4.2 **accès:** Interface de l'EST avec l'environnement électromagnétique extérieur.

4.3 **couplage:** Interaction entre des circuits se traduisant par un transfert d'énergie de l'un à l'autre.

4.4 **réseau de couplage:** Circuit électrique destiné à transférer de l'énergie d'un circuit à un autre.

4.5 **réseau de découplage:** Circuit électrique destiné à empêcher la tension d'essai, appliquée à l'EST, de brouiller les dispositifs, équipements ou systèmes non soumis à des essais.

4.6 **immunité (à une perturbation):** Aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner sans dégradation en présence d'une perturbation électromagnétique. [VEI 161-01-20]

4.7 **transitoire (adjectif et nom):** Se dit d'un phénomène qui varie entre deux régimes établis consécutifs dans un intervalle de temps relativement court à l'échelle des temps considérée. [VEI 161-02-01]

4.8 **temps de montée:** Temps entre les instants auxquels la valeur instantanée d'une impulsion atteint pour la première fois 10 %, puis 90 % de sa hauteur. [VEI 161-02-05, modifié].

4.9 **salve:** Suite d'un nombre fini d'impulsions distinctes ou oscillation de durée limitée. [VEI 161-02-07]

5 Niveaux d'essai

Les tableaux 1 et 2 indiquent la gamme préférentielle des niveaux d'essais pour les ondes sinusoïdale et oscillatoire amorties applicables aux accès d'alimentation, de signal et de commande de l'équipement considéré.

Les niveaux applicables aux accès d'alimentation, de signal et de commande peuvent être différents. La différence entre, d'une part, les accès de signal et de commande et, d'autre part, les accès de l'alimentation électrique ne doit pas être supérieure à un niveau.

4 Definitions

For the purpose of this section, the following definitions and terms apply. They are applicable to the restricted field of oscillatory transients; not all of them are included in IEC 50(161).

4.1 **EUT:** Equipment under test.

4.2 **port:** Particular interface of the EUT with the external electromagnetic environment.

4.3 **coupling:** Interaction between circuits, transferring energy from one circuit to another.

4.4 **coupling network:** Electrical circuit for the purpose of transferring energy from one circuit to another.

4.5 **decoupling network:** Electrical circuit for the purpose of preventing test voltage applied to the EUT from affecting other devices, equipment, or systems which are not under test.

4.6 **immunity (to a disturbance):** The ability of a device, equipment, or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance. [IEV 161-01-20]

4.7 **transient (adjective and noun):** Pertaining to or designating a phenomenon or a quantity which varies between two consecutive steady states during a time interval short compared with the time-scale of interest. [IEV 161-02-01]

4.8 **rise time:** The interval of time between the instants at which the instantaneous value of a pulse first reaches 10 % value and then the 90 % value. [IEV 161-02-05, modified]

4.9 **burst:** A sequence of a limited number of distinct pulses or an oscillation of limited duration. [IEV 161-02-07]

5 Test levels

The preferential range of test levels for the ring wave and the damped oscillatory wave tests, applicable to power, signal and control ports of the equipment, is given in table 1 and table 2 respectively.

Different levels may apply to power, signal and control ports. The level(s) used for signal and control ports shall not differ by more than one level from that used for power supply ports.

Tableau 1 – Niveaux d'essai à l'onde sinusoïdale amortie

Niveau	Mode commun kV	Mode différentiel kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2
x ¹⁾	x	x
¹⁾ x correspond à un niveau non défini. Ce niveau peut être indiqué dans les spécifications de produit.		

Tableau 2 – Niveaux d'essai à l'onde oscillatoire amortie

Niveau	Mode commun kV	Mode différentiel kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2 ²⁾	1
4	—	—
x ¹⁾	x	x
¹⁾ x correspond à un niveau non défini. Ce niveau peut être indiqué dans les spécifications de produit.		
²⁾ Cette valeur est portée à 2,5 kV pour les équipements implantés dans des postes.		

Il faut se reporter aux spécifications de produit pour la définition des conditions d'application de ces deux essais (essai à l'onde sinusoïdale amortie et essai à l'onde oscillatoire amortie).

Le paragraphe 8.2 présente des spécifications concernant chacun de ces essais.

L'annexe B fournit des informations quant à la sélection des niveaux d'essais.

6 Matériel d'essai

6.1 Générateurs d'essai

Les caractéristiques suivantes concernent aussi bien le générateur d'ondes sinusoïdales amorties que celui d'ondes oscillatoires amorties. Les paramètres distinguant ces deux équipements sont indiqués, respectivement, en 6.1.1 et 6.1.2.

Les générateurs d'essai doivent être à même de fonctionner en conditions de court-circuit.

Table 1 – Test levels for ring wave

Level	Common mode kV	Differential mode kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2
x ¹⁾	x	x
¹⁾ x is an open level. This level can be given in the product specification.		

Table 2 – Test levels for damped oscillatory wave

Level	Common mode kV	Differential mode kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2 ²⁾	1
4	—	—
x ¹⁾	x	x
¹⁾ x is an open level. This level can be given in the product specification.		
²⁾ The value is increased to 2,5 kV for substation equipment.		

The applicability of the two tests, respectively the ring wave and the damped oscillatory wave, shall refer to the product specification.

Specifications related to each test are given in 8.2.

Information on the selection of the test levels is given in annex B.

6 Test equipment

6.1 Test generators

The following features are common to the generators of ring waves and the generators of damped oscillatory waves; additional, unique features are given in 6.1.1 and 6.1.2.

The generators shall have the capability to operate in short-circuit conditions.

La sortie du générateur doit être flottante et le déséquilibre des capacités de sortie à la terre inférieur à 10 %. Cette condition est recommandée pour l'essai des accès de commande et de signal de l'EST en mode différentiel. Cependant, elle n'est pas nécessaire pour les accès d'alimentation et les essais d'accès de commande et de signal en mode commun.

Le point b) de 8.2 présente les dispositions à adopter dès lors que la sortie du générateur d'essai n'est pas flottante.

Les générateurs doivent être équipés de façon à empêcher l'émission de perturbations importantes susceptibles d'être injectées dans le réseau d'alimentation électrique ou d'influencer les résultats d'essais.

L'annexe C fournit des indications quant à l'impédance des générateurs d'essai.

6.1.1 *Caractéristiques et performances du générateur d'ondes sinusoïdales amorties*

Il s'agit d'un générateur d'onde oscillatoire amortie unique présentant les caractéristiques suivantes.

Caractéristiques:

- temps de montée de la tension (première crête): $0,5 \mu\text{s} \pm 20 \%$ (à vide);
- temps de montée du courant (première crête): $\leq 1 \mu\text{s}$ (en court-circuit);
- fréquence d'oscillation: $100 \text{ kHz} \pm 10 \%$;
- décroissance (de chaque crête): 60 % de la crête précédente;
- fréquence de répétition: 1 à 60 transitoires par minute;
- impédance de sortie: 12Ω , 30Ω et 200Ω , $\pm 20 \%$ (commutable);
- tension à vide (valeur crête): de 250 V (–10 %) à 4 kV (+10 %);
- courant de court-circuit (valeur crête minimale): 333 A lorsque le générateur est réglé à 12Ω ;
133 A lorsque le générateur est réglé à 30Ω ;
20 A lorsque le générateur est réglé à 200Ω ;
- relation de la phase avec la fréquence d'alimentation: synchronisable de 0° à 360° , par pas de 10°
- polarité de la première demi-période: positive et négative.

La figure 1 décrit la forme de l'onde sinusoïdale amortie (tension en circuit ouvert et courant de court-circuit). La figure 2 présente un exemple de schéma du générateur.

Le paragraphe 8.2 précise quelle doit être l'impédance du générateur selon les essais.

6.1.2 *Caractéristiques et performances du générateur d'ondes oscillatoires amorties*

Il s'agit d'un générateur d'ondes oscillatoires amorties répétitives présentant les caractéristiques suivantes.

The generator output shall be floating and the stray capacity unbalance of the output terminals to earth shall be less than 10 %. This condition is recommended to test EUT control and signal ports in differential mode; it is not necessary for power ports and common mode tests of control and signal ports.

The provisions to be taken whenever the output of the test generator is not floating are given in item b) of 8.2.

The generators shall have provisions to prevent the emission of heavy disturbances that may be injected in the power supply network, or may influence the test results.

Information on the impedance of the test generators is given in annex C.

6.1.1 *Characteristics and performance of the ring wave generator*

The generator is a single-shot damped oscillatory wave generator with the following characteristics.

Specifications:

- voltage rise time (first peak): $0,5 \mu\text{s} \pm 20 \%$ (open-circuit condition);
- current rise time (first peak): $\leq 1 \mu\text{s}$ (short-circuit condition);
- oscillation frequency: $100 \text{ kHz} \pm 10 \%$;
- decaying (of each peak): 60 % of the preceding peak;
- transients' repetition: 1 to 60 transients per minute;
- output impedance: 12 Ω , 30 Ω and 200 Ω , $\pm 20 \%$ (switchable);
- open-circuit voltage (peak value): 250 V (-10%) to 4 kV ($+10 \%$);
- short-circuit current (minimum peak value): 333 A for 12 Ω generator setting;
133 A for 30 Ω generator setting;
20 A for 200 Ω generator setting;
- phase relationship with the power frequency: synchronizable from 0° to 360° with 10° steps;
- polarity of the first half period: positive and negative.

The waveform of the ring wave (open-circuit voltage and short-circuit current) is given in figure 1. An example of a schematic circuit of the generator is given in figure 2.

The impedance of the test generator to be used for the different tests is given in 8.2.

6.1.2 *Characteristics and performance of the damped oscillatory wave generator*

The generator is a repetitive damped oscillatory wave generator with the following characteristics.

Spécifications:

- temps de montée de la tension (première crête): 75 ns $\pm$ 20 %;
- fréquences d'oscillation (valeurs préférentielles): 100 kHz et 1 MHz $\pm$ 10 %;
- fréquence de répétition: au moins 40/s à une fréquence de 100 kHz et 400/s à 1 MHz;
- fréquence de répétition optionnelle: $4 \cdot 10^{-4} \times$ fréquence d'oscillation;
- décroissance: 50 % de la valeur crête entre la troisième et la sixième période;
- durée des salves: au moins 2 s;
- impédance de sortie: 200 $\Omega \pm$ 20 %;
- valeur crête de la tension à vide: de 250 V (–10 %) à 2,5 kV (+10 %);
- relation de la phase avec la fréquence d'alimentation: aucune;
- polarité de la première demi-période: positive et négative.

La figure 3 décrit la forme de l'onde oscillatoire amortie.

La figure 4 donne un exemple de schéma du générateur.

6.2 Vérification des caractéristiques des générateurs d'essai

Les caractéristiques essentielles des générateurs d'essai doivent être vérifiées pour permettre de comparer les résultats obtenus au moyen de différents générateurs.

Les caractéristiques à vérifier à la lumière des spécifications indiquées en 6.1.1 et 6.1.2 sont les suivantes:

- temps de montée (tension et courant);
- fréquence d'oscillation;
- décroissance;
- fréquence de répétition;
- tension à vide;
- courant de court-circuit.

Ces vérifications doivent être effectuées au moyen de sondes de tension ou de courant (selon le cas) et d'oscilloscopes, ou d'autres appareils de mesure équivalents d'une largeur de bande minimale de 20 MHz.

La marge d'erreur des mesures ne doit pas être supérieure à ± 10 %.

Le niveau des perturbations émises par le générateur (voir 6.1) doit être contrôlé.

Specifications:

- voltage rise time (first peak): 75 ns $\pm$ 20 %;
- oscillation frequencies: 100 kHz and 1 MHz $\pm$ 10 %;
- repetition rate: at least 40/s for 100 kHz and 400/s for 1 MHz;
- optional repetition rate: $4 \cdot 10^{-4}$ x oscillation frequency;
- decaying: 50 % of the peak value between the third and sixth periods;
- burst duration: not less than 2 s;
- output impedance: $200 \Omega \pm 20$ %;
- peak open-circuit voltage: 250 V (-10 %) to 2,5 kV (+10 %);
- phase relationship with the power frequency: no relation;
- polarity of the first half-period: positive and negative.

The waveform of the damped oscillatory wave is given in figure 3.

An example of a schematic circuit of the generator is given in figure 4.

6.2 Verification of the characteristics of the test generators

In order to make it possible to compare the results of different test generators, the most essential characteristics shall be verified.

The characteristics to be verified, according to the specifications given in 6.1.1 and 6.1.2, are the following:

- rise time (voltage and current);
- oscillation frequency;
- decaying;
- repetition frequency;
- open-circuit voltage;
- short-circuit current.

The verifications shall be carried out with voltage or current probes (as applicable) and with oscilloscope or other equivalent measurement instrumentation with 20 MHz minimum bandwidth.

The accuracy of the measurements shall be ± 10 %.

The emission of disturbances by the generator shall be verified (see 6.1).

6.3 Réseau de couplage/découplage

Le réseau de couplage/découplage (RCD) permet à la fois d'appliquer la tension d'essai, soit en mode commun soit en mode différentiel, aux accès de signal et de commande et à l'alimentation de l'EST, et d'éviter que la tension d'essai ne provoque le brouillage des équipements auxiliaires nécessaires aux essais. Ce réseau ne doit pas influencer les paramètres spécifiés pour le générateur, par exemple le courant de sortie.

Les spécifications communes aux réseaux pour l'alimentation électrique et pour les accès de signal et de commande sont indiquées ci-après, tandis que celles distinguant ces deux types de circuits figurent en 6.3.1 et 6.3.2, respectivement.

La capacité de couplage du réseau de couplage doit être adaptée à l'impédance retenue pour le générateur d'essai (voir 8.2), c'est-à-dire :

- 0,5 μF pour une impédance du générateur de 200 Ω ;
- 3 μF (au minimum) pour une impédance du générateur de 30 Ω ;
- 10 μF (au minimum) pour une impédance du générateur de 12 Ω .

Ces capacités de couplage vont normalement se traduire par une atténuation de couplage inférieure à 1 dB.

Dans certains cas, les capacités de couplage doivent être remplacées par d'autres types de dispositifs de couplage: tubes à décharge, diodes Zener, etc.

Le réseau de couplage/découplage doit comprendre une borne de terre spécialisée.

Les vérifications concernant les spécifications indiquées en 6.3.1 et 6.3.2 doivent être effectuées au moyen d'un oscilloscope ou d'autres appareils de mesure équivalents, ayant une largeur de bande minimale de 20 MHz.

Les figures concernant les procédures d'essai présentent également le schéma de ce réseau (voir 8.2).

6.3.1 Réseau de couplage/découplage destinés aux accès d'alimentation continu et alternatif

Les formes d'onde en sortie du réseau de couplage/découplage doivent satisfaire aux mêmes exigences que celles applicables au générateur d'essai lui-même et énoncées en 6.2.

Spécifications:

- découplage en mode commun (atténuation): 20 dB;
- découplage en mode différentiel (atténuation): 30 dB;
- rigidité diélectrique des condensateurs de couplage sous l'effet d'une onde de 1,2/50 μs : 5 kV;
- intensité de courant admissible: égale à l'intensité nominale de l'accès d'alimentation;
- nombre de phases: une ou trois, selon les besoins.

6.3 Coupling/decoupling network

The coupling/decoupling network (CDN) provides both the ability to apply the test voltage in either common or differential mode to the power supply, signal and control ports of the EUT, and for preventing test voltage from affecting the auxiliary equipment needed to perform the test. The network must not influence the specified parameters of the generator, for example, the current capability.

The specifications, common to the networks for power supply, as well as for the input/output ports, are given below; additional unique specifications are given in 6.3.1 and 6.3.2.

The coupling network shall be provided with coupling capability suitable for the selected impedance of the test generator (see 8.2), as follows:

- 0,5 μF for 200 Ω generator impedance;
- 3 μF (minimum) for 30 Ω generator impedance;
- 10 μF (minimum) for 12 Ω generator impedance.

These coupling capacitor values are suitable to give a coupling attenuation less than 1 dB.

For some applications, the coupling capacitors shall be replaced by other types of coupling devices (CD), such as gas tubes, silicon avalanche diodes, etc.

The coupling/decoupling network shall be provided with a dedicated earth terminal.

The verifications related to the specifications given in 6.3.1 and 6.3.2 shall be carried out with an oscilloscope, or equivalent measuring instrument, with 20 MHz minimum bandwidth.

The schematic circuit of the network is given in the figures related to the test procedures for carrying out the tests (see 8.2).

6.3.1 Coupling/decoupling network for a.c./d.c. power supply ports

The output waveforms from the coupling/decoupling network shall meet the same requirements set forth in 6.2 for the test generator itself.

Specifications:

- common mode decoupling (attenuation): 20 dB;
- differential mode decoupling (attenuation): 30 dB;
- insulation withstand capacity of the coupling capacitors with the 1,2/50 μs wave: 5 kV;
- current capability: as for the current rating of the power supply port;
- number of phases: one or three, as required.

6.3.2 Réseau de couplage/découplage destiné aux accès de signal et de commande

Ce réseau présente les mêmes spécifications que celles figurant en 6.3.1, à l'exception de la suivante:

- atténuation de découplage: 30 dB (modes commun et différentiel).

La valeur minimale de l'atténuation de découplage pouvant être insuffisante pour protéger les sources auxiliaires de signal, des dispositifs de protection supplémentaires peuvent être nécessaires.

Le réseau peut être composé d'unités distinctes, afin de permettre l'essai des accès de circuit simples ou de groupes de circuits (par exemple, plusieurs fils avec un commun).

7 Installation d'essai

L'installation d'essai se compose des éléments suivants:

- connexions de mise à la terre, plan de référence,
- matériel en essai (EST);
- générateur d'essai;
- appareils de mesure;
- réseau de couplage et de découplage;
- appareils auxiliaires.

Les figures suivantes présentent des exemples d'installation d'essai:

figure 5 – exemple d'installation d'essai pour matériel de table;

figure 6 – exemple d'installation d'essai pour matériel posé sur le sol .

7.1 Connexions de mise à la terre

Lors des essais, les consignes du fabricant de l'EST et de l'appareillage d'essai en matière de mise à la terre de sécurité doivent être respectées.

Lors de la mise en place de la configuration d'essai, le générateur d'essai, le réseau de couplage/découplage, l'EST et les appareils auxiliaires peuvent être mis à la terre au moyen d'un plan de référence existant ou de connexions de mise à la terre appropriées.

Les spécifications sont indiquées en 7.1.1 et 7.1.2.

7.1.1 Plan de référence

Si l'on utilise un plan de référence, celui-ci doit se présenter sous la forme d'une feuille de métal (cuivre ou aluminium) d'une épaisseur minimale de 0,25 mm. Si l'on utilise d'autres métaux, l'épaisseur de la feuille doit être d'au moins 0,65 mm.

Si un plan de référence est utilisé, l'EST et les appareils auxiliaires d'essai doivent être placés sur le plan de référence du laboratoire et être connectés à ce dernier.

6.3.2 Coupling/decoupling network for signal and control ports

The network has the same specifications given in 6.3.1, with the exception below:

- decoupling attenuation: 30 dB (common and differential modes).

The minimum decoupling attenuation may not be sufficient to protect auxiliary signal sources, and additional protection devices may be required.

The network may consist of single units in order to give the possibility of testing input/output ports with single circuits or grouping of circuits (for example, multi-wire with a common).

7 Test set-up

The test set-up includes the following components:

- earthing connections, ground (reference) plane (GRP);
- equipment under test (EUT);
- test generator;
- measurement instrumentation;
- coupling and decoupling network;
- auxiliary instrumentation.

Examples of test set-up are given in the following figures:

figure 5 – example of test set-up for table-top equipment;

figure 6 – example of test set-up for floor-standing equipment.

7.1 Earthing connections

In performing the tests, the safety earthing requirements of the manufacturer of the EUT and of the test equipment shall be observed.

In setting up the test configuration, the earthing of the test generator, of the coupling/decoupling network, of EUT and auxiliary equipment may be achieved by using an existing ground reference plane (GRP), or proper earthing connections.

The specifications are given in 7.1.1 and 7.1.2.

7.1.1 Ground (reference) plane

Where a ground reference plane (GRP) is used, it shall be a metal sheet (copper or aluminium) of 0,25 mm minimum thickness; other metals may be used, but in that case they shall have 0,65 mm minimum thickness.

If used, the EUT and auxiliary test equipment shall be placed on the GRP of the laboratory and connected to it.

Les dimensions minimales du plan de référence sont de 1 m × 1 m, la dimension réelle dépendant de la taille de l'EST. La surface du plan de référence doit être supérieure à celle occupée par l'EST et les appareils auxiliaires d'au moins 0,1 m sur chaque côté.

Le plan de référence doit être relié à la terre de sécurité du laboratoire (voir figures 7.a à 14.a).

7.1.2 Connexions de mise à la terre spécialisées

Les essais de matériels de table peuvent être effectués sans plan de référence, si les réglementations nationales en matière de sécurité l'exigent. Leur répétabilité peut néanmoins s'en trouver affectée. Cependant, en cas d'essais sans plan de référence, il importe de s'assurer qu'aucun des trajets possibles du courant de choc ne comprend des conducteurs (y compris des conducteurs de terre de protection) susceptibles d'être communs à d'autres équipements qui ne sont pas destinés à faire partie de la configuration d'essai au choc.

A cet effet, il est nécessaire de dériver la terre de protection à partir du même point pour chacun des trois éléments considérés (*générateur d'essai au choc, réseau de couplage/découplage et EST*). Ce point doit être l'entrée de la terre de protection au réseau de couplage/découplage (voir figures 7.b à 14.b).

Par ailleurs, le boîtier du générateur d'essai doit aussi être relié à la terre de protection, mais les bornes de sortie du générateur doivent être flottantes.

7.2 Matériel en essai

Le matériel en essai doit être disposé et connecté conformément aux spécifications d'installation.

La distance minimale entre l'EST et toutes les autres structures conductrices (par exemple, les parois d'une cage de Faraday), à l'exception du plan de référence, doit être de 0,5 m.

L'alimentation, les circuits d'accès doivent être reliés aux sources de l'alimentation électrique et de commande et de signal par l'intermédiaire du réseau de couplage/découplage.

Les signaux d'entrée destinés à l'EST peuvent être fournis par un équipement auxiliaire ou par un simulateur.

Les circuits d'entrée et de sortie vers le simulateur doivent être équipés de filtres de blocage pour empêcher les perturbations d'atteindre cet équipement.

Les câbles utilisés doivent être ceux fournis ou spécifiés par le fabricant de l'équipement. En l'absence de tels câbles, il faut adopter des câbles non blindés convenant aux signaux concernés.

Le réseau de couplage/découplage doit être inséré dans les circuits à une distance de l'EST égale à 1 m de câble et relié au plan de référence.

The minimum size of the GRP is 1 m × 1 m; the final size depends on the dimensions of the EUT. The GRP shall be projected beyond the EUT and its auxiliary equipment by at least 0,1 m on all sides.

The GRP shall be connected to the safety earth system of the laboratory (see figures 7.a to 14.a).

7.1.2 *Dedicated earthing connections*

For table-top equipment, the tests may be performed without a GRP, in order to satisfy national safety regulations. In that case, the repeatability can be affected. However, when testing without the GRP is performed, it is important to ensure that all possible surge current paths do not include conductors (including protective earth conductors) which may be common with other equipment, not intended to be included in the testing configuration.

To accomplish this, it is necessary to derive the protective earth (PE) for all three units (*test generator, coupling/decoupling network and EUT*), from the same point: specifically, from the PE input to the coupling/decoupling network (see figures 7.b to 14.b).

It is also necessary that the test generator case shall be connected to the PE, but the generator output terminals shall be floating.

7.2 *Equipment under test*

The equipment under test shall be arranged and connected according to the equipment installation specifications.

The minimum distance between the EUT and all other conductive structures (for example, the walls of a shielded room), except the GRP beneath the EUT, shall be 0,5 m.

The power supply, input and output circuits shall be connected to the sources of power supply, control and signals via the coupling/decoupling network.

The operating signals for exercising the EUT may be provided by auxiliary equipment, or by a simulator.

The input and output circuits to the simulator shall be provided with back filters, in order to prevent interference to that equipment.

The cables supplied or specified by the equipment manufacturer shall be used or, in their absence, unshielded cables shall be adopted, of the type suitable for the signals involved.

The coupling/decoupling network shall be inserted in the circuits at 1 m cable distance from the EUT and connected to the GRP.

Les circuits de communication (circuits de données) doivent être reliés à l'EST via les câbles indiqués en référence dans les spécifications ou la norme technique relative à l'application concernée. Ces circuits doivent être placés à 0,1 m au-dessus du plan de référence sur une longueur d'au moins 1 m.

Les paragraphes suivants présentent les spécifications distinctes relatives aux équipements sur table et au sol.

a) *Matériel de table*

Le matériel de table doit être placé sur une table en bois, d'une hauteur d'environ 0,8 m. En cas d'utilisation d'un plan de référence, l'EST et les câbles doivent en être isolés par un support isolant d'une épaisseur de 0,5 mm.

Le matériel (terminaux, écrans de visualisation, etc.) normalement mis à la terre via leur câble d'alimentation électrique (fil jaune et vert) doit être relié à la terre, par exemple, par l'intermédiaire de la borne de terre spécialisée du réseau de couplage/découplage.

La figure 5 présente un exemple de configuration d'essai de matériel de table.

b) *Matériel posé sur le sol*

En cas d'utilisation d'un plan de référence, ce dernier doit être placé sur un support isolant (bois sec, par exemple) d'une épaisseur de $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$, ce support étant lui-même placé sur le plan de référence.

La liaison de l'EST au système de mise à la terre doit s'effectuer conformément aux spécifications d'installation du fabricant.

Les baies doivent être reliées à la terre de protection directement au niveau du plan de référence, par une connexion aussi courte que possible branchée sur la borne de terre de l'EST. Aucune autre connexion n'est autorisée.

La figure 6 présente un exemple de configuration d'essai de matériel posé sur le sol.

7.3 Réseau de couplage/découplage

Le réseau de couplage/découplage doit être placé près de l'EST et être relié à ce dernier par des câbles d'une longueur de 1 m. Lorsqu'un plan de référence est utilisé, ils doivent par ailleurs être reliés à ce dernier par une connexion aussi courte que possible.

L'EST doit être essayé à l'aide d'un câble de puissance de 1 m, sauf dans les cas suivants pour lesquels la longueur de câble dépassant 1 m doit être enroulée sur une bobine plate de 0,2 m de diamètre située à 0,1 m au-dessus du plan de référence.

EST alimenté par câble fixe moulé

L'EST doit être essayé à l'aide des câbles fournis.

EST alimenté par câble amovible, moulé à chacune de ses extrémités et référencé dans le manuel du fabricant.

L'EST doit être essayé avec le câble indiqué. Toutefois, si le fabricant indique plusieurs longueurs de câble prémoulé, la longueur la plus courte doit être utilisée pour les essais.

The communication lines (data lines) shall be connected to the EUT by the cables given in the technical specification or standard for this application; they shall be elevated 0,1 m above the GRP for at least 1 m in length.

Particular prescriptions for table-top and floor-standing equipment are given below.

a) *Table-top equipment*

Table-top equipment shall be placed on a wooden table, approximately 0,8 m high. The EUT and cables shall be isolated from the GRP, if used, by an insulating support 0,5 mm thick.

Equipment (for example, terminals, monitors, etc.), for which the earthing is provided via the power supply cable (yellow-green wire), shall be connected to earth, for example, via the dedicated earth terminal of the coupling/decoupling network.

An example of the test set-up for table-top equipment is given in figure 5.

b) *Floor-standing equipment*

Where a GRP is used, floor-standing equipment shall be placed on the GRP with the interposition of a $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ thickness insulating support, for example, dry wood.

The EUT shall be connected to the earthing system according to the manufacturer's installation specifications.

The equipment cabinets shall be connected to the safety earth directly on the GRP via a connection of minimum length starting from the earth terminal of the EUT; no additional connections are allowed.

An example of the test set-up for floor-standing equipment is given in figure 6.

7.3 *Coupling/decoupling network*

The coupling/decoupling network shall be arranged in close vicinity to the EUT and connected to the EUT through lines of 1 m in length. They shall be connected to the GRP, where used, through a connection as short as possible.

The EUT shall be tested with a power cable of 1 m in length, except in the following cases, where the excess length of the cable shall be gathered into a flat coil with 0,2 m diameter and situated at a distance of 0,1 m above the GRP.

EUT supplied with non-detachable moulded cable

It shall be tested with the actual length provided.

EUT supplied with detachable cable, moulded at both ends and specified in the manufacturer's authentic manual

It shall be tested with the specified cable; however, if the manufacturer specifies more than one length of such premoulded cable, then the shortest length shall be used for testing.

7.4 Générateurs d'essai

Le générateur d'essai doit être placé à proximité du réseau de couplage/découplage, la longueur du circuit les reliant devant être d'une longueur de 1 m.

Il doit, par ailleurs, être relié au plan de référence (voir 7.1.1), lorsque ce dernier est utilisé, ou à la terre de protection du laboratoire (voir 7.1.2) par une connexion aussi courte que possible. Si l'essai concerne un accès de communication, voir le point c) de 8.2.1.

8 Procédure d'essai

La procédure d'essai comprend:

- la vérification des conditions de référence du laboratoire;
- la vérification préliminaire du bon fonctionnement de l'équipement;
- l'exécution de l'essai;
- l'évaluation des résultats d'essai.

8.1 Conditions de référence du laboratoire

Afin de minimiser l'influence de l'environnement sur les résultats d'essai, l'essai doit être réalisé dans les conditions climatiques et électromagnétiques de référence précisées en 8.1.1 et 8.1.2.

8.1.1 Conditions climatiques

Les essais doivent être effectués dans des conditions climatiques normales telles que spécifiées dans la CEI 68-1.

- température ambiante: de 15 °C à 35 °C
- humidité relative: de 25 % à 75 %
- pression atmosphérique: de 86 kPa (860 mbar) à 106 kPa (1 060 mbar)

NOTE – Ces valeurs sont indiquées sous réserve de celles figurant dans les spécifications de produit.

On doit faire fonctionner l'EST dans les conditions climatiques prévues.

8.1.2 Conditions électromagnétiques

L'environnement électromagnétique du laboratoire ne doit pas influencer les résultats des essais.

8.2 Exécution de l'essai

L'essai doit être effectué à partir d'un programme d'essai comprenant la vérification des performances de l'EST, définies dans la norme du produit, ou à défaut, dans la spécification technique.

L'EST doit se trouver en conditions normales de fonctionnement.

7.4 Test generators

The test generator shall be placed close to the coupling/decoupling network and connected to the latter through a line of 1 m length.

It shall be connected to the GRP, where used (see 7.1.1), or to the protection earth of the laboratory (see 7.1.2) through a connection as short as possible; in the case of testing of communication port, see prescriptions given in item c) of 8.2.1.

8 Test procedure

The test procedure includes:

- the verification of the laboratory reference conditions;
- the preliminary verification of the correct operation of the equipment;
- the execution of the test;
- the evaluation of the test results.

8.1 Laboratory reference conditions

In order to minimize the impact of environmental parameters on test results, the tests shall be carried out in the climatic and electromagnetic reference conditions as specified in 8.1.1 and 8.1.2.

8.1.1 Climatic conditions

The tests shall be carried out in standard climatic conditions in accordance with IEC 68-1:

- ambient temperature: 15 °C to 35 °C;
- relative humidity: 25 % to 75 %;
- atmospheric pressure: 86 kPa (860 mbar) to 106 kPa (1 060 mbar).

NOTE – Any other values are specified in the product specification.

The EUT shall be operated within its intended climatic conditions.

8.1.2 Electromagnetic conditions

The electromagnetic conditions of the laboratory shall not influence the test results.

8.2 Execution of the test

The test shall be carried out on the basis of a test plan, including verification of the performances of the EUT, as defined in the product standard, or in its absence, by the technical specification.

The EUT shall be in the normal operating conditions.

Le programme d'essai doit indiquer:

- la nature de l'essai à effectuer;
- le niveau d'essai;
- le générateur et l'impédance interne du générateur retenues pour chaque essai;
- la polarité de la tension d'essai (les deux polarités sont obligatoires);
- le nombre d'applications de la tension d'essai;
- la durée de l'essai;
- les accès à essayer sur l'EST;
- le mode d'application de la tension d'essai (phase-terre, entre phases, entre baies);
- la séquence d'application de la tension d'essai sur les accès de l'EST;
- l'angle et la phase de synchronisation pour la tension d'essai du générateur (uniquement pour l'onde sinusoïdale amortie);
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EST;
- le matériel auxiliaire.

L'alimentation électrique, le signal et les autres grandeurs électriques fonctionnelles doivent être appliqués à l'intérieur de leur plage de fonctionnement. Les sources réelles de signaux qui ne seraient pas disponibles peuvent être simulées. Les performances du matériel doivent être vérifiées préalablement sur l'installation d'essai complète, avant l'application de la tension d'essai.

Les caractéristiques des générateurs d'essai doivent être vérifiées avant le début de l'essai, conformément aux conditions énoncées en 6.1.

La tension d'essai doit être appliquée à l'EST, une fois celui-ci installé suivant 7.2.

L'EST doit être vérifié suivant la norme de produit ou, en son absence, par les spécifications techniques, qui précisent les possibilités et conditions d'application de l'onde sinusoïdale amortie, de l'onde oscillatoire amortie ou de ces deux phénomènes.

Le niveau d'essai, l'impédance du générateur d'essai et la fréquence de répétition ne doivent en aucun cas être supérieurs aux indications des spécifications de produit.

a) *Essai phase-terre (mode commun)*

La tension d'essai doit être appliquée entre chaque circuit et la terre (plan de référence), par l'entremise du réseau de couplage.

Une des sorties du générateur d'essai doit être reliée à la terre (plan de référence). L'autre sortie est connectée par un circuit unique à toutes les bornes d'entrée du réseau de couplage, ces bornes étant interconnectées.

En cas d'essai de circuits présentant plus de deux bornes (groupage, par exemple), la tension d'essai doit être appliquée simultanément entre toutes les bornes du circuit et la terre (plan de référence).

Les figures indiquées ci-après présentent des exemples d'application de ces prescriptions, en fonction de la nature des accès de l'EST:

The test plan shall specify:

- type of test that will be carried out;
- test level;
- test generator and the internal impedance selected for each test;
- polarity of the test voltage (both polarities are mandatory);
- number of applications of the test voltage;
- duration of the test;
- EUT ports to be tested;
- mode of application of the test voltage (line-to-ground, line-to-line, between cabinets);
- sequence of application of the test voltage to the EUT ports;
- synchronization angle and phase for testing power supply (only for ring wave);
- representative operating conditions of the EUT;
- auxiliary equipment.

The power supply, signal and other functional electrical quantities shall be applied within their rated range. If the actual operating signal sources are not available, they may be simulated. Preliminary verification of equipment performances shall be carried out on the completed test set-up before applying the test voltage.

Before carrying out the test, the characteristics of the test generators shall be verified in order to satisfy the requirements of 6.1.

The test voltage shall be applied to the EUT, previously set-up as in 7.2.

The EUT shall be verified according to the product standard or, in its absence, by the technical specifications, which will specify the applicability of the ring wave, or of the damped oscillatory wave test, or both.

Under no circumstances shall the test level, the impedance of the generator and repetition rate exceed the product specification.

a) *Line-to-ground test (common mode)*

The test voltage shall be applied, through the coupling network, between each circuit and earth (GRP).

One of the terminals of the test generator shall be connected to earth (GRP). The other terminal of the generator shall be connected through a single line to all the input terminals of the coupling network, these terminals being interconnected.

To test circuits with more than two terminals (for example, grouping), the test voltage shall be applied simultaneously between all the terminals of the circuit and earth (GRP).

Examples of the application of the prescriptions related to the different types of EUT ports are given in the following figures:

figure 7 – essai en mode commun des accès d'alimentation continue ou alternative monophasée;

figure 8 – essai en mode commun des accès d'alimentation alternative triphasée;

figure 9 – essai en mode commun des accès pour circuit unique;

figure 10 – essai en mode commun des accès pour groupe de circuits avec retour commun.

Chacune de ces figures est subdivisée en deux parties: dans la partie a), l'installation d'essai comprend un plan de référence (figures 7.a, 8.a, 9.a et 10.a), dans la partie b), des circuits de terre spécialisés (figures 7.b, 8.b, 9.b et 10.b).

b) Essai entre phases (mode différentiel)

La tension d'essai doit être appliquée, à travers le réseau de couplage, entre chacune des combinaisons représentatives des bornes du circuit en essai.

La sortie du générateur d'essai doit être flottante.

Les figures indiquées ci-après présentent des exemples d'application de ces prescriptions, en fonction de la nature des accès de l'EST:

figure 11 – essai en mode différentiel des accès d'alimentation continue ou alternative monophasée;

figure 12 – essai en mode différentiel des accès d'alimentation alternative, triphasée;

figure 13 – essai en mode différentiel des accès pour circuit unique;

figure 14 – essai en mode différentiel des accès pour groupe de circuits avec retour commun.

Chacune de ces figures est subdivisée en deux parties: dans la partie a), l'installation d'essai comprend un plan de référence figures 11.a, 12.a, 13.a et 14.a), dans la partie b), des liaisons de terre spécialisées (figures 11.b, 12.b, 13.b et 14.b).

Pour les générateurs d'essais ne comportant pas de sortie flottante, appliquer les consignes suivantes:

- l'alimentation électrique du générateur d'essai, de l'EST et de l'appareillage de mesure (oscilloscope relié à la sortie de contrôle, par exemple) doit s'effectuer via un transformateur de découplage à faible capacité (environ 10 pF);
- le générateur d'essai doit être placé sur une table en bois (ou faite d'un autre matériau isolant) d'une hauteur de 0,8 m;
- le générateur ne doit pas être connecté au système de mise à la terre de protection, mais ne doit pas non plus être accessible au personnel.

La figure 15 présente un exemple d'installations d'essai en mode différentiel avec sortie du générateur d'essai non flottante.

Dès lors que le générateur d'essai est isolé de cette manière, des dispositions particulières doivent être prises afin de réaliser des conditions équivalentes, relativement aux règles de sécurité (article 6 de la CEI 1010-1).

figure 7 – a.c./d.c. power supply port, single phase, line-to-ground test;

figure 8 – a.c. power supply port, three phase, line-to-ground test;

figure 9 – input/output port, single circuit, line-to-ground test;

figure 10 – input/output port, group of circuits with common return, line-to-ground test.

Each figure refers to the set-up implemented with the GRP (figures 7.a, 8.a, 9.a and 10.a) and with dedicated earth connections (figures 7.b, 8.b, 9.b and 10.b) respectively.

b) Line-to-line test (differential mode)

The test voltage shall be applied, through the coupling network, between each representative combination of the terminals of the circuit under test.

The output of the test generator shall be floating.

Examples of the application of the prescriptions related to the different types of EUT ports are given in the following figures:

figure 11 – a.c./d.c. power supply port, single phase, line-to-line test;

figure 12 – a.c. power supply port, three phases, line-to-line test;

figure 13 – input/output port, single circuit, line-to-line test;

figure 14 – input/output port, group of circuits with common return, line-to-line test.

Each figure refers to the set-up implemented with the GRP (figures 11.a, 12.a, 13.a and 14.a) and with dedicated earth connections (figures 11.b, 12.b, 13.b and 14.b) respectively.

In the case of test generators without a floating output, the following shall apply:

- the power supply of the test generator, of the EUT and measurement instrumentation (for example, oscilloscope connected to the monitoring output), shall be provided via a low-capacity isolation transformer (about 10 pF);
- the generator shall be placed on a wood (or other insulating material) table, 0,8 m high;
- the generator shall not be connected to the safety earthing system, but it shall not be accessible to personnel.

An example of provisions for differential mode tests with test generator output not floating is given in figure 15.

Whenever the test generator is isolated in this way, particular provisions shall be taken in order to realize equivalent conditions in respect to the safety rules (clause 6 of IEC 1010-1).

8.2.1 Mise en oeuvre de l'essai à l'onde sinusoïdale amortie

Il convient d'appliquer au minimum cinq transitoires positifs, et cinq négatifs. L'intervalle entre transitoires doit être de 1 s au minimum, en fonction de l'impédance du générateur d'essai ainsi que de l'EST et des autres dispositifs de protection contre les transitoires, et intervenant dans l'essai.

Il est recommandé que les spécifications du matériel définissent l'impédance du générateur d'essai pour chaque accès de l'EST et l'intervalle de temps entre deux transitoires.

L'intervalle minimal est le suivant:

- 10 s pour les essais sous une impédance de 12 Ω ,
- 6 s pour les essais sous une impédance de 30 Ω ,
- 1 s pour les essais sous une impédance de 200 Ω .

L'article A.1 de l'annexe A fournit des indications sur la fréquence maximale de répétition.

Des prescriptions différentes peuvent être données dans la norme de produit ou dans les spécifications du produit.

a) Essai des accès d'alimentation

La tension d'essai doit être appliquée par l'entremise du réseau de couplage/découplage.

L'impédance du générateur d'essai doit être la suivante:

- 12 Ω pour l'essai des accès de l'EST connectés à des circuits principaux,
- 30 Ω pour l'essai des accès de l'EST connectés à des sorties de câble.

Des prescriptions différentes peuvent être données dans la norme de produit ou dans les spécifications du produit.

Les paramètres de synchronisation des transitoires avec la fréquence d'alimentation et la relation entre phases doivent être précisés. L'article A.1 de l'annexe A donne des informations sur les incidences éventuelles de ces paramètres.

b) Essai d'accès

La tension d'essai doit être appliquée via le réseau de couplage/découplage, sous réserve que ce réseau soit compatible avec le signal de fonctionnement des accès de l'EST.

La méthode indiquée au point c) doit être appliquée lorsque le réseau de couplage/découplage est susceptible d'entraîner une dégradation du signal de fonctionnement.

L'impédance du générateur d'essai doit être de 200 Ω , sauf si l'essai comprend des dispositifs de protection ou des filtres; dans ce cas, l'impédance du générateur d'essai sera de 12 Ω ou 30 Ω , suivant la spécification du produit.

Il faut donc choisir des impédances différentes lorsque la tension d'essai aux bornes de l'EST (en charge) est réduite à 50 %, voire moins, du niveau d'essai retenu.

8.2.1 *Test implementation with ring wave*

A minimum of five positive and five negative transients should be applied, at 1 s minimum time interval, depending on the generator impedance, as well as EUT and other transient protectors involved in the test.

The equipment specifications should define the impedance of the test generator to be used for the different EUT ports and the time interval.

The minimum time interval is:

- 10 s for tests with 12 Ω impedance;
- 6 s for tests with 30 Ω impedance;
- 1 s for tests with 200 Ω impedance.

Information on the maximum repetition rate is given in clause A.1 of annex A.

Other prescriptions may be given in the product standard or product specification.

a) *Test of power supply port*

The test voltage shall be applied through the coupling/decoupling network.

The impedance of the test generator shall be as follows:

- EUT ports connected to major feeders shall be tested with 12 Ω generator impedance;
- EUT ports connected to outlets shall be tested with 30 Ω generator impedance.

Other prescriptions may be given in the product standard or product specification.

The synchronization of the transients with the power frequency and phase relationship shall be stated; information on their possible effects is given in clause A.1 of annex A.

b) *Test of input/output port*

The test voltage shall be applied via the coupling/decoupling network, provided the network is suitable for the operating signal of the EUT ports.

Whenever the coupling/decoupling network may produce degradation of the operating signal, the method given in item c) shall be applied.

The impedance of the test generator shall be 200 Ω , unless the test shall involve protection devices or filters; in that case, the impedance of the test generator will be 12 Ω or 30 Ω , according to the product specifications.

Different impedance values shall be selected, therefore, whenever the test voltage at the EUT terminals (load condition) is reduced to 50 %, or less, of the selected test level.

c) *Essai d'un système comprenant des accès de communication*

Les essais d'accès de communication d'un système (qui mettent en jeu des signaux rapides) consistant à appliquer une tension d'essai via le réseau de couplage/découplage peuvent entraîner une dégradation des signaux de fonctionnement. Dans ce cas, la tension d'essai doit être appliquée entre les baies contenant les matériels interconnectés (EST 1 et EST 2), selon le schéma de la figure 16. L'impédance de sortie du générateur d'essai doit être de 12 Ω .

Pour les câbles dont le blindage n'est relié à la terre qu'à une seule extrémité, l'autre extrémité doit être reliée à la baie par une capacité de couplage de 0,5 μF .

La longueur standard des câbles est de 10 m pour cet essai.

La connexion des câbles de signal doit s'effectuer conformément aux spécifications de produit, qui doivent notamment préciser toutes les mesures de protection à adopter.

Lorsque l'EST 1 est un matériel auxiliaire (simulateur), il faut vérifier l'immunité du simulateur avant l'essai. En l'absence d'immunité de ce matériel, et si rien ne peut être fait pour empêcher cette susceptibilité, les critères de l'essai seront les suivants:

- l'accès de communication n'est pas endommagé;
- la communication ne doit être perturbée que pendant l'application de la tension d'essai;
- parmi les performances de l'EST, celles ne relevant pas de la communication ne sont pas modifiées.

8.2.2 *Mise en oeuvre de l'essai à l'onde oscillatoire amortie*

Les fréquences d'oscillation préférentielles utilisées lors de l'essai à l'onde oscillatoire amortie sont de 100 kHz et 1 MHz.

La tension d'essai doit être appliquée aux accès d'alimentation, de signal et de communication, aux deux polarités, conformément aux spécifications de produit.

Les transitoires ne doivent pas être synchronisés avec l'alimentation électrique.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 2 s.

L'attente minimale est de 1 s entre deux essais.

Les comités ou les spécifications de produit peuvent indiquer toute autre fréquence d'oscillation dans la plage comprise entre 30 kHz et 10 MHz, ainsi que toute autre fréquence de répétition ou durée d'essai. Un générateur d'essai et un réseau de couplage/découplage spéciaux sont alors nécessaires. Leurs caractéristiques doivent être consignées dans le programme d'essai.

c) *Test of a system with communication ports*

The test of communication ports of a system (fast operating signals involved) with the application of test voltage via the coupling/decoupling network may cause degradation of the operating signals; in that situation, the test voltage shall be applied between the cabinets of the equipment interconnected (EUT 1 and EUT 2), according to figure 16. The output impedance of the test generator shall be 12 Ω .

For cables with only one end of the screen earthed, the unearthed side of the screen shall be connected to the cabinet through 0,5 μF coupling capacity.

The standard cable length for this test is 10 m.

The signal cables shall be connected according to the product specifications, which shall give information on any protection measure to be taken.

Whenever EUT 1 is an auxiliary equipment (simulator), a preliminary verification of the immunity of the simulator shall be made; in case of lack of immunity of the simulator, and whenever no provisions can be taken to avoid susceptibility, the test will be carried out with the following objectives:

- the communication port is not damaged;
- the communication is corrupted only during the application of the test voltage;
- the EUT performances, other than ones related to communications, are not affected.

8.2.2 *Test implementation with damped oscillatory wave*

The damped oscillatory wave test are carried out at 100 kHz and 1 MHz preferred oscillation frequencies.

The test voltage shall be applied to power supply, input/output and communication ports in both polarities, according to the product specifications.

The transients shall not be synchronized with the power supply.

The duration of the test shall not be less than 2 s.

The minimum time interval between two successive tests is 1 s.

Any other oscillation frequency in the range 30 kHz to 10 MHz, repetition rate and test duration, can be given by product committees or product specifications; a special test generator and coupling/decoupling network are necessary for this purpose. These shall be recorded in the test plan.

9 Résultats d'essai et rapport d'essai

Cet article sert de guide pour l'évaluation des résultats d'essais et pour le rapport d'essai relatif à la présente norme.

La variété et la diversité des matériels et des systèmes à essayer rendent difficile l'établissement des effets de cet essai sur les matériels et les systèmes.

Les résultats d'essais doivent être classés de la façon suivante, sur la base des conditions d'utilisation et des spécifications fonctionnelles du matériel soumis à l'essai, sauf en cas d'exigences différentes données par les comités de produit, ou les spécifications de produit:

- a) comportement normal dans les limites de la spécification;
- b) dégradation temporaire, ou perte de fonction ou comportement autorécupérable;
- c) dégradation temporaire, ou perte de fonction ou comportement nécessitant l'intervention d'un opérateur ou la remise à zéro du système;
- d) dégradation, ou perte de fonction non récupérable du fait d'une avarie du matériel (composants) ou du logiciel, ou de perte de données.

L'application des essais définis dans la présente norme ne doit pas rendre le matériel dangereux ou peu sûr.

Dans le cas d'essais de réception, le programme des essais et l'interprétation de leurs résultats doivent être décrits dans la norme de produit spécifique.

En règle générale, le résultat est positif si le matériel résiste pendant toute la période d'exposition à l'essai et remplit, à la fin de cette période, les exigences fonctionnelles établies par la spécification technique.

La spécification technique peut définir des effets sur l'EST que l'on peut considérer comme non significatifs et donc acceptables.

En ce qui concerne ces effets, il faut vérifier que le matériel est capable de retrouver sa capacité de fonctionnement par lui-même à la fin de la période d'essai; il faut donc mesurer le laps de temps pendant lequel le matériel ne dispose plus de la totalité de sa capacité de fonctionnement. Ces vérifications sont obligatoires pour évaluer définitivement les résultats des essais.

Le rapport d'essai doit comprendre les conditions d'essai et les résultats de l'essai.

9 Test results and test report

This clause gives a guide to the evaluation of the test results and to the test report, related to this standard.

The variety and diversity of equipment and systems to be tested make the task of establishing the effects of this test on equipment and systems difficult.

The test results shall be classified on the basis of the operating conditions and the functional specifications of the equipment under test, as below, unless different specifications are given by product committees or product specifications:

- a) normal performance within the specification limits;
- b) temporary degradation or loss of function or performance which is self-recoverable;
- c) temporary degradation or loss of function or performance which requires operator intervention or system reset;
- d) degradation or loss of function which is not recoverable, due to damage to equipment (components) or software, or loss of data.

Equipment shall not become dangerous or unsafe as a result of the application of the tests defined in this standard.

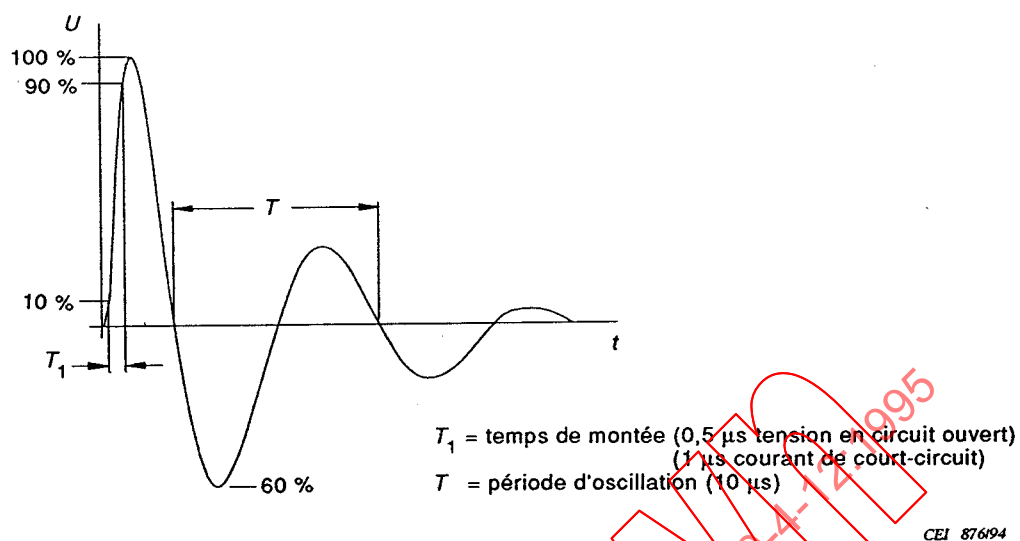
In the case of acceptance tests, the test programme and the interpretation of the test results shall be described in the specific product standard.

As a general rule, the test result is positive if the equipment shows its immunity for all the period of application of the test; and at the end of the tests, the EUT fulfils the functional requirements established in the technical specification.

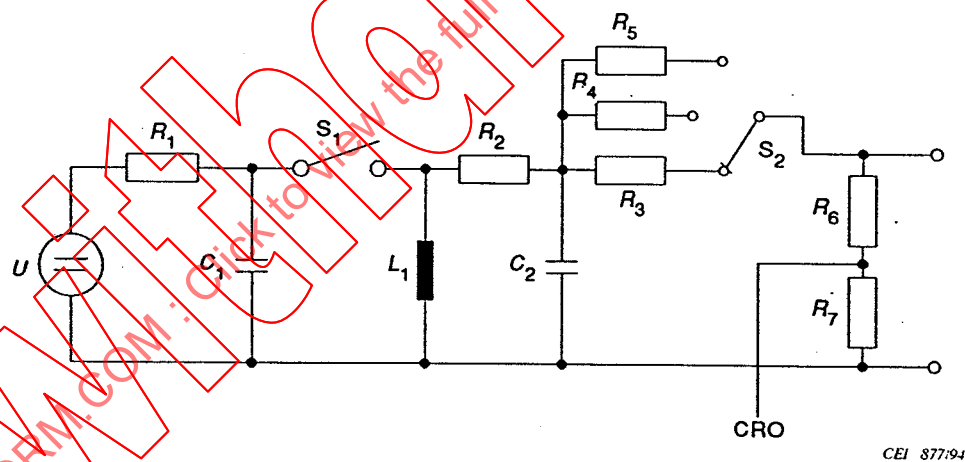
The technical specification may define effects on the EUT that may be considered insignificant and therefore acceptable.

For those conditions, it shall be verified that the equipment is able to recover its operative capabilities by itself at the end of the test; the time interval during which the equipment has lost its functional capabilities shall be recorded therefore. These verifications are binding for the definitive evaluation of the test result.

The test report shall include the test conditions and the test results.



**Figure 1 – Forme d'onde de l'onde sinusoïdale amortie
(tension en circuit ouvert et courant de court-circuit)**



- | | | | |
|---------|---------------------------------------|--------------|------------------------------------|
| U : | source haute tension | C_2 : | condensateur de filtrage |
| R_1 : | résistance de charge | R_3 : | résistance 200 Ω |
| C_1 : | condensateur d'accumulation d'énergie | R_4 : | résistance 30 Ω |
| S_1 : | interrupteur haute tension | R_5 : | résistance 12 Ω |
| L_1 : | bobine de circuit oscillant | S_2 : | sélecteur d'impédance de sortie |
| R_2 : | résistance de filtrage | R_6, R_7 : | résistances du diviseur de tension |
| | | CRO: | signal de contrôle |

**Figure 2 – Exemple de schéma du circuit du générateur d'essai
pour onde sinusoïdale amortie**

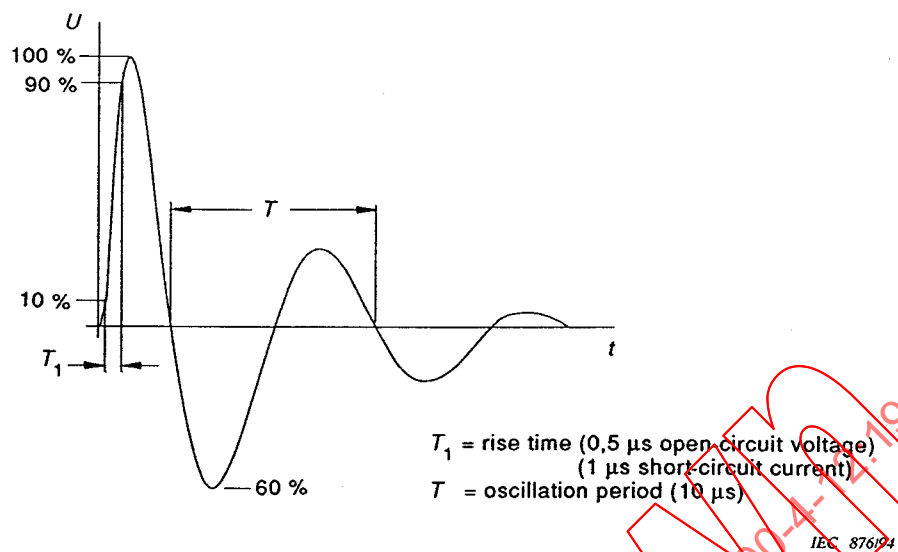


Figure 1 – Waveform of the ring wave (open-circuit voltage and short-circuit current)

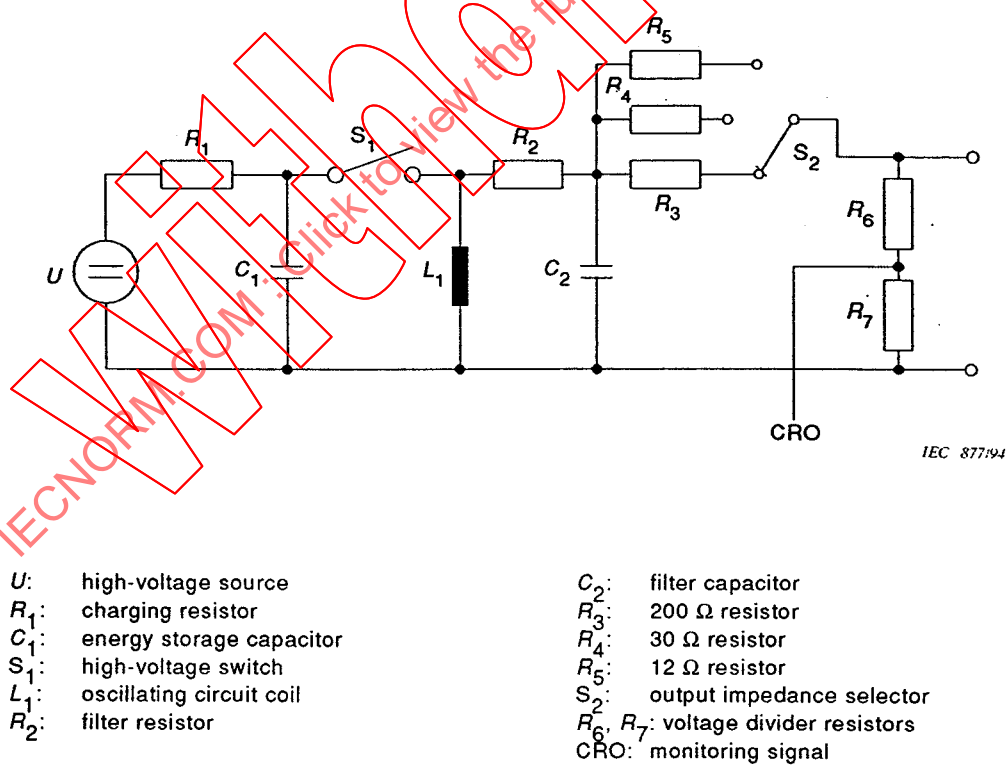


Figure 2 – Example of schematic circuit of the test generator for ring wave

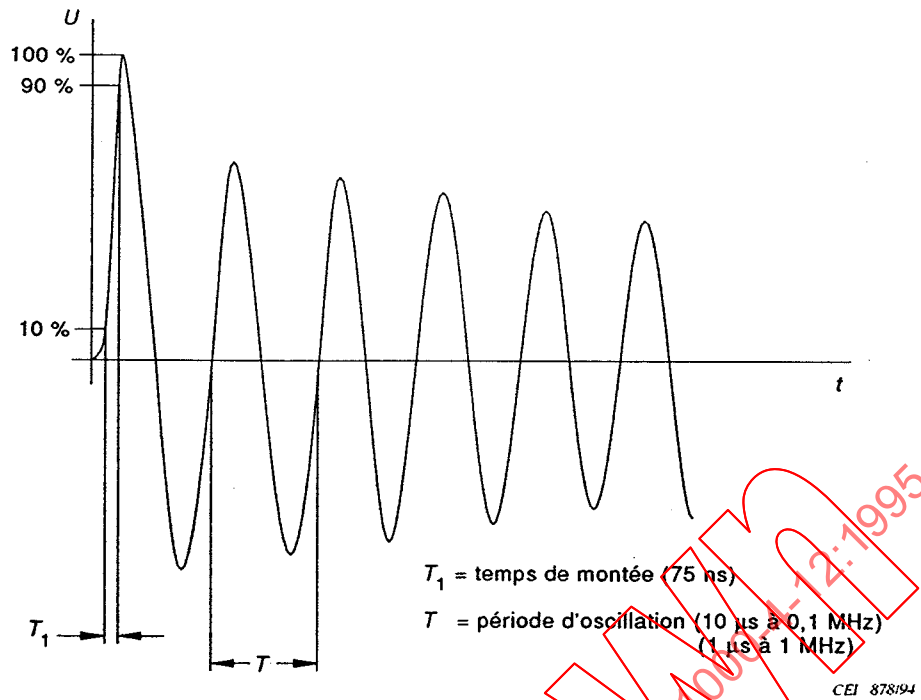


Figure 3 – Forme d'onde de l'onde oscillatoire amortie

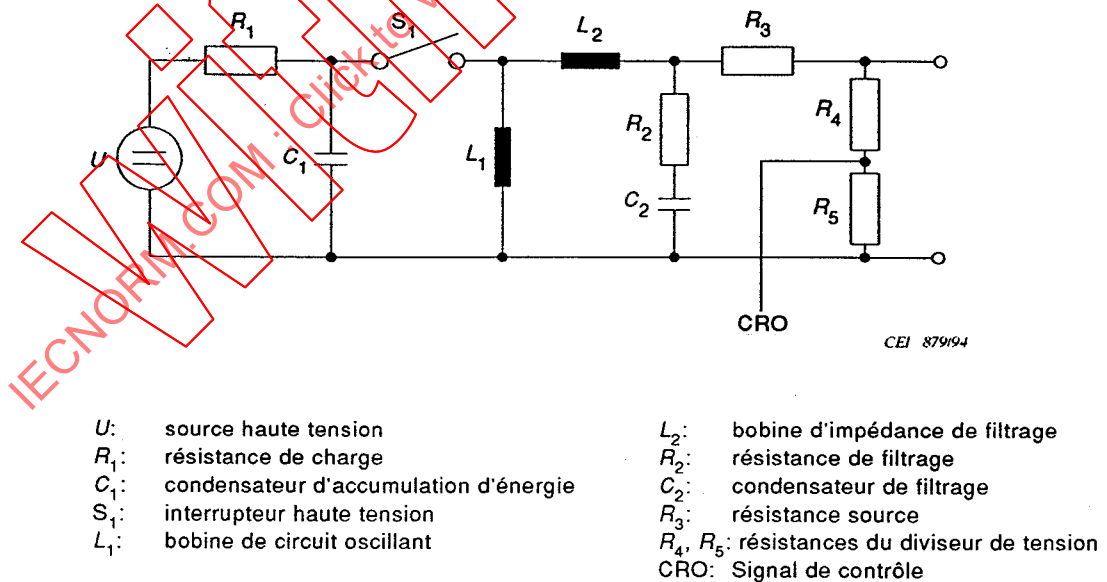
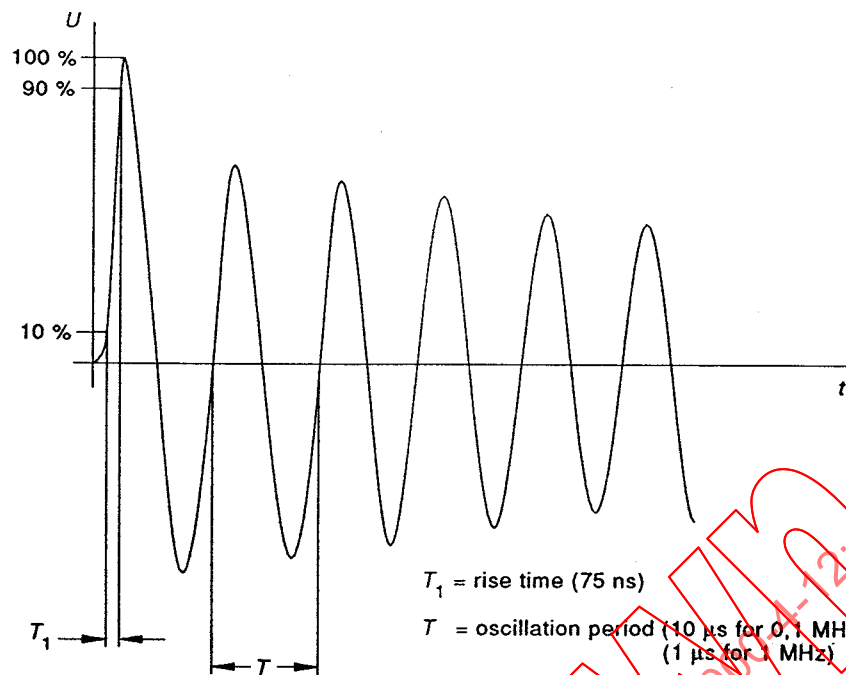
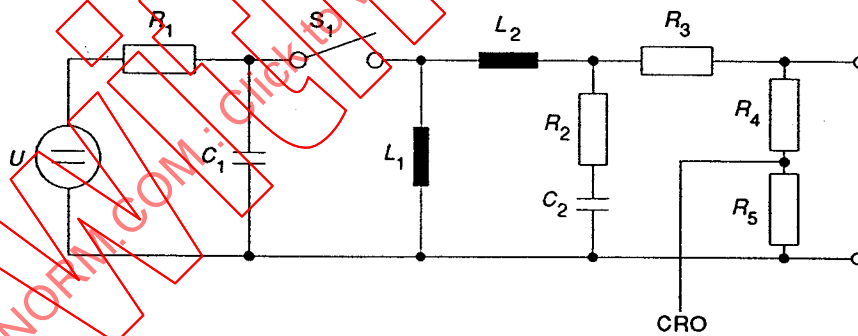


Figure 4 – Exemple de schéma du circuit du générateur d'essai pour onde oscillatoire amortie



IEC 878/94

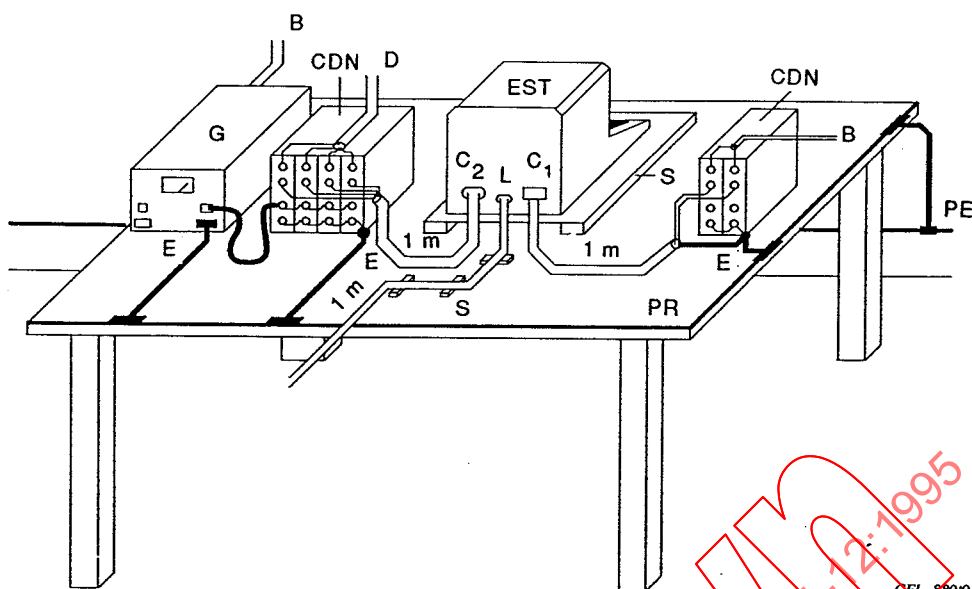
Figure 3 – Waveform of the damped oscillatory wave



IEC 879/94

- | | | | |
|---------|--------------------------|--------------|---------------------------|
| U : | high-voltage source | L_2 : | filter inductance |
| R_1 : | charging resistor | R_2 : | filter resistor |
| C_1 : | energy storage capacitor | C_2 : | filter capacitor |
| S_1 : | high-voltage switch | R_3 : | source resistor |
| L_1 : | oscillating circuit coil | R_4, R_5 : | voltage divider resistors |
| | | CRO: | monitoring signal |

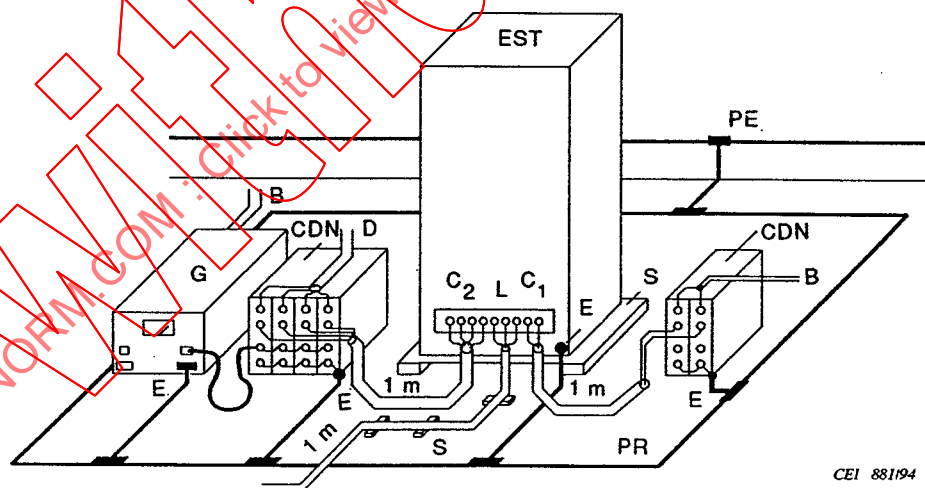
Figure 4 – Example of schematic circuit of the test generator for damped oscillatory wave



NOTE - Les liaisons de terre sont aussi courtes qu'il est pratiquement possible.

PE:	terre de protection	EST:	matériel en essai
B:	alimentation électrique	G:	générateur d'essai
C ₁ :	bornes d'alimentation	L:	accès communication
C ₂ :	bornes entrée/sortie	PR:	plan de référence
D:	sources signal/commande	CDN:	réseau de couplage/découplage
E:	mise à la terre	S:	support isolant

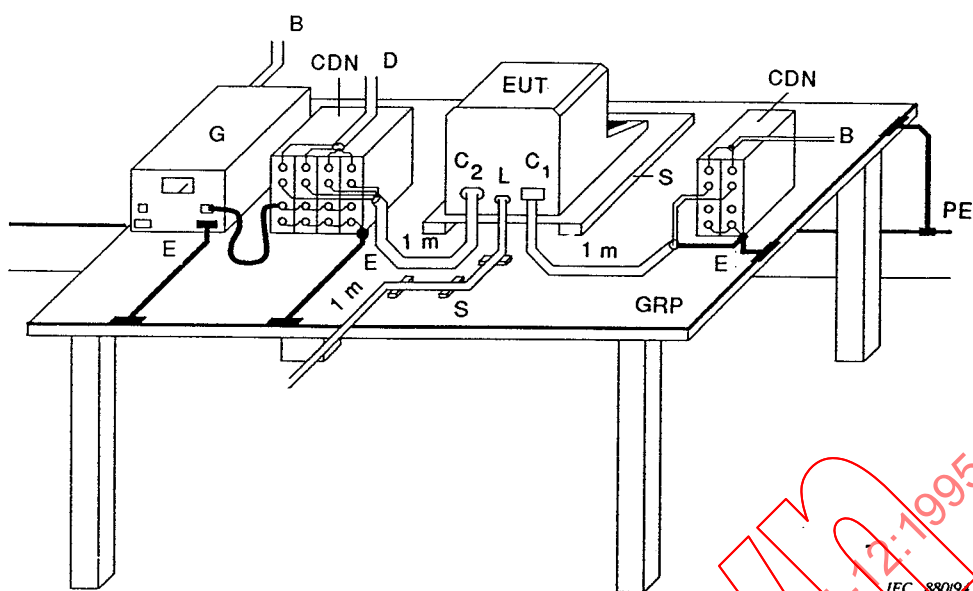
Figure 5 - Exemple d'installation d'essai pour matériel de table utilisant le plan de référence



NOTE - Les liaisons de terre sont aussi courtes qu'il est pratiquement possible.

PE:	terre de protection	EST:	matériel en essai
B:	alimentation électrique	G:	générateur d'essai
C ₁ :	bornes d'alimentation	L:	accès communication
C ₂ :	bornes entrée/sortie	PR:	plan de référence
D:	sources signal/commande	CDN:	réseau de couplage/découplage
E:	mise à la terre	S:	support isolant

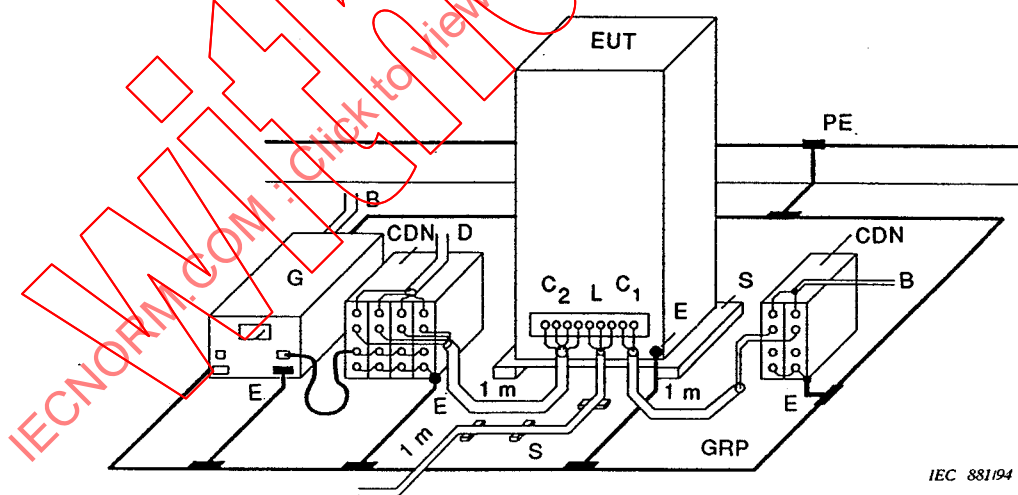
Figure 6 - Exemple d'installation d'essai pour matériel posé sur le sol utilisant le plan de référence



NOTE – Earth connections should be as short as practically possible.

PE:	protective earth	EUT:	equipment under test
B:	power supply source	G:	test generator
C ₁ :	power supply port	L:	communication port
C ₂ :	input/output port	GRP:	ground reference plane
D:	signal/control source	CDN:	coupling/decoupling network
E:	earth connection	S:	insulating support

Figure 5 – Example of test set-up for table-top equipment using the ground reference plane



NOTE – Earth connections should be as short as practically possible.

PE:	protective earth	EUT:	equipment under test
B:	power supply source	G:	test generator
C ₁ :	power supply port	L:	communication port
C ₂ :	input/output port	GRP:	ground reference plane
D:	signal/control source	CDN:	coupling/decoupling network
E:	earth connection	S:	insulating support

Figure 6 – Example of test set-up for floor-standing equipment using the ground reference plane

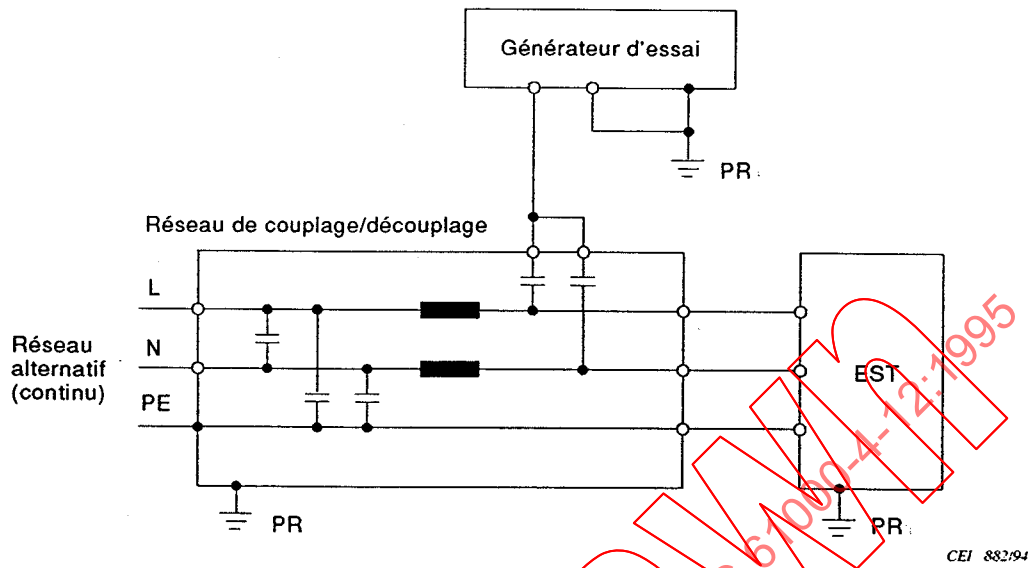


Figure 7.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)

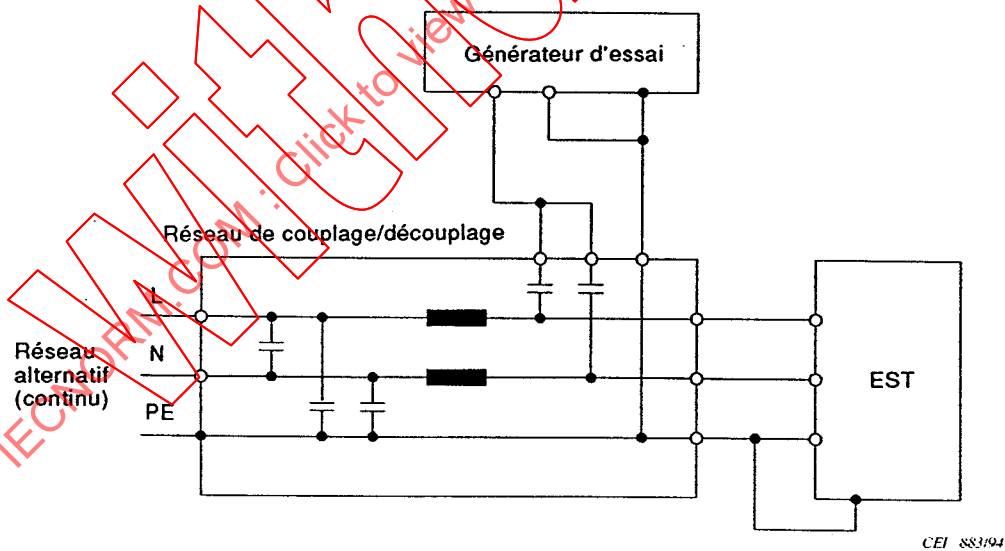


Figure 7.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

Figure 7 – Essai en mode commun des accès d'alimentation continue ou alternative monophasée

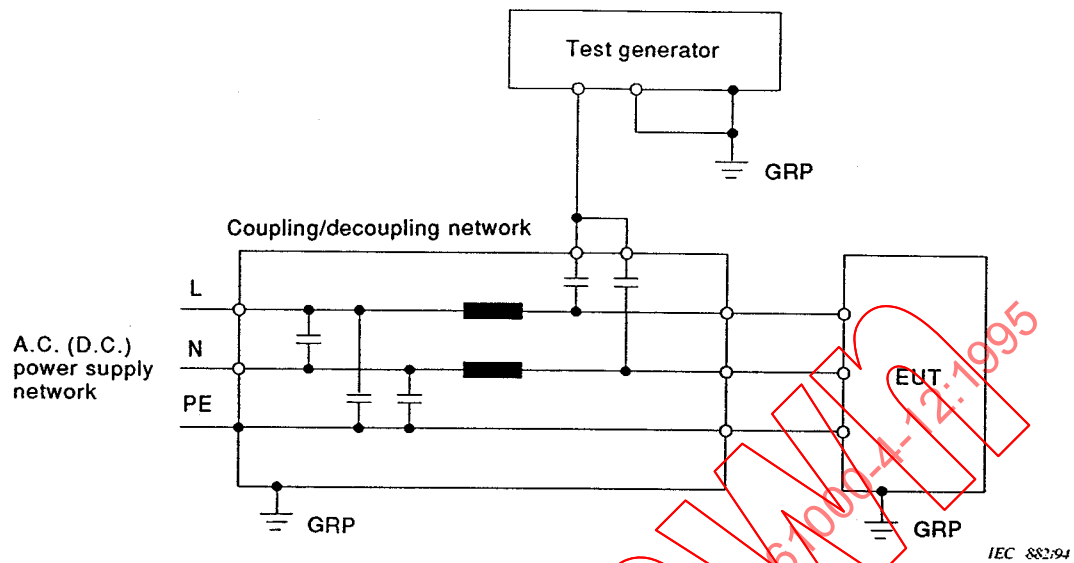


Figure 7.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

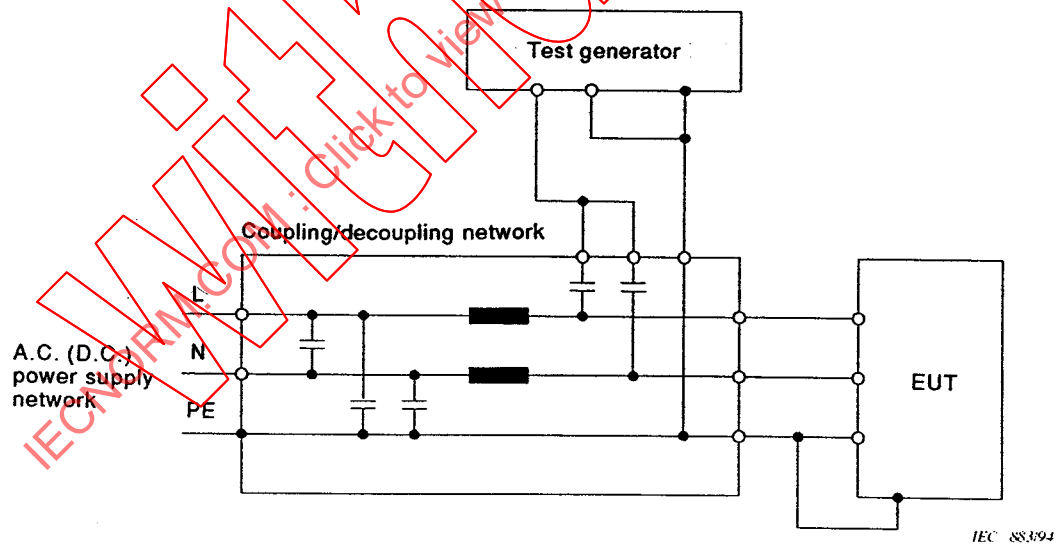


Figure 7.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

Figure 7 – A.C./D.C. power supply port, single phase, line-to-ground test

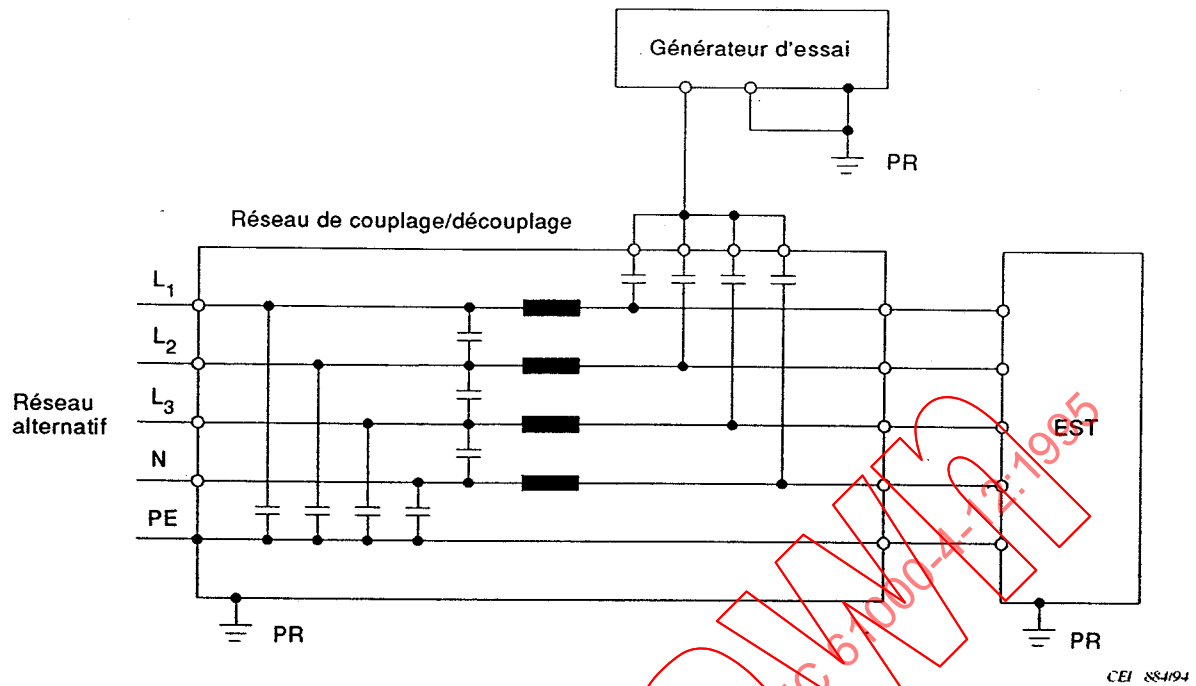


Figure 8.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)

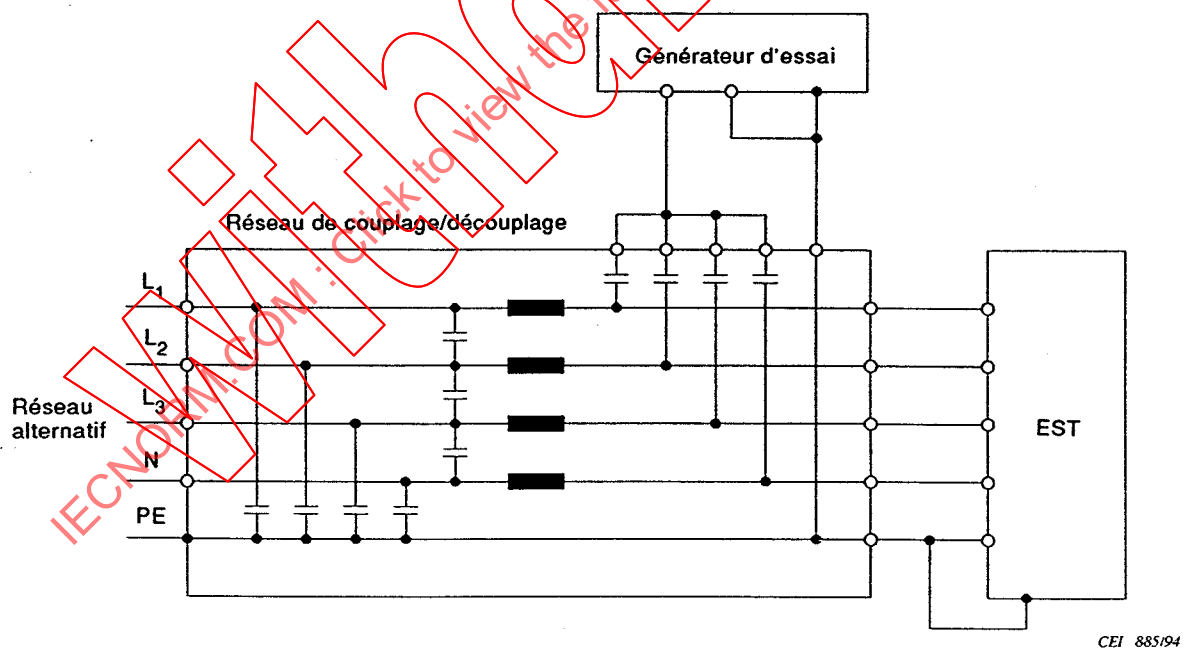


Figure 8.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

Figure 8 – Essai en mode commun des accès d'alimentation alternative triphasée

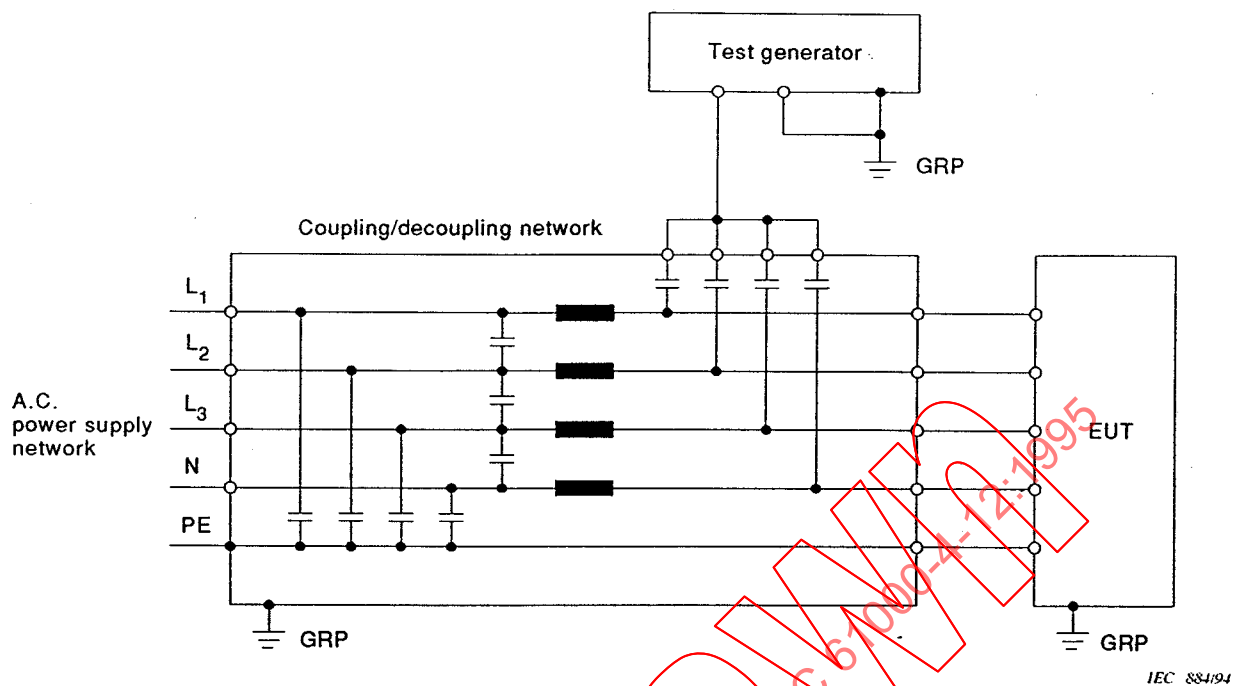


Figure 8.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

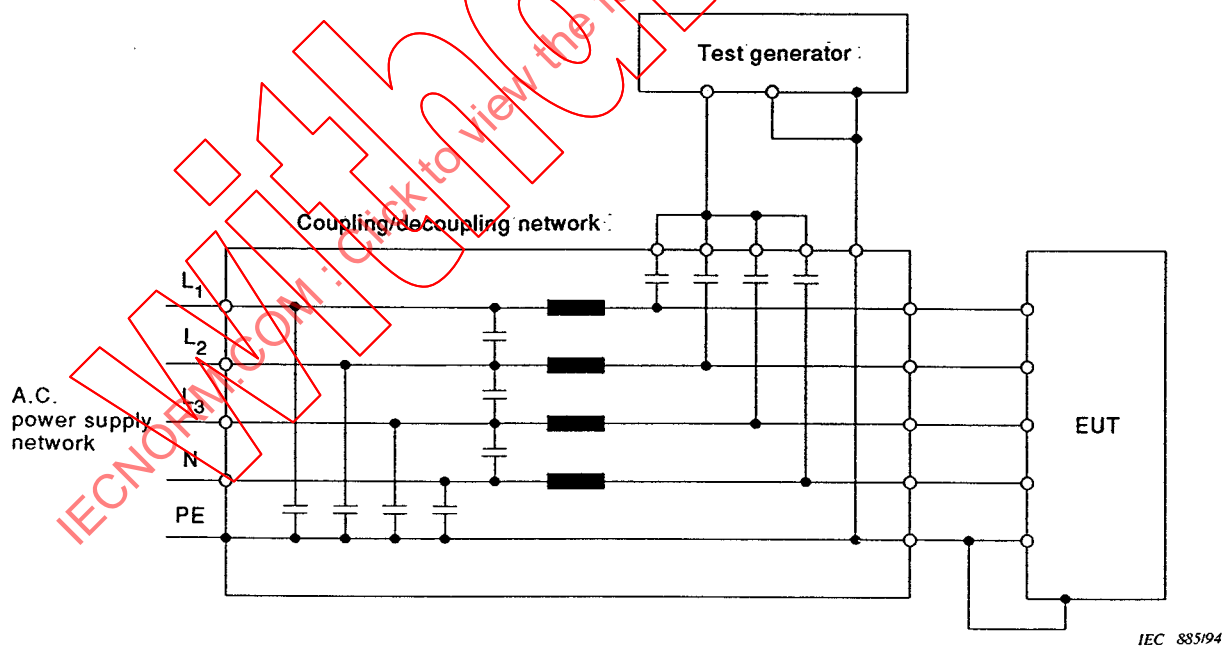


Figure 8.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

Figure 8 – A.C. power supply port, three phase, line-to-ground test

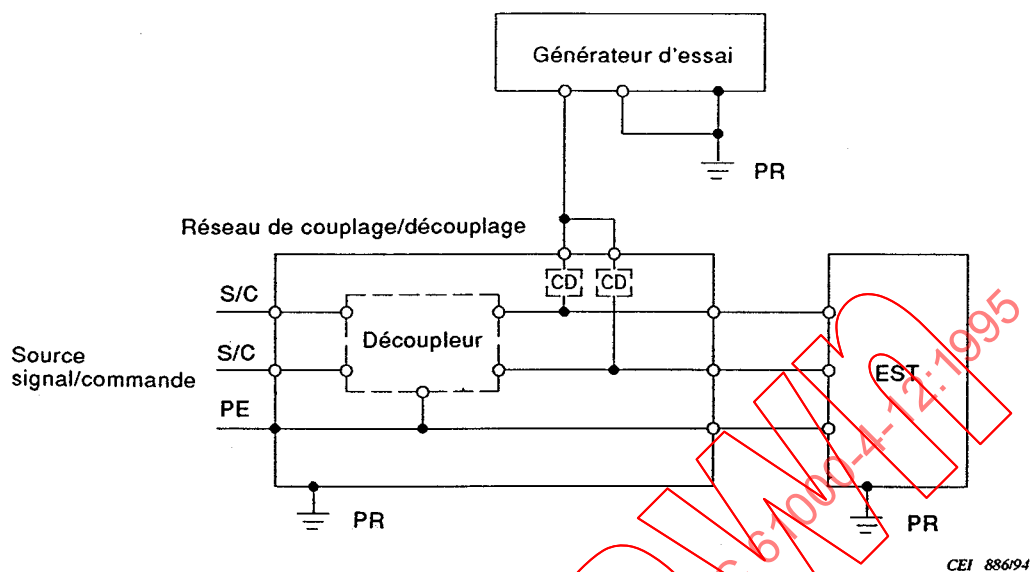


Figure 9.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)

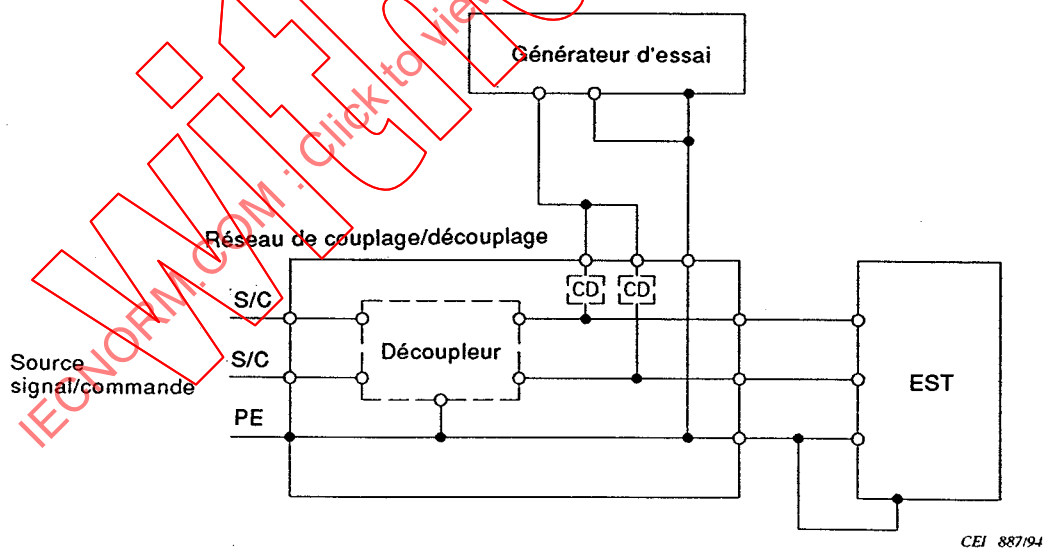


Figure 9.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

CD: Dispositifs de couplage. Pour certaines applications, les capacités de couplage doivent être remplacées par d'autres types de CD tels que tubes à gaz, diodes à avalanche au silicium, etc.

Figure 9 – Essai en mode commun des accès pour circuit unique

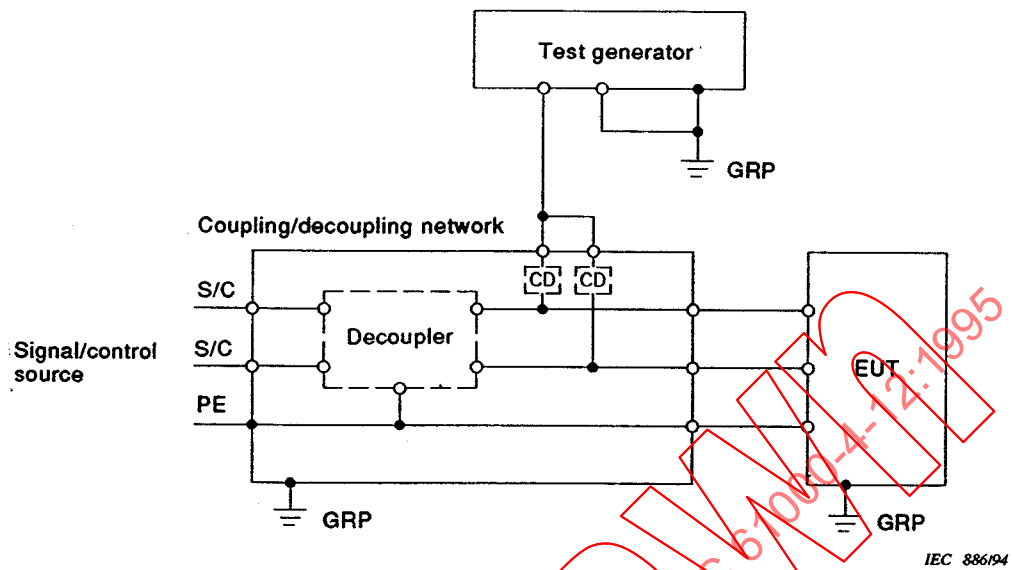


Figure 9.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

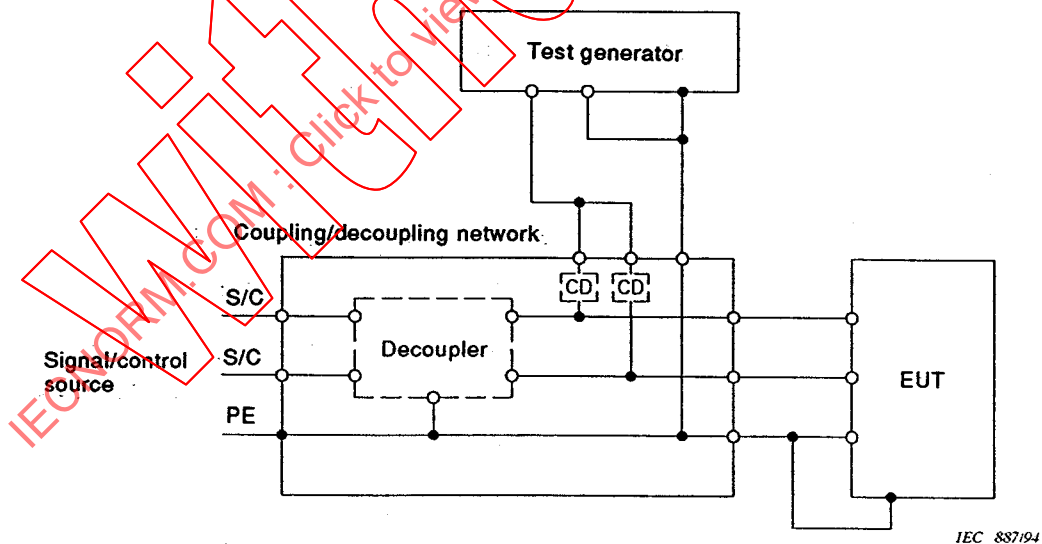
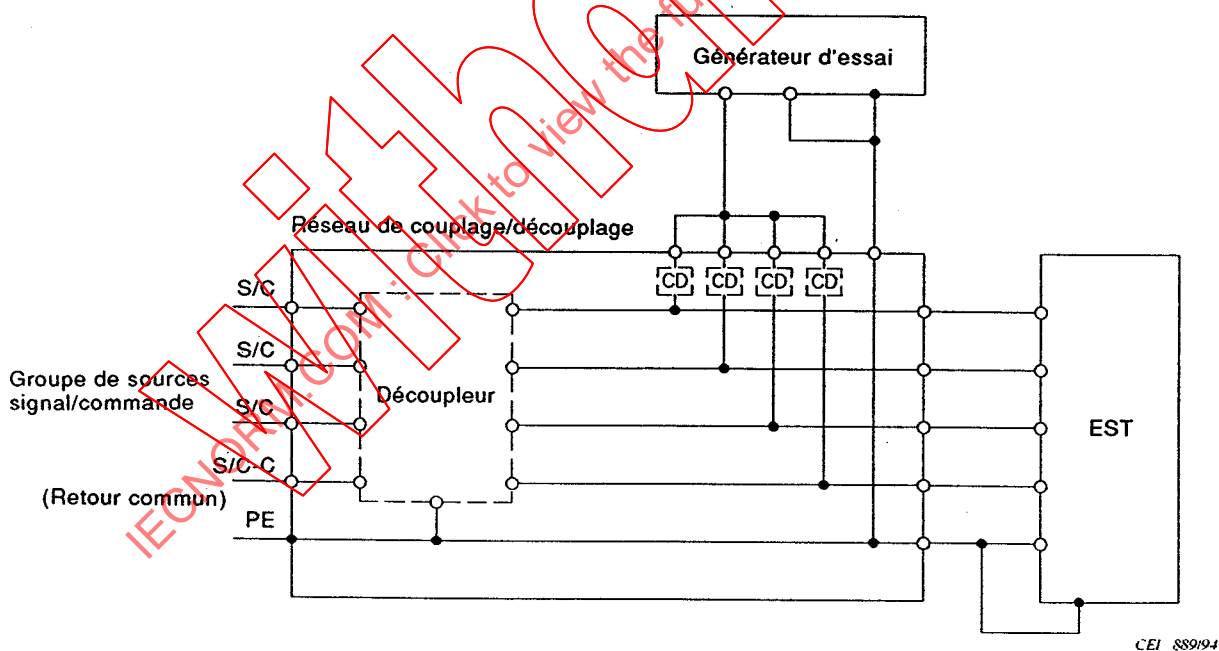
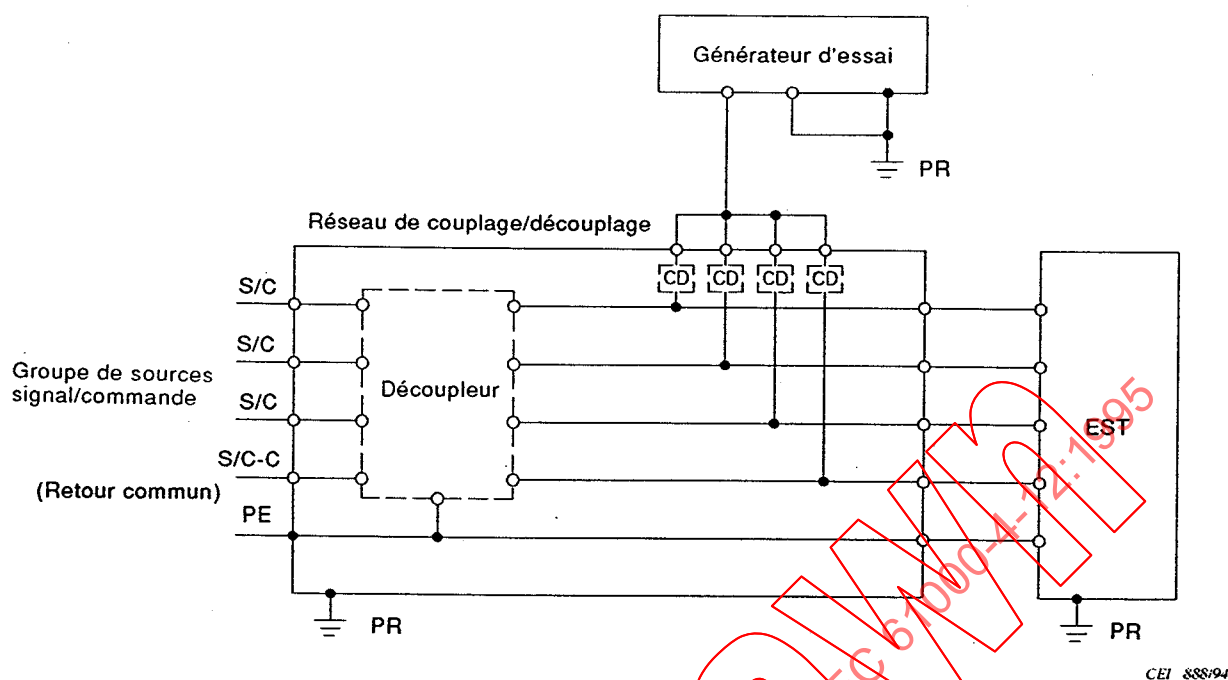


Figure 9.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

CD: Coupling devices. For some applications, the coupling capacitors have to be replaced by other types of coupling devices, such as gas tubes, silicon avalanche diodes, etc.

Figure 9 – Input/output port, single circuit, line-to-ground test



CD: Dispositifs de couplage. Pour certaines applications, les capacités de couplage doivent être remplacées par d'autres types de CD tels que tubes à gaz, diodes à avalanche au silicium, etc.

Figure 10 – Essai en mode commun des accès pour groupe de circuits avec retour commun

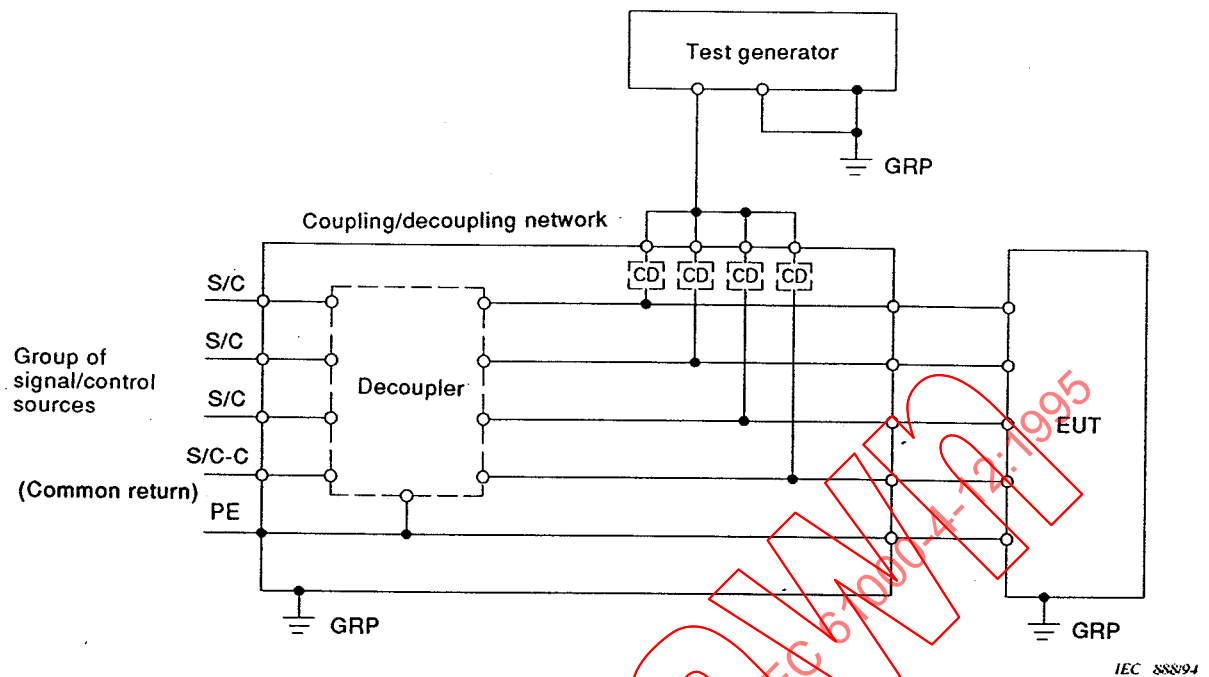


Figure 10.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

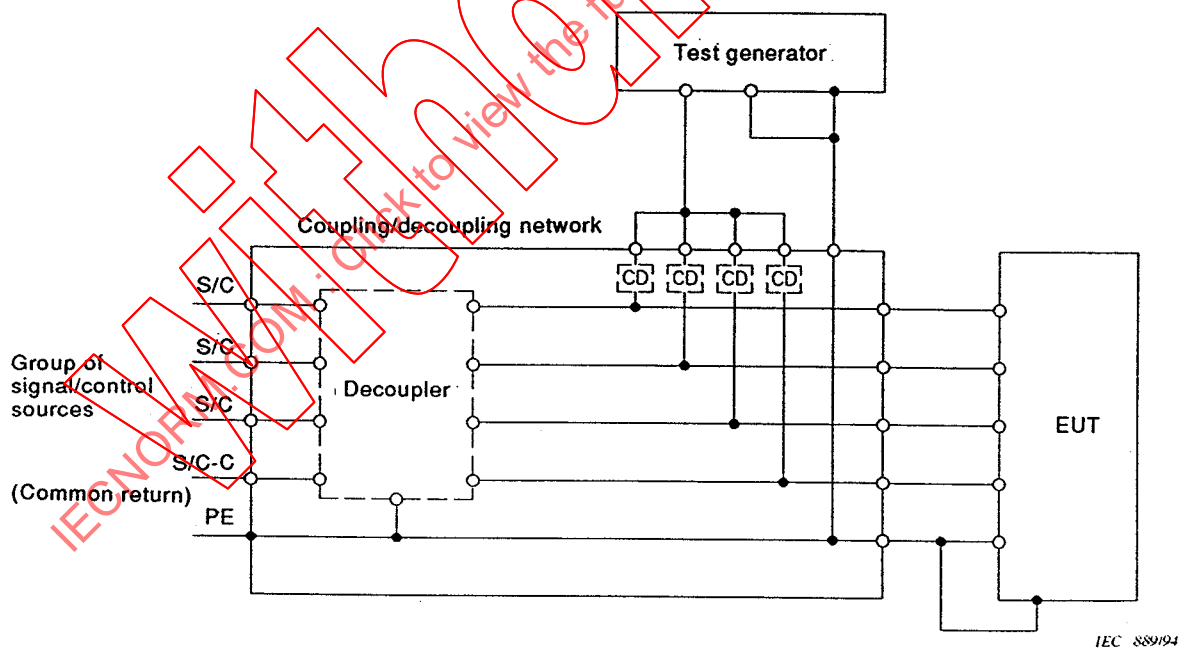


Figure 10.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

CD: Coupling devices. For some applications, the coupling capacitors have to be replaced by other types of coupling devices, such as gas tubes, silicon avalanche diodes, etc.

Figure 10 – Input/output port, group of circuits with common return, line-to-ground test

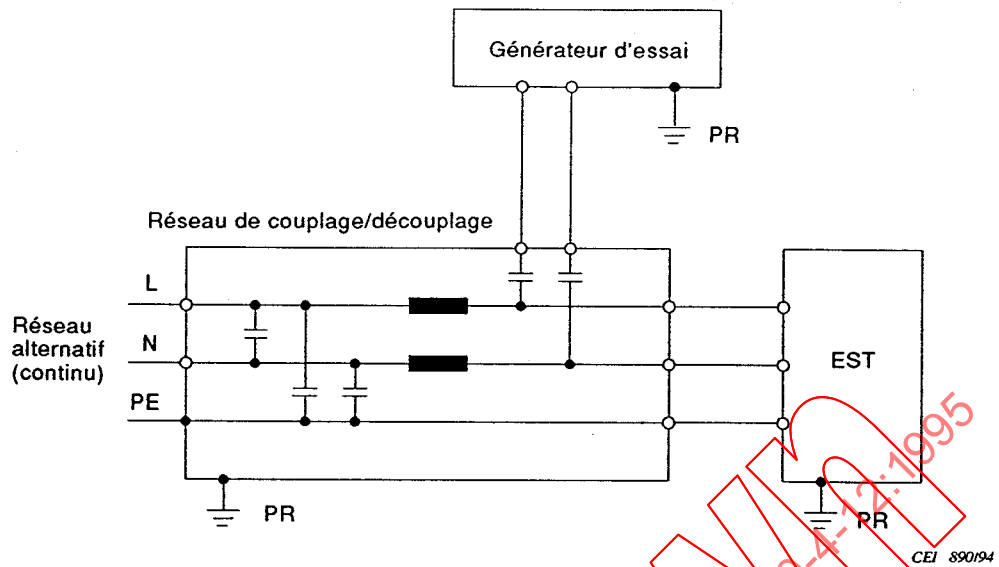


Figure 11.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)

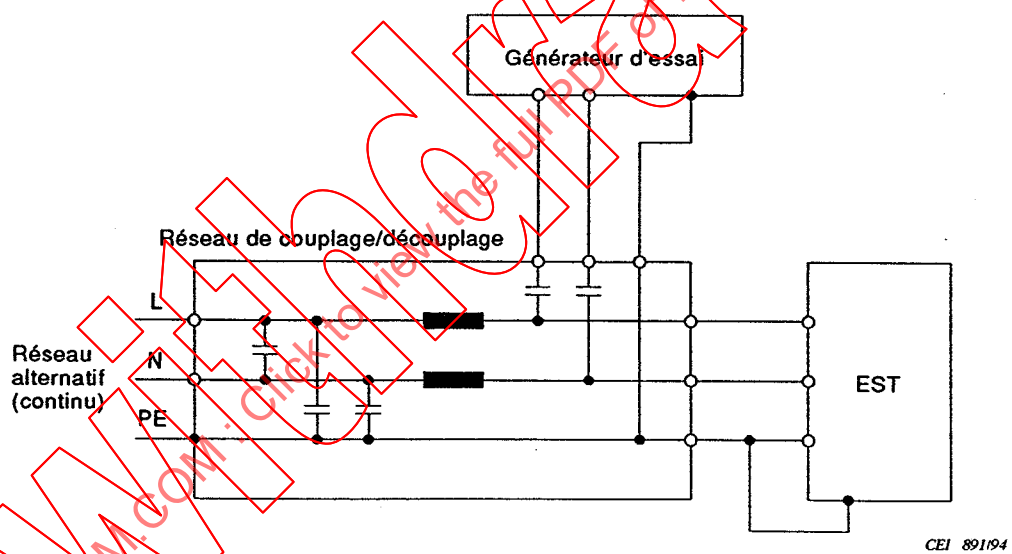


Figure 11.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

Figure 11 – Essai en mode différentiel des accès d'alimentation continue ou alternative monophasée

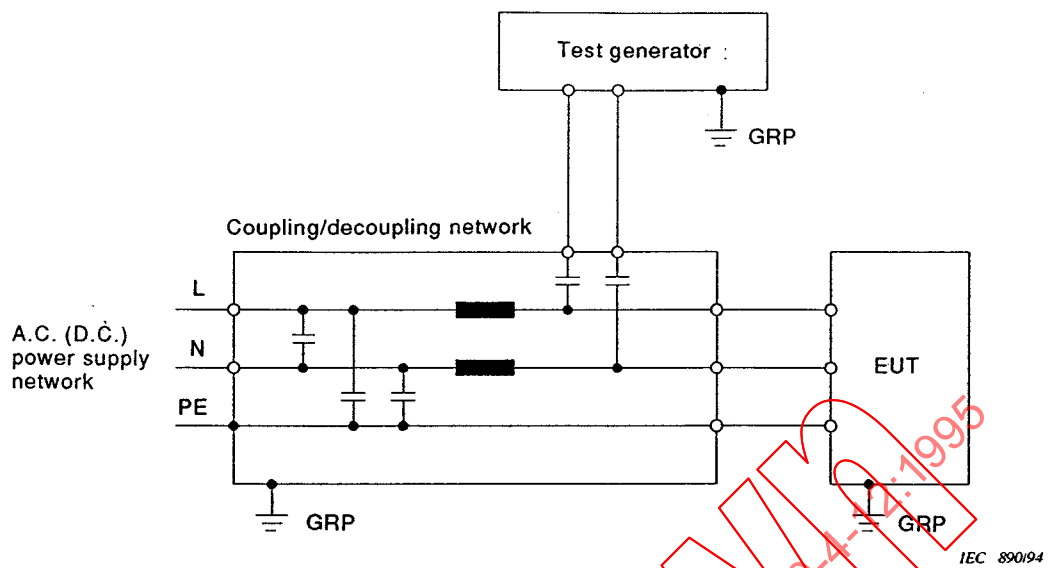


Figure 11.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

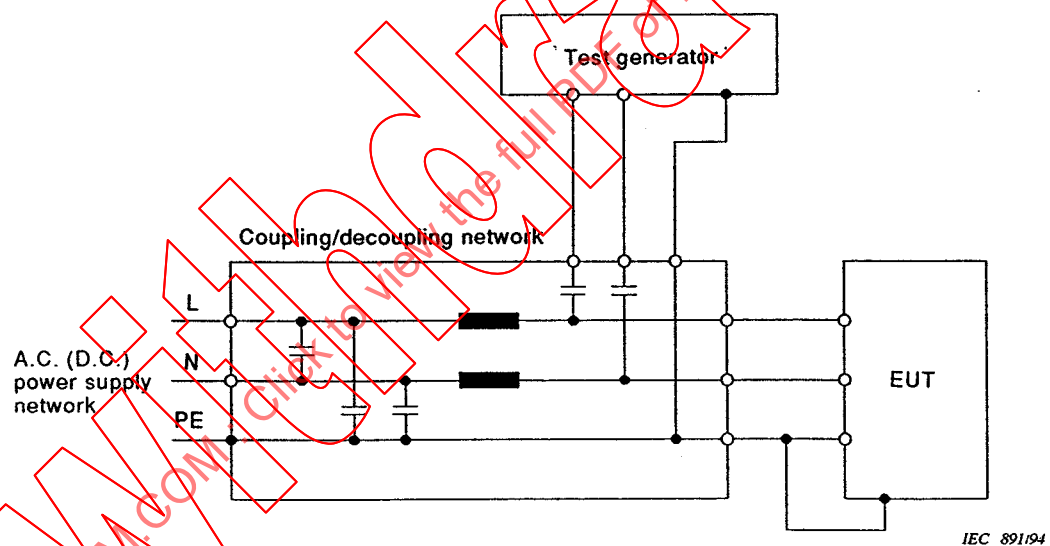
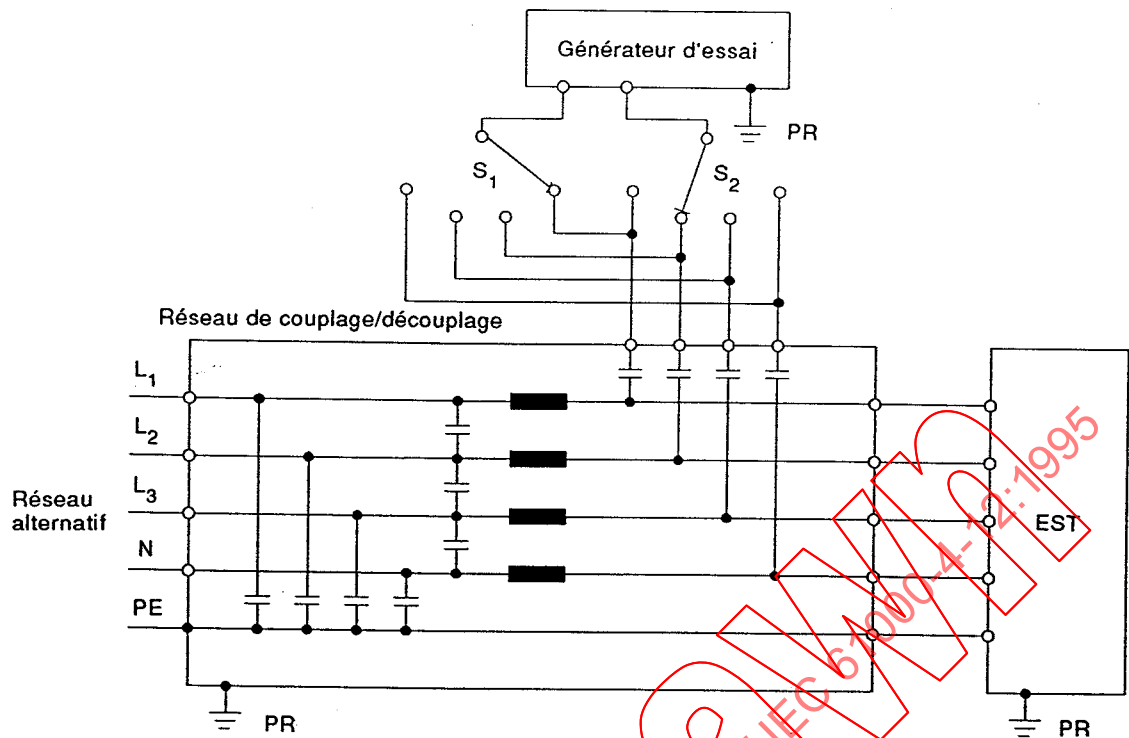


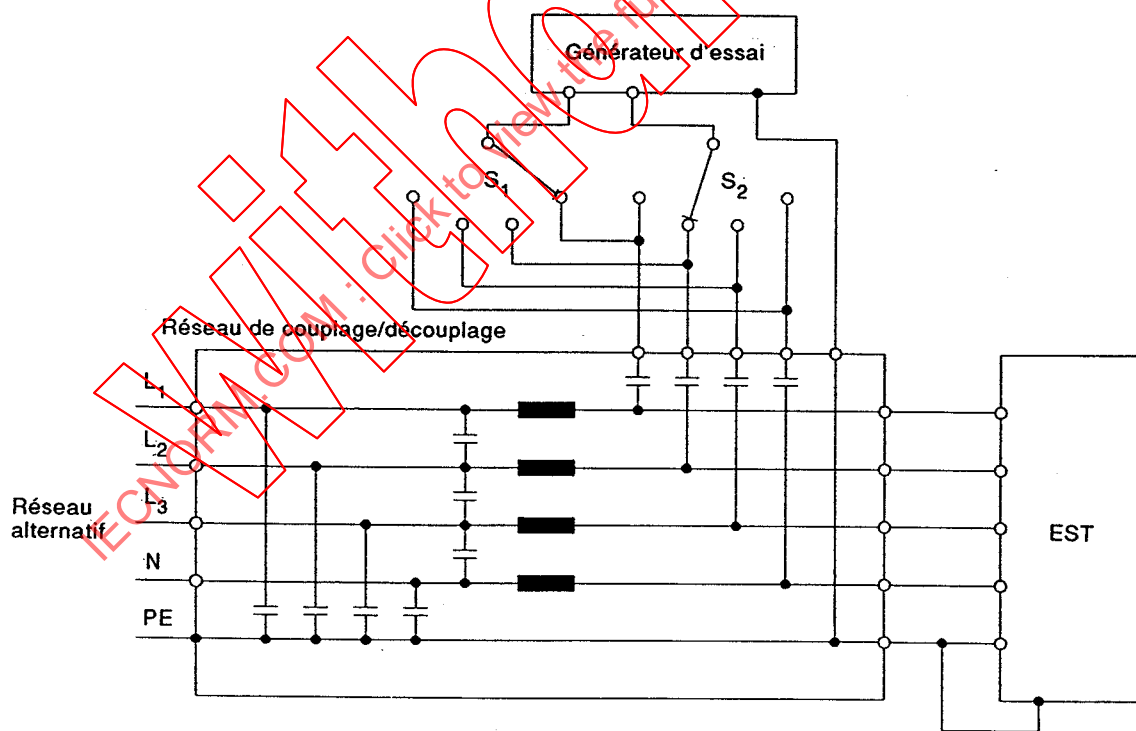
Figure 11.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

Figure 11 – A.C./D.C. power supply port, single phase, line-to-line test



CEI 892/94

Figure 12.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)



CEI 893/94

Figure 12.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

Figure 12 – Essai en mode différentiel des accès d'alimentation alternative triphasée

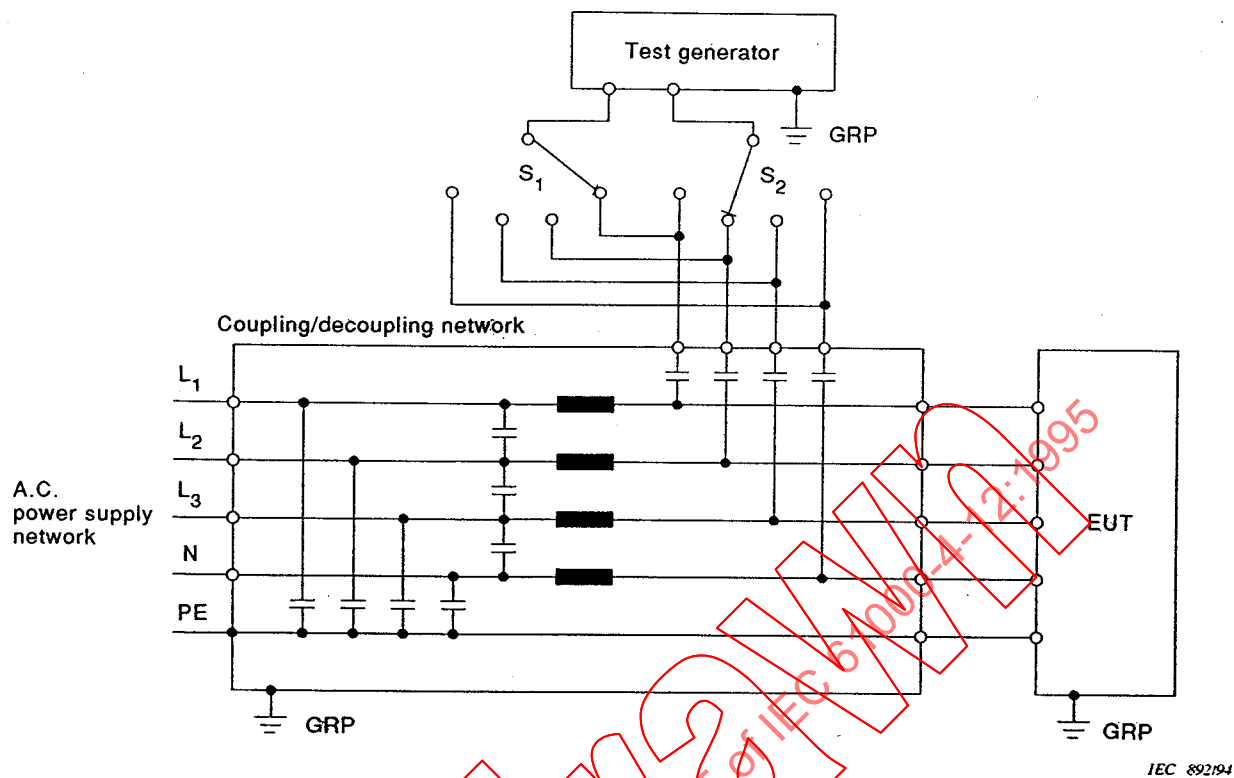


Figure 12.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

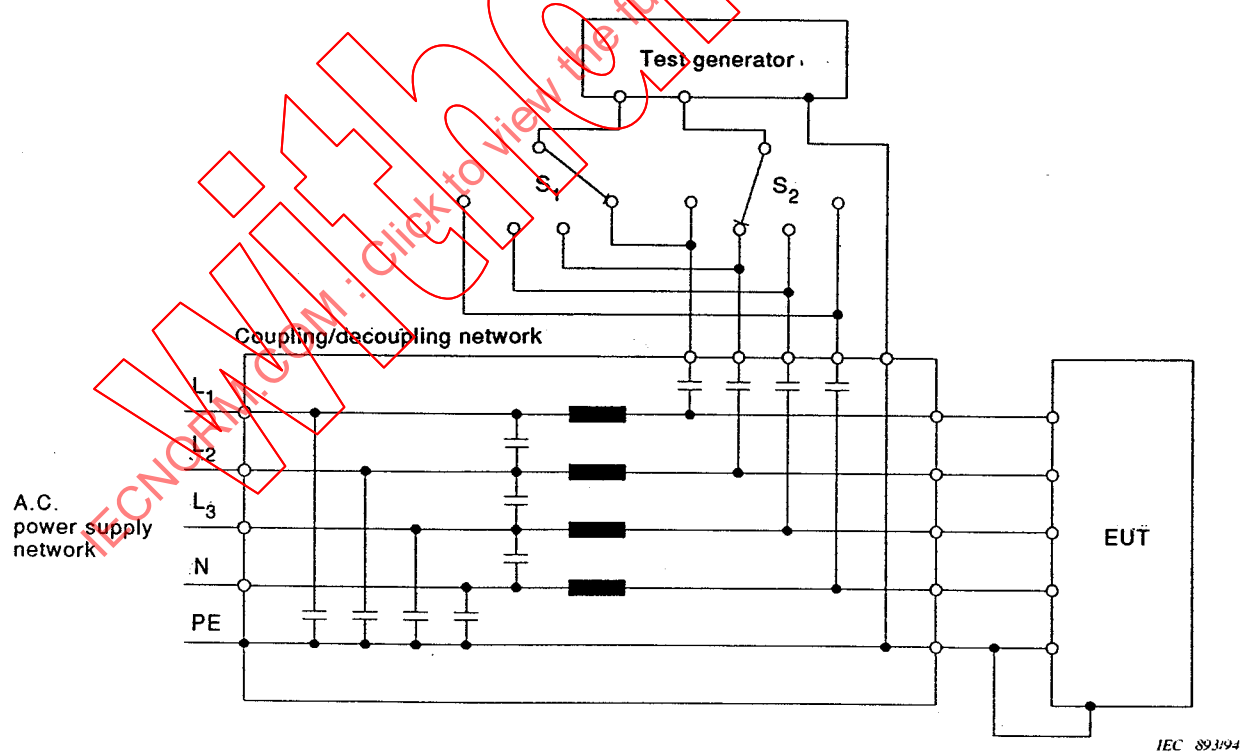


Figure 12.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

Figure 12 – A.C. power supply port, three phases, line-to-line test

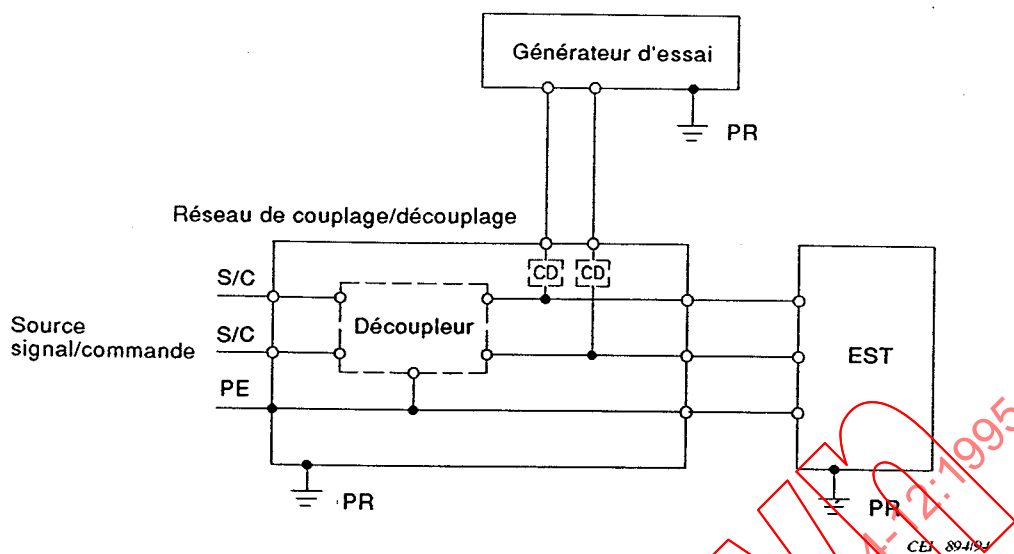


Figure 13.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)

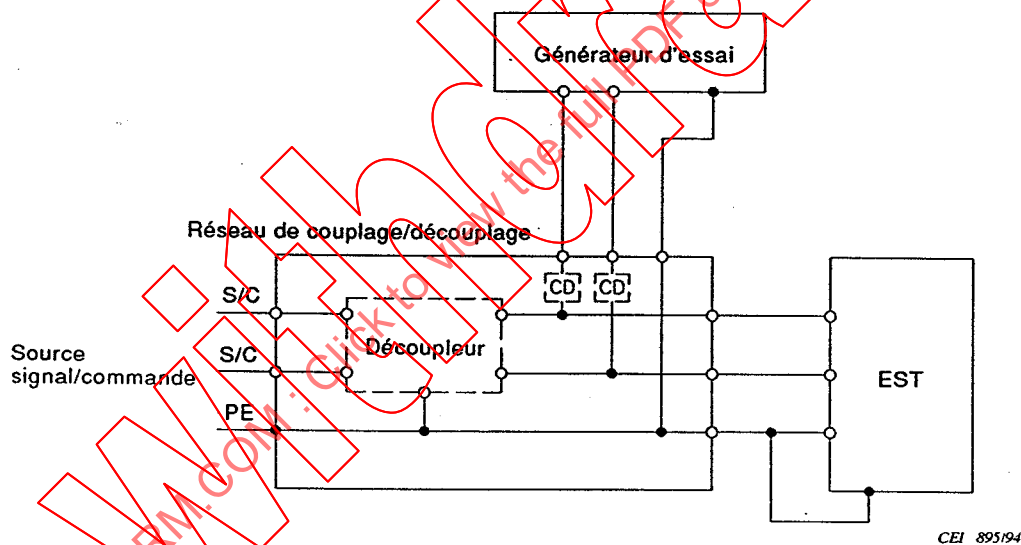


Figure 13.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

CD: Dispositifs de couplage. Pour certaines applications, les capacités de couplage doivent être remplacées par d'autres types de CD tels que tubes à gaz, diodes à avalanche au silicium, etc.

Figure 13 – Essai en mode différentiel des accès pour circuit unique

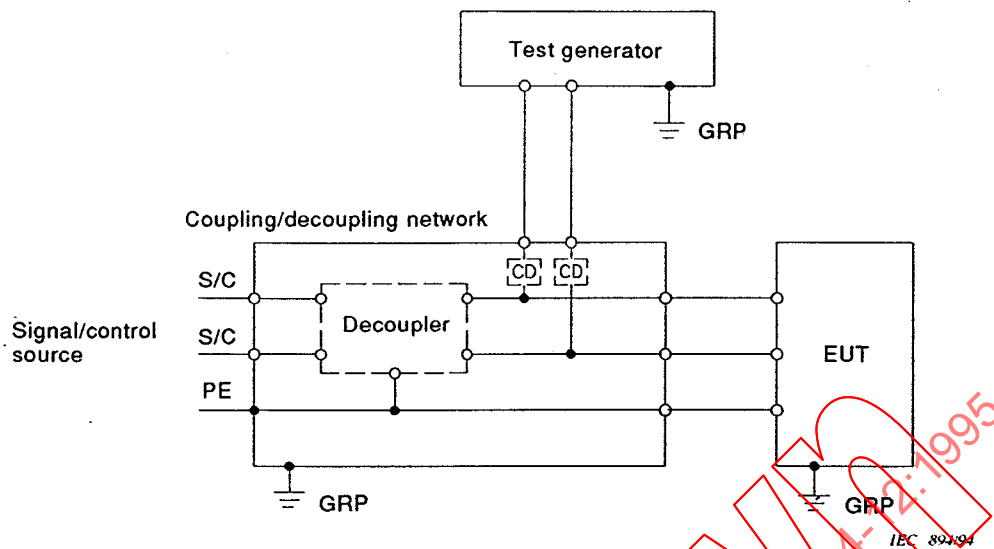


Figure 13.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

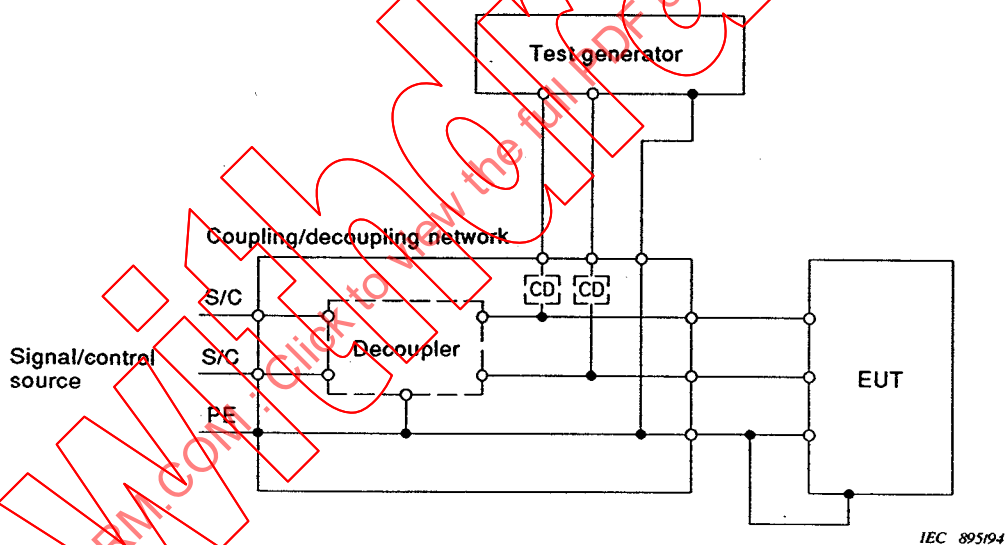
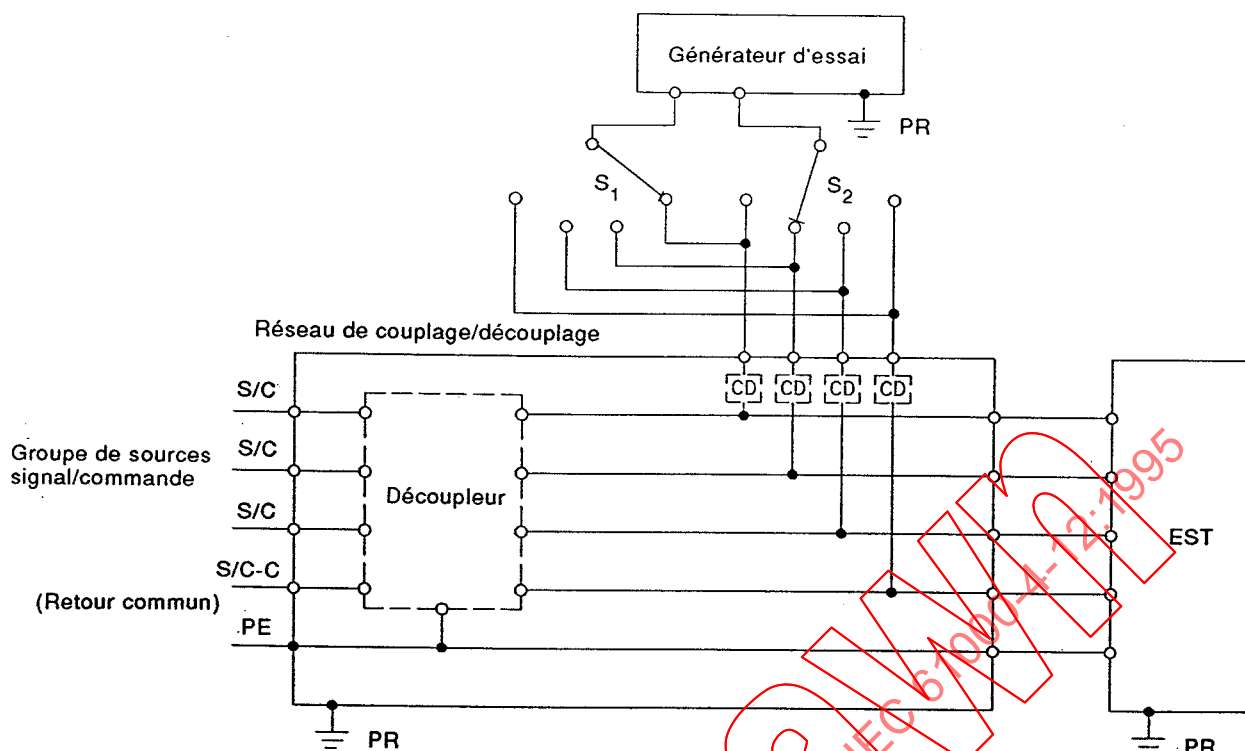


Figure 13.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

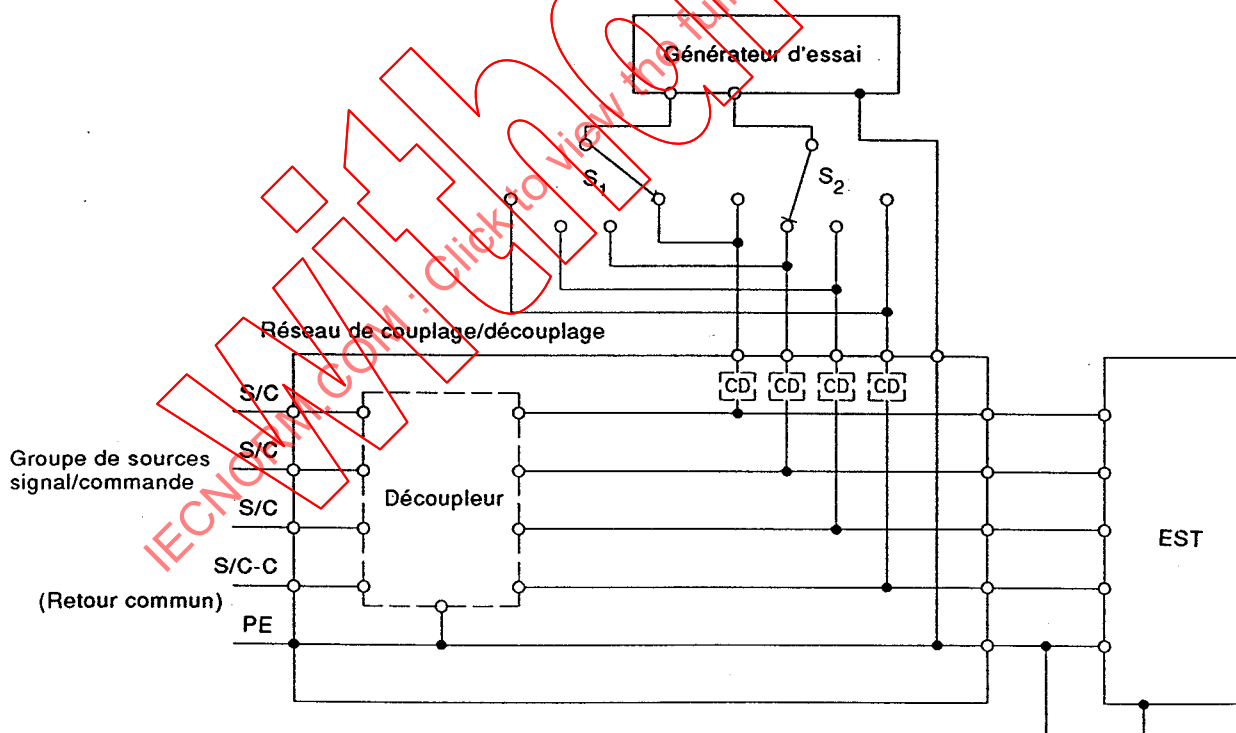
CD: Coupling devices. For some applications, the coupling capacitors have to be replaced by other types of coupling devices, such as gas tubes, silicon avalanche diodes, etc.

Figure 13 – Input/output port, single circuit, line-to-line test



CEI 896/94

Figure 14.a – Essai exécuté avec plan de référence (voir 7.1.1)



CEI 897/94

Figure 14.b – Essai exécuté avec connexions de terre spécifiques (voir 7.1.2)

CD: Dispositifs de couplage. Pour certaines applications, les capacités de couplage doivent être remplacées par d'autres types de CD tels que tubes à gaz, diodes à avalanche au silicium, etc.

Figure 14 – Essai en mode différentiel des accès pour groupe de circuits avec retour commun

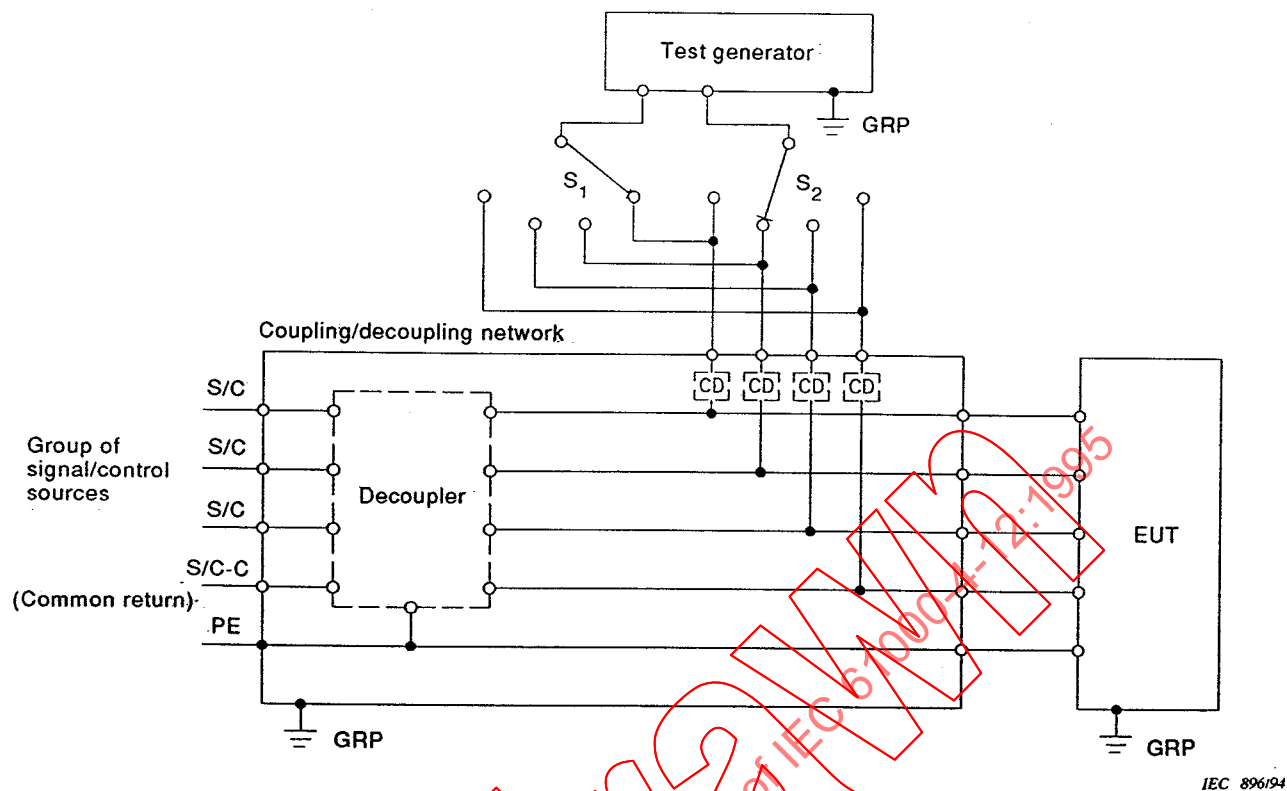


Figure 14.a – Set-up implemented with the ground reference plane (see 7.1.1)

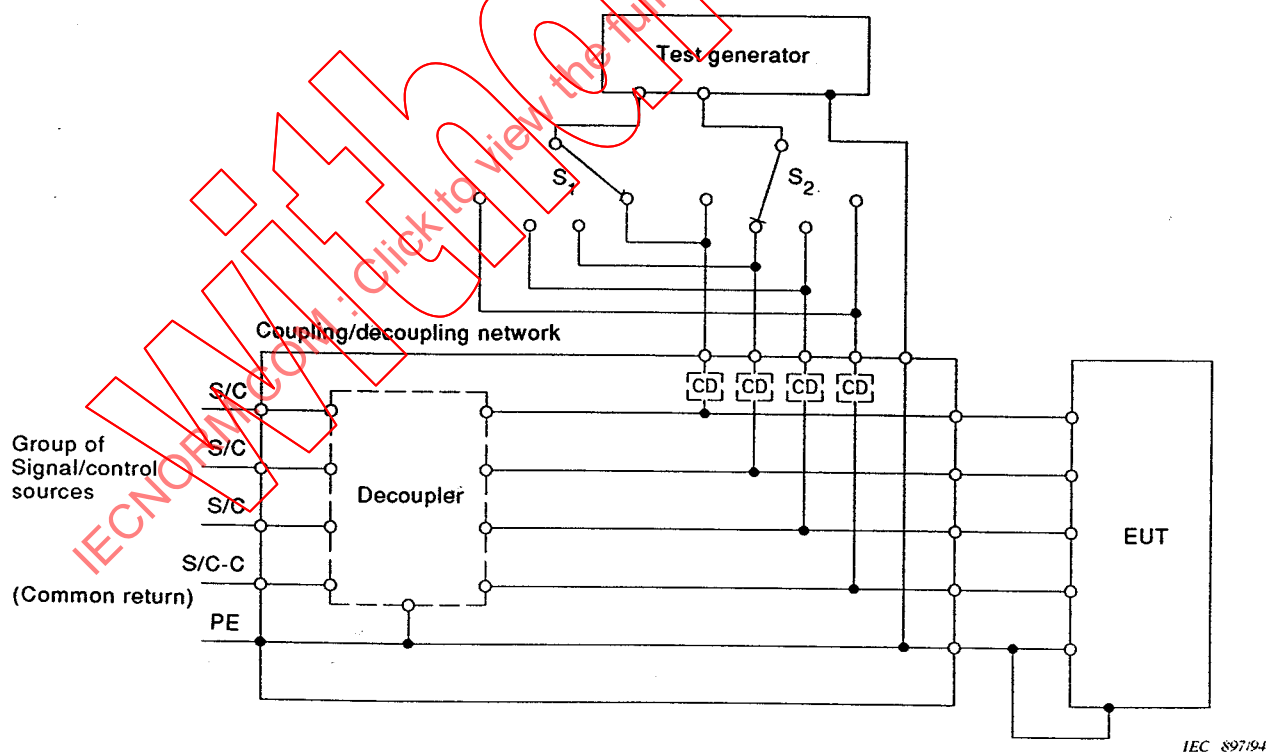
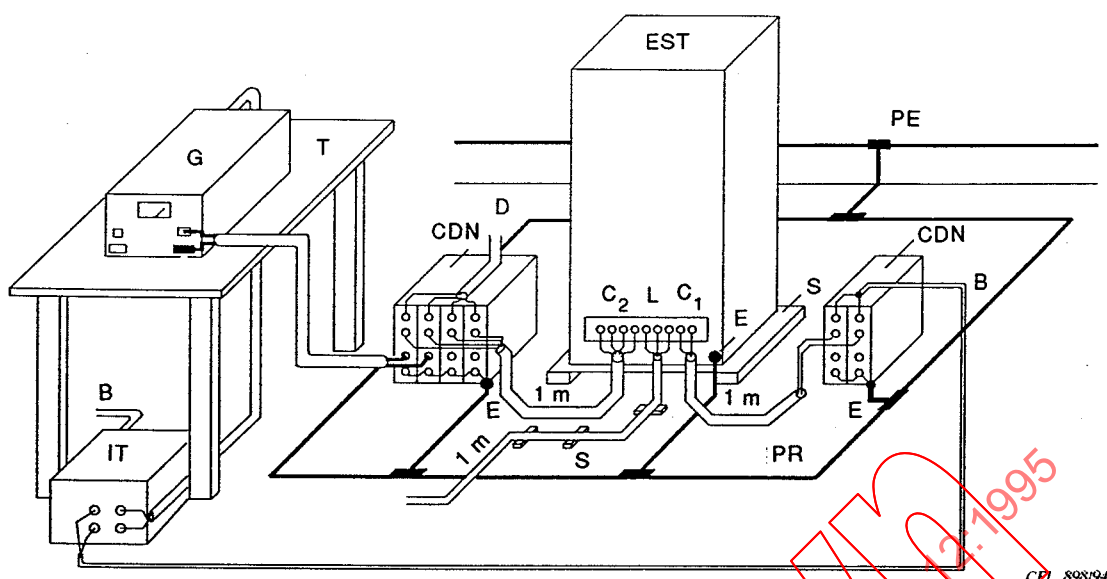


Figure 14.b – Set-up implemented with dedicated earth connections (see 7.1.2)

CD: Coupling devices. For some applications, the coupling capacitors have to be replaced by other types of coupling devices, such as gas tubes, silicon avalanche diodes, etc.

Figure 14 – Input/output port, group of circuits with common return, line-to-line test



NOTE – Les liaisons de terre sont aussi courtes qu'il est techniquement possible.

- | | |
|--|------------------------------------|
| PE: terre de protection | EST: matériel en essai |
| B: alimentation électrique | G: générateur d'essai |
| C ₁ : bornes d'alimentation | L: accès communication |
| C ₂ : bornes entrée/sortie | PR: plan de référence |
| D: sources signal/commande | CDN: réseau de couplage/découplage |
| E: mise à la terre | S: support isolant |
| T: table isolante | IT: transformateur d'isolement |

Figure 15 – Dispositions pour les essais en mode différentiel avec sortie du générateur d'essai non flottante

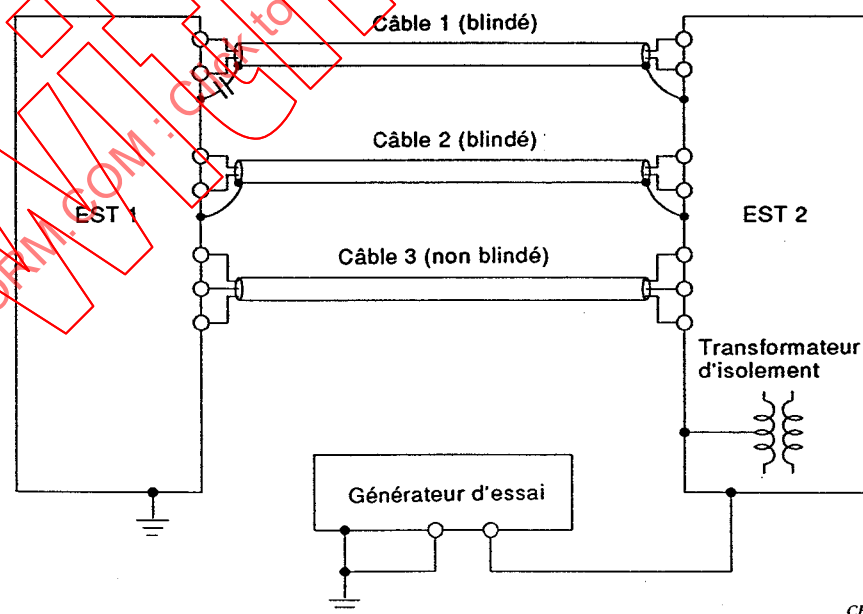
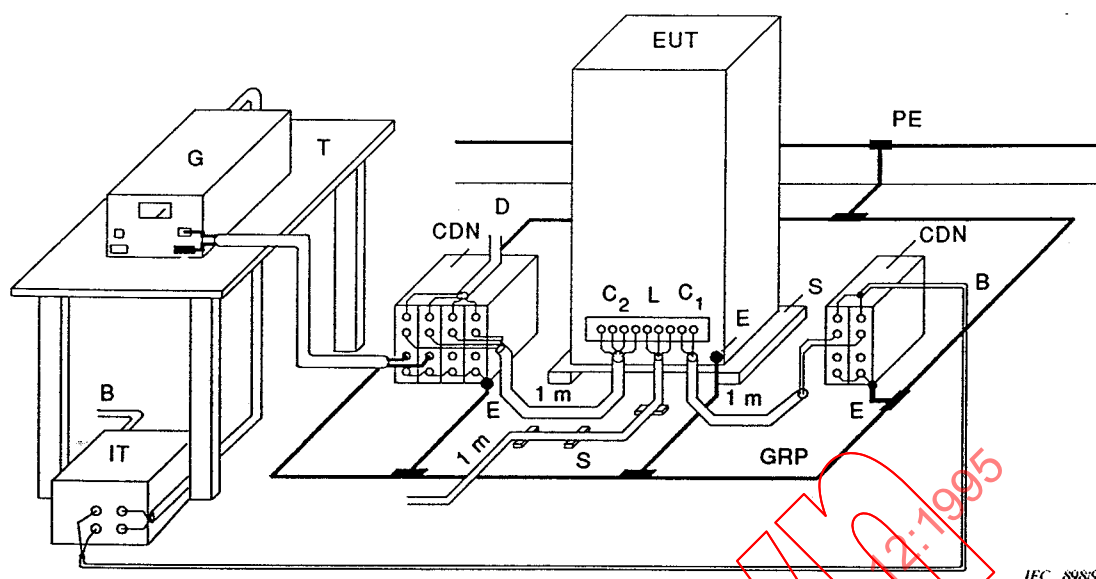


Figure 16 – Essai des accès communication pour signaux rapides (sortie générateur à la terre)

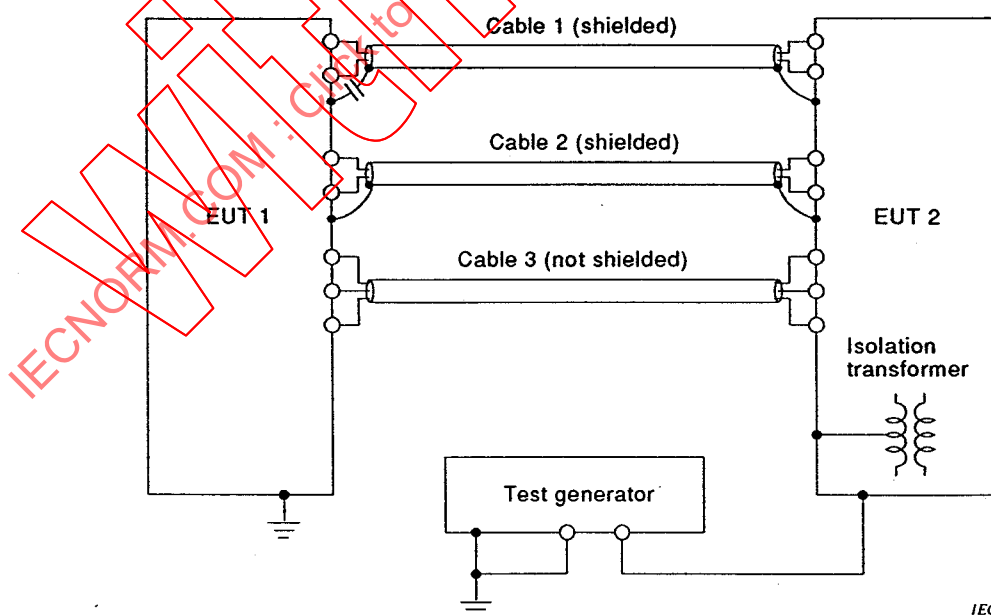


IEC 898/94

NOTE – Earth connections should be as short as technically possible.

PE: protective earth	EUT: equipment under test
B: power supply source	G: test generator
C ₁ : power supply port	L: communication port
C ₂ : input/output port	GRP: ground reference plane
D: signal/control source	CDN: coupling/decoupling network
E: earth connection	S: insulating support
T: insulating table	IT: isolation transformer

Figure 15 – Provisions for line-to-line tests with test generator output not floating



IEC 899/94

Figure 16 – Test of a system with communication ports with fast operating signals (generator output earthed)

Annexe A (informative)

Informations sur les phénomènes, choix de l'essai

A.1 Onde sinusoïdale amortie

L'onde sinusoïdale amortie est un phénomène typique de transitoire oscillatoire survenant dans les câbles basse tension suite à des manoeuvres de réseaux électriques et de charges réactives, à des défaillances ou des claquages de circuits d'alimentation électrique, ou à des coups de foudre. De fait, il s'agit du phénomène le plus répandu rencontré dans les réseaux d'énergie (HT, MT, BT) ainsi que dans les circuits de commande et de signal.

Représentative d'une large gamme d'environnements électromagnétiques résidentiels comme industriels, l'onde sinusoïdale amortie permet de vérifier l'immunité des équipements relevant de ces environnements vis-à-vis des phénomènes mentionnés plus haut. Ces manifestations produisent des impulsions caractérisées par des ondes à front raide de l'ordre de 10 ns à une fraction de microseconde, en l'absence de tout filtrage. La durée de ces impulsions varie entre 10 μ s et 100 μ s.

Le temps de montée et la durée des impulsions peuvent par ailleurs varier en fonction du trajet et des milieux de propagation.

La propagation du front d'onde dans les circuits (puissance et signal) donne toujours lieu à des réflexions dues à la non-adaptation des impédances (les circuits sont chargés sur leur propre impédance ou reliés à des dispositifs de protection, des filtres d'entrée, etc.). Ces réflexions produisent des oscillations dont la fréquence dépend de la vitesse de propagation. La présence éventuelle de phénomènes parasites (capacité parasite d'éléments tels que les moteurs, les enroulements de transformateurs, etc.) exerce également une incidence.

Le temps de montée a tendance à se ralentir du fait de la caractéristique passe-bas du circuit dans lequel s'effectue la propagation. Ce paramètre est plus marqué lorsque le temps de montée est rapide (de l'ordre de 10 ns) et tend à devenir négligeable pour des valeurs de l'ordre d'une fraction de microseconde.

Des recherches menées sur différents types d'installations montrent que le phénomène qui en résulte au niveau des accès de l'équipement dans la plupart des situations réelles est un transitoire oscillatoire défini par un temps de montée de 0,5 μ s et par une fréquence d'oscillation de 100 kHz.

Des ondes sinusoïdales amorties peuvent également être produites par des coups de foudre, phénomène caractérisé par sa forme d'onde unidirectionnelle (impulsion normalisée 1,2/50 μ s). Les circuits indirectement affectés par la foudre (couplage inductif entre circuits) sont principalement influencés par la dérivée de l'impulsion initiale. Le mécanisme de couplage, à partir de son spectre de fréquence initial, entraîne des oscillations dont les caractéristiques dépendent de la propagation proprement dite, mais aussi des paramètres selfiques des circuits de terre et des structures métalliques traversées par le courant de foudre.

Annex A (informative)

Information on the phenomena, selection of the test

A.1 Ring wave

The ring wave is a typical oscillatory transient, induced in low-voltage cables due to the switching of electrical networks and reactive loads, faults and insulation breakdown of power supply circuits or lightning. It is, in fact, the most diffused phenomenon occurring in power supply (HV, MV, LV) networks, as well as in control and signal lines.

The ring wave is representative of a wide range of electromagnetic environments of residential, as well as industrial, installations; it is suitable for checking the immunity of equipment in respect of the above-mentioned phenomena which give rise to pulses characterized by sharp front-waves that, in the absence of filtering actions, are in the order of 10 ns to a fraction of μs ; the duration may range from 10 μs to 100 μs .

The rise time and duration of the parameters are subject to modification, depending on the propagation media and path.

The propagation of the front-wave in the lines (power and signal) is always subject to reflections, due to the mismatching impedance (the lines are terminated on their own loads or connected to protection devices, input line filters, etc.). These reflections produce oscillations, whose frequency is related to the propagation speed. The presence of parasitic parameters (stray capacitance of components like motors, transformer windings, etc.) are other conditioning factors.

The rise time is generally subjected to slowing down, due to the low-pass characteristic of the line involved in the propagation; this modification is more relevant for the fast rise times (in the order of 10 ns), and less relevant for values in the range of a fraction of μs .

The resultant phenomenon at the equipment ports, representative of most actual situations, as the result of investigations in different types of installations, is an oscillatory transient with defined 0,5 μs rise time and 100 kHz oscillation frequency.

Another cause of the ring wave, lightning, is characterized by a unidirectional waveform (standard 1,2/50 μs pulse). The circuits subjected to its indirect effect (inductive coupling among lines) are mainly influenced by the derivative of the primary pulse. The coupling mechanism, from its original frequency spectrum, gives rise to oscillations, the characteristics of which depend on the reactive parameters of the ground circuits, on metal structures involved in the lightning current flow, in addition to the propagation in the low-voltage lines involved.

D'autres normes CEI font référence à l'impulsion normalisée 1,2/50 μ s au sujet des phénomènes générateurs d'ondes sinusoïdales amorties envisagés ici. Les essais faisant appel à un générateur à faible impédance et l'essai à l'impulsion normalisée peuvent être considérés comme complémentaires.

C'est aux comités de produit qu'il incombe de définir l'essai le plus approprié en fonction du phénomène considéré comme pertinent.

Paramètres pertinents pour les essais

a) Fréquence de répétition

La fréquence de répétition d'un transitoire est directement liée à la fréquence d'occurrence du phénomène originel. La fréquence de répétition est plus importante lorsque le phénomène initial est constitué par une manoeuvre de charges sur des circuits de commande, et moins importante en cas de défauts et de coups de foudre. Cette fréquence peut varier de 1 par seconde à 1 par mois ou 1 par an.

Pour les besoins des essais et nonobstant les éventuelles limites des tensions applicables à l'équipement en essai, on peut considérer comme prudent d'adopter une fréquence de répétition de l'ordre de 1 par seconde pour les manoeuvres dont la probabilité d'occurrence est élevée.

Cette fréquence de répétition peut être augmentée afin de réduire la durée de l'essai. Il convient toutefois de la choisir en fonction des caractéristiques des protections contre les transitoires utilisées lors de l'essai et précisées dans les spécifications de l'équipement.

b) Angle de phase

La défaillance ou l'absence de défaillance de sources d'alimentation électrique soumises à une onde sinusoïdale amortie peut dépendre de l'angle de phase de la tension alternative sinusoïdale auquel les transitoires sont appliqués. Le claquage d'un dispositif de protection pendant un essai à l'onde sinusoïdale amortie peut s'accompagner d'un phénomène de courant de suite. Le courant de suite est un courant provenant de la source raccordée et s'écoulant à travers un élément de protection ou tout autre point de claquage dans l'EST pendant et après le passage du courant d'essai.

Dans le cas des semi-conducteurs, ce phénomène semble lié au seuil de conduction des semi-conducteurs de l'EST au moment où est produite l'onde sinusoïdale amortie. Les paramètres de semi-conducteurs susceptibles d'entrer en ligne de compte sont les caractéristiques de récupération directe et inverse, ainsi que les conditions de tenue au choc diélectrique secondaire.

Les composants les plus exposés à une défaillance liée au déphasage sont les semi-conducteurs implantés dans les circuits d'entrée de l'alimentation électrique. D'autres composants situés dans différentes parties de l'EST peuvent aussi présenter le même type de défaillance s'ils sont traversés par la totalité ou une partie des transitoires provenant des circuits d'entrée.

c) Inversion de polarité

La sensibilité des semi-conducteurs aux paramètres temporels et à la polarité d'un transitoire est l'une des raisons pour lesquelles on a choisi de représenter l'environnement par une forme d'onde oscillatoire. Ce phénomène est en effet plus à même d'entraîner une défaillance de semi-conducteur que ne le serait une onde unidirectionnelle.

In respect of the primary phenomena considered here which generate the ring wave, other IEC standards refer to the 1,2/50 μ s standard pulse; the tests with a low impedance generator and the test with the standard pulse may be considered complementary to each other.

It is the responsibility of the product committees to define the most appropriate test, according to the phenomenon considered as relevant.

Relevant parameters for testing

a) *Repetition rate*

The repetition rate of the transient is directly related to the frequency of occurrence of the primary phenomenon; it is higher whenever the primary cause is the load switching in control lines, and less frequent in the case of faults and lightning; the occurrence may range from 1/s to 1/month or 1/year.

For testing requirements, and not relying on the possible limit of the stresses applicable to the equipment under test, a repetition rate in the order of 1/s can be considered conservative in respect to switching phenomena which have a high probability of occurring.

The repetition rate may be increased in order to reduce the duration of the test; it should, however, be selected according to the characteristics of the transient protections involved in the test, as given in the equipment specifications.

b) *Phase angle*

Equipment failures related to ring wave on power supply sources can depend on the phase angle of the a.c. voltage sine wave at which the transients are applied. When a protection element sparks over during a ring-wave test, power-follow might occur. Power-follow is the current from the connected power source that flows through a protective element, or from any sparkover in the EUT, during and following the passage of test discharge current.

For semiconductors, the phenomenon appears related to the conduction state of the EUT semiconductor devices at the time the ring wave occurs. Semiconductor parameters that might be involved include forward and reverse recovery characteristics and secondary breakdown performance.

The devices most likely to fail in a phase-related way are semiconductors involved in the power input circuitry. Other devices, in different areas of the EUT, might also exhibit such failure modes in the EUT power-input circuits, if some or all of the transient pass through to them.

c) *Polarity reversal*

The sensitivity of semiconductors to the timing and polarity of a transient is one of the reasons for selecting an oscillatory waveform to represent the environment; it will be more likely to provoke undue semiconductor failures than a unidirectional wave.

Des études ont été consacrées au claquage de semi-conducteurs dans différentes conditions de charge et d'application de surtensions transitoires.

Les résultats ci-après concernent l'effet d'une inversion de polarité transitoire sur des diodes 1N679. Une onde sinusoïdale amortie a été appliquée à des diodes de ce type à la crête de la tension inverse. La tension moyenne de claquage mesurée à cette occasion est de 1 800 V. L'application de l'onde sinusoïdale amortie à 30° et 90° après le début de la conduction a ensuite donné une réduction de cette tension moyenne de claquage d'environ 33 % et 50 %, respectivement.

Les mêmes études ont montré que l'application d'une tension inverse pendant la période de conduction de la fréquence d'alimentation donnait lieu à une tension de claquage inférieure à celle constatée lors de l'application d'un transitoire similaire à vide ou pendant un blocage.

A.2 Onde oscillatoire amortie

Ce phénomène est représentatif des manoeuvres de sectionneurs équipant des postes HT/MT extérieurs – en particulier des manoeuvres de jeux de barres HT – ainsi que des bruits de fond en environnement industriel.

Dans les postes électriques, l'ouverture et la fermeture de sectionneurs HT entraîne des transitoires à front raide, dont le temps de montée correspond à quelques dizaines de nanosecondes.

L'évolution du front d'onde de la tension est marquée par des réflexions dues aux déséquilibres des impédances caractéristiques des circuits HT concernés. La tension et le courant transitoires qui en résultent au niveau des jeux de barres HT se distinguent par une fréquence d'oscillation fondamentale déterminée par la longueur du circuit et par le temps de propagation.

La fréquence d'oscillation varie d'environ 100 kHz à quelques MHz pour des postes ouverts, en fonction des paramètres mentionnés plus haut et de la longueur des jeux de barres, qui peut aller de quelques dizaines à quelques centaines de mètres (jusqu'à 400 m).

Une fréquence d'oscillation de 1 MHz peut être considérée comme représentative de la plupart des situations, à l'exception des grands postes HT, pour lesquels une fréquence de 100 kHz est jugée préférable.

La fréquence de répétition est variable entre quelques hertz et quelques kilohertz en fonction de la distance entre les contacts de commutation. En effet, la fréquence de répétition est à son maximum lorsque ces contacts sont peu éloignés, tandis que sa valeur minimale correspond, pour chaque phase, au double de la fréquence d'alimentation (100 cycles par seconde pour chaque phase à 50 Hz et 120 cycles par seconde pour chaque phase à 60 Hz, en haute tension) lorsque la distance entre les contacts est voisine de la limite d'extinction d'arc.

Les fréquences de répétition retenues (40 et 400 par seconde) résultent donc d'un compromis tenant compte de la durée variable des phénomènes, des différentes fréquences considérées et du problème des circuits d'énergie en essai.